

TRAFFIC ENGINEERING

THIRD EDITION



ROGER P. ROESS
ELENA S. PRASSAS
WILLIAM R. MCSHANE

پیشگفتار

مهندسی ترافیک طیف وسیعی از مهندسی های مرتبط را در بر می گیرد با این تفاوت که غالب توجه آن به سیستم بزرگراهها و خیابانها معطوف می باشد . چرا که آنها (بزرگراه ها) به عنوان سیستم حیاتی شریانی در یک کشور تعریف می شوند که این سیستم حمل و نقل ، بخش اعظمی از چارچوب و اساس جریانهای میان شهری و داخل شهری مردم و کالاها را پوشش می دهد . از اینرو این سیستم نقش مهمی در چشم انداز و سیمای یک جامعه ایفا می کند . برای مثال در اقتصاد ، محیط ، اطمینان از امنیت و سلامت عمومی و همچنین دسترسی به مناطق دور افتاده موثر است . مهندسی ترافیک انواع متفاوتی از مهارتهای مهندسی و مدیریتی از قبیل برنامه ریزی ، مدیریت ، طراحی ، ساخت و اجرا ، کنترل و نگهداری و بهینه سازی سیستم را در بر می گیرد . چون توجه کار مهندسی ترافیک بیشتر در زیرساختهای یک جامعه دیده می شود پس می توان گفت که علمی است که سیاست یک حکومت را نیز در بر می گیرد . از اینرو مهندسی ترافیک بر آن است تا طیف وسیعی از مهارتها را بکار گیرد و برای موثر بودن باید نسبت به کلیه مشکلات و مسایل تیز بین بود . این سومین ویرایش از این کتاب می باشد که حاوی مطالب استانداردهای جدید و آنالیز تکنیک هایی از کتابهای ذیل می باشد

راهنمای شیوه کنترل ترافیک به صورت همگن «ویرایش هزاره سوم»

راهنمای ظرفیت بزرگراهها « ویرایش چهارم» ۲۰۰۰

آیین نامه طراحی هندسی بزرگراهها و خیابانها « ویرایش چهارم ۲۰۰۰» و دیگر منابعی که می توانند مورد استفاده قرار بگیرند. همانند دو ویرایش اول این متن میتواند مورد استفاده دانشجویان لیسانس و بالاتر قرار گیرد.

این متن به چهار قسمت مهم و عملکردی تقسیم می شود :

۱- تشکیل دهنده های سیستم ترافیک و ویژگیهای آنها

۲- مطالعات و برنامه هایی درباره سیستم ترافیک

۳- کاربرد سیستم آزادراهها و بزرگراه های خارج از شهر

۴- کاربرد سیستم راههای شهری و حومه

به فصول این کتاب بخشهای زیر نظیر سیستم های هوشمند حمل و نقل ، طراحی پارکینگ ، سیستم های علائم راهها و تحلیل تقاطع های بدون چراغ و برنامه ریزی سیستم های شریانی و مدیریت آنها اضافه گردیده علاوه براینها به طراحی هندسی و زیرساختها و علائم تسهیل کننده راهنمایی (چراغها و خط کشیها) اشاره شده است . همانند دو ویرایش ابتدایی متن شامل بسیاری از مسائل و تمرینات و پروژه هایی است که می تواند مورد استفاده در دروس مورد نظر باشد . حل مسائل نیز در دسترس می باشد .

نویسندگان امیدوارند که این متن مفید و راهگشا جهت دانشکده ، دانشجویان و متخصصین این رشته باشد و از انتقادات شما جهت ارتقاء و تکمیل متن استقبال می نمایند . همچنین نویسندگان از پیشنهادات و راهنمایی های افراد ذیل کمال تشکر را دارند . کارول مسر - دانشگاه تگزاس / امیلی پارتلا - دانشگاه کالیفرنیا / مارک ویر کلز - دانشگاه میسوری / ویلیام اسپرول - دانشگاه میشیگان .

با احترام مولفین :

راجور روز

النا پراساس

ویلیام مک شین

مقدمه ای بر مهندسی ترافیک

۱-۱- مهندسی ترافیک بعنوان یک حرفه

انجمن مهندسين حمل و نقل ، مهندسی ترافیک را بعنوان زیر مجموعه مهندسی حمل و نقل چنین تعریف می کند:

مهندسی حمل و نقل ، بکارگیری تکنولوژی و اصول علمی در تصمیم گیریها ، طراحی های عملکردی ، عملیاتها و مدیریت تسهیلات در انواع مختلف حمل و نقل می باشد . تا حمل و نقلی (آمد و شدي) امن ، سریع ، راحت و اقتصادی و سازگار با محیط زیست برای مردم و کالاها فراهم کند .

و همچنین مهندسی ترافیک فازی از مهندسی حمل و نقل می باشد که با برنامه ریزی ، طراحی های هندسی ، عملیات ترافیکی راهها ، خیابانها و بزرگراهها و همچنین شبکه های آنها ، پایانه ها و مناطق هم مرز و ارتباط با دیگر انواع حمل و نقل مرتبط می باشد .

این تعاریفات جامع بودن این حرفه را با داشتن اهدافی افزون بر اهداف پیشین (امنیت و کارایی) نشان می دهد .

۱-۱-۱- امنیت هدف نخستین

هدف اصلی مهندسی ترافیک ، ایجاد یک سیستم امن برای رفت و آمد در بزرگراه ها می باشد و این مسئله از اهمیت بسزایی برخوردار است . در سالهای اخیر تعداد کشته شدگان در بزرگراه های امریکا در حدود ۴۳۰۰۰-۴۰۰۰۰ نفر هر ساله بوده . با این وجود در مقایسه با دهه اول سال ۱۹۷۰ که تعداد کشته شدگان ۵۵۰۰۰ نفر هر ساله بوده ، هنوز این رقم قابل توجه می باشد . تعداد امریکایی هایی که در بزرگراه ها کشته شده اند از تعداد کشته شدگان تمامی جنگهای امریکا و همچنین جنگهای داخلی (مدنی) بیشتر بوده است .

در حالیکه کشته شدگان در دو دهه اخیر همچنان ثابت مانده تعداد تصادفات وسایل نقلیه کاهش یافته است و این بدین خاطر است که دارندگان وسائط نقلیه هر ساله مسافت بیشتری را با وسیله طی می کنند . با در نظر گرفتن تعداد ثابت کشته شدگان در هر سال از یک سو و از سوی دیگر افزایش مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه ، تعداد کشته شدگان سیر نزولی دارد .

و این کاهش موثر از اجرای سبک های پیشرو مهندسين ترافیک بوده که در بیشتر آن موارد نیز موفق بوده اند . و تلاش دیگر ، حذف کردن رانندگان خطرناک از جاده ها است که این خود امنیت بیشتر جاده ها را به همراه دارد . خسارات ناشی از (رانندگی در بعد از مصرف دارو و در هنگام مستی) به مراتب کاهش یافته است . (ضبط گواهینامه ها به دلیل DUI و

(DWI)

وسایل نقلیه بهتر از پیش طراحی می شوند. امروزه وسایل نقلیه دارای داشبوردهای پوشش دار، ستون های هدایت کننده اتاق، کمربندهای ایمنی ویژه، کیسه های هوا (که در بعضی از وسایل نقلیه بیشتر از ۸ کیسه تعبیه شده) و سیستم ترمز ضد قفل و می باشند.

طراحی بزرگراه ها بدلیل توسعه و استفاده از سیستم بازدارنده (جلوگیرنده) جهت رفیوژ میانی و گاردریلها و مناطق اطراف جاده بهبود یافته است. سیستم کنترل ترافیک ارتباط بهتر و سریعتری برای آگاهی مقامات از تصادفات و خرابیها دارد. هر چند با این وجود بیش از ۴۰۰۰۰ نفر هر ساله در تصادفات ترافیکی جان خود را از دست می دهند. به این خاطر هدف رفت و آمد ایمن همیشه در اولویت اول قرار دارد.

۲-۱-۱ اهداف دیگر:

تعاریفی که از حمل و نقل و مهندسی ترافیک شد، اهداف دیگری به شرح ذیل را نیز حائز اهمیت جلوه می دهد:

۱- سرعت ۲- راحتی ۳- در دسترس بودن ۴- اقتصادی بودن ۵- سازگاری با محیط

این اهداف، خواسته های هر راننده یا مسافری است، ما بیشتر می خواهیم که رفت و آمدی سریع، راحت و سازگار با محیط داشته باشیم. همه این اهداف به هم مربوطند و باید در تعادل با اهداف دیگر و بخصوص هدف اولیه (امنیت) باشند.

با وجود اینکه سرعت رفت و آمد خواسته همگان می باشد، تکنولوژی حمل و نقل، ویژگیهای انسانی و نیاز به امنیت این خواسته را محدود می کند. راحتی و دسترسی بحث عام هستند و برداشتهای فردی از آنها کاملاً متفاوت است. راحتی شامل ویژگیهای فیزیکی راهها و وسایل نقلیه و متاثر از برداشتهای فردی از کلمه امنیت می باشد. دسترسی (سهولت سفر) مرتبط به راحتی مسافرت و قابلیت سیستم حمل و نقل در رسیدگی به نیازهای ما در طول مسافرت و زمان مناسب آن می باشد. مسئله اقتصاد نیز به این مقوله مرتبط است، البته در سیستم حمل و نقل جدید چیزی "ارزان" خطاب نمی شود. بزرگراه ها و دیگر سیستمهای حمل و نقل نیازمند سازندگی های وسیع، حفاظت و نگهداری و بکارگیری عوامل اجرایی که بیشتر هزینه آن از طریق مالیات و هزینه های دیگر تامین می شود، می باشند.

سازگاری با محیط یک مسئله پیچیده ای است که به مرور زمان مهم تر به نظر می رسد. تمامی سیستم های حمل و نقل تاثیرات منفی بر محیط دارند. همگی آلودگی صوتی و محیطی ایجاد می کنند و از منابع با ارزش زمینی استفاده می کنند. در بسیاری از شهرهای مدرن سیستم حمل و نقل ۲۵٪ از کل زمین را اشغال کرده. سازگاری از زمانی حاصل می شود که سیستم حمل و نقل موجب کاهش تاثیر محیطی منفی گردد و مهندسان نیز باید تسهیلاتی را از نظر زیبایی و تناسب با محیط فراهم نمایند که با نیازهای محیط هماهنگی داشته باشد.

مهندسين ترافيك وظيفه دارند تا تمامي اين اهداف را تحقق بخشند و با انجام تبادلات مناسب در جهت بهينه سازي سيستم حمل و نقل و استفاده بهينه از بودجه عمومي براي ساختن و نگهداري سيستم راهها تلاش كنند.

۱-۱-۳ مسئوليت، اخلاقيات و تعهد در مهندسي ترافيك

مهندس ترافيك رابطه ويژه اي با اجتماع دارد و بيش از ديگر مهندسين مسئول امنيت بخش اعظمي از جامعه مي باشند . مهندسين ترافيك در دنيايي مشغول به كار هستند كه تعداد كثيري از مردم از ترافيك و مشكلات حمل و نقل با اطلاعند و نمي دانند كه خود تا چه اندازه بر اين مسئله تأثير گذارند . بنابر اين انجام بهينه اين پروژه نيازمند انتخاب افراي با قدرت تصميم گيري بالا و همچنين افراي متخصص در شغلهاي ديگر كه با مهندسين ترافيك همكاري مي كنند، مي باشد .

از آنجا كه همه ما با سيستم هاي حمل و نقل در ارتباط هستيم و درك و فهم خود را از مسائل حمل و نقل و ترافيك باي مي پنداريم، اين وظيفه مهندسين ترافيك است تا مردم را با واقعيت اين مسائل آشنا كنند. مانند تمامي مهندسين ، مهندس ترافيك بايد ويژگيهاي اخلاقي را بدانند و اجرا كنند . شاخص هاي اوليه اخلاقي براي مهندسين ترافيك ، شاخص هايي است كه انجمن ملي مهندسين حرفه اي و انجمن مهندسين عمران در امريكا تعريف كرده است . مهندسين ترافيك بايد تنها در حيطه تخصص خود مشغول به كار باشند و تمامي وظيفات را كاملاً و با دقت انجام دهند و بايد با مردم و كارمندان صادق باشند . و رعايت تمامي استانداردها را نيز بكنند .

مهندسين ترافيك همچنين وظيفه دارند تا با اعمال درست از عيب و نقص هاي جامعه جلوگیری كنند . در اينجا اشتباهاتي كه افراد مسئول ترافيك و حمل و نقل ممكن است مرتكب شوند را ذكر مي كنيم :

۱- اتخاذ تصميماتي كه قابليت اجرايي شدن را ندارند ۲- عدم موفقيت در حفظ شرايط بهينه ابزار ، بعنوان مثال علامتهاي راهنمايي و رانندگي كه تيره هستند . بنابر اين در اثر خرابي لامپها يا هر نوع نقص ديگري قابل تشخيص نمي باشند . ۳- عدم موفقيت در تطابق با تصميمات گرفته شده در باره كنترل ترافيك و توسعه طرحهاي تسهيلا تي و هدايت تحقيقات با استانداردهاي رايج .

۴- اجراي قوانين ترافيك بدون داشتن صلاحيت براي انجام آن.

لازم به ذكر است كه يك استاندارد قديمي بيان مي دارد كه همواره آماده سازي طرح ها و تصميمات گرفته شده مي بايست براساس منطق باشد نه تصميمات فردي.

۲-۱- سیستمهای حمل و نقل و عملکرد آنها :

سیستم های حمل و نقل تشکیل دهنده های اصلی اقتصاد امریکا می باشند . و تاثیر مهمی بر شکل گیری جامعه و در مجموع عملکرد صحیح اقتصاد آن جامعه دارند .

شکل ۱-۱ بعضی از آمارهای کلیدی سیستم بزرگراه های امریکا را در سال ۲۰۰۰ نشان می دهد .

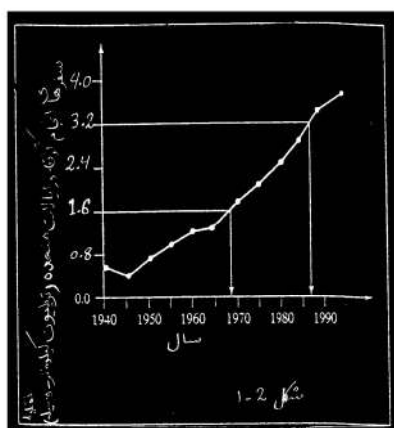
تعداد وسیله نقلیه ثبت شده	۲۲۱,۵ میلیون
تعداد رانندگان دارای گواهینامه	۱۹۱ میلیون
مسافت طی شده توسط وسائط نقلیه (کیلومتر - وسیله نقلیه)	۳,۹۴ تریلیون
طول بزرگراهها ((کیلومتر))	۶,۲۷ میلیون
مالیات جمع آوری شده از بزرگراههای ایالتی	۶۱,۶ میلیارد دلار
مالیات اخذ شده توسط دولت فدرال در رابطه با استفاده از بزرگراهها	۳۰,۳ میلیارد دلار
آمار کشته شدگان اخذ شده از ۶/۳ میلیون گزارش تصادف توسط پلیس	۴۱۴۷۱ نفر
سفر افراد با استفاده از بزرگراهها	۹۸ %

دولت امریکا در حال گسترش و توسعه بزرگراه های خود می باشد ؛ با وجود اینکه سیستمهای حمل و نقل عمومی از اهمیت بسزایی در شهرهای بزرگ مانند نیویورک ، بستن، شیکاگو و سنفرانسیسکو برخوردار است ، با اینحال مبرهن است که بیشتر رفت و آمد های فردی و حمل و نقل کالاها به سیستم بزرگراه ها بستگی دارد . و همین سیستم بزرگراه ها خود ، تاثیر بسزایی در اقتصاد جامعه دارد . بیش از ۹۰ میلیارد دلار هر ساله توسط کشور و دولت فدرال از استفاده کنندگان راهها (رانندگان) بعنوان ورودیه و یا مالیات گرفته می شود از این قبیل مالیاتها و ورودیه ها ، مالیات های غیر مستقیم که به بنزین و دیگر سوختها تعلق می گیرد ، مالیات وسایل نقلیه تجاری و غیره را نیز می توان ذکر کرد .

رقم نهایی ، شامل مالیاتهای جمع شده کشوری ، محلی و فدرالی نمی باشد . و همچنین مالیاتهای فروش وسایل نقلیه ، سوخت و چه در سطح کشوری و چه در سطح محلی در رقم نهایی گنجانده نشده اند . از طرف دیگر هر ساله مبلغی بالغ بر ۱۰۰ میلیارد دلار توسط بخشهای مختلف دولتی برای برنامه ریزی ، سازندگی ، حفظ و عملیاتی نمودن بزرگراه ها خرج می شود .

علاوه بر این ، اشتیاق امریکایی ها برای داشتن اتومبیل از دهه اول سال ۱۹۲۰ ، زمانی که هنری فرد ماشینی با مدل T ساخت که خرید آن برای تمامی افراد حتی با درآمد متوسط نیز ممکن بود افزایش یافت . این افزایش خود موجب ایجاد جنگها ، تحریمهای اقتصادی بنزین ، افسردگی و رکود اقتصادی و تقریباً هر چیز دیگری که در جامعه اتفاق می افتاد گردید

. همانطور که در نمودار ۱-۲ می بینید مقدار مسافت طی شده توسط اتومبیل ها در سال ۱۹۶۸، ۱،۶ تریلیون و در سال ۱۹۸۷ ۳،۲ تریلیون کیلومتر می باشد . اگر این روند همچنان ادامه پیدا کند ۵ تریلیون کیلومتر نیز حتی دور از ذهن نخواهد بود . این روند رو به افزایش ، یکی از مشکلات عمده ای است که مهندسين ترافیک با آن مواجه هستند . اهمیت بزرگراه ها از یک سو و مشکلاتی که در افزایش گنجایش سیستم ، ((مخصوصاً در مناطق شهری)) از سوی دیگر به وجود آمده باعث شده روند رو به افزایش استفاده از اتومبیل مستقیماً در افزایش تراکم در بزرگراه ها تاثیر گذار باشد .



شکل ۱-۲ آمار سفرهای انجام شده بین سالهای ۱۹۴۰ تا ۲۰۰۰ برحسب کیلومتر-وسیله نقلیه در هر سال.

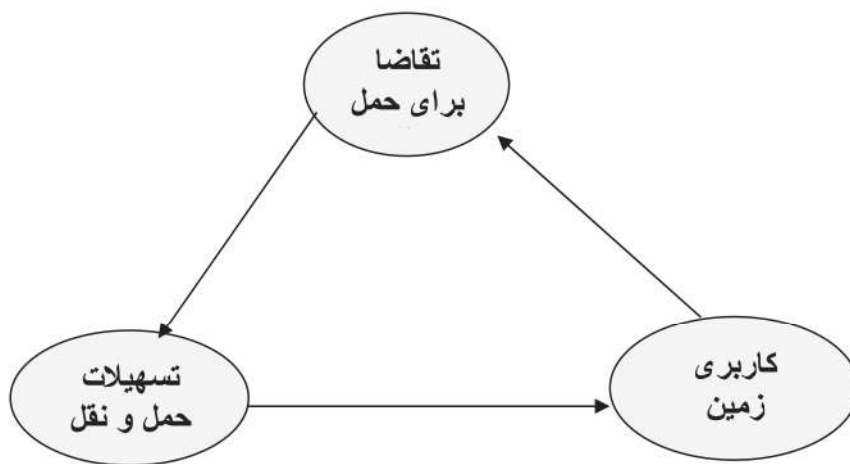
۱-۲-۱- طبیعت تقاضای حمل و نقل :

تقاضای حمل و نقل مستقیماً با کاربری زمین و تسهیلات موجود جهت سفر در ارتباط است .

شکل ۱-۳ این روابط مهم و اساسی را نشان می دهد که مدور و در حال افزایش است . تقاضای حمل و نقل با توجه به انواع ، میزان استفاده از زمینها و همچنین موقعیت مکانی آن بوجود می آید . برای مثال ، مسافتی که یک نفر برای رفتن به سر کار طی می کند از محل زندگی وی تا محل کار و تعداد دفعاتی که وی این مسیر را طی می کند نیاز به حمل و نقل را تعیین می کند .

طراحان سیستم حمل و نقل و مهندسين ترافیک سعی در ایجاد گنجایش لازم برای مسافران و استفاده کنندة های پیش بینی شده دارند . بهبود سیستم حمل و نقل ، دسترسی به مناطق نزدیک و حومه را راحت تر کرده . بنابراین توسعه این زمینها نیز به مراتب راحتتر می باشد. از اینرو ساختن تسهیلات و امکانات حمل و نقل موجب افزایش استفاده از زمین های در حال توسعه می شود که این خود نیز نیاز به سیستم حمل و نقل بهتر را در بر می گیرد .

این ویژگی مدور و گردشی ، معضلی را ایجاد می کند که افزودن گنجایش سیستم حمل و نقل خود موجب افزایش ترافیک و رفت و آمد می شود . در بسیاری از کشورها این معضل موجب شده تا مسئولان سیستمهای حمل و نقل از کاراکترهایی مانند وسایل نقلیه عمومی و کار پولینگ (که در این سیستم ، یک نفر دوستان هم مسیر خود را به مقصد می رساند . بنابراین تعداد ماشین کمتری در خیابانها خواهد بود .) استفاده نمایند . در بعضی از شهرها داشتن سیستم بزرگتر و ایجاد گنجایش افزون در بزرگراهها دیگر از اهداف سیستم حمل و نقل نیست چرا که سیستم حمل و نقل در این کشورهای پر تراکم و ازدحام و در حال غرق شدن می باشد . در این شهرها توجه بیشتر به بهینه سازی بزرگراه های موجود و حذف باریک راه ها می باشد . و روش دیگر آنکه ، تغییراتی در ساعتها و روزهای کاری انجام شود تا ترافیک پر ازدحام در ساعت های خاص کاسته شود و راه حل دیگر توسعه مراکز اقماری ، در خارج از محدوده تجاری می باشد تا میزان رفت و آمد ها به مراکز تجاری داخل شهر کاهش پیدا کند . از طرف دیگر ، در بسیاری از شهرها تقاضا توسط ظرفیت محدود نمی گردد . و تلاش همیشگی برای سامان بخشیدن به این تقاضا عملی می باشد . و این در حالیست که اگر اقدامات لازم برای کنترل و مدیریت ظرفیت و تقاضا صورت نگیرد ، این روند رو به افزایش و مدور تقاضا (شکل ۱،۳) ، همواره تراکم را افزایش می دهد .



شکل ۱-۳ طبیعت تقاضای حمل و نقل .

درک این مطلب توسط مهندسين ترافیک بسیار حائز اهمیت می باشد . این مسئله بسیار پیچیده است و در هیچ زمانی نباید آنرا نادیده گرفت . زمان استفاده و عدم استفاده از تکنیکهای پیش بینی تقاضا به نظر فردی مهندسين ترافیک بستگی دارد . در تصمیمات و پیشنهادات در این زمینه ، تنها نباید به این مطلب توجه کرد ، بلکه عدم توانایی مسئولان را در پیش بینی دقیق و تاثیرات آنها را نیز باید در نظر گرفت . پیش بینی ده ساله تقاضای ترافیک که تقریباً ۲۰٪ ارزش واقعی را دارد ، خود یک موفقیت مهم می باشد . و از طرفی واقعیت این است که مسئله تراکم هیچگاه مهندسين ترافیک را به حال خود نخواهد گذاشت . ولی با وجود این ما همچنان تاثیر حمل و نقل را بر میزان مساحت اشغال شده کم اهمیت می پنداریم .) یعنی اینکه سیستم حمل و نقل زمینهای زیادی را اشغال می کند را جدی نمی گیریم) . اغلب با طراحی تسهیلات نوین در حمل و نقل ، تقاضا نیز روند رو به افزایش دارد . نمونه این مسئله را در نیویورک بخوبی می توان مشاهده کرد . زمانی که بزرگراه لانگ ایسلند ساخته شد ، تعداد ساکنین شهر نشین ، افزایش چشم گیری پیدا کرد برای مثال زمانی که خروجی ۷ بزرگراه ساخته می شد ، خانه های جدیدی در محل خروجی ۱۰ که جهت توسعه در آینده در نظر گرفته شده بود ، در حال ساخته شدن بود . و این در حالی بود که ممکن بود تسهیلات لازم برای زندگی تا سالها در آن مناطق آماده نباشد . در نتیجه بزرگراه مرحله به مرحله ساخته شد و بزرگراهی که جهت پیش بینی تقاضای سفر در ۲۰ سال آینده احداث شده بود ظرف مدت چند سال به ظرفیت اصلی رسید . این پروسه در چندین جای دیگر نیز تکرار گردیده است .

۲-۲-۱- مفهوم سیاری و دسترسی

سیستم حمل و نقل در یک جامعه بر آن است تا سیار بودن و در دسترس بودن را فراهم کند . این دو واژه به هم مرتبط هستند ولی از اجزای مختلفی تشکیل شده اند . سیاری به معنای توانایی رفت و آمد به مقاصد مختلف و دسترسی به معنی سهولت رسیدن به مناطق و مقاصد مختلف می باشد .

سیاری به مسافران حق انتخاب زیادی می دهد تا به جایی که می خواهند بروند و همچنین این امکان را به خریداران می دهد تا از هر مرکز خریدی که می خواهند خرید کنند و نیز این امکان را به افراد می دهد تا برای اهداف مختلفی مانند تفریحی، درمانی ، تحصیلی ، مسافرت کنند و یا مسیرهای طولانی برای رفتن به محل کار را طی کنند .

داشتن حق انتخاب بالا متأثر از یک شبکه کارای حمل و نقل می باشد که سفر به مقصد های مختلف را طی زمان آسایش و هزینه مناسب ممکن می سازد .

دسترسی عامل مهمی در ارزش یک زمین می باشد . وقتی زمینی قابل دسترسی از مناطق مختلف باشد، زمینه بیشتری برای توسعه دارد . بنابراین از ارزش بالاتری برخوردار است . از اینرو نزدیک بودن به بزرگراه های اصلی و تسهیلات حمل و نقل عمومی خود یک ارزش مهم محسوب می شود . سیار بودن و در دسترس بودن را همچنین می توان در قسمتهای

مختلف یک سفر مورد بررسی قرار داد. سیاری را در کل مسیر در نظر می گیرند و آن متاثر از کارایی وسیله نقلیه ای است که مسافر را از مبدا تا مقصد جا بجا می کند. دسترسی، توانایی انتقال سیستم حمل و نقل به مقصد مورد نظر می باشد. پس، دسترسی بستگی بالایی به تسهیلات حمل و نقل دارد برای مثال محل پارکینگ، ایستگاه و محل بارگیری، همانطور که بعد ها در فصل ۳ به آن خواهیم پرداخت، بیشتر سیستمهای حمل و نقل به گونه ای طراحی شده اند که این دو ویژگی سیاری و دسترسی را از هم مجزا کنند بگونه ای که این دو همواره در حال رقابت می باشند و با هم سازگار نیستند. در سیستم بزرگراهها هدف سیاری با ساختن بزرگراهها، آزاد راهها و شریانی های درجه یک و دو تامین می شود. دسترسی نیز معمولاً با شبکه خیابانی تامین می شود. یک سیستم حمل و نقل کارا باید سیاری و دسترسی را تامین کند و باید بگونه ای طراحی شود که این امر امنیت و کارایی را نیز به همراه داشته باشد.

۳-۲-۱- مردم کالا و وسایل نقلیه

بیشتر فعالیت مهندسين ترافیک در ارتباط با وسایل نقلیه می باشد. سیستمهای بزرگراه ها برای جابجایی امن و کار آمد وسایل نقلیه طرح ریزی و ساخته می شود. با اینکه هدف اصلی، جابجایی وسایل نقلیه نمی باشد ولی هدف، جابجایی مردم و کالایی است که از وسایل نقلیه برای جابجایی استفاده می کنند. این روزه مهندسين ترافیک فعالیت خود را بر مردم و کالا ها متمرکز کرده اند. در حالیکه برای افزایش ظرفیت جهت جابجایی وسائط نقلیه، خطوط بزرگراهی بیشتری باید به بزرگراه ها افزوده شوند، ظرفیت جابجایی مسافر می تواند با افزایش ظرفیت متوسط حمل مسافر افزایش یابد یک خط حرکتی بزرگراهی که دارای ظرفیت حرکتی ۲۰۰۰ وسایل نقلیه در ساعت می باشد را در نظر بگیرید. اگر هر وسیله نقلیه یک نفر را حمل کند هر خط عبوری دارای ظرفیت ۲۰۰۰ نفر در ساعت می شود. اگر بطور میانگین در هر ماشین ۲ نفر باشند ظرفیت دوبر می شود یعنی در هر ساعت ۴۰۰۰ نفر جابجا می شوند. اگر این خط حرکتی به عنوان خط ویژه اتوبوس در نظر گرفته شود ظرفیت جابجایی وسیله نقلیه آن به ۱۰۰۰ اتوبوس در ساعت کاهش می یابد حال اگر هر اتوبوس قابلیت جابجایی ۵۰ مسافر را داشته باشد، ۵۰ هزار مسافر در ساعت در آن خط حرکتی قابلیت انتقال دارند. بازدهی جابجایی کالا امری حیاتی در اقتصاد یک کشور محسوب میشود. تولید محصولات گوناگون در صورتی سود آور می باشد که پروسه رساندن مواد اولیه به جایگاه تولید و سپس عرضه آن در کل کشور یا دنیا جهت مصرف به صورت بهینه و با حداقل هزینه انجام گیرد. با اینحال که حمل مواد اولیه و یا کالاها در مسافتهای طولانی بوسیله ترابری دریایی، ریلی و یا هوایی انجام میگیرد، اما در آخرین گام این فرایند جهت عرضه این محصولات به مغازه های محلی و یا منازل مشتریهای خاص ما ناگزیریم که از ترانزیت کامیونی با استفاده از بزرگراهها بهره بجویم و در این راستا عامل اصلی جهت عملکرد دسترسی مناسب، ایجاد

تسهیلاتی میباید که به کامیونها اجازه دهد تخلیه و بارگیری با کمترین درگیری با سیستم ترافیک صورت گیرد. به طور کلی حمل و نقل در بزرگراه ها از طریق وسایل نقلیه انجام می گیرد بدین جهت طراحی و کنترل سیستم های بزرگراه ها بستگی به ویژگی های خاص وسایل نقلیه و راننده ها دارد اما در نهایت موضوع اصلی جابجایی مردم و کالا ها است نه وسایل نقلیه .

۴-۲-۱- **مد های حمل و نقل:** هنگامیکه یک مهندس ترافیک بطور اصولی با مسئله بزرگراه و مسایل حمل و نقل بزرگراهی برخورد می کند ، باید همواره مسایل مهم دیگری را که با این مسایل مرتبط می باشد ، بعنوان یک عامل مهم متصل به سیستم شبکه ملی و ناحیه ای ، و منطقه ای موضوع را مد نظر قرار دهد .

نمودار شمار ۱-۱ لیست جامعی از چگونگی وضعیت حمل و نقل و عمده استفاده آنها را نشان می دهد :

مهندس ترافیک باتمام این جریانات بطرق مختلف برخورد دارد اتومبیل ها ، اتوبوس ها و کامیونهای ترانزیت را می توان بعنوان استفاده کنندگان عمده از این سیستم نام برد . دسترسی های بزرگراه ها به خطوط آهن ، و ترمینالهای هوایی از عمده ترین مسایل مربوط به جاده ها است . طراحی مخصوص برای استفاده از این تسهیلات ، برای هر دو دسته مردم و وسایل حمل و نقل باید مد نظر قرار گیرد. راههای دسترسی عمومی ، دور برگردانهای داخلی ، پارکینگ ها ، محوطه های پیاده رو و ترمینالهای لازم برای هر دو قشر مردم و حمل و نقل (بارها) از اصولی ترین اساس کار یک مهندس ترافیک می باشد . بعلاوه طراحی یک سیستم همه جانبه سیستم حمل و نقل ، بعنوان یک هدف اصلی در حد اعلای کارائی و حداقل هزینه ها که در ارتباط به همه نوع مسافرت می باشد ، باید همواره مد نظر قرار گیرد .

جدول ۱،۱ : وضعیت مدهای حمل و نقل

وضعیت مد	وظایف عمومی	دامنه تقریبی ظرفیت
سیستم حمل و نقل عمومی شهری		
اتومبیل	حمل و نقل شخصی خصوصی قابل دسترسی برای هر نوع سفر	وسائط نقلیه ۱-۶ نفره برای هر ساعت در هر خط حرکتی بزرگراه تا ۲۰۰۰ وسیله و ظرفیت کل ۴۰۰-۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت برای هر خط حرکتی خیابانهای شریانی
ماشین اجاره ای / تاکسی	حمل و نقل خصوصی یا شراکتی قابل دسترسی یا با برنامه ریزی با قرار قبلی	وسائط نقلیه با جمع سرنشین ۱-۶ نفر محدود به میزان دسترسی وسیله نقلیه
حمل و نقل اتوبوسهای محلی	حمل و نقل عمومی در طول مسیر ثابت با جدول زمانی مشخص و سرعت کم با میزان توقف متعدد	با توجه به ظرفیت ۷۰-۴۰ نفر در هر اتوبوس محدود به جدول زمانی میزان افراد افراد جابجا شده بین ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ نفر ساعت در یک مسیر
اتوبوسهای سریع السیر	حمل و نقل عمومی با مسیرهای ثابت طبق برنامه زمانی مشخص با سرعت بیشتر و توقف های کمتر	در هر اتوبوس ۵۰-۴۰ نفر ظرفیت نشسته محدود شده در جدول زمانی
سفر های کوتاه	حمل و نقل عمومی با مسیرهای قابل تغییر طبق فهرست و برنامه که معمولاً با درخواست انجام می شود .	ظرفیت نشستن قابل تغییر که بستگی به طراحی وسیله نقلیه دارد ظرفیت کل بستگی به تعداد وسایل در دسترس دارد .
وسایل ریلی سبک	وسایل ریلی معمولاً در حد ۱ یا ۲ کابین در طول مسیر مشخص طبق برنامه مشخص	۸۰-۱۲۰ نفر در هر کابین و حداکثر تا ۱۵۰۰۰ نفر در هر ساعت مسیر
وسایل ریلی سنگین	وسایل نقلیه ریلی سنگین بصورت چند واگن در مسیر مشخص جاده ای با برنامه ثابت با حق استفاده از جاده مخصوص در تونل یا در مسیرهای سطحی	۱۵۰-۳۰۰ نفر واگن بستگی به نحوه صندلی ها و مکان های ایستادن تا ۶۰۰۰۰ نفر در هر وسیله (قطار)
معبّر آبی	وسایل حمل و نقل دریایی برای مردم و وسایل نقلیه در مسیر های مشخص با برنامه های مشخص	میزان قابل تغییر بسیار زیاد با توجه به طراحی وسایل و برنامه های آنها

سیستم حمل و نقل بین شهری عمومی		
اتوبوس	حمل و نقل خصوصی بنا به نیاز برای هر نوبت مسافرت با برنامه	همانند وسایل نقلیه عمومی داخل شهری
اتوبوسهای بین شهری	حمل و نقل عمومی داخل مسیرهای مشخص بین شهری و با زمان (معمولاً محدود) با ارائه خدمات به ترمینال مرکزی واقع در هر شهر	۵۰-۴۰ مسافر در هر اتوبوس با برنامه های کاملاً متغیر
حمل و نقل ریلی	ارائه خدمات ریلی به مسافری بین شهری در مسیرهای ثابت معمولاً می رود به جدول زمانی ثابت و ارائه خدمات از طریق ترمینال مرکزی در شهرها یا ایستگاههای بین شهری	۱۰۰۰-۵۰۰ مسافر در هر قطار بستگی به امکانات قطار با برنامه ریزی کاملاً متغیر
هوائی	خدمات هوایی متنوع به مسافری بسته به نوع هواپیما در مسیرهای ثابت و جدول زمانی مشخص	از ۳ تا ۵۰۰ مسافر به ازای هر هواپیما بسته به اندازه و ترکیب هواپیما و جدول زمانی بستگی به مقصد داشته و بسیار متغیر می باشد
آبی	ارائه خدمات حمل و نقل آبی که غالباً بستگی به برنامه ایام تعطیلات داشته و مسیرها و زمان بندی های ثابت انجام می شود .	ظرفیت کشتی ها متغیر از چند صد تا ۳۵۰۰ مسافر با برنامه هاییکه معمولاً محدود است

حمل و نقل بار شهری و بین شهری		
کامیون بار تریلر های طویل	ترکیبی از تریلرهای یک ، دو تایی ، سه تایی بار کشنده بزرگ که در سطح جاده های بین شهری پراکنده می باشند که با برنامه قبلی انجام می شود	
کامیونهای محلی	کامیونهای کوچک تر که در کار توزیع کالاها و خدمات در نواحی شهری مشغولند	<p>با توجه به نوع وسیله و چگونگی ساختمان فنی آنها و همچنین نحوه سرعت آنها و کندی حرکت و دسترسی با برنامه های قبلی</p>
قطار	باربری بین شهری اقلام فله همراه یا توزیع محلی به برخی از نقاطی که دارای خط بارگیری راه آهن می باشد .	
آبی	باربری بین شهری و بین المللی اقلام فله و حجیم با استفاده از کشتیهای کانتینر بر و یدک کش ها	
باربری هوایی	بین المللی یا بین شهری با بسته هایی با ابعاد کوچک و متوسط و حساس به زمان یا اقلام گرانبها که صرف هزینه های بالا در آن مهم نباشد .	
خطوط لوله ای	برای انتقال سیالات و اقلام گازی و برای توزیع بین شهری و شبکه های محلی در حد امکانات خطوط کشیده شده .	

۳-۱- قوانین بزرگراه و تاریخچه آن در ایالات متحده

توسعه سیستم بزرگراه ها در امریکا ، بطریق بسیار قدرتمندی بستگی به قوانین دولت فدرال و پشتیبانی آن در این فعالیت دارد . کلیه قوانین تاریخی و اعمال آنها ، در قسمت زیر آمده است :

۱-۳-۱- دروازه ملی و ایجاد قوانین ایالتی

قبل از سال ۱۸۰۰ میلادی، جاده های احدائی کمی تمیز تر از جاده های خاکی و مال رو بود که فقط توسط ماجراجویان و محققین مورد استفاده قرار می گرفت. در اواخر سال های ۱۷۰۰ میلادی، تازه جاده های خصوصی تازه نمایان شده بود

این جاده ها در کیفیت و طول از شبکه جاده های مال رو تا جاده هایی که بوسیله تخته مهیا و تکمیل می شد، اتصال داشت. این جاده ها بوسیله مالکین خصوصی ساخته شده بود و اگر وجوهی نیز در راه استفاده از این جاده ها بدست می آمد، برای همین جاده ها و بهبود و تعمیرات آن مصرف می شد.

در ابتدا هنگامیکه لازم بود وجوهی جمع آوری شود، موانعی در مسیر این جاده ها توسط مالکین آن ایجاد می شد و این موانع عبور و مرور افراد را مختل می کرد. بعد از جمع آوری وجوه مناسب، مانع که معمولاً یک مانع ساده بود، برداشته می شد و اجازه عبور و مرور به افراد و وسایل آنها داده می شد. این همان چیزی است که امروزه بصورت ایجاد مانع برای دریافت عوارض عبور و مرور از استفاده کنندگان، ایجاد شده است.

دروازه ملی: در سال ۱۸۱۱ میلادی، ساختمان اولین بزرگراه زیر نظر سیستم حکومت فدرال شروع شد که بنام جاده کامبرلاند و یا دروازه ملی شناخته شد. این بزرگراه به طول ۱۳۰۰ کیلومتر امیرلندام دی در شرق تا وندلیا ای ال در غرب ادامه داشت. این جاده که بصورت خاکی و تخته گذاری شده ایجاد شده بود در سال ۱۸۵۲ با هزینه ای بالغ بر ۶٫۸ میلیون دلار امریکایی، باتمام رسید. یک اقدام خوب در یک مسیر اصلی حساس که اکنون بعنوان روت ۴۰ شناخته شده است.

بزرگراه ها بعنوان یک حقوق ایالتی

دوره توسعه بزرگراه در امریکا به هر صورت دچار تغییرات کلی در سال ۱۸۳۲ میلادی گردید. این تغییرات توسط رئیس جمهور آندریو جکسون ایجاد گردید. پیشنهاد اصلی بعنوان حقوقی برای ایالت که توسط رئیس جمهور جکسون ابراز شده، این بود که مسئولیت ایجاد ساختمان و جاده ها و تردد و حمل و نقل، وظیفه دولتی نیست، بلکه بعنوان یک وظیفه اختصاصی به هر ایالت، مربوط می شود. عمده ترین نقطه نظراتی که بعداً در این قانون بوجود آمد، این مسئله را دنبال می کرد که ایجاد بزرگراه و قوانین مرتبط با آن باید در حیطه وظایف ایالتی باشد.

زمینه های حکومتی

اگر برنامه ریزی، طراحی، ساخت و ساز و نگهداری و عملیات مربوط به سیستم بزرگراه را بعنوان وظیفه ایالتی بنامیم. پس در این صورت نقش آژانس های فدرال چه خواهد شد؟

برای مثال تکلیف اداره حمل و نقل و دواير مربوط به آن، مثل اداره بزرگراه فدرال، اداره بزرگراه های ملی و دیگر ادارات و سازمانهای وابسته در این پروسه چیست؟

دولت فدرال در رابطه با بزرگراه ها، وظایف قانونی خود را انجام می دهد. این وظایف مانند نظارت و کنترل عالیه سیستم بزرگراه های دولت فدرال، سبب مصرف وجوه قابل توجهی از اعتبارات دولت فدرال می شد. این وجوه برای ساخت، عملیات نگهداری آنها، بزرگراه ها و سایر سیستم های حمل و نقل به مصرف می رسید. سپس در همین راستا، از ایالتها خواسته شده تا استانداردهایی را در این رابطه ایجاد نمایند و تاکیدات حکومت فدرال را در این زمینه دنبال نمایند. و رویه ای را انتخاب نمایند که وجوه دولتی در مسیر صحیح بمصرف برسد.

بنا براین حکومت فدرال ایالات را برای انجام کمک به دولت فدرال در زمینه حمل و نقل تحت فشار قرار نمی دهد. اگر قرار باشد که بعنوان شریک و همکار انتخاب شوند، باید تابع قوانین مربوط به دولت فدرال باشند. اگر ایالتی توانایی ارائه این منابع عظیم مالی را به دولت فدرال نداشته باشد آنگاه حکومت فدرال کنترل بسیار جدی را بر روی این سیاست و استاندارد ها اعمال می کند.

نقش دولت فدرال در سیستم بزرگراه از ۴ مولفه عمده تشکیل شده است:

۱- پذیرش مسئولیت مستقیم در سیستم های بزرگراه در روی زمین های دولتی (در مالکیت دولت) مثل پارکهای ملی و منابع بومی امریکا به عهده دولت فدرال می باشد.

۲- تهیه کمکهای مالی مطابق با قوانین وضع شده فعلی فدرال در زمینه حمل و نقل می باشد.

۳- توسعه برنامه ریزی، طراحی و سایر استاندارد های مرتبط و خط مشی هایی که باید جهت دستیابی به دریافت وجوهی که به منزله مساعدتهای مالی دولت فدرال در امر حمل و نقل هستند پی گیری شود.

۴- نظارت و اعمال فشار با در نظر گرفتن استاندارد ها و معیارهای دولت فدرال جهت استفاده از وجوه دولت فدرال در نظر گرفته شده باشد.

دولت ایالتی مسئولیت اولیه درباره برنامه ریزی، طراحی و ساخت و نگهداری و عملیات بزرگراه ها را مستقیماً بعهده دارد. این اقدامات معمولاً از طریق اداره ایالتی راه و ترابری یا آژانس های مشابه که دارای شرایط ذیل می باشند صورت می گیرد.

۱- مسئولیت پذیری کامل برای اداره سیستم بزرگراه

۲- مسئولیت کامل برای برنامه ریزی، طراحی، ساختمان و نگهداری و عملیات سیستم بزرگراه.

این مسئولیت ها و نحوه انجام آنها در کنفرانسهایی که در رابطه با استاندارد های اجرا شدنی و نحوه اجرای آنها می باشد، گفته می شود.

۳- حق وکالت دادن در مورد مسئولیتهای مستقیم جاده های محلی و تفویض اختیار قانونی به آژانسهای محلی و حکومت های محلی دارای مسئولیت عمومی و برای قانونگذاری در سیستم جاده ها.

در یک حکومت محلی، مسئولیت برنامه ریزی، طراحی، ساختمان و نگهداری و کنترل سیستم جاده ای با آن حکومت می باشد. همکاری بین حکومت فدرال با حکومت های محلی برای بهتر عملی شدن این قوانین، همواره برقرار است. در رابطه با تقسیم و یا قطع نقاطی در بزرگراه ها و خطوط جاده ای محلی، این حکومت ایالتی است که دارای مسئولیت و کنترل و اعمال نظر می باشد. تشکیلات محلی برای عملیات بزرگراه بدین صورت طبقه بندی می شود که از تشکیلات مربوط به حمل و نقل بزرگراه در مقیاس بالا شروع و تا مسئولیت اقدامات یک افسر پلیس و یک مهندس ترافیک ختم می شود. همچنین تعدادی شرایط خاص نیز در دور و بر این قوانین وجود دارد. برای مثال در ایالت نیویورک، تشکیل اداره مهم (قانون منزل) که حاکم بر هر شهرداری محلی است، وجود دارد. این اداره در شهرداریها که کلاً دارای یک میلیون نفر جمعیت و بیشتر می باشند وجود دارد. در تحت لوای این تدارک، شهر نیویورک دارای اختیار قانونی تام بر روی کلیه بزرگراه ها در تمام مدت شبانه روز است علاوه بر اینها، مسئولیت سیستم های بزرگراه، نیز با اوست.

۲-۳-۱- قوانین مایل استون:

قانون مساعدت های فدرال جهت بزرگراه مصوب سال ۱۹۱۶: اولین قانونی بود که در آن پیش بینی وجوهی برای ساخت بزرگراه بوسیله دولت را نشان می داد. این قانون شامل تامین سیستم اولیه، ثانویه و نهایی قانون بزرگراه ها و پیش بینی ۵۰٪ وجوه مربوط به کمکهای دولت فدرال به ایالات جهت مطالعات برنامه ریزی و سایر سرمایه گذاری ها می شد. و این تسهیلات از درآمد عمومی دولت فدرال تامین می شد. و این قانون هر ۲ تا ۵ سال با افزایش کمکی بازنگری می شد.

قانون مساعدت های فدرال جهت بزرگراه مصوب سال ۱۹۳۴: به منظور بازنگری در تامین سیستم اولیه، ثانویه و نهایی این قانون به ایالات اجازه می داد که تا ۱/۵ درصد از کمک های دولت فدرال را جهت مطالعات و طراحی سیستم بزرگراهی صرف نمایند این خود بیانگر ورود دولت فدرال در عرصه طراحی بزرگراهها می باشد.

قانون مساعدت های فدرال جهت بزرگراه مصوب سال ۱۹۴۴: این قانون حاوی نکات مهم و اساسی است که بموجب آن معلوم می شود که چه نتیجه ای از اجرای سیستم ملی بین ایالتی و بزرگراه های دفاعی، حاصل می شود در این قانون هیچگونه اصلاحیه ای که برای برداشت وجوه، لازم باشد پیش بینی نشده و سیستم برای ۱۲ سال آینده بهمین صورت خواهد بود. و هیچ تغییر اساسی در فرمول این کمکها تا ۴۰ سال ایجاد نگردید.

قانون مساعدت های فدرال جهت بزرگراه مصوب سال ۱۹۵۶: در سال ۱۹۵۶ تصویب و اختصاص منابع مالی لازم برای بکارگیری و تجهیز سیستم ملی بین ایالتی و بزرگراههای دفاعی صورت پذیرفت. در این قانون سهم دولت فدرال به میزان

۹۰٪ مشخص شده است که برای اولین بار از سال ۱۹۱۶، در این قانون، نحوه جمع آوری وجوه و سهم دولت تغییر یافته است.

بخاطر فشار وارده به منابع مالی دولت فدرال، دولت در این قانون برای اولین بار نحوه تامین قسمتی از منابع مالی را پیش بینی نمود که بر اساس آن استفاده کنندگان از بزرگراه ها باید مالیاتی را برای این استفاده بپردازند. همچنین در این قانون بر کلیه عواملی که بر این طرح بنحوی دخالت داشتند، مثل لوازم یدکی اتومبیل و بنزین و روغن و خرید اتومبیل نیز مالیاتی وضع کرد.

قسمت اعظم این مالیات، بغیر از مالیات بر بنزین، در زمان ریاست جمهوری آقای نیکسون کاهش داده شد.

قانون مساعدتهای فدرال جهت بزرگراه مصوب سال ۱۹۷۰

این قانون همچنین به نام قانون امنیت بزرگ راهها در ۱۹۷۰ شناخته شد. در این قانون وجوه بلا عوض سهم دولت تا میزان ۷۰٪ جهت بزرگراههای ایالتی تعیین شد. همچنین در این قانون بکلیه ایالات امریکا توصیه شده است که آژانس هایی برای این منظور ((جهت امنیت بزرگراهها)) و چگونگی انجام پروژه های بزرگراهها، تشکیل شود.

قانون مساعدتهای فدرال جهت بزرگراه مصوب ۱۹۸۳

این قانون به ایالتها اجازه می داد، منابعی را جهت بهبود ترافیک شهری و شهرسازی برای شهروندان امریکا از بودجه فدرال، مصرف نمایند. این امر تاریخی برای اولین بار، این اجازه را اعطا نمود که از مالیات اخذ شده از کاربران جاده ای برای بهبود وضعیت حمل و نقل عمومی شهری استفاده شود.

21. ISTE¹ AND TEA²

این قانون، مهمترین و بزرگترین قانون پروژه بزرگ راهها در امریکا می باشد در این قانون طرق دسترسی محلی و حمل و نقل و منابع آن مشخص شده که بنام قانون (ISTEA) معروف گردیده است. که در سال ۱۹۹۱ به تصویب رسیده است. بموجب اصلاحاتی که بمرور در این قانون بدست آمد، قانون حمل و نقل مناسبی با رعایت تساوی حقوق شهروندی در قرن ۲۱ (TEA21) در سال ۱۹۹۸ شناخته شد.

نکته مهم اینکه این قانون ترکیبی از قانون فدرال و قوانین اولیه می باشد که هر نوع مد حمل و نقل بطور وسیع در آن دیده شده است. و به کلیه ادارات ایالتی و دولتهای محلی آزادیهایی را جهت اخذ تصمیمات در چگونگی استفاده از مدهای حمل و نقل می دهد.

¹ - Inter modal surface transportation Efficiency act

² - Transportation equity act for the 21st century

در این قانون موارد زیر معلوم شده است :

- ۱- افزایش اختیار حکومت های محلی در نحوه استفاده از کمک های دولت فدرال.
- ۲- افزایش امکانات و جمع آوری وجوه جهت سازمانهای برنامه ریزی کلان شهرها و افزایش اهمیت و بودجه آنها (MPOs). و با این تاکید که هریالت دارای طرح بهبود حمل و نقل ایالتی را حفظ نماید (stip)
- ۳- جذب منابع حاصله از مالیات حمل و نقل دولت فدرال برای بهبود قانون هوای سالم و اصلاح قانون .
- ۴- اجازه مصرف اعتبار ۳۸ میلیارد دلار برای ایجاد ۲۴۸۰۰۰ کیلومتر سیستم بزرگراهی ملی در ایالات متحده امریکا
- ۵- اجازه مصرف ۷/۲ میلیون دلار اعتبار اضافه برای تکمیل بزرگ راههای بین ایالتی و همچنین تخصیص ۱۷ میلیارد دلار برای اصلاح آن ، به عنوان قسمتی از سیستم بزرگ راههای ملی در امریکا .
- ۶- افزایش تا میزان ۹۰٪ استفاده از وجوه دولت فدرال برای پروژه های واجد شرایط بین ایالتی.
- ۷- ترکیبی از بقیه وجوه دولت فدرال در قالب یک اعتبار واحد برای سیستم حمل و نقل ملی با ۸۰٪ از وجوه اولیه دولت مرکزی .
- ۸- ایجاد مراکز مشخصی در بزرگ راهها برای اولین بار بمنظور جمع آوری عوارض بزرگ راهها از استفاده کنندگان از بزرگ راهها از منابع دولت فدرال .

Tea 21 ((مصوبه یکسان سازی حمل و نقل)) در موارد زیر نیز طبقه بندی شده :

افزایش میزان وجوه

افزایش اختیارات در تخصیص اعتبارات توسط ایالات محلی

افزایش استانداردهای یکپارچگی سیستم حمل و نقل

تداوم ارتباط بین استانداردهای هوای سالم و اعتبارات مربوط به حمل و نقل ایالتی دولت فدرال .

ایجاد سیستم بزرگ راههای ملی. این مصوبه پاسخ لازم را به سوالی که سالها مطرح بود، بیان داشت و آن اینکه، نتیجه ایجاد

این سیستم چه خواهد بود؟

ایجاد تسهیلات در روان سازی جاده ای به میزان ۳ برابر نسبت به قبل از این قانون که قسمتی از NHS

می باشد .

۳-۳-۱- سیستم ملی بین ایالتی و بزرگراههای دفاعی :

سیستم روابط جاده ای بین ایالات مختلف امریکا ، به عنوان یکی از بزرگترین پروژه های مطرح در تاریخ زندگی بشریت

بوده است .

در ۱۹۱۹ یک افسر جوان آمریکایی بنام دوایت ایزنهاور، که وظیفه انتقال ارتش در اختیار خود و وسایل آنها را داشت، باید این ارتش و وسایل آن را از بنادر و جاده های مختلف آمریکا به موقع برای جنگ عبور می داد. بعلت نبودن جاده های مناسب، این عبور ماهها بطول کشید و ایزنهاور را باین فکر واداشت که نیاز به بزرگ راههایی جهت عبور ارتش در آمریکا می باشد. این یک اتفاق نبود که برای اولین بار در دوران حکومت ایزنهاور مسئله بزرگ راهها در آمریکا مطرح شد. و اکنون نیز همزمان باقانون بزرگ راه ها، نام ایزنهاور با آن آورده می شود.

بعد از خاتمه جنگ جهانی دوم، حکومت های کشور ها به این فکر افتادند که سطح کیفی زندگی مردم خود را افزایش دهند و برای این منظور بعنوان قدم اول داشتن اتومبیل یکی از ابزار های مهم دست یابی به این تفکر، احساس شد. برای این منظور افزایش تعداد اتومبیل داران مد نظر قرار گرفت. که بموجب آن صاحبان اتومبیل بتوانند روزانه امور جاری خود را با استفاده از اتومبیل انجام دهند و در پایان هفته نیز برای تمدد اعصاب و آرامش از اتومبیل خود برای گردش استفاده نمایند. گروه هایی نیز در آمریکا تشکیل شد (AAA³) آژانس هایی بودند که اساسی ترین هدف آنها برنامه ریزی بمنظور ایجاد و توسعه سیستم بزرگراه ها بود.

در همین ایام صنعت کامیون سازی و کامیون داری سعی در ایجاد و شناخت مسیرهایی بمنظور مقابله با هزینه های انحصاری و بالای حمل و نقل بین شهری در مقابل حمل و نقل ریلی را مد نظر قرار داد. صنعت کامیون داری همچنین سعی در طی نمودن مسیرهایی برای بهره برداری از اتوبان ها نمود. این رویه های به افتتاح سیستم های بین ایالتی در سال ۱۹۵۶ منجر گردید.

مفهوم سیستم

تصویب قانون بزرگراه در ۱۹۴۴ و اجرای آن در سال ۱۹۵۶ به نام قانون سیستم ملی بین ایالتی و بزرگراه های دفاعی، عبارت است از ایجاد ۶۸۰۰۰ کیلومتر سیستم جاده بین ایالتی با امکانات محدود دست یابی محلی. این سیستم بطریقی طراحی شده بود که تمامی نواحی را که از نظر آماری دارای تمامی استانداردهای کلان شهرها هستند را به هم متصل می نمایند (SMSA⁴) باجمعیت استفاده ۵۰۰۰۰ عضو یا بیشتر و امکان دست یابی محدود محلی. اختصاص ۹۰٪ هزینه های سیستم از منابع دولت مرکزی حکومت فدرال این گونه توجیه گردید که این بزرگراهها پتانسیل استفاده ارتش در زمان جنگ جهت ترابری نظامی را داشته باشند.

³ - American Automobile Association

⁴ - Standard metropolitan Statistical areas

ویژگیهای سیستم

مشخصات سیستم بین ایالتی شامل موارد زیر می باشد :

- ۱- تمام بزرگراه ها حداقل دارای دو مسیر مجزا در دو جهت جاده باشند. (برای عبور و مرور و ترافیک انحصاری)
- ۲- تمام بزرگراه ها دارای سیستم کنترل دسترسی جاده ای باشند .
- ۳- سیستم باید تشکیل یک حلقه بسته را بدهد . عبارت دیگر هر یک از بزرگراه ها باید دارای یک نقطه شروع و یک خاتمه باشند و که این نقطه مرتبط با نقطه شروع بزرگراه ایالت بعدی باشد .
- ۴- مسیرهای شمالی جنوبی باید دارای کد دو رقمی فرد باشند مثل (I-۹۵)
- ۵- مسیرهای شرقی غربی باید دارای کد دو رقمی زوج مثل (I-۸۰)
- ۶- مسیرهای بین ایالتی که بعنوان حلقه های میان بر عمل می کنند یا اتصال دهنده به جاده های دسترسی اولیه بین ایالتی می باشند می بایست دارای کد مسیر سه رقمی باشند که دو رقم آخر آن نشانگر مسیر اولیه می باشد .



شکل ۴-۱ نقشه سیستم بین ایالتی آمریکا

وضعیت و هزینه ها

تا سال ۱۹۴۴ سیستم تا ۹۹,۴٪ تکمیل شد اکثر قسمتهای خاتمه نیافته به دلایل چندی ، انتظار تکمیل آنها هرگز وجود نداشت. کل هزینه های اجرایی تخمین زده شده ۱۲۵ میلیارد دلار می بود. تاثیر سیستم بین ایالتی بر روی مردم برای صرف

این بودجه، قادر به درک نیست. این سیستم تسهیلاتی را برای قشر کارگر در امریکا ایجاد کرده بود، بطوریکه کارگران براحتی از ایالتی که در آن زندگی می کردند، به ایالتی که در آن کار بود مراجعه مینمودند فروشگاه های ایالتی که در آن بوجود آمده بود، بضرورت از حالت سنتی خارج شده و تشکیل فروشگاه های زنجیره ای بزرگ را دادند (CBDS⁵ به Malls).

سیستم هم چنین تاثیرات منفی جدی را از نظر محیطی بر نواحی اطراف خود وارد آورد عبور بزرگ راه های عظیم از داخل ایالات، موانع فیزیکی، برای تردد و دست رسی آسان اهالی به بعضی از مراکز داخل شهر ها مثل مدارس و کلیسا ها و را نا ممکن می نمود و رفتارهای نابهنجار اجتماعی در بعضی از مناطق کشور موجب شده که در نهایت بدلیل ایجاد اصلاحات اساسی در زمینه اطلاع رسانی و همچنین بدلیل وجود مخالفان، بسیاری از پروژه های بزرگراهی متوقف شوند. بین سال های ۱۹۴۴ تا ۱۹۵۶، آرای عمومی بر احداث بزرگ راه های ارتباطی ایالتها، به دو صورت ایجاد آنها هم در داخل و هم در خارج و هم بصورت ایجاد مسیرهای کمربندی در اطراف شهرها، اصرار داشت. حامیان نظریه جاده های کمربندی اعتقاد داشتند که این نوع مسیرها با حضورشان در داخل و خارج شهر می توانند ترافیک سنگین شهری را موجب شوند. از طرف دیگر کلیه کسانی که از این مسیرهای ارتباطی بهره گرفتند افرادی بودند که در شهرها زندگی می کردند و به واسطه مالیاتی که می پرداختند، انتظار سرویس دهی مناسب را نیز داشتند. نقطه نظر گروه دوم بیشتر مورد توجه قرار گرفته است اما رشد ترافیک شهری هم حقیقتی انکار ناپذیر است.

۴-۱- اجزا مهندسی ترافیک

در مهندسی ترافیک چندین اصل کلیدی وجود دارد:

- ۱- مطالعات ترافیک و ویژگی های آن
- ۲- ارزیابی عملکرد
- ۳- طراحی تسهیلات حمل و نقل
- ۴- کنترل ترافیک
- ۵- عملیات ترافیکی
- ۶- مدیریت سرویس های حمل و نقل
- ۷- یکپارچگی سازی روشهای هوشمند حمل و نقل

⁵ - Central business districts

مطالعات ترافیک و شناخت چگونگی آن در سنجش و تعیین کمیت ترافیک بخشهایی از بزرگراه ها دخیل است . این مطالعات به جمع آوری داده ها و بررسی آنها تمرکز دارد و در نهایت خواص ترافیکی بزرگراه ها از قبیل ، حجم ترافیک و تقاضاهای های آن ، سرعت ، زمان مسافرت های شهری ، تاخیر ها حوادث ، مبداء و مقصد و سایر عوامل موثر را نیز تعیین می کند .

ارزیابی عملکرد وسیله ای است که توسط که مهندسان ترافیک بخشهایی از تسهیلات حمل و نقل را بصورت کلی و جزئی مورد بررسی قرار می دهند . این مطالعات به جمع آوری داده ها و بررسی آن ها متمرکز است که چگونگی ترافیک مسیر های مختلف را می نمایند . این ارزش گذاری بر اساس حروف الفبای انگلیسی و بر اساس سنجش کیفیت سیستم (سطح سرویس) از A تا F مشخص می شود . هر کدام از این حروف معرف کیفیت سرویس دهی تسهیلات حمل و نقل و عمل کرد آن می باشد . رتبه A سرویس دهی بسیار عالی و F عدم موفقیت در سرویس دهی مناسب را مشخص می کند ، توانایی حمل و نقل می بایست به عنوان مسئله ای مهم در ارزش گذاری سیستم های ارتباطی تعیین شود . طراحی تسهیلات حمل و نقل ، مهندسان ترافیک را به طراحی هندسی و عملکردی بزرگراه ها و سایر تسهیلات ترافیکی راهنمایی می کند . مهندسان ترافیک ، مسئولیت طراحی سازه بزرگراه ها را بعهده ندارند ، اما می بایست نیم نگاهی هم به ویژگیهای ساختاری و عملکرد آن در طراحی های خود داشته باشند .

کنترل ترافیک وظیفه اصلی مهندسين ترافیک است و آن ایجاد قوانین ترافیکی است و جهت برقراری ارتباط با رانندگانی که از ابزار کنترل ترافیک مانند علائم ، خط کشی ها و چراغهای راهنمایی بهره می برند .

عملیات ترافیکی ، اثرات عملکرد کل شبکه حمل و نقل را مورد سنجش قرار می دهد ، از جمله سیستم خیابانهای یک طرفه ، عملکرد حمل و نقل عمومی ، محدودیتهای بخش مدیریت و سیستم کنترل شبکه.

مدیریت سیستم شبکه حمل و نقل (TSM⁶) تمامی بخشهای مهندسی ترافیک را با تمرکز بیشتر بر بهینه سازی توانایی های سیستم شامل می شود . بخشی از (TSM) به بررسی رفت و آمد وسائط نقلیه سنگین ، سیستم تعمیرات بزرگراهی و تعیین قیمت گذاری در نیازهای مدیریتی و عملکرد های مشابه این می پردازد .

سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS⁷) به تکنولوژی ارتباطات پیشرفته باز می گردد که می تواند ساماندهی و کنترل سیستم های حمل و نقل را به عهده می گیرد .

این روشها بزرگراه هایی با کنترل اتوماتیک ، کنترل عوارض اتوماتیک ، سیستم ردیابی وسائط نقلیه ، سیستم GPS در داخل اتومبیلها ، سیستم چراغهای راهنمایی اتوماتیک و کنترل سرعت و سیستمهای هوشمند و ... شامل می شود .

⁶ - Transportation system management

⁷ - Intelligent transportation system

این روش تکنولوژی را در کنار روشهای بسیار دقیق و قانونمند قرار داده است به گونه ای که مسیر های ترافیکی را همزمان با بررسیهای متخصصان به کمک تسهیلات کنترل ترافیک تعیین می کند.

این کتاب شامل موضوعاتی است که به کلیه مسائل مطرح شده بالا و حرفه پیچیده مهندسان ترافیک می پردازد.

۵-۱ مشکلات مدرن مهندسی ترافیک

ما در دنیایی پیچیده و در حال تغییر زندگی می کنیم . بنابراین مشکلاتی که مهندسان ترافیک با آن درگیر هستند ، به سرعت رو به افزایش است .

ترافیک سنگین شهری برای سالهای زیادی به عنوان موضوع اصلی مطرح بوده است . با وجود چرخه تقاضای حمل و نقل تحمیلی به ما افزایش ظرفیت همیشه راه حلی برای کاهش ترافیک سنگین حومه شهر نمی شود . بنابراین مهندسان ترافیک در گیر توسعه برنامه ها و استراتژی هایی هستند تا به نوعی زمان و مسافت و در قسمتهایی جلوی گسترش آنها را بگیرند . سوال اصلی این نیست که چه مقدار ظرفیت لازم است تا تقاضا را جواب دهد، بلکه در واقع پرسش این است که چه تعداد ماشین یا مردم مجوز ورود به مناطق پر ترافیک را در زمان مشخص دارند . مدیریت ترافیک موضوع اصلی امروز است . بعضی از ایالات قوانینی دارند که مجوز های گسترش را در سطح خدماتی در بزرگراهها و سیستم حمل و نقل محدود می کند .

در جایی که توسعه باعث پایین آمدن قابل توجه کیفیت خدمات ترافیکی می شود ، یا جلوی آن گرفته می شود یا توسعه گر مسئول بهبود ترافیک اتوبانهای عمومی می شود تا تاثیر شرایط منفی را کم کند . چنین سیاستهایی خیلی ساده تر و بهتر با شرایط اقتصادی همساز می شود . وقتی اوضاع اقتصادی در حال رکود است ، مسئله مهم تداخل بین تمایل به کاهش ترافیک سنگین و تمایل به رواج توسعه به عنوان اساس افزایش مالیات است .

باز سازی قسمتهای خدماتی اتوبانهای موجود نیز مشکلات ویژه ای را بدنبال دارد . تمام سیستم های ارتباطی بین شهری ، قدیمی هستند و خیلی از قسمتهای خدماتی آنها نیازمند باز سازی های اساسی هستند .

قسمتی از مشکل مربوط به بازسازی خدمات بین شهری هست که ۹۰٪ سوبسید فدرال را دریافت می کند در حالیکه نگهداری روزمره همان خدمات جزو وظایف اولیه ایالت و دولت محلی است .

جدا کردن نگهداری روز مره این خدمات به طبع بازسازی های اساسی ، نتیجه سیاستهای سرمایه گذاری فدرال در طول سالها بوده است . باز سازی های اساسی و بنیادی بار خیلی سنگینی در پی دارد که مربوط به بازسازی این خدمات نیست مثل نگهداری و حفظ ترافیک . ساختن یک قسمت خدماتی از بازسازی همان قسمت در حالیکه به ۱۰۰۰۰۰ خودرو یا بیشتر سرویس می دهد ، آسان تر است . بنابراین ، مسائل بازسازی های کوتاه مدت و بلند مدت مسیر های انحرافی به

همان اندازه انتقال ترافیک به مسیر های مشخص ، نیازمند طراحی اساسی توسط مهندسان ترافیک است . اخیراً ، موضوع حفاظت و امنیت قسمتهای خدماتی حمل و نقل مطرح شده است . بوجود آوردن فضاهای خدماتی و روند بازرسی سیستماتیک و اتفاقی کامیونها و دیگر وسائط نقلیه در محلهای بحرانی راه کار دیگر است . همانطور که امنیت و حفاظت سیستم های حمل و نقل دیگر مثل راه آهن ، فرودگاه ها و سیستمهای سریع حمل و نقل انجام می شود این لیست ادامه دارد . نکته این است که مهندسان ترافیک نمی توانند انتظار داشته باشند که شغلشان را فقط با روشهای سنتی یا پروژه های سنتی تمرین کنند . مهندس ترافیک مثل سایر شغلها ، باید آماده رویارویی با مشکلات روز باشد و نقش اساسی را در حالیکه با سیستمهای ترافیک یا حمل و نقل در گیر است، بازی کند

۱-۶ - مراجع استاندارد برای مهندس ترافیک

مهندس ترافیک برای به روز بودن و آگاه بودن باید با توسعه مدرن از طریق عضویت و شرکت در انجمنهای حرفه ای ، همراه باشد و دوره کردن معمول شرایط کلیدی دوره ای و آگاهی از آخرین معیارها و استانداردها برای تمرین شغلی او لازم است .

انجمنهای کلیدی شغلی مهندسی ترافیک شامل موسسه مهندسان حمل و نقل (ITE) ، کمیته تحقیقات حمل و نقل (TRB) ، شاخه حمل و نقل انجمن سیویل امریکا (ASCE) ITS امریکا و دیگران می باشد . همه اینها، مطالب را تهیه و مجلات را نگهداری می کنند و ملاقاتهای محلی ، منطقه ای و ملی دارند . TRB شاخه ای از آکادمی ملی مهندسی است و مرجع اصلی مقالات تحقیقاتی و گزارشها می باشد . مانند بسیاری از گرایش های مهندسی ، شغل مهندسی ترافیک دارای مراجع استاندارد و دستور العمل های زیادی است که به اغلب آنها در فصلهای این کتاب اشاره خواهد شد . مراجع اصلی شامل :

- کتاب مرجع مهندسی ترافیک (۱)

- کد مشخص وسائط نقلیه و مدل قوانین اداری ترافیک (۲)

- دستور العمل وسائط مشخص کنترل ترافیک (۳)

- دستور العمل ظرفیت اتوبانها (۴)

- سیاست طراحی ژئومتریک اتوبانها و خیابانها (کتاب سبز AASHTO) (۵)

بعضی از این کتاب ها ویرایشهای اصلی به روز شده ای داشته اند مانند ویرایش ۱، ۳، ۴، ۵. بیشتر استانداردها در دوره های ۵ تا ۱۰ ساله به روز می شوند و مهندس ترافیک باید بداند که تغییرات در استانداردها ، معیارها ، روشها و دیگر قسمتها چگونه بر روی حرفه کاری او تاثیر گذار است .

دستورالعمل های دیگر به وفور و اغلب مرتبط با ویژگیهای خاصی از مهندسی ترافیک یافت می شوند. این مراجع شرایط فعلی هنر مهندسی ترافیک را مشخص می کنند و منابعی که اخیراً مورد استفاده قرار گرفته اند باید جزو کتابخانه شخصی و حرفهای افراد در آید.

در ضمن تنوع سایت های اینترنتی که ارزشهای زیادی برای مهندسی ترافیک دارند زیاد است. سایت های خاص در اینجا لیست نشده اند چون دائم در حال تغییر اند. تمام سازمانهای حرفه ای مثل سازنده های قطعات از این سایت ها دارند. **DOT**، **FHWA**، **NHTA**، و سازمانهای خصوصی وابسته به ترافیک نیز از این سایت ها دارند. تمام دستورالعمل های مربوط به تجهیزات کنترل ترافیک به صورت آنلاین در سایت **FHWA** قابل دسترسی اند. چون مهندسی ترافیک رشته ای است که به سرعت تغییر می کند، خواننده نمی تواند مطمئن باشد که استاندارد و آنالیزی که می خواند به ویژه به دلیل شمار زیاد انتشارات (مانند مطالب این کتاب) به روز است. در حالیکه ناشران به چاپهای دوره ای تغییرات جدید اقدام می کنند، مهندس ترافیک به عنوان یک مسئولیت شغلی باید آخرین تغییرات را بداند.

۷-۱- واحد متریک در مقابل واحد امریکا

در مقدمه چاپ دوم این مقاله، مشخص شده بود که ویرایش سوم این کتاب سیستم متریک خواهد بود. در ابتدا هدف تبدیل تمام آژانسهای بزرگراه ها به واحد متریک در یک زمان کوتاه بود.

بعداً دولت از این هدف عقب نشینی کرد. بنابراین، در حال حاضر در بعضی ایالات از سیستم امریکا و در ایالات دیگر (که تبدیل سیستم کرده اند) از واحد متریک استفاده می کنند که به سرعت در حال برگشت به سیستم امریکایی هستند. بعضی از منابع اصلی و کلیدی مثل دستورالعمل ظرفیت بزرگراهها به هر دو واحد اندازه گیری، تهیه شده است. دیگر منابع مانند کتاب سبز، شامل هر دو سیستم است.

واحد اندازه گیری متریک و امریکایی شبیه هم نیستند. استاندارد فاصله خط کش ۱۲ فوت تبدیل به استاندارد ۳/۶ متر می شود که از ۱۲ فوت باریکتر است. استانداردها برای طراحی سرعت، ۷۰ مایل در ساعت است که به ۱۲۰ کیلو متر در ساعت تبدیل می شود که از لحاظ عددی برابر نیستند. دلیل این مسئله این است که در هر دو سیستم به جای اعداد اعشاری از اعداد رند استفاده می شود. به همین دلیل است که یک سری آچار با سیستم متریک برای استفاده در یک ماشین خارجی با آچارهای استاندارد امریکا فرق می کند. چون بیشتر ایالات دارای سیستم امریکایی هستند تا متریک (ایالتهای دارای متریک هم در حال بازگشت به سیستم امریکایی هستند) و نیز ازدیاد حجم متن کتاب در صورتی که دارای هر دو سیستم واحد اندازه گیری می بود، این کتاب دارای سیستم اندازه گیری امریکایی است.

۸-۱- توصیه های پایانی

حرفه مهندسی ترافیک خیلی پیچیده و گسترده است . در حالیکه متکی بر اصول اولیه ثابتی است که در طول زمان دستخوش تغییرات زیادی نمی شود . این کتاب شامل استانداردها و آزمونهای اصلی و بنیادی و به روز سال ۲۰۰۳ میلادی می باشد . خواننده باید با تغییرات زیادی که بر روی مطالب آینده تاثیر گذار است ، درگیر باشد .

منابع و مآخذ

- ۱- پی لاین ، جی ، مولف ، کتاب مرجع مهندسی ترافیک ، ویرایش پنجم ، موسسه مهندسی حمل و نقل ، واشنگتن ، ۱۹۹۹
- ۲- کد وسایل نقلیه و الگوی قوانین ترافیک ، کمیته ملی قوانین ترافیک ، واشنگتن ، ۱۹۹۲
- ۳- دستور العمل تجهیزات کنترل ترافیک ، ویرایش ۲۰۰۰ ، ریاست فدرال بزرگراه ، واشنگتن ، قابل FHWA
درسایت دسترسی
- ۴- دستور العمل ظرفیت بزرگراه ، ویرایش چهارم ، کمیته تحقیقات حمل و نقل ، واشنگتن ۲۰۰۰
- ۵- سایت طراحی ژئومتریک بزرگراه و خیابان ، ویرایش چهارم ، انجمن امریکایی بزرگراه های ایالتی و ترافیک
اداری ، واشنگتن ، ۲۰۰۱

فصل ۲

خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه

۲-۱- مروری بر اجزای جریان ترافیک

به منظور آشنایی با جنبه‌های عملی و کاربردی ترافیک در خیابانها و بزرگراهها، درک چگونگی تأثیر متقابل اجزای مختلف یک سیستم ترافیک از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. همچنین خصوصیات جریانهای ترافیک به شدت از خصوصیات و محدودیتهای هر یک از این اجزا تأثیر می‌پذیرد. پنج جزء اصلی که در یک سیستم ترافیک تحت تأثیر متقابل قرار دارند، عبارتند از:

- کاربران راه (رانندگان، عابران پیاده، دوچرخه سواران و مسافران)
- وسایل نقلیه (خصوصی و تجاری)
- خیابانها و بزرگراهها
- تجهیزات کنترل ترافیک
- محیط اطراف

این فصل شامل مروری بر خصوصیات مهم کاربران راه و وسایل نقلیه می‌باشد. فصل ۳ بر روی خصوصیات خیابانها و بزرگراهها متمرکز می‌شود و بالاخره فصل ۴ مروری بر تجهیزات کنترل ترافیک و کاربرد آنها خواهد داشت.

محیط اطراف نیز بر عملکرد ترافیک تأثیر گذار می‌باشد، لیکن تعیین اثرات آن در هر محل مشخص امری دشوار است. عواملی نظیر شرایط جوی، روشنائی، تراکم توسعه و سیاستهای مصوب محلی هر یک نقشی مجزا در تأثیرگذاری بر عملکرد ترافیک ایفا می‌کنند. این عوامل غالباً بصورت کیفی و با استفاده از اطلاعات کمی تکمیلی که به صورت موردی برای کمک در تصمیم‌گیری ارائه می‌شود، مورد رسیدگی قرار می‌گیرند.

۲-۱-۱- رسیدگی به تنوع:

در صورتی که اجزای مختلف سیستم ترافیک خصوصیات مشابهی داشتند، وظایف مهندسی ترافیک بسیار ساده‌تر بود. اگر کلیه رانندگان دقیقاً به یک شیوه نسبت به تجهیزات کنترل ترافیک واکنش نشان می‌دادند، طراحی آنها به راحتی انجام می‌شد. اگر کلیه وسایل نقلیه از ابعاد، وزن و خصوصیات عملکردی

مشابهی برخوردار بودند، ایمنی با راحتی بیشتری حاصل می‌شد. لیکن رانندگان و سایر کاربران راه از خصوصیاتی با تنوع وسیع برخوردار می‌باشند. مهندس ترافیک باید رانندگان مسن و رانندگان ۱۸ ساله، رانندگان پرخاشگر و رانندگان محبوب و رانندگانی که در داخل و بیرون وسایل نقلیه‌شان دچار سردرگمی و حواس پرتی بسیار هستند، را مورد رسیدگی قرار دهد. موضوعات ساده‌ای نظیر زمان عکس‌العمل، خصوصیات بینایی و سرعت پیاده‌روی به دلیل عدم تشابه کاربران راه، بسیار پیچیده می‌شوند.

اغلب خصوصیات انسانی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند (فصل ۸ را ملاحظه نمایید). توزیع نرمال توسط یک تمایل به مرکز شدید مشخص می‌گردد (به این معنی که اغلب افراد دارای خصوصیات هستند که در محدوده‌ای مشخص قرار می‌گیرند). برای مثال، اغلب عابران پیاده با سرعتی بین ۰/۹ تا ۱/۵ متر بر ثانیه از عرض خیابان عبور می‌کنند. در عین حال عابران پیاده‌ای نیز وجود دارند که تندتر و یا کندتر قدم می‌زنند. توزیع نرمال نسبت‌هایی از جمعیت را که احتمال دارد در این محدوده‌ها قرار گیرند، مشخص می‌کند. با توجه به این تغییر، طراحی سیستم بر اساس میانگین هر مشخصه روشی مناسب و عملی نمی‌باشد. برای مثال اگر یک چراغ راهنمایی به گونه‌ای زمان بندی شود که با میانگین سرعت حرکت عابران پیاده از عرض خیابان منطبق باشد، حدود نیمی از کل عابران پیاده که با سرعتی کمتر قدم می‌زنند در معرض مخاطرات غیر قابل توجیه قرار می‌گیرند.

از اینرو اغلب استانداردها با مشخصه ۸۵ درصد (یا ۱۵ درصد) هماهنگ می‌شوند. بطور کلی مشخصه درصدی، مقداری از یک توزیع می‌باشد که درصد معینی از جمعیت خصوصیتی کمتر و یا معادل آن مقدار را دارند. برای مثال در مورد سرعت پیاده‌روی ملاحظات ایمنی ایجاب می‌نماید که با نیاز عابران کندتر هماهنگ شویم. لذا سرعت پیاده‌روی ۱۵ درصد که تنها ۱۵ درصد از کل جمعیت با سرعت کمتر از آن قدم می‌زنند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جایی که زمان عکس‌العمل راننده مورد توجه باشد، مشخصه ۸۵ درصد که ۸۵ درصد از جمعیت به لحاظ عددی زمان عکس‌العمل مساوی و یا کمتر از این مقدار را دارند، استفاده می‌شود. این نگرش به روشها و اسلوب‌هایی از طراحی منتهی می‌شود که با اطمینان نیاز ۸۵ درصد از جمعیت را در نظر می‌گیرند.

اما ۱۵ درصد باقی مانده چه می‌شود؟ یکی از خصوصیات توزیعهای نرمال این است که دو سر منتهی‌الیه توزیع (۱۵ درصد حداکثر و حداقل) به سمت مثبت و منفی بی‌نهایت میل می‌کند. ۱۵ درصد حداکثر و حداقل یک توزیع، در عمل نماینده مقادیر بسیار نامتعارفی است که نمی‌تواند به طور مؤثر در روشهای طراحی لحاظ گردد. از اینرو وجود کاربرانی که ممکن است از خصوصیات خارج از محدوده ۸۵ درصد (یا ۱۵ درصد) برخوردار باشند، به صورت کیفی بررسی می‌شود و اغلب روشها و معیارهای استاندارد مستقیماً آنها را در نظر نمی‌گیرند. با این وجود در محلهای قابل توجیه، مشخصه‌های درصدی بالاتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مشابه تنوع خصوصیات کاربران راه، خصوصیات وسایل نقلیه نیز به صورت گسترده‌ای تغییر می‌کند. بزرگراه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند تا با نیاز موتورسیکلتها، انواع خودروهای سواری و دامنه وسیعی از وسایل نقلیه تجاری شامل کامیونهای ترکیبی یکدک‌کش (دو یدک و سه یدک) هماهنگ باشند. لذا به عنوان مثال عرض خط باید با بزرگترین وسیله نقلیه‌ای که انتظار می‌رود از تسهیلات استفاده کند، مطابقت نماید. بواسطه ضوابط اخذ گواهینامه و استانداردهای کشوری و اتحادیه‌ای در طراحی وسیله نقلیه و خصوصیات عملکردی، محدودیتهای عمده‌ای بر روی دامنه خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه اعمال می‌شود. با این وجود مهندس ترافیک هنوز باید محدوده‌ای وسیع از خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه را مورد رسیدگی قرار دهد.

۲-۱-۲- ساماندهی به تنوع از طریق یکنواختی

هرچند مهندسان ترافیک کنترل ناچیزی بر خصوصیات راننده و وسیله نقلیه دارند، با این وجود طراحی سیستمهای جاده‌ای و تجهیزات کنترل ترافیک اصلی‌ترین بخش مسئولیت حرفه‌ای آنها می‌باشد. در هر دو مورد روشهای مورد استفاده نیازمند تشابه و همسانی زیادی هستند. جاده‌های با طبقه‌بندی و عملکرد مشابه باید ظاهری آشنا برای رانندگان داشته باشد، تجهیزات کنترل ترافیک باید تا حد امکان متحد الشکل باشند. مهندسان ترافیک تلاش می‌کنند تا اطلاعات را به شگردهای مشابه در اختیار رانندگان قرار دهند. حال هرچند این امر متضمن عکس‌العملهایی یکسان از سوی رانندگان نمی‌شود، با این وجود زمانی که آنها، با

علائم و رهنمودهایی که مهندسان ترافیک در داخل سیستم طراحی می‌کنند، مأنوس و آشنا شوند، حداقل محدوده رفتاریشان تنگ‌تر می‌شود.

فصل ۳ و ۴ به ترتیب جاده‌ها و تجهیزات کنترل را مورد رسیدگی قرار خواهند داد و پیرامون مسئله همسانی با جزئیات بیشتر بحث خواهند نمود.

۲-۲- کاربران راه:

انسانها موجودات پیچیده‌ای هستند و دامنه وسیع خصوصیات آنها می‌تواند بر فعالیت رانندگی تأثیر بگذارد. در سیستمی که راننده به طور کامل کنترل عملکرد وسیله‌نقلیه را در دست دارد، یک مهندس ترافیک خوب، نیازمند آشنایی کامل با خصوصیات راننده است. قسمت عمده‌ای از کار مهندسان ترافیک شامل یافتن شگردهای روشن برای در اختیار قرار دادن اطلاعات به رانندگان می‌باشد، روش مؤثری که عکس‌العمل‌های ایمن و مناسبی را در پی داشته باشد. عوامل تیزبینی و فرآیند عکس‌العمل، بیشترین اهمیت را در میان خصوصیات راننده دارا می‌باشند. فصل مشترک این دو خصوصیت را می‌توان به این صورت بیان نمود که در اغلب موارد عکس‌العمل نشان دادن به علائم رانندگی نیازمند استفاده از بینایی می‌باشد، آشنایی با نحوه دریافت و ارزیابی اطلاعات، عاملی کلیدی در طراحی جاده‌ها و تجهیزات کنترل می‌باشد.

شنوایی یکی دیگر از خصوصیات با اهمیتی است که عامل مهمی در فعالیت رانندگی محسوب می‌گردد (شنیدن بوق، آژیر آمبولانس اورژانس، صوت ممتد ترمزها و ...). علی‌رغم اینکه توجه به این خصوصیت حائز اهمیت است، لیکن هنگامی که رانندگان کم‌شنوا و یا حتی ناشنوا گواهینامه دریافت می‌کنند، هیچ عامل ترافیکی نمی‌تواند بر اساس علائم صوتی طراحی شود.

در گذشته توانایی جسمی نیز دارای اهمیت بود. لیکن به عنوان یک پیامد مهم، تکامل تدریجی سیستمهای خودکار فرمان و ترمز این خصیصه را بجز برای رانندگان مجرب کامیونها، اتوبوسها و سایر وسایل‌نقلیه سنگین، برطرف نموده است. شایان ذکر است که روان‌شناسی و شخصیت راننده یکی از مهمترین عوامل انسانی تأثیرگذار بر فعالیت رانندگی می‌باشد. با این وجود سنجش این عامل به آسانی امکان پذیر نیست و رسیدگی به آن در طراحی دشوار است. چنین عاملی اصولاً از طریق روشهای اجرایی و صدور

مجاز مورد رسیدگی قرار می‌گیرد و سعی می‌شود رانندگانی را که در فواصل متناوب رفتارهای نامناسب را به شکل بروز تصادف و تکرار تخلف ابراز می‌نمایند، حذف و یا محدود کنند.

۲-۲-۱- خصوصیات بینایی رانندگان:

به هنگام مراجعه رانندگان برای اخذ اولیه و یا تمدید گواهینامه از آنها خواسته می‌شود تا آزمایش چشم انجام دهند. این آزمایش با نظارت اداره راهنمایی و رانندگی استان و یا بینایی‌سنج و چشم‌پزشک معتمدی که فرم مخصوصی را برای راهنمایی و رانندگی تکمیل می‌کند، انجام می‌شود. روش انجام آزمایش عبارت است از قرائت تمرینهای یک نمودار استاندارد که تیزبینی استاتیک را می‌سنجد، به عبارت دیگر این پارامتر بیانگر توانایی دید واضح جزئیات در حالت سکون می‌باشد.

عوامل دید در رانندگی:

علی‌رغم اهمیت تیزبینی استاتیک، این خصوصیت تنها عامل دید مطرح در فعالیت رانندگی محسوب نمی‌شود. کتاب راهنمای مهندسی ترافیک [۱] خلاصه بسیار خوبی از عوامل دید مطرح در رانندگی را ارائه می‌نماید که در جدول (۱-۲) نشان داده شده است. بسیاری از عوامل ارائه شده در جدول (۱-۲) بیانگر طبیعت دینامیکی فعالیت رانندگی بوده و این واقعیت را منعکس می‌سازند که اکثر اشیاء رویت شده بوسیله رانندگان نسبت به چشمان راننده در حرکت نسبی می‌باشند.

تیزبینی استاتیک که به عنوان پیشنیاز صدور یک گواهینامه رانندگی معاینه می‌گردد، تنها یکی از عوامل متعدد دید می‌باشد. لذا مهندسان ترافیک باید تنوع قابل ملاحظه‌ای را در بسیاری از دیگر خصوصیات دید رانندگان پیش‌بینی نموده و مورد رسیدگی قرار دهند.

میدانهای دید:

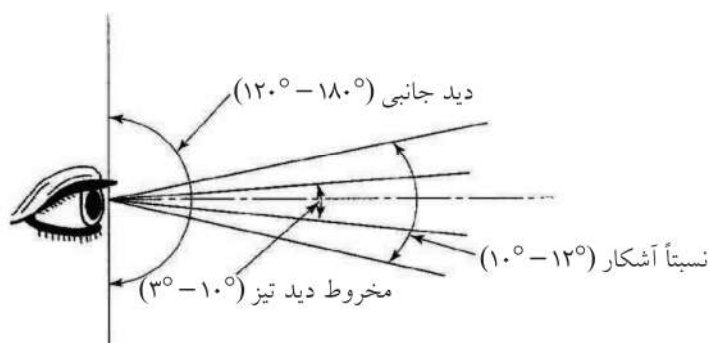
شکل (۱-۲) سه میدان دید متمایز را که هر یک در فعالیت رانندگی حائز اهمیت می‌باشند. نشان

می‌دهد [۲]:

جدول (۱-۲): عوامل دید در فعالیت رانندگی

نمونه‌ای از فعالیت رانندگی مرتبط	تعریف	عامل دید
تغییر تمرکز دید از نمایشگرهای داشبورد به سوی جاده	تغییر در شکل عدسی چشم برای متمرکز کردن تصاویر در کانون	تطابق
خواندن علائم ترافیکی فواصل دور	توانایی دیدن جزئیات کوچک به صورت واضح	تیزبینی استاتیک
سازگاری با تغییرات نور بمحض ورود به تونل	تغییر در حساسیت نسبت به شدت‌های مختلف نور	سازگاری
تشخیص سرعت وسایل نقلیه‌ای که مسیر راننده را قطع می‌کنند	مشاهده اشیائی که از عرض میدان دید عبور می‌کنند	حرکت زاویه‌ای
تشخیص سرعت وسیله‌نقلیه نزدیک شونده	تشخیص تغییرات بوجود آمده در اندازه تصویر در معرض دید	حرکت در عمق
تشخیص رنگ چراغ‌های راهنمایی	تمایز بین رنگ‌های مختلف	رنگ
تشخیص عابران پیاده با لباس‌های تیره در شب	رویت اشیائی که درخشندگی آنها با زمینه مشابه است	حساسیت به اختلاف شدت فروزندگی
سبقت در راه‌های دوخطه با ترافیک نزدیک‌شونده از روبرو	تخمین فاصله اشیاء	درک عمقی
خواندن علائم ترافیکی در حال حرکت	توانایی رویت اشیائی که نسبت به چشم در حرکت نسبی هستند	تیزبینی دینامیک
بررسی محیط جاده برای اطلاع از اتفاقات و خطرات	تغییر جهت از نگاه ممتد	چرخش چشم
کاهش عملکرد دید به علت تابش خیره‌کننده چراغ جلو	توانایی مقاومت و تجدید توازن از اثرات تابش خیره‌کننده	حساسیت به تابش خیره کننده
مشاهده یک دوچرخه در حال عبور از سمت چپ	تشخیص اشیاء در طرفین میدان دید	دید پیرامونی

- مخروط دید تیز یا آشکار: ۳ تا ۱۰ درجه پیرامون خط دید؛ علائم تنها درون این میدان دید محدود قابل خواندن هستند.
- مخروط دید نسبتاً آشکار: ۱۰ تا ۱۲ درجه پیرامون خط دید؛ رنگ و شکل می‌تواند در این میدان تشخیص داده شود.
- دید جانبی (پیرامونی): این میدان ممکن است تا بیش از ۹۰ درجه در چپ و راست محور مردمک چشم و بیش از ۶۰ درجه در بالا و ۷۰ درجه در پایین خط دید گسترش یابد. اشیاء ساکن عموماً در میدان دید جانبی رویت نمی‌شوند، اما حرکت اشیاء از طریق این میدان نمایان می‌شود.



شکل (۱-۲): تصویر میدانهای دید

میدانهای دید فوق برای یک فرد ساکن تعریف می‌شوند. برای مثال هنگامی که سرعت افزایش می‌یابد، میدان دید جانبی محدود می‌شود به گونه‌ای که در سرعت ۳۲ km/h به ۱۰۰ درجه و در سرعت ۹۶ km/h به ۴۰ درجه کاهش می‌یابد.

دورنمای دید راننده نیز پیچیده است و به سرعت تغییر می‌کند. هنگامی که دیگر وسایل نقلیه و اشیاء ساکن نسبت به راننده و یکدیگر در حرکت نسبی می‌باشند، اندازه اشیاء نزدیک شونده بزرگتر به چشم می‌آید. راننده معمولی به صورت ذاتی اطلاعات دید موجود را بررسی می‌کند و خط مشی مناسب برای تصمیمات رانندگی را انتخاب می‌نماید.

میدانهای دید برخی از شیوه‌های مهندسی ترافیک و کارایی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای مثال، علائم ترافیکی به گونه‌ای درون میدان دید آشکار قرار داده می‌شوند که بدون نیاز به تغییر خط دید رانندگان

قابل خواندن باشند. از اینرو این علائم معمولاً درون یک دامنه ۱۰ درجه‌ای از خط دید مورد انتظار راننده که فرض می‌شود با محور جاده در یک امتداد قرار دارد، نصب می‌شوند.

۲-۲-۲ - نارسایی‌های مهم دید:

برخی از مسائل مرتبط با بینایی می‌تواند رفتار و عملکرد راننده را تحت تأثیر قرار دهد. در بیشتر موارد رانندگان تحت تأثیر نارسایی‌های مختلف دید به رانندگی ادامه می‌دهند، مگر شرایط ب گونه‌ای باشد که یک ناتوانی شدید در بینایی بوجود آید. مرجع شماره ۳ مرور و بحث بسیار خوبی را پیرامون این موضوع در بر دارد.

برخی از متداولترین مسائل شامل آب مروارید، آب سیاه (کوری تدریجی)، نارسایی‌های دید جانبی، ناهماهنگی ماهیچه‌های چشم، نارسایی‌های عمق تشخیص و کوررنگی می‌باشند. رانندگانی که برای اصلاح هر یک از این مسائل جراحی چشم انجام می‌دهند، ممکن است به طور موقت یا دائمی دچار اختلالهایی در دید شوند. بیماریهای دیگری نظیر دیابت (مرض قند)، در صورت عدم کنترل می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر بینایی داشته باشد. برخی از عارضه‌ها نظیر آب مروارید و آب سیاه در صورت عدم درمان می‌تواند به کوری منجر شود.

کوررنگی که در این بین بدترین عارضه محسوب نمی‌شود، معمولاً مشکلات متعددی را برای رانندگان مبتلا ایجاد می‌نماید زیرا رنگ، یکی از ابزارهای مهم بیان اطلاعات می‌باشد. متأسفانه یکی از شایع‌ترین نوع کوررنگی ناتوانی در تشخیص تفاوت بین سبز و قرمز می‌باشد. این مسئله می‌تواند در چراغهای راهنمایی اثر نامطلوبی بر ایمنی چنین رانندگانی داشته باشد. برای اینکه این مشکل تا حدودی اصلاح شود، مقداری رنگ دانه آبی به چراغهای سبز و مقداری رنگ دانه زرد به چراغهای قرمز اضافه می‌گردد و به این ترتیب تشخیص آنها بوسیله رانندگان مبتلا به کوررنگی ساده‌تر می‌شود. همچنین موقعیت رنگها در فانوسهای چراغ راهنمایی دیر زمانی است که استاندارد شده است. در فانوسهای قائم، رنگ قرمز در بالا و رنگ سبز در پائین و در فانوسهای افقی، رنگ قرمز در سمت چپ و رنگ سبز در سمت راست قرار دارد. نمایشگرهای پیکانی

می‌تواند به صورت جداگانه در یک فانوس چراغ راهنمایی قرار داده شود و یا در یک فانوس چراغ راهنمایی مختلط در پائین و یا در سمت راست تویی‌های نمایشگر نصب گردد.

۲-۲-۳ - زمان مشاهده و عکس‌العمل

دومین خصوصیت بسیار مهم راننده، زمان مشاهده و عکس‌العمل (PRT) می‌باشد. در طی زمان مشاهده و عکس‌العمل، راننده باید ۴ فرآیند متفاوت را انجام دهد [۴]:

- **دریافت:** در این مرحله، یک شی یا وضعیت نگران‌کننده در میدان دید راننده ثبت می‌شود و راننده از روی آگاهی متوجه چیزی می‌شود که هم اکنون نیازمند یک واکنش است.
- **شناسایی:** در این مرحله راننده اطلاعات کافی پیرامون شی یا وضعیت را بدست می‌آورد تا ملاحظات یک واکنش مناسب را تصویب نماید.
- **تصمیم‌گیری:** هنگامی که شناسایی شی یا وضعیت به صورت کامل انجام شد، راننده باید اطلاعات را تجزیه و تحلیل نماید و درباره چگونگی واکنش تصمیم بگیرد.
- **واکنش:** پس از دستیابی به یک تصمیم، واکنش به صورت فیزیکی توسط راننده انجام می‌گردد.

کل زمانی که این فرآیندها به طول می‌انجامد، زمان مشاهده و عکس‌العمل (PRT) نامیده می‌شود. در برخی از متون، ۴ مرحله فوق به صورت مشاهده-شناسایی-احساس و اراده بیان می‌شود و اصطلاح زمان PIEV مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این کتاب اصطلاح PRT مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیکن خواننده باید بداند که این اصطلاح معادل زمان PIEV می‌باشد.

مقادیر طراحی:

نظیر همه خصوصیات انسانی، با تغییرات عوامل دیگر شامل نوع و پیچیدگی رویداد درک شده و شرایطی محیطی در زمان واکنش، زمان مشاهده و عکس‌العمل نیز به صورت گسترده در بین رانندگان تغییر می‌کند.

با این وجود، برای کاربردهای مختلف باید مقادیر طراحی انتخاب شود. دستورالعملهای AASHTO بر مبنای برخی مطالعات تحقیقاتی [۶ و ۹] برای اغلب محاسباتی که شامل عکس‌العملهای ترمز می‌باشند مقدار ۲/۵ ثانیه را بکار می‌برد [۵]. چنین فرض می‌شود که این مقدار به طور تقریبی یک مشخصه ۹۰ درصد می‌باشد (به این معنی که ۹۰ درصد از کل رانندگان زمان PRT برابر یا سریع‌تر از ۲/۵ ثانیه خواهند داشت). به منظور زمان‌بندی چراغ راهنمایی، انجمن مهندسان حمل و نقل [۱۰] زمان PRT را برابر ۱ ثانیه توصیه می‌نمایند. با توجه به سادگی واکنش و اطلاع قبلی رانندگان برای واکنش به چراغهای راهنمای، زمان PRT به طور قابل توجهی از آنچه برای واکنش ترمز در یک جاده در نظر گرفته می‌شود، کمتر است. لیکن با این وجود مقدار توصیه شده به طور تقریبی معرف مشخصه ۸۵ درصد برای موقعیتهای خاص واکنش به چراغ راهنمایی می‌باشد.

با این وجود، مطابق ضوابط AASHTO در برخی موقعیتهای پیچیده‌تر ممکن است رانندگان برای واکنش، به زمانی بیشتر از ۱ تا ۲/۵ ثانیه نیازمند باشند. موقعیتهایی که در آن رانندگان باید حوادث غیر منتظره را شناسایی نموده و نسبت به آن واکنش نشان دهند یا هنگامی که در محیط شلوغ جاده شناسایی منبع اطلاعات با مشکل روبرو می‌شود و یا در موقعیتی که در آن احتمال خطا در دریافت اطلاعات، تصمیم‌گیری و واکنش وجود دارد، همه مواردی هستند که منجر به افزایش زمانهای PRT خواهند شد.

برخی مثالهای ارائه شده در AASHTO از مکانهایی که ممکن است توأم با چنین موقعیتهایی باشند، عبارتند از تبادلهای و تقاطعهای پیچیده‌ای که با حرکتهای غیر عادی مواجه می‌شود، تغییرات در مقطع عرضی جاده‌ها نظیر محل‌های اخذ عوارض راه، گلوگاهها و مناطقی که محیط جاده با عوامل حواس پرتی دید شلوغ می‌شود. ضوابط AASHTO در جایی که مانور پرهیز از تصادف مورد نیاز می‌باشد، برای توقف در راههای بین شهری PRT برابر ۳ ثانیه و برای توقف در راههای درون شهری PRT برابر ۹/۱ ثانیه را توصیه می‌نماید. AASHTO در جایی که پرهیز از تصادف نیازمند تغییر سرعت، مسیر و یا جهت باشد، PRT بین ۱۰/۲ تا ۱۱/۲ ثانیه را در راههای بین شهری، ۱۲/۱ تا ۱۲/۹ ثانیه را در راههای حومه شهر و ۱۴ تا ۱۴/۵ ثانیه را برای راههای درون شهری توصیه می‌کند. ضوابط کامل AASHTO در بخش (۳-۳)، صفحه ۱۱۶ مرجع ۵ ارائه شده است.

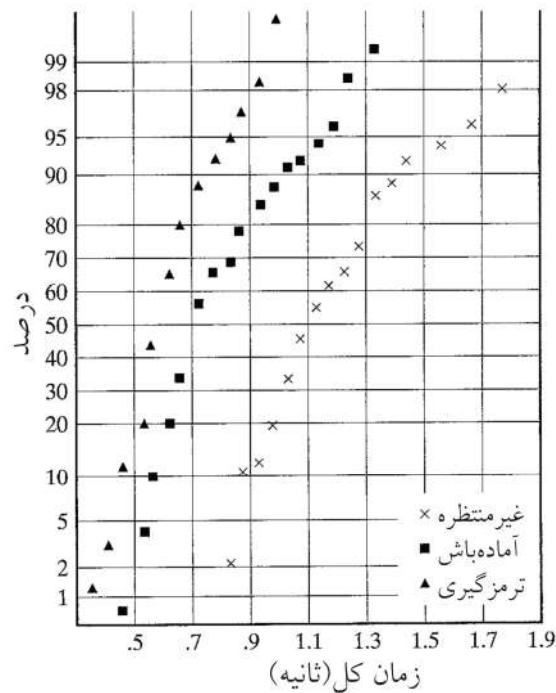
احتمال:

مفهوم احتمال در فعالیت رانندگی با اهمیت بوده و تأثیر بسزایی در فرآیند مشاهده و عکس‌العمل و PRT دارا می‌باشد. به سادگی می‌توان تعبیر نمود که رانندگان در موقعیتهایی که انتظار رویاروشدن با آن را دارند خیلی سریع‌تر از موقعیتهایی که انتظار رویارویی با آن را ندارند، واکنش نشان خواهند داد. احتمال سه نوع مختلف دارد:

- **تداوم:** معمولاً چنین انتظار می‌رود که تجارب گذشته نزدیک تداوم دارند. برای مثال، رانندگان انتظار ندارند وسیله‌نقلیه‌ای که به دنبال آن در حرکت می‌باشند، ناگهان کاهش سرعت دهند.
 - **رویداد:** چیزهایی که در گذشته اتفاق نیفتاده است، در آینده اتفاق نخواهد افتاد. اگر در یک دوره زمانی قابل قبول، ورود هیچ وسیله‌نقلیه‌ای از یک مسیر فرعی به جاده مشاهده نشده باشد، در آن صورت راننده فرض خواهد نمود که اکنون نیز وسیله‌ای وارد نخواهد شد.
 - **گذرا:** هنگامی که رویدادها همانند چراغ راهنمایی به صورت چرخه‌ای هستند با طولانی‌تر شدن مشاهده یک فاز معین، رانندگان فرض خواهند کرد که وقوع یک تغییر محتمل‌تر می‌باشد.
- تأثیر احتمال بر روی PRT در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. این مطالعه یک بررسی تحت کنترل بر روی رانندگان در حال تعلیم بود که در سال ۱۹۸۴ توسط Olsen و همکارانش انجام گردید. رانندگان ابتدا نسبت به یک حادثه مشابه که از وقوع آن اطلاع نداشتند واکنش نشان دادند و در مرحله بعدی به آنها گفته شد که منتظر وقوع حادثه باشند. در سومین آزمون، یک چراغ قرمز بر روی داشبورد نصب گردید تا آغازگر عکس‌العمل ترمز باشد. PRT در شرایط اطلاع از وقوع حادثه به طور ثابت حدود ۰/۵ ثانیه سریعتر از شرایط غیر منتظره بود.

با توجه به اهمیت مشهود احتمال در PRT، مهندسان ترافیک باید سعی نمایند تا از طراحی رویدادهای غیر منتظره در داخل سیستمهای جاده‌ای و تجهیزات کنترل ترافیک پرهیز کنند. برای مثال در صورتی که کلیه ورودی و خروجی‌های یک آزادراه در سمت راست آن واقع باشند، حتی‌الامکان باید از ورودی و خروجی‌های سمت چپ پرهیز شود. در صورت نیاز قطعی، باید علائم راهنما به شکل بسیار دقیق طراحی

شوند تا موجودیت و موقعیت ورودی یا خروجی‌های سمت چپ را به رانندگان هشدار دهند. به این ترتیب هنگامی که رانندگان به این موقعیتها رسیدند، شرایط خیلی غیر منتظره نمی‌باشد.



شکل (۲-۲): مقایسه زمانهای مشاهده و عکس‌العمل بین رویدادهای منتظره و غیر منتظره

سایر عوامل مؤثر بر PRT :

به طور کلی مقادیر PRT تحت تأثیر برخی از عوامل افزایش می‌یابد، این عوامل عبارتند از:

(۱) سن

(۲) خستگی

(۳) پیچیدگی عکس‌العمل

(۴) تأثیر مشروبات الکلی و یا داروهای مخدر بر راننده

به استثناء اثر مشروبات الکلی و داروهای مخدر، سایر عوامل و رفتارها پس از مستندسازی مناسب در مقادیر توصیه شده برای طراحی لحاظ می‌شوند. در کشورهای مختلف اثر مشروبات الکلی و داروهای مخدر اصولاً از طریق سخت‌گیری بیشتر در اعمال قوانین مربوط به DWI/DUI مورد توجه قرار می‌گیرد. هدف از اعمال این قوانین حذف رانندگانی است که تخلفات مکرر، آنها را به یک تهدید جدی برای ایمنی سیستم مبدل ساخته است. برخی از تاثیرات متداول مشروبات الکلی و داروهای مخدر و همچنین کهولت سنی بر روی خصوصیات راننده در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرد.

تأثیر بسیار مهم زمان مشاهده و عکس‌العمل در مسافتی است که وسیله‌نقلیه هنگام انجام این فرایند توسط راننده طی می‌نماید. برای مثال در یک عکس‌العمل ساده ترمز، در اولین لحظه‌ای که راننده از یک رویداد یا شی در میدان دید خود مطلع می‌گردد، PRT شروع می‌شود و هنگامی که پای خود را بر روی ترمز می‌فشارد، این زمان خاتمه می‌یابد. در طی این مدت، وسیله‌نقلیه با سرعت اولیه امتداد مسیر اصلی خود را ادامه می‌دهد و تنها بعد از اینکه پا پدال ترمز را می‌فشارد، وسیله‌نقلیه در واکنش به این تحریک بتدریج شروع به کاهش سرعت می‌کند.

$$\frac{\sqrt{km} \times \left(\frac{1 \dots m}{km} \right)}{\sqrt{h} \times \left(\frac{\sqrt{s} \dots s}{h} \right)} = \cdot / \sqrt{\sqrt{\sqrt{\dots}}} \frac{m}{s} = \cdot / \sqrt{\sqrt{\sqrt{\dots}}} \frac{m}{s}$$

لذا مسافت عکس‌العمل را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

رابطه (۲-۱)

d_r = مسافت عکس‌العمل بر حسب m

s = سرعت اولیه وسیله‌نقلیه بر حسب km/h

t = زمان عکس‌العمل بر حسب s

اهمیت این عامل در مثال بعد توضیح داده می‌شود. راننده‌ای که با سرعت ۹۶ km/h در حال دور زدن یک پیچ می‌باشد، کامیونی را که در امتداد جاده واژگون شده است، می‌بیند. مسافتی را که راننده وسیله‌نقلیه قبل از فشردن پدال ترمز طی خواهد کرد، چقدر می‌باشد؟ با استفاده از استاندارد AASHTO زمان عکس‌العمل ترمز را ۲/۵ ثانیه در نظر بگیرید.

$$d_r = 0.278 \times 96 \times 2/5 = 66/72 \text{ m}$$

وسیله‌نقلیه قبل از اینکه راننده ترمز را به طور کامل فشار دهد، مسافت ۶۶/۷۲ متر را طی خواهد کرد (تقریباً برابر طول ۱۱ تا ۱۲ خودروی سواری). معنی و مفهوم این موضوع وحشت‌آور است زیرا اگر کامیون واژگون شده در لحظه‌ای که راننده متوجه آن می‌شود نزدیکتر از ۶۶/۷۲ متری وسیله‌نقلیه باشد، نه تنها راننده با کامیون تصادف خواهد کرد بلکه این تصادف با سرعت کامل ۹۶ km/h انجام می‌گردد. کاهش سرعت تنها بعد از اتمام فرآیند مشاهده و عکس‌العمل که پدال ترمز فشرده می‌شود، آغاز می‌گردد.

۲-۲-۴- خصوصیات عابر پیاده

یکی از مهمترین مسائل ایمنی در هر سیستم جاده‌ای و خیابانی مربوط به اثرات متقابل وسایل نقلیه و عابران پیاده می‌باشد. تعداد قابل توجهی از تصادفات ترافیک و تلفات ناشی از آن عابران پیاده را در بر می‌گیرد. این موضوع که در هر برخورد بین عابر پیاده و وسیله‌نقلیه، عابر پیاده در معرض زیان قابل توجهی می‌باشد، تعجب‌آور نیست.

در عمل همه اثرات متقابل بین عابران پیاده و وسایل نقلیه هنگامی اتفاق می‌افتد که عابران پیاده در تقاطعها و یا بین دو تقاطع از عرض خیابان عبور می‌کنند. در تقاطعهای دارای چراغ راهنمایی فراهم ساختن عبور ایمن عابر پیاده به اندازه برقراری یک الگوی زمان‌بندی مناسب برای عبور وسایل نقلیه دارای اهمیت

است. سرعت قدم زدن عابر پیاده بر روی عرض خط کشی شده خیابان مهمترین عامل برای در نظر گرفتن عابران پیاده در زمان بندی چراغ راهنمایی می باشد.

یکی دیگر از ملاحظات مهم در عبور از تقاطعهای فاقد چراغ راهنمایی، نحوه اتخاذ فاصله توسط عابران پیاده می باشد. اتخاذ فاصله به فواصل زمانی خالی بین زمانهای اشغال عرض مسیر توسط وسایل نقلیه و رفتار عابران پیاده در پذیرش این فواصل برای عبور از میان وسایل نقلیه اشاره دارد.

سرعتهای پیاده روی:

جدول (۲-۲) سرعتهای پیاده روی ۵۰ درصد را برای عابران پیاده دارای سنین مختلف نشان می دهد. لازم به ذکر است که این سرعتها به عنوان بخشی از یک آزمایش تحت کنترل اندازه گیری شد [۱۲] و به طور دقیق مربوط به پیاده روی از عرض تقاطع و یا عرض بین دو تقاطع نمی باشد.

جدول (۲-۲): سرعتهای پیاده روی ۵۰ درصد برای عابران پیاده دارای سنین مختلف [۱۲]

سن (سال)	سرعت پیاده روی ۵۰ درصد (m/s)	
	مردان	زنان
۲	۰/۸۵	۱/۰۴
۳	۱/۰۷	۱/۰۴
۴	۱/۲۵	۱/۲۵
۵	۱/۴	۱/۳۷
۶	۱/۴۶	۱/۵۲
۷	۱/۵۲	۱/۵۲
۸	۱/۵۲	۱/۶۲
۹	۱/۵۵	۱/۶۵
۱۰	۱/۶۸	۱/۶۵
۱۱	۱/۵۸	۱/۵۸
۱۲	۱/۷۷	۱/۷۴
۱۳	۱/۶۲	۱/۷۱
۱۴	۱/۵۵	۱/۶۲
۱۵	۱/۷۱	۱/۶۲
۱۶	۱/۵۸	۱/۶۵
۱۷	۱/۵۸	۱/۶۵
۱۸	۱/۴۹	N/A
۲۰-۲۹	۱/۷۴	۱/۶۵
۳۰-۳۹	۱/۶۵	۱/۶۵
۴۰-۴۹	۱/۵۵	۱/۶۲
۵۰-۵۹	۱/۴۹	۱/۵۲
۶۰+	۱/۲۵	۱/۲۵

با این وجود، نتایج جالب توجه است. سرعت پیاده‌روی استاندارد که در زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد $1/2 \text{ m/s}$ است، لیکن برای مکانهایی که بیشتر عابران پیاده مسن هستند سرعت 1 m/s توصیه می‌شود. اغلب مطالعات نشان می‌دهند که این استانداردها قابل قبول هستند و با نیاز ۸۵ درصد از جمعیت عابران پیاده مطابقت دارند.

یکی از مشکلات مربوط به سرعت‌های پیاده‌روی استاندارد، عابران دارای آسیب بدنی را در بر می‌گیرد. انجام مطالعه‌ای بر روی عابران دارای آسیب و وسایل کمکی مختلف نشان داد که تقریباً برای همه گروه‌ها، متوسط سرعت پیاده‌روی کمتر از استاندارد $1/2 \text{ m/s}$ مورد استفاده در زمان‌بندی چراغ راهنمایی بود [۱۳]. جدول (۳-۲) برخی از نتایج این مطالعه را ارائه می‌دهد. این نتایج و نتایج مشابه سایر مطالعات حاکی از آن است که نیازهای عابران دچار نارسایی جسمی نیازمند توجه بیشتری می‌باشد.

جدول (۳-۲): سرعت‌های پیاده‌روی برای عابران دارای آسیب بدنی [۱۳]

متوسط سرعت پیاده‌روی (m/s)	آسیب / وسیله کمکی
۰/۸	عصا / چوب زیر بغل
۰/۶۳	گام یار
۱/۰۸	صندلی چرخدار
۱/۰۷	زانوی گچ گرفته شده
۰/۷۵	قطع پا از زیر زانو
۰/۶	قطع پا از بالای زانو
۰/۷۴ - ۱/۱۲	ورم مفاصل ران
۰/۷۵	ورم رماتیسمی مفصل (زانو)

انتخاب فاصله:

هنگامی که عابر پیاده در تقاطع و یا بین دو تقاطع از عرض یک مکان فاقد کنترل (بدون چراغ راهنمایی، تابلوی ایست یا تابلوی احتیاط) عبور می‌نماید، باید فاصله‌ای مناسب را برای عبور از بین جریان ترافیک انتخاب کند. فاصله در ترافیک به صورت تأخیر زمانی بین عبور دو وسیله‌نقلیه از هر خط اشغال

کننده مسیر عبور عابر اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که عابر پیاده منتظر عبور از عرض خیابان می‌باشد، فواصل را مشاهده می‌کند و پیرامون پذیرش یا عدم پذیرش یک فاصله برای تأمین عبوری ایمن تصمیم می‌گیرد. در برخی از مطالعات، فاصله به صورت مسافت بین عابر و وسیله‌نقلیه نزدیک شونده در زمان شروع حرکت عابر تعریف شده است. یک مطالعه قدیمی با استفاده از روش دوم، فاصله ۸۵ درصد را حدود ۳۸/۱ متر بدست آورد [۱۴].

هر چند نحوه اتخاذ فاصله توسط افراد کاملاً پیچیده است و تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر سرعت وسایل نقلیه نزدیک شونده، عرض خیابان، توزیع فراوانی فاصله‌ها در جریان ترافیک، زمان انتظار و ... تغییر می‌کند، با این وجود به دلیل پیامدهای مشهود آن در ایمنی، باید این خصوصیت مهم مورد توجه قرار گیرد. برای مثال فصل ۱۸ مجوزهایی را برای (توجیه موقعیت) نصب چراغهای راهنمایی ارائه می‌کند. یکی از این مجوزها به طور کامل به ایمنی عبور عابران و تکرار فواصل کافی در جریان ترافیک برای فراهم ساختن عبورهای ایمن اختصاص داده می‌شود.

درک عابر پیاده از تجهیزات کنترل:

یکی از مسائل موجود در طراحی تجهیزات کنترل برای عابران پیاده این واقعیت است که به طور کلی شناخت و تبعیت از چنین تجهیزاتی ضعیف می‌باشد. پرسش‌نامه‌ای که بین ۴۷۰۰ عابر پیاده توزیع گردید [۱۵] بسیاری از مسائل مربوط به برداشت نادرست را به تفصیل بررسی نمود. برای مثال ۵۰ درصد از کاربران راه عکس‌العمل مناسب به چراغ چشمک زن "DON'T WALK" را نمی‌دانستند و گمان می‌کردند که باید به لبه پیاده‌رویی که از آنجا شروع به حرکت نموده‌اند، بازگردند. در حالی که منظور این چراغ این است که به هنگام چشمک زدن آن اقدام به شروع حرکت از عرض خیابان نکنید و در ضمن اگر عابری قبلاً چنین اقدامی را شروع نموده است، ایمنی برای عبور کامل او فراهم می‌باشد. مطالعه‌ای دیگر [۱۶] مشخص نمود که در اکثر شهرهایی که کاربرد چراغ چشمک زن "DON'T WALK" برای تخلیه عابران پیاده به درستی درک نشده بود، میزان تخلفات برای چراغ ممتد "DON'T WALK" بیش از ۵۰ درصد بود و عابران پیاده تمایلی به تبعیت از چراغهای فعال برای عابران را نداشتند. فصل ۲۰ (در زمان‌بندی چراغ) پیرامون

برخی از مشکلات مربوط به تکمه‌های فعال سازی چراغهای مربوط به عابران پیاده و کاربرد آنها که فهم عابر پیاده و اثر بخش بودن نصب چراغهای راهنمایی را به مخاطره می‌اندازد، بحث می‌نماید. پس از تکمیل این مطالعه نماد نارنجی رنگ "دست بالا آورده شده" جایگزین چراغهای چشمک زن و ممتد "DON'T WALK" گردید.

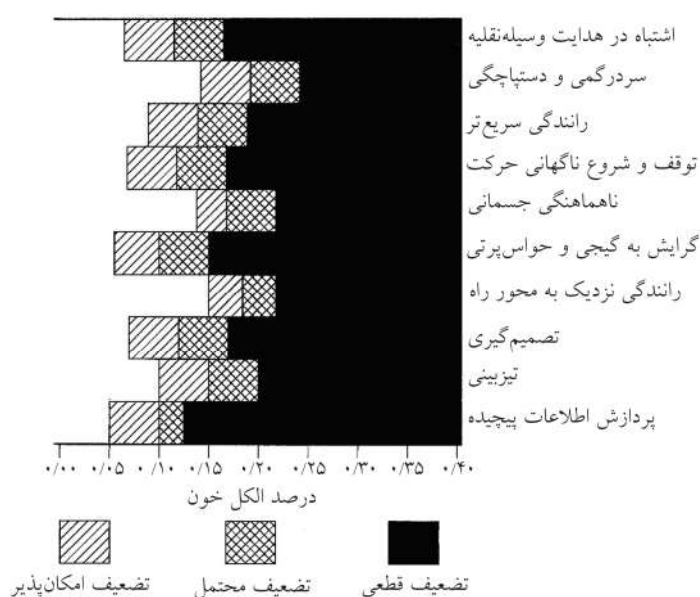
از اینرو وظیفه فراهم کردن یک محیط ایمن برای عابران پیاده کار ساده‌ای نیست. مدیریت و کنترل ناسازگاری‌های بین وسایل نقلیه و عابران پیاده مسئولیت سختی را به دنبال دارد.

۲-۲-۵- اثرات داروهای مخدر و مشروبات الکلی بر روی کاربران راه

چندین سال است که تأثیر داروهای مخدر و مشروبات الکلی بر روی رانندگان به صورت کاملاً جدی مورد توجه ملی قرار گرفته است و این امر به تقویت قابل توجه و اجرای قوانین مرتبط با DWI/DUI منتهی شده است. با این وجود این عوامل هنوز سهم عمده‌ای از تلفات و تصادفات ترافیک را بر جای می‌گذارند. با این وجود، رانندگان تنها کاربران راه نیستند که باعث تصادف خانواده خود و آمارهای تلفات می‌شوند. در سال ۱۹۹۶، ۴۷/۳٪ از تصادفات منجر به فوت عابران پیاده، شامل راننده و یا عابری با سطح قابل تشخیص الکل در دستگاه گوارش بود. برای این گروه، ۱۲ درصد از رانندگان و ۳۲/۳ درصد از عابران پیاده دارای سطح الکل خون بالای ۰/۱ درصد (تعریف قانونی شخص الکلی در بسیاری از کشورها) بودند. قابل ذکرتر این است که ۷ درصد از رانندگان و ۶ درصد از عابران پیاده سطح الکل قابل تشخیص کمتر از این حد را داشتند.

اهمیت این آمار مجزا، موضوع ذیل را مطرح می‌نماید که: محدودیتهای قانونی برای DWI/DUI مرز تأثیر الکل و یا سایر داروهای مخدر را بر روی کاربر راه مشخص نمی‌کنند. تشخیص این موضوع برای اطمینان افراد از رانندگی بی‌خطر دارای اهمیت می‌باشد و در حال حاضر در بسیاری از کشورها منجر به کاهش حدود قانونی الکل به ۰/۰۸ درصد شده است و در برخی از کشورها برای رانندگان جدید در ۱ یا ۲ سال اول اخذ گواهینامه معیار رواداری صفر (۰/۰۱٪) مورد توجه قرار می‌گیرد.

شکل (۳-۲) خلاصه‌ای از مطالعات مختلف پیرامون اثرات داروهای مخدر و الکل بر روی عوامل مختلف رانندگی را نشان می‌دهد. توجه کنید که در بسیاری از عوامل، اختلال در عملکرد راننده در سطوحی کاملاً پائین محدودیتهای قانونی شروع می‌شود (برای برخی از عوامل، سطح الکل خون به میزان ۰/۰۵ درصد زیر حد قانونی است)



شکل (۳-۲): اثرات سطح الکل خون بر روی فعالیت رانندگی

۳-۲- وسایل نقلیه

در سال ۲۰۰۰ میلادی، ۲۱۷۲۹۳۰۰۰ وسیله نقلیه ثبت شده در ایالات متحده وجود داشت، آماری که بیانگر بیش از یک وسیله نقلیه به ازاء رانندگان دارای گواهینامه بود. خصوصیات این وسایل نقلیه به اندازه خصوصیات رانندگان آنها متنوع می‌باشد.

به طور کلی [۵] AASHTO وسایل نقلیه موتوری را به ۴ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌کند:

- خودروهای سواری (اتومبیل‌های شخصی، SUVs، اتومبیل‌های کاروان، مینی‌بوسها و وانت‌بارها)
- اتوبوسها (اتوبوسهای بین شهری، اتوبوسهای شهری، اتوبوسهای مدرسه و اتوبوسهای آکاردئونی)
- کامیونها (کامیونهای تک پارچه، کامیونهای ترکیبی یکدک کش و نیمه یکدک کش)

• خودروهای تفریحی (خانه موتوری، اتومبیل با یدک قایق، اتومبیل با یدک اتاقک تفریحی، اتومبیل با یدک موتور سیکلت و ...)

موتورسیکلت‌ها و دوچرخه‌ها نیز از تسهیلات جاده‌ای و خیابانی استفاده می‌کنند، اما از آنجایی که معمولاً خصوصیات آنها نیازهای طراحی و کنترل را محدود یا تعیین نمی‌کنند به صورت گروهی جداگانه تفکیک نمی‌شوند.

برخی از ویژگی‌های بسیار مهم وسیله‌نقلیه که باید در طراحی جاده‌ها و تجهیزات کنترل مد نظر قرار گیرد، عبارتند از:

• ترمزگیری و کاهش سرعت

• شتاب

• خصوصیات گردش با سرعت کم

• خصوصیات گردش با سرعت زیاد

در بیشتر موارد، پیامدها و مسائل مربوط به وسایل‌نقلیه که به طور وسیعی در اندازه، وزن، و خصوصیات عملکردی دارای تفاوت هستند نیز باید بوسیله مهندسان ترافیک مورد توجه و رسیدگی قرار گیرند.

۲-۳-۱- مفهوم وسیله‌نقلیه طرح

با توجه به دامنه وسیع انواع وسایل‌نقلیه‌ای که از تسهیلات جاده‌ای و خیابانی استفاده می‌کنند، انتخاب مشخصات یک وسیله‌نقلیه استاندارد برای اهداف طراحی و کنترل ضروری می‌باشد. آیین‌نامه AASHTO برای طراحی هندسی، ۲۰ نوع وسیله‌نقلیه طرح با مشخصات معین را تعریف نموده است. این ۲۰ وسیله‌نقلیه طرح عبارتند از:

P = خودروی سواری

SU = کامیون تک پارچه

$BUS-40$ = اتوبوس بین شهری با ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

BUS-45= اتوبوس بین شهری با ۴۵ فوت (۱۲/۷ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

CITY-BUS= اتوبوس شهری

S-BUS 36= اتوبوس معمولی مدرسه با ظرفیت ۶۵ نفر

S-BUS 40= اتوبوس بزرگ مدرسه با ظرفیت ۸۴ نفر

A-BUS= اتوبوس مفصلی یا آکاردئونی

WB-40= نیم تریلر متوسط با ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-50= نیم تریلر متوسط با ۵۰ فوت (۱۵/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-62= نیم تریلر بین ایالتی با ۶۲ فوت (۱۸/۹ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-65= نیم تریلر بین ایالتی با ۶۵ فوت (۱۹/۸ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-67D= تریلر دو واحدی با ۶۷ فوت (۲۰/۴ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-100T= تریلر/ نیمه تریلر سه واحدی با ۱۰۰ فوت (۳۰/۴ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-109D= تریلر/ نیمه تریلر دو واحدی با ۱۰۹ فوت (۳۳/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

MH= خانه موتوری

P/T= خودروی سواری با یدک اتاقک تفریحی

P/B= خودروی سواری با یدک قایق

MH/B= خانه موتوری با یدک قایق

TR/W= تراکتور کشاورزی با یدک بارکش

فاصله بین محور جلو و عقب، از جلوترین محور تا عقب‌ترین محور اندازه‌گیری می‌شود و در

وسایل نقلیه ترکیبی هر دو قسمت کشنده و یدک را شامل می‌شود.

وسایل نقلیه طرح اصولاً در طراحی پیچ جاده‌ها و جدول گذاری لبه تقاطعهای شهری، کمک به تعیین

عرض مناسب خطوط عبور، و مشخصات خاص طراحی به هنگام تعریض خط در قوسهای افقی مورد

استفاده قرار می‌گیرند. لیکن نکته مهم برای استفاده، انتخاب وسیله‌نقلیه طرح مناسب برای انواع مختلف

تسهیلات و مکانها می‌باشد. به طور کلی طراحی باید برای بزرگترین وسیله نقلیه‌ای انجام شود که دفعات استفاده آن از تسهیلات مورد نظر دارای فراوانی قابل قبول باشد.

در ملاحظات مربوط به انتخاب وسیله نقلیه طرح، باید به خاطر داشت که تمام قسمتهای خیابان و شبکه بزرگراهی باید برای وسایل نقلیه اضطراری شامل ماشین‌های آتش‌نشانی، آمبولانسها، وسایل نقلیه تخلیه اضطراری، وسایل نقلیه تعمیر اضطراری و نظایر آن قابل دستیابی باشد. از اینرو معمولاً برای اکثر کاربردهای خیابانهای محلی، کامیون تک پارچه به عنوان کوچکترین وسیله نقلیه طرح انتخاب می‌شود. قدرت مانور ماشینهای آتش‌نشانی حامل قلاب و نردبان با داشتن فرمان محور عقب ارتقا می‌یابد و این وسایل قادر می‌باشند پیچهای تندتری را نسبت به توانایی معمول وسایل نقلیه ترکیبی طی نمایند. بنابراین به نظر نمی‌رسد استفاده از کامیون تک پارچه به عنوان وسیله نقلیه طرح برای خیابانهای محلی منجر به تأخیر وسایل نقلیه اضطراری شود.

خودروی سواری فقط در محوطه پارکینگها به عنوان وسیله نقلیه طرح استفاده می‌شود و در این مورد نیز دسترسی وسایل نقلیه اضطراری باید مورد توجه قرار گیرد. انتخاب وسیله نقلیه برای سایر طبقه‌ها یا انواع بزرگراهها و تقاطعها، باید ترکیب وسایل نقلیه‌ای را که انتظار می‌رود از تسهیلات استفاده کنند، مورد توجه قرار دهد. به طور کلی، وسیله طرح انتخاب شده باید با نیاز بیش از ۹۵ درصد از ترکیب وسایل نقلیه مورد انتظار تطبیق داشته باشد.

ابعاد فیزیکی وسایل نقلیه طرح نیز ملاحظات مهمی هستند. محدوده ارتفاع وسایل نقلیه طرح از ۱/۳ متر برای خودروی سواری تا ۴/۱ متر برای بزرگترین کامیون متغیر است. فاصله آزاد بالاسری در پلهای هوایی، تابلوهای تبلیغاتی، سیمهای برق و دیگر اتصالات و متعلقات بالاسری باید برای ادامه حرکت بزرگترین وسیله نقلیه مورد انتظار کافی باشد. هنگامی که کلیه تسهیلات به صورت بالقوه با تنوع گسترده‌ای از وسایل نقلیه اضطراری مواجه هستند، حداقل فاصله آزاد قابل توصیه برای استفاده در اغلب تسهیلات ۴/۲۵ متر می‌باشد.

محدوده عرض وسایل نقلیه طرح از ۲/۱ متر برای خودروی سواری تا ۲/۶ متر برای بزرگترین کامیون متغیر است (به استثنای وسایل نقلیه مخصوص بارهای عریض مانند تراکتوری که یک خانه پیش ساخته را

می‌کشد و یا خانه موتوری). این عامل باید در طراحی مشخصاتی نظیر عرض خط و شانه‌ها تأثیر داده شود. برای اغلب تسهیلات، استفاده از عرض خط استاندارد به میزان ۳/۶۵ متر مطلوب می‌باشد. در صورت لزوم، ممکن است برای برخی از تسهیلات خطوط باریکتری در نظر گرفته شود، اما بر اساس عرض اعلام شده خودروهای جدید، حداقل عرض قابل قبول در کلیه کاربردها عملاً ۳ متر می‌باشد.

۲-۳-۲- خصوصیات گردش وسایل نقلیه:

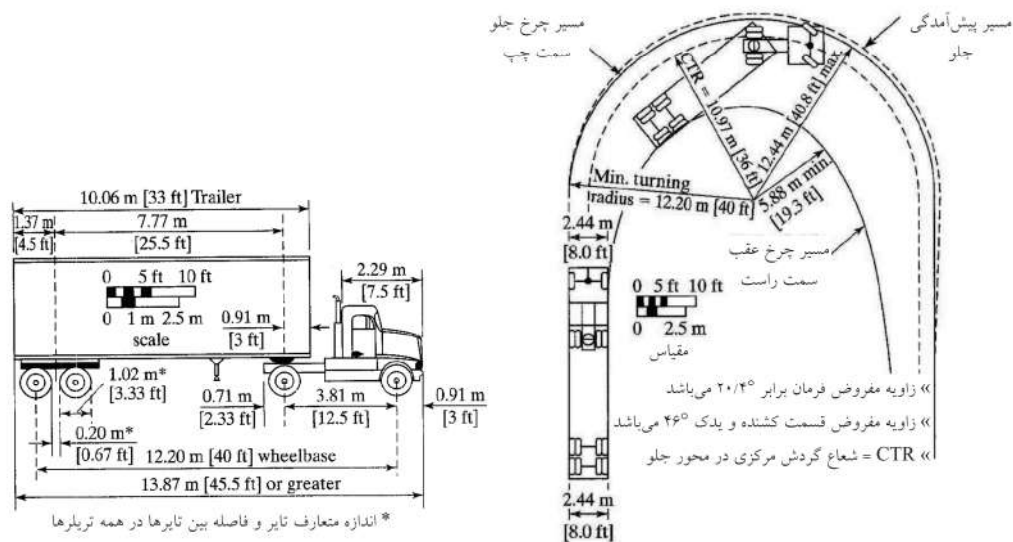
دو وضعیت برای گردش وسایل نقلیه وجود دارد:

- گردش‌های با سرعت کم ($\leq 16 \text{ km/h}$)
- گردش‌های با سرعت زیاد ($> 16 \text{ km/h}$)

گردش‌های با سرعت کم بوسیله خصوصیات وسیله نقلیه محدود می‌شوند، به گونه‌ای که حداقل شعاع گردشی که بوسیله مکانیزم فرمان وسیله نقلیه قابل تنظیم است در چنین سرعت‌هایی می‌تواند پشتیبانی شود. گردش‌های با سرعت زیاد بوسیله اصطکاک جانبی بین سطح رویه جاده و لاستیک‌ها و همچنین مقدار برابندی (شیب عرضی) جاده محدود می‌شوند.

گردش‌های با سرعت کم:

آیین‌نامه AASHTO برای هر یک از وسایل نقلیه طرح یک حداقل شعاع طراحی مشخص می‌کند. این پارامتر بر اساس شعاع گردش مرکزی و حداقل شعاع گردش داخلی هر وسیله نقلیه تعریف می‌شود. هنگامی که شعاع گردش واقعی یک وسیله نقلیه توسط چرخ‌های جلو کنترل می‌شود، چرخ‌های عقب همان مسیر چرخ‌های جلو را دنبال نمی‌کنند و در طی حرکت در پیچ به خارج از مسیر کشیده می‌شوند. مرجع شماره ۵ جزئیات الگوهای گردش با سرعت کم را برای تمام وسایل نقلیه طرح اشتو در بر دارد. شکل (۲-۴) نمونه‌ای از این الگوها را برای یک وسیله ترکیبی WB-40 نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴): الگوی گردش با سرعت کم برای وسیله ترکیبی WB-40

توجه شود که حداقل شعاع گردش بوسیله مسیر خارجی چرخ جلو تعریف می شود. با این وجود مسیر داخلی چرخ عقب در وسایل ترکیبی، خروج از مسیر قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که به طور مؤثر عرض خط اشغال شده توسط وسیله‌نقلیه به هنگام دور زدن را بیشتر می‌کند. مسیر داخلی چرخ عقب دایره‌ای نیست و یک شعاع متغیر دارد.

الگوهای گردش تصاویر بسیاری از ابعاد مختلف مربوط به گردش با سرعت کم را ارائه می‌دهند. در طراحی مربوط به گردشهای با سرعت کم حداقل شعاع گردش طرح برابر با حداقل شعاع محور مرکزی به علاوه نصف عرض جلوی وسیله‌نقلیه می‌باشد.

حداقل شعاع گردش طرح در محدوده ۷/۳ متر برای خودروی سواری تا بیش از ۱۸/۳ متر برای وسیله‌نقلیه ترکیبی WB-109D قرار دارد. بر حسب نوع وسیله‌نقلیه طرح، به دلیل شعاع متغیر مسیر داخلی چرخ عقب، حداقل شعاع لبه داخلی جدول خیابان به طور قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از حداقل شعاع گردش طرح می‌باشد. در طراحی تقاطعها خصوصیات خروج از مسیر وسیله‌نقلیه طرح باید در تعیین فاصله خطوط عبور تا محل جدول کنار خیابان مورد توجه قرار گیرد. در یک طراحی مناسب، چرخ خارجی وسیله‌نقلیه طرح باید قادر باشد در حین عبور از پیچ، مسیر خود را بدون منحرف شدن به داخل خطوط مجاور طی

نماید. برای این منظور لازم است که عقب نشینی لبه جدول خیابان با حداکثر خروج از مسیر وسیله نقلیه طرح منطبق شود.

گردشهای با سرعت زیاد:

هنگامی که وسیله نقلیه با سرعت زیاد وارد پیچ جاده می شود، نیروهای مایل به مرکز گشتاور بر آن وارد می شوند تا به حرکت در یک مسیر مستقیم ادامه دهد. برای حفظ حرکت در مسیر منحنی باید بوسیله اصطکاک جانبی و بریلندی بر این نیروها غلبه شود. بریلندی عبارت است از شیب عرضی جاده که لبه پایین تر آن همیشه در جهت قوس قرار دارد. شیب جاده یک مؤلفه تکیه گاهی افقی برای وسیله نقلیه بوجود می آورد. نیروهای اصطکاک جانبی بیانگر مقاومتی است که در سطح بین لاستیکهای وسیله نقلیه و جاده در مقابل سر خوردن ایجاد می شود. بر اساس قوانین اساسی فیزیک، رابطه تعیین عملکرد وسیله نقلیه بر روی پیچ جاده به صورت زیر می باشد:

$$\frac{0.01e + f}{1 - 0.01e.f} = \frac{S^2}{gR} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

که در آن:

e = میزان بریلندی ، (%)

f = ضریب اصطکاک جانبی

S = سرعت وسیله نقلیه، (m/sec)

R = شعاع پیچ، (m)

g = شتاب جاذبه زمین، (9.81 m/s^2)

میزان بریلندی عبارت است از کل افزایش تراز ارتفاعی از یک لبه تا لبه دیگر خطوط عبور مقطع عرضی (بر حسب متر) تقسیم بر عرض خطوط عبور (بر حسب متر)، که به صورت درصد بیان می شود (یعنی در ۱۰۰ ضرب می شود). AASHTO میزان بریلندی را در ضوابط ۲۰۰۱ خود به صورت درصد بیان نموده است، لیکن بسیاری دیگر از نشریات هنوز میزان بریلندی را به صورت مقدار اعشاری بیان می کنند.

رابطه (۲-۲) را می‌توان ساده نمود با این استدلال که جمله ef خیلی کوچک است و برای مقادیر معمول عوامل برابندی و اصطکاک جانبی می‌تواند صرف نظر شود.

همچنین راحت‌تر است که سرعت وسیله نقلیه بر حسب km/h بیان شود. بنابراین:

$$\frac{0.01e + f}{1} = \frac{(0.278S)^2}{9.81R}$$

$$0.01e + f = \frac{0.00787S^2}{R} = \frac{S^2}{127R}$$

به این ترتیب یک رابطه بسیار سستی که برای بیان عملکرد وسیله نقلیه در پیچ استفاده می‌شود، بدست می‌آید:

$$R = \frac{S^2}{127(0.01e + f)} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

که در آن همه مقادیر از قبل مشخص می‌باشند و تنها سرعت S به جای m/s بر حسب km/h بیان می‌شود.

دامنه مقادیر معمول برابندی از حداقلی حدود ۰/۵ درصد برای تأمین زه‌کش جانبی تا حداکثر ۱۲ درصد می‌باشد. با افزایش سرعت، مقادیر بزرگتر برابندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطقی که احتمال بروز یخبندان پیش‌بینی می‌شود، برای جلوگیری از سر خوردن یک وسیله نقلیه متوقف به سمت داخل قوس، حداکثر مقدار برابندی عموماً به ۸ درصد محدود می‌گردد.

ضرایب اصطکاک جانبی مورد استفاده در طراحی، بر مبنای شرایط خیس جاده می‌باشند. این ضرایب به ازای مقادیر مختلف سرعت در جدول (۲-۴) ارائه شده است.

جدول (۲-۴): ضرایب اصطکاک جانبی (f)، برای روسازیهای خیس در سرعتهای مختلف

سرعت km/h	۴۸	۶۴	۸۰	۹۶	۱۱۲
f	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۰

به لحاظ تئوری شیب یک راه می‌تواند به اندازه‌ای باشد که به طور کامل نیروی مایل به مرکز را بدون استفاده از اصطکاک جانبی خنثی نماید. البته معمولاً این کار انجام نمی‌شود زیرا وسایل نقلیه در محدوده‌ای از سرعت‌های مشخص سفر می‌کنند و مقدار بریلندی مورد نیاز در بسیاری از موارد بیش از اندازه خواهد بود. ممکن است گردشهای با سرعت زیاد بر روی یک روسازی مسطح بوسیله اصطکاک جانبی به خوبی و به طور کامل حمایت شوند، اما این امر به طور کلی شعاع قوس یا سرعتی که در آن پیچ با اطمینان پیموده می‌شود را محدود می‌کند.

فصل ۳ پیرامون طراحی قوسهای افقی بحث می‌کند و روابط بین بریلندی، اصطکاک جانبی، شعاع قوس و سرعت طراحی را با جزئیات بیشتر ارائه می‌دهد.

رابطه (۳-۲) می‌تواند در موارد متعددی مورد استفاده قرار گیرد. در طراحی، حداقل شعاع قوس بر مبنای حداکثر مقادیر e و f محاسبه می‌شود. برای مثال، اگر جاده‌ای دارای سرعت طرح 104 km/h و مقادیر حداکثر $e = 8\%$ و $f = 0.11$ باشند، حداقل شعاع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{104^2}{127(0.1 \times 8 + 0.11)} = 448/24 \text{ m}$$

همچنین این رابطه می‌تواند به ازای مقادیر معلوم شعاع قوس و حداکثر مقادیر e و f برای محاسبه حداکثر سرعت ایمن استفاده شود. در صورتی که قوسی از جاده با شعاع 244 m متر دارای یک بریلندی به میزان 6% درصد باشد، حداکثر سرعت ایمن را می‌توان برآورد نمود. لیکن برای انجام چنین کاری لازم است رابطه بین ضریب اصطکاک جانبی و سرعت، نظیر جدول (۴-۲) مورد توجه قرار گیرد.

با حل رابطه (۳-۲) برای S خواهیم داشت:

$$S = \sqrt{127R(0.1e + f)} \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

برای مثال ارائه شده، رابطه به ازای مقادیر معلوم $e(6\%)$ و $R(244 \text{ m})$ و مقادیر مختلف f از جدول (۴-۲) حل می‌شود. محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که اختلاف بین سرعت محاسبه شده و سرعتی که بر اساس آن ضریب اصطکاک جانبی انتخاب شده است، بر طرف گردد. از اینرو:

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + f)}$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.1)} = 70.4 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 112 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.12)} = 76.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 96 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.14)} = 78.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 80 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.15)} = 80.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 64 \text{ km/h})$$

بدیهی است که جواب صحیح بین 78.7 و 80.7 کیلومتر بر ساعت می باشد. در صورتی که درون یابی

خطی مورد استفاده قرار گیرد:

$$S = 78.7 + (80.7 - 78.7) \times \left[\frac{(80 - 78.7)}{(80.7 - 78.7) + (80.7 - 64)} \right] = 78.8 \text{ km/h}$$

از اینرو برای پیچ تعریف شده، سرعت 78.8 km/h حداکثر سرعت ایمنی می باشد که باید در آن عبور

نمود. لازم به ذکر است که این سرعت بر مبنای شرایط طراحی یک روسازی خیس بدست آمده است و در

شرایط خشک سرعت های بالاتری بدست خواهد آمد.

۲-۳-۳- خصوصیات ترمز گیری وسایل نقلیه

یکی دیگر خصوصیات بسیار مهم وسایل نقلیه توانایی توقف (یا کاهش سرعت) به هنگام فشرده شدن

ترمزها می باشد. مجدداً روابط اساسی فیزیک مورد استفاده قرار می گیرد. مسافت حرکت در طی یک توقف

عبارت است از متوسط سرعت در طی توقف ضرب در زمانی که برای توقف به طول می انجامد، و یا:

$$d_b = \left(\frac{S}{2} \right) \times \left(\frac{S}{a} \right) = \frac{S^2}{2a} \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

که در آن:

$$d_b = \text{مسافت ترمز، (m)}$$

$$S = \text{سرعت اولیه، (m/s)}$$

$$a = \text{نرخ کاهش سرعت، (m/s}^2\text{)}$$

بهتر است که سرعت بر حسب km/h بیان شود، لذا خواهیم داشت:

$$d_b = \frac{(. / 278 S)^2}{2a} = \frac{. / 0.386 S^2}{a}$$

که در آن سرعت S بر حسب km/h می باشد. توجه گردد که ضریب ۰/۰۳۸۶ از تبدیل واحد دقیق بین m/s و km/h حاصل می شود. همچنین اغلب بهتر است که این معادله بر حسب ضریب اصطکاک لغزشی یا غلتشی حرکت (F) بیان شود. با توجه به اینکه $F = \frac{a}{g}$ و g شتاب جاذبه زمین برابر $9/81 \text{ m/s}^2$ می باشد، لذا:

$$d_b = \frac{\left(\frac{. / 0.386 S^2}{9/81} \right)}{\left(\frac{a}{9/81} \right)} = \frac{S^2}{254 F}$$

که در آن F ضریب اصطکاک لغزشی یا غلتشی حرکت می باشد. وقتی که اثر شیب مورد توجه قرار گیرد و در مواردی که در چرخه ترمز، سرعت کاهش یافته ای غیر از صفر مد نظر باشد، معادله به صورت زیر استفاده می شود:

$$d_b = \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(F \pm . / 0.1 G)} \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

که در آن:

$$G = \text{شیب (\%)}$$

$$S_i = \text{سرعت اولیه، km/h}$$

$$S_f = \text{سرعت نهایی، km/h}$$

در سربالایی از علامت + و در سرپایینی ها از علامت - استفاده می شود. در سربالایی ها شتاب جاذبه به کاهش سرعت کمک می کند و در نتیجه مسافت ترمز کوتاه تر می شود. همچنین در سرپایینی ها شتاب جاذبه باعث شتاب بیشتر شده و مسافت ترمز طولانی تر می گردد.

در نسخه های قدیمی مرجع شماره ۵، مسافتهای ترمز بر مبنای ضرایب اصطکاک لغزشی حرکت بر روی روسازیهای خیس محاسبه می شد. لیکن در آخرین استانداردها، یک نرخ کاهش سرعت استاندارد به میزان $3/41 \text{ m/s}^2$ به عنوان نرخ طراحی مورد پذیرش قرار گرفته است. مشاهده می شود که این نرخ می تواند

بوسیله اکثر وسایل نقلیه بر روی روسازیهای خیس محقق شود. همچنین انتظار می‌رود که ۹۰ درصد از رانندگان با نرخهای بیشتری کاهش سرعت دهند. لذا این نرخ یک ضریب اصطکاک استاندارد برای محاسبات مسافت ترمز پیشنهاد می‌دهد و معادله (۶-۲) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$F = \frac{3/41}{9/81} = 0.348$$

$$d_b = \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(0.348 \pm 0.1G)} \quad \text{رابطه (۷-۲)}$$

به مثال زیر توجه کنید: یک وسیله نقلیه با سرعت ۹۶ km/h بر روی یک سرپایینی به شیب ۳٪ در حرکت می‌باشد. پس از فشرده شدن ترمزها و قبل از توقف کامل ($S_f = 0$ km/h) این وسیله چه مسافتی را طی می‌کند؟

با استفاده از رابطه (۷-۲) خواهیم داشت:

$$d_B = \frac{96^2 - 0^2}{254(0.348 - 0.1 \times 3)} = 114/1 \text{ m}$$

رابطه مسافت ترمز ابزار مناسبی نیز برای کارشناسان تصادف می‌باشد. با اندازه‌گیری اثرات خط ترمز و برآورد یک سرعت نهایی بر مبنای بررسی میزان خسارت، می‌توان سرعت اولیه یک وسیله نقلیه را از این رابطه برآورد نمود. در چنین مواردی از مقادیر برآورد شده واقعی F و رابطه (۶-۲) استفاده می‌شود و مقدار استاندارد طراحی که بوسیله AASHTO توصیه شده است مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

به مثال زیر توجه کنید: یک کارشناس تصادف بر مبنای بررسی میزان خسارت، برآورد می‌نماید که یک وسیله نقلیه با سرعت ۳۲ km/h به کنار پل برخورد نموده است. بر اساس شواهد محل تصادف، خط قرمزی به طول ۳۰ متر بر روی روسازی ($F=0.35$) و ۲۳ متر بر روی چمن شانه ($F=0.25$) مشاهده می‌شود. مسیر دارای شیب نمی‌باشد. مطلوب است برآورد سرعت وسیله نقلیه در شروع خط ترمز؟

در این مثال، با استفاده از رابطه (۶-۲) بر مبنای یک سرعت نهایی معلوم (یا تخمینی) می‌توان سرعت اولیه را محاسبه نمود. هر خط ترمز باید به صورت جداگانه تحلیل شود. با توجه به اینکه سرعت نهایی برخورد معلوم می‌باشد، با خط ترمز روی چمن شروع می‌کنیم، لذا:

$$d_b = 23 = \frac{S_i^2 - 32^2}{254(0/25)}$$

$$S_i = \sqrt{(23 \times 254 \times 0/25) + 32^2} = 49/8 \text{ km/h}$$

این مقدار برآورد سرعت وسیله نقلیه در شروع خط ترمز روی چمن می باشد و با سرعت وسیله نقلیه در

انتهای خط ترمز روی روسازی برابر است. لذا:

$$d_b = 30 = \frac{S_i^2 - 49/8^2}{254(0/35)}$$

$$S_i = \sqrt{(30 \times 254 \times 0/35) + 49/8^2} = 71/8 \text{ km/h}$$

بنابراین برآورد می شود که سرعت وسیله نقلیه درست قبل از ترمز بر روی روسازی 71/8 km/h بوده

است. البته این مقدار را می توان با محدودیت سرعت مقایسه نمود تا مشخص شود که آیا سرعت بیش از

حد عامل تصادف بوده است یا خیر.

۲-۳-۴- خصوصیات شتاب

شتاب جنبه معکوس کاهش سرعت می باشد. خودروهای سواری قادر هستند با نرخهای بسیار بیشتری

نسبت به وسایل نقلیه سنگین شتاب بگیرند. جدول (۲-۵) نمونه ای از مقادیر حداکثر شتاب را برای یک

خودروی سواری با نسبت $\frac{\text{وزن}}{\text{اسب بخار}}$ برابر ۱۳/۶ kg/hp و برای یک تریلر یدک کش با نسبت ۹۰/۷ kg/hp

نشان می دهد.

جدول (۲-۵): مشخصات شتاب یک خودروی سواری نمونه در مقابل یک کامیون نمونه در زمین مسطح

نرخ شتاب (m/s^2) برای :		حدود سرعت (km/h)
کامیون نمونه (۹۰/۷ kg/hp)	خودروی سواری نمونه (۱۳/۶ kg/hp)	
۰/۴۹	۲/۲۹	۰ - ۳۲
۰/۴	۱/۹۸	۳۲ - ۴۸
۰/۲۱	۱/۸	۴۸ - ۶۴
۰/۲۱	۱/۵۸	۶۴ - ۸۰
۰/۰۹	۱/۴	۸۰ - ۹۶

در سرعت‌های پایین، شتاب دارای بیشترین مقدار است و با افزایش سرعت، شتاب کاهش می‌یابد. اختلاف موجود بین خودروهای سواری و کامیونها دارای اهمیت است. مسافت مورد نیاز برای افزایش شتاب یک خودروی سواری و یک کامیون برای رسیدن به سرعت ۳۲ km/h را در نظر بگیرید. با تبدیل واحد سرعت از m/s به km/h خواهیم داشت:

$$d_a = \left(\frac{0.278S}{a} \right) \left(\frac{0.278S}{2} \right) = 0.386 \left(\frac{S^2}{a} \right) \quad \text{رابطه (۲-۸)}$$

که در آن:

d_a = مسافت شتاب ، (m)

S = سرعت در انتهای شتاب (از حالت توقف)، (km/h)

a = نرخ شتاب، (m/s^2)

مجدداً یادآوری می‌شود که ضریب ۰/۳۸۶ از تبدیل واحد دقیق m/s به km/h حاصل می‌شود. بنابراین:

برای اینکه یک خودروی سواری با نرخ شتاب $2/3 m/s^2$ به سرعت ۳۲ km/h برسد:

$$da = 0.386 \left(\frac{32^2}{2/3} \right) = 17/2 \quad m$$

برای اینکه یک کامیون با نرخ شتاب $0/49 m/s^2$ به سرعت ۳۲ km/h برسد:

$$da = 0.386 \left(\frac{32^2}{0/49} \right) = 80/7 \quad m$$

اختلاف موجود چشمگیر می‌باشد. در چراغ قرمز در صورتی که یک خودرو پشت سر یک کامیون

قرار گیرد، کامیون به میزان قابل توجهی باعث تأخیر خودرو خواهد شد. همچنین اگر یک کامیون به دنبال

یک خودرو در صفی متوقف قرار گیرد، به هنگام شتاب‌گیری فاصله زیادی بین آن دو ایجاد می‌شود.

متأسفانه این اختلاف به اندازه‌ای نیست که بتوان بر حسب آن طراحی و کنترل انجام داد. با این وجود

در تحلیلهای HCM اختلاف بین کامیونها و خودروهای سواری بر حسب شتاب و بر حسب توانایی آنها در

حفظ سرعتها در سربالایی‌ها به مفهوم "خودروی سواری معادل" منتهی شده است. بر حسب نوع تسهیلات ،

شدت و طول شیب ، و سایر عوامل ، ممکن است یک کامیون ظرفیتی بیش از ۶ تا ۷ خودروی سواری را

در جاده اشغال نماید. از اینرو، اختلاف در خصوصیات عملکردی مهم کامیونها و خودروهای سواری به صورت فراهم کردن ظرفیت اضافی مورد نیاز، در طراحی لحاظ می‌گردد.

۲-۴- مسافت توقف کل و کاربردهای آن

کل مسافت طی شده تا لحظه توقف کامل یک وسیله نقلیه شامل مجموع مسافت طی شده در زمان مشاهده و عکس‌العمل (d_r) و مسافت ترمز (d_b) می‌باشد. در صورتی که رابطه (۲-۱) برای d_r و رابطه (۲-۷) برای d_b با هم ترکیب شوند، کل مسافت توقف برابر می‌شود با:

$$d = 0.278 S_i t + \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(0.348 \pm 0.01G)} \quad \text{رابطه (۲-۹)}$$

که در آن :

d = مسافت توقف کل، (m)

S_i = سرعت اولیه، (km/h)

S_f = سرعت نهایی، (km/h)

t = زمان عکس‌العمل، (s)

G = شیب جاده، (%)

مفهوم مسافت کل توقف در بسیاری از کاربردهای مهندسی ترافیک از اهمیت بسیاری برخوردار است.

پیرامون سه مورد از مهمترین کاربردهای آن در بخشهای زیر بحث می‌شود.

۲-۴-۱- مسافت مطمئن دید توقف

به عنوان یکی از مهمترین اصول اساسی طرح هندسی راه، راننده باید توانایی رویت مسافت کافی در جلوی وسیله نقلیه را داشته باشد تا از وقوع یک خطر یا تصادف بالقوه پرهیز گردد. از اینرو، در کلیه قسمتهای جاده، راننده باید از یک مسافت دید که حداقل برابر کل مسافت توقف مورد نیاز در سرعت طرح می‌باشد، برخوردار گردد.

این نیاز در واقع یک موضوع بسیار مهم را مورد توجه قرار می‌دهد. راننده‌ای در حال دور زدن یک قوسی افقی و یا عبور از یک قوس قائم با یک درخت افتاده، یک کامیون واژگون یا برخی وضعیت‌های دیگر مواجه می‌شود که بطور کامل جاده را مسدود کرده‌اند. توقف تنها راهکار موجود برای پرهیز از وقوع تصادف می‌باشد. طراحی باید به نحوی انجام شود که در امتداد طول هر نقطه، راننده از خط دید واضحی به اندازه حداقل مسافت توقف کامل برخوردار باشد. با اطمینان خاطر از این موضوع، راننده هرگز با توقفی که فاصله کافی برای انجام آن در اختیار ندارد، مواجه نمی‌گردد.

مقطعی از یک آزاد راه بین شهری با سرعت طرح 112 km/h را در نظر بگیرید. در یک منطقه با زمین هموار، مسافت مطمئن توقف باید چقدر لحاظ شود؟ رابطه (۲-۹) با یک سرعت نهایی $S_f = 0$ و زمان عکس‌العمل استاندارد AASHTO برابر $2/5 \text{ s}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا:

$$d = 0.278 \times 112 \times 2/5 + \frac{112^2 - 0}{254(0.348)} = 77/84 + 141/91 = 219/75 \text{ m}$$

به عبارت دیگر در تمام طول این مقطع از جاده رانندگان باید قادر باشند حداقل $219/75$ متر در جلوی وسیله‌نقلیه را ببینند. فراهم نمودن مسافت مطمئن دید توقف، اجزای مختلف مسیر قائم و افقی را محدود خواهد کرد. پیرامون این موضوع در فصل ۳ بحث می‌شود.

حال برای مثال، اگر در یک مقطع از این جاده فقط 152 متر فاصله دید فراهم شود، چه اتفاقی روی می‌دهد؟

در این صورت امکان دارد که یک راننده در لحظه‌ای متوجه وجود مانع شود که فقط 152 متر از آن فاصله دارد. لذا اگر راننده با سرعت طراحی 112 km/h در حال نزدیک شدن باشد، یک تصادف اتفاق خواهد افتاد. با فرض مجدد مقادیر طرح برای زمان عکس‌العمل و اصطکاک لغزشی حرکت و با استفاده از یک مسافت معلوم برای کاهش سرعت، رابطه (۲-۹) می‌تواند برای محاسبه سرعت تصادف (یعنی سرعت پایانی دوره کاهش سرعت) بکار رود:

$$152 = 0.278 \times 112 \times 2/5 + \frac{112^2 - S_f^2}{254(0.348)}$$

$$152 - 77/84 = 74/16 = \frac{112^2 - S_f^2}{88/39}$$

$$6555 = 12544 - S_f^2$$

$$S_f = \sqrt{12544 - 6555} = 77/39 \text{ km/h}$$

اگر شرایط مفروض فراهم باشد، تصادفی با سرعت ۷۷/۳۹ km/h اتفاق خواهد افتاد. البته در صورتی که آب و هوا خشک بود و راننده از زمان عکس‌العمل سریع‌تری نسبت به مقدار طراحی برخوردار بود، احتمال داشت تصادف در سرعت کمتری رخ دهد و حتی ممکن بود به طور کامل از وقوع آن پرهیز شود. نکته اینجاست که اگر مسافت دید به ۱۵۲ متر محدود می‌شد، چنین تصادفی می‌توانست رخ دهد.

۲-۴-۲- مسافت دید تصمیم

علی‌رغم اینکه تمام نقاط و مقاطع یک جاده باید به نحوی طراحی شود که حداقل مسافت مطمئن دید توقف را فراهم سازد، در برخی از مقاطع باید مسافت دید بیشتری فراهم گردد تا به رانندگان اجازه دهد به وضعیتهای بالقوه پیچیده‌تر از یک توقف ساده واکنش نشان دهند. قبلاً در مورد زمانهای عکس‌العمل برای وضعیتهای پرهیز از تصادف صحبت شد [۵].

مسافتهای دید که بر مبنای زمانهای عکس‌العمل پرهیز از تصادف حاصل می‌شوند به مسافتهای دید تصمیم موسوم می‌باشند. آیین‌نامه AASHTO توصیه می‌نماید که مسافت دید تصمیم در محلهای زیر تأمین شوند:

- تبادلهای یا تقاطعهایی که در آنجا مانورهای حرکتی غیر منتظره و غیر عادی مورد نیاز می‌باشد.
- تغییرات در مقطع عرضی نظیر کاهش یا افزایش خطوط عبور
- محلهای اخذ عوارض راه
- مناطق ازدحام تقاضا که در آنجا اختلال دید به سبب تقابل منابع اطلاعات (نظیر تجهیزات کنترل، تابلوهای تبلیغاتی و اجزای جاده) قابل توجه است.

$$d = .777 \times 96 \times 14 / 5 + \frac{96^2 - .7}{2 \times 96 \times (.777 - .1 \times 3)} = 377 + 114 / 1 = 5.1 / 1 \quad m$$

مسافت دید تصمیم برای مانور پرهیز از تصادف (m)					زمان مانور مفروض (s)	سرعت طرح (km/h)
E	D	C	B	A		
رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۹-۲)	رابطه (۹-۲)		
۱۴/۵	۱۲/۹	۱۱/۲	۹/۱	۳	زمان عکس العمل (s)	
۲۵۴	۲۳۲	۲۱۰	۱۴۸	۶۶	۴/۵	۴۸
۳۳۸	۳۱۰	۲۷۹	۲۰۹	۱۰۰	۴/۵	۶۴
۴۱۱	۳۷۶	۳۳۸	۲۷۵	۱۳۹	۴/۰	۸۰
۴۹۴	۴۵۱	۴۰۶	۳۴۷	۱۸۴	۴/۰	۹۶
۵۶۰	۵۱۱	۴۵۸	۴۲۵	۲۳۵	۳/۵	۱۱۲
۶۴۱	۵۸۴	۵۲۳	۵۰۹	۲۹۲	۳/۵	۱۲۸

A: توقف در یک راه بین شهری

B: توقف در یک راه شهری

C: تغییر سرعت / مسیر / جهت در یک راه بین شهری

D: تغییر سرعت / مسیر / جهت در یک راه برون شهری

E: تغییر سرعت / مسیر / جهت در یک راه شهری

ضوابط مربوط به مسافتهای دید تصمیم در AASHTO، برای تغییرات سرعت، مسیر یا جهت که در اغلب وضعیتهای پیچیده مورد نیاز می باشد، یک مانور در نظر نمی گیرد. این ضوابط که در جدول (۲-۶) نشان داده شده است، یک مسافت مانور متناسب با زمان مانور بین ۳/۵ تا ۴/۵ ثانیه را جایگزین مسافت ترمز در این وضعیتهای می نماید. سرعت مؤثر در طی زمان مانور برابر سرعت اولیه فرض می شود. از اینرو، برای مانورهای شامل تغییر سرعت، مسیر یا جهت در جاده های بین شهری، برون شهری، یا شهری، رابطه (۲-۱۰) برای محاسبه مسافت دید تصمیم مورد استفاده قرار گیرد:

$$d = 0.278(t_r + t_m)S_i \quad \text{رابطه (۲-۱۰)}$$

که در آن:

$$t_r = \text{زمان عکس العمل برای مانور مناسب پرهیز از تصادف، (s)}$$

$$t_m = \text{زمان مانور، (s)}$$

از اینرو، در مثال قبل، AASHTO فرض نخواهد کرد که یک توقف مورد نیاز می باشد، بلکه در سرعت ۹۶ km/h، یک زمان مانور برابر ۴ s همراه با ۱۴/۵ s زمان عکس العمل مورد استفاده قرار می گیرد، و

$$d = 0.278(14.5 + 4) \times 96 = 493.7 \text{ m}$$

ضوابط مسافت دید که در جدول (۲-۶) ارائه شده است از بسط روابط (۲-۹) و (۲-۱۰) برای زمانهای

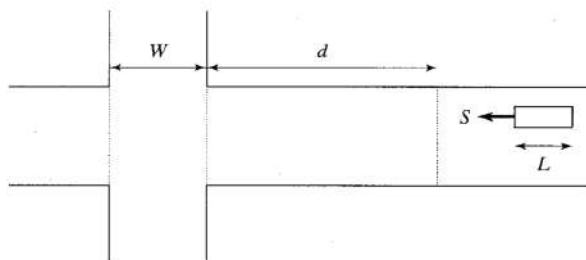
عکس العمل تصمیم که به ۵ مانور معین پرهیز از تصادف اشاره دارد، حاصل شده است.

۲-۴-۳- کاربردهای دیگر مسافت دید:

علاوه بر مسافت مطمئن دید توقف و مسافت دید تصمیم، آیین نامه AASHTO ضوابطی نیز برای مسافت دید سبقت در جاده های دو خطه بین شهری و مسافتهای دید تقاطع برای گزینه های مختلف کنترل، وضع نموده است. این مباحث در فصلهای دیگر این کتاب ارائه می شوند. برای مباحث مربوط به مسافت دید سبقت در جاده های دو خطه به فصل ۱۶ و برای مسافتهای دید تقاطع به فصل ۱۸ مراجعه نمایید.

۲-۴-۴- زمان تغییر (زرد) و زمان تخلیه (تمام قرمز) در یک چراغ راهنمایی

زمان زرد در یک چراغ راهنمایی طراحی می‌شود تا اجازه دهد وسیله نقلیه‌ای که نمی‌تواند به هنگام اتمام زمان سبز به راحتی توقف کند، به صورت قانونی وارد تقاطع شود. به وضعیت نشان داده شده در شکل (۵-۲) توجه نمایید.



شکل (۵-۲): زمانبندی فواصل زرد و تمام قرمز در یک چراغ راهنمایی

در شکل (۵-۲)، d مسافت مطمئن توقف می‌باشد. هنگامی که زمان سبز به پایان می‌رسد، وسیله نقلیه‌ای که در فاصله d متری و یا کمتر از خط تقاطع قرار دارد، با فرض مقادیر معمول طراحی قادر به توقف نخواهد بود. لیکن وسیله نقلیه دورتر از فاصله d قادر خواهد بود تا بدون تخطی در محدوده تقاطع توقف نماید. چراغ زرد به گونه‌ای زمان بندی می‌شود تا به وسیله نقلیه‌ای که نمی‌تواند توقف کند، اجازه دهد با همان سرعت نزدیک شدن (s) مسافت d را طی کند. لذا یک وسیله نقلیه ممکن است به صورت قانونی در زمان زرد وارد تقاطع شود. زمان تمام قرمز باید به وسیله نقلیه‌ای که به صورت قانونی وارد تقاطع شده است اجازه دهد از عرض تقاطع (w) عبور کند و انتهای عقب وسیله نقلیه (L) از خط آن سوی تقاطع خارج گردد. از اینرو، زمان زرد باید به نحوی تعیین شود تا اجازه دهد یک وسیله نقلیه مسافت مطمئن توقف را طی کند. مثالی را در نظر بگیرید که در آن سرعت ورود به یک تقاطع چراغدار برابر 64 km/h می‌باشد. چه مدتی را باید برای زمان زرد لحاظ نمود؟

مسافت مطمئن توقف با استفاده از زمان عکس‌العمل استاندارد برای زمان بندی چراغ راهنمایی برابر ۱

ثانیه و شیب صفر محاسبه می‌شود:

$$d = 0.2778 \times 64 \times 1 + \frac{64^2 - 0.2}{254(0.2778)} = 64/1 \quad m$$

زمان چراغ زرد برابر با مدتی است که یک وسیله نقلیه نزدیک شونده، مسافت ۶۴/۱ متری را با سرعت

۶۴ km/h طی می کند و یا :

$$y = \frac{64/1}{0.2778 \times 64} = 3/6 \quad s$$

در عمل، زمان زرد با استفاده از یک روش مستقیم بر مبنای زمان و یک نرخ کاهش سرعت استاندارد

محاسبه می شود. با این وجود اصول کار مشابه می باشد. این مثال نشان می دهد که چگونه مفهوم مسافت

مطمئن توقف وارد روشهای زمان بندی چراغ راهنمایی می شود. جزئیات بیشتر پیرامون این موضوع در

فصل ۲۰ مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۵- توضیحات پایانی:

این فصل خلاصه برخی از اجزای بسیار مهم خصوصیات راننده، عابر پیاده و وسیله نقلیه را که در

طراحی و کنترل ترافیک تأثیر گذار هستند، بیان نموده است. مجموع این اجزا به همراه خصوصیات جاده،

جریانهای ترافیک را بوجود می آورند و مشاهده خواهد شد که خصوصیات جریانهای ترافیک نتیجه اثرات

متقابل بین اجزا می باشد. خصوصیات فردی کاربران راه و وسایل نقلیه آنها تأثیری بنیادی بر جریانهای

ترافیک دارد.

مراجع:

[1] Dewar, Robert, "Road Users," *Traffic Engineering Handbook*, 5th Edition, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 1999.

[2] Ogden, K.W., *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*, University Press, Cambridge, England, 1996.

[3] Allen, Merrill, et al., *Forensic Aspects of Vision and Highway Safety*, Lawyers and Judges Publishing Co., Inc., Tucson, AZ, 1996.

-
- [4] Olson, Paul, *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, Lawyers and Judges Publishing Co., Inc., Tucson, AZ, 1996.
- [5] *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 4th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC. 2001.
- [6] Johansson, G. and Rumar, K., "Driver's Brake Reaction Times," *Human Factors*, Vol. 13, No. 1, Human Factors and Ergonomics Society, February 1971.
- [7] *Report of the Massachusetts Highway Accident Survey*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1935.
- [8] Norman, O.K., "Braking Distances of Vehicles from High Speeds," *Proceedings of the Highway Research Board*, Vol. 22, Highway Research Board, Washington DC, 1953.
- [9] Fambro, D.B., et al., "Determination of Safe Stopping Distances," NCHRP Report 400, Transportation Research Board, Washington DC, 1997.
- [10] *Determination of Vehicle Signal Change and Clearance Intervals*, Publication IR-073, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 1994.
- [11] *Human Factors*, Vol. 28, No. 1, Human Factors and Ergonomics Society, 1986.
- [12] Eubanks, J.J. and Hill, P.L., *Pedestrian Accident Reconstruction and Litigation*, 2nd Edition, Lawyers and Judges Publishing Co, Inc., Tucson, AZ, 1998.
- [13] Perry, J., *Gait Analysis*, McGraw-Hill, New York, NY, 1992.
- [14] Sleight, R.B., "The Pedestrian," *Human Factors in Traffic Safety Research*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1972.
- [15] Tidwell, J.E. and Doyle, D., *Driver and Pedestrian Comprehension of Pedestrian Laws and Traffic Control Devices*, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC, 1993.
- [16] Herms, B.F., "Pedestrian Crosswalk Study: Accidents; in Painted and Unpainted Crosswalks," *Pedestrian Protection*, Highway Research Record 406, Transportation Research Board, Washington DC, 1972.
- [17] "Transportation in an Aging Society," *Special Report 218*, Transportation Research Board, Washington DC, 1988.

مسائل:

۱-۲- راننده‌ای که با سرعت 88 km/h در حرکت است برای واکنش به یک وضعیت پیچیده زمان $3/2 \text{ s}$ را نیاز دارد. قبل از اینکه راننده عکس‌العمل فیزیکی نسبت به این وضعیت را آغاز نماید (یعنی پای خود را بر روی ترمز بفشارد)، وسیله‌نقلیه چه مسافتی را طی می‌کند؟

۲-۲- راننده‌ای با سرعت 96 km/h در حال دور زدن یک پیچ در شیب هموار می‌باشد که در فاصله 122 متری خود متوجه یک کامیون واژگون در عرض جاده می‌شود. در صورتی که راننده قادر باشد با نرخ 3 m/s^2 کاهش سرعت دهد، سرعت برخورد وسیله با کامیون چقدر خواهد بود؟ نتایج را برای زمان عکس‌العمل بین $5 \text{ s} - 0/5 \text{ s}$ به ازاء هر $0/5 \text{ s}$ رسم نموده و پیرامون آن بحث نمایید.

۳-۲- در یک سرازیری به شیب 3% ، یک وسیله‌نقلیه با سرعت تخمینی 56 km/h به یک درخت برخورد می‌کند. در صورتی که طول خط ترمز مشاهده شده بر روی روسازی خشک ($F=0/45$) برابر 30 متر و ادامه آن بر روی چمن شانه ($F=0/2$) برابر 76 متر باشد، سرعت اولیه وسیله‌نقلیه دقیقاً قبل از شروع خط ترمز روی روسازی چقدر بوده است؟

۴-۲- رانندگان برای عبور از یک پیچ خطرناک در جاده بین شهری باید سرعت را از 112 km/h به 96 km/h کاهش دهند. یک تابلوی هشدار دهنده برای پیچ از فاصله 30 متری به وضوح قابل رویت است. برای اطمینان از اینکه وسایل‌نقلیه فاصله کافی برای کاهش سرعت مطمئن را داشته باشند، موقعیت تابلو در چه فاصله‌ای از پیچ باید قرار داده شود؟ از زمان عکس‌العمل استاندارد و نرخ کاهش سرعت توصیه شده بوسیله AASHTO برای مانورهای ترمز استفاده نمایید.

۵-۲- زمان زرد چراغ راهنمایی برای وسایل نقلیه‌ای که بر روی یک سرازیری با شیب ۲٪ و با سرعت ۵۶km/h به یک چراغ راهنمایی نزدیک می‌شوند، چقدر می‌باشد؟ از زمان عکس‌العمل استاندارد ۱ s و نرخ کاهش سرعت استاندارد AASHTO استفاده نمایید.

۶-۲- مسافت مطمئن توقف برای مقطعی از یک آزاد راه بین شهری با سرعت طرح ۱۲۸km/h و بر روی سربالایی با شیب ۴٪ چقدر می‌باشد؟

۷-۲- حداقل شعاع قوس برای عملکرد مطمئن وسایل نقلیه در سرعت ۱۱۲ km/h، با حداکثر برابندی ۶٪ و ماکزیمم ضریب اصطکاک جانبی برابر ۰/۱ چقدر می‌باشد؟

فصل

۴

آشنایی با تجهیزات کنترل ترافیک

تجهیزات کنترل ترافیک رسانه هایی هستند که از طریق آنها مهندسين حمل و نقل با رانندگان ارتباط برقرار می کنند. در واقع تمامی قوانین، مقررات و دستورالعملهای عملی و عملیاتی می بایست از طریق استفاده از این ابزارها منتقل شوند. این ابزارها در سه گروه وسیع دسته بندی می شوند:

- خط کشی های ترافیکی

- تابلوهای ترافیکی

- علائم و چراغهای راهنمایی

برای ایجاد محیط حمل و نقلی ایمن و مطمئن، ارتباط میان مهندسين حمل و نقل و رانندگان می بایست ارتباطی موثر و کارا باشد. مهندسين ترافیک دارای کنترل فردی و گروهی مستقیم برهیچ یک از رانندگان نمی باشند. اگر یک راننده از چراغ قرمز درحالیکه قطار در حال نزدیک شدن به آن است عبور کند، سیستم ترمز اتوماتیک قطار را به هر حال متوقف می کند. اگر راننده چراغ قرمز را دریک تقاطع خیابانی رد کند خطر برخورد جریان وسیله یا وسایل نقلیه با عابرین پیاده حرکت را مختل می کند. از این

رو، طراحی تجهیزات کنترل ترافیک از سوی مهندسین حمل و نقل با این منظور که پیام مورد نظر را به صورت ساده برای رانندگان بیان کنند، امری بسیار خطیر و ضروری می باشد.

این بخش، اصول اولیه و مهمی را درخصوص طراحی و مکان یابی تجهیزات کنترل ترافیک معرفی می کند. بخش های بعد، جزئیات و کاربردهای دقیق و جزئیات این ابزارها را درعرصه آزادراه ها، معابر چند خطه و دو خطه، تقاطع ها، معابر شریانی و خیابان ها را ارائه می دهند.

۴-۱- راهنمای یکپارچه تجهیزات کنترل ترافیک

استاندارد اصلی که کاربرد، طراحی و مکان یابی تجهیزات کنترل ترافیک را پوشش می دهد، ویرایش کنونی راهنمای یکپارچه تجهیزات کنترل ترافیک (MUTCD) می باشد [۱]. اداره راه های فدرال ناشر MUTCD ملی می باشد که به عنوان استاندارد حداقل به حساب آمده و مدلی برای سایر دستورالعمل هایی که در سطح ایالات مختلف تهیه می شوند محسوب می شود.

بسیاری از ایالات، دستورالعمل منتشر شده از سوی اداره فدرال را به کار گرفته و در آن تغییرات بسیار اندکی اعمال می کنند. برخی ایالات دیگر، دستورالعمل های خود را تدوین می کنند. در مواردی که ایالت ها، دستورالعمل خود را تدوین می کنند، دستورالعمل ها فدرال می بایست به عنوان استاندارد حداقل ضرورتاً رعایت شوند. لذا آن ها می توانند استانداردهای سخت گیرانه تری را نیز تدوین و اعمال کنند.

۴-۱-۱- سابقه و تاریخچه

یکی از اهداف مهم و اصلی دستورالعمل MUTCD ایجاد یکپارچگی و یکدستی در استفاده، مکانیابی و طراحی تجهیزات کنترل ترافیک می باشد. هنگامیکه یک پیام یکسان در همه موقعیت ها و مکان ها به یک صورت واحد ارایه می شود، ارتباطات تسهیل شده و بهبود می یابند. تصور کنید که اگر هر ایالت تابلو "ایست" را به صورت، رنگ و جلوه ای متفاوت از سایر ایالات تهیه و طراحی می کرد چه وضعیتی پیش می آمد.

تفاوت در شکل و حالت تجهیزات ترافیکی تنها در سطح تئوری و نظری نبوده است. در سال‌های آغازین دهه ۱۹۵۰، چراغ‌های راهنمایی دو رنگ (سبز و قرمز)، در ایالات مختلف دارای وضعیت متفاوتی بودند. در برخی ایالت‌ها چراغ قرمز بالا بود و در برخی دیگر چراغ سبز در بالا قرار داشت. این مسئله باعث ایجاد مشکلاتی عدیده برای رانندگانی می شد که دچار کوررنگی بودند. شایع ترین نوع کوررنگی عدم توانایی تشخیص سبز از قرمز است. استانداردسازی ترتیب این چراغ‌ها اقدامی خطیر و بسیار مهم در ایجاد امنیت بود که این اطمینان خاطر را ایجاد می کرد که حتی رانندگان دارای کوررنگی قادر به درک و تفسیر صحیح چراغ راهنمایی بر اساس موقعیت آن باشند. اندکی بعد مقداری رنگ آبی و زرد به عدسی چراغ‌های سبز و قرمز اضافه شد تا به این وسیله قابلیت تشخیص برای رانندگان کوررنگ بهبود یابد.

تجهیزات کنترل ترافیک نخستین نیز در محل‌های مختلف و با شکل‌ها و صور گوناگون پا به عرصه خیابان‌ها گذاشتند. طراحی این ابزارها در مکان‌های مختلف متفاوت بود و حتی پیامی که آنها منتقل می کردند نیز در محل‌های مختلف یکسان و هماهنگ نبود. اولین خط‌کشی در وسط جاده در جاده‌های ایالت میشیگان در سال ۱۹۱۱ بکار گرفته شد. اولین چراغ راهنمایی الکتریکی در سال ۱۹۱۴ و در کلوند اوهایو مورد استفاده قرار گرفت. اولین تابلوی "ایست" در دیترویت در سال ۱۹۱۵ نصب شد و در همان مکان در سال ۱۹۲۰ اولین چراغ راهنمایی سه رنگ بکار گرفته شد.

اولین تلاش‌ها برای ایجاد و تدوین استانداردهای ملی در عرصه تجهیزات کنترل ترافیک در طول سالهای دهه ۱۹۲۰ انجام شد. دو سازمان مجزا، دو دستورالعمل جداگانه را در این برهه زمانی منتشر کردند. در سال ۱۹۲۷ انجمن کارشناسان رسمی جاده‌های آمریکا (AASHO که بعدها به AASHTO تغییر نام داد) دستورالعملی را با عنوان "راهنما و خصوصیات فنی تولید، نمایش و نصب علائم و خط‌کشی‌های جاده‌های آمریکا" تدوین و چاپ کرد. این دستورالعمل در سالهای ۱۹۲۹ و ۱۹۳۱ نیز مورد بازبینی و تجدید نظر قرار گرفت. این دستورالعمل تنها علائم و خط‌کشی‌های مناطق خارج از شهر را شامل می شد. در سال ۱۹۳۰،

کنفرانس ملی ایمنی خیابان‌ها و جاده‌ها (NCSHS)، راهنمای تابلوها، چراغ‌ها و خط‌کشی‌های خیابانی را که کاربرد شهری داشت منتشر کرد.

در سال ۱۹۳۲، این دو گروه کمیته‌ای مشترک در مورد تجهیزات یکپارچه کنترل ترافیک تشکیل دادند و اولین دستورالعمل کامل و جامع MUTCD را در سال ۱۹۳۵ منتشر کردند. این راهنما در سال ۱۹۳۹ هم مورد بازبینی قرار گرفت. این گروه مسئولیت بازبینی دستورالعمل مربوطه را تا سال ۱۹۷۲ حفظ کرد؛ یعنی تا زمانی که اداره فدرال راه‌ها آمریکا مسئولیت بررسی این دستورالعمل را به عهده گرفت.

آخرین ویرایش MUTCD (در زمان نگارش این کتاب) که به عنوان ویرایش هزاره شناخته می‌شود، در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. کار بر روی این ویرایش از دهه ۱۹۸۰ آغاز شد و زمان تکمیل آن بیش از آنچه انتظار می‌رفت (۲ تا ۳ سال) به طول انجامید. این فصل بر اساس ویرایش هزاره شکل گرفته است.

جدول (۱-۴) ویرایش‌های دستورالعمل MUTCD و بازبینی‌های پیشین که قبل از انتشار آخرین ویرایش این دستورالعمل اعمال شده است را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

برای دستیابی به تاریخچه کاملتر و مناسبتر MUTCD و مراحل توسعه و گسترش آن به سلسله مقالات Hawkins [۲-۵] مراجعه کنید.

۴-۱-۲- اصول کلی MUTCD

دستورالعمل MUTCD بیان می‌کند که هدف استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک، بهبود ایمنی راه‌ها از طریق ایجاد حرکت منظم تمامی کاربران در سطح خیابان‌ها و جاده‌ها می‌باشد. علاوه بر آن، این راهنما پنج خصوصیت از خصوصیات تجهیزات کنترل ترافیک برای تاثیرگذاری بیشتر و موثرتر در انجام این مأموریت را معرفی کرده است. به این صورت که یک ابزار کنترل ترافیک می‌بایست:

۱- یک نیاز را برآورده کند.

۲- توجه کاربران را به خود جلب کند.

جدول (۴-۱). تکامل دستورالعمل MUTCD.

سال	عنوان	موارد بازنگری شده
۱۹۲۷	Manual and Specification for the Manufacture, Display and Erection of U.S. Standards Road Markers and Signs	۳۱/۱۲، ۲۹/۴
۱۹۳۰	Manual of Street Traffic Signs, Signals and Markings	هیچ
۱۹۳۵	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	۳۹/۲
۱۹۴۳	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – War Emergency Edition	هیچ
۱۹۴۸	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	۵۴/۹
۱۹۶۱	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	هیچ
۱۹۷۱	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	۷۳/۳، ۷۲/۴، ۷۱/۱۱
		۷۵/۶، ۷۴/۶، ۷۳/۱۰
		۷۷/۱۲، ۷۶/۹
۱۹۷۸	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	۸۴/۹، ۸۳/۱۲، ۷۹/۱۲
		۸۶/۳
۱۹۸۸	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways	۹۳/۹، ۹۲/۳، ۹۰/۱
		۹۶/۶، ۹۶/۱۲، ۹۴/۱۱
		۰۰/۱
۲۰۰۰	Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – Millennium Edition	۰۱/۶

۳- حاوی پیامی ساده و شفاف باشد.

۴- احترام کاربران را جلب کند.

۵- زمان لازم را برای ارایه پاسخ مناسب به کاربران ارایه کند.

علاوه بر معانی شفاف این شرایط و ملزومات، برخی جزئیات بسیار ظریف نیز نمی بایست از نظر دور بمانند. اولین شرط و اولین ردیف ملزومات ترافیکی به طور تلویحی بیان می کند که تجهیزات غیرضروری و اضافی نمی بایست مورد استفاده قرار بگیرند. هر یک از تجهیزات می بایست هدفی خاص داشته باشد و برای ایجاد جریان ایمن و موثر حمل و نقل ضروری باشد. این ابزارها تنها هنگامی می توانند احترام کاربران جاده ها را جلب کنند که دارای معنی و مفهومی مناسب و موثر باشند. استفاده بیش ازحد و

نادرست از این علائم و نشانه‌های ترافیکی، رانندگان را ترغیب می‌کند که نسبت به آنها بی‌اعتنا باشند. این مسئله داستان چوپان دروغگو را در اذهان یادآور می‌شود. درچنین وضعیتی، رانندگان ممکن است از توجه به تابلوها و علائمی که واقعاً ضروری و مهم هستند خودداری کنند.

موارد ۲ و ۳ بر طراحی یک ابزار کنترل ترافیک تأثیر می‌گذارند. قابلیت جلب توجه، نیازمند شفافیت و تمایز طرح می‌باشد. به نحوی که توجه رانندگان در محیطی که سرشار از تصاویر و اجسامی است و حواس راننده را پرت می‌کنند، جلب شود این تجهیزات شود. استفاده از رنگ و شکل استاندارد نقش بسیار مهمی را در جلب توجه رانندگان بازی می‌کند. شفافیت و سادگی پیام نیز بسیار مهم و حیاتی است. راننده بویژه هنگامیکه با سرعت بالا در حرکت است، تنها زمانی بسیار کوتاه درحد چند ثانیه را به این تابلوها و علائم نگاه می‌کند. در این حالت نیز، رنگ و شکل مشخص برای تابلو بکار گرفته می‌شود تا بیشترین اطلاعات ممکن به رانندگان منتقل و ارایه شود. حاشیه و پیام نوشته شده بر روی تابلو می‌بایست تا حداکثر ممکن ساده و کوتاه باشند.

مورد ۵ در مورد مکان نصب و بکارگیری تجهیزات کنترل ترافیک بحث می‌کند. یک تابلو «ایست» به عنوان مثال، همیشه درکنار خط ایست نصب می‌شود. اما می‌بایست به صورتی نصب شود که زمان لازم را برای توقف به وسایل نقلیه بدهد. تابلوهای راهنمای مسیرها نیز که از رانندگان می‌خواهند مسیر راست و خط مناسب را انتخاب کنند می‌بایست با فاصله‌ای منطقی از محل تغییر مسیر نصب شوند تا به رانندگان امکان تغییر خط و مسیر را ارایه داده و به راحتی بتوانند مسیر مورد نظر خود را انتخاب کنند.

۴-۱-۳- محتوای دستورالعمل MUTCD

دستورالعمل MUTCD ۳ جنبه بسیار مهم از تجهیزات کنترل ترافیک را بررسی می‌کند. شامل :

۱- استانداردهای جزئی و مفصل طراحی تجهیزات کنترل ترافیک و تعیین خصوصیات شکل و ظاهر و

نوع و اندازه پیام مورد نظر.

۲- استانداردهای دقیق و مفصل در مورد چگونگی و محل نصب تجهیزات مورد نظر بر حسب مسیرهای حرکت.

۳- شرایطی که استفاده از یک ابزار کنترل ترافیک را توجیه کند.

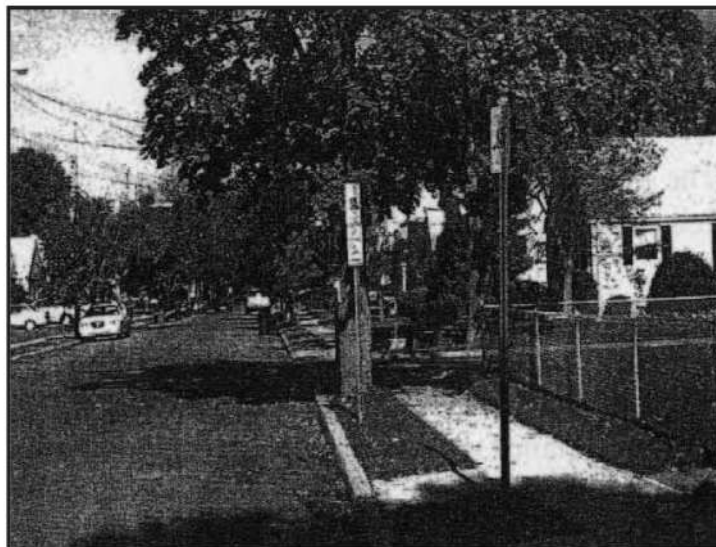
کامل ترین و جزئی ترین استانداردهای مربوط به طراحی فیزیکی تجهیزات کنترل ترافیک می باشد. تمامی جزئیات ریز طراحی فیزیکی این ابزارها می بایست با دقت مورد توجه قرار گیرد. رنگ ها بوسیله رنگدانه های خاص در طراحی کاملاً مشخص شده و پیغام ها و نوشته ها نیز با فونت مشخص نوشته خواهند شد. تفاوت های مختصری نیز در این بین قابل اجرا است که بیشتر به اندازه تابلوها مرتبط می باشند. یعنی در موارد لازم است برای مشخص تر بودن تابلو، اندازه بزرگتری انتخاب می شود. البته کوچکترین اندازه استاندارد در این بین مشخص شده است.

دستورالعمل های مکان یابی تابلوها و تجهیزات کنترل ترافیک نیز نسبتاً مفصل و با جزئیات بحث شده اند. اما امکان تغییرات محدودی در محل نصب و بکارگیری این ابزارها وجود دارد. برخی اوقات استفاده از دستورالعمل نصب و مکان یابی با مشکلات مواجه می شود. یکی از مشکلات رایج در این مورد، محل نصب تابلو "ایست" است. برخی اوقات، هنگامیکه این تابلوها در محل های مشخص شد نصب می شوند، در لا به لای درختان و سایر موانع پنهان می مانند و این مسئله تاثیر عملکرد آنها را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. شکل (۴-۱) این مورد را نشان می دهد. از آنجائیکه تابلو ایست با ارتفاع مشخص شده نصب شده است کاملاً پشت درختی پنهان مانده است. در این موارد اگر قرار است که تابلو و سایر تجهیزات کنترل ترافیک به صورت موثر عمل کنند، باید از قوه عقل و منطق مشخصی استفاده کرد.

دستورالعمل ها هر یک در سطوحی متفاوت از جزئیات و نظم و ترتیب ارائه شده اند. فرضاً دستورالعمل های مربوط به چراغ راهنمایی دارای جزئیات و نسبتاً دقیق هستند. این مسأله مهمی است چرا که نصب چراغ بیانگر هزینه های مشخصی است، هم در حیطه هزینه های اولیه سرمایه گذاری و هم در زمینه

هزینه‌های مستمر بهره‌برداری و نگهداری. دستوالعمل‌های مربوط با تابلوهای ایست و رعایت حق تقدم کلی‌تر بوده و آزادی عمل بیشتری برای قضاوت‌های حرفه‌ای قائل شده است.

فصل ۱۶ به چگونگی انتخاب مناسب شیوه‌های کنترل تقاطع‌ها و نکات مختلف درباره آنها و همچنین به بحث در خصوص تابلوی «ایست» در خیابان‌های دوطرفه و تابلوی «رعایت حق تقدم» می‌پردازد. به علت هزینه‌هایی که ساخت و عملیات بکارگیری تابلوها و تجهیزات کنترل ترافیک بدنبال دارند، مطالعات فراوانی درمورد چگونگی بکارگیری و استفاده از این تابلوها انجام شده است. نصب و بکارگیری مناسب تابلوها و سایر تجهیزات کنترل ترافیک در چارچوب MUTCD نیازمند بررسی و مطالعات مهندسی برای تعیین نیاز به یک وسیله یا ابزار کنترل ترافیک می‌باشد.



شکل (۴-۱). استقرار تابلوی ایست با مشکل دید بعلمت وجود درخت.

۴-۱-۴- جنبه های حقوقی و قانونی MUTCD

ویرایش هزاره MUTCD توصیه ها و اطلاعاتی را در ۴ مقوله متفاوت در اختیار مخاطبان قرار

می دهد:

۱- استاندارد: یک استاندارد عبارت یا جمله ای است که عملی لازم، ضروری و اجباری را درخصوص تجهیزات کنترل ترافیک بیان می کند. در استانداردهای معمولاً از عبارات «باید» و «نباید» در جملات استفاده می شود.

۲- توصیه: جمله ای توصیه شده ولی غیر اجباری است که در موقعیت های خاصی بکار برده می شود. در صورتیکه قضاوت ها یا مطالعات مهندسی تخطی از این موارد را مناسب بداند می توان از آنها چشم پوشی و تخطی کرد. راهنمایی ها معمولاً به صورت «بهر است» رایج می شوند.

۳- گزینه: گزینه عبارتی است که نشان دهنده یکی از شرایط موجود و قابل استفاده است. گزینه هیچ اجبار و توصیه ای در خود ندارد. معمولاً گزینه ها را می توان به توصیه، راهنمایی و استاندارد تغییر داد. گزینه ها معمولاً با عبارت «ممکن است» رایج می شوند.

۴- حمایت: این مورد صرفاً اطلاعات اضافی و کمکی به مهندس ترافیک رایج می کند. عباراتی مانند «باید»، «بهر است»، «ممکن است» (و نه حالت منفی آنها) در این جملات استفاده نمی شود.

چهار نوع عبارت استفاده شده در MUTCD کاربردهای قانونی و حقوقی مختص به خود را برای موسسات حمل و نقلی دارند. تخطی از هر استاندارد مطرح شده در MUTCD، یک سازمان حمل و نقلی را در برابر تصادفاتی که در اثر تخطی مربوطه رخ داده اند مسؤول خواهد نمود. از این رو، نصب تابلو ایست در محل غیر استاندارد، نهاد متولی ترافیک را در قبال تصادفاتی که در آن محدوده رخ می دهد مسؤول و قابل پیگیری می سازد. در صورتیکه راهنمایی ها و توصیه ها مورد توجه قرار نگیرند نیز، مسئله قابل پیگیری قضایی می باشد. تغییر در توصیه ها و راهنمایی های رایج شده تنها پس از انجام بررسی های مهندسی عملی

و اجرایی می باشد. مطالعات انجام شده باید تغییرات در دستور کار را توجیه کند. در صورت عدم وجود مطالعات مهندسی مناسب که توجیه کننده تغییرات مربوطه باشد، تصادفات حادث در مناطق مورد نظر می تواند از جنبه قضایی قابل پیگیری باشد. گزینه ها و حمایت ها از نقطه نظر قانونی و حقوقی هیچ عملکرد خاصی ندارند.

این مسئله باید درک شود که حوزه قضایی حاکم بر تسهیلات ترافیکی، به عنوان بخشی از قانون ترافیک و وسایل نقلیه آن ایالت محسوب شده و در چارچوب آن تبیین می شود. قانون معمولاً اعلام می کند که تسهیلات ترافیکی هر منطقه تحت مدیریت حوزه قانونی ایالت متبوع قرار گرفته و اینکه کدام نهاد، سازمان یا موسسه، اداره این تسهیلات را بر عهده دارد را نیز مشخص می کند. علاوه بر این، مسئولیت جاده ها و راه های موجود در مناطق استحفاظی بخش، شهرستان و سایر قسمت ها دولت محلی را مشخص و معین می کند. هر کدام از این نهادهای سیاسی، به نوبه خود، نهاد و سازمان مسئول تسهیلات حمل و نقلی در حوزه مدیریتی و استحفاظی خود را مشخص می کنند.

بسیاری از تجهیزات کنترل ترافیک می بایست بوسیله قانونی مشخص و مدون که بوسیله دولت در سطوح مرتبط به اجرا گذارده شده اند حمایت شوند. شیوه های اجرای چنین قوانینی نیز می بایست مشخص و معین شوند. در بسیاری از موارد، قبل از اجرای قانونی جدید مانند حداکثر سرعت و قوانین پارک کردن، قبل از عملی و اجرایی شدن به طور کامل، موضوع می بایست به اطلاع مردم و ساکنین منطقه رسانده شود. به عنوان مثال نصب تابلوهای پارک ممنوع در طی شب و جریمه کردن خودروهای پارک شده در محل، بدون آرایه اخطار و شفاف سازی قانون در منطقه فوق، به هیچ وجه جلوه و وجهه قانونی ندارد. اطلاع رسانی در مورد قوانین جدید ترافیکی در منطقه ای خاص معمولاً به بهترین صورت از طریق روزنامه ها و نشریات محلی صورت می پذیرد.

این فصل برخی از اصول مهم و بنیادین MUTCD را بیان کرده و به طور کلی انواع تجهیزات کنترل ترافیک و کاربردهای آنها را شرح می دهد. فصل ۱۵ نیز جزئیات بیشتر استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک در آزادراه‌ها و جاده‌های چند خطه و دو خطه را شرح می دهد. فصل ۱۹ نیز شامل اطلاعات بیشتری در مورد استفاده از تجهیزات کنترل ترافیک در تقاطع‌ها می باشد.

۴-۱-۵- ایجاد ارتباط با راننده

رانندگان به دریافت پیام شفاف و مشخص در چارچوب شکلی استاندارد، عادت دارند. این پیام‌ها معمولاً در تابلوهای مشابه تکرار می شوند. شماری از سازوکارهای خاص استفاده می شوند تا انتقال پیام به خوبی انجام پذیرد. این سازوکارها با توجه به محدودیت‌های فیزیکی انسان و عمدتاً بینایی انسان استفاده می شوند. پیام‌ها برای رساندن منظور خود معمولاً از عوامل زیر استفاده می کنند:

- رنگ : رنگ مشخص ترین خصوصیت یک ابزار کنترل ترافیک می باشد. تشخیص رنگ بسیار زودتر از شناسایی شکل عمومی تصویر یک تابلو یا خواندن پیام نوشته شده بر سطح آن اتفاق می افتد. رنگ‌های اصلی مورد استفاده در تجهیزات کنترل ترافیک عبارتند از: قرمز، زرد، سبز، نارنجی، سیاه، آبی و قهوه‌ای. این رنگ‌ها به منظور مشخص ساختن برخی انواع تجهیزات کنترل ترافیک و تقویت پیغام مربوطه استفاده می گردند.

- شکل: بعد از رنگ، شکل ابزار کنترل ترافیک فاکتوری است که در معرض دید راننده قرار می گیرد. به ویژه در تابلوگذاری، شکل عنصری بسیار مهم از پیام می باشد. شکل یک تابلو می تواند نشان دهنده نوع خاصی از اطلاعات بوده و یا پیغام مربوط به خود را منتقل کند.

- الگو: الگو در بکارگیری خط‌کشی‌های ترافیکی استفاده می شود. در حالت کلی، خطوط ممتد دوگانه، ممتد و خطوط منقطع و مورب الگوهایی هستند که استفاده می گردند. هر کدام از این خطوط

بیانگر نوع خاصی از پیام است که به رانندگان منتقل شده و اغلب آنها با آن آشنا هستند. استفاده مداوم

و بدون تغییر از این الگوها، کارایی و قابلیت تاثیر این الگوها را تا حد زیادی افزایش می دهد.

• نوشتار: آخرین عنصری که راننده درحین رانندگی درک می کند، پیغام‌های نوشتاری مشخص

می باشد. چراغ‌ها و خطوط ترافیکی تمام پیام خود را در قالب رنگ، شکل و الگوی خود منتقل می کنند.

تابلوهای ترافیکی با این وجود، به منظور انتقال جزئیات پیام مورد انتقال، از نوشتار و پیغام‌های

نوشتاری استفاده می کنند. پیام روی تابلو می بایست ساده و کوتاه نگاشته شود تا توجه رانندگان را

بیش از حد از امر رانندگی منحرف نکند و درعین حال محتوای پیام به رانندگان منتقل شود.

تکرار پذیری پیام های ترافیکی از برخی طرق می تواند انجام شود. به عنوان مثال تابلوی «ایست»،

دارای شکل هشت ضلعی، رنگ منحصر به فرد قرمز، و کلمه مشخص «ایست» می باشد. هر کدام از این سه

عنصر به تنهایی نیز می توانند پیغام مربوطه را منتقل کنند. اما تمامی آنها پیام همدیگر را تکرار می کنند تا

قابلیت تابلوی راهنمایی به حداکثر خود برسد.

تکرارپذیری را می توان از طریق استفاده از تجهیزاتی که همگی یک پیام را منتقل می کنند، انجام داد.

هر کدام از این ابزارها به درک کامل و دقیق پیام مربوطه از سوی رانندگان کمک می کنند. یک خط گردش

به چپ ممکن است با پیکان‌ها و فلش‌هایی که در سطح آسفالت ایجاد می شود، پیام «این خط مختص

گردش به چپ است» و چراغ راهنمایی سبزی که گردش به چپ را مجاز اعلام می کند مشخص شود.

اینها، همه با هم احتمال ارتکاب اشتباه را بسیار بسیار ضعیف می کنند.

MUTCD دسته ای از استانداردها، دستورالعمل ها و راهنمایی های کلی را ارائه می دهد. هدف از

اینها، ایجاد ارتباط موثر و دقیق بین تجهیزات ترافیکی و رانندگان می باشد. علی رغم تمامی این موارد،

MUTCD سندی است که همواره در حال تغییر و تحول و دگرگونی می باشد. مهندس ترافیک همواره

می‌بایست در ملاحظه گزینه‌های کنترل ترافیک به آخرین نسخه MUTCD (با همه بازنگری‌های کاربردی آن) مراجعه کند.

۴-۲- خط‌کشی‌های ترافیکی

خط‌کشی‌های ترافیکی، معمول‌ترین و رایج‌ترین علائم و تجهیزات کنترل ترافیک می‌باشند. آنها نقش‌های مختلفی را ایفا کرده و اهداف متنوعی دارند و در سه گروه وسیع طبقه‌بندی می‌شوند:

- خط‌کشی‌های طولی
- خط‌کشی‌های عرضی
- نشانگرها و علائم راهنمای مسیر^۱

خط‌کشی‌های طولی و عرضی در سطوح سواره روها و با استفاده از مواد متنوعی به کارگرفته می‌شوند. رایج‌ترین این مواد، رنگ و مواد ترموپلاستیک هستند. خاصیت انعکاسی خط‌کشی‌های نیز از طریق اضافه نمودن لایه نازکی از دانه‌های بسیار ظریف و کوچک شیشه‌ای به رنگ حاصل می‌شود تا در شب مشخص باشند. هنگامیکه این مواد در داخل رنگ پیش از استفاده مخلوط می‌شوند، در گذر زمان و در اثر سایش لایه‌های رنگ بر روی آنها، حالت انعکاس پدیدار می‌شود. مواد ترموپلاستیک به صورت خود به خود خاصیت انعکاسی داشته و نیازی به مواد افزودنی در آنها برای دید در شب نیست.

در مناطقی که بارش برف و برفروبی به عنوان یک مسأله مطرح نمی‌باشد، رنگ و یا مواد ترموپلاستیک را می‌توان در کنار بازتاب‌هایی که دارای خصوصیت انعکاسی می‌باشند استفاده کرد. این بازتاب‌ها قابلیت تشخیص خط‌کشی‌ها توسط رانندگان را در شب افزایش می‌دهند. این بازتاب‌ها در هوای بارانی نیز قابل مشاهده بوده و به آسانی مستهلک نمی‌شوند. در مناطقی که بارش برف و برفروبی پدیده‌ای رایج می‌باشد، این بازتاب‌ها در حین برفروبی آسیب می‌بینند. نشانگرها و علائم راهنمای مسیر، اشیاء

^۱ Object Markers and Delineators

منعکس کننده کوچکی که در محل مورد نظر نصب می شوند. علائم راهنمای مسیر بر روی پایه‌های سبک در کناره‌های راه نصب می شوند تا به رانندگان کمک کنند که موقعیت خود در جاده را در شرایط آب و هوایی نامعتدل که خط‌کشی‌های استاندارد قابل رویت نیستند تشخیص دهند.

۴-۲-۱- رنگ‌ها و الگوها

پنج رنگ در خط‌کشی‌های ترافیکی مرسوم استفاده می شوند: زرد، سفید، قرمز، آبی، سیاه. در حالت کلی این رنگها به صورت زیر استفاده می شوند :

- خطوط زرد، جریان ترافیک در جهات مقابل را از یکدیگر جدا می کنند.
- خطوط سفید مسیرهای حمل و نقلی با جهات یکسان را از هم جدا کرده و در تمامی خط‌کشی‌های عرضی نیز استفاده می شوند.
- خطوط قرمز مشخص کننده مسیرهایی هستند بیننده خط کشی اجازه ورود و استفاده از آنها را ندارد.
- خطوط آبی نشان‌دهنده محل های پارک خودروی معلولان است.
- خطوط سیاه در تقابل با سایر خط‌کشی‌ها بر روی آسفالت‌های روشن استفاده می شوند. به منظور تأکید بر الگوی خطوط، فضای میان خطوط زرد و سفید با رنگ مشکی پر می شوند تا قابلیت تشخیص رانندگان را افزایش دهند.

خط ممتد عبور عرضی را ممنوع می کند. دو خط ممتد موازی در کنار یکدیگر نشان دهنده ممنوعیت و محدودیت شدیدتر می باشد. خط مقطع نشان می دهد که عبور و گذر از آن خط مجاز است. خطوط مقطع نقطه نقطه نشان دهنده امتداد سایر خطوط بوده و معمولاً در محل تقاطع ها استفاده می شود. عرض خطوط راهنمایی رانندگی معمولاً بین ۴ تا ۶ اینچ بوده و در خطوط عریض تر که نیاز به تأکید بیشتری در آنها وجود دارد، عرض خطوط می بایست دو برابر عرض خطوط معمولی باشد. خطوط مقطع معمولاً شامل

قطعات خط ۱۰ فوتی و فواصل ۳۰ فوتی هستند. ابعاد مشابه با نسبتهای مشابه در موارد ضروری می توانند به منظور کنترل سرعت رانندگان و نشان دادن مسیر استفاده شوند. خطوط نقطه نقطه معمولاً شامل قطعات خط ۲ فوتی و فواصل ۴ فوتی یا بیشتر هستند. دستورالعمل MUTCD نسبت یک به سه را برای خطوط نقطه نقطه به عنوان حد بیشینه معین کرده است.

۲-۲-۴- خط کشی های طولی

خط کشی های طولی خطوطی هستند که به صورت موازی با جهت حرکت ایجاد می شوند. بخش اعظم خط کشی های طولی را خط کشی وسط جاده ها، خط کشی جدا کننده خطوط ترافیک از همدیگر و خط کشی نشان دهنده لبه روسازی تشکیل می دهند.

خطوط طولی ارائه دهنده راهنمایی هایی در مورد نحوی جایگیری خودروها در طول مسیر بوده و به عنوان عمومی ترین و اصلی ترین مشخص کننده جهت مسیرها عمل می کند. مثالی که در مورد اهمیت این خطوط می توان بیان نمود، تغییر مسیر در جاده هایی است که به تازگی آسفالت شده اند و فاقد خطوط طولی می باشند. رانندگان بدون کمک خط کشی های طولی نمی توانند مسیرها را بطور مرتب تشخیص دهند و در حقیقت ممکن است بطور نامنظم رانندگی کرده و با مشکلات فراوانی روبرو شوند. خطوط طولی امکان جریان منظم و سازمان یافته خودروها و استفاده بهینه از عرض سواره رو را فراهم می آورند.

خطوط وسط

خطوط وسط زرد رنگ از اهمیتی بسیار برخوردار بوده و به منظور جداسازی جریانهای ترافیک که در جهت های متفاوت در حال حرکت هستند استفاده می گردد. در دستورالعمل MUTCD، استفاده از خطوط وسط در تمام تسهیلات ترافیکی اجبار نشده است. استاندارد بکار رفته عبارت است از:

خط کشی های وسط می بایست در سطح تمامی روسازی های معابر شریانی شهری و معابر جمع و پخش کننده ای که عرض سواره رو ۲۰ فوت یا بیشتر دارند و یا متوسط حجم ترافیک روزانه (ADT)

آن‌ها بیش از ۶۰۰۰ وسیله نقلیه در روز است اجرا شوند. خط کشی وسط می بایست همچنین بر

روی تمامی خیابان‌های دو طرفه و جاده‌های دارای روسازی که بیش از ۳ خط ترافیکی یا بیشتر

هستند اجرا گردد [MUTCD صفحه 3B-01].

راهنمایی‌های بیشتر نشان می دهد که استفاده از خطوط وسط در خیابان‌ها و شریان‌های اصلی شهری

که دارای ADT به میزان ۴۰۰۰ یا بیشتر هستند توصیه شده است. در مناطق برون شهری نیز که ADT بیشتر

از ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز است، استفاده از خطوط وسط توصیه شده است. استفاده از خطوط وسط در

جاده‌هایی که عرض کمتر از ۱۶ فوت دارند می بایست با احتیاط بسیار زیاد انجام شود. چرا که ممکن است

تخطی ترافیک از مسیرهای حرکت افزایش یابد.

در جاده‌های ۲ خطه و ۲ طرفه مناطق برون شهری، خطوط وسط معمولاً وظیفه هدایت و مرتب کردن

جریان ترافیک را برعهده دارند. دو خط زرد رنگ ممتد در کنار هم نشان می دهند که عبور و تجاوز از این

خطوط از هر دو جهت ممنوع می باشد. خطوط مقطع و ممتد که در کنار هم واقع می شوند، نشان می دهند

که از طرفی که خط مقطع وجود دارد، عبور عرضی آزاد بوده و از طرف دیگر عبور ممنوع است. در

محل‌هایی که عبور از خط وسط برای هر دو جهت ترافیک آزاد باشد، از یک خط زرد مقطع استفاده

می‌گردد. فصل ۱۴ جزئیات بیشتری در خصوص استفاده و کاربرد خط وسط در جاده‌های دو طرفه دو خطه

برون شهری ارائه خواهد نمود.

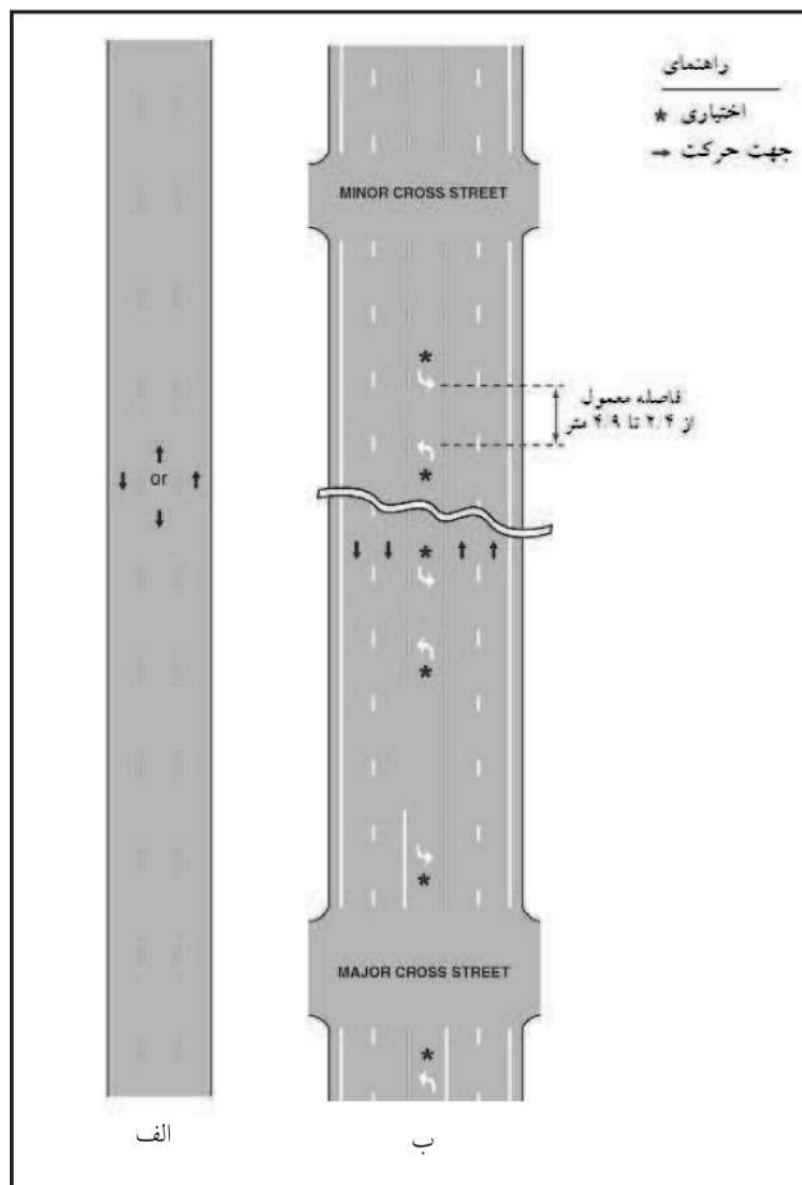
استفاده و کاربردهای تخصصی دیگر نیز از خطوط زرد وجود دارد. بخش الف شکل (۲-۴) موارد

استفاده از خطوط دوگانه مقطع زرد رنگ برای نشان دادن خطوط دارای جهت برگشت‌پذیر در معابر شریانی

را نشان داده است. تابلوگذاری متناسب و یا چراغ‌های کنترل خط، جهت حرکت در این خطوط را تعیین

می‌کنند. بخش ب شکل (۲-۴) خط کشی مورد استفاده برای خطوط گردش به چپ دو طرفه در شریانی‌ها

را نشان می دهد.



شکل (۴-۲). خط کشی وسط با اهداف ویژه.

خط کشی خطوط ترافیکی

معمولترین نوع خط کشی بین خطوط ترافیکی، خط کشی سفید مقطع به منظور تفکیک خطوطی از ترافیک که در جهت یکسان در حال حرکت هستند می باشد. استاندارد MUTCD استفاده از خط کشی بین خطوط را در تمامی آزادراهها و جادههای بین ایالتی اجباری دانسته و برای تمامی جادههایی که دارای ۲ خط

یا بیشتر در جهت یکسان باشند توصیه می کند. مقطع بودن خطوط نشان می دهد که گذر عرضی و عبور از روی این خطوط مجاز می باشد. وجود یک خط کشی ممتد بین خطوط، رانندگان را از تغییر خط منع می کند؛ هر چند که این امر غیر قانونی نیست. هر گاه تغییر خط می بایست ممنوع می باشد، این امر با ۲ خط ممتد سفید که در کنار یکدیگر اجرا می شوند نشان داده خواهد شد.

خط کشی لبه

خط کشی لبه سواره روی مسیر نیز از ملزومات آزادراهها، بزرگراهها و جادههای برون شهری با عرض مسیر حرکت ۲۰ فوت یا بیشتر و ADT برابر ۶۰۰۰ وسیله نقلیه در روز یا بیشتر می باشد. در جادههای برون شهری با ADT به میزان ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز و مسیر حرکت با عرض ۲۰ فوت یا بیشتر نیز این خطوط توصیه شده اند. در صورت استفاده، خط کشی لبه راست به صورت یک خط منفرد و ممتد سفید بوده و خط کشی لبه چپ بصورت یک خط منفرد و ممتد زرد اجرا می شود.

سایر خط کشی های طولی

دستورالعمل MUTCD گزینه های بسیاری را در استفاده از خط کشی های طولی معرفی می کند. برای اطلاعات بیشتر به دستورالعمل مراجعه کنید. به علاوه در این راهنما، استانداردها و توصیه هایی در مورد سایر انواع کاربرد این نوع خط کشی ها شامل نواحی اتصال و انفصال خط کشی ها در آزادراهها و سایر تسهیلات، موارد افزایش خط و نیز امتداد خط کشی ها در طول تقاطع ها ذکر شده است.

فصل ۱۵ اطلاعات و جزئیات بیشتری را در مورد چگونگی بکارگیری خط کشی های طولی در سطح آزادراهها، بزرگراهها و جادههای برون شهری ارائه می کند. فصل ۱۹ نیز بحث های دیگری را در مورد خط کشی تقاطع ها ارائه داده است.

۳-۲-۴- خط‌کشی‌های عرضی

خط‌کشی‌های عرضی آنچنانکه از نامشان پیداست، یک بخش یا کل مسیر را قطع می‌کنند. در صورت استفاده، تمامی خط‌کشی‌های عرضی به رنگ سفید هستند.

خطوط ایست

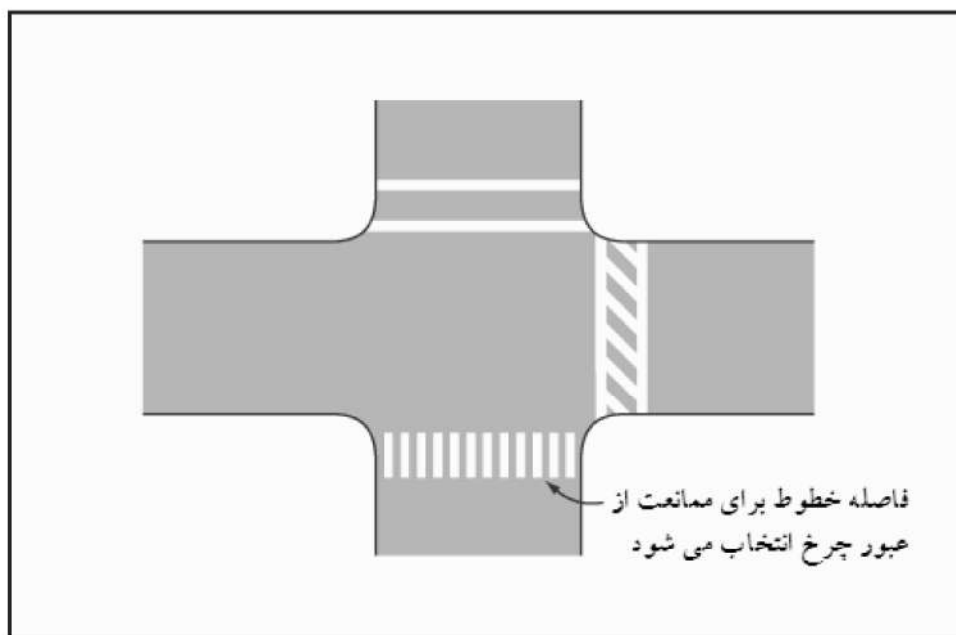
دستورالعمل MUTCD استفاده از خطوط ایست را اجباری نکرده است. در عمل، خطوط ایست قبل از خطوط عابر پیاده و در نزدیکی تابلو ایست استفاده می‌شوند. در صورت استفاده، عرض این خطوط می‌بایست بین ۱۲ تا ۲۴ اینچ باشد و امتداد آن از تمامی خطوط ترافیکی عبور کند.

خط‌کشی‌های عابر پیاده

با وجود اینکه وجود و ترسیم خط‌کشی عرضی عابر پیاده در دستورالعمل MUTCD الزامی نشده است، اما توصیه شده است که این خط‌کشی‌ها در تمامی تقاطع‌ها در جایی که تقابل قابل توجهی بین جریان عابران پیاده و وسایل نقلیه وجود دارد ایجاد شوند. این خطوط همچنین در نقاط تمرکز وجود عابران پیاده و در مکان‌هایی که عابرین پیاده قدرت تشخیص محل عبور خود را نداشته باشند استفاده می‌شوند. عرض خطوط عابر پیاده می‌بایست ۶ فوت و یا بیشتر باشد.

شکل (۳-۴) سه نوع خط‌کشی گذرگاه عابر پیاده را نشان می‌دهد. رایج‌ترین نوع خط‌کشی عابر پیاده که مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از دو خط موازی است که با فاصله معین از هم قرار گرفته‌اند. خطوط هاشور سفید رنگ نیز می‌توانند در بین این خطوط موازی رسم شده تا تمرکز و تأکید بیشتری در جریان سنگین عابران پیاده به وجود آید. استفاده از خطوط عرضی موازی نیز روشی دیگر برای خط‌کشی در شرایط سنگین بودن حجم عابران می‌باشد.

این دستورالعمل همچنین جزئیات خطکشی عابر پیاده در تقاطع‌های دارای چراغ راهنمایی که دارای فاز خاصی برای عبود عابر پیاده هستند را بیان می‌کند. برای دستیابی به این جزئیات به متن دستورالعمل مراجعه نمایید.



شکل (۴-۳). خط کشی های مرسوم برای گذرگاه عابر.

خطکشی فضاهای پارک

خطکشی فضاهای پارک صرفاً عرضی نیستند، بلکه دارای عنصرهای عرضی و طولی هستند. معمولاً خطکشی‌های پارک در قالب خطکشی عرضی طبقه‌بندی می‌شوند، همانطور که در MUTCD نیز این امر رعایت شده است. خطکشی‌های محل پارک همواره اختیاری هستند و به عنوان مشوقی در جهت افزایش کارایی فضاهای پارک استفاده می‌شوند. چنین خطکشی‌هایی همچنین باعث جلوگیری از تخطی خودروها و پارک در داخل محدوده شیر آتشنشانی، مناطق بارگیری، ایستگاه‌های تاکسی و ایستگاه‌های اتوبوس و سایر مناطق خاص که پارک کردن در آن‌ها ممنوع است می‌شود. این خطکشی‌ها همچنین در شریانی‌های

دارای پارک حاشیه‌ای مفید هستند چرا که آن‌ها به وضوح خط پارک را مشخص می‌کنند و آن را از خطوط رفت و آمد جدا می‌کنند. شکل (۴-۴) انواع خط‌کشی‌های معمول برای محل‌های پارک را به تصویر می‌کشد.

توجه داشته باشید که انتهای آخرین خط‌کشی فضای پارک می‌بایست حداقل ۲۰ فوت از خط‌کشی نزدیکترین خط عابر پیاده فاصله داشته باشد (۳۰ فوت در رویرکرد تقاطع‌های دارای چراغ راهنمایی).

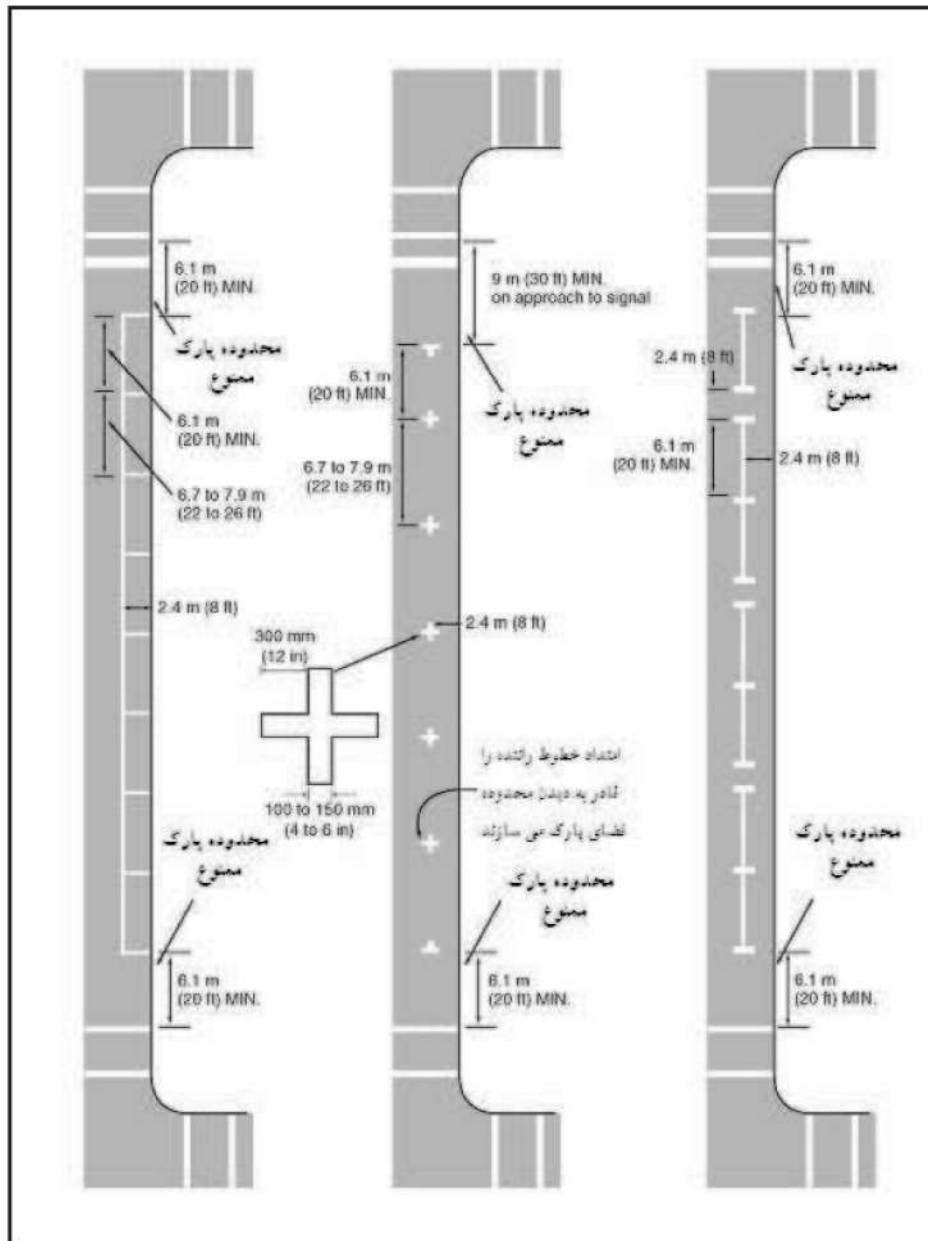
خط‌کشی‌های نشانه و کلمه

در دستورالعمل MUTCD تعدادی از کلمات و نشانه‌ها بصورت خط‌کشی تجویز شده‌اند تا به همراه تابوها و یا چراغ‌ها استفاده شوند. این نشانه‌ها شامل پیکان‌های نشان‌دهنده محدودیت استفاده از خط هستند. این پیکان‌ها (به همراه تابوها) در مواردی که یک خط مستقیم در رویکرد به یک تقاطع تبدیل به یک خط انحصاری گردش به چپ یا گردش به راست می‌شود اجباری هستند.

خط‌کشی‌های نوشتاری شامل کلمه «فقط» که به همراه پیکان‌های استفاده از خط بکار می‌رود و «ایست» که به همراه خط ایست و تابلوی ایست استفاده می‌شود می‌باشد. عبارت «مدرسه» اغلب در محل عبور دانش‌آموزان و نواحی تمرکز مدارس استفاده می‌شود. دستورالعمل MUTCD دارای فهرستی از همه کلمات مجاز که برای القاء احتیاط و رساندن پیامی خاص در موارد مورد نیاز استفاده می‌شوند می‌باشد.

سایر خط‌کشی‌های عرضی

برای دستیابی به سایر انواع خط‌کشی‌های عرضی، مستقیماً به دستورالعمل MUTCD مراجعه کنید. به عنوان مثال خط‌کشی خطوط دارای اولویت، خط‌کشی مورد استفاده در میدان‌های ترافیکی و خط‌کشی سرعتکاه‌ها در این دستورالعمل ارائه شده‌اند. فصل ۱۹ شامل بحثی کامل در چگونگی استفاده از خطوط عرضی و سایر خط‌کشی‌های تقاطع‌ها می‌باشد.



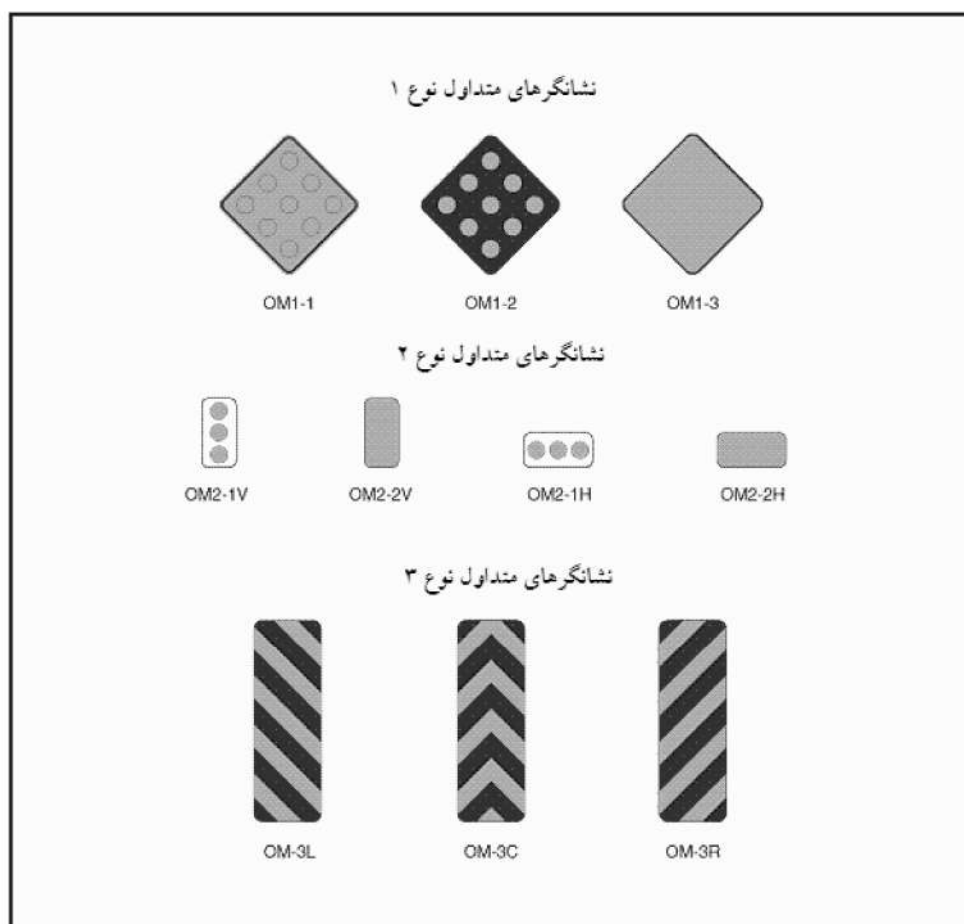
شکل (۴-۴). خط کشی های مرسوم برای فضاهای پارکینگ حاشیه‌ای.

۴-۲-۴- نشانگرها

نشانگرها اشیائی هستند که در داخل و یا در مجاورت مسیر حرکت برای علامت‌گذاری و مشخص کردن موانع مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. محل نصب نشانگرها بر اساس استاندارد MUTCD تعیین می‌شود. در حالت کلی، لبه پایین نشانگرها می‌بایست حداقل ۴ فوت از سطح نزدیکترین خط ترافیکی

ارتفاع داشته باشد (در مورد موانع، ۸ فوت و یا کمتر از لبه آسفالت ارتفاع داشته باشند) و یا ۴ فوت ارتفاع از روی زمین در مورد موانعی که خارج از محدوده آسفالت قرار دارند رعایت شود..

سه نوع نشانگر مورد استفاده قرار می گیرد که در شکل (۴-۵) نشان داده شده‌اند. موانع موجود در مسیر باید بوسیله نشانگرهای نوع ۱ و ۳ مشخص شوند. در صورت استفاده از نشانگر نوع ۳، این نشانگر می‌بایست دارای خطوط و نوارهای زرد و سیاه بصورت یک درمیان با زاویه ۴۵ درجه باشد. این شیب باید به جهتی باشد که جریان ترافیک از مانع مورد نظر رد می شود. هنگامیکه این علائم برای نشان دادن موانع کنار جاده استفاده می شوند، لبه داخلی نشانگر می بایست مماس با حاشیه داخلی مانع مورد نظر باشد.



شکل (۴-۵). نمونه هایی از نشانگرهای ارائه شده در MUTCD.

۴-۲-۵- علائم راهنمای مسیر

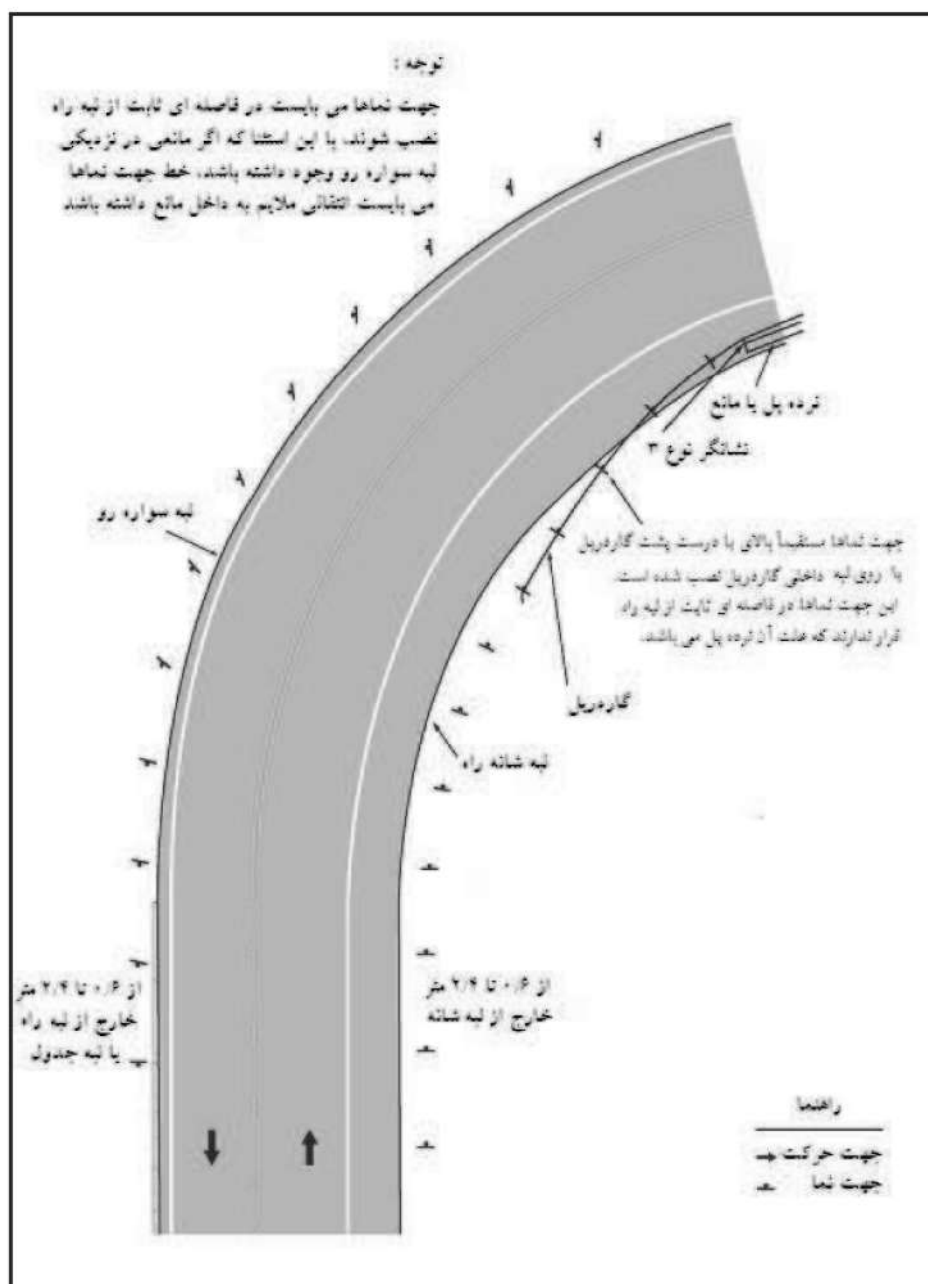
علائم راهنمای مسیر تجهیزات بازتاب کننده نور هستند که در ارتفاع ۴ فوتی کناره های جاده استفاده می شوند تا به راننده کمک کنند که حاشیه و تراز جاده را تشخیص دهد. این تجهیزات بویژه در شرایط آب و هوایی نامساعد مفید هستند. در این نوع آب و هوا، خط کشی های جاده عمدتاً قابل رویت نیستند. این علائم هنگامیکه در سمت راست جاده استفاده می شوند به رنگ سفید بوده و هنگامیکه در سمت چپ جاده استفاده می شوند زرد رنگ هستند. صفحه پشت این علائم در جاده ای یک طرفه به منظور نشان دادن عبور اشتباه به رنگ قرمز می باشد.

نصب این علائم در سمت راست آزادراه ها، بزرگراه ها و حداقل یک سمت تقاطع های غیر همسطح دارای شیب راه الزامی است. البته مقاطع مماسی (تاثرات) که خط کشی های برجسته بطور پیوسته در خطوط ترافیکی آنها وجود دارد، در مکان هایی که تمامی مسیر (یا بخش اعظمی مسیر) دارای مقاطع مماسی بزرگ هستند و تمام مناطق منتهی به قوس ها که علائم راهنمای مسیر بصورت پیوسته وجود دارند از این قاعده مستثنی هستند. علائم راهنمای مسیر در محل هایی که مسیر دارای روشنایی مناسب می باشد ممکن است حذف شوند. علائم راهنمای مسیر را می توان در قسمت های مختلف بصورت انتخابی بسته به نوع راه بکار گرفت. شکل (۴-۶) نشان دهنده چگونگی نصب علائم راهنمای مسیر می باشد.

۴-۳- تابلوهای ترافیکی

دستورالعمل MUTCD جزئیات مربوط به صدها نوع تابلوی ترافیکی که در مناطق مختلف استفاده می شوند را شرح می دهد. در حالت کلی؛ تمامی تابلوهای ترافیکی جزء یکی از سه گروه زیر تقسیم بندی می شوند:

• **تابلوهای/انتظامی.** این تابلوها اطلاعاتی را درمورد قوانین مقررات ترافیکی ارائه می کنند. این قوانین ممکن است مربوط به حق تقدم، محدودیت های سرعت، مسیرها و کاربردهای خطوط و پارکینگ ها و گستره متنوعی از سایر عملکردها را در بر گیرند.



شکل (۴-۶). استفاده مرسوم از جهت نماها در قوس های جاده.

• **تابلوهای هشداری.** این تابلوها به منظور آگاه سازی رانندگان از خطرات پیش روی ایشان استفاده

می شوند. این خطرهای معمولاً در محدوده و گستره دید رانندگان قرار نداشته و رانندگان بوسیله تابلوها از آنها آگاه می شوند.

• **تابلوهای راهنما.** این تابلوها اطلاعاتی را در مورد مسیرها، مقاصد و خدماتی که رانندگان ممکن است بدنبال آنها باشند ارائه می دهند.

بحث در مورد تمامی تابلوهای ترافیکی و کاربردهای آنها در یک فصل ممکن نیست. در بخش‌های بعدی به اجمال در خصوص انواع مختلف تابلوهای ترافیکی و کاربرد آنها، اطلاعاتی ارائه شده است.

۴-۳-۱- تابلوهای انتظامی

تابلوهای انتظامی می بایست در معابر استفاده شوند تا در مورد قوانین و مقررات ترافیکی اطلاع رسانی کرده و ملزومات قانونی مورد نظر را به اطلاع رانندگان برسانند. این تابلوها می ایست در نزدیکی مکانی نصب شوند که مقررات مربوطه در آنجا کاربرد دارد. این تابلوها ملزومات قانونی را به صورت شفاف نشان داده و درجایی نصب و بکارگیری می شوند که در دید رانندگان قرار داشته و برای آنها کاملاً خوانا باشد [ویرایش هزاره MUTCD صفحه 2B-1].

انتظار می رود که رانندگان از محتوای بسیاری از مقررات ترافیکی مطلع باشند. برخی از این قوانین، مقررات بنیادی مانند رعایت حق تقدم در تقاطع‌ها و محدودیت سرعت را بیان می کنند. با این وجود، این تابلوها می بایست در تمام نقاط مورد نظر استفاده شوند تا حتی در صورت انتظار مطلع نبودن رانندگان از آن قوانین، مقررات به اطلاع رانندگان رسانده شود.

به جز چند تابلوی خاص مانند تابلوی ایست و تابلوی حق تقدم، سایر تابلوهای انتظامی به شکل مستطیلی بوده و عمدتاً ضلع بزرگ مستطیل بصورت عمودی واقع می شود. برخی از تابلوهای انتظامی مربع شکل بوده که عمدتاً شامل تابلوهایی می شوند که از نوشته استفاده می کنند تا اطلاعات مورد نظر را به

رانندگان منتقل کنند. استفاده از سمبل‌ها و علائم در تابلوها مطابق استاندارد بین‌المللی است که در سال ۱۹۷۱ در کنفرانس ایمنی ترافیک سازمان ملل مطرح شده‌اند. رنگ زمینه این تابلوها به استثناء چند مورد خاص معمولاً سفید بوده و نوشته‌ها و یا علائم روی آن مشکی می‌باشد. در تابلوهای حاوی سمبل، دایره‌ای قرمز رنگ که خطی از آن عبور داده شده است، از ممنوعیت حرکتی که بوسیله سمبل نشان داده شده است حکایت می‌کند. دستورالعمل MUTCD صفحات زیادی را به استانداردهای مربوطه در مورد اندازه تابلوهای انتظامی اختصاص داده است.

تابلوهای انتظامی بیان‌کننده حق تقدم

این تابلوها دارای طراحی خاص بوده و عدم توجه به آن‌ها خطر بسیار بزرگی را متوجه رانندگان می‌کند. این تابلوها شامل تابلوهای «ایست» و «راعیات حق تقدم» در تقاطع‌ها و تابلوی «یک طرفه» و تابلوی «مسیر نادرست» برای نشان دادن جهت حرکت می‌باشد. تابلوهای «ایست» و «راعیات حق تقدم» دارای شکل منحصر بفرد و زمینه قرمز رنگ بوده و خطر موجود را برای رانندگان روشن می‌کنند. تابلوی «مسیر نادرست» نیز به همین خاطر دارای زمینه قرمز می‌باشند. شکل (۴-۷) این تابلوها را نشان می‌دهد. قطعات مستطیلی «۴ مسیر» و «همه مسیرها» در زیر تابلوهای ایست که چند مسیر را کنترل می‌کنند نصب می‌شوند. برای کسب اطلاعات و جزئیات بیشتر در خصوص تابلوهای ایست و راعیات حق تقدم به فصل ۱۶ مراجعه کنید.

تابلوهای محدودیت سرعت

یکی از مسائل بسیار حیاتی و مهم در ایجاد جریان ترافیک روان و ایمن، تعیین حداکثر سرعت مناسب در محور مربوطه است. برای اینکه محدودیت سرعت به عنوان عامل موثری در ایجاد ایمنی ترافیک عمل کند، محدودیت سرعت می‌بایست به خوبی به اطلاع رانندگان رسانده شده و بر آن تأکید گردد. روش‌های مختلفی از روش‌های اعمال محدودیت سرعت وجود دارد که عبارتند از:

۱- محدودیت خطی سرعت.

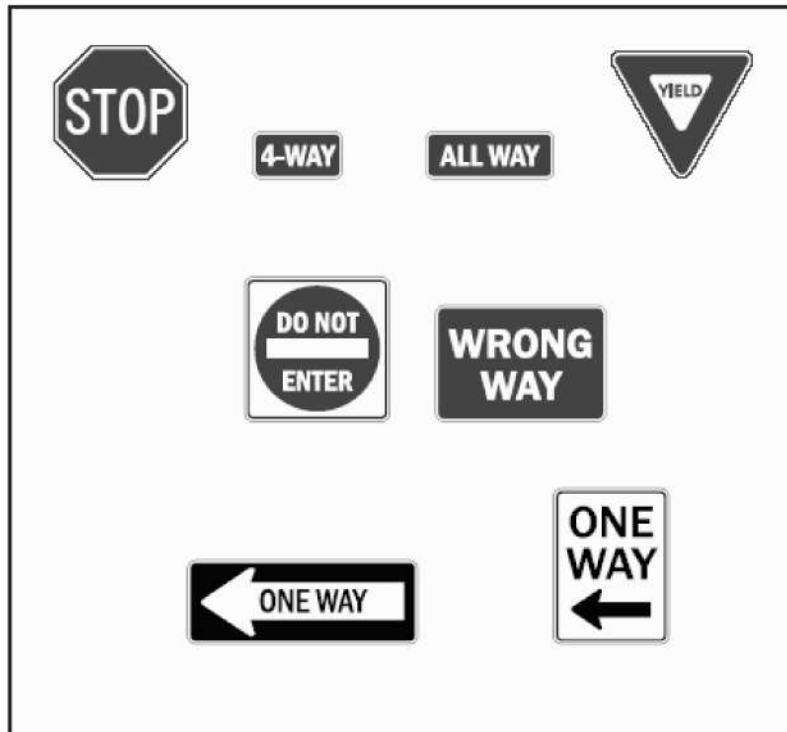
۲- محدودیت منطقه‌ای سرعت.

۳- محدودیت سرعت در شب.

۴- محدودیت سرعت وسایل نقلیه سنگین.

۵- محدودیت حداقل سرعت.

محدودیت سرعت می تواند به صورت استاندارد موجود در ایالت متحده یعنی به صورت مایل بر ساعت و یا در واحدهای سیستم متریک یعنی کیلومتر بر ساعت نشان داده شود. قوانین کنونی به هر ایالت اجازه می دهد تا واحد اندازه‌گیری خود را تعیین کنند. در هر جا که سیستم متریک استفاده شود، تابلوهای تکمیلی نیز برای نشان دادن واحد سرعت بکار برده می شوند.



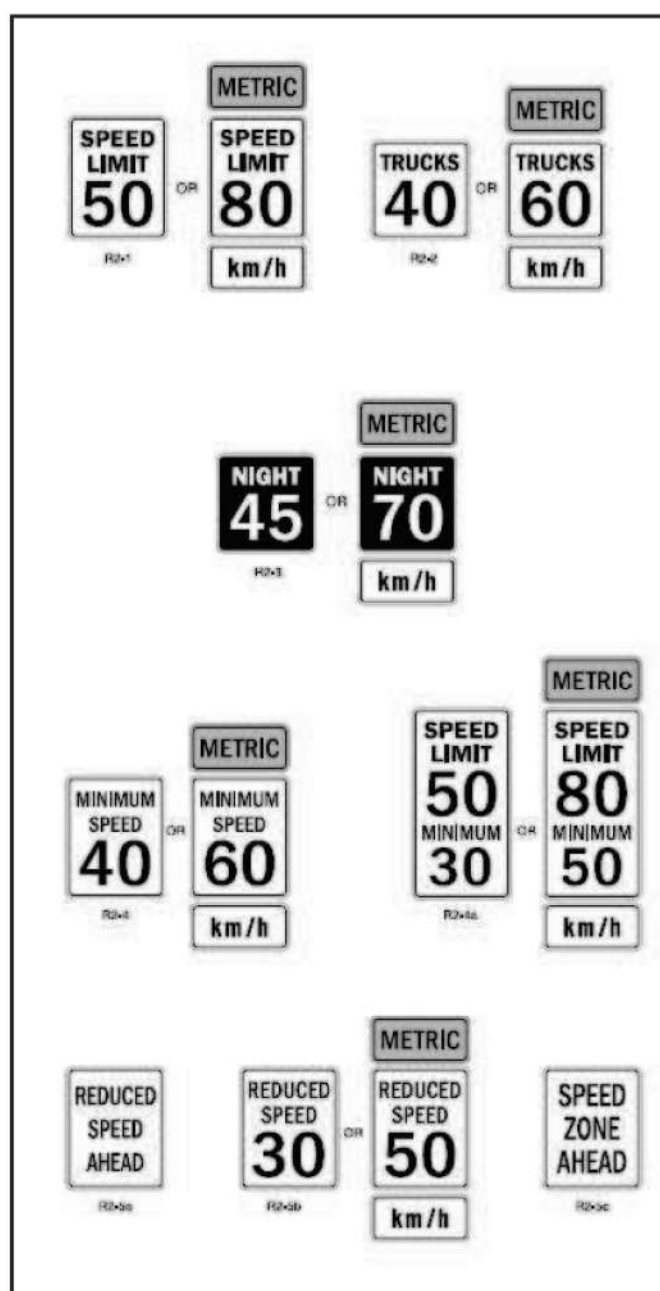
شکل (۴-۷). تابلوهای انتظامی بر حق تقدم عبور تأثیر می گذارند.

شکل (۴-۸) نشان دهنده انواع مختلفی از تابلوهای محدودیت سرعت است. با وجود اینکه اکثر

تابلوهای نشان دهنده حداکثر و حداقل سرعت به صورت نوشته های مشکی رنگ بر روی زمینه سفید

هستند، اما تابلوهای محدودیت سرعت در شب برعکس این حالت می باشند، یعنی نوشته های سفید بر روی

زمینه سیاه. مستطیل «متریک» یک تابلوی هشداری به حساب می آید و زمینه زرد رنگ دارد.



شکل (۴-۸). تابلوهای محدودیت سرعت.

محدودیت‌های خطی سرعت بر بخش خاصی از یک مسیر اعمال می‌شوند. تابلوها می‌بایست به صورتی نصب شوند که تمامی رانندگان که وارد آن بخش از مسیر می‌شوند تابلوی مربوطه را ببینند. فاصله مربوطه تقریباً ۱۰۰۰ فوت در نظر گرفته می‌شود. البته این فاصله استاندارد از MUTCD نمی‌باشد بلکه به تجربه حاصل شده است.

محدودیت‌های منطقه‌ای سرعت در تمام جاده‌ها و مسیرهای موجود در یک منطقه معین اعمال می‌شوند. محدودیت‌های سرعت موجود در یک ایالت خاص نمونه‌ای از این قوانین می‌باشد. شهرهای بزرگ و کوچک و سایر دولت‌های محلی می‌توانند قوانینی را در مورد محدودیت‌های سرعت موجود در منطقه استحقاقی خود اعمال کنند. این محدودیت‌ها می‌بایست به وسیله تابلوهای مناسب در ابتدای هرگونه تسهیلات در مرز ورود به حوزه استحقاقی به اطلاع رانندگان رسانده شوند.

تابلوهای «از سرعت خود بکاهید» و «محدوده سرعت در مقابل» در مکان‌هایی که قضاوت مهندسی نیاز به نصب تابلو و اطلاع رسانی موثر به رانندگان را ضروری تشخیص دهد می‌بایست نصب شوند. در مورد معیارهای تعیین سرعت مجاز در جاده‌ها و مقاطع مختلف راه‌ها به فصل ۱۵ مراجعه کنید.

تابلوهای گردش ممنوع

در محل‌هایی که گردش به راست و چپ ممنوع است یک یا چند نوع از تابلوهای نشان داده شده در شکل (۴-۹) استفاده می‌شود. در این مقوله، تابلوهای دارای سمبل بین المللی ارجح بوده و توصیه می‌شود. دایره قرمز رنگ متداول که خط به صورت مورب آن را قطع می‌کند به معنی ممنوعیت حرکت و گردش در تابلو می‌باشد.

تابلوهای استفاده از خط

تابلوهای استفاده از خط در مکان‌هایی که حرکت یا حرکت‌های خاص در خط‌های ترافیکی معین، محدود یا ممنوع باشد استفاده می‌شوند. این شرایطی شامل خطوط مختص گردش به چپ یا راست،

خطوط دو طرفه گردش به چپ در معابر شریانی و خطوط با جهت برگشت پذیر می باشد. این تابلوها ممکن است در مواردی که هیچ محدودیت قانونی وجود ندارد نیز تنها به منظور شفاف سازی پیام تابلوها استفاده شوند. هنگامیکه کاربرد یک خط ترافیکی پیچیده باشد، از علائم و تابلوهای کاربرد خط پیشرفته نیز می توان برای اطلاع رسانی به رانندگان استفاده کرد. شکل (۴-۱۰) این تابلوها را نشان می دهد.



شکل (۴-۹). تابلوهای ممنوعیت گردش.

تابلوگذاری خطوط گردش به چپ دو طرفه می بایست با خطکشی مناسب روی سطح آسفالت همراه باشد. تابلوهای خطوط دارای جهت برگشت پذیر می بایست بصورت بالاسری نصب شوند، به این صورت که در بالای خط یا خطوط برگشت پذیر قرار می گیرند. تابلوهای کنار جاده نیز می توانند به عنوان مکمل تابلوهای بالاسری عمل کنند. درشرایطی که تابلوگذاری برای اطلاع رسانی به رانندگان در خصوص خطوط برگشت پذیر کافی به نظر نیاید، باید از چراغ‌های ترافیکی بالاسری نیز استفاده نمود.

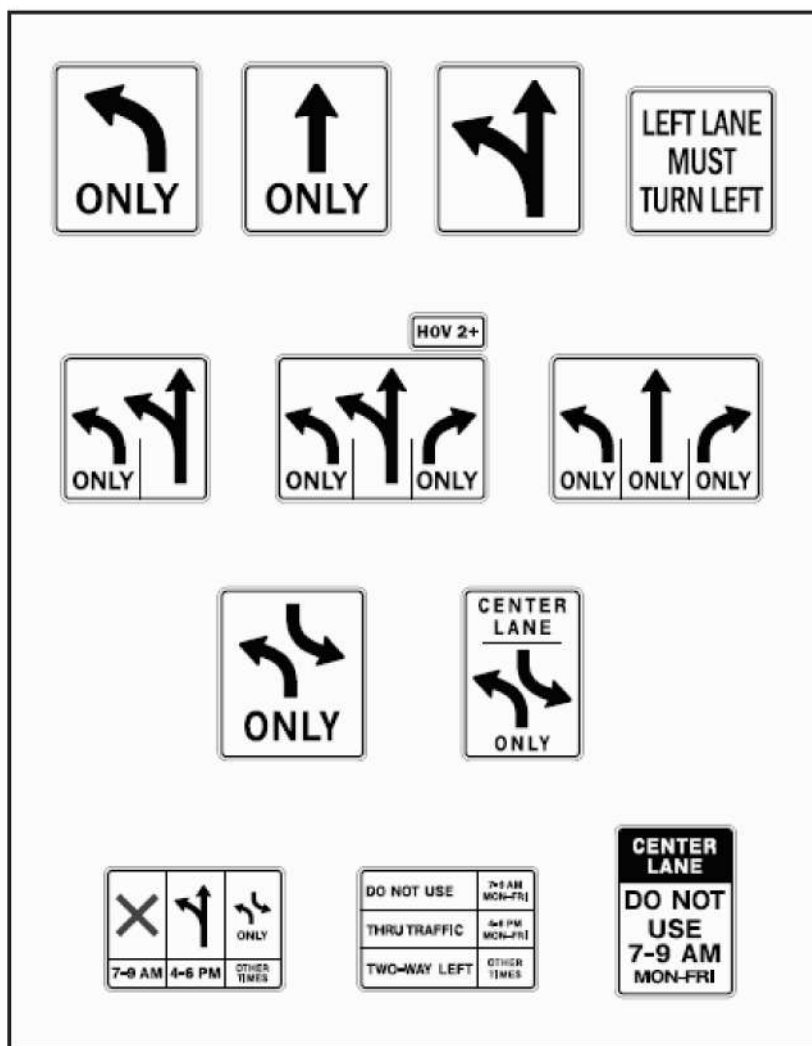
تابلوهای کنترل پارکینگ

کنترل پارکینگ حاشیه‌ای یکی از مهمترین جنبه های مدیریت شبکه شهری است. ارزش و اعتبار اقتصادی مناطق تجاری شهر اغلب به وجود تعداد فضاهای پارکینگ حاشیه‌ای معابر و پارکینگ‌های غیر حاشیه‌ای کافی بستگی دارد. در زمانی مشابه، پارکینگ حاشیه‌ای معمولاً برای جریان حرکتی خودروها تداخل ایجاد کرده و باعث محدود شدن مسیر می شود. فصل ۱۱ مطالبی بیشتر و دقیق‌تر در مورد پارک خودروها و برنامه‌ریزی آن ارائه می کند. بسیار ضروری است که مقررات پارک در کناره مسیرها به خوبی

توسط تابلوگذاری به اطلاع رانندگان رسانده شوند. ضروری است که این قوانین از ضمانت اجرایی بسیار بالائی برخوردار باشند تا اینکه مورد احترام همگان قرار گیرند.

درهنگام بررسی قوانین مربوط به پارک خودروها و تابلوگذاری مناسب این مسئله سه عبارت یا اصطلاح می بایست به خوبی درک شوند:

- پارکینگ. یک خودرو پارک شده خودروئی است که به صورت ساکن در کنار جدول متوقف بوده و موتور آن نیز خاموش است. حضور یا عدم حضور راننده دراین تعریف هیچ تغییری ایجاد نمی کند.



شکل (۴-۱۰). تابلوهای کنترل استفاده از خط ترافیکی.

- **ایستادن.** یک خودروی در حال ایستادن خودرویی ثابت است که در کنار جدول متوقف است اما موتور آن روشن بوده و راننده در آن حضور دارد.

- **توقف.** یک خودروی متوقف خودرویی است که برای چند لحظه توقف کرده تا مسافری را سوار یا پیاده کند. این خودرو بلافاصله پس از سوار یا پیاده شدن مسافر حرکت می کند. در این حالت راننده خودروی خود را ترک نمی کند.

در واژگان حقوقی و قانونی، بسیاری از حوزه های قضائی سلسله مراتبی از اولویت ممنوعیت ها را بکار می گیرند. تابلوی «توقف ممنوع» هر سه عمل پارک، ایستادن و توقف را ممنوع می کند. تابلو «ایستادن ممنوع»، ایستادن و پارک کردن را ممنوع می کند و تابلوی «پارک ممنوع»، پارک کردن را ممنوع کرده ولی در مورد ایستادن و توقف محدودیتی ایجاد نمی کند.

قوانین پارک یا توقف خودروها ممکن است به صورت یک ممنوعیت و یا بیان آنچه مجاز می باشد ارائه شود. در جایی که یک تابلو نشان دهنده ممنوعیتی قانونی باشد، نوشته های قرمز رنگ بر روی زمینه ای سفید استفاده می شوند. در مواردی که تابلو نشان دهنده موردی مجاز می باشد، نوشته سبز رنگ بر روی زمینه سفید ظاهر می شود. شکل (۴-۱۱) انواع مختلفی از تابلوهای مختلف کنترل پارکینگ را که معمولاً بکار برده می شوند نشان می دهد.

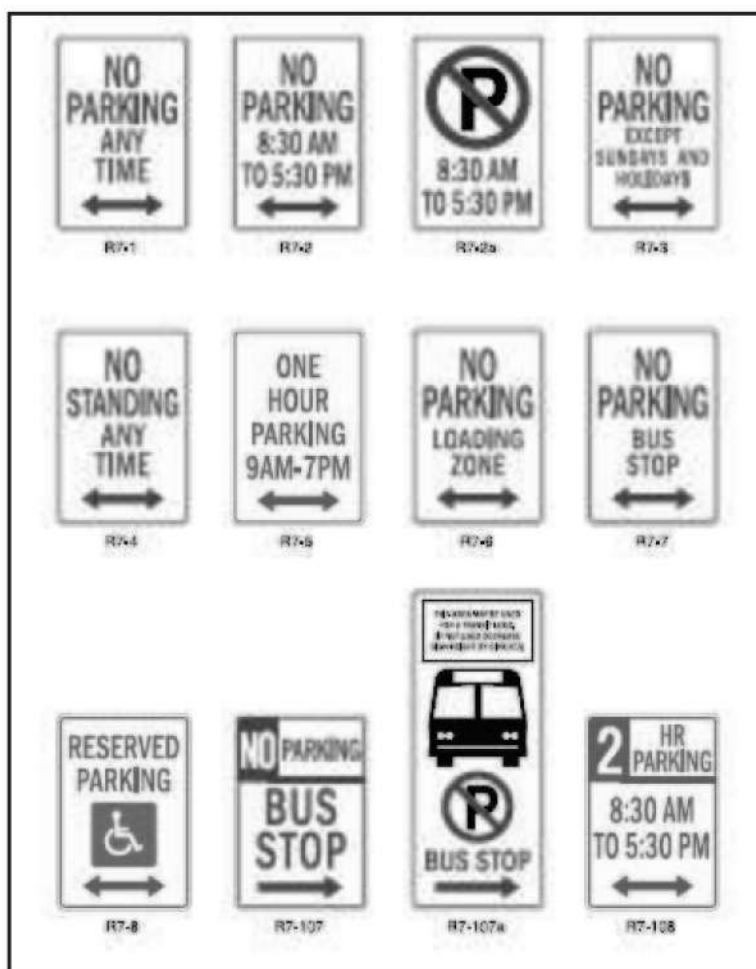
تابلوهای کنترل پارکینگ می بایست با دقت فراوان طراحی شده و در محل های دقیق نصب شوند تا اطمینان خاطر حاصل شود که پیام های این تابلوها که معمولاً حاوی پیام های پیچیده ای هستند به اطلاع رانندگان رسانده شود. دستورالعمل های MUTCD توصیه می کند که اطلاعات زیر در تابلوهای کنترل پارکینگ لحاظ شوند :

- محدودیت یا ممنوعیت (یا شرایط مجاز بودن در صورت استفاده از تابلوی مربوطه)

- دوره زمانی اعمال قانون تابلو در روز (اگر تمام روز نباشد)

• روزهایی از هفته که مقررات کاربرد دارد (اگر هر روز نباشد)

تابلوهای کنترل پارکینگ می بایست همیشه در ابتدا و انتهای مرز محدوده ممنوعه و در فواصل میانی آن نصب شود. در محلی که نوع محدودیت پارکینگ تغییر می کند می بایست دو تابلو در کنار هم بر روی یک پایه قرار گیرند تا هر یک از آنها با جهت فلش، محدوده اجرایی قانون ذکر شده را مشخص کند. درمحل هایی که محدودیت های منطقه ای اعمال می شوند، این محدودیت می بایست در تمامی مناطق و مسیرهای ورودی به منطقه مربوطه به اطلاع رانندگان رسانده شود.



شکل (۴-۱۱). نمونه ای از تابلوهای کنترل پارکینگ.

دربسیاری از حوزه های عملکردی محلی، تغییرات در مورد وضعیت قوانین مربوط به پارک خودروها می بایست از پیش و از طریق روزنامه های محلی و سایر رسانه ها و یا با نصب پوستر و پلاکارد در مناطق مربوطه به اطلاع مردم منطقه رسانده شود. به عنوان مثال نصب تابلوی پارک ممنوع و جریمه کردن و یا جابجا کردن خودروهای پارک شده در شب، بدون اطلاع قبلی صحیح نمی باشد.

سایر تابلوهای انتظامی

ویرایش هزاره MUTCD راهنمایی ها و استانداردهای مختلفی را در مورد بیش از ۱۰۰ تابلوی انتظامی شرح داده است. برخی از رایج ترین این تابلوها در این بخش به بحث و گفتگو گذارده شده اند. اما آنها تنها به عنوان بخشی از مجموعه بزرگ تابلوها مطرح هستند. اکنون به موازات معرفی قوانین جدید، تابلوهای جدید نیز در حال تدوین و تغییر هستند. برای اطلاعات بیشتر به دستورالعمل MUTCD مراجعه کنید.

۴-۳-۲- تابلوهای هشدار

تابلوهای هشدار تجهیزاتی هستند که توجه رانندگان را در مورد شرایط پیش بینی نشده که در طول مسیرها یا در کنار این مسیرها اتفاق می افتند، همچنین وضعیتهایی که به سادگی در معرض دید کاربران جاده ها نیستند جلب می کنند. تابلوهای هشدار، کاربران جاده را از شرایطی که ممکن است نیازمند کاهش سرعت یا انجام عملی خاص به منظور تأمین ایمنی بیشتر لازم باشند آگاه می کنند [ویرایش هزاره MUTCD صفحه 2C-1].

بیشتر تابلوهای هشدار لوزی شکل بوده و نوشته و علائم روی آنها با خط مشکی بر روی زمینه ای زرد ظاهر می شوند. شکل مثلث برای تابلوی «محدوده عبور ممنوع» استفاده می شود که در شرایط محدودیت عبور در جاده های برون شهری دو طرفه دو خطه کاربرد دارد. تابلوهای مستطیلی شکل نیز برای

نشان دادن برخی تابلوهای جهت نما استفاده می شود. شکل دایره‌ای نیز برای اعلان خطر درمورد تقاطع‌های راه و راه‌آهن استفاده می شوند.

دستورالعمل MUTCD حداقل اندازه استاندارد را برای بسیاری از تابلوهای هشدار در مسیرها و تسهیلات مختلف مشخص کرده است. برای تابلوی استاندارد لوزی شکل، اندازه تابلو از ۳۰ اینچ در ۳۰ اینچ تا ۳۶ اینچ در ۳۶ اینچ می تواند متغیر باشد. ساخت تابلوهای بزرگتر نیز محدودیتی ندارد.

دستورالعمل MUTCD نشان می دهد که نصب تابلوهای هشدار می بایست تنها بر اساس مطالعات مهندسی و یا قضاوت مهندسی انجام گیرد. با وجود اینکه این مسئله یک الزام نه چندان شدید است، اما خود باعث می شود که در استفاده بیش از حد از این تابلوها جلوگیری شود. یک تابلوی هشدار می‌بایست تنها در صورتی مورد استفاده قرار گیرد که بتواند رانندگان را از شرایطی که به طور طبیعی انتظارش را ندارند آگاه ساخته و مطلع نماید. استفاده بیش از حد از این تابلوها رانندگان را از توجه به آنها باز می دارد.

در هنگام استفاده از تابلوهای هشدار می بایست این تابلوها با فاصله کافی از محل خطر نصب شوند تا به رانندگان فرصت و زمان کافی برای اتخاذ تصمیم و عمل مناسب را بدهند. جدول (۴-۲) فواصل توصیه شده را برای این تابلوها در وضعیت های مختلف شرح داده است. سه وضعیت مختلف در این مورد وجود دارند که عبارتند از:

- وضعیت A: نیازمندی به قضاوت مهندسی قابل توجه. این مسئله، وضعیتی را بیان می کند که در آن، کاربر جاده می بایست از زمان اضافی استفاده کند تا فرضاً سرعت خود را کم کند و یا در هنگام ترافیک سنگین بزرگراهی تغییر مسیر داده و خط مناسب را انتخاب کند. برخی از این وضعیت ها مانند محل های به هم پیوستن خطوط ترافیکی و یا کاهش یک خط از خطوط مورد استفاده کاربران

جاده را شامل می شود. زمان PIEV از ۶/۷ تا ۱۰ ثانیه فرض می شود، به علاوه ۴/۵ ثانیه برای هر مانور.

• وضعیت B: شرایط توقف. این وضعیت در مواردی اعمال می شود که لازم است راننده قبل از رسیدن به منطقه خطر توقف کند. انواع مختلفی از کاربردهای این وضعیت شامل تابلوهای هشدار ایست در پیش رو، حق تقدم در پیش رو و به چراغ نزدیک می شوید می باشد. استاندارد PIEV بر اساس ضوابط AASHTO برابر ۲/۵ ثانیه در نظر گرفته می شود.

• وضعیت C: کاهش سرعت تا حد توصیه شده برای شرایط خاص. این وضعیت در مواردی که کاربر جاده می بایست سرعت خود را تا حد مناسب منطقه خطر کاهش دهد کاربرد دارند. این کاهش سرعت باعث می شود که راننده قدرت مانور مناسب را در مقابل خطرات احتمالی داشته باشد. PIEV به میزان ۱/۶ ثانیه و شتاب کاهنده به میزان ۱۰ فوت بر مجذور ثانیه فرض می شود.

جدول (۴-۲). توصیه‌هایی برای جانمایی پیشرفته تابلوهای هشدار.

سرعت ۸۵٪ (فوت)							سرعت ۸۵٪ (مایل در ساعت)
فاصله استقرار پیشرفته (فوت)					شرایط A «قضاوت زیاد»	شرایط B «شرایط ایست»	
شرایط C کاهش شتاب تا (مایل در ساعت):							
۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰			
-	-	-	-	NA	NA	۱۷۵	۲۰
-	-	-	NA	۱۰۰	NA	۲۵۰	۲۵
-	-	-	۱۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۳۲۵	۳۰
-	-	NA	۱۷۵	۲۰۰	۱۵۰	۴۰۰	۳۵
-	-	۱۷۵	۲۵۰	۲۷۵	۲۲۵	۴۷۵	۴۰
-	NA	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۵۵۰	۴۵
-	۲۲۵	۳۲۵	۴۰۰	۴۲۵	۳۷۵	۶۲۵	۵۰
NA	۳۰۰	۴۰۰	۴۷۵	۵۰۰	۴۵۰	۷۰۰	۵۵
۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۵۵۰	۵۷۵	۵۵۰	۷۷۵	۶۰
۳۷۵	۵۰۰	۵۷۵	۶۲۵	۶۵۰	۶۵۰	۸۵۰	۶۵

در تمامی این موارد، تابلوی اخطاری می بایست از فاصله ۱۷۵ فوتی قابل رویت باشد. البته در این

بین استانداردهای تابلوهای مورد استفاده نیز می بایست مورد نظر قرار بگیرد.

تابلوهای هشدار می بایست به وسیله های تابلوهای تکمیلی استفاده شوند. این تابلوها یا فاصله تا

منطقه خطر را نشان می دهند یا سرعت مطمئنه برای عبور از آن منطقه را تعیین می کنند. این سرعت بر

اساس مطالعات مهندسی تعیین می شود. در مواردی که رهنمودها و جزئیاتی دقیقی در دسترس نیست،

سرعت مطمئنه بر اساس تجربیات محلی تعیین می شود. در صورتی که سرعت مطمئنه در عبور از منطقه

خطر ۱۰ مایل در ساعت و یا بیشتر از محدودیت سرعت محلی کمتر باشد، معمولاً این سرعت بوسیله

تابلویی به رانندگان هشدار داده می شود.

تابلوهای هشدار در مورد خطرات بالقوه فراوانی از جمله موارد زیر اطلاع رسانی می کنند. برخی از

این موارد عبارتند از:

- تغییرات در تراز افقی

- تقاطع ها

- اخطار پیشرفته برای تجهیزات کنترل ترافیک

- همگرایی خطوط ترافیک

- راه های باریک

- تغییر در طراحی جاده ها

- تغییر در درجه راه

- شرایط سطح جاده

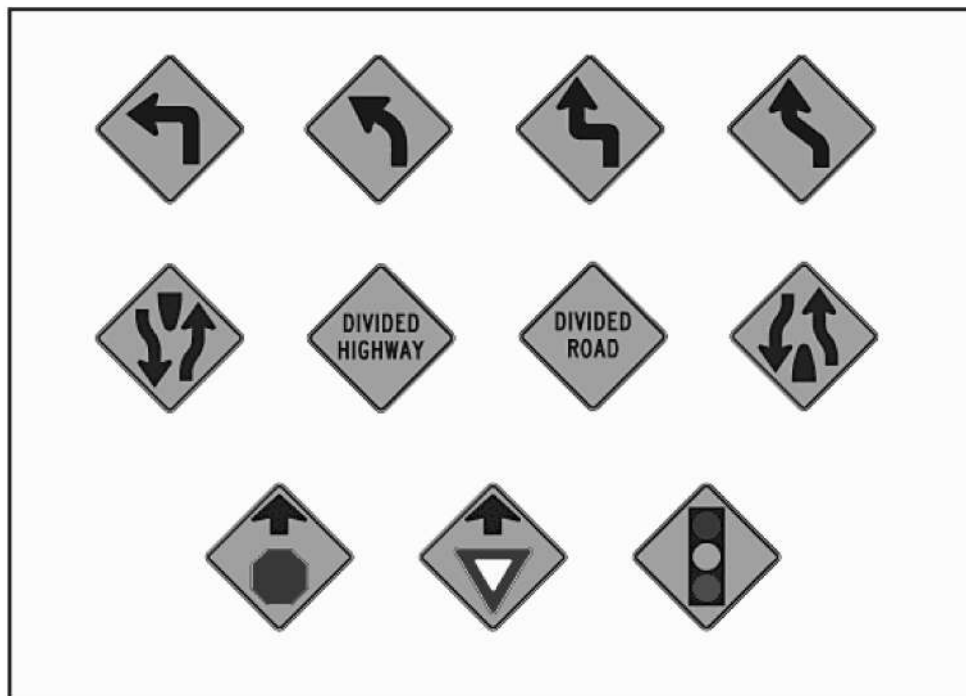
- عبور از خط آهن

- ورودی ها و محل های عبور.

• موارد متفرقه

شکل (۴-۱۲) برخی از تابلوهای هشدار از این گروه را نشان می دهد.

علی رغم اینکه در اینجا نشان داده نشده است اما دستورالعمل MUTCD شامل تابلوهای هشدار دیگری نیز هست که در مناطق خاص و ویژه مانند نواحی نزدیک مدارس و مناطق عبور از ریل آهن استفاده می شوند. به منظور کسب اطلاعات بیشتر در خصوص این موارد مستقیماً به متن دستورالعمل مراجعه کنید.



شکل (۴-۱۲). نمونه از تابلوی هشدار.

۳-۳-۴- تابلوهای راهنما

این تابلوها اطلاعاتی مبنی بر مقاصد، خدمات موجود، تسهیلات و مکانهای تفریحی و تاریخی را در اختیار کاربران جاده قرار می دهد. این تابلوها عمدتاً اطلاعات ارزشمندی را در اختیار کاربران ناآشنای جاده قرار می دهند. آنها نقش بسیار مهمی نیز در ایمنی جاده ها دارند. یک راننده که در انتخاب مسیر خود در یک تقاطع به مشکل برخوردده و گیج شده است خود خطری بالقوه برای سایر رانندگان ایجاد می کند.

تابلوهای راهنما به صورت مستطیلی شکل هستند به حالتی که ضلع بزرگ مستطیل افقی واقع شود. نوشته‌ها و حاشیه این تابلوها سفید می باشد. رنگ زمینه نیز برحسب اطلاعات موجود در تابلو متغیر می باشد. اطلاعات درمورد جهت مسیرها و مقاصد مسیرها بر زمینه سبز ظاهر می گردد. اطلاعات در مورد خدمات و تسهیلات رفاهی مسیرها بر تابلوهایی با زمینه آبی ظاهر می شوند. اطلاعات ارائه شده در مورد مکانهای فرهنگی، تاریخی و تفریحی بر تابلوهایی با زمینه قهوه‌ای ظاهر می شوند. علائم و نشانه‌های نمایانگر مسیرها برحسب حوزه استحفاظی و نوع تابلو دارای اشکال و رنگ‌های متنوع و متفاوتی می باشند. دستورالعمل MUTCD اطلاعاتی را درمورد تابلوهای راهنما برای سه نوع از تسهیلات ارائه می دهد: جاده‌های معمولی، آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها. مورد تابلوهای راهنما تا حدی با سایر انواع تابلوها متفاوت است زیرا که استفاده بیش از حد از این تابلوها مشکل خاصی را ایجاد نمی کند، مگر شرایطی که منجر به سردرگمی رانندگان و کاربران می شود. وضوح و ثبات پیام منتقل شده دو عامل بسیار مهم برای این تابلوها می باشند. چندین اصل و قاعده کلی را در مورد این تابلوها می توان به کار گرفت:

۱- اگر یک جاده به چند مقصد متفاوت خدمت رسانی می کند، مهمترین این مقاصد می بایست بر تابلو نگاشته شود. فرضاً اگر بزرگراهی به فیلادلفیا می رسد و همچنین از چند منطقه متفاوت حومه‌ای نیز گذر می کند، تابلوهای راهنما می بایست مرتباً «فیلادلفیا» را به عنوان مقصد اصلی مسیر مطرح کنند و بنویسند.

۲- هیچ تابلوی راهنما نمی بایست عناوین بیش از سه مقصد را ارائه کند (البته در برخی مواقع چهار مقصد نیز پذیرفته شده است). این اصل به همراه اصل اول انتخاب اولویت مقاصد را به عنوان شاخصی از کارایی تابلو محسوب می شود.

۳- در مواردی که مسیرها هم دارای اسم هستند و هم دارای شماره، در صورت امکان و وجود فضای مناسب در تابلو، هر دوی این اطلاعات می بایست ذکر شوند. در مواقعی که تنها ذکر یکی از این دو

مقدور است، تابلوهای راهنما عمدتاً شماره مسیر را ذکر می کنند. بر روی نقشه‌های مسیر نیز معمولاً شماره مسیرها قید می گردد. این بدان خاطر است که رانندگان نا آشنا با مسیر معمولاً شماره مسیر را به ذهن می سپارند تا نام آن‌ها را.

۴- هر جا که ممکن باشد، پیش از تقاطع‌های مهم می بایست از تابلوگذاری پیشرفته استفاده نمود. این امر در جاده‌های معمولی مشکل باشد؛ زیرا که در این نوع از مسیرها، تعداد تقاطع‌ها فراوان بوده و با فاصله کمی از هم واقع هستند. در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، این مسئله به عنوان مسئله ایمنی بسیار مهمی مورد توجه قرار می گیرد که دلیل آن، سرعت بالای وسایل نقلیه و خطرات تغییر مسیر آنها در تقاطع‌ها می باشد.

۵- به هر قیمتی که ممکن است نباید اجازه دارد که رانندگان در تعیین مسیر خود با مشکل روبرو شده و دچار سردرگمی شوند. اولویت و ترتیب تابلوهای راهنما می بایست مناسب بوده و رانندگان را در تعیین به موقع مسیر و انتخاب خط مناسب یاری دهد. در موارد که ممکن است باید سعی شود که تابلوهای راهنما همپوشانی نداشته باشند. تقاطع‌هایی که در آنها امکان گردش به چپ وجود داشته باشد می بایست با دقت و توجه بسیار بالایی طراحی شوند و تابلوهای راهنما نیز به طور کلی عاری از خطا باشند.

اندازه، موقعیت و شیوه نوشتن بر روی تابلوهای راهنما می‌تواند بسیار متغیر باشد. از این رو دستورالعمل MUTCD اطلاعاتی مفید در مورد گزینه‌های متعدد را در اختیار دست اندرکاران قرار می دهد. از آنجا که عواملی چند بر اصول نصب و تهیه این تابلوها در موقعیت‌های مورد نظر تأثیر می گذارند، لذا باید گفت که در این موارد تعدد گزینه‌ها و انتخاب‌های موجود برای مهندسین حمل و نقل نسبت به سایر تابلوها بیشتر است. در این موارد حتماً می بایست برای کسب اطلاعات دقیق به دستورالعمل MUTCD مراجعه شود.

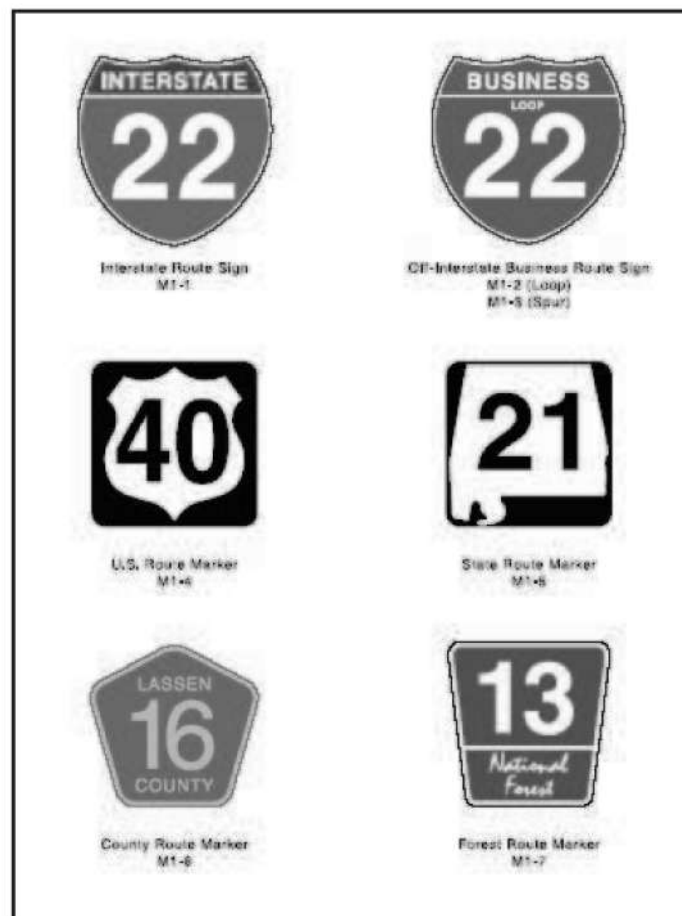
نشانگرهای مسیرها

شکل (۴-۱۳) نشانگرهای مسیر را نشان می‌دهد که در تمامی مسیرهای دارای شماره استفاده می‌گردند. این تابلوها دارای طرح منحصر بفرد بوده و نوع مسیر مربوطه را نشان می‌دهند. جاده‌های بین ایالتی دارای طرح سپر بوده، نوشته روی آنها سفید است و دارای زمینه قرمز و آبی می‌باشند. همین طراحی درمورد لوپ‌های تجاری نیز استفاده می‌گردد. این لوپ‌ها معمولاً جاده‌هایی مهم هستند که جزء سامانه بین ایالتی نمی‌باشند، اما معمولاً به صورتی هستند که یک منطقه تجاری را به یک تقاطع غیر همسطح در جاده‌های بین ایالتی متصل می‌کنند. نشانگرهای مسیر در ایالات متحده عددی مشکی رنگ هستند که بر روی یک طرح سپر با زمینه سفید ظاهر می‌شوند و در روی یک تابلوی دایره‌ای با زمینه سیاه قرار می‌گیرند. نشانگرهای مسیر ایالتی نیز، بوسیله دولت‌های محلی این ایالت‌ها تعیین و طراحی شده و از این رو با هم متفاوت می‌باشند. با وجود این تمامی نشانگرهای مسیر در بخش‌های یک ایالت دارای طرحی استاندارد هستند که در آنها، حروف و اعداد با رنگ زرد بر زمینه آبی در قالب شکلی منحصر به فرد نقش می‌بندند. اسم بخش مربوطه نیز بر تابلوی مورد نظر نیز نوشته می‌شود. نشانگرهای مسیر در پارک‌ها و جنگل‌های ملی نیز دارای شکل خاص بوده و نوشته‌های سفید آنها بر زمینه قهوه‌ای ظاهر می‌شود.

نشانگرهای مسیر ممکن است بوسیله برخی تابلوهای دیگر که نشان‌دهنده جهات اصلی و برخی اهداف دیگر هستند همراه باشند. این مستطیل‌ها شامل «JCT»، «ALT»، «مسیر جایگزین»، «کنارگذر»، «منطقه تجاری»، «کامیون»، «به»، «پایان» و «مسیر موقت» می‌باشند. پانل‌های کمکی بر اساس الگوی تابلوی اصلی طراحی می‌شوند.

فصل ۱۵ مباحثی کامل درمورد چگونگی استفاده از نشانگرهای مسیر و ترکیب‌های مختلف این

تابلوها در بزرگراه‌ها و جاده‌ها را ارائه می‌دهد.



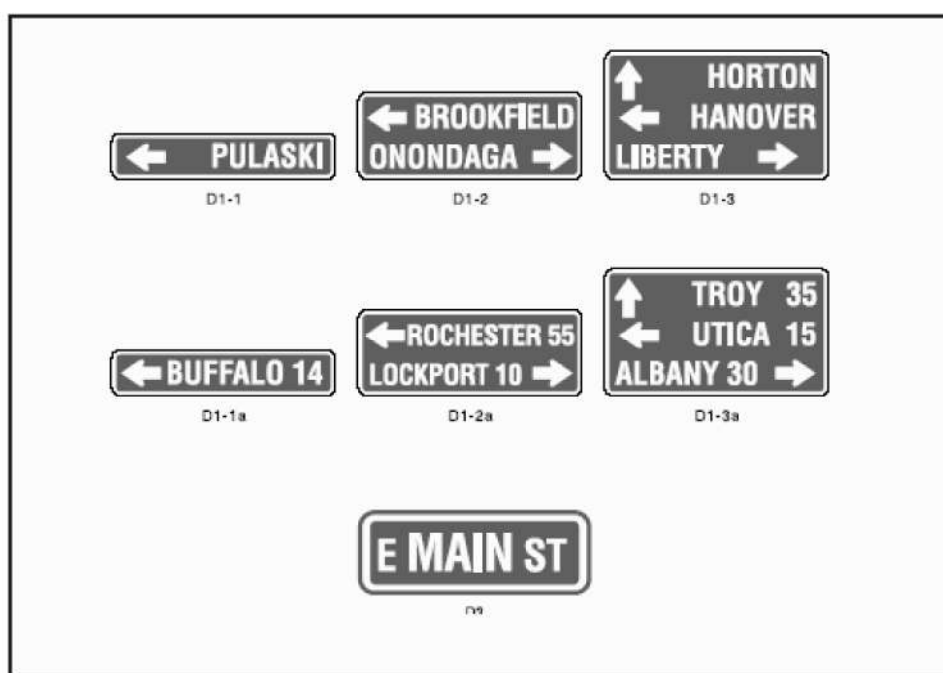
شکل (۴-۱۳). نمونه‌ای نشانگرهای مسیر.

تابلوهای راهنمای مقصد - جاده‌های معمولی

تابلوهای راهنمای مقصد در انواع راه‌ها استفاده می‌شوند و اطلاعاتی را در مورد فاصله باقیمانده تا مقصد و همچنین برخی از شهرها و مقاصد مهم در طول مسیر در اختیار رانندگان قرار می‌دهند. درجاده‌های معمولی، تابلوهای فاصله تا مقصد با استفاده از حروف بزرگ به رنگ سفید بر روی زمینه‌ای سبز ظاهر می‌گردند. فاصله باقیمانده تا مقصد در واحد مایل تعیین شده و در سمت راست نام مقصد نگاشته می‌شود.

تابلوهای راهنمای مقصد معمولاً در تقاطع‌های بین راه‌های درون ایالتی دارای شماره و راه‌های بین ایالتی و آغاز راه‌های فرعی و مجزا استفاده می‌شوند. تابلوهای فاصله عموماً در مسیرهای مهم که از شهرها خارج می‌شوند و وارد جاده‌های دارای شماره می‌گردند نصب می‌شوند.

تابلوهای راهنمای نام خیابان‌ها و جاده‌ها برای تمامی تقاطع‌های شهری و حومه شهری توصیه می‌شوند. همانطور که برای تقاطع‌های اصلی برون شهری نیز توصیه شده‌اند. تابلوهای راهنمای نام محلی خیابان‌ها در گروه تابلوهای راهنمای مقصد طبقه بندی می‌شوند. شکل (۴-۱۴) تعدادی از این تابلوها را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۴). تابلوهای راهنمای مسیر در راه های معمولی.

تابلوهای راهنمای مقصد - آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها

تابلوهای راهنمای مقصد در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها شبیه یکدیگر هستند. با این تفاوت که در اندازه و موقعیت این تابلوها، ملزوماتی وجود دارد که در دستورالعمل MUTCD مشخص شده است. این تابلوها از جهاتی با تابلوهای راهنمای مقصد در جاده‌های معمولی متفاوت هستند:

- حرف اول نام مقصد با حرف بزرگ و سایر حروف بصورت کوچک نوشته می‌شوند.
- مسیرهای دارای شماره با نشانگر مناسب بر روی تابلو همراه می‌باشند.

- شماره خروجی توسط پانل های کمکی در بالا و سمت راست تابلوی راهنما آورده می شوند.

- در تقاطع های بزرگ و اصلی، عناصر هندسی می توانند بر روی تابلوها ظاهر شوند.

همانند جاده های معمولی، تابلوهای نشان دهنده فاصله تا مقصد در مسیر به دفعات استفاده می شوند.

هر گونه تقاطع غیر همسطح و همسطح مهم در بزرگراه ها بوسیله تابلوهای فراوان و با هزینه زیاد بصورت پیشرفته تابلوگذاری می شود.

فاصله میان تقاطع های غیر همسطح از یمدیگر، مسئله ای بسیار تعیین کننده در چگونگی بکارگیری

تابلوهای راهنما می باشد. در مواقعی که تقاطع های غیر همسطح از هم فاصله زیادی داشته باشند می توان با فواصل ۵ مایل یا بیشتر از تابلوهای راهنمای مسیر استفاده کرد و به موازات نزدیک شدن به محل تقاطع، تعداد تابلوها را افزایش داد.

در شرایط شهری و حومه شهری، که تقاطع های غیر همسطح از یمدیگر فاصله چندانی ندارند،

استفاده از تابلوهای راهنمای پیشرفته بیش از پیش مشکل می شود. تابلوگذاری پیشرفته غالباً اطلاعاتی را در مورد محل تقاطع غیر همسطح بعدی ارائه می کند. این مسئله به خاطر اجتناب از ایجاد ابهام به وسیله همپوشانی تابلوها راهنما اعمال می شود. تنها استثنای این مسئله، تابلوهای راهنمای فاصله تا مقصد تا چند تقاطع غیر همسطح بعدی می باشد. بنابراین در مناطق شهری و حومه شهری که تقاطع های غیر همسطح در آنها نزدیک هستند، تابلوی پیشرفته برای تقاطع غیر همسطح بعدی، درست پس از اتمام رمپ خروجی تقاطع قبلی قرار می گیرد.

گستره وسیعی از انواع تابلوهای راهنما در آزادراه ها و بزرگراه ها استفاده می شوند. برخی از این

تابلوها در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.

بخش (الف) شکل (۴-۱۵) نشان دهنده یک تابلوی پیشرفته خروجی است. این تابلوها بر اساس

الگوی تابلوگذاری مربوطه در فواصل مناسب و متفاوت نصب می شوند. تعداد و محل تابلوهای راهنما

عمدتاً بر اساس فواصل میان خروجی‌ها تعیین می‌شود. بخش (ب) شکل (۵-۱۴) پانل خروجی بعدی را نشان می‌دهد. این پانل‌ها می‌تواند در زیر تابلوی خروجی و یا قبل از آن نصب شود. تابلوهای خروجی نشان داده شده در بخش (ج) شکل (۴-۱۵) در مواردی استفاده می‌شوند که برای هر مسیر خروجی یک رمپ مجزا وجود داشته باشد. این تابلوها معمولاً بعد از خروجی قبلی و در ابتدای خود خروجی نصب می‌شوند. تابلوی خروجی که در بخش (د) شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است، آخرین تابلویی است که در محل اتصال رمپ خروجی نصب می‌باشد. این تابلوها معمولاً برپایه های شکننده نصب می‌شوند تا در صورتی که خودرویی در از مسیر خارج شد آسیب جدی نبیند. بخش (ه) شکل (۵-۱۴) نیز نشان‌دهنده تابلوی جهت خروج می‌باشد. این تابلو در محل خروجی و انفصال نصب می‌شوند و شامل پانل شماره خروجی نیز می‌شود. تابلوی «به طرف مستقیم» که در بخش (و) شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است عمده‌تاً در مناطق شهری و یا مناطقی که فاصله خروجی‌ها از یکدیگر بسیار کم است استفاده می‌شود. این تابلوها معمولاً بر روی پانل‌های بالاسری کنار خروجی‌ها نصب می‌شوند. این تابلوها رانندگان را از ادامه مسیر انتخابی مطمئن می‌سازند. آخرین تابلویی که در بخش (ز) شکل (۴-۱۵) دیده می‌شود تابلویی دارای عناصر هندسی می‌باشد که در خروجی‌های پیچیده نصب و بکارگیری می‌شود. این تابلوها بویژه در محلهایی که مسیر خروجی پس از خروج از مسیر اصلی دو یا چند شاخه می‌شود مفید هستند. این تابلو رانندگان را به شیوه‌ای مستقیم و ساده از مسیری که برای مقصد مورد نظر خود می‌بایست استفاده کنند آگاه می‌کنند.

فصل ۱۵ به بررسی دقیق تابلوهای راهنما در آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و جاده‌های معمولی می‌پردازد.



الف) تابلوی پیشرفته تقاطع غیر همسطح



ب) پانل خروجی بعدی



ج) تابلوی خروجی چندگانه مکمل



هـ) تابلوی جهت خروج



د) تابلوی خروجی در ناحیه دماغه



و) تابلوی به طرف مستقیم



ز) تابلوی پیشرفته برای خروج از چپ با عناصر هندسی

شکل (۴-۱۵). نمونه ای تابلوهای راهنمای مسیر در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها.

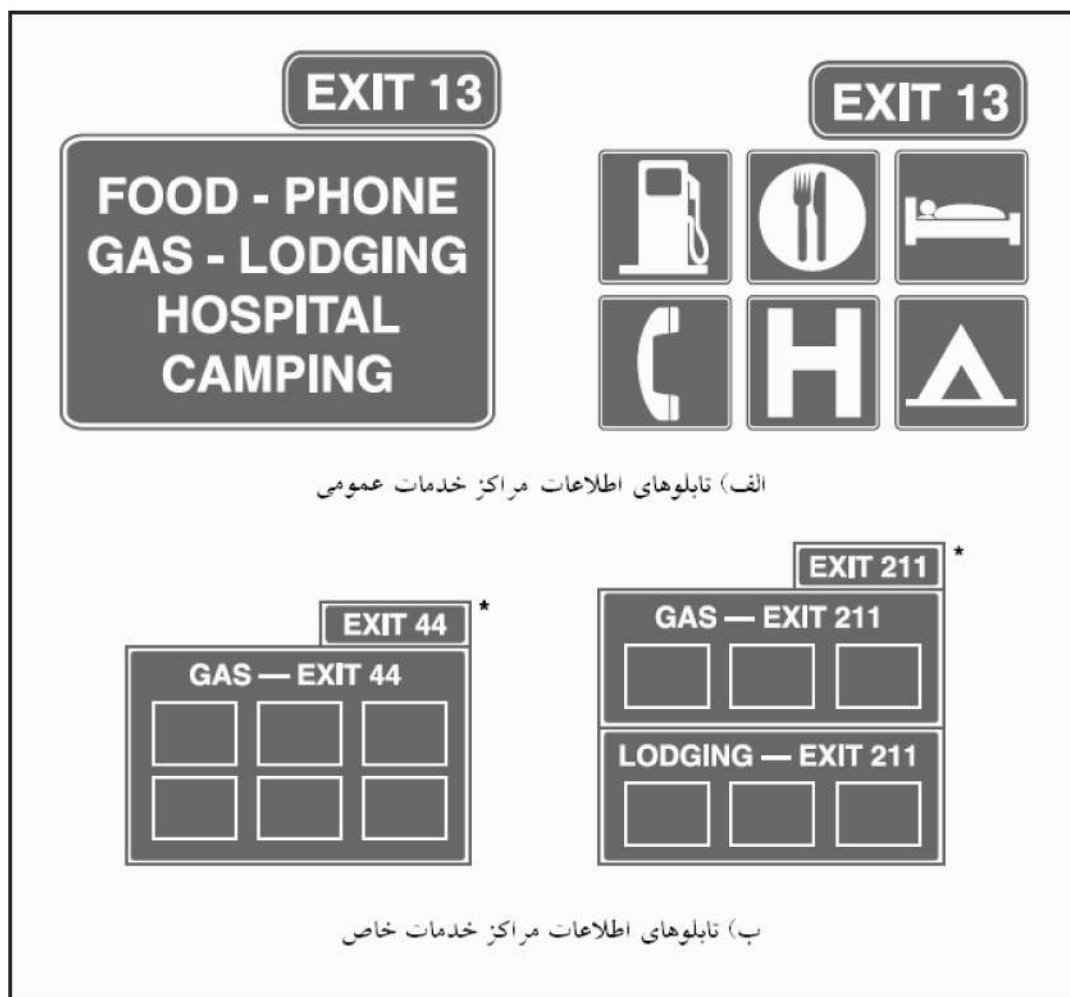
تابلوهای راهنمای خدمات

یکی دیگر از جمله اطلاعات مورد نیاز رانندگان، اطلاع از محل هایی است که خدمات خودرویی و سایر خدمات به رانندگان ارائه می شود. رانندگان، بویژه آن ها که با مسیر آشنایی کافی ندارند نیاز دارند که از محل های خدمات رسانی مانند پمپ بنزین، غذاخوری ها، محل های استراحت، محل های ارائه خدمات پزشکی و خدمات مشابه مطلع شوند. دستورالعمل MUTCD از گستره وسیعی از تابلوهای راهنما برای انتقال این اطلاع استفاده می کند. این تابلوها همگی نوشته هایی سفید رنگ بر زمینه آبی دارند. در بسیاری از موارد نشانه و سمبل هایی به منظور نشان دادن نوع خدمات موجود استفاده می شود. در آزادراه ها، تابلوهایی بزرگ دارای پیام های نوشتاری در کنار تابلوهای خروجی ظاهر می شوند تا اطلاعات مورد نظر را به رانندگان منتقل کنند. کاملترین اطلاعات این تابلوها را می توان در سطح آزادراه ها یافت که در آن ها نام شرکت و سازمان ارائه دهنده خدمات مذکور نیز ذکر می شود (شرکتهای فروشنده بنزین، نام رستوران ها و غیره). شکل (۴-۱۶) اطلاعاتی را در مورد تابلوهای اطلاع رسانی به رانندگان در مورد خدمات ارائه شده نشان می دهد.

در نصب این قبیل تابلوها نکات و دستورالعمل هایی چند وجود دارد. به عنوان مثال محل های خدمات رسانی که بیش از ۳ مایل با خروجی های آزادراه فاصله دارند نمی بایست در این تابلوها ذکر شوند. به علاوه محل های خدمات رسانی که امکان بازگشت آسان رانندگان به مسیر اصلی بزرگراه را فراهم نکرده اند نمی بایست در این تابلوها ذکر شوند.

اطلاعات ارائه شده در تابلوها می بایست دارای اطلاعات دیگری مانند ساعات کار مراکز خدمات رسانی نیز باشند. تمامی این خدمات می بایست از قوانین فدرال، ایالتی و محلی متناسب با نوع بهره برداری خود پیروی کنند. برای اطلاع از جزئیات دقیق تر این قوانین و ملزومات به دستورالعمل MUTCD مراجعه کنید.

تابلوهای اطلاع رسانی در مورد مراکز خدماتی در جاده‌های معمولی نیز مانند آن مواردی است که در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده‌اند. با این تفاوت که در این تابلوها در جاده‌های معمولی از شماره خروجی و یا پانل های کمکی شماره خروجی استفاده نمی کنند.



شکل (۴-۱۶). تابلوهای اطلاعات خدمات.

تابلوهای راهنمای مراکز فرهنگی و تفریحی

اطلاعات لازم در مورد مراکز تاریخی، فرهنگی و تفریحی و مقاصد مربوط به این محل‌ها، بر تابلوهای با نوشته یا نشانه‌های سفید رنگ در زمینه قهوه‌ای مشخص می‌شوند. برای نشان دادن نوع فعالیت مراکز فوق، از نشانه‌ها استفاده می‌شود، اما ممکن است از تابلوهایی بزرگتر که نوشته‌هایی روی آن‌ها موجود است

نیز استفاده شود. شکل (۴-۱۷) نمونه‌هایی از این تابلوها را نشان می‌دهد. ویرایش هزاره دستورالعمل MUTCD سمبل‌ها و نشانه‌های متعددی را در این موارد ارائه کرده است که می‌بایست برای اطلاعات بیشتر به آنها رجوع شود.



شکل (۴-۱۷). تابلوهای مراکز تفریحی و فرهنگی.

تابلوهای راهنمای مسافت طی شده

این تابلوها، مستطیل‌هایی کوچک عمودی با اندازه‌های ۶ اینچ در ۹ اینچ هستند که اعداد روی آن‌ها سفید بوده و بر زمینه‌ای سبز نوشته می‌شوند. این تابلوها مسافت طی شده در مسیر را به رانندگان نشان می‌دهند و آن‌ها را قادر می‌سازند که میزان طی مسیر خود را تخمین زده و در موقعیت‌های اضطراری و

تصادفات، امکان اطلاع رسانی در مورد محل مربوطه را به اورژانس و یا سایر مراکز مربوطه فراهم آورند. ارائه این اطلاعات در طول مسیرها بصورت پیوسته انجام می شوند. به این ترتیب که در ابتدای مسیر، مسافت طی شده معادل صفر بوده و در طول مسیر افزایش می یابند. در مواردی که مسیرها دارای همپوشانی باشند، این اطلاع رسانی در مورد یکی از مسیرها انجام می شود که از ابتدای مسیر فاصله گذاری شده است. در برخی آزادراهها، این پانل های اطلاع رسانی به فاصله یک دهم مایل از هم قرار می گیرند تا امکان اطلاع رسانی دقیق و موثر فراهم آید.

۴-۴- چراغهای ترافیکی

دستورالعمل MUTCD نه نوع مختلف از چراغ های ترافیکی را تعریف می کند :

- چراغهای کنترل آمد و شد
- چراغهای عبور عابران پیاده
- چراغهای کنترل ترافیک خودروهای امدادی
- چراغهایی کنترل آمد و شد برای مسیرهای یک خطه دو طرفه
- چراغهای کنترل آمد و شد در رمپهای ورودی آزادراهها
- چراغهایی کنترل آمد و شد برای پل های متحرک
- چراغهای کنترل استفاده از خط
- چراغهای چشمک زن
- چراغهای روشنایی راهها

رایج ترین نوع چراغهای ترافیکی، چراغ چراغ کنترل ترافیک می باشد که در تقاطع های شلوغ و پر

ازدحام برای توقف و حرکت متناوب جریان ترافیک استفاده می شود.

۴-۴-۱- چراغ‌های کنترل ترافیک

دستورالعمل MUTCD دو استاندارد بسیار مهم را راجع به چراغ‌های کنترل ترافیک ارائه می‌کند :

- چراغ کنترل ترافیک می‌بایست در تمام ساعات شبانه‌روز بصورت ثابت (ایست و حرکت) و یا

بصورت چشمک زن عمل کند [نسخه هزاره MUTCD صفحه 4D-1].

- تابلوهای ایست در تقاطع‌هایی که دارای چراغ راهنمایی باشند نمی‌بایست استفاده شود. دو مورد

زیر از این قاعده استثنا هستند : (۱) اگر چراغ مربوط به جریان ترافیکی یک مسیر همواره بصورت

قرمز چشمک زن عمل کند. (۲) در صورتی که در منطقه تحت کنترل چراغ راهنمایی، خیابان‌ها و

مسیرهای کوچک دیگری نیز وجود داشته باشند ولی نیازمند نصب چراغ راهنمایی مجزا نباشند. دلیل

آن این است که احتمال ایجاد مشکل در جریان ترافیک در این محل‌ها بسیار کم می‌باشد [نسخه

هزاره MUTCD صفحه 4D-1].

اجرای اولین شرط مستلزم این است که چراغ راهنمایی در همه ساعات شبانه‌روز بصورت فعال

باشد. هیچ چراغ راهنمایی نمی‌باید هرگز خاموش باشد. چرا که این مسئله می‌تواند برای رانندگان گیج

کننده باشد و به تصادف منجر شود. مسئولیت هرگونه تصادفی که در زمان خاموش بودن چراغ راهنمایی

اتفاق بیفتد برعهده سازمان و نهادهی است که مسئولیت این چراغ‌ها را بر عهده دارد. در صورتی که یک

چراغ راهنما خراب بوده و عملیاتی نباشند، قسمت رأس چراغ می‌بایست پوشانده شده و یا اینکه باز شده

و پائین آورده شود. در زمان‌های قطع برق می‌بایست از افراد پلیس و یا ماموران مجاز برای هدایت جریان

ترافیک استفاده گردد.

شرط دوم در واقع مربوط به شرط اول بوده و مربوط به عملی است که در گذشته انجام می‌شده

است. به این صورت که چراغ‌های راهنمایی در شب خاموش می‌شدند و از تابلوی ایست استفاده می‌شد.

مشکلی که در این مورد وجود داشت این بود که رانندگان در طول روز با چراغ سبز و نیز تابلوی ایست

مواجه می شدند که در بسیاری از موارد باعث سردرگمی رانندگان می شد. لذا استفاده از تابلوی ایست و چراغ راهنمایی امروزه به کلی ممنوع است.

استفاده از تابلوی ایست در تقاطع‌هایی که وضعیت چراغ راهنمایی در آنها همواره به صورت قرمز چشمک زن است ممکن و مجاز می باشد. دلیل آن این است که معنی قانونی چراغ چشمک زن قرمز مانند تابلوی ایست می باشد.

ویژگی‌های مثبت چراغ‌های راهنمایی

چراغ‌هایی راهنمایی وقتی در محل‌های مناسب نصب و در مواقع مناسب بکارگیری شوند فواید بسیار مهم و فراوانی دارند. برخی از این فواید عبارتند از:

- با استفاده از طراحی فیزیکی مناسب، اقدامات کنترلی و زمانبندی مناسب، ظرفیت انتقالی یک تقاطع به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می یابد.

- تناوب و شدت تصادفات کاهش یافته و تصادفات محدود به تصادفات گردش به راست، دور زدن و تصادفات عابران پیاده می شود.

- وقتی چراغ‌های راهنمایی به طرز مناسبی هماهنگ و مدیریت شوند، این چراغ‌ها می‌توانند امکان جریان ترافیکی مستمر و پیوسته را در معابر شریانی در شرایط ترافیکی دلخواه بوجود آورند.

- چراغ‌های راهنمایی در شرایط ترافیک سنگین می‌توانند فرصت را برای عبور خودروها و عابران پیاده از تقاطع بصورت گذر ایمن و مطمئن را فراهم آورند.

درعین حال، چراغ‌های راهنمایی که بصورت مناسب تنظیم نشده اند و یا بصورت نامناسب و ضعیف طراحی شده اند می‌توانند منجر به تاخیرهای طولانی، ایجاد زمینه تخلف از مقررات چراغ راهنمایی از سوی رانندگان و افزایش تعداد تصادفات (بویژه تصادفات از پشت خودروها) و تغییر مسیر رانندگان به مسیرهای نامناسب شود.

دستورالعمل MUTCD ویژگی‌های بسیار دقیقی را در مورد چگونگی بکارگیری از چراغ‌های راهنمایی ارائه کرده است. این موارد بسیار دقیق تر و جامع تر از اطلاعاتی است که در مورد سایر تجهیزات کنترل ترافیک ارائه شده‌اند. دلیل این امر در هزینه بسیار بالای آن‌ها نسبت به سایر تجهیزات کنترل ترافیک می‌باشد. دلیل دیگر نیز اثرات بسیار منفی است که بکارگیری نادرست چراغ‌های راهنمایی می‌تواند در پی داشته باشد. از این رو، چراغ‌های راهنمایی تنها در محل‌هایی نصب می‌شوند که براساس مطالعات مهندسی تعیین شده‌اند و شروط ذکر شده در دستورالعمل MUTCD، ایمنی و ظرفیت تقاطع مورد نظر را افزایش دهد. دستورالعمل مربوطه حتی پا را فراتر از این گذاشته و اعلام می‌دارد که اگر یک چراغ راهنمایی که اکنون در تقاطعی نصب شده است، هیچ یک از کاربردهای مورد نظر دستورالعمل MUTCD را دارا نیست می‌بایست برداشته شده و با وسایل کنترل ترافیک دیگر جایگزین شود.

ویرایش هزاره MUTCD، ۸ مورد از ویژگی‌های مرتبط با چراغ‌های ترافیکی را به صورت مبسوط ذکر کرده است. این شرایط ویژگی‌های نصب مناسب و موفق چراغ‌های ترافیکی را نشان می‌دهند. فصل ۱۶، مبحث کامل و دقیق اجرای این شرایط را ارائه کرده و فرآیند کلی استفاده و اجرای مناسب کنترل تقاطع‌ها را در شرایط مختلف ارائه کرده است.

شاخص‌های چراغ راهنمایی

دستورالعمل MUTCD شاخص‌های هر چراغ کنترل تقاطع را به شرح زیر ارائه می‌کند:

- چراغ سبز. چراغ سبز به خودروهایی که در مسیر آن قرار گرفته اند اجازه می‌دهد که به حرکت خود به درون تقاطع ادامه دهند و یا احیاناً به سمت راست و چپ گردش کنند. البته استثنای این مورد هنگامی است که مسیرهای گردشی خود بوسیله علائمی ممنوع شده باشند یا چراغ مربوط به گردش‌ها سبز نباشد. خودروهایی که در حال گردش هستند می‌بایست حق تقدم را نسبت به خودروهای دیگری که در جهت مقابل در حرکت هستند و همچنین عابران پیاده‌ای که در حال عبور

هستند رعایت کنند. در صورتیکه چراغ راهنمایی برای عابران پیاده وجود نداشته باشد، آنها محق هستند که از مناطق خط کشی شده و خط کشی نشده عبور کنند.

• چراغ زرد. حالت تغییر بین چراغ سبز و چراغ قرمز را نشان می دهد. این چراغ به رانندگان هشدار می دهد که زمان چراغ سبز و عبور آزاد تمام شده است و چراغ بلافاصله قرمز خواهد شد. در حالت کلی، رانندگان مجازند در صورت زرد بودن چراغ وارد تقاطع شوند. البته این مسئله هنگامیکه چراغ قرمز است به هیچ عنوان صدق نمی کند. در صورت عدم وجود چراغ مخصوص عابر، عابران پیاده مجاز نیستند که در هنگام زرد بودن چراغ راهنمایی برای خودروها، شروع به عبوری از خیابان نمایند.

• چراغ قرمز. این چراغ تمامی جریان خودروها و عابران پیاده را که با آن روبرو هستند ملزم به توقف پشت خط ایست یا خط عابر می کند. در تمامی ایالت ها مقررات بگونه ای است که پس از قرمز شدن چراغ، خودروها مجازند که با رعایت احتیاط و پس از توقف، به سمت راست گردش کنند. البته این بدان شرط است که گردش به راست توسط نماد یا تابلوگذاری ممنوع نشده باشد. در برخی ایالت ها، گردش به چپ خودروها از یک خیابان یک طرفه به خیابان یکطرفه دیگر نیز پس از توقف و رعایت احتیاط مجاز است. لیکن این مسئله با مقررات بین المللی فاصله بسیار دارد.

• چراغ چشمک زن: چراغ چشمک زن زرد رانندگان را مجاز می کند که با رعایت اصول احتیاطی مناسب، از تقاطع رد شوند. چراغ چشمک زن قرمز بدان معناست که رانندگان پس از توقف کامل و با رعایت احتیاط کامل از چراغ رد شوند.

• چراغ های دارای فلش. تمامی چراغ های دارای فلش بسته به رنگ های خود دارای همان معانی هستند که چراغ های سبز و قرمز و زرد القاء می کنند. تنها تفاوت در آن است که این چراغ ها فقط برای مسیرهای مشخص شده کاربرد دارند. چراغ سبز دارای فلش سبز برای گردش به چپ فقط هنگامی استفاده می شود که گردش به چپ حالت حفاظت شده و دارای خط عبور انحصاری باشد

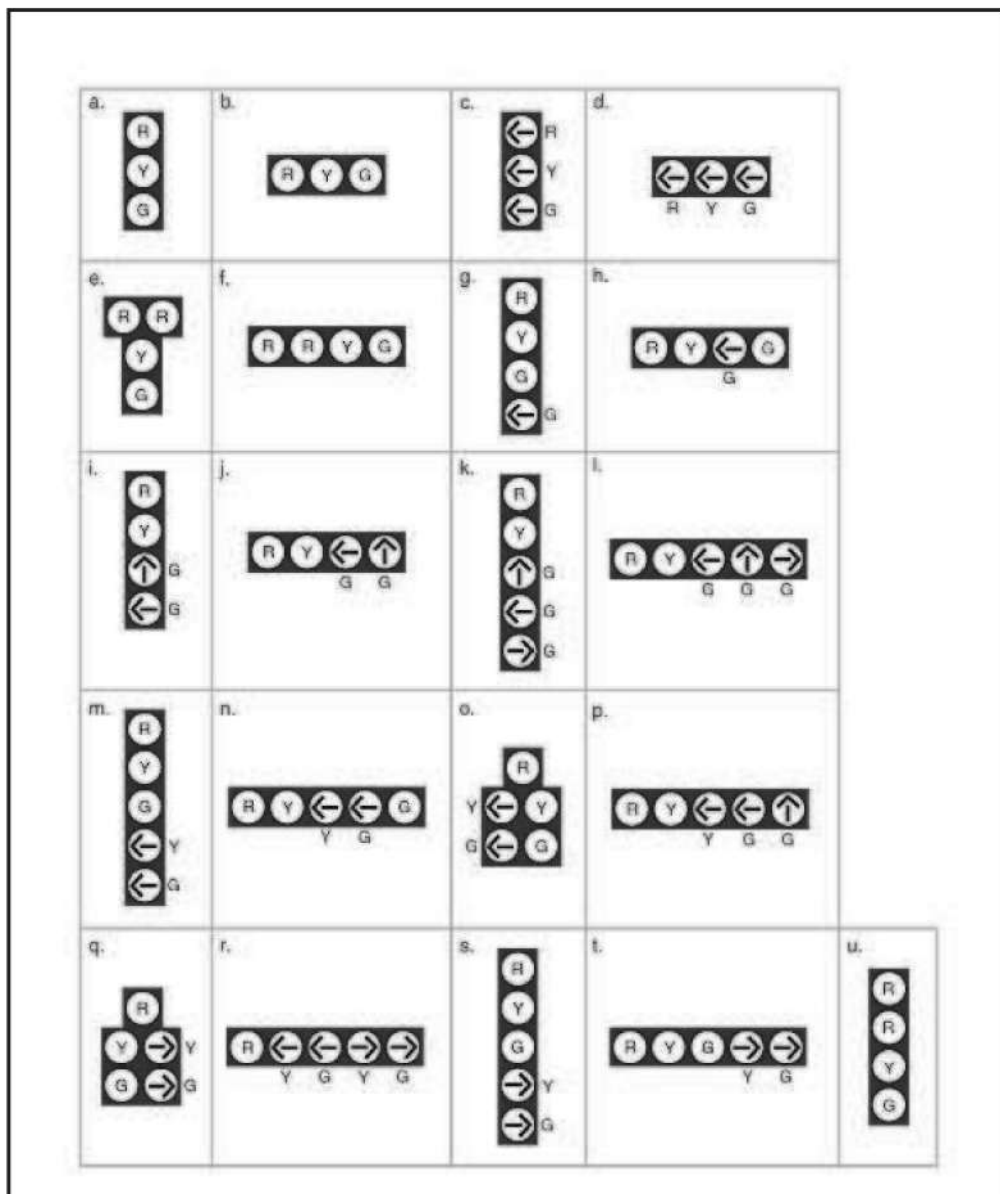
(به این معنی که خودروهای در حال گردش به چپ با خودروهای عبوری از جهت مقابل هیچ تقابل و برخوردی نداشته باشند). این خودروها ممکن است با جریان عابران پیاده که به صورت صحیح و قانونی در حال گذر از عرض خیابان هستند مواجه شوند. آنها مسلماً باید حق تقدم را در قبال عابران پیاده رعایت کنند. چراغ سبز گردش به راست تنها در صورتی روشن می شود که با جریان عابران پیاده که به صورت صحیح و قانونی در حال گذر از عرض خیابان هستند تقابلی پیدا نکند. چراغ دارای فلش زرد نیز به رانندگان اخطار می دهد که زمان چراغ سبز در حال پایان است. بعد از چراغ زرد دارای فلش ممکن است چراغ سبز روشن شود. این مسئله در مواقعی اتفاق می افتد که حرکت و گردش به راست و چپ جزء گردش های حفاظت شده باشند. گردش به چپ «مجاز» در تقابل با جریان خودروهای عبوری از مسیر مقابل انجام می شود. گردش به راست «مجاز» نیز در تقابل با جریان عابران انجام می گیرد. چراغ زرد دارای فلش در مکان هایی که حرکت می بایست متوقف شود با چراغ قرمز دارای فلش پیگیری می شود.

دستورالعمل MUTCD جزئیات و ویژگی های فنی دیگری را نیز راجع به پی آبی و ترکیب شاخص های مربوط به چراغ های راهنمایی ارائه نموده است.

ملزومات دید و ظاهر چراغ های راهنمایی

در حالت کلی، چراغ راهنمایی متشکل از ۳ تا ۵ لنز یا فانوس می باشد (شکل (۴-۱۸) را ببینید). البته در برخی موارد استثنایی تا ۶ فانوس نیز مجاز است. فانوس ها در دو اندازه استاندارد با قطر ۸ اینچ ۱۲ اینچ بکار می روند. MUTCD استفاده از فانوس های با قطر ۱۲ اینچ را در شرایط ذیل مورد الزام قرار می دهد :

- هنگامی که کاربران جاده چراغ کنترل ترافیک تقاطع و چراغ استفاده از خط را به صورت همزمان می بینند.



شکل (۴-۱۸). آرایش‌های مرسوم برای فانوس چراغ‌های ترافیکی.

- در مکان‌هایی که فاصله چراغ راهنمایی از خط ایست بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ فوت باشد؛ مگر آنکه از چراغ در کرانه نزدیک هم استفاده شده باشد.
- در مکان‌هایی که فاصله چراغ راهنمایی از خط ایست بیش از ۱۵۰ فوت باشد.
- وقتی که حداقل فاصله دید (جدول (۳-۴) را ببینید) تأمین نشود.
- برای تمامی فانوس‌های دارای فلش.

علاوه بر موارد فوق، دستورالعمل MUTCD استفاده از فانوس‌های با قطر ۱۲ اینچ را در موارد زیر

توصیه می‌کند:

- در صورتی که سرعت ۸۵ درصد از جریان ورودی بیش از ۴۰ مایل در ساعت باشد.
 - در مواردی که موقعیت چراغ بگونه‌ای است که برای رانندگان حالت غیر منتظره دارد.
 - در تمامی مسیرهای فاقد نهر و جدول که چراغ بر روی پایه نصب شده است.
 - در محلهایی که درصد بالایی از رانندگان را افراد مسن تشکیل می‌دهند.
- فانوس قرمز می‌تواند هم اندازه و یا بزرگتر از فانوس‌های سبز و زرد باشد. بنابراین فانوس‌های سبز و زرد با قطر ۸ اینچ می‌توانند به همراه فانوس قرمز با قطر ۱۲ اینچ بکار روند. لیکن در محلهایی که قطر فانوس‌های سبز و زرد ۱۲ اینچ باشد، قطر چراغ قرمز نیز باید ۱۲ اینچ باشد.

جدول (۳-۴). حداقل مسافت دید برای رویارویی با چراغ راهنمایی.

سرعت ۸۵ درصد (مایل در ساعت)	حداقل مسافت دید (فوت)
۲۰	۱۷۵
۲۵	۲۱۵
۳۰	۲۷۰
۳۵	۳۲۵
۴۰	۳۹۰
۴۵	۴۶۰
۵۰	۵۴۰
۵۵	۶۲۵
۶۰	۷۱۵

جدول (۳-۴) حداقل فاصله برای قابل رویت بودن چراغ‌های راهنمایی را نشان می‌دهد. حداقلی از

دو رویارویی چراغ می‌بایست برای حرکت اصلی هر مسیر فراهم شود، حتی اگر حرکت اصلی حرکتی

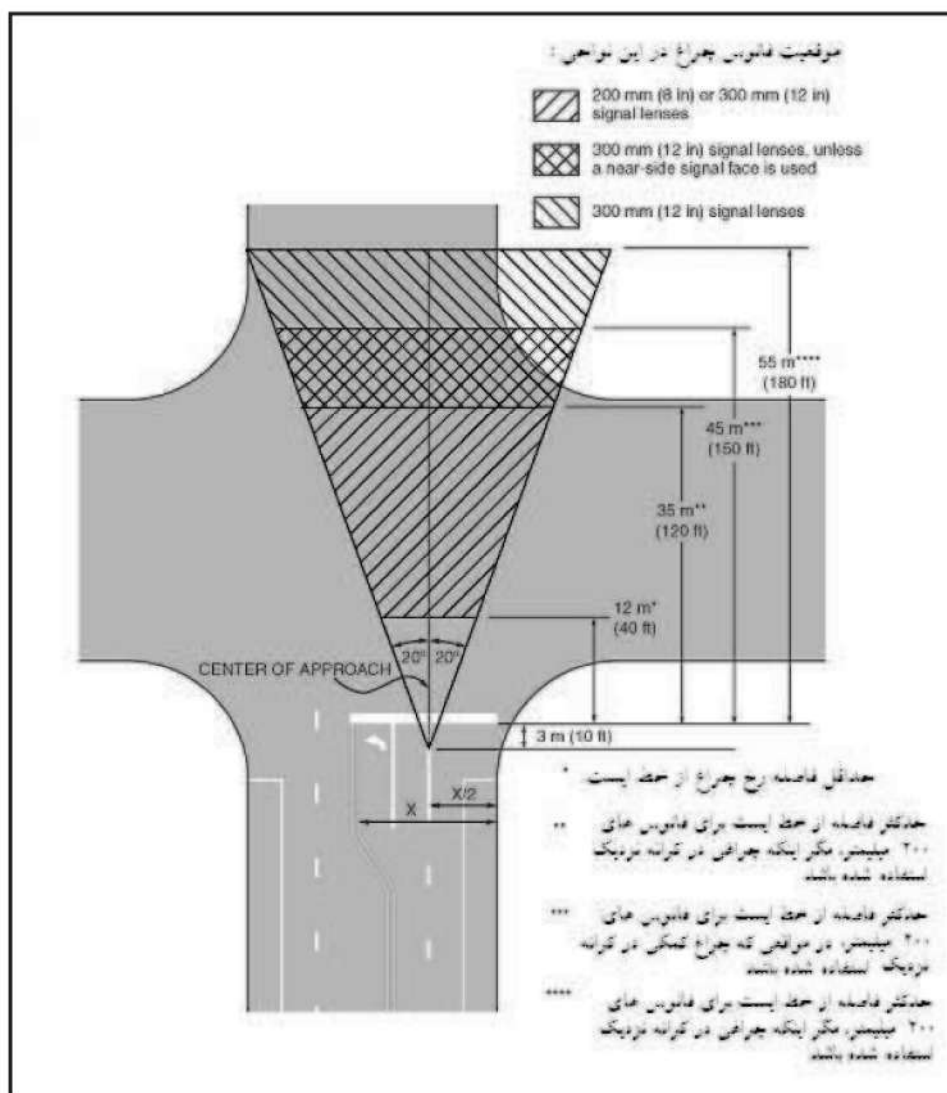
گردشی باشد. این ملزومات شاخصی برای فراوانی خرابی‌های فانوس چراغ می‌باشد. در مواردی که حداقل

فاصله قابل رویت ذکر شده درجدول (۳-۴) نمی تواند اجرا و لحاظ شود، می بایست از فانوس‌های با اندازه قطر ۱۲ اینچ استفاده شود و بهره‌گیری از تابلوهای هشداری «به چراغ راهنمایی نزدیک می شود» الزامی است. به همراه تابلوی مذکور می توان از مخروط‌های ایمنی نیز استفاده نمود.

ترتیب مکانی فانوس‌ها در چراغ راهنمایی مشخص می باشد. درحالت کلی، در چراغ‌های عمودی، فانوس قرمز بالاتر از سایر فانوس‌ها نصب می شود و در چراغ‌های افقی، فانوس قرمز در سمت چپ سایر فانوس‌های قرار می‌گیرد. پس از فانوس قرمز، فانوس‌های زرد و سبز قرار می‌گیرند. در هنگامی که فانوس‌های دارای فلش به همراه سایر فانوس‌ها در چراغ راهنمایی قرار دارند، این فانوس‌ها می‌بایست به عنوان پایین‌ترین فانوس در چراغ‌های عمودی و در سمت راست چراغ‌های افقی بکار گرفته شوند. شکل (۴-۱۸) مرسوم ترین ترتیب مورد استفاده در چراغ‌های راهنمایی را نشان می دهد. دستورالعمل MUTCD نیز در این باره حاوی مطالب و موارد بسیاری است که چگونگی بکارگیری و ترتیب چراغ‌های راهنمایی را مشخص می کنند.

شکل (۴-۱۹) الگوی ترجیحی و توصیه شده برای مکانیابی چراغ‌های راهنمایی را نشان می دهد. حداقل یکی از دو چراغ راهنمایی مورد نیاز برای یک حرکت اصلی می بایست در فاصله ۴۰ تا ۱۵۰ فوتی خط ایست قرار گیرد، مگر اینکه طرح فیزیکی تقاطع مورد نظر مانع از این امر شود. چراغ‌های افقی نیز می‌بایست با زاویه ۲۰ درجه نسبت خط وسط و در مقابل مسیر مستقیم باشد.

شکل (۴-۲۰) استاندارد را برای بکارگیری و استقرار عمودی چراغ‌های راهنمایی ارائه می‌دهد که در فاصله بین ۴۰ تا ۵۳ فوت از خط ایست قرار دارند. این استاندارد بالاترین ارتفاع ممکن برای چراغ راهنمایی از سطح آسفالت را خواستار شده است.



شکل (۴-۱۹). موقعیت افقی رخ چراغ‌های راهنمایی در تقاطع.

محدودیت های عملیاتی

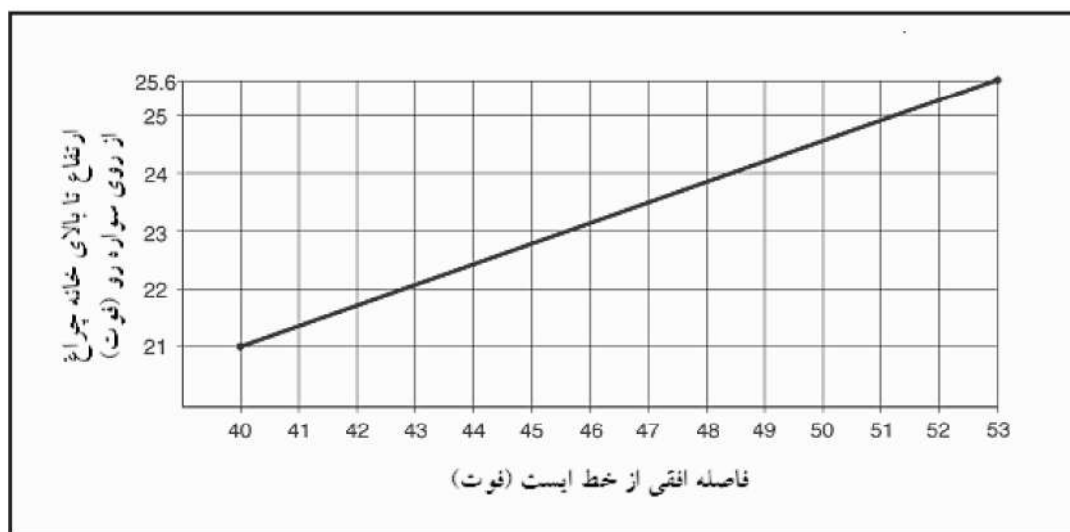
عملکرد پیوسته و مداوم چراغ‌های راهنمایی از اهمیت بسیار بالایی در ایجاد ایمنی برخوردار است.

هیچ چراغ راهنمایی هرگز نمی‌بایست خاموش باشد. در مواردی که وجود چراغ راهنمایی در طول شب

ضروری به نظر نمی‌رسد، این چراغ‌ها می‌توانند به صورت چشمک زن عمل کنند (زرد چشمک زن برای

یک خیابان و قرمز چشمک زن برای خیابان دیگر). سامانه تنظیم چراغ‌هایی راهنمایی باید به صورتی

طراحی شود که حتی در مراحل تعمیر و نگهداری، کنترل کننده آن به صورت چشمک زن فعال باشد.



شکل (۴-۲۰). موقعیت عمودی چراغ‌های راهنمایی در تقاطع.

در شرایط نصب، چراغ‌های راهنمایی می‌بایست بوسیله پوشش مناسب پوشانده شوند و برای رانندگان مشخص شود که این چراغ‌ها در وضعیت عملیاتی نیستند. چراغ‌های راهنمایی پس از نصب می‌بایست در اولین فرصت ممکن به صورت عملیاتی در آمده و روشن شوند. هدف از این امر، به حداقل رساندن احتمال سردرگمی رانندگان می‌باشد.

نگهداری از لامپ‌های چراغ‌های راهنمایی نیز از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. زیرا که در صورت سوختن لامپ، چراغ‌های راهنمایی خاموش می‌شوند. برنامه تعویض و جایگزینی چراغ‌های راهنمایی می‌بایست در دستور کار گنجانده شود. معمولاً لامپ‌های چراغ‌های راهنمایی پس از اینکه ۷۵ تا ۸۰ درصد عمر مفید مورد انتظار خود را سپری کردند تعویض می‌شوند تا از مشکلات ناشی از سوختن این لامپ‌ها جلوگیری شود. برخی دیگر از ضعف‌های عملکردی در چراغ‌های راهنمایی نیز می‌تواند به مشکلات دیگر منتهی شوند. البته بیشتر کنترلرهای چراغ‌های راهنمایی به صورتی تعبیه می‌شوند که در صورت بروز مشکل فنی، به صورت خودکار به حالت چشمک زن تبدیل می‌شوند. البته بسیاری از سازمان‌های مسئول و متولی چراغ‌های راهنمایی با پیمانکاران بخش خصوصی در ارتباط هستند که ملزم به

پاسخگویی بسیار سریع به مشکلات در حدود ۱۵ تا ۳۰ دقیقه بعد از بروز مشکل می باشند. موسسات مربوطه حتی می توانند گروه‌ها و تیم‌های فنی نگهداری خود را تحت قوانین مشابه بکار گیرند. هرگونه تصادفی که در زمان عملکرد نامناسب و یا خرابی چراغ‌های راهنمایی رخ دهد، مسئولیت آن متوجه نهاد مربوطه بوده و قابل پیگیری قضایی از سوی دولت محلی می باشد.

۲-۴-۴- چراغ‌های عابر پیاده

ویرایش هزاره دستورالعمل MUTCD استفاده از چراغ‌های جدید عابر پیاده را اجباری کرده است. استفاده از چراغ‌های دارای نوشته «راه بروید» و «راه نروید» متوقف شده است و شاخص‌های زیر جایگزین این دو حالت شده اند:

- **فرد در حال حرکت (ثابت).** چراغ حرکتی جدید دارای تصویر فردی در حال عبور به رنگ سفید می باشد. این چراغ نشان‌دهنده آن است که عابران پیاده می‌توانند وارد گذرگاه شده و از عرض معبر عبور کنند.

- **دست بالا آمده (چشمک زن).** این شاخص بصورت دستی بالا آمده به رنگ نارنجی با مفهوم ممانعت از عبور عابران می باشد. حالت چشمک‌زن این شاخص نشان می‌دهد که عابرین پیاده‌ای که در ابتدای خط عابر ایستاده‌اند نمی‌توانند از عرض معبر عبور کنند؛ اما آن‌هایی که در حال عبور از گذرگاه عابر هستند می‌توانند به عبور خود ادامه دهند.

- **دست بالا آمده (ثابت).** این شاخص نشان می‌دهد که هیچ عابر پیاده‌ای نمی‌تواند عبور از گذرگاه عابر را آغاز کند و همچنین هیچ عابر پیاده‌ای نمی‌بایست در سطح گذرگاه عابر وجود داشته باشد.

در دستورالعمل‌های قبلی، چراغ «راه بروید» بصورت چشمک زن، گزینه‌ای بود که می‌توانست استفاده

شود و دارای این معنی بود که جریان گردش به راست وسایل نقلیه ممکن است با جریان عبوری عابران

پیاده در تقابل باشد. دستورالعمل جدید استفاده از چراغ چشمک زن «فرد در حال عبور» را مجاز ندانسته و آن را منع کرده است.

شکل (۴-۲۱) چراغ‌های جدید عابر پیاده را نشان می‌دهد. توجه شود که سمبل مورد استفاده در چراغ «دست بالا آمده» و چراغ «فرد در حال عبور» هر دو می‌توانند بصورت توخالی و یا توپر باشند. این چراغ‌ها می‌توانند کنار یکدیگر بر روی پایه مشترک نصب شوند و یا بصورت قائم بر روی دو قطعه از چراغ نصب شوند. چراغ «دست بالا آمده» در بالا و یا سمت چپ قرار می‌گیرد. در هنگامی که این چراغ‌ها خاموش هستند تصویر روی آنها نیز نمی‌بایست برای عابران پیاده قابل رویت باشد.

فصل‌های ۱۸ و ۱۹ استفاده و کاربرد چراغ‌های عابر پیاده را در شرایط عمومی کنترل تقاطع نشان می‌دهد. این فصول شامل مواردی در خصوص محل و زمانی که بکارگیری از چراغ عابر پیاده به عنوان بخش از طراحی چراغ راهنمایی الزام است می‌باشند.

۴-۴-۳- سایر چراغ‌های ترافیکی

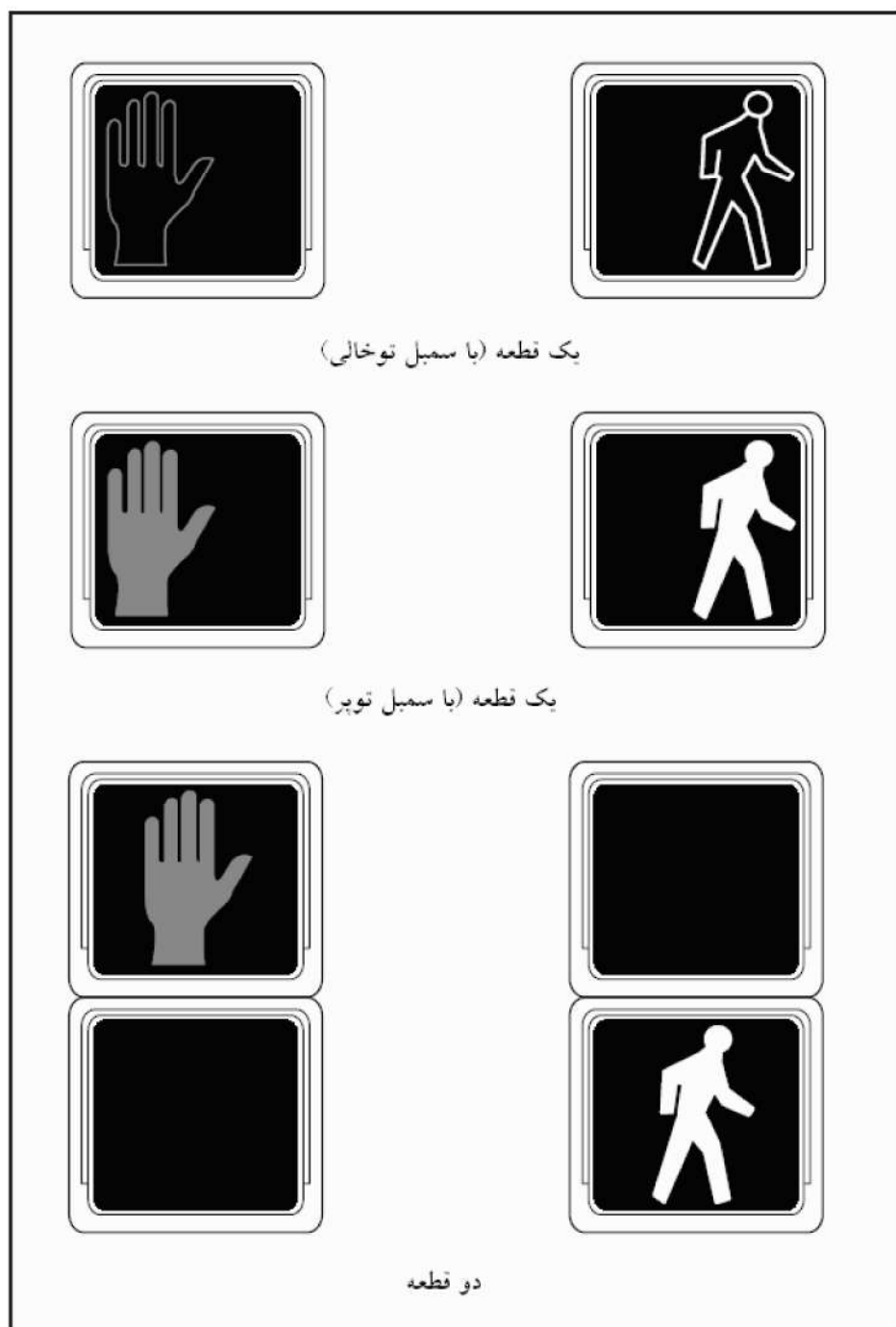
دستورالعمل MUTCD معیارهای دقیقی را در مورد طراحی، مکانیابی و استفاده از تعداد دیگری از چراغ‌های راهنمایی را شامل موارد زیر ارائه کرده است:

- چراغ‌های هشدار^۱
- چراغ‌های روشنایی داخل مسیر
- چراغ‌های کنترل استفاده از خطوط ترافیک
- چراغ‌های کنترل ترافیک در رمپ‌ها

چراغ‌های هشدار معمولاً برای شناسایی و اعلام خطر و جلب توجه رانندگان به تجهیزات کنترلی مهم مانند تابلوی محدودیت سرعت، تابلوی ایست یا رعایت حق تقدم و یا تابلوی ورود ممنوع استفاده

^۱ Beacons

می‌شوند. چراغ‌های کنترل خطوط ترافیک به منظور کنترل آمد و شد در خطوط با جهت برگشت‌پذیر در پل‌ها، در تونل‌ها و در خیابان‌ها و جاده‌ها استفاده می‌شوند.



شکل (۴-۲۱). شاخص‌های نمایشی چراغ‌های عابر پیاده.

۴-۴-۴- کنترلرهای چراغ ترافیکی

کنترلرهای مدرن چراغ‌های راهنمایی متشکل از سخت افزارها و نرم افزارهایی هستند که عمل زمانبندی چراغ‌های راهنمایی را بر عهده داشته و این اطمینان را ایجاد می کنند که چراغ‌های راهنمایی به صورت پیوسته و بر اساس برنامه‌های مشخص شده عمل می کنند. هر تقاطع دارای کنترل کننده ای است که عملکرد چراغ‌های راهنمایی در آن تقاطع را کنترل و تنظیم می کند. علاوه بر این، کنترلرهای مرکزی نیز امر هماهنگی چراغ‌های راهنمایی را در طول مسیرهای شریانی و در سطح یک شبکه برعهده دارند. هدف از فعالیت این سیستم‌ها ایجاد جریان سریع و موثر ترافیک در سطح این تسهیلات می باشد.

کنترلرهای منفرد می توانند بصورت پیش زمانبندی شده^۱ و یا القایی^۲ عمل کنند. در عملکرد پیش زمانبندی شده، توالی و زمانبندی هر چراغ راهنمایی از قبل تنظیم شده و این برنامه در هر چرخه زمانی تکرار می شوند. در عملکرد القایی، توالی و زمانبندی برخی یا تمامی شاخص‌های سبز یک چراغ در هر چرخه ممکن است متناسب با تقاضا و نیاز جریان وسایل نقلیه و یا عابران پیاده متغیر باشد. فصل ۱۸ درمورد زمانبندی و طراحی چراغ‌های پیش زمانبندی شده بحث می کند. فصل ۲۰ نیز در مورد عملکرد چراغهای القایی و نیمه القایی مطالبی ارائه می نماید.

کنترلرهای ترافیک، طراحی و زمانبندی چراغ‌های راهنمایی را اجرایی می سازند. این کنترلرها متصل به سخت افزارهای نمایشگر هستند که به رانندگان و عابرین پیاده اعلام می کنند که چه زمانی می تواند از تقاطع رد شوند. این سخت‌افزارهای نمایشگر معمولاً دارای سازه‌ای حمایتی هستند. در مواردی که کنترلرهای منفرد تقاطع ها دارای عناصر حساس به تقاضا هستند، کنترلرها می بایست به حسگرها و شناسگرهای مربوطه متصل باشند تا اطلاعاتی را در مورد حجم جریان خودروها و عابرین پیاده در اختیار

^۱ Pretimed

^۲ Actuated

قرار می دهند. فصل ۱۹ جزئیات اطلاعاتی در خصوص سخت افزارهای خیابانی، شناسگرها و موقعیت آنها در طرح تقاطعها را ارائه می کند.

دستورالعمل تجهیزات کنترل ترافیک [۶] و کتاب راهنمای شناسگرهای ترافیک [۷] منابع استاندارد هستند که بر اساس مطالعات مهندسی تدوین شده اند و اطلاعات کاملی را در مورد سخت افزارهای کنترل ترافیک ارائه می دهند.

استانداردهای مربوط به کنترلرهای چراغ های ترافیکی

انجمن ملی تولید کنندگان محصولات الکتریکی (NEMA) مهم ترین گروه تجاری در عرصه صنعت و تولید محصولات الکتریکی در ایالات متحده می باشد. بخش سامانه های کنترل ترافیک در این انجمن، رهنمودها و استانداردهای مربوطه در مورد سخت افزارهای کنترل ترافیک را ارائه می کند [۸]. فلسفه این گروه در تشویق به پیروی از استانداردهایی است که :

- بر اساس طراحی های اثبات شده باشند
- با تجهیزات کنونی مطابقت و سازگاری داشته باشند
- بیانگر آخرین سطح از قابلیت اعتماد و عملکرد باشند
- احتمال عملکرد نامناسب را به حداقل برسانند

استانداردهایی که بوسیله NEMA ارائه شده اند، محدود به طراحی محصولات نبوده بلکه توصیف ها و معیارهایی عملکردی هستند که در مورد بسیاری از گروه های محصولات الکترونیکی اجرا می شوند. این استانداردها محصولاتی از نوع کنترلرهای منسجم، سوئیچ های بار، مانیتورهای تقابل، شناسگرهای حلقوی، چشمک زن ها، ترمینال ها و تسهیل کننده ها را پوشش می دهند. مرجع [۹] جزئیات بیشتری را از مفاهیم و کاربردهای استانداردهای NEMA ارائه می کند.

انجمن NEMA هیچ تولید کننده‌ای را از تولید محصولات که با استانداردهای تعیین شده آن تطابق ندارند را منع نمی‌کند. اما بسیاری از موسسات اعتباری، شرکت‌های طرف قرارداد خود را ملزم به رعایت استانداردهای NEMA می‌کنند.

دو استاندارد دیگر در این عرصه وجود دارند. در ایالت نیویورک استانداردهایی برای کنترل‌های نوع ۱۷۰ تدوین شده و به طور وسیعی به کار گرفته شده‌اند. در کالیفرنیا نیز استانداردهایی برای کنترل‌های نوع ۲۰۷۰ به همین منوال تدوین و مورد استفاده قرار گرفته است. هر دوی این استانداردها دارای خصوصیات مشترک بوده ولی از سخت افزار و نرم افزارهای متفاوتی استفاده می‌کنند.

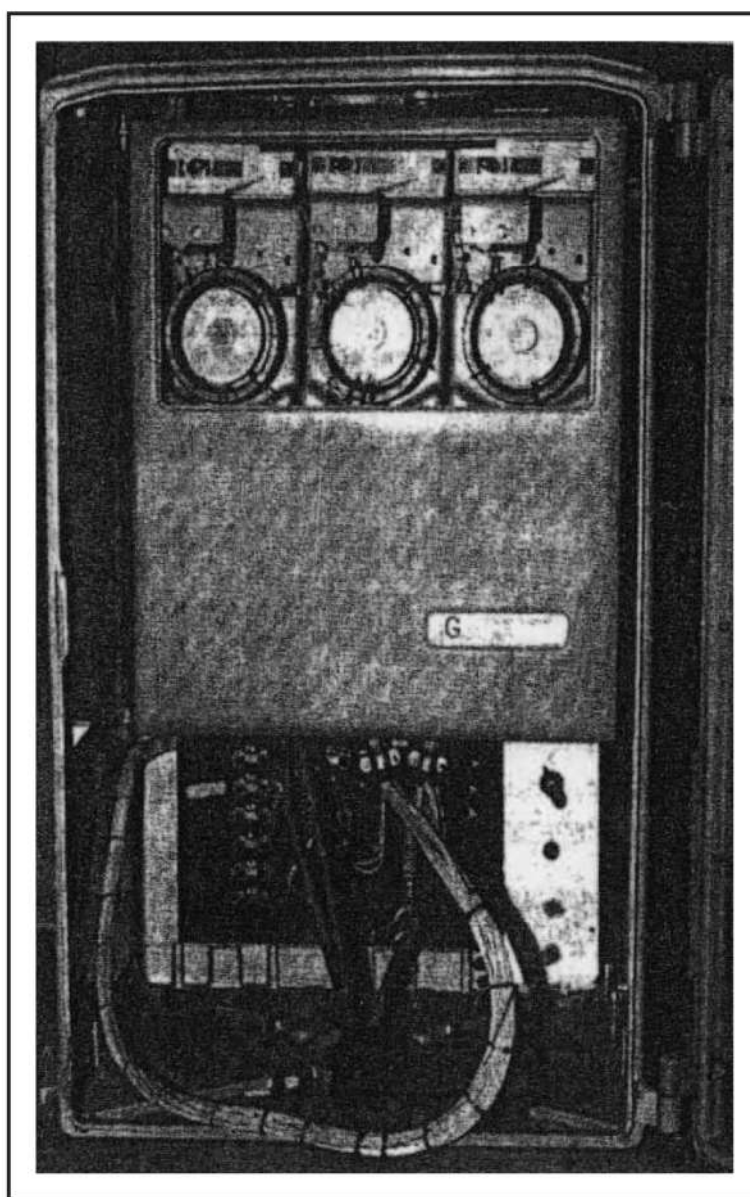
کنترل‌های الکترومکانیکی

از نقطه نظر تاریخی، کنترل‌های پیش زمانبندی شده، تجهیزاتی الکترو- مکانیکی بودند که خصوصیات عمده آنها، قابلیت اعتماد پذیری، سادگی و هزینه مناسب بود. عناصر اصلی عملکردی کنترل‌های الکترو- مکانیکی در شکل (۴-۲۲) نشان داده شده اند.

کنترلر نشان داده شده از نوع «سه عقربه‌ای» می باشد. این ابزار امکان سه نوع زمانبندی را برای چراغ‌های راهنمایی در ساعات مختلف شبانه روز فراهم می‌آورد. برنامه ساعت آن تعیین می‌کند که هر برنامه در کدامین ساعات شبانه روز اجرا می شود. معمولاً برنامه زمانبندی برای ساعات اوج ترافیک صبح، ساعات اوج ترافیک عصر و دوره‌های زمانی غیر اوج تنظیم می شود.

هر عقربه زمانبندی، استوانه‌ای دارای ۱۰۰ سوراخ می باشد که کلیدهای زائده در آنها قرار می گیرند. طول چرخه متناسب با سرعت و متعاقب با چرخاندن استوانه تعیین می شود. یک چرخه کامل معادل است با یک دور چرخیدن عقربه زمانبندی. کلیدها در داخل سوراخ‌ها وارد می شوند. سوئیچ‌های دندانه‌ای به هنگام چرخیدن، باعث تغییر در شاخص (رنگ) چراغ می شود. در عمل این نوع کنترل‌ها امکان تنظیم پیش زمانبندی شده برای هر شاخص را تا نزدیکترین ۱۰۰ امین طول چرخه را فراهم می آورد.

شاخص چراغ راهنمایی به آن علت روشن می شود که دندان مورد نظر در بین ردیف دندانها حالت شکسته دارد و به علت نزدیک شدن به مدار امکان عبور جریان به چراغ داده می شود. دندانها بگونه ای شکسته شده اند که امکان توالی منطقی سبز-زرد-قرمز را ابتدا در یک فاز و سپس فاز بعدی می دهند. با وجود اینکه فن آوری این سیستم قدیمی است، قابلیت اعتماد و هزینه های کنترلرهای الکترو-مکانیکی مناسب می باشد. برخی از این کنترلرها کماکان در برخی سیستم های کنترل ترافیک باقی مانده اند.



شکل (۴-۲۲). کنترلر الکترو-مکانیکی در درون یک قاب استاندارد.

کنترل‌های پیشرفته

آنچنانکه در قبل نشان داده شد، کنترل‌های امروزی و پیشرفته، ترکیبی پیچیده از سخت‌افزار و نرم‌افزار هستند. اکثر آن‌ها از قسمت‌های کوچکی تشکیل شده‌اند که بسیاری از این قسمت‌ها را می‌توان به آسانی در محل تعویض و جایگزین کرد.

از آنجا که فناوری چراغ‌های راهنمایی به سرعت در حال پیشرفت است، جزئیات هر مدل ارائه شده به سرعت قدیمی می‌شود. دانشجویان در این موارد می‌بایست به سایت‌های اینترنتی شرکت‌های تولید کننده مراجعه کرده و جدیدترین اطلاعات در این زمینه را کسب کنند.

۴-۵- موارد خاص کنترل

با وجود اینکه این مطلب در این فصل گنجانده نشده است اما با این حال باید گفت که دستورالعمل

MUTCD مطالب بسیار مهمی را در مورد انواع شرایط خاص کنترل ارائه کرده است شامل :

- نواحی مجاور مدارس

- عبور از خط آهن

- نواحی در دست تعمیر و نگهداری

- کنترل‌های عابر و دوچرخه

این شرایط شامل ترکیبی از تابلوگذاری، خط کشی و یا چراغ راهنمایی می‌باشند تا بتوانند کنترل را

بصورت تمام و کمال به اجرا درآورند. به منظور دریافت اطلاعات کاملتر و مفید تر به دستورالعمل

MUTCD مراجعه کنید.

۴-۶- خلاصه و نتیجه گیری

این فصل به معرفی و ارائه نگاهی کلی در خصوص طراحی، مکان‌یابی و استفاده از تجهیزات کنترل

ترافیک پرداخته است. دستورالعمل MUTCD سندی ثابت و غیر قابل تغییر نبوده و ویرایش‌های جدید آن

به صورت پیوسته و مداوم در حال تدوین می باشند. لذا ضروری است که استفاده کنندگان به آخرین ویرایش این دستورالعمل مراجعه کنند. برای راحتی بیشتر کاربران، این دستورالعمل را می توانید بصورت آنلاین در آدرس mutcd.fhwa.gov/knomillennium.htm و یا سایت اداره راههای فدرال به آدرس www.fhwa.dot.com مشاهده کنید. این روش راهی مناسب و راحت برای استفاده از دستورالعمل فوق می باشد. درحقیقت هر تولید کننده چراغ راهنمایی خود دارای وب سیتی می باشند که به منظور اطلاع از جزئیات و کم و کیف کالاهای تولیدی می توان به آن مراجعه کرد. فهرستی از این محصولات را می توان در آدرس www.traffic-signals.com یافت.

چگونگی و استفاده از این دستورالعمل در بخشهای دیگری از این کتاب آمده است. فصل ۱۶ ویژگیها و خصوصیات چراغهای راهنمایی و تابلوهای ایست و رعایت حق تقدم را ارائه داده است. فصل ۱۵ بکارگیری تجهیزات کنترل ترافیک در سطح آزادراهها و جادههای برون شهری را به بحث گذاشته است و فصل ۱۹، کاربرد تجهیزات کنترل ترافیک را به عنوان بخشی از طراحی تقاطع ها مطرح کرده است.

منابع

1. *Manual of Uniform Traffic Control Devices*, Millenium Edition, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, 2000.
2. Hawkins, H.G., "Evolution of the MUTCD: Early Standards for Traffic Control Devices", *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, July 1992.
3. Hawkins, H.G., "Evolution of the MUTCD: Early Editions of the MUTCD", *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, August 1992.
4. Hawkins, H.C., "Evolution of the MUTCD: The MUTCD Since WWII", *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, November 1992.
5. Hawkins, H.C., "Evolution of the MUTCD Mirrors American Progress Since the 1920's", *Roads and Bridges*, Scranton Gillette, Communications Inc., Des Plaines, IL, July 1995.

6. Kell, J. and Fullerton, I., *Manual of Traffic Signal Design*, 2nd Edition, Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1991.
7. *Traffic Detector Handbook*, 2nd Edition, JHK & Associates, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, nd.
8. Parris, C., "NEMA and Traffic Control", *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, August 1986.
9. Parris, C., "Just What Does a NEMA Standard Mean?", *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, July 1987.

مسائل

۱-۴. بر اساس تعابیر موجود در ویرایش هزاره دستورالعمل MUTCD موارد زیر را تعریف کنید :
استاندارد، توصیه، گزینه و پشتیبانی.

۲-۴. توصیف کنید که چگونه رنگ، شکل و نوشتار برای رساندن پیام و اعمال قانون در تجهیزات کنترل ترافیک استفاده می شود.

۳-۴. چرا استفاده بیش از حد از تابلوهای انتظامی و هشدار منع شده است؟ چرا این مسأله برای تابلوهای راهنمای مسیر مطرح نمی باشد؟

۴-۴. تابلوهای هشدار زیر در چه فاصله ای از نقطه خطر می بایست نصب شوند؟

الف) تابلوهای هشدار «به ایست نزدیک می شوید» در راهی با سرعت مجاز ۵۰ مایل در ساعت.

ب) تابلوهای هشدار «به پیچ نزدیک می شوید» با سرعت توصیه شده ۳۰ مایل در ساعت در راهی با سرعت مجاز ۴۵ مایل در ساعت.

ج) تابلوهای هشدار «به نقطه اتصال نزدیک می شوید» در شیب‌راه‌ای با سرعت ۸۵ درصد ۳۵ مایل در ساعت.

۴-۵. قطعه‌ای به طول یک مایل از آزادراهی در نزدیکی خود را انتخاب کنید. در یک جهت این تسهیلات به همراه یک دوست یا همکار رانندگی کنید. مسافر همراه می بایست تعداد و نوع تابلوهای ترافیکی مورد مواجهه را شمارش کرده و یادداشت نماید. آیا برخی از آن‌ها گیج کننده هستند؟ بهبودهای مناسب را توصیه کنید. در خصوص کیفیت تابلوگذاری در قطعه انتخابی تفسیری ارائه نمایید.

۴-۶. یک تقاطع دارای چراغ و یک تقاطع دارای کنترل با تابلوی ایست یا رعایت حق تقدم را در همسایگی خود انتخاب کنید. موقعیت تمامی تجهیزات در هر تقاطع را یادداشت کنید. آیا آن‌ها استانداردهای MUTCD را برآورده کرده اند؟ آیا قابلیت دید تجهیزات به حد کفایت می باشد؟ در خصوص کارایی کنترل ترافیک در هر تقاطع تفسیری ارائه نمایید.

فصل پنجم :

” مشخصات جریان ترافیک “

جریانهای ترافیکی ناشی از رفتار متقابل خاص رانندگان و وسایل نقلیه با یکدیگر و عناصر فیزیکی جاده و محیط عمومی خود هستند. زیرا هر دو عامل رفتار رانندگان و مشخصات وسایل نقلیه مختلف هستند ، خودروها در جریان ترافیک کاملاً از یک رفتار مشابه پیروی نمی کنند. بعلاوه ، دو جریان ترافیکی هم در شرایط مشابه در یک راه عیناً بطور همسان رفتار نخواهد کرد ، زیرا رفتار راننده بسته به مشخصات محلی و عادات رانندگی متفاوت است .

در ترافیک با یک عناصر تغییر پذیر سرو کار داریم . یک جریان آب در طول کانالها یا لوله هایی با مشخصات تعریف شده بصورت یک اسلوب کاملاً پیش بینی براساس قوانین سیالات و جریان مایعات رفتار خواهد کرد. یک جریان ترافیکی در طول خیابانها و بزرگراههایی با مشخصات تعریف شده براساس زمان و موقعیت متفاوت اند. بنابراین ، بحرانی ترین دغدغه

مهندسی ترافیک ، برنامه ریزی و طراحی برای یک واسطه است که نه کاملاً قابل پیش بینی است تحت تاثیر هم محدودیتهای فیزیکی و هم مشخصات پیچیده رفتاری شخصی انسانی است .

خوشبختانه ، در حالیکه تمام مشخصات متغیرند، محدوده معقولی برای راننده و بنابراین برای جریان ترافیک وجود دارد. در اتوبانی که برای سرعت ایمنی ساعت/کیلومتر ۶۰ طراحی شده رانندگان سرعتهایی را در محدوده ای باز انتخاب میکنند (شاید ۴۵ تا ساعت/کیلومتر ۶۵) ، هر چند تعداد کمی با سرعتهای ساعت/کیلومتر ۸۰ یا ساعت /کیلومتر ۲۰ حرکت خواهند کرد.

در توصیف جریان های ترافیکی از لحاظ کمی ، منظور فهمیدن تغییرات اصلی در مشخصات آن و تعریف محدوده های عادی رفتار است و همچنین باید پارامترهای کلیدی تعریف شده و اندازه گیری گردند. مهندسین ترافیک ، تحلیل و ارزیابی کرده و سرانجام به برنامه ریزی بهبود امکانات ترافیکی را بر مبنای اینگونه پارامترها و اطلاع از محدوده های عادی رفتار آن برنامه ریزی خواهند پرداخت .

این بخش بر تعریف و توصیف پارامترهایی متمرکز می شود که غالباً بیشترین کاربرد را بدین منظور و بر مشخصاتی که عموماً در جریان ترافیک دیده می شود دارد. در نتیجه ، این پارامترها اندازه گیری مهندسین ترافیک از واقعیت است ، و آنان بدینوسیله زبانی را ایجاد کرده اند که جریان های ترافیک با آن توصیف و تفهیم می شوند.

۱-۵- انواع تسهیلات

تسهیلات ترافیکی بطور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می شوند :

- جریان غیر منقطع

• جریان منقطع

تسهيلات جريان غير منقطع هيچ وقفه خارجي در جريان ترافيك ندارند. جريان كاملاً غير منقطع اصولاً در آزاد راهها، كه هيچ تقاطع همسطح ، چراغ راهنمايي، علائم توقف يا احتياط يا ديگر وقفه هاي خارجي در خود جريان ترافيك نيست ، وجود دارد. زيرا اين امكانات از لحاظ دسترسي تحت كنترل كامل هستند، در آنها هيچ تقاطع همسطح يا معابر يا هيچ نوع دسترسي مستقيمي به زمينهاي مجاور وجود ندارد. بنابر اين مشخصات جريان ترافيك منحصرأ بر تعامل بين وسايل نقليه با خيابان و محيط بنا شده است .

با وجود اينكه جريان كاملاً غير منقطع فقط در آزاد راهها وجود دارد ، همچنين در مقاطعي از سطح بزرگراهها، در اغلب نواحي روستايي كه در آن فاصله زيادي بين وقفه هاي ثابت است ، ممكن است وجود داشته باشد. بنابر اين جريان غير منقطع مي تواند در برخي مقاطع از بزرگراههاي دو خطه روستايي و بزرگراههاي چند خطه برون شهري و روستايي مي تواند بوجود آيد. بصورت يك راهبرد خيلي كلي ، گفته مي شود جريانهاي غير منقطع مي تواند در شرايطي وجود داشته باشد كه فاصله بين چراغهاي راهنمايي و يا ديگر وقفه هاي ثابت مهم ، بيشتر از ۲ كيلومتر باشد.

بايد ياد آور شد كه عبارت ” جريان غير منقطع “ به يك نوع تسهيلات اشاره مي كند نه كيفيت عملکرد تسهيلات . بنابر اين ، يك آزاد راه كه دچار توقف گرديده و در طول ساعات اوج داراي تاخيرهاي طولاني است نيز تحت جريان غير منقطع كار مي كند. علل توقف ها و تاخيرها بيرون از جريان ترافيك نيستند بلكه كاملاً ناشي از رفتارهاي متقابل داخلي جريان ترافيك هستند.

امکانات جریان منقطع آنهایی هستند که شامل وقفه های بیرونی ثابتی در طراحی و عملکرد شان باشند. بیشترین و از لحاظ عملکردی مهمترین وقفه بیرونی ، چراغ راهنمایی است . چراغ راهنمایی متناوباً با آغاز و متوقف کردن یک جریان ترافیکی گروههایی از وسایل نقلیه را که باعث رکود پیشرفت در امکانات میگردند، ایجاد می کنند. دیگر وقفه های ثابت شامل علائم توقف و احتیاط ، تقاطعات همسطح بدون چراغ ، معابر، پارک کردن های حاشیه ای و دیگر عملکردهای دسترسی به زمین است . در واقع تمام سطح خیابانها و بزرگراههای شهری ، امکانات جریان منقطع هستند.

تفاوت اصلی بین امکانات جریان غیر منقطع و منقطع فشردگی زمان است . در امکانات غیر منقطع ، امکانات فیزیکی در هر زمان برای رانندگان و وسایل نقلیه قابل دسترسی است . در یک امکانات جریان منقطع ، حرکت بصورت دوره ای با چراغ " قرمز " مسدود می گردد. بنابراین زمانبندی چراغ دسترسی به بخشهای خاصی از امکانات را در زمان محدود می کند. بعلاوه ، در چراغهای راهنمایی بیشتر از یک جریان ترافیکی غیر منقطع در حرکت، جریان ترافیک بصورت دوره ای متوقف شده و دوباره آغاز میگردد.

بنابراین ، جریان منقطع ، پیچیده تر از جریان غیر منقطع است . در حالیکه بسیاری از پارامترهای جریان ترافیکی مشروح در این بخش در هر نوع از امکانات بکار می روند، این بخش اصولاً بر مشخصات جریان غیر منقطع تمرکز می کند. بسیاری از این مشخصات همچنین ممکن است در محدوده حرکت گروهی از وسایل نقلیه در یک امکانات جریان منقطع نیز بکار برده شود. مشخصات ویژه وقفه های ترافیک و اثر آنان بر جریان در فصل ۱۷ بدقت مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۵- پارامترهای جریان ترافیک

پارامترهای جریان ترافیک به دو قسمت کلی تقسیم می شوند. پارامترهای "درشت نمود" که جریان ترافیک را بطور سراسری توصیف می کنند، پارامترهای "ریز نمود" که رفتار منحصر بفرد وسایل نقلیه را یا یک جفت وسیله نقلیه را در جریان ترافیک توصیف می کنند. سه پارامتر اصلی درشت نمود که جریان ترافیک را توصیف می کنند عبارتند از:

(۱) حجم یا نرخ جریان،

(۲) سرعت و

(۳) چگالی.

پارامترهای "ریز نمود" شامل:

(۱) سرعت هر کدام از وسایل نقلیه،

(۲) سر فاصله زمانی و

(۳) سر فاصله مکانی.

۱-۲-۵- حجم و نرخ جریان

حجم ترافیک بصورت تعداد وسایل نقلیه عبوری از یک نقطه از جاده یا یک خط یا جهت مورد نظر از جاده، در طول مدت زمان مشخص تعریف می شود. واحد اندازه گیری حجم در واقع "وسیله نقلیه" است، اگر چه اغلب بصورت "وسیله نقلیه بر واحد زمان" بیان می شود. برای واحدهای زمان اغلب "روز" یا "ساعت" بکار می رود.

احجام روزانه برای بدست آوردن تقاضا در زمان و اهداف برنامه ریزی کلی بکار می روند. طراحی جزئیات و تصمیم گیری برای کنترل ها نیازمند اطلاع از احجام ساعتی در ساعات اوج روز است .

نرخ های جریان عموماً با واحد " وسیله نقلیه در ساعت " بیان می شود، ولی بیانگر جریانهایی که دوره های زمانی کمتر از یک ساعت بوجود آمده . حجم ۲۰۰ وسیله نقلیه که در دوره ۱۵ دقیقه ای دیده شده می تواند بصورت $\text{نرخ} = ۸۰۰ = ۲۰۰ \times ۴$ وسیله نقلیه در ساعت بیان گردد، درست مثل ۸۰۰ وسیله نقلیه که مشاهده نشده اگر در یک ساعت کامل شمارش شوند ، ۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت نرخ جریانی است که در طول ۱۵ دقیقه وجود دارد.

احجام روزانه

همانطورکه ملاحظه شد، احجام روزانه بعنوان ملاک تقاضای سالانه استفاده از جاده بکار می روند. پیش بینی های انجام شده براساس تقاضای مشاهده شده را می توان برای کمک به برنامه ریزی بهبود یا ایجاد امکانات جدید برای تطبیق افزایش تقاضا بکار برد.

۴ پارامتر حجم روزانه وجود دارد که در مهندسی ترافیک کار برد گسترده ای دارد:

- ترافیک متوسط روزانه در سال (AADT) متوسط حجم ۲۴ ساعته در مکانی مشخص در طول کل ۳۶۵ روز سال با تعداد وسایل نقلیه عبوری از یک نقطه در طول سال تقسیم بر ۳۶۵ روز (۳۶۶ روز در سالهای کبیسه).
- ترافیک متوسط روز کاری هفته در سال (AAWT) متوسط حجم ۲۴ ساعته که در طول روزهای کاری هفته در کل ۳۶۵ روز سال اتفاق می افتد ، تعداد وسایل

نقلیه عبوری از یک محل در روزهای کاری هفته در یک سال تقسیم بر تعداد روزهای کاری

طول سال (معمولاً ۲۶۰ روز).

• ترافیک متوسط روزانه (ADT) متوسط حجم ۲۴ ساعته در یک محل و

دوره زمانی مشخص کوتاه تر از یک سال و یک کاربرد عادی آن اندازه گیری ترافیک

متوسط روزانه برای هر ماه از سال است .

• ترافیک متوسط روز کاری هفته (AWT) متوسط حجم ۲۴ ساعته

روزهای کاری هفته در یک محل و دوره زمانی مشخص کمتر از یکسال و یک کاربرد عادی

آن اندازه گیری ترافیک متوسط روز کاری هفته برای هرماه از سال است .

تمامی این احجام بر مبنای وسیله نقلیه بروز (veh/day) هستند . احجام روزانه عموماً

براساس جهت یا خط عبور تفکیک نمی شوند بلکه مجموعی برای کل امکانات در محل طرح

هستند.

جدول ۵-۱ تلفیقی از این احجام روزانه را بر حسب اطلاعات شمارش در یک محل

نمونه در طول یکسال ، نشان می دهد. اطلاعات جدول ۵-۱ بطور کلی از یک محل شمارش ثابت

بدست آمده است (مثلاً محلی که بصورت خودکار حجم را شناسایی کرده و شمارش را بصورت

الکترونیکی به یک کامپیوتر مرکزی در نقطه ای مخابره می کند). ترافیک متوسط روزکاری هفته

(AWT) برای هر ماه با تقسیم حجم کل روز کاری هفته در ماه بر تعداد روزهای کاری ماه است

(ستون ۵ تقسیم بر ستون ۲) بدست می آید . ترافیک متوسط روزانه روزانه ، کل حجم ماهانه

ترافیک تقسیم بر تعداد روزهای ماه است (ستون ۴ تقسیم بر ستون ۳)، ترافیک متوسط در سال

کل حجم مشاهده شده در طول سال تقسیم بر ۳۶۵ روز سال است . ترافیک متوسط روز کاری

هفته در سال کل حجم مشاهده شده در روزهای کاری تقسیم بر ۲۶۰ روز کاری سال است .

اطلاعات نمونه جدول ۵-۱ توصیف خلاصه ای از عناصر امکاناتی که اندازه گیری شده

را ارائه می کند. قابل توجه آنکه ADT ها بطور قابل ملاحظه ای از AWT ها در هر ماه بیشتر

است . این نشان می دهد که امکانات در یک ناحیه تفریحی یا تعطیل سرویس دهی می کند که

ترافیک آن بشدت در ایام تعطیل هفته به اوج می رسد. همچنین ، هر دوی AWT ها و ADT ها

در طول ماههای تابستان بیشتر است ، که نشاندهنده آن است که امکانات در یک ناحیه آب و هوایی

گرم و تفریحی - تعطیل سرویس دهی می کند. بنابراین ، اگر مطالعات جزئیات را برای توسعه

اطلاعات جهت ارتقاء درجه امکانات بخواهیم ، دوره زمانی مورد توجه باید ایام تعطیل طول

تابستان را هم شامل شود.

جدول ۵،۱ : تشریح پارامترهای حجم روزانه

۱. ماه	۲. تعداد روزهای کاری هفته در	۳. تعداد کل روزهای ماه	۴. حجم کل ماهانه	۵. حجم کل هفتگی	۶. AWT ۵/۲	۷. ADT ۴/۳
Jan	22	31	425,000	208,000	9,455	13,710
Feb	20	28	410,000	220,000	11,000	14,643
Mar	22	31	385,000	185,000	8,409	12,419
Apr	22	30	400,000	200,000	9,091	13,333
May	21	31	450,000	215,000	10,238	14,516
Jun	22	30	500,000	230,000	10,455	16,667
Jul	23	31	580,000	260,000	11,304	18,710
Aug	21	31	570,000	260,000	12,381	18,387
Sep	22	30	490,000	205,000	9,318	16,333
Oct	22	31	420,000	190,000	8,636	13,548
Nov	21	30	415,000	200,000	9,524	13,833
Dec	22	31	400,000	210,000	9,545	12,903
Total	260	365	5,445,000	2,583,000	—	—

$$AADT = 5,445,000/365 = 14,918 \text{ veh/day}$$

$$AAWT = 2,583,000/260 = 9,935 \text{ veh/day}$$

احجام ساعتی

هر چند احجام روزانه برای اهداف برنامه ریزی مفید است اما به تنهایی بمنظور طراحی و تحلیل عملکرد نمی تواند کار برد داشته باشد. حجم آشکارا در ۲۴ ساعت روز، همزمان با موقع ایجاد بیشترین جریان سفرهای روزانه صبح و عصر در "ساعات ازدحام" تغییر می کند. ساعتی از روز که دارای بیشترین حجم ساعتی باشد به "ساعت اوج" اشاره دارد. حجم ترافیک در طول این ساعت بیشترین بهره را برای مهندسين ترافیک جهت کاربرد در طراحی و تحلیل های عملکردی دارد. حجم ساعت اوج عموماً بصورت جهتی بیان می شود (یعنی هرجهت جریان بطور جداگانه شمارش می شود).

جاده ها و کنترل ها باید متناسب با سرویس دهی به حجم ترافیک ساعت اوج در جهت اوج جریان طراحی شوند. از اینرو ترافیک جاری در یک مسیر در هنگام اوج صبحگاهی به مسیر مقابل در هنگام اوج عصر گاهی منتقل می شود، هر دو طرف یک امکانات بایستی عموماً برای مطابقت با جریان جهت اوج در ساعت اوج، طراحی شده باشد. در جایی که اختلاف جهتی قابل ملاحظه باشد، مفهوم خطوط قابل نقض بعضی اوقات مفید است. بعنوان مثال، شهر واشنگتن، از خطوط قابل نقض (تغییرات جهتی با اوقات روز) بعضی از خیابانهای پهن و بعضی از آزاد راهها استفاده وسیعی می کند.

گاهی اوقات در طراحی، حجم ساعت اوج از پیش بینی AADT تخمین زده می شود. پیش بینی های ترافیکی اغلب بصورت AADT هایی براساس روزهای مستند و یا مدل های پیش بینی انجام می شود. زیرا از پیش بینی احجام روزانه، نظیر AADT که پایدارتر از احجام ساعتی هستند، بصورت مطمئن تری می توان استفاده کرد. AADT ها به حجم ساعت اوج در جهت

اوج جریان تبدیل می شود. این امر اشاره به "حجم جهتی ساعت طرح" (DDHV) دارد و با

$$DDHV = AADT * K * D$$

رابطه زیر بدست می آید :

که در آن : K = نسبت ترافیک روزانه که در ساعت اوج رخ می دهد و

D = نسبت ترافیک ساعت اوج عبوری در جهت اوج جریان است .

برای طراحی ، ضریب K اغلب نسبت AADT ایجاد شده در طول سی امین ساعت اوج

سال را بیان می کند. اگر ۳۶۵ حجم ساعت اوج سال در محلی مشخص بصورت نزولی لیست

گردد، ساعت اوج سی ام ، سی امین ردیف بوده و بیانگر حجمی است که فقط ۲۹ ساعت از سال

از آن بیشتر بوده است .

سی امین ساعت اوج برای امکانات برون شهری ممکن است افت قابل ملاحظه ای در

حجم نسبت به بدترین ساعت سال داشته باشد، همانطور که نقاط اوج بحرانی ممکن است بندرت

رخ دهد. در اینگونه موارد سرمایه گذاری سنگین برای ایجاد ظرفیت اضافی که تنها در ۲۹ ساعت

سال استفاده شود مقرون بصرفه بنظر نمی رسد. در موارد شهری که ترافیک مکرراً در اوج سفرهای

روزانه شهری در سقف ظرفیت قرار دارد، سی امین ساعت اوج اغلب با بیشترین ساعت اوج

سالانه اختلاف چندانی ندارد.

ضرائب K و D براساس مشخصات محلی و منطقه ای در محلهای موجود تعیین می

شود. اغلب ادارات راه استانها ، بطور مثال بر این مشخصات نظارت کرده ، و مقادیر مناسب جهت

کاربرد در نواحی مختلف استان را منتشر می کنند. ضریب K با افزایش تراکم توسعه در نواحی

تحت سرویس دهی امکانات ، کاهش می یابد. در نواحی متراکم ، در طول دوره های غیر اوج

تقاضای زیادی وجود دارد. این بطور موثری نسبت ترافیک را در طول ساعت اوج روز کاهش می

دهد. حجم تولید شده ناشی از توسعه نواحی متراکم عموماً بیشتر از حجم تولید شده ناشی از نواحی کم تراکم است. لذا باید بخاطر داشت بالا بودن نسبت ترافیک ایجاد شده در ساعت اوج بیانگر این نیست که حجم ساعت اوج زیاد است.

ضریب D وابسته به متغیرهای بیشتری بوده و تحت تاثیر تعدادی از ضرائب است. باز هم با افزایش تراکم توسعه، ضریب D به سوی کاهش می رود. با افزایش تراکم، احتمال تقاضای دو طرفه زیاد می شود. راههای شعاعی (یعنی آنها که به جابجایی های بسمت داخل و خارج مراکز شهرها یا دیگر نواحی فعال سرویس دهی می کنند)، دارای توزیع جهت قوی تری (مقدار D بیشتر) نسبت به مسیرهای پیرامونی (یعنی گذرنده از اطراف نواحی مرکزی کاری) هستند. جدول ۲-۵ محدوده عمومی تغییرات ضرائب K و D را نشان می دهد. اینها کاملاً گویا هستند، اطلاعات خاص در این مشخصات بایستی توسط دارات راه محلی یا استانی در دسترس باشند یا بایستی قبل از کار برد بصورت محلی کالیبره شده شوند.

جدول ۲-۵: محدوده عمومی برای ضرائب K و D

محدوده طبیعی مقادیر		نوع تسهیلات
ضریب D	ضریب K	
۰٫۸۰ - ۰٫۶۵	۰٫۲۵ - ۰٫۱۵	برون شهری
۰٫۶۵ - ۰٫۵۵	۰٫۱۵ - ۰٫۱۲	حومه شهری
		شهری
۰٫۶۰ - ۰٫۵۵	۰٫۱۲ - ۰٫۰۷	راه شعاعی
۰٫۵۵ - ۰٫۵۰	۰٫۱۲ - ۰٫۰۷	راه پیرامونی

نمونه ای از یک راه غیر شهری را که دارای AADT پیش بینی شده معادل ۳۰٫۰۰۰

وسیله نقلیه /ساعت است در نظر بگیرید. براساس جدول ۲-۵ چه محدوده ای از حجم ساعتی

جهتی طرح می تواند در اینجا مورد توقع باشد ؟ با استفاده از مقادیر جدول ۲-۵ برای یک راه غیر شهری ، محدوده ضریب K از ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ بوده و محدوده ضریب D بین ۰/۶۵ تا ۰/۸ میباشد . بنابراین محدوده احجام ساعتی جهتی طرح عبارتست از:

$$\text{ساعت / وسیله نقلیه} \quad DDHV_{\text{کم}} = 30000 \times 0.15 \times 0.65 = 2925$$

$$\text{ساعت / وسیله نقلیه} \quad DDHV_{\text{زیاد}} = 30000 \times 0.25 \times 0.8 = 6000$$

محدوده مورد انتظار $DDHV$ وابسته به این معیارها ، کاملاً باز است . بنابراین ، تعیین مقادیر مناسب K و D برای امکانات در مساله جهت چنین پیش بینی ای بحرانی است . این مثال ساده ، دشواری پیش بینی دقیق تقاضای ترافیک در آینده را مورد توجه قرار می دهد. نه تنها احجام در طول زمان تغییر می کنند، بلکه مشخصات اساسی تغییرات حجم نیز ممکن است همینطور تغییر یابند. پیش بینی های دقیق نیازمند تعیین روابط اصلی است که نسبت به زمان پایدار بمانند. اینگونه روابط بسختی در پیچیدگی رفتار سفر مورد مشاهده قابل تشخیص است . پایداری این روابط در زمان رادر هر رویدادی ، با استفاده از پیش بینی حجم با بهترین پردازش تقریبی ، نمی توان تضمین نمود.

احجام زیر ساعتی و نرخ جریان

هنگامیکه احجام ساعتی ترافیک زمینه را برای چند روش تحلیل و طراحی تفکیکی تشکیل می دهد، تغییرات ترافیک در طول یک ساعت مشخص نیز نفع زیادی دارد. کیفیت جریان ترافیک اغلب در یک دوره کوتاه نوساناتی در تقاضای ترافیک دارد. یک امکانات ممکن است دارای ظرفیت کافی را برای سرویس دهی به تقاضای ساعت اوج داشته باشد اما پیک های کوتاه مدت جریان در طول ساعت ممکن است بیشتر از ظرفیت شده و یک پارگی جریان ایجاد نمایند.

احجام مشاهده شده در دوره های کمتر از یک ساعت عموماً بصورت نرخ های معادل جریان بیان میگردند . بعنوان مثال ، ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در فاصله ۱۵ دقیقه شمارش شده می تواند بصورت

$$1000 \text{ وسیله نقلیه} \\ \text{vph } 4000 = \frac{\text{}}{0.25 \text{ ساعت}} \text{ بیان شود.}$$

نرخ جریان ۴۰۰۰ برای آن ۱۵ دقیقه ای که ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در آن مشاهده شده صحیح است . جدول ۳-۵ تفاوت بین حجمها و نرخهای جریان را نشان می دهد.

جدول ۳-۵: تشریح احجام و نرخ های جریان

نرخ جریان در بازه زمانی (veh/h)	حجم در بازه زمانی (veh)	بازه زمانی
$1,000/0.25 = 4,000$	1,000	5:00 – 5:15 PM
$1,100/0.25 = 4,400$	1,100	5:15 – 5:30 PM
$1,200/0.25 = 4,800$	1,200	5:30 – 5:45 PM
$900/0.25 = 3,600$	900	5:45 – 6:00 PM
	$\Sigma = 4,200$	5:00 – 6:00 PM

حجم ساعتی کامل ، حاصلجمع ۴ حجم ۱۵ دقیقه ای مشاهده شده یا ۴۲۰۰ وسیله نقلیه / ساعت است . نرخ جریان در فاصله هر ۱۵ دقیقه ، حجم مشاهده شده در این فاصله تقسیم بر ۰/۱۵ ساعتی است که در آن مشاهده صورت گرفته میباشد. در بدترین دوره زمانی و ۳۰:۵ تا ۴۵:

۵ بعد از ظهر ، نرخ جریان ۴۸۰۰ است . این نرخ جریان است نه حجم آن . حجم حقیقی این ساعت تنها ۴۲۰۰ vph است .

وضعیتی را در نظر بگیرید که ظرفیت آن موقعیت در مساله دقیقاً ۴۲۰۰ vph باشد. در حالیکه این برای پاسخگوئی تقاضا در یک ساعت کامل نشان داده شده در جدول ۳-۵ کافی است ، نرخ جریان تقاضا در طول دو دوره ۱۵ دقیقه ای نشان داده شده (۵:۱۵ تا ۵:۳۰ بعد از ظهر و ۵:۳۰ تا ۵:۴۵ بعد از ظهر) بیشتر از ظرفیت است . مشکل در اینجا است که در حالیکه تقاضا در طول یک ساعت مشخص می تواند متغیر باشد، ظرفیت ثابت است . در هر دوره ۱۵ دقیقه ای ،

ظرفیت معادل $\frac{4200}{4}$ یا ۱۰۵۰ وسیله نقلیه است . بنابراین ، در ساعت اوج نشان داده شده ، در

دوره نیم ساعته بین ۵:۱۵ و ۵:۴۵ بعد از ظهر که تقاضا از ظرفیت تجاوز می کند، صف تشکیل خواهد شد . بعلاوه ، هنگامیکه در دوره ۱۵ دقیقه اول (۵:۰۰ تا ۵:۱۵ بعد از ظهر) که تقاضا از ظرفیت کمتر است، ظرفیت استفاده نشده نمی تواند در دوره بعدی مورد استفاده قرار گیرد. جدول ۴-۵ تقاضا و ظرفیت را در طول هر ۱۵ دقیقه مقایسه می کند. طول صف در انتهای هر دوره از طریق طول صف در ابتدای دوره بعلاوه وسایل نقلیه وارد شده منهای وسیله نقلیه خارج شده ، قابل محاسبه است .

هر چند ظرفیت این قطعه در کل ساعت مساوی با حجم تقاضای ساعت اوج (۴۰۰ ساعت / وسیله نقلیه) است ، در انتهای ساعت ، صفی بطول ۵۰ وسیله نقلیه که سرویس دهی نشده اند باقی می ماند. در حالیکه این مثال نشان می دهد که یک صف در سه دوره ۱۵ دقیقه در ساعت اوج

وجود دارد، پویایی تخلیه صف ممکن است برای فواصل طولانی تری تأثیرات منفی ترافیکی را در پی داشته باشد.

جدول ۴-۵: تحلیل صف برای داده های جدول ۵،۳

بازه زمانی	وسایل نقلیه ورودی (vehs)	وسایل نقلیه خروجی (vehs)	طول صف در انتهای دوره (vehs)
5:00 – 5:15 PM	1,000	1,050	0
5:15 – 5:30 PM	1,100	1,050	$0+1,100-1,050=50$
5:30 – 5:45 PM	1,200	1,050	$50+1,200-1,050=200$
5:45 – 6:00 PM	900	1,050	$200+900-1,050=50$

بخاطر اینگونه مسائل ، اغلب لازم است طراحی امکانات و تحلیل اوضاع ترافیکی برای یک دروهٔ بیشترین نرخ جریان در هنگام ساعت اوج صورت پذیرد. برای اغلب اهداف کاربردی ، ۱۵ دقیقه بعنوان کمترین دورهٔ زمانی که اوضاع ترافیکی بلحاظ آماری پایدار است در نظر گرفته می شود. در حالیکه نرخ جریان برای هر دوره زمانی قابل محاسبه است و پژوهشگران اغلب نرخ را برای دوره هایی از یک تا ۵ دقیقه ای بکار می برند، نرخ جریان برای دوره های کوتاهتر غالباً بیانگر شرایط ناپایداری است که نمایه های ریاضی ثابت را تحریک می کند هر چند در سالهای اخیر کاربرد نرخهای پنج دقیقه ای افزایش یافته و عقاید مختلفی وجود دارد که اینها ممکن است

برای کار برد در طراحی و تحلیل به اندازه کافی پایدار باشند . با این وجود، اغلب کارهای تحلیلی

و طراحی استاندارد به کار برد فاصله ۱۵ دقیقه ای بعنوان دروه پایه ادامه می دهند.

رابطه بین حجم ساعتی و بیشترین نرخ جریان در طول ساعت ، ” ضریب ساعت اوج “

تعریف شده و عبارت است از :

$$\text{حجم ساعتی} \\ \text{بیشترین نرخ جریان} \\ \text{ضریب ساعت اوج (PHF)} = \frac{\text{حجم ساعتی}}{\text{بیشترین نرخ جریان}}$$

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15 \text{ دقیقه ای}}} \quad \text{برای دوره طراحی استاندارد ۱۵ دقیقه ای ، عبارتست از}$$

که در آن : V = حجم ساعتی (وسیله نقلیه) ، ۱۵ دقیقه V = بیشترین حجم ۱۵ دقیقه

ای در طول ساعت (وسیله نقلیه) و PHF = ضریب ساعت اوج . برای اطلاعات مثال در

جدول ۳-۵ و ۴-۵ عبارتست از :

$$PHF = \frac{4200}{4 \times 1200} = 0.875$$

بیشترین مقدار ممکن برای PHF ، ۱ است ، که زمانی اتفاق می افتد که حجم در هر

فاصله ثابت باشد . هر دوره ۱۵ دقیقه ای باید حجمی دقیقاً برابر یک چهارم حجم کل ساعت داشته

باشد. این بیانگر شرایطی است که در آن واقعاً در طول یک ساعت تغییراتی در جریان نداشته

باشیم . کمترین مقدار هنگامی ایجاد می شود که تمام حجم ساعتی در طول یک ۱۵ دقیقه ایجاد

گردد. در این حالت PHF ، ۰/۲۵ می گردد و بیانگر حالت بیشترین تغییرات حجم در طول ساعت

است . در عمل عموماً PHF بین کمتر از ۰/۷ برای مناطق غیر شهری و کم توسعه یافته تا ۰/۹۸

در مناطق تراکم شهری متغیر است .

ضریب ساعت اوج توصیفی از الگوهای تولید سفر بوده و ممکن است برای یک منطقه یا قسمتی از سیستم یک خیابان یا جاده اعمال گردد. وقتی مقدارش مشخص باشد، می تواند برای تخمین بیشترین نرخ جریان در طول یک ساعت براساس حجم یک ساعت کامل بکار رود:

$$V = \frac{V}{PHF} \text{ که در آن :}$$

V = بیشترین نرخ جریان در طول ساعت ،

و V = حجم ساعتی ،

و PHF = ضریب ساعت اوج است . این تبدیل به کرات در تکنیکی ها و روشهای

سراسر این متن بکار رفته است .

۵-۲-۲- سرعت و زمان سفر

سرعت دومین پارامتر درشت نمودی است که وضعیت جریان ترافیک را توصیف می کند.

سرعت بصورت نرخ حرکت در مسافت در زمان واحد تعریف می شود. زمان سفر ، زمان لازم

برای پیمودن مقطعی مشخص از راه است . سرعت و زمان سفر باهم رابطه معکوس دارند :

$S = d/t$ که در آن S = سرعت ، کیلومتر / سرعت یا متر / ثانیه . d = فاصله طی شده ، کیلومتر یا

متر و t = زمان پیمودن فاصله d ، ساعت یا ثانیه .

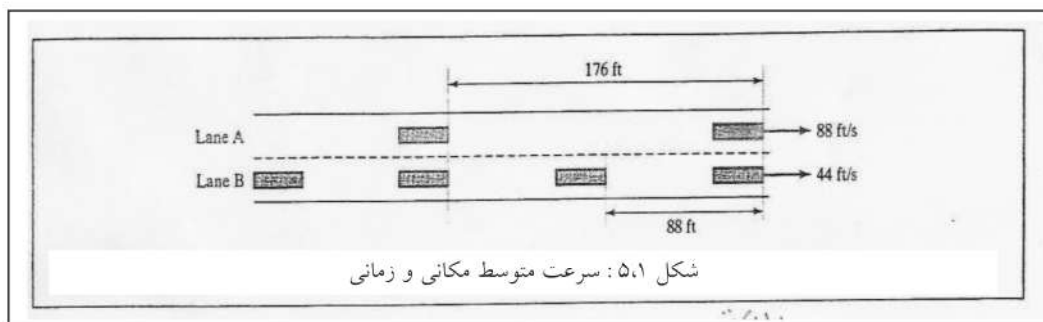
در یک جریان روان ترافیک ، هر وسیله نقلیه با سرعتی مختلف حرکت می کند. لذا ،

جریان ترافیک دارای یک مقدار مشخص نیست اما ترجیحاً توزیعی از سرعتهای منحصر بفرد است

. جریان ترافیک که همه را در بر می گیرد با استفاده از میانگین یا نوع سرعت قابل توصیف است .

دو روش برای محاسبه سرعت متوسط برای یک جریان ترافیکی وجود دارد:

- سرعت متوسط زمانی (TMS) . سرعت متوسط تمام وسایل نقلیه عبوری از نقطه ای از جاده یا خط عبوری در طول یک دوره زمانی مشخص .
 - سرعت متوسط مکانی (SMS) سرعت متوسط تمام وسیله نقلیه ای که مقطعی از جاده یا خط عبوری را اشغال کرده اند در طول یک دوره زمانی مشخص .
- در واقع ، سرعت متوسط زمانی اندازه گیری نقطه ای است در حالیکه سرعت متوسط مکانی طولی از جاده یا خط عبوری را توصیف می کند . شکل ۵-۱ مثالی را نشان می دهد که تفاوت بین اندازه گیری دو سرعت متوسط فوق را تشریح می کند.



برای اندازه گیری سرعت متوسط زمانی (TMS) ، باید یک شخص بیننده در کنار مسیر ایستاده و سرعت هر وسیله نقلیه عبوری را ثبت نماید . با توجه به سرعتها و فواصل نشان داده شده در شکل ۵-۱ یک خودرو از بیننده در خط A هر ۲ ثانیه عبور می نماید. همینطور یک وسیله نقلیه از بیننده خط B هر ۲ ثانیه عبور می کند. بنابراین تا وقتی که جریان ترافیک در شرایط نشان داده شده باقی باشد برای هر n وسیله نقلیه عبوری با سرعت 88 ft/s ، بیننده هم n وسیله نقلیه را

با سرعت عبور 44 fl/s مشاهده میکند. TMS به اینصورت قابل محاسبه است: $66 \text{ fl/s} =$

$$TMS = \frac{88 + 44n}{2n}$$

برای اندازه گیری سرعت متوسط مکانی (SMS)، بیننده نیاز به محلی بالاتر نیاز دارد که

بتواند تمام محدوده مقطع را ببیند. باز B دو برابر خط A خواهد بود. بنابراین SMS به

اینصورت محاسبه می گردد:

$$SMS = \frac{88n + 44 \times 2n}{3n} = 85.33 \text{ mi/h}$$

در نتیجه، سرعت متوسط مکانی بر این واقعیت محاسبه می شود که وسیله نقلیه ای که

در سرعت 44 fl/s حرکت می کند برای پیمودن مقطعی مشخص، زمانی دو برابر وسیله نقلیه ای با

سرعت 88 fl/s صرف می کند. سرعت متوسط مکانی براساس مقدار زمانی که برای پیمودن مقطع

راه صرف می کنند برای وسایل نقلیه کندروتر از لحاظ وزنی سهم بیشتری قائل است. بنابراین،

عموماً سرعت متوسط مکانی در شرایطی که وسایل نقلیه سهم مساوی داشته باشند، کمتر از سرعت

متوسط زمانی متناظرش است. اگر تمام وسایل نقلیه در مقطع مورد نظر با سرعتی کاملاً مساوی

حرکت کنند، تساوی دو سرعت متوسط فوق امکانپذیر است.

هر دو سرعت متوسط زمانی و مکانی از طریق تکثیری زمانهای سفراندازه گیری شده در

طول فاصله ای مشخص با استفاده از روابط ذیل قابل محاسبه اند:

$$TMS = \frac{\sum_i (d/t_i)}{n} \quad SMS = \frac{d}{\left(\sum_i t_i / n\right)} = \frac{nd}{\sum_i t_i}$$

که در آن :

TMS = سرعت متوسط زمانی ، متر/ثانیه ، SMS = سرعت متوسط مکانی، متر/ثانیه ،

D = فاصله پیموده شده ، متر ، n = تعداد وسایل نقلیه مشاهده شده ، t_i = زمان لازم برای عبور وسیله نقلیه i ام از مقطع ، ثانیه .

TMS با یافتن سرعت هر وسیله نقلیه و یک میانگین گیری ساده از نتایج محاسبه می

گردد . SMS با یافتن زمان متوسط سفر برای پیمودن مقطع توسط یک وسیله نقلیه و با استفاده از

زمان متوسط سفر محاسبه میگردد. جدول ۵-۵ یک مساله ساده را در محاسبه سرعت متوسط زمانی و مکانی نشان می دهد.

جدول ۵-۵ : تشریح محاسبه TMS و SMS

شماره وسیله نقلیه	فاصله d (m)	زمان سفر t (s)	سرعت (m/s)
1	1,000	18	$1000/18=55.6$
2	1,000	20	$1000/20=50$
3	1,000	22	$1000/22=45.5$
4	1,000	19	$1000/19=52.6$
5	1,000	20	$1000/20=50$
6	1,000	20	$1000/20=50$
جمع کل	6000	119	303.7
میانگین	$6000/6=1,000$	$119/6=19.8$	$303.7/6=50.6$

$$SMS=1,000/19.8=50.4 \text{ m/s}$$

$$TMS=50.6 \text{ m/s}$$

۵-۳-۳- چگالی و اشغال

چگالی ، سومین مقیاس اصلی از مشخصات جریان ترافیک که بصورت " تعداد وسایل نقلیه عبوری از طولی مشخصی از جاده یا خط عبوری " تعریف شده ، عموماً براساس تعداد وسایل نقلیه در هر کیلومتر یا تعداد وسایل نقلیه در هر کیلومتر از خط عبور بیان می گردد.

اندازه گیری مستقیم چگالی ، بواسطه اینکه یک نقطه مساعد مرتفع بری مشاهده کل مقطع جاده تحت مطالعه لازم است ، دشوار است . چگالی اغلب با اندازه گیری های سرعت و نرخ جریان محاسبه می گردد (بخش ۳-۵ از این فصل را ملاحظه کنید).

بهرحال چگالی شاید بین سه پارامتر اصلی جریان ترافیک مهمترین پارامتر باشد ، زیرا مقایسه است که بیشترین ارتباط مستقیم را به تقاضای ترافیک دارد. ترافیک از کاربری های مختلف زمین که تعداد از وسایل نقلیه را به فاصله محدودی از جاده وارد می کنند، تشکیل گردیده است . رانندگان سرعتی را انتخاب می کنند که بر میزان نزدیکی با دیگر وسایل نقلیه استوار است . با ترکیب سرعت و چگالی ، نرخ جریان مشاهده شده بدست می آید.

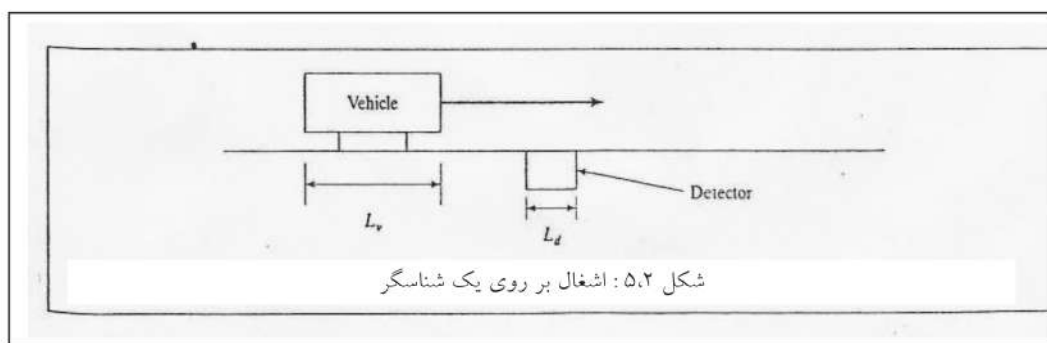
همچنین ، چگالی مقیاس مهمی برای کیفیت جریان ترافیک است زیرا مقیاسی از نزدیکی وسایل نقلیه به یکدیگر ، ضریبی موثر بر میزان آزادی و مانور حرکت و آرامش روانی رانندگان است .

اشغال

در حالیکه اندازه گیری مستقیم چگالی دشوار است ، شناسگرهای پیشرفته می توانند اشغال را که پارامتری مرتبط است اندازه گیری نمایند. اشغال بصورت نسبت زمانی است که شناسگر در یک دوره زمانی مشخص توسط وسیله نقلیه ای " اشغال " یا پوشیده شده ، تعریف می شود.

در شکل ۵-۲ ، L_v طول متوسط یک وسیله نقلیه (به متر) است ، L_d نیز طول شناسگر است (که عموماً یک حلقه شناسگر مغناطیسی است). اگر " اشغال " یک شناسگر مورد نظر " O " باشد ، چگالی بصورت ذیل قابل محاسبه است :

$$D = \frac{5280 * O}{L_v + L_d}$$



طول متوسط وسیله نقلیه با شناسگر جمع گردیده ، همانطور که شناسگر عموماً وقتی سپر جلوی خودرو از ظلع جلویی شناسگر عبور می کند فعال می شود و هنگامیکه سپر عقبی خودرو ضلع عقبی شناسگر را ترک می کند غیر فعال میگردد.

موردی را در نظر بگیرید که شناسگر برای یک دوره تحلیلی ۱۵ دقیقه ای اشغالی معادل ۰/۲۰۰ را ثبت کرده باشد اگر طول متوسط وسیله نقلیه ۲۸ متر بوده و طول شناسگر ۳ متر باشد چگالی چقدر است ؟

$$D = \frac{5'280 \times 0/200}{28 + 3} = 34/1$$

اشغال ، برای یک شناسگر مشخص در یک خط عبور مشخص اندازه گیری میشود. بنابراین واحد چگالی تخمینی از اشغال وسیله نقلیه بر کیلومتر خط عبور است . اگر شناسگرهای

مجاوری در خط عبورهای دیگر هم موجود باشد . برای بدست آوردن چگالی بصورت
برای یک جهت مشخص جریان در چندین خط عبور مختلف می توان چگالی هر خط عبور را با
یکدیگر جمع نمود.

۵-۲-۴- سرفاصله مکانی و زمانی : پارامترهای ریز نمود

در حالیکه جریان ، سرعت و چگالی بیانگر اوصاف درشت نمود تمام جریان ترافیکی
هستند ، می توانند به پارامترهای ریز نمودی که بصورت فردی خودروهای موجود در جریان
ترافیک یا یک زوج خودروی مشخص در جریان ترافیک را توصیف می کند، مرتبط باشند.

سرفاصله مکانی

سرفاصله مکانی که بصورت فاصله بین وسایل نقلیه متوالی در یک خط ترافیک تعریف
می شود، از طریق چندین نقطه متعارف بر وسایل نقلیه نظیر سپر جلو یا چرخهای جلو ، اندازه
گیری می شود. فاصله متوسط مکانی در یک خط ترافیکی می تواند مستقیماً به چگالی خط وابسته
باشد :

$$D = \frac{5'280}{d_d} \text{ که در آن :}$$

$$D = \text{چگالی} , \quad d_d = \text{فاصله بین وسایل نقلیه در یک خط} , \text{ متر} .$$

سرفاصله زمانی

سر فاصله زمانی که بصورت فاصله زمانی بین وسایل نقلیه متوالی که از نقطه ای در طول خط عبور می گذرند ، تعریف می شود نیز از بین نقاط متعارف بر وسایل نقلیه اندازه گیری می شود. سرفاصله زمانی متوسط در یک خط مستقیماً به نرخ جریان مرتبط است :

$$V = \frac{3600}{h_a} \quad \text{که در آن :}$$

V = نرخ جریان خط عبور/ ساعت/ وسیله نقلیه و h_a = سرفاصله زمانی متوسط در خط عبور ، ثانیه .

کاربرد اندازه گیری ریز نمود

اندازه گیری های ریز نمود برای بسیاری از اهداف تحلیلی سودمند هستند . چون یک سر فاصله مکانی و یا زمانی قابل تعیین برای هر جفت از وسایل نقلیه است ، مقدار اطلاعاتی که می توان در یک دوره کوتاه زمانی جمع آوری گردد نسبتاً زیاد است . جریان ترافیکی با حجم ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه ای از یک مقدار از نرخ جریان ، سرعت متوسط مکانی و چگالی که مشاهده شده منتج می گردد. اما در این ۱۰۰۰ اندازه گیری سر فاصله زمانی و مکانی داریم با این فرض که تمام جفت وسایل نقلیه مشاهده شده باشند.

همچنین کاربرد اندازه گیری های ریز نمود اجازه می دهد تا انواع مختلف وسایل نقلیه در جریان ترافیک مجزا گردند . جریانها و چگالی های خودروهای عبوری ، بطور مثال می توانند از سر فاصله های مکانی و زمانی مجزای زوج های خودروهای عبوری پشت سرهم ، استنتاج گردند

. بطور مشابه وسایل نقلیه سنگین قابل تفکیک و مطالعه برای مشخصات مخصوص خود هستند .

فصل ۱۲ کالیبره کردن متغیرهای تحلیل اساسی ظرفیت را بصورت یک فرآیند شرح می دهد.

همچنین سرعت متوسط از اندازه گیری های سر فاصله زمانی و مکانی قابل محاسبه است

به اینصورت قابل محاسبه است :

$$S = \frac{da/ha}{1047} = 0.78 \left(\frac{da}{ha} \right)$$

که در آن :

S = سرعت متوسط ، d_a = سر فاصله مکانی متوسط، متر ، h_a = سر فاصله

متوسط زمانی، ثانیه.

یک مساله نمونه :

ترافیک در یک خط عبور از جاده چند خطه تراکمی دارای سر فاصله مکانی متوسط ۲۰۰

متر ، سر فاصله زمانی متوسط ۳/۸ ثانیه مشاهده گردیده است . نرخ جریان ، چگالی و سرعت

ترافیک در این خط عبور را برآورد نمایید.

حل : خط عبور/ساعت / وسیله نقلیه $V = \frac{3600}{3/8} = 947$ ، خط عبور / ساعت / وسیله

$$S = 0.78 \left(\frac{200}{3/8} \right) = 35/8 \text{ ساعت / کیلومتر} , D = \frac{5'280}{200} = 36/4 \text{ نقلیه}$$

۵-۳- روابط بین نرخ جریان ، سرعت و چگالی

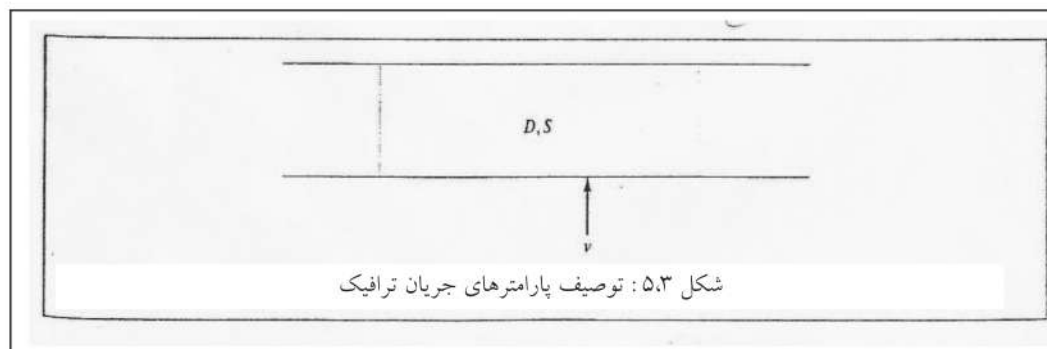
سه مقیاس درشت نمود از وضعیت یک جریان ترافیکی مشخص - جریان ، سرعت و چگالی - بصورت زیر رابطه دارند ،

$$V = S \times D \quad \text{که در آن : } V = \text{نرخ جریان} , \quad \text{یا} \quad S = \text{سرعت متوسط}$$

سرعت متوسط

مکانی ، و $D = \text{چگالی}$ ، یا

سرعت متوسط مکانی و چگالی مقیاسهایی هستند که به قطعه ای مشخص از یک خط عبوری یا جاده اشاره دارند در حالیکه نرخ جریان یک مقیاس نقطه ای است . شکل ۵-۳ رابطه را شرح می کند.



مقیاسهای سرعت متوسط مکانی و چگالی بایستی بر قطعه ای که بطور مشابه تعریف شده اعمال گردند . شرایط جریان تحت پایدار (یعنی جریان ورودی و خروجی به قطعه همان بوده ، در قطعه صف تشکیل نشود) نرخ جریان که با رابطه ۵-۱۱ محاسبه می شود بر هر نقطه ای از قطعه اعمال میگردد. در جائیکه عملکردهای نا پایداری وجود داشته باشند (صفی در قطعه ایجاد میگردد) . نرخ جریان محاسبه شده بیانگر میانگینی از تمام نقاط داخل قطعه است .

اگر یک خط آزاد راه دارای سرعت متوسط مکانی ۵۵ و چگالی ۲۵ باشد، نرخ جریان در این خط به اینصورت قابل تخمین است :

$$V = 55 \times 25 = 1375 \text{ خط/سرعت/وسیله نقلیه}$$

همانطور که قبلاً اشاره شد، این رابطه غالباً در برآورد چگالی که اندازه گیری مستقیم آن از مقادیر اندازه گیری شده نرخ جریان و سرعت متوسط مکانی دشوار است، کار برد دارد. یک خط آزاد راهی را در نظر بگیرید با سرعت متوسط مکانی ساعت/کیلومتر ۶۰ و نرخ جریان خط/ساعت/وسیله نقلیه ۱۰۰۰ چگالی از رابطه ۵-۱۱ به اینصورت قابل تخمین است :

$$D = \frac{V}{S} = \frac{1000}{60} = 16.7 \text{ خط عبور/کیلومتر/وسیله نقلیه}$$

رابطه ۵-۱۱ اشاره به این دارد که برای یک نرخ جریان مشخص (V) با تعداد نامحدودی از زوجهای سرعت (S) و چگالی (D) به نتیجه یکسانی می توان رسید. با کمال تشکر، آنچه که رخ می دهد بصورت توصیف ریاضی از جریان پیچیده ترافیک نیست. روابط دیگری بین این جفت متغیرها وجود دارد که تعداد ترکیباتی که می تواند در محل واقع شود را محدود می کند. شکل ۵-۴ شکل عمومی این روابط را شرح می کند.

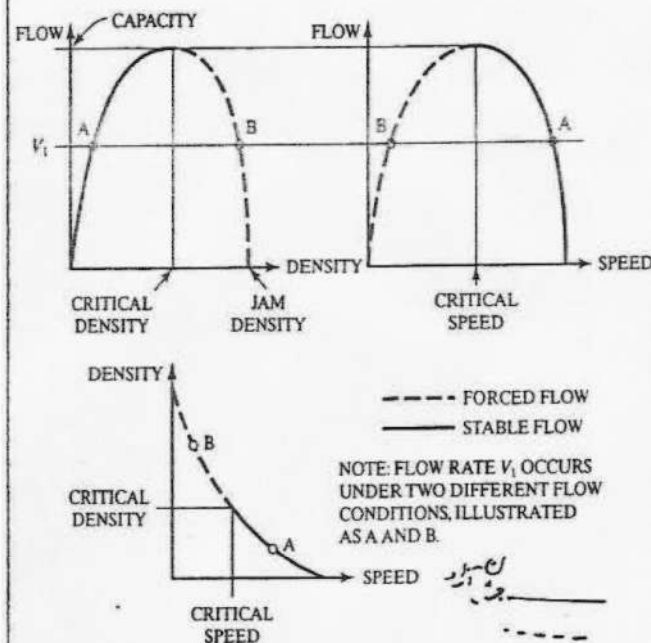


Figure 5.4: Relationships Among Flow, Speed, and Density (Used with permission of Transportation Research Board; National Research Council, from *Highway Capacity Manual*, 3rd Edition, *Special Report 209*, pgs. 1-7, Washington DC, 1994.)

شکل 5.4: روابط بین جریان، سرعت و چگالی

شکل درست و درجه بندی این روابط به شرایط حاکمی وابسته است که از محلی به محل دیگر و زمانی به زمان دیگر در یک محل متغیر است باید توجه کرد که نرخ جریان " $oVeh/h$ " در دو شرایط مختلف روی می دهد. زمانی که هیچ وسیله نقلیه ای در جاده نباشد، چگالی است و هیچ وسیله نقلیه عبوری از یک نقطه مشاهده نمی شود. در اینجاست، سرعت قابل اندازه گیری نیست و به "سرعت جریان آزاد" رجوع می شود که مقداری تئوری است بصورت بسطی ریاضی از رابطه بین سرعت و جریان (یا سرعت و چگالی) در شرایط عملی، سرعت جریان آزاد می تواند سرعتی باشد که یک وسیله نقلیه منفرد هنگامیکه هیچ وسیله

نقلیه دیگری در مسیر وجود ندارد به آن دست می یابد و یک راننده حتی المقدور باسرعتی ناشی از وضعیت هندسی جاده و محیط اطراف خود می تواند رانندگی کند.

همچنین جریان $"oVeh/h"$ هنگامیکه آنقدر وسیله نقلیه در مسیر باشد که تمام حرکات متوقف شود نیز رخ می دهد. این در چگالی بسیار بالایی رخ می دهد که "چگالی اشباع" نامیده شده و هیچ جریانی مشاهده نمی گردد چرا با توجه به توقف وسایل نقلیه هیچ خودروی از یک نقطه عبور نمی کند تا شمارش گردد.

بین این دو نقطه حدی در رابطه ها، یک وضعیت اوج وجود دارد. اوج منحنی های جریان - سرعت و جریان - چگالی بیشترین نرخ جریان یا "ظرفیت" راه است. مقدار آن نیز مثل دیگر موارد در این روابط بستگی به شرایط ویژه زمانی و مکانی حاکم بر اندازه درجه بندی ها دارد. البته، بهره برداری در ظرفیت بسیار ناپایدار است. در ظرفیت که هیچ فاصله قابل استفاده ای در جریان ترافیکی نباشد، آشفتگی ناچیزی در اثر یک ورود یا تغییر خط وسیله نقلیه ایجاد می شود، یا ترمز گرفتن ساده یک راننده باعث زنجیره ای از عکس العملها می گردد که نمی توان آنرا آرام کرد. آشفتگی به بالا دست منتشر شده و تا وقتی ادامه می یابد که فاصله کافی در جریان ترافیک اجازه پراکنده شدن موثر رویداد را بدهد.

قسمت خط چین منحنی بیانگر جریان ناپایدار یا تحمیلی است. این قسمت بیانگر جریان در صفی است که در پشت یک محل گسیختگی تشکیل شده است. یک گسیختگی در هر نقطه ای که جریان ورودی از ظرفیت پایین دست تسهیلات تجاوز کنی، رخ خواهد داد. نقاط معمول برای اغلب گسیختگی ها رمپهای ورودی در آزاد راهها را شامل می شوند اما تصادفات و حوادث

نیر عموماً کمتر قابل پیشگویی در ایجاد صفها هستند. قسمتی از نمودار که با خط پر نشان داده

شده بیانگر جریان پایدار است (یعنی جریانهای ترافیکی جاری قابل بقا در یک دوره زمانی)

برای ظرفیت جریان هر نرخ جریان در دو شرایط می تواند وجود داشته باشد:

۱- وضعیتی با سرعت نسبتاً بالا و چگالی پائین (در روابط بخش پایدار جریان)

۲- وضعیتی با سرعت نسبتاً پائین و چگالی بالا (در روابط بخش ناپایدار جریان)

واضح است که مهندسان ترافیک ترجیح خواهند داد که تمام تسهیلات در قسمت کار کرد

پایدار منحنی ها باقی بمانند.

بدلیل آنکه یک حجم یا نرخ جریان مشخص می تواند تحت دو وضعیت بسیار متفاوت از

شرایط عملکردی رخ دهد، این متغیرها نه می توانند کاملاً شرایط جریان را توصیف کنند و نه می

توان از آنها بعنوان مقایسهایی از کیفیت جریان ترافیک استفاده کرد . البته مقادیر سرعت و یا

چگالی باید نقاط منحصر بفردی را در هر رابطه از شکل ۴-۵ تعریف کنند و هردو جنبه هایی از

کیفیت را توصیف می کنند که برای رانندگان و عابرین پیاده قابل درک است .

در طول سالها محققان مختلف روابط بین سرعت - جریان - چگالی را مورد مطالعه قرار

داده و تلاش کردند توصیفهای ریاضی بسیاری را برای این منحنی ها ارائه نمایند. در سال ۱۹۳۰

Bruce Greenshields اولین مطالعات رسمی جریان ترافیک را بعهده گرفت . او فرض کرد

رابطه سرعت - چگالی خطی باشد [1] بعد ها Ellis [2] روابط خطی تکه ای را پیشنهاد کرد.

با استفاده از دو یا سه رابطه خطی برای قطعات منحنی سرعت - چگالی ، این رویکرد منحنی (

غیر پیوسته ای را همراه با انفصالی بحرانی در نقاط مجاور، در ظرفیت ایجاد کرد . [3]

Greenderg یک منحنی لگارتیمی برای سرعت - چگالی فرض کرد ، در حالیکه

Underwood [4] یک مدل exponential را برای این رابطه بکار برد. Edie [5] رابطه غیر پیوسته ای را برای سرعت - چگالی با استفاده از هردو رابط لگاریتمی و exponential پیشنهاد کرد و May [6] یک منحنی زنگوله ای شکل را پیشنهاد نمود. مرجع ۵ گزارشی از مطالعات کلاسیک بر تمام این توضیحات ریاضی را ارائه می کند که مقایسه ای با استفاده از یک مجموعه اطلاعات مشخص از Connecticut در Mernitt Parkwong در جدول سال ۱۹۵۸، انجام داده است. برای اطلاعات مطالعه، Eide بهترین برازش را بر مشاهدات محلی در نظر گرفت. تمام این مطالعات تاریخی بر درجه بندی رابطه سرعت - چگالی متمرکز شوند. در اینجا رابطه اصلی رفتاری رانندگان و انتخاب سرعتهایی براساس نزدیک آنها با دیگر وسایل نقلیه (و طرح هندسی و شرایط عمومی جاده) در نظر گرفته شد. نرخ جریان از این رابطه منتج می گردد. از لحاظ ریاضی، یکبارکه رابطه سرعت - چگالی برقرار شد، روابط سرعت - جریان و جریان - چگالی را نیز می توان بدست آورد. مدل خطی سرعت - چگالی Greenshield را که بخاطر سادگی اش انتخاب شده در نظر بگیرید. فرض کنید که یک مطالعه سرعت چگالی رابطه درجه بندی شده زیر را نتیجه داده باشد:

$$S = 55/0 - 0/54D$$

با دانستن رابطه عمومی $V=S \times D$ ، روابط سرعت - جریان و جریان چگالی را با

جایگذاری می توان نتیجه گرفت:

$$V = 122/2 - 2/22 S^2, \quad S = 55/0 - 0/45 \frac{V}{S}$$

$$V = 55/0 D - 0/245 D^2, \quad \frac{V}{D} = 55/0 - 0/45 D$$

همانطور که نشان داده شده ، یک فرض خطی سرعت - چگالی به روابط سهموی سرعت

- جریان و جریان - چگالی منجر می شود.

مدلهای ریاضی سرعت - چگالی را همچنین برای تعیین (۱) سرعت آزاد جریان ، (۲)

چگالی اشباع و (۳) ظرفیت می توان دست کاری کرد. سرعت آزاد جریان زمانی رخ می دهد که

چگالی $"oVeh/h"$ باشد . بنابراین : $mi/h = 55/0 - 0/45 \times 0 = 55/0$ بطور مشابه ،

چگالی اشباع زمانی که سرعت $"o mi/h"$ است رخ می دهد .

$$S = 0 = 55/0 - 0/45 \quad \text{یا} \quad D = \frac{55/0}{0/45} = 122/2$$

ظرفیت با تعیین نقطه اوج منحنی های سرعت - جریان و جریان - چگالی بدست می آید

. نقطه اوج وقتی رخ می دهد که مشتق اول رابطه صفر باشد . با استفاده از منحنی جریان - چگالی

داریم :

$$V = 55/0 \cdot D - 0/45 D^2 \quad \frac{dv}{dD} = 0 = 55 - 0/9 D$$

$$D = \frac{55/0}{0/90} = 61/1$$

بنابراین ، ظرفیت وقتی چگالی است بدست می آید (که این دقیقاً نصف چگالی اشباع

برای یک منحنی خطی است). با استفاده از منحنی سرعت - چگالی وقتی چگالی به

برسد، سرعت قابل تعیین است :

$$S = 55/0 - 0/45 \times 61/1 = 27/5 \quad mi/h$$

که این دقیقاً نصف سرعت آزاد جریان برای یک رابطه خطی است . حال ، برای پیدا کردن نرخ جریانی که از این ترکیب سرعت و چگالی بدست آمده ، رابطه اساسی جریان بکار می رود:

$$V = S \times D = 27/5 \times 61/1 = 1680$$

این ظرفیت مقطع براساس رابطه خی درجه بندی شده سرعت - چگالی برای این مقطع است .

باید توجه کرد که اجماع عمومی بر بهترین توصیف ریاضی که یک جریان ترافیکی غیر منقطع را توصیف نماید وجود ندارد . در واقع مطالعات نشان می دهد که بهترین شکل می تواند براساس مکانهای مختلف و زمانهای مختلف برای یک مکان متغیر باشد . مدل خطی Bruce Greenshields که در سال ۱۹۳۰ بصورت ابتکاری درجه بندی شد ، رفتار ترافیک مدرن را بطور خاص درست بیان نمی کند . ویرایش چهارم Highway Capacity Manual [7] مدلهای سرعت - جریان بسیار مختلفی را بعنوان اساس در روشهای تحلیل تسهیلات جریان غیر منقطع بکار برده است . اینها براساس دهه های اخیر و مطالعه مقایسه ای مشخصات جریان آزاد راهی هستند [8] . فصل ۱۲ شامل تشریح جزئیات زیادی از نتایج این مطالعه و کاربرد آن در تحلیل ظرفیت و سطح سرویس میباشد.

مسائل :

۱-۵- حجم ۹۰۰ در یک تقاطع مشاهده گردید . اوج نرخ جریان در طول یکساعت برای این ضرائب ساعت اوج بیابید : ۱/۰۰ ، ۰/۹۰ ، ۰/۸۰ ، ۰/۷۰ . نتایج را ترسیم کرده و توضیح دهید.

۲-۵- یک جریان ترافیکی متوسط سر فاصله زمانی وسایل نقلیه را ۲/۲ در mi/h ۵۰ نشان می دهد . چگالی و نرخ جریان را برای این جریان محاسبه نمایید.

۳-۵- یک شناسگر بزرگراهی سطح اشغال ۰/۲۵۵ را یک دوره ۱۵ دقیقه ای ثبت کرده است . اگر طول شناسگر $3/5^i$ و طول متوسط وسایل نقلیه 20^i باشد ، براساس این مقادیر چگالی چقدر است ؟

۴-۵- در یک مکان مشخص ، سرعت متوسط مکانی $40^i mi/h$ و نرخ جریان ۱۶۰۰ اندازه گیری شده است . چگالی در این مکان برای دوره تحلیل چقدر است ؟

۵-۵- AADT برای مقطع مشخصی veh/day ۲۵۰۰۰ است اگر جاده بصورت یک جاده شعاعی شهری طبقه بندی شده باشد ، چه مقدار حجم جهتی ساعت طرح خواهد بود.

۶-۵- زمان سفرهای ذیل برای وسایل نقلیه که یک قطعه ۲ کیلومتری از جاده ای را طی می کنند ، اندازه گیری شده است . سرعت متوسط زمانی (TMS) و سرعت متوسط مکانی (SMS) را برای این اطلاعات محاسبه کنید. چرا همیشه SMS از TMS بیشتر است .

وسيله نقلیه	زمان سفر (s)
۱	۱۵۶
۲	۱۴۴

۳	۱۴۴
۴	۱۶۸
۵	۱۲۶
۶	۱۳۲

۵-۷- شمارش های ذیل در یک تقاطع در طول یک ساعت اوج صبحگاهی بدست آمده

است . اولاً حجم ساعتی ، ثانیاً بیشترین نرخ جریان در طول ساعت و ثالثاً ضریب ساعت اوج را

تعیین نمایید.

حجم	دوره زمانی
150	8:00-8:15AM
155-	8:15-8:30AM
165	8:30-8:45AM
160	8:45-9:00

۵-۸- داده های شمارش ترافیکی ذیل از یک شناسگر ثابت در یک راه اصلی بدست آمده

۱. ماه	۲. تعداد روزهای کاری هفته در ماه	۳. تعداد کل روزهای ماه	۴. حجم کل ماهانه	۵. حجم کل هفتگی
Jan	22	31	200,000	170,000
Feb	20	28	210,000	171,000
Mar	22	31	215,000	185,000
Apr	22	30	205,000	180,000
May	21	31	195,000	172,000
Jun	22	30	193,000	168,000
Jul	23	31	180,000	160,000
Aug	21	31	175,000	150,000
Sep	22	30	189,000	175,000
Oct	22	31	198,000	178,000
Nov	21	30	205,000	182,000
Dec	22	31	200,000	176,000

با استفاده از این اطلاعات اولاً $AADT$ ، ثانیاً ADT برای هر ماه ، ثالثاً $AAWT$ ،

رابعاً AWT برای هر ماه را تعیین نمایید با استفاده از این اطلاعات ، در خصوص نوع تسهیلات

و تقاضایی که سرویس دهی می کند چه تشخیصی می توان داد ؟

۹-۵- از یک مطالعه جریان آزاد راهی در محلی شاخص رابطه درجه بندی شده سرعت -

چگالی ذیل بدست آمده :

($S = 57/5 (1 - 0/008 D$) برای این رابطه ، اولاً سرعت آزاد جریان ، ثانیاً چگالی

اشباع ، ثالثاً رابطه سرعت - جریان ، رابعاً رابطه جریان - چگالی و خامساً ظرفیت را بدست آورید.

۱۰-۵- تمام سئوالات مساله ۹-۵ را برای رابطه درجه بندی شده سرعت - چگالی ذیل

$$S = 61.2e^{-0.015D}$$

پاسخ دهید :

فصل ۶: سیستم‌های هوشمند حمل و نقل

۴	۶-۱- محدوده فعالیت (ITS)
۶	۶-۲- بهینه‌سازی شبکه
۹	۶-۳- تخمین ترافیک با استفاده از شناسگرهای مجازی
۱۱	۶-۴- مسیریابی درون وسیله نقلیه و اطلاعات شخصی مسیر
۱۳	۶-۵- ماشین هوشمند
۱۵	۶-۶- حمل بار و مسیریابی بازرگانی
۱۶	۶-۷- جمع‌آوری الکترونیکی عوارض
۱۹	۶-۸- کارت هوشمند
۲۱	۶-۹- قیمت‌گذاری تراکمی
۲۳	۶-۱۰- تخصیص پویا
۲۵	۶-۱۱- اجرای قوانین ترافیک
۲۶	۶-۱۲- حمل و نقل اتوبوس و پارا ترانزیت
۲۸	۶-۱۳- به وجود آوردن موضوعات
۲۹	۶-۱۴- خلاصه
۳۱	مسائل

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۰	شکل (۶-۱): نرم افزار شناسگر مجازی
۱۲	شکل (۶-۲): نقشه و اطلاعات مسیر روی دو وسیله شخصی
۲۲	شکل (۶-۳): قیمت گذاری تراکمی منطقه ای پیشنهاد شده برای شهروندان

فصل ۶: سیستمهای هوشمند حمل و نقل

در عملکردی که منجر به وضع اولین قانون کارآیی حمل و نقل زمینی بین ایالتی، در سال ۱۹۹۱ گردید، توجه ویژه‌ای به تکنولوژیهای پیشرفته‌ای شد، که اجزای سیستمهای هوشمند حمل و نقل را بصورت جمعی تعریف می‌کنند (ITS). این قانون خود شامل دستورالعملهایی برای (ITS) و بالاتر از آن شامل توضیحاتی در مورد بزرگراهها نیز بود.

در حال حاضر، فعالیتهایی بصورت همزمان، بر روی چنین سیستمهایی در بسیاری از کشورها در حال انجام می‌باشد و یک گفتگوی بین‌المللی برای مشارکت در تکنولوژیها و سیستمهای جدید، لازم می‌باشد. (ITS America) قانون این گفتگو شد که این با قانون (ISTEA) نیز سازگار است.

اهمیت (ITS) در مورد پیشرفتهای چند دهه اخیر، مربوط می‌شود به: سیستمهای کنترل ترافیکی و پروژههای کنترلی، نمایش پیامهای متغیر، بهینه‌سازی سیگنال و شبیه‌سازی. آنچه که مهمتر است، تغییر زمان محاسبات و ارتباطات می‌باشد. هزینه‌های محاسباتی کاهش یافته‌اند، حافظه کامپیوترها بیش از پیش توسعه یافته‌اند و ریز پردازنده‌ها در سیستمها، از اتومبیل گرفته تا ماشین ظرفشویی، نصب شده‌اند. در عین حال، در دسترس بودن سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS)، استفاده از سیستمهای اطلاعات جغرافیایی را امکان‌پذیر نموده است، به گونه‌ای که هر شخصی می‌تواند مکان خود را با دقت بیشتری نسبت به سابق، معین کند و این عمل را برحسب شبکه‌ها در مقیاس جهانی انجام دهد. ارتباطات بی‌سیم نیز بطور گسترده‌ای افزایش پیدا کرده است که نمونه بارز آن استفاده گسترده از تلفن‌های همراه می‌باشد. این وسیله، به اشخاص در طول

سفر این امکان را می‌دهند تا به همکار خود تلفن بزنند ، گزارشها و مکاتبات را دریافت کنند و در همان موقعیت همکار خویش ، قرار گیرند (به عبارتی می‌توانند با سادگی از پایگاه اطلاعاتی مربوطه ، استفاده نمایند).

این پیشرفت در بکارگیری تکنولوژیهای جدید ، باعث شد که سیستمهای حمل و نقل ، به شکلی گسترش یابند که هم مزایای بیشتری داشته و هم نسبتاً ارزان‌تر ، ابزارهای صنعتی فراگیری ، داشته باشند.

در سالهای اخیر ، از جانب دولت و (ITS America) توجه بیشتری به معیارها شده است از قبیل : قواعد مشترک ، فرمت‌ها و قالب‌های مبادله پیام‌ها کدامند ؟ آیا می‌توان سیستم‌های یکپارچه مطمئن را پذیرفت و مورد استفاده قرار داد ؟

پیشرفتهای تکنولوژی ، باعث پیشبرد چنین معیارهایی شد ، مانند :

تلفن‌های همراه و تکنولوژیهایی که بوسیله بازارهای رقابتی گردانده می‌شوند ، وسایل نقلیه که یک مقوله تجاری ، در یک بازار رقابتی شده‌اند و براساس نیازهای مشتریان ساخته می‌شوند ، مکان‌یابی و کمک کننده‌های اضطراری باعث افزایش هزینه‌ها شدند ، راهنمای‌هایی ترافیکی بخش خصوصی ، که با استفاده از دوربین‌های اینترنتی ، قسمتی از برنامه رادیوهای محلی شده‌اند و از طرفی شبکه‌های تلفن همراه ، که بطور فزاینده‌ای گسترش یافته‌اند.

این دوگانگی هنوز هم وجود دارد. بنیان این طرح‌ها ، یک تضاد جدید را می‌بیند که در آن :
(الف) هر شخصی به اطلاعاتی دسترسی دارد که بوسیله بخش خصوصی بوجود می‌آید و می‌تواند باعث تصمیمات آگاهانه بیشتری شود که در اهداف شخصی ، کاربرد دارد.

در حالیکه

ب) آژانسها و دیگر واحدهای بخش دولتی که دارای شبکه‌های قابل کنترل هستند ، تهیه‌کنندگان اطلاعات خام می‌باشند و کنترل مستقیم کمتری روی سایر شبکه‌ها به دلیل سطح اطلاعات قابل دسترس برای مسافران شخصی دارند. از طرفی دامنه این اطلاعات دائماً بر مبنای اهداف شخصی تغییر داده می‌شوند. در عین حال ، بخش دولتی می‌تواند - و باید - با استفاده از جمع‌آوری اتوماتیک عوارض ، مشاوران اطلاعاتی ، وارد آوردن فشار از طریق قوانین (HOV) و بطور کلی قوانین ترافیکی ، باعث افزایش کارایی شود. (برای مثال تخلفات چراغ قرمز در حال حاضر بطور مداوم با سیستمهای نمایشگر اتوماتیک کنترل می‌شوند ، و جریمه متخلفین برای صاحب وسیله نقلیه همراه با عکسهای تخلف ، ارسال می‌شوند.)

بانیان این کار ناگزیر مجبور به قیمت‌گذاری خدمات حمل و نقل می‌باشند که به منظور تغییر در الگوی تقاضای سفر ، هدف ماکزیمم نمودن ظرفیت را ، از طریق صدور صورتحساب‌هایی بطور خودکار با عنوان « عوارض ترافیک » ، دنبال می‌کنند. این عامل در واقع می‌تواند انتخاب‌های اشخاص را ، تحت تاثیر قرار دهد ، زیرا استفاده کنندگان از سیستم حمل‌ونقل ، مجبور به موازنه‌های اقتصادی بین آسودگی و راحتی ، زمان و هزینه‌های سفر ، می‌شوند.

با رشد نگرانی‌های امنیتی در مقابله یا تروریسم ، محدوده کاربردهای تکنولوژی (ITS) ، شامل باربری و بازرسی مسافران ، بطور گسترده‌ای افزایش خواهد یافت.

در ادامه این بخش ، به بحث در مورد محدوده کاربردهای (ITS) در استفاده عمومی امروزی

و پتانسیل آن ، پرداخته می‌شود.

۶-۱- محدوده فعالیت‌های (ITS)

یک سؤال اساسی این است که چه چیز باعث ایجاد، یا عدم ایجاد یک سیستم کاربردی حمل و نقل هوشمند، می‌شود؟ در اغلب موارد، بیشتر آنچه که در چند دهه گذشته انجام شده است، با یک عنوان جدید مانند نظارت و کنترل آزادراه، مشاوران مسیر، مراکز کنترل ترافیک و مانند آن، تعریف را کامل می‌کند و اهمیت گسترده آن را نشان می‌دهد. با این حال یک نگاه ۹۳- بوده و در دسترس می‌باشند، اطلاعاتی را برای استفاده فراهم می‌آورد که، می‌تواند با آنها تصمیم‌گیری کند.

هر چند پروژه‌ها و تحقیقات جدید به شکل اختصاصی انجام می‌شوند، ولی باز هم تقریباً مشابه می‌باشند، که به صورت زمان‌بندی شده به شکل مدل‌ها و الگوریتم‌های پویا منتشر می‌شوند.

اگر شخصی مایل به مطالعه برنامه نشست‌های سالانه گروه تحقیقاتی حمل و نقل در چندین سال گذشته باشد، می‌تواند مقاله‌هایی را در زمینه‌های زیر بیابد^۱:

- بهینه‌سازی چراغهای راهنمایی [۱]، اطلاعات لازم و کیفیت [۲ و ۳]، الگوریتم کنترل

منطقی [۴]

• حمل و نقل با استفاده از اتوبوس [۵ و ۶]

• تخصیص و مسیریابی پویا [۷]

• مدیریت ناوگان تجاری [۸]

• بآوری [۹]

• مسایل تکنیکی خاص [۱۰]

بعلاوه ، افراد باید به انواع دیگر (ITS) ، شامل سیستمهای اطلاعاتی پیشرفته مسافرتی

(ATIS) و مدیریت پیشرفته ترافیک (ATMS) نیز ، توجه داشته باشند.

مجمع سالانه (ITS America) یک محمل تجمع مهم دیگر است که همانند نشستهای

انجمن مهندسان حمل و نقل (ITE) می باشد. انتشارات مربوطه برای مشاهده مقالات و آگهی های

صنعتی ، شامل (ITS International) و (Traffic Technology) می باشند.

(www.ITSinternational.com)

۲-۶- بهینه‌سازی شبکه

فصل ۲۴ از این کتاب موضوع بهینه‌سازی چراغهای راهنمایی در خیابانهای مسطح را، ارائه می‌دهد. نظارت و کنترل بزرگراه، بطور مختصر در فصل ۱۲ بحث می‌شود. این موضوعات، نقاط ویژه در کاربردهای (ITS) و شاید با اهمیت بیشتر در ارتباط با رانندگان و تصمیمات غیرارادی که از سوی آنان اتخاذ می‌شود، می‌باشند.

برای بزرگراه‌ها، تاکید عمده‌ای بر روی نقشه‌هایی که با رنگ کد گذاری شده‌اند، وجود دارد که در مراکز کنترل ترافیک قابل دسترسی بوده و بوسیله ایستگاه‌های تلویزیون محلی استفاده می‌شوند. این نقشه‌ها بطور گرافیکی نقاط صعب‌العبور و مشکل را در هر زمان، در شبکه نشان می‌دهند.

ایستگاههای رادیویی و تلویزیونی نیز بطور گسترده‌ای شبکه‌ای از دوربین‌ها، برای مشاهده شرایط شبکه و اطلاع‌رسانی به عموم، احتیاج دارند. سابقاً این شبکه متعلق به آژانس‌های خصوصی بود که از دوربین‌های ویدیویی استفاده می‌کردند، اما امروزه برای رادیو و تلویزیون نسبتاً معمول است که وابسته به هر کدام از این مشاوران تبلیغاتی با امکانات دوربین‌های شبکه‌ای، باشند.

بعضی مشخصات آژانس‌ها به این طریق روی وب سایت‌ها نمایش داده می‌شوند یا بوسیله رادیو تلویزیون روی وب سایت‌های آنها استفاده می‌شود.

با دادن اطلاعات واضح و آشکار، از طریق چنین سیستمهای به رانندگان، بوسیله سیستمهای معمول درون وسیله نقلیه و یا بوسیله سرویسهای مشاوره‌ای ترافیکی، یک مزیت عمده برای

حمل و نقل حرفه‌ای پدیدار می‌شود و آن این است که رانندگان به درستی مسیر خود را می‌کنند و

این عمل بارگذاری شبکه و در نتیجه زمان‌های سفر را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

این توانایی را می‌توان بصورت تلاش برای تخمین عملکرد رانندگان براساس مکان فعلی آنها

، مبدا - مقصدی که انتخاب مسیر اولیه آنها را معین می‌کند و قواعد تصمیم‌گیری شخص آنها (

که بطور عمده ناشناخته است) ، بیان نمود. بنابراین ، تکنیک‌های زیر ، منتهی به بهینه‌سازی

ترافیک می‌شود.

الف) تخصیص ترافیک پویا

ب) ارزیابی الگوهای مبدا و مقصد از اطلاعات مشاهده شده ، که اهمیت بیشتری دارد.

یک مسئله ، نوع اطلاعات موجود می‌باشد که از آن برای تخمین الگوی مبدا و مقصد استفاده

می‌شود. بعضی فعالیت‌ها فرض کرده‌اند که تنها تعداد ملاحظات ترافیکی موجود می‌باشند که این

اطلاعات را بوجود می‌آورند. بعضی دیگر بر روی « وسایل نقلیه شخصی » متمرکز شده‌اند که

اطلاعات را انتقال می‌دهد و از این طریق مسیر دقیق مشخص می‌شود. البته با استفاده نسبتاً فراگیر

از تلفن‌های همراه ، اطلاعات مسیر ، در ارتباط با وسایل نقلیه را می‌توان از حمل تلفن همراه در

طول زمان بدست آورد. این مطلب در واقع مسئله دیگری را بوجود می‌آورد. چه کسی این

اطلاعات را جمع‌آوری و ارزیابی می‌کند ؟ اگر آن یک شرکت باتجربه باشد ، از قبیل تهیه کننده

تلفن همراه ، این عمل یک مشکل به حساب نخواهد آمد. اما اگر یک آژانس خصوصی باشد ،

آنگاه مشکل دسترسی بخش خصوصی به این اطلاعات ، باید مرتفع شود.

چندین مجموعه از مدل‌ها و خط‌مشی وجود دارند که در آنها ابزار مسیر دهی و

جهت‌یابی با ابزارهای بهینه‌سازی ترکیب می‌شوند.

۳-۶- تخمین ترافیک با استفاده از شناسگرهای مجازی

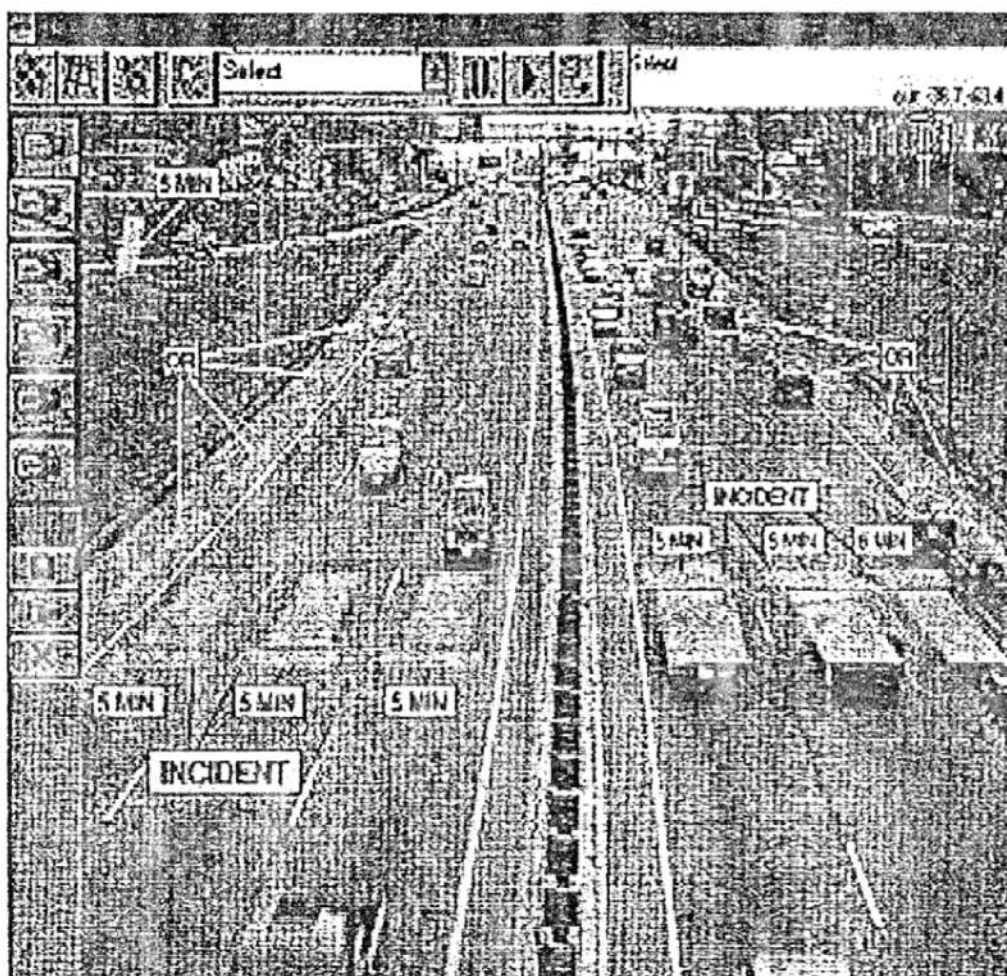
نقطه اتکاء تشخیص ترافیک برای دهه‌های متوالی، تعیین مغناطیسی تعداد وسایل نقلیه، با استفاده از حلقه‌ای بوده که در سطح جاده نصب می‌شده است. در حالیکه این سیستم نسبتاً قابل اعتماد است، منطق آن از نظر پوشش کامل تقاطع، گران است و در تعیین جزئیات مطلوب و مورد نظر (طبقه‌بندی وسایل نقلیه، تعیین سرعت و ...)، ضعف دارد.

جدیدترین ابزار، برای استفاده در یک محدوده وسیع، دوربین مادون قرمز استاندارد است که محدوده را که اغلب یک تقاطع و یا چهارراه است را کاملاً پوشش می‌دهد و به نرم‌افزارهایی متصل است که آشکار سازهای مجازی را ایجاد می‌کند و بوسیله اپراتور برای مشاهده تعداد وسایل نقلیه در نقاط مختلف، تجمع در نقاط مختلف یا محدوده‌ها (شامل محدوده صف اتوبوس) و سرعت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت‌هایی نیز برای طبقه‌بندی وسایل نقلیه، وجود دارد.

با استفاده از چنین ابزاری یک شخص حرفه‌ای در زمینه حمل و نقل می‌تواند، تعداد زیادی آشکار سازهای مکانی را لزوماً بوسیله کشیدن آنها روی بالای تصویر تقاطع و با توجه به نرم‌افزار برای فرآیند آنالیز اطلاعات، معین می‌کند. شکل (۱-۶) را برای مشاهده موقعیت مکانی آشکار ساز، ملاحظه نمایید.

(Auto Scope) یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های ویدئویی می‌باشد. در حال حاضر تعدادی از آنها در جامعه بین‌المللی (ITS) تولید می‌شود. استفاده از تصویربرداری مادون قرمز این امکان را ایجاد می‌کند تا وسایل نقلیه متفاوت، در تنوع شرایط آب و هوایی، تشخیص داده شوند. استفاده

از برنامه‌های پیشرفته ، براساس پوشش‌دهی تصویر کف خیابان ، این امکان را فراهم می‌آورد تا اطلاعات را بتوان همانند حالت در حرکت ، در حالت سکون ترافیک نیز جمع‌آوری کرد. در حال حاضر ، سیستمهای لیزری برای تشخیص ترافیک ، یک تولید جدید در زمینه آشکار سازهای راداری می‌باشند.



شکل (۱-۶): نرم‌افزار شناسگر مجازی (توجه شود که پیش فرض اپراتور برای نشان دادن ، عدد ۶ می‌باشد)

۴-۶- مسیریابی درون وسیله نقلیه و اطلاعات شخصی مسیر

در دهه‌های گذشته، برنامه‌ای برای کامپیوترهای کنار جاده که می‌توانستند با رانندگان ارتباط برقرار کنند و اطلاعات مسیریابی را فراهم آورند، بوسیله اداره بزرگراه فدرال (FHWA)، طراحی شد. اما هزینه نسبتاً بالا و سرعت نسبتاً کم این تکنولوژی، باعث شد این سیستم قابل اطمینان نباشد.

در سالهای اخیر رشد محسوس کامپیوترها و حافظه آنها، با کاهش قابل توجه هزینه‌های مربوطه همراه شده که، سیستمها را انعطاف‌پذیر و قابل کاربرد، نموده است. این ابزار نه تنها بوسیله کامپیوترهای درون جاده‌ای، بلکه بوسیله سیستمهای (GPS) برای مشخص کردن مکان وسیله نقلیه، دسترسی به بانک اطلاعاتی شبکه زمانی راه‌ها (استاتیک یا دینامیک) و محاسبه بهترین مسیریابی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. رانندگان می‌توانند محاسبات را به منظور تعیین بهترین فاصله زمانی و غیره سازماندهی کنند. نمایشگرهای درون وسایل نقلیه، که با دستورات رادیویی همراه می‌شوند به راننده امکان می‌دهند مسیریابی را با جزئیات کامل انجام دهد. امروزه استفاده از چنین ابزاری بویژه برای وسایل نقلیه سنگین بسیار ساده و پیش‌پا افتاده است. بسته‌هایی برای اضافه کردن شکل‌ها به وسایل نقلیه نیز در حال حاضر در بازار وجود دارد.

مجدداً طرح اصولی، تصمیم‌گیریهای ناخودآگاه اشخاص در یک محیط غنی از اطلاعات می‌باشد. این نیروی بازار رقابتی بخش خصوصی است که با انقلابی این سیستمهای ساده را به حرکت در می‌آورد، و آن فروش محصولات است.

پیچیدگی‌ها و مشکلاتی نیز مطرح می‌شود. به عنوان مثال ادعا می‌شود ، چنین ابزارهایی ممکن است توجه رانندگان را تا بالاتر از ۲۰٪ حالت عادی به خود جلب کند و بنابراین به پتانسیل بیشتری برای تصادفات ، منتهی شود.

اما نرم‌افزار مسیریابی و نقشه‌یابی در قالب‌ها و اشکال مختلف ، در درون اتومبیل و یا بصورت‌های دیگر در دسترس می‌باشد. شکل (۲-۶) نقشه و مسیر را روی یک نوت بوک و روی یک وسیله شخصی نشان می‌دهد و این در حالی است که اغلب خوانندگان با مسیریابی با استفاده از نقشه در سایتهای اینترنتی مانند (Yahoo) ، آشنا هستند.



شکل (۲-۶): نقشه و اطلاعات مسیر روی دو وسیله شخصی

۵-۶- ماشین هوشمند

مسئولین عقیده دارند که بازار تجارتي ، یک محرک عمده اختراعات (ITS) خواهد بود ، زیرا فشارهای بازار نیازمند محصولاتی است که بطور متفاوت ساخته می شوند. البته اگر در مدت زمان اندکی ساخته شوند. ترمز ضد قفل شدن (ALB) ، یکی از این محصولات می باشد. راهنمای مسیر درون وسیله نقلیه ، براساس یک بانک اطلاعاتی استاتیک یا پویا ، یک مورد دیگر و بسیار جدید است. با وجود این تاکنون وسیله نقلیه ای با این امکانات برای بررسی امنیت شخصی و ایمنی ، به صورت کامل ، ساخته نشده است. بطور مفهومی ، چنین ماشین مدرنی ، براساس یک برنامه کامپیوتری کنترل و ساخته می شود ، تا مقوله هایی همانند تنظیم سوخت و بازدهی ، توسط آن ، تنظیم شوند. مکانیزمهای کنترل فعال ، با استفاده از حسگرها ، نیاز ایمنی را برآورده می سازند. می توان به سادگی چنین ماشینی زیر را تصور کرد :

- (GPS) و یک ارتباطات (on – board) ، شامل راهنمای مسیر
- کیسه های هوا که با توجه به شدت تصادف ، در سرعت های متفاوت پراز باد می شوند.
- سنسورهای ضد برخورد که در حال حرکت یا در برخورد با موانع یا در حال حرکت به سمت عقب ، به راننده نسبت به احتمالات ترافیکی محیط اطراف ، اطلاعاتی می دهند.
- انتقال اطلاعات با کارایی بیشتر.
- کنترل ضد چپ کردن ، بویژه برای وسایل نقلیه که مرکز ثقل آنها در ارتفاع بالا قرار دارد.
- سیستم های فعال برای تثبیت وسیله نقلیه در گردشها.

• سنسورهایی برای تشخیص لاستیک‌های کم‌باد، و تایرهایی که شکل خود را در حالت کم

باد، حفظ می‌کنند.

• بازدهی سوخت بیشتر، با هدف کاستن خروجیها، از طریق کنترل فعال و سوختهای

مختلف.

خیلی دور از ذهن است که بیان کنیم، خودرو محیط زندگی راننده است، اما تولیدات وسایل

نقلیه و بازار آن براساس این فرضیه استوار است.

۶-۶- حمل بار و مسیریابی بازرگانی

سیستمهای مسیریابی، در مورد حمل بار و خودروهای خدماتی، اهمیت بیشتری می‌یابند. این یک بازار ویژه است، که توانایی دارد با نرم‌افزارهای موجود، مسیرهای طولانی را مسیریابی و مسیرهای شهری را انتخاب کند و با راه‌های پیشنهادی، حتی سیستم حمل بار و تخلیه را مورد توجه قرار دهد، که شامل مسیریابی پویا به عنوان مقوله‌ای جدید نیز می‌شود.

امروزه، برای خدمات تخلیه بسته‌های باری، بسیار ساده است که زمان دقیق تحویل بسته‌های باری را به مشتریان، در مبداء، پیش‌بینی نماید. با استفاده از تکنولوژی بارکد و ارتباطات بی‌سیم، بسته‌ها با جزئیات از مبداء تا مقصد نشانه‌گذاری می‌شوند. در محل تحویل، راننده یک برنامه کامپیوتری را برای ضبط زمان تحویل و بعضی اوقات امضاء دریافت کننده استفاده می‌کند. این اطلاعات در حافظه مجازی برای فرستنده، در دسترس می‌باشند.

بطور آشکار، خدمات تحویل بسته‌های باری، جایگاه متفاوتی پیدا کرد که به سرعت در صنایع رقابتی پذیرفته شد. آنچه که در چندسال گذشته، یک وسیله خاص به شمار می‌رفت در حال حاضر یک استاندارد، برای خدمات شده است. اطلاعات مشابه، به خدمات دهنده امکان می‌دهد تا اطلاعات قابل قبولی را از سودمندی وسایل نقلیه خود و رانندگان، همانند هزینه‌های تحویل در مناطق مختلف، بدست آورد.

۷-۶- جمع‌آوری الکترونیکی عوارض

لازم است تا جمع‌آوری الکترونیکی عوارض (ETC) و کارت هوشمند را به عنوان موضوعات متفاوت (کارت هوشمند در بخش بعد بررسی می‌شود.) ، مورد توجه قرار دهیم ، اما تفاوت این دو موضوع همانطور که زمینه گسترش پیدا می‌کند ، محو می‌شود. مفهوم این کارت بدهی است که باید بدون ارتباط سیمی برای سیستمهای مختلف ترانزیت و همچنین در عوارض جاده‌ای پرداخت شود که بطور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه مردم قرار گرفت و به سرعت در آمریکا و سایر نقاط ، گسترش یافت.

یکی از آشکارترین سیستمهایی که در آمریکا وجود دارد ، سیستم (E - Z pass) است که در تعدادی از حوزه‌های قضایی در نیویورک ، نیوجرسی ، و اخیراً در دلوور استفاده می‌شود. بزرگترین جاذبه آن این است که یک وسیله درون وسیله‌نقلیه می‌تواند برای تسهیلات متعددی استفاده شود ، به طور ساده‌تر می‌توان گفت ، راننده از اینکه چه آژانسی چه امکاناتی را ارائه می‌دهد ، نگرانی ندارد.

تضمین مالیات عمومی نیز البته نشانه راه‌های عوارض ویژه است که تنها (E - Z pass) می‌پذیرد و صف‌های بسیار کمتری نیز دارد. یک مقوله بسیار مهم دیگر عدم شمارش برای استفاده کنندگان کارت است که در مقایسه با عوارضی که در راه‌های استاندارد پرداخت می‌شود ، بسیار راحت‌تر است.

در زمانی که (E - Z pass) معرفی شد ، نگرانی عمده‌ای وجود داشت که آیا جامعه آن را خواهد پذیرفت و از سیستم استفاده خواهد کرد ؟ در سال ۲۰۰۱ ، در حدود ۲ میلیون نفر از

(E – Z pass) استفاده می کردند و به دلیل سرعت های معقولانه در محل پرداخت عوارض - ضرری

که برای تخلفات به وجود می آمد ، جبران می شد.

هنگامی که سیستم (E – Z pass) در نیوجرسی در سال ۲۰۰۰ معرفی شد ، اثر فوری آن

استفاده ۴۰٪ از راه های ویژه بخش محصولات و تعداد بسیار زیادی از استفاده کنندگان در آن ناحیه

بود.

در فلوریدا ، یک سیستم نشانه گذاری که به نام (E – pass) شناخته می شود ، مورد استفاده

قرار می گیرد. مجموعه گسترده ای از تست های عملی با همکاری بخش خصوصی و دولتی تحت

عنوان (آینده تولید سیستم های یکپارچه منطقه ای پرداخت الکترونیکی) با نام اختصاری

(ORANGES) ، انجام شد. این سیستم قصد دارد تا یک سیستم پرداخت الکترونیکی چند حالتی

بدون سیم را ، که شامل عوارض جاده ای ، ترانزیت جاده ای و خدمات پارکینگ می باشد ، تولید

کند. مجموعه متنوعی از سیستم های (ETC) در حال استفاده یا برای فروش وجود دارد که در کل

جهان موجودند و شامل پروژه هایی در اروپا ، برزیل ، کانادا ، استرالیا ، چین ، مالزی و تایلند می -

شوند. سه موضوع از زمان پیدایش سیستم های (ETC) بوجود آمده است :

۱- اطلاعات را می توان از برجسب ها برای تعیین زمان های سفر ، در بخش هایی از جاده و بین

محل اخذ عوارض بدست آورد. اطلاعات یکسان را می توان برای مورد توجه قرار دادن الگوهای

مسیریابی مورد استفاده قرار داد. در حال حاضر ، یکی از استفاده های اطلاعات زمان سفر ، تهیه

تخمین هایی از شرایط فعلی سیستم ، برای مردم می باشد. اما پتانسیل استفاده از برجسب های مشابه

، برای تعیین سرعت نیز وجود دارد. قابلیت بکارگیری مسیریابی ها و دانستن زمانهای شروع به

عنوان اطلاعات شخصی ، سوالاتی را در مورد نحوه اجرای آن ، ایجاد می کند.

۲- یک ایستگاه اخذ عوارض جدید پدیدار می شود در صورتی که محلی به عنوان اخذ

عوارض به شکل فیزیکی وجود ندارد و ضمن اینکه این قابلیت را نیز دارد که سرعت وسایل

نقلیه را ، مشخص کند.

استفاده گسترده از این برچسب ها ، امکان عملی استفاده از قیمت گذاری تراکمی را مهیا

می کند.

۳- اشباع برچسب ها قیمت گذاری تراکمی را قادر می سازد تا بصورت صنعتی امکانپذیر شود.

در واقع ، انتخاب های متعدد ، هم اکنون می توانند در یک کار عمده برای رضایت عامه در استفاده

از این سیستم ها ، به کار گرفته شوند.

۸-۶- کارت هوشمند

سیستمهایی که از کارت هوشمند استفاده می کنند عموماً بصورت بی سیم با استفاده از یک کارت معمولی در حمل و نقل عمومی ، بکار گرفته می شوند. بنابراین باعث می شوند مسافرت ها راحت تر باشند. در نیویورک ، کارت مترو (که شاید تاکنون بطور کامل بصورت یک کارت هوشمند در نیامده است). به استفاده کنندگان این امکان را می دهد که در زمان معینی ، بطور آزاد بین ایستگاه اتوبوس و ایستگاه مترو رفت و آمد کنند. سیستمهای دیگر ، از متغیرهای قیمت گذاری برحسب فاصله و زمان روز ، استفاده می کنند.

همانطور که نشان داده شد ، پروژه (ORANGES) ، استفاده از کارتهای هوشمند را برای حمل و نقل عمومی ، پارکینگ و عوارض جاده ای ، گسترش داده است. هر شخصی باید حداقل به سه کاربرد جالب توجه ، در آینده کارتهای هوشمند ، توجه داشته باشد:

- ۱- فرصتی برای ترغیب استفاده موثر و بی سیم از تمام حالت های حمل و نقل.
- ۲- قابلیت معرفی متغیرهای هزینه ای با زمان روز و با فاصله ، بنابراین حرکت به سمت استفاده وسیع تری از مفاهیم « متغیرهای قیمت گذاری » یا « هزینه استفاده از جاده ».
- ۳- بانک اطلاعاتی سودمندی که ایجاد می شود و پتانسیل برای استفاده از این اطلاعات ، در تعیین آمار ترافیک (حجم ، سرعت ها ، زمان های سفر) و تخمینهای مبداء و مقصد برای استفاده در :

• ساختن الگوهای تاریخی ناشی از فصل ، هوا و شرایط دیگر.

- مشاهده حالت‌ها و تغییرات در الگوهای تاریخی.

- استفاده در طراحی ، برنامه‌ریزی و حتی در اصلاح مسیرهای ترانزیت.

- استفاده همزمان از اطلاعات در مشاوره‌های ترافیکی و کنترل آن و همچنین در واکنش

مقابل حوادث.

۹-۶- قیمت گذاری تراکمی

موضوع عمده قیمت گذاری تراکمی تا اینجا معرفی شده است. در واقع، این موضوع یک واقعیت در طرح های عمده حمل و نقل و جابجایی و دیگر استفاده های جاده ای، در اروپا و مناطق دیگر است. شکل (۳-۶) یک قیمت گذاری تراکمی منطقه ای را که در مرکز لندن برای بکارگیری این ابزار در سال ۲۰۰۳ طراحی شده است، نشان می دهد. موضوع قیمت گذاری تراکمی در آمریکا و مناطق دیگر تحت تاثیر فشارهای سیاسی است که تنها نگران یکسان بودن آن در بین تمامی گروه های استفاده کننده و همچنین دسترسی برابر به تسهیلات و مسیرها، می باشد. در حالی که می توان، یک قیمت گذاری مناسب براساس تقاضا، بطور منطقی ایجاد نمود، موضوعات سیاست عمومی، قابل گسترش نمی باشند. در واقع، حرکت به سمت قیمت گذاری تراکمی که برای مسوولین حیاتی به نظر نمی رسد، توجه عموم را به سمت اهمیت حمل و نقل در اقتصاد و زندگی شخصی آنها، جلب خواهد کرد.

در چند سال گذشته، سوالاتی درباره اهمیت باربری در اقتصاد یک ناحیه، هزینه های واقعی حالت های متفاوت و نواحی ویژه اقتصادی مطرح شده است و در حال حاضر نیز مجدداً مورد توجه قرار گرفته اند و به سرعت در حال بکارگیری می باشند. در این کتاب امکان توضیح روش صحیح رسیدگی به این موضوعات وجود ندارد و این مباحث در آینده مورد بحث قرار می گیرند، اما مهم است که افراد حرفه ای در زمینه حمل و نقل موضوعاتی را که بطور گسترده ای رشد کرده و بخشی از زندگی آنها خواهد شد را، تشخیص دهند.



شکل (۳-۶): قیمت‌گذاری تراکمی منطقه‌ای پیشنهاد شده برای شهروندان

۱۰-۶- تخصیص پویا

مدل‌های سنتی برنامه‌ریزی حمل و نقل، بر پایه تخصیص ترافیک به شبکه‌ها در یک دوره زمانی معین براساس بارهای ترافیکی گذشته، بنا شده‌اند. این مدل‌ها عموماً فرض می‌کنند که سیستم کاملاً موثر است، (هیچ حادثه‌ای وجود ندارد) در حالیکه امکان دارد در بعضی قسمت‌ها، ظرفیت این مدل‌ها به دلیل حوادث و رویدادها محدود باشد. این مدل‌ها همچنین به بعضی ترافیک‌ها این امکان را می‌دهند تا به بیرون دوره طراحی تخصیص داده شوند، البته اگر نتواند وارد شبکه شود.

مسئله چالش‌انگیز در تخصیص پویا: ترافیک در شبکه وجود دارد و حوادث و رویدادها ظرفیت یک یا چند راه ارتباطی را محدود می‌کند. چگونه مسافران خواهند توانست مسیر خود را پیدا کنند در حالیکه به آنها اطلاعات مربوط به گذشته براساس سفرها و مسیریابی‌های قبلی، داده شده است؟ مسافران با این مسئله هر روز برخورد دارند و از تلفنهای بی‌سیم رادیویی، اطلاعات حاصل از سیگنالهای متغیر و ورودیهای دیگر برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. موضوع همراه با تخصیص پویا این است که: چگونه یک مدل این کار را انجام می‌دهد و چگونه این کار را پیش‌بینی می‌کند و چه کسانی این کار را انجام می‌دهند و چه کاری باید انجام دهند؟ برای حل این مسئله نیازمند یک مدل جدید، از مدل‌های مفهومی که تا بحال از نظر سرعت محاسبه‌ای سریع نبوده‌اند اما:

(۱) مسیرهای طراحی شده

(۲) قوانین تصمیم‌گیری بکارگرفته شده بوسیله یک عده از مسافران را مورد توجه قرار

داده‌اند ، می‌باشیم.

مقالات گسترده و مبسوطی در زمینه توسعه و استفاده از چنین مدل‌هایی وجود دارد و مراجع

[۱۱-۱۴] تنها نمونه‌ای از آنها می‌باشند. برای هدف حاضر ، کافی است که بگوئیم چنین

مدل‌هایی مرکز تهیه ابزار اطلاعاتی و پیش‌بینی اثرات جانبی دیگری ، می‌باشند.

۱۱-۶- اجرای قوانین ترافیک

تکنولوژی (ITS)، فرصت‌های قابل توجهی را برای اجرای قواعد ترافیکی و مقررات عبور و مرور و همچنین به تبع آن افزایش ایمنی، فراهم می‌آورد. مراجع هم‌اکنون مجبور به موافقت با استفاده از اطلاعات زمان سفر حاصل از نشانه‌های (ETC) شده‌اند.

یکی از مواردی که در آن این تکنولوژی استفاده شده است، تشخیص وسایل نقلیه‌ای است که از چراغ قرمز عبور می‌کنند. واضح است که این مورد، یک مسئله ایمنی است و هر شخصی باید آن را پذیرفته و به آن عمل کند. ماهیت چنین سیستم‌هایی که هم‌اکنون در مناطق بسیاری استفاده می‌شود، یک دوربین ویدیویی است که هم چراغ را تشخیص می‌دهد و هم سرعت و حرکت وسیله نقلیه را با جزئیات کافی برای گزارش، ضبط می‌کند. سپس جریمه برای صاحب خودرو به سبب عدم رعایت حقوق شهروندی، فرستاده می‌شود.

نمایش دادن شماره اتومبیل به منظور مشخص کردن اتومبیل‌های سرقت شده، اتومبیل‌های بدون پلاک و آنهایی که پلیس به دنبال آنها می‌باشد یک کاربرد دیگری است که موجب ایجاد علاقه در جامعه بین‌المللی نسبت به آن می‌شود. یکی از امتیازات ویژه، استفاده از چنین سیستم‌هایی در چهارراه‌ها می‌باشد. کاربرد دیگر آن، تعیین هزینه‌های استفاده از جاده می‌باشد. گزینه‌های دیگر اجرای این فعالیت عبارتند از:

(۱) نمایش تشعشعی

(۲) وزن در حال حرکت برای معلوم کردن بار روی محور چرخ.

۱۲-۶- حمل و نقل اتوبوس و پارا ترانزیت

کاربردهای (ITS) در ترانزیت اتوبوسی شامل سیستمهای موقعیت یاب وسیله نقلیه ، تقدم چراغ در محل های برخورد ورودی راه های اصلی ، و جمع آوری الکترونیکی عوارض می باشد. ارزش کارت های هوشمند هم اکنون به عنوان یک وسیله ارزشمند در بکارگیری و توانایی استفاده از حمل و نقل ذکر شده است. با رشد تاکید بر حمل و نقل چند کیفیتی ، اتصال و یکنواختی طرح ها برای اتوبوس به مترو و اتوبوس به اتوبوس نیز ، یک مورد مهم می باشد.

شاید اساسی ترین مورد در حمل و نقل چند کیفیتی مفهوم « حداقل مقدار خالص ترانزیت مورد قبول » برای خدمات رسانی به یک ناحیه ، باشد. تنها یک مسیر اتوبوس ، برای ایفای نقش خود ضعیف است ، به دلیل ساده ای که تعداد جفتهای مبدأ - مقصد که می توان به آنها خدمات رسانی کرد محدود می شود و سرویس دهی اغلب غیرمجدوب می شود.

بنابراین ، شیوه پیشنهادی ، استفاده از الگوی مبدأ و مقصد یک منطقه برای تعریف یک نرخ خالص قابل ترانزیت می باشد که از روی آن می توان مسیرهای کافی را پیش بینی نمود ، به گونه ای که سرویس دهی عمومی ، ادامه دار باشد. کیفیت حمل و نقل را در ابتدا ، برحسب اینکه آیا چنین مقدار خالصی وجود دارد یا خیر و سپس برحسب اینکه باعث جذب راننده ها می شود یا خیر ، مشخص می کنند. نقش (ITS) در این شیوه چند برابر کردن و دسته بندی اطلاعات لازم برای ساماندهی طرح ها با استفاده از کارت های هوشمندی است که امکان حمل و نقل با تخفیف را برای مسافرت ها با چند اتوبوس ، فراهم می آورد.

پاراترانزیت معمولاً یک گزینه از شبکه‌های اتوبوس متداول است ، برای هدف مسافرتی یا جفت‌های مبدا و مقصد که نمی‌توانند بطور موثری با مسیرهای ثابت اتوبوس همراه شوند. تکنولوژی (ITS) می‌تواند باعث ترکیب سفرها شود و کرایه‌های متغیر را بر اساس انعطاف‌پذیری سفرها ، ایجاد کند و همچنین زمان‌های سفر را تغییر دهد.

۱۳-۶- بوجود آوردن موضوعات

در خطرات احتمالی که بوسیله وقایع بوجود وقایع می آید ، مسئولین پیشنهاد می کنند که موضوعات زیر ، باید در پیش بینی ها ، آینده مورد توجه قرار گیرند :

۱- بوجود آمدن قیمت گذاری تراکمی بصورت یک دوره تناوب ، که با ورود آن به تکنولوژی (ITS) ، ساختارهای جدیدی ایجاد می شوند. بجز موضوعات تکنولوژیکی ، موضوعات بازار ، اقتصاد و مقدار نیاز نیز ، باید مورد توجه باشند.

۲- نیاز به اطلاعات با کیفیت بالا در مورد مبدا و مقصد ، و توانایی شبکه تلفن همراه برای فراهم آوردن اطلاعات کافی برای سفر ، باعث توجه روی این موضوع و موضوعات خصوصی و شخصی دیگران خواهد شد.

۳- تاکید بر روی مدلهایی که بویژه تصمیم گیری برای زمان خروج و حالت تصمیم گیری مسافران را بیان می کند ، به گونه ای که نمودار تقاضا ثابت نمی شود اما در معرض دانش مسافران از بارگذاری شبکه و هزینه سفر می شود. پیچیدگی این موضوع این است که نمودار تقاضا با تصمیم گیری های که انجام می شود ، متناوباً تغییر می کند.

۴- اولویت ملی در آمریکا بر روی مسایل ضد تروریسمی و امنیتی و همان اولویت در جامعه بین المللی ، اولویتهایی را برای بازرسی و تشخیص تکنولوژی ها به وجود می آورد و طراحی سیستمهای (ITS) را تحت تاثیر ، قرار خواهد داد.

این فصل بطور خلاصه موضوعاتی را مطرح کرد و به آنها پاسخ داد و بعضی جزئیات در مورد سیستمهای ((ITS)) نیز گفته شد. این کار بصورت بین‌المللی انجام می‌شود ، زیرا :

(۱) موضوع مورد نظر به سرعت حرکت می‌کند و هرگونه برداشتی که در حال حاضر وجود دارد باید با تاریخ انتشار متن ، بیان شود.

(۲) موضوع اصلی برای خواننده این است که دیدگاه آن نسبت به خدمات حمل و نقل در یک بازار فوق‌العاده رقابتی که در آن خدمات اینترنتی ، مبادله‌ای و رقابتی به شیوه‌های جدید انجام می‌شود ، گسترش یابد.

موضوع اساسی دیگری نیز برای خواننده وجود دارد که باید به آن توجه کند : بدست آوردن اطلاعات حمل‌ونقل ، ممکن است به سادگی یک نقطه فروش برای سازندگان اتومبیل‌ها ، وسایل نقلیه دیگر ، کامپیوترها ، تلفن‌های همراه ، ابزار اطلاعاتی بی‌سیم و خدمات اینترنتی باشد. یعنی ، موضوع مورد نظر با آنکه بوسیله استفاده کنند ، ارزش‌گذاری می‌شود ، ساخت محصولاتی است که هم جذاب باشد و هم متفاوت باشد (حداقل در یک زمان کوتاه تا زمانی که نسخه‌های رقابتی موفق شوند). از این نظر اطلاعات حمل و نقل به خودی خود نقطه انتهایی نمی‌باشد - دیدگاه تجاری در حرفه ما - اما یک گزینه در گسترش محصول است.

بعلاوه ، رقابت بخش خصوصی نیز ممکن است یک محیط غنی از اطلاعات برای افراد حرفه‌ای در زمینه حمل و نقل بصورت یک محصول جانبی از کار آنها فراهم آورد و در یک گام

ابتکاری که بوسیله آن کار و بازار ، به حرکت در می آید. و این گام در دورتر باعث گام های

تجاری برای طراحی و اختراع و ابداع بخش دولتی و ارزش رقابتی استاندارد کردن می شود.

مسائل :

۶-۱- امکان‌پذیری طراحی یک وب‌سایت را که مشارکت عمومی را برای داشتن چندین مناقصه سرویس خدمات دهی برای مسافرت‌های پارا ترانزیت پیشنهاد می‌کند ، در نظر بگیرید. استفاده کنندگان ممکن است نشان دهند که آنها نیاز دارند فرودگاه با یک بازه زمانی معین و با انعطاف‌پذیری نسبت به زمان مسافرت و در چندین مورد سوار کردن مسافر داشته باشند. استفاده کننده ممکن است همچنین توجه ویژه‌ای به چندین روز یا ساعت داشته باشد. خدمات دهنده‌ها سپس برای مسافرت ویژه یا برای مجموعه‌ای از مسافرت که بوسیله استفاده کننده معین می‌شود به مناقصه گذاشته می‌شوند ، توجه کنید چگونه باید خدمات را بازاریابی کرد ، چه گزینه‌هایی باید برای استفاده کننده فراهم شود و چرا باید این مسئله برای سرویس دهنده جذاب و مهم باشد. یک مقاله که بیش از ۱۰ صفحه باشد برای چنین سیستمی بنویسید.

۲-۶- به قسمت دوم آخرین پاراگراف در این بخش مراجعه کنید و (۱) یک بحث در مورد موضوع گفته شده و (۲) یک مقاله ۵ تا ۱۰ صفحه‌ای برای این موضوع که بوسیله استاد دوره معین می‌شود ، تهیه کنید.

۳-۶- به آخرین پاراگراف این بخش مراجعه کنید و (۱) یک بحث کلامی درباره این موضوع و (۲) یک مقاله ۵ تا ۱۰ صفحه‌ای برای این موضوع که بوسیله استاد دوره معین می‌شود تهیه کنید.

۴-۶- اولین موضوعی که در بخش (۱۳-۶) گفته شد را با توجه به تحقیقات مورد نیاز برای پیشرفت حالت اینکه کجا باید تصمیمات جدید داشته باشیم بیان کنید. این موضوع ممکن است

نیازمند یک مرور مقاله‌ای باشد و بنابراین یک پروژه عمده برای دوره باشد. اما دو خط محدود زمانی - علاقه برای بکارگیری ابزار قیمت‌گذاری تراکمی و تحقیقات پیشرفته برنامه‌ریزی - ممکن است این قضیه را نفی کند.

۵-۶- دومین موضوعی که در بخش (۱۳-۶) گفته شد را با آن نام و با تاکید بر اینکه چه اندازه اطلاعات می‌توان بدست آورد و چگونه این اطلاعات می‌توانند در مسیریابی و الگوریتمهای تخصیص استفاده شوند بیان کنید. در همین زمان، موضوع اولویت و اینکه چگونه اولویت شخصی می‌تواند بطور مطمئنی مورد ارزیابی قرار گیرد را بیان کنید. (۱) یک بحث کلاسی در این زمینه و یا (۲) یک مقاله ۵ تا ۱۰ صفحه‌ای در این زمینه که بوسیله استاد دوره معین می‌شود تهیه کنید.

۶-۶- سومین موضوعی که در بخش (۱۳-۶) گفته شد را با تاکید بر اینکه تا چه اندازه مدل‌های پیشرفته امروزی برای تخصیص پویا به درستی موضوع را بیان می‌کنند تشریح کنید (۱) یک بحث کلاس در این زمینه و یا (۲) یک مقاله ۵ تا ۱۰ صفحه‌ای که بوسیله استاد دوره معین می‌شود، تهیه کنید.

۷-۶- چهارمین موضوعی که در بخش (۱۳-۶) گفته شد را با تاکید بر نیاز بحرانی در مواجهه با محدوده تهدیدها که باید مورد توجه قرار گیرند، بیان کنید. حساب ویژه و منطقی از واقعیتی که عمل خنثی - تشخیص و سپس درمان آن - ممکن است هرگز معقول یا سودمند نباشد، داشته باشید.

	فصل ۷: کاربردهای آمار در مهندسی ترافیک
۳	۷-۱- مروری بر توابع آمار و احتمال
۳	۷-۱-۱- توابع پیوسته و گسسته
۴	۷-۱-۲- وقایع تصادفی و توزیع‌هایی که آنها را تشریح می‌کنند
۵	۷-۱-۳- سازماندهی اطلاعات
۷	۷-۱-۴- برآورد کننده‌های معمول آماری
۷	تعیین شاخص تمرکز
۱۰	اندازه‌گیری پراکندگی
۱۳	۷-۲- توزیع نرمال و کاربردهای آن
۱۴	۷-۲-۱- توزیع نرمال استاندارد
۲۱	۷-۲-۲- ویژگی‌های مهم تابع توزیع نرمال
۲۲	۷-۳- حدود اطمینان
۲۵	۷-۴- محاسبات تعداد نمونه
۲۸	۷-۵- جمع کردن متغیرهای تصادفی
۲۹	یک مسئله نمونه: جمع کردن زمان‌های سفر
۳۰	یک مسئله نمونه: فضای پارکینگ
۳۲	۷-۵-۲- قضیه محدودیت مرکزی
۳۲	مجموع زمان‌های سفر
۳۳	حجم‌های ساعتی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۴	مجموع توزیع‌های نرمال
۳۵	۷-۶- توزیع دوجمله‌ای مربوط شده به توزیع‌های نرمالی و برنولی
۳۵	۷-۶-۱- توزیع دوجمله‌ای و توزیع برنولی
۳۸	۷-۶-۲- سوال پرسیدن از افراد : نتایج مطالعه و بررسی
	۷-۶-۳- توزیع‌های نرمال و دوجمله‌ای
۴۱	۷-۷- Poisson توزیع
۴۳	۷-۸- آزمایش فرضیه
۴۶	کاربرد : کاهش زمان سفر
۴۹	کاربرد : تمرکز روی اختلاف زمان سفر
۵۲	۷-۸-۲- آزمایش‌های قبل و بعد با فرضیه‌های گزینه تعمیم یافته
۵۵	آزمایش یک طرفه در مقابل دو طرفه
۵۵	۷-۸-۳- آزمایش‌های مفید آماری دیگر
۵۹	آزمون F
۶۲	اختلاف‌های جفت شده
۶۴	آزمون Chi - Square : قضیه‌ای در مورد توزیع منطقی $f(x)$
۷۰	۷-۹- خلاصه و راهنمایی
۷۱	مسائل

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۴	شکل (۷-۱): توزیع نرمال
۱۸	شکل (۷-۲): انتقال توزیع نرمال به توزیع نرمال استاندارد
۳۷	شکل (۷-۳): نتایج توزیع دوجمله‌ای برای $N = ۸$ و $P = ۰/۲۵$
۳۹	شکل (۷-۴): توزیع دوجمله‌ای برای $N = ۲۰$ و $P = ۰/۲۵$
۴۰	شکل (۷-۵): توزیع برای N های بزرگ و P های کوچک
۴۴	شکل (۷-۶): α و β برای برنامه تست خودروها
۴۷	شکل (۷-۷): شکل Y برای یک یا هر دو فرض
۵۱	شکل (۷-۸): شکل Y وقتی روی تفاوت‌ها تمرکز شود.
۵۳	شکل (۷-۹): آزمایش فرض برای هر دو حالت فرض

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۶	جدول (۷-۱) : جدول توزیع فراوانی قد دانشجویان کلاس ۱۰۱ مهندسی بر حسب متر
۷	جدول (۷-۲) : جدول توزیع فراوانی قد دانشجویان کلاس ۱۰۱ مهندسی بر حسب متر
۱۶	جدول (۷-۳) : به مقادیر جدول بندی شده توزیع نرمال استاندارد
۳۸	جدول (۷-۴) : احتمال جدول بندی شده به ازای $N = ۸$ و $P = ۰/۲۵$ در توزیع دوجمله‌ای
۴۲	جدول (۷-۵) : یک توزیع پواسون با $m = ۵$
۵۸	جدول (۷-۶) : درصد نقاط بالای توزیع (t)
۶۱	جدول (۷-۷) : درصد تقاطع بالای توزیع f
۶۳	جدول ۷-۸ : مثال منفعت استفاده از تست زوج را نشان می‌دهد
۶۵	جدول (۷-۹) : اطلاعات قد نمونه برای آزمون Chi-Squares
۶۶	جدول (۷-۱۰) : محاسبه x^2 برای مسئله نمونه
۶۹	جدول (۷-۱۱) : درصد نقاط بالای توزیع Chi-Square

فصل ۷: کاربردهای آمار در مهندسی ترافیک

از آنجایی که مهندسی ترافیک درگیر جمع‌آوری و آنالیز مقادیر زیادی اطلاعات برای انجام انواع محاسبات ترافیکی است، آشکاراست که آمار، یک جزء مهم در مهندسی ترافیک می‌باشد. آمار به ما کمک می‌کند که بدانیم چه مقدار اطلاعات لازم است و همچنین چه مقوله‌هایی را می‌توانیم براساس این اطلاعات بدست آوریم.

در واقع هرکجا که مشاهده مستقیم یا اندازه‌گیری تمام مقادیر مورد نظر امکانپذیر نباشد، آمار مورد نیاز است. اگر در یک اتاق ۱۰۰ نفر وجود داشته باشند، وزن متوسط این افراد را می‌توان با دقت ۱۰٪ بوسیله وزن کردن هر یک از آنها و محاسبه متوسط آنها تعیین نمود. اما این مسئله در ترافیک اغلب غیر ممکن است. اگر مهندس ترافیک نیاز داشته باشد، سرعت متوسط تمام وسایل نقلیه را در بخش معینی از جاده بداند، نمی‌تواند سرعت تمام وسایل نقلیه را، تعیین کند.

حتی اگر تمام سرعت‌ها را بتوان در یک دوره زمانی معین اندازه‌گیری کرد (که در اغلب موارد کار بسیار مشکلی است)، سرعت‌های وسایل نقلیه‌ای که قبل یا بعد از دوره مطالعه یا در یک روز دیگر به غیر از روز به آن بخش از جاده وارد می‌شوند، در این نمونه‌برداری، مشخص هستند. در واقع مهم نیست که چه تعداد سرعت اندازه‌گیری می‌شود، زیرا همیشه تعداد بیشتری از آنچه که اندازه‌گیری می‌شود، وجود دارند. برای تمام مقاصد عملی و آماری، تعداد وسایل نقلیه‌ای که بخش معینی از جاده را در یک زمان استفاده می‌کنند، نا محدود است.

به این دلیل، مهندس ترافیک اغلب ویژگی‌های یک نمونه محدود از وسایل نقلیه را در یک مجموعه نامحدود از وسایل نقلیه، مشاهده و اندازه‌گیری می‌کند. علم آمار برای تخمین

ویژگیهایی که نمی‌توان دقیقاً معین نمود و برای ارزیابی میزان درجه اطمینان ، استفاده می‌شود.

وقتی این بدین طریق عمل می‌شود ، آنالیز آماری برای پاسخ دادن به سوالات زیر استفاده می‌شود:

- چه تعداد نمونه لازم است ؟ (یعنی چه تعداد اندازه‌گیریهای جداگانه باید انجام شود ؟)

- چه درجه اطمینانی در این تخمین وجود دارد ؟ (یعنی ، چگونه می‌توانیم مطمئن باشیم که

این نمونه‌های اندازه‌گیری شده ، همان ویژگیهای تمام مجموعه را دارند ؟)

- کدام توزیع آماری به بهترین وجه ، اطلاعات مشاهده شده را ، به صورت ریاضی بیان

می‌کند ؟

- آیا طرح مهندس ترافیک ، باعث تغییر در مشخصات ترافیک می‌شود ؟ (برای مثال یک

محدوده سرعت جدید ، باعث کاهش سرعتها می‌شود ؟)

در این بخش ، تکنیکهای آماری استفاده شده در پاسخ به این سئوالات کلیدی توضیح داده

می‌شوند و بعضی مثالهای معمول استفاده آنها در ترافیک ، ارائه می‌شوند. با این حال این ، فصل ،

جایگزین کلاس‌های آشنایی با آمار ، نمی‌باشد. برای آشنایی با بعضی به مراجع پایه‌ای ، منابع

[۱-۴] را ملاحظه کنید. به عنوان یک منبع اطلاعاتی دیگر که آزمایشات آماری را نشان می‌دهد ،

مرجع [۵] را ببیند. مروری که در ادامه می‌آید ، با این فرض است که هم :

(۱) دانشجویان کلاس آمار را ، گذرانده‌اند یا

(۲) متن به اندازه کافی موضوع را ، توضیح می‌دهد.

۷-۱- مروری بر توابع آمار و احتمال

قبل از تشریح بعضی از کاربردهای پیچیده آمار در مهندسی ترافیک ، بعضی از مفاهیم آمار و احتمال ، مرور می شود.

۷-۱-۱- توابع پیوسته و گسسته

توابع گسسته از متغیرهای گسسته ساخته می شوند ، که تنها می توانند مقادیر خاصی را بپذیرند و نمی توانند هر مقداری را بین آن مقادیر ، داشته باشند. توابع پیوسته از متغیرهای پیوسته تشکیل می شوند و می توانند هر مقداری بین دو مقدار داده شده را نیز ، داشته باشند. برای مثال اگر (N) تعداد فرزندان یک خانواده باشد ، (N) می تواند برابر ۱ ، ۲ ، ۳ و غیره باشد. اما نمی تواند $۱/۵$ ، $۱/۶$ یا $۲/۳$ باشد. بنابراین این یک متغیر گسسته است. اگر (H) قد یک شخص باشد ، (H) می تواند برابر $۱/۵۲$ ، $۱/۶۸$ و ۲ متر باشد و بنابراین یک متغیر پیوسته است.

مثال هایی از توابع احتمال گسسته ، توزیع های پواسون^۱ ، دوجمله ای^۲ و برنولی^۳ می باشند که در بخش های بعدی توضیح داده خواهند شد. مثال هایی از توابع پیوسته توزیع های نمایی^۴ و نرمال^۵ می باشند.

^۱ - Poisson Distribution

^۲ - Binomial Distribution

^۳ - Bernoulli Distribution

^۴ - Exponential Distribution

^۵ - Normal Distribution

۲-۱-۷- وقایع تصادفی و توزیع‌هایی که آنها را تشریح می‌کنند

بعضی وقایع بسیار قابل پیش‌بینی هستند یا باید قابل پیش‌بینی باشند. اگر شما جرمی را به یک فنر وصل کنید، یا نیرویی را به تیری وارد کنید، انتظار دارید که به یک اندازه قابل پیش‌بینی تغییر شکل دهند. اگر شما پدال گاز را تا مقدار معینی فشار دهید، انتظار دارید که بتوانید سرعت وسیله نقلیه را به مقدار دلخواه، تغییر دهید. از طرف دیگر، بعضی وقایع ممکن است کاملاً تصادفی باشند. انتشار ذره دوم از یک ماده رادیواکتیو کاملاً اتفاقی می‌باشد.

بعضی وقایع ممکن است مکانیزم بسیار پیچیده‌ای داشته باشند و برای تمام مقاصد عملی، اتفاقی به نظر برسند. در بعضی موارد، اصولاً نمی‌توان مکانیزمی را معین نمود. در حالیکه در موارد دیگر نمی‌توانیم هزینه یا زمان لازم را برای بررسی را، فراهم آوریم. سوالی را در مورد اینکه در انتهای تقاطع با پل، چه کسی به سمت شمال و چه کسی به سمت جنوب گردش می‌کند را، در نظر بگیرید. اغلب اوقات، به سادگی می‌گوئیم احتمال (P) وجود دارد که یک وسیله نقلیه به سمت شمال گردش کند و خروجی را به صورت یک واقعه اتفاقی، پردازش می‌کنیم. با این حال اگر مطالعه کنیم که چه کسی رانندگی هر ماشین را برعهده دارد و هر راننده کجا کار می‌کند، انتظار داریم که یک واقعه قابل پیش‌بینی را، برای هر شخص و برای هر خودرو، تخمین بزنیم. در واقع، اگر سابقه‌ای از پلاک‌های آنها و تصمیمات گذشته آنها موجود باشد، می‌توانیم تخمین‌های بسیار قریب به یقین را، اتخاذ نماییم. وقایع، در یک مقیاس وسیع، اتفاقی نیستند. این موضوع آنقدر ارزش ندارد که به خاطر آن دچار زحمت شویم زیرا فرضیات اتفاقی برای ما به اندازه کافی خوب عمل می‌کنند. البته، این یک مسئله مهندسی است:

سیستم را تا هر اندازه که امکان دارد به سادگی برای تمام اهداف عملی مدل سازی کنید.

آلبرت انیشتن اولین کسی بود که عنوان کرد : « اشیاء را تا هر اندازه که ممکن است ساده بسازید اما نه ساده تر ». در واقع ، با سرمایه ای که ما پیشنهاد می کنیم ، تعدادی از کارها بصورت اتفاقی برای تمام مقاصد عملی ، مدل سازی می شوند. اغلب اوقات ، این قضاوت ها بسیار خوب است و بسیار معقول ، اما مانند هر قضاوت مهندسی دیگر ، ممکن است بعضی اوقات اشتباهاتی بوجود آورد.

۳-۱-۷- سازماندهی اطلاعات

هنگامی که اطلاعات برای استفاده در مطالعات ترافیکی جمع آوری می شود ، اطلاعات خام را می توان بصورت اجزاء جداگانه اطلاعاتی یا بصورت گروه بندی شده در دسته های اطلاعاتی ، برای بررسی های ساده تر ، مورد توجه قرار داد. اغلب اطلاعات با یک توزیع متداول برآزش می شوند. بعضی از توزیع های متداول که در مهندسی ترافیک یافت می شوند عبارتند از :توزیع نرمال ، توزیع نمایی ، توزیع برنولی ، توزیع دوجمله ای و توزیع پواسون.

به عنوان اقدام اولیه در تعیین توزیع مناسب اطلاعات ، اطلاعات خام را باید طبقه بندی نمود و جدول توزیع فراوانی را تهیه کرد. (اغلب اطلاعات حتی بدون ضبط نقاط اطلاعاتی ، جمع آوری می شوند.)

این باعث می شود اطلاعات راحت تر قابل خواندن باشد و درک آن نیز راحت تر باشد. جدول (۷-۱) را در نظر بگیرید ، که اطلاعات سازماندهی نشده از قد برحسب متر را ، برای ۱۰۰

دانشجو ، در کلاس ۱۰۱ مهندسی ، نشان می‌دهد. شما می‌توانید اطلاعات را در هر قالب رشته‌ای که بخواهید وارد کنید که به معنی فهرست‌بندی اطلاعات بطور منظم ، از کمترین قد تا بیشترین یا از بیشترین تا کمترین ، می‌باشد. این کار به شما درکی صحیح ، برای مشخص کردن اطلاعات می‌دهد. اما هنوز خیلی سودمند نیست ، به ویژه هنگامی که تعداد زیادی نقاط اطلاعاتی وجود داشته باشد.

جدول (۷-۱) : جدول توزیع فراوانی قد دانشجویان کلاس ۱۰۱ مهندسی برحسب متر

۱،۷۳	۱،۸۸	۱،۶۱	۱،۷۸	۱،۷۷	۱،۶۰	۱،۸۵	۱،۸۵	۱،۷۱	۱،۵۸
۱،۷۳	۱،۶۸	۱،۸۸	۱،۷۱	۱،۶۴	۱،۶۸	۱،۷۱	۱،۶۳	۱،۷۰	۱،۸۳
۱،۵۶	۱،۷۸	۱،۷۲	۱،۵۴	۱،۷۸	۱،۷۰	۱،۷۹	۱،۷۰	۱،۵۵	۱،۶۸
۱،۷۱	۱،۷۳	۱،۶۵	۱،۶۸	۱،۶۰	۱،۷۷	۱،۶۴	۱،۷۱	۱،۷۳	۱،۷۱
۱،۷۹	۱،۷۶	۱،۷۶	۱،۸۰	۱،۷۲	۱،۶۹	۱،۷۶	۱،۶۸	۱،۶۸	۱،۸۸
۱،۶۴	۱،۷۲	۱،۷۳	۱،۷۰	۱،۷۵	۱،۶۲	۱،۵۷	۱،۸۴	۱،۷۱	۱،۶۴
۱،۷۳	۱،۶۳	۱،۵۷	۱،۷۰	۱،۷۸	۱،۷۶	۱،۷۱	۱،۷۱	۱،۸۷	۱،۷۰
۱،۷۰	۱،۷۳	۱،۷۵	۱،۷۸	۱،۶۲	۱،۶۸	۱،۸۰	۱،۶۰	۱،۶۳	۱،۶۸
۱،۷۵	۱،۶۲	۱،۶۹	۱،۷۱	۱،۶۹	۱،۷۵	۱،۶۴	۱،۷۳	۱،۷۶	۱،۷۶
۱،۷۱	۱،۷۰	۱،۷۹	۱،۶۳	۱،۸۰	۱،۷۹	۱،۷۰	۱،۷۸	۱،۷۰	۱،۸۰

روش بهتر این است که ، اطلاعات را به دسته‌های تعریف شده تقسیم‌بندی و آن را بصورت

یک جدول توزیع فراوانی ، همانند جدول (۷-۲) نمایش داد.

با وجود اینکه جزئیات نقاط اطلاعاتی از بین می‌رود ، دسته‌بندی اطلاعات وضوح بیشتری به

ویژگی‌های اطلاعات می‌دهد و از این توزیع فراوانی می‌توان نمودار هیستوگرام فراوانی ، توزیع

فراوانی ، توزیع نسبی فراوانی و توزیع فراوانی تراکمی را رسم کرد.

جدول (۷-۲): جدول توزیع فراوانی قد دانشجویان کلاس ۱۰۱ مهندسی بر حسب متر

تعداد مشاهدات	گروه‌های قد (متر)
۵	۱/۵۲ - ۱/۵۷
۱۸	۱/۵۸ - ۱/۶۶
۴۲	۱/۶۷ - ۱/۷۴
۲۷	۱/۷۵ - ۱/۸۱
۸	۱/۸۲ - ۱/۸۸

۷-۱-۴- برآورد کننده‌های معمول آماری

در برخورد با یک توزیع، دو پارامتر ویژه، وجود دارند. این دو پارامتر در بخشهای زیر مورد بحث قرار می‌گیرند.

تعیین شاخص تمرکز^۱

اندازه‌گیریهای شاخص تمرکز، روش‌هایی متفاوت را، برای تعیین مرکز اطلاعات، تشریح می‌کنند. میانگین حسابی^۲، متوسط تمام اطلاعات مشاهده شده است. میانگین جمعیت، μ ، یک عدد دقیق است که ما نمی‌دانیم اما می‌توانیم بصورت زیر تخمین بزنیم:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (7-1)$$

که در آن:

\bar{X} : میانگین حسابی یا متوسط مقادیر مشاهده شده است.

x_i : مقدار i امین آماری

^۱ - Central Tendency

^۲ - The Arithmetic Mean

N : اندازه نمونه ، یا به عبارتی دیگر ، تعداد مقادیر x_i است.

به مثال زیر توجه کنید :

مقدار میانگین را برای سرعتهای نمونه زیر برحسب (km/h) ، تعیین کنید :

(۵۵ ، ۸۹ ، ۶۳ ، ۶۶ ، ۸۴ ، ۱۰۱ ، ۶۶ ، ۸۵)

با استفاده از معادله (۷-۱) :

$$\bar{x} = \frac{1}{8} (۵۵ + ۶۶ + ۱۰۱ + ۸۴ + ۶۶ + ۶۳ + ۸۹ + ۵۵) = ۷۶/۱۳$$

از آنجایی که اطلاعات اصلی تا دو رقم اعشار ، با دقت دارد ، جواب صحیح تر $۷۶ \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$

است.

برای اطلاعات دسته بندی شده ، مقدار متوسط تمام مشاهدات در یک گروه معین ، بصورت

نقطه میانی گروه ، در نظر گرفته می شود. میانگین کل نمونه ، بصورت زیر نمایش داده می شود :

$$\bar{x} = \frac{\sum_j f_j m_j}{N} \quad (۷-۲)$$

که در آن :

$$F_j = \text{تعداد مشاهدات در گروه } j$$

$$m_j = \text{مقدار میانی متغیر در گروه } j$$

$$N = \text{تعداد کل مشاهدات.}$$

برای اطلاعات قد ، که در جدول (۷-۲) داده شده است :

$$\bar{x} = \frac{۱/۵۴۵(۵) + ۱/۶۲۰(۱۸) + ۱/۷۰۵(۴۲) + ۱/۷۸۰(۲۷) + ۱/۸۵(۸)}{۱۰۰} = ۱/۷۱ \text{ (m)}$$

میانۀ^۱، مقدار میانی اطلاعات است زمانی که بصورت یک رشته مرتب شوند (بصورت نزولی با صعودی). نقطه میانه، توزیع را به دو نیم تقسیم می کند: یعنی نیمی از تمام مقادیر مشاهده شده بزرگتر از مقدار میانه و نیمی دیگر کوچکتر از آن می باشند. برای اطلاعاتی که گروه بندی نشده اند، مقدار مشاهده میانی، میانه است. برای مثال برای مجموعه اعداد (۸ و ۷ و ۷ و ۶ و ۵ و ۵ و ۴ و ۳)، میانه ۶ است. به عبارتی، عدد پنجم (بر حسب سیر صعودی یا نزولی) در یک رشته ۹ تایی اعداد، میانه است. برای اطلاعات گروه بندی شده، راحت ترین روش برای بدست آوردن میانه، مشاهده نقطه مقابل ۵۰٪ از منحنی توزیع فراوانی تجمعی است. (بخش ۹ را ملاحظه نمایید).

مد^۲، مقداری است که با بیشترین تناوب اتفاق می افتد، یعنی متداول ترین مقدار. برای مثال، در اطلاعات دسته بندی نشده برای اعداد (۸ و ۷ و ۷ و ۷ و ۶ و ۵ و ۵ و ۴ و ۳)، مد برابر عدد ۷ است. برای مجموعه اعداد (۹ و ۸ و ۸ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۵ و ۴ و ۳ و ۳)، مد هر دو عدد ۵ و ۸ می باشد. به این دسته از اعداد، دو مده گویند. برای اطلاعات دسته بندی شده، قله منحنی توزیع فراوانی، برابر مد می باشد. (فصل ۹ را ملاحظه کنید).

برای یک توزیع کاملاً متقارن، مقدار میانگین، میانه و مد برابر خواهند بود.

^۱ - Median

^۲ - Mode

اندازه گیری پراکندگی^۱

میزان پراکندگی ، پارامتری است که نشان می دهد تا چه اندازه اطلاعات از مرکز آن ، پراکنده می شوند. واریانس^۲ و انحراف از معیار^۳ مقادیری هستند که مقدار انحراف از مقدار متوسط نشان می دهند. واریانس بصورت زیر تعریف می شود :

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad (7-3)$$

که در آن :

$$S^2 = \text{واریانس اطلاعات}$$

$$N = \text{تعداد مشاهدات.}$$

متغیرهای دیگر به همان شکل سابق ، تعریف می شوند.

انحراف از معیار ، ریشه دوم واریانس است. از معادله مشخص است که ، آنچه اندازه گیری می شود ، فاصله هر داده از مقدار متوسط است. این معادله را می توان (برای راحتی استفاده) بصورت زیر نیز نوشت :

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\frac{N}{N-1} \right) \bar{x}^2 \quad (7-4)$$

برای اطلاعات دسته بندی شده ، انحراف معیار بصورت معادله زیر مطرح می شود :

$$S = \sqrt{\frac{\sum f m^2 - N(\bar{x})^2}{N-1}} \quad (7-5)$$

¹ - Dispersion

² - Variance

³ - Standard Deviation

که در آن تمام متغیرها، قبلاً تعریف شده‌اند. انحراف از معیار (STD) را می‌توان بصورت زیر

نیز، تعیین کرد :

$$S_{est} = \frac{P_{85} - P_{15}}{2} \quad (7-6)$$

که در آن :

P_{85} = هشتاد و پنجمین درصد توزیع (یعنی ۸۵٪ از کل اطلاعات برابر این مقدار یا کمتر از

آن هستند.)

P_{15} = پانزدهمین درصد توزیع (یعنی ۱۵٪ از کل اطلاعات برابر این مقدار یا کمتر از آن

هستند.)

X امین درصد، بصورت مقادیری تعریف می‌شوند که برابر یا کمتر از آن x درصد از

اطلاعات قرار می‌گیرند. P_{85} ، هشتاد و پنجمین درصد است که معمولاً در مطالعات سرعت

ترافیک، استفاده می‌شود. این سرعتی است که ۸۵٪ از وسایل نقلیه دارند. P_{50} پنجاهمین درصد

سرعت یا میانه می‌باشد.

ضریب تغییرات^۱، نسبت انحراف معیار به مقدار میانگین است و میزانی از پراکندگی

اطلاعات، نسبت به مقدار میانگین می‌باشد. توزیع یا شکل منحنی اطلاعات، موضوع جالب‌تری

است. آیا بصورت نرمال است؟ نمایی است؟ اما یک مهندس علاقه‌مند است توزیع را به شکل

یک خط، داشته باشد. عدم تقارن بصورت $\left[\frac{(\text{مد} - \text{میانه})}{\text{انحراف معیار}} \right]$ ، تعریف می‌شود. اگر یک توزیع به

سمت ناحیه منفی نامتقارن باشد، به این معنی است که بیشتر اطلاعات در سمت چپ تمرکز

^۱ - Coefficient of Variation

دارند (یعنی مد). وقتی توزیع به سمت مثبت منحرف باشد ، اطلاعات سمت راست مد متمرکز می شوند. مهندس باید به دنبال دلایل منطقی و اساسی برای عدم تقارن در یک توزیع ، باشد. برای نمونه ، یک توزیع به صورت عدم تقارن منفی ، ممکن است مشکلی را به عنوان فاصله دید ناکافی یا شرایط پوششی جاده ، یعنی موانعی برای رانندگان ، نشان دهد که باعث می شود رانندگان از انتخاب سرعت های بالاتر پرهیز کنند.

۷-۲- توزیع نرمال^۱ و کاربردهای آن

یکی از متداول‌ترین توزیع‌های آماری، توزیع نرمال است که با خواص منحنی زنگوله‌ای شکل آن، شناخته می‌شود. (شکل (۷-۱) را ملاحظه کنید.) توزیع نرمال یک توزیع پیوسته است.

احتمال وقوع بصورت سطح زیر تابع دانسیته احتمال $f(x)$ ، بین مقادیر معین، مانند

$P(40 < x < 50)$ داده می‌شود. معادله تابع توزیع نرمال بصورت زیر می‌باشد:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (7-7)$$

که در آن:

x = آمارهایی که بصورت نرمال توزیع شده‌اند.

μ = مقدار میانگین واقعی توزیع

σ = انحراف معیار توزیع و

$$\pi = 3.14$$

احتمال وقوع هر یک از اتفاقات بین مقادیر x_1 و x_2 ، بصورت سطح زیرمنحنی توزیع بین دو مقدار، عنوان می‌شود. این سطح را می‌توان توسط انتگرال‌گیری بین دو مقدار بدست آورد. به همین ترتیب، مقدار میانگین، μ ، واریانس، σ^2 ، را می‌توان توسط انتگرال‌گیری بدست آورد. توزیع نرمال معمول‌ترین توزیع است. زیرا هر فرآیندی که مجموع قسمتهای متعددی باشد، تمایل دارد بصورت نرمال توزیع شود. سرعت، زمان سفر و تاخیر همگی بطور معمول با استفاده

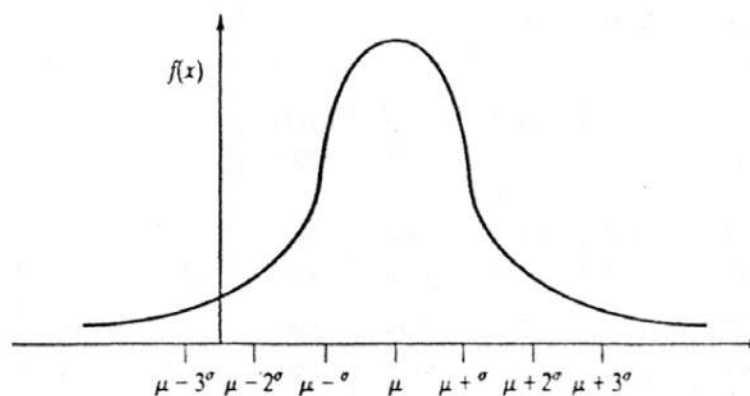
^۱ - Normal Distribution

از توزیع نرمال تشریح می‌شوند. این تابع با دو پارامتر بطور کامل تشریح می‌شود: مقدار میانگین و واریانس. تمام مقادیر دیگر در معادله (۷-۷)، شامل π ، ثابت هستند. معرفی ریاضی توزیع نرمال، بصورت $x : N[\mu, \sigma^2]$ می‌باشد که به معنی این است که متغیر x با میانگین μ و انحراف σ^2 ، توزیع شده است.

۷-۲-۱- توزیع نرمال استاندارد

برای توزیع نرمال، عمل انتگرال‌گیری را نمی‌توان با دقت خوب با توجه پیچیدگی معادله برای $f(x)$ ، انجام داد. بنابراین جدول‌هایی برای توزیع نرمال استاندارد بین میانگین صفر ($\mu=0$) و واریانس واحد ($\sigma^2=1$) تهیه شده است.

جدول (۷-۳) مقادیر جدول‌بندی شده توزیع نرمال استاندارد را، نشان می‌دهد. نرمال استاندارد، بصورت $z : N[0,1]$ نمایش داده می‌شود. هر مقدار x روی هر توزیع نرمال که بصورت $x : N[\mu, \sigma^2]$ نمایش داده می‌شود را، می‌توان به یک مقدار معادل Z روی توزیع نرمال استاندارد تبدیل کرد.



شکل (۷-۱): توزیع نرمال

این عمل را می‌توان هر جا که لازم باشد، بصورت معکوس نیز انجام داد. تبدیل یک تابع توزیع نرمال دلخواه با مقدار x به یک مقدار متناظر z روی توزیع نرمال استاندارد بصورت زیر انجام می‌شود:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (7-8)$$

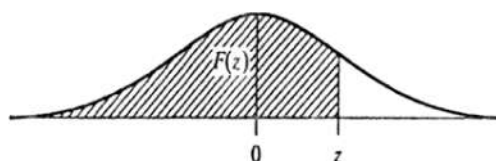
که در آن:

Z = آمار متناظر روی تابع نرمال استاندارد

x = آمار روی توزیع نرمال دلخواه

و متغیرهای دیگر، همانطور که قبلاً توضیح داده شده‌اند، در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۷-۳) : به مقادیر جدول بندی شده توزیع نرمال استاندارد

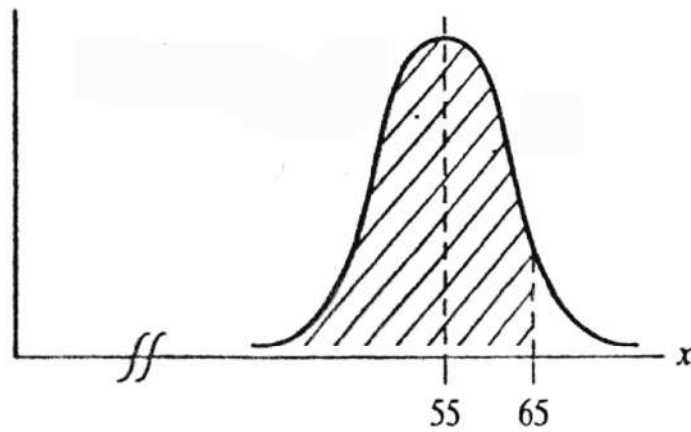


$$F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

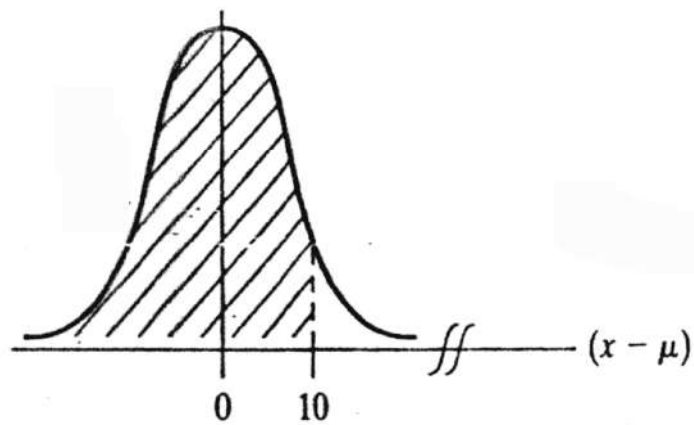
z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6661	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6913	.6950	.6985	.7019	.7054	.7083	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9432	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9658	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9812	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9854	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

شکل (۷-۲) ، تبدیل یک توزیع از سرعت را ، که مقدار میانگین آن $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۵۵ و انحراف

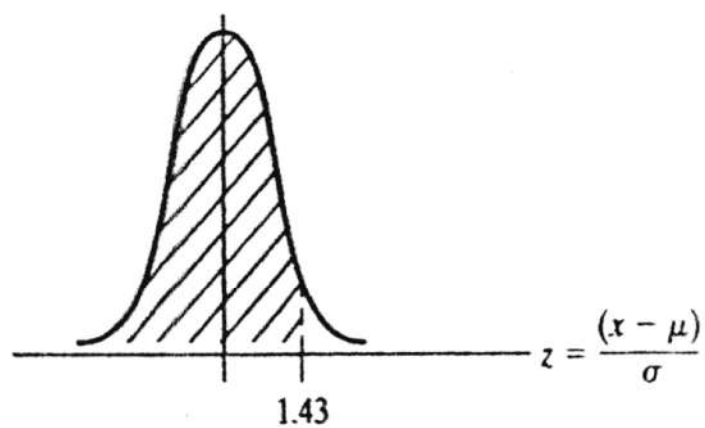
معیار آن $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۷ می باشد را به مقادیر متناظر z ، نشان می دهد.



الف (مسئله مشخص شده با توزیع نرمال



ب (محور منتقل می شود به میانگین صفر



ج (محور به ازای $N(0,1)$ درجه بندی می شود.

شکل (۷-۲) : انتقال توزیع نرمال به توزیع نرمال استاندارد

به مثال زیر توجه کنید.

برای توزیع سرعت شکل (۷-۲) ، $x : N[55, 49]$ چه احتمالی وجود دارد که سرعت بعدی

مشاهده شده کمتر از $65 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ باشد ؟

مقیاس محور x را همانطور که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است ، تغییر دهید. معادله

متناظر برای توزیع نرمال استاندارد $Z : [0,1]$ با استفاده از معادله (۷-۸) مشخص می شود :

احتمال اینکه مقدار بعدی z کمتر باشد بصورت زیر است :

$$z = \frac{65 - 55}{7} = 1.43$$

با استفاده از جدول (۷-۳) در محور عمودی عدد $1/4$ و در محور افقی عدد 3% انتخاب

می شود احتمال اینکه z کمتر از 1.43 باشد ، برابر 0.9236 یا 92.36% می باشد.

نوع دیگری از کاربرد ، مورد فوق ، به شکل زیر متداول است. برای مسئله ای که بیان شد ،

چه احتمالی وجود دارد که سرعت وسیله نقلیه بعدی بین ۵۵ تا ۶۵ کیلومتر در ساعت باشد ؟

احتمال اینکه سرعت کمتر از ۶۵ کیلومتر در ساعت باشد محاسبه شد. حال می توانیم احتمال

اینکه سرعت کمتر از ۵۵ کیلومتر در ساعت باشد ، را نیز پیدا کنیم ، که معادل $z = \frac{55 - 55}{7} = 0$

می باشد به گونه ای که احتمال وقوع دقیقاً 0.5 یا 50% است.

احتمال اینکه این مقدار بین ۵۵ تا ۶۵ باشد ، دقیقاً اختلاف دو احتمال است $(0.9236 - 0.5)$

که برابر 0.4236 یا 42.36% می باشد. در یک روش مشابه ، با استفاده از روش معمولی و استفاده از تقارن

می‌توان احتمال وقوع کمتر از $0/5$ را، حتی با اینکه در جدول ذکر نشده‌اند، مستقیماً از شکل (۷-۲) بدست آورد.

برای مدلی که در بالا بیان شد، احتمال اینکه سرعت وسیله نقلیه بعدی کمتر از 50 کیلومتر در ساعت باشد را پیدا می‌کنیم. با انتقال محور Z ، می‌خواهیم احتمال اینکه مقدار کمتر از

$$\frac{50-55}{7} = -0/71 \text{ باشد را، پیدا کنیم. مقادیر منفی } Z \text{ در جدول (۷-۳) داده نشده‌اند.}$$

اما با استفاده از تقارن می‌توان دید که منطقه هاشورزده مورد نظر، به همان اندازه‌ای است که ناحیه بزرگتر از $0/71$ می‌باشد. بنابراین، می‌توانیم تنها ناحیه هاشورزده کمتر از $0/71$ را پیدا کنیم (که برابر $0/746$ است) با این حال، دانستن اینکه مجموع مقدار ناحیه زیر منحنی برابر یک است، منطقه باقیمانده (یعنی مقدار مورد نظر) برابر با $(0/2389 = 1 - 0/7611)$ یا $0/2389$ است.

از این شکل‌ها سه مورد مهم استنباط می‌شود:

- (۱) تبدیل مقادیر از یک توزیع نرمال دلخواه به یک توزیع نرمال استاندارد
- (۲) استفاده از توزیع نرمال استاندارد برای مشخص کردن احتمال وقوع یک اتفاق
- (۳) استفاده از شکل (۷-۲) برای یافتن احتمال وقوع هم کمتر از مقادیر مثبت و هم مقادیر منفی Z و هم بین مقادیر معین شده Z .

۲-۲-۷- ویژگیهای مهم تابع توزیع نرمال

تمرینهای قبلی این امکان را مهیا نمود ، تا مناطق مربوط به زیر منحنی نرمال را محاسبه کنیم. بعضی اعداد مکرراً در عمل اتفاق می افتند و سودمند است که آنها را در ذهن داشته باشیم. برای نمونه ، احتمال اینکه مشاهده بعدی بین یک انحراف معیار از مقدار میانگین یک توزیع نرمال باشد چقدر است ؟ یعنی احتمال اینکه x در محدوده $(\mu \pm 0.5 \sigma)$ باشد چقدر است ؟ بوسیله یک فرآیند مشابه با آنچه که در فوق نشان داده شد ، می توانیم ببینیم این احتمال $68/3\%$ است. محدوده های زیر مکرراً در آنالیز آماری شامل توزیع نرمال استفاده می شوند :

$68/3\%$ برای مشاهدات بین $(\mu \pm 1 \sigma)$ می باشند.

95% از مشاهدات بین $(\mu \pm 1.96 \sigma)$ می باشند.

$95/5\%$ برای مشاهدات بین $(\mu \pm 2 \sigma)$ می باشند.

$99/7\%$ از مشاهدات بین $(\mu \pm 3 \sigma)$ می باشند.

احتمال وقوع کل زیر منحنی نرمال برابر $1/0$ می باشد و منحنی نرمال در طول محور میانگین ، متقارن است. همچنین مفید است توجه شود که امتداد توزیع نرمال نسبت به محور X بی نهایت است و تا مقادیر $\pm \infty$ توسعه می یابد. این ویژگیهایی که قابل اثبات نیز هستند ، بسیار مفید می باشند.

۳-۷- حدود اطمینان

چه اتفاقی خواهد افتاد اگر ، در یک کلاس با ۷۰ دانش آموز از هر یک بخواهیم که ۵۰ نمونه از سرعت‌ها را جمع‌آوری کرده و تخمین خود را از مقدار متوسط محاسبه کنند ؟ چه تعداد تخمین وجود خواهد داشت ؟ چه توزیعی آنها خواهد داشت ؟ در اینجا ۷۰ تخمین وجود خواهد داشت و هیستوگرام این ۷۰ تخمین بصورت توزیع نرمال خواهد بود. بنابراین در تخمین ، مقدار میانگین خودش یک متغیر تصادفی است که بصورت نرمال توزیع شده است. معمولاً ما تنها یک تخمین از مقدار میانگین را (یا هر کمیت دیگر) محاسبه می‌کنیم. اما در تمرین این کلاس با این واقعیت مواجه می‌شویم که محدوده‌ای از نتایج وجود دارد. بنابراین ممکن است سؤال شود تا چه اندازه تخمین ما از مقدار متوسط خوب است ؟ تا چه اندازه می‌توانیم مطمئن باشیم که تخمین ما صحیح است ؟ توجه کنید که :

۱- تخمین مقدار میانگین ، تمایل دارد که بصورت نرمال توزیع شود.

۲- مقدار مورد نظر (میانگین دقیق) این توزیع ، یک متوسط ثابت شده ناشناخته از توزیع اصلی می‌باشد.

۳- انحراف معیار این توزیع جدید مقادیر ، انحراف معیار توزیع اصلی تقسیم بر ریشه دوم تعداد نمونه‌ها (N) است. (این موضوع بر این فرض است که نمونه‌ها مستقل بوده و تجمع نامحدود دارند.)

انحراف معیار این توزیع میانگین‌ها ، خطای استاندارد میانگین (E) نامیده می‌شود. به شکل:

$$E = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (7-9)$$

که در آن انحراف معیار نمونه S برای تعیین σ استفاده می شود و تمام متغیرهای دیگر قبلاً تعریف شده اند. ویژگی های مشابه هر توزیع نرمال دیگر نیز برای این متوسط ها به کار می رود. به عبارت دیگر، مقدار منفرد تخمین میانگین، \bar{x}_n ، مقدار دقیق میانگین μ را، به صورت زیر تخمین می زند:

با ۶۸/۳٪ اطمینان $\mu = \bar{x} \pm E$ ، می باشد.

با ۹۵٪ اطمینان $\mu = \bar{x} \pm 1.96E$ ، می باشد.

با ۹۹/۷٪ اطمینان $\mu = \bar{x} \pm 3E$ ، می باشد.

عبارت \pm در عبارت فوق به نام تلورانس^۱ نامیده می شود و با علامت e نمایش داده می شود. به مثال زیر توجه کنید:

۵۴ سرعت مشاهده شده اند و مقدار میانگین به صورت $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۷۶/۹۶ با انحراف معیار

$\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۱۲/۵۶ محاسبه می شود. حدود اطمینان ۹۵٪ چیست؟

$$P\left[\left(\frac{76.96}{\sqrt{54}} - \frac{12.56}{\sqrt{54}}\right) \leq \mu\right]$$

$$\leq \left[\frac{76.96}{\sqrt{54}} + \frac{12.56}{\sqrt{54}}\right] = 0.95 \quad \text{یا}$$

$$P(73.61 \leq \mu \leq 80.3) = 0.95$$

یعنی می توان گفت که شانس ۹۵٪ وجود دارد که مقدار متوسط واقعی بین ۸۰/۳۱ تا ۷۳/۶۱

کیلومتر در ساعت باشد.

^۱ - Tolerance

به علاوه ، با اینکه در اینجا اثبات نمی شود ، هر متغیر تصادفی شامل متوسط نمونه تمایل دارد
به صورت نرمال برای (N) نسبتاً بزرگ ، بدون توجه به توزیع اصلی ، به صورت نرمال ، توزیع
شود.

۴-۷- محاسبات تعداد نمونه

معادله حدود اطمینان را بر حسب (N) حل می‌کنیم که با آن می‌توانیم به یک تلورانس معین

و به یک سطح اطمینان برسیم. با حل معادله حدود اطمینان ۹۵٪ برای (N) داریم :

$$N \geq \frac{1/96^2 s^2}{e^2} \quad (7-10)$$

که در آن (۱/۹۶²) تنها برای اطمینان ۹۵٪ استفاده می‌شود. اگر ۹۹/۷٪ اطمینان مورد نظر

باشد ، آنگاه باید (۱/۹۶²) با (۳/۰۰²) جایگزین شود.

مثال دیگری را در نظر بگیرید :

با ۹۹/۷٪ و ۹۵٪ اطمینان ، میانگین دقیق سرعت را در بزرگراه با تلورانس ۱/۶۱ کیلومتر بر

ساعت ، تخمین بزنید. از اطلاعات قبلی می‌دانیم که انحراف معیار $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۱۱/۵۹ است. چه تعداد

نمونه باید جمع‌آوری کنیم.

$$N = \frac{3^2 \times 7/2^2}{1^2} \equiv 467$$

(۴۶۷ نمونه برای سطح اطمینان ۹۹/۷ درصد)

$$N = \frac{(1/96^2) \times (7/2^2)}{(1/61^2)} \approx 200$$

(۲۰۰ نمونه برای سطح اطمینان ۹۵ درصد)

به علاوه توجه کنید که لازم است مطالعه سرعت ، در مکانی با ویژگی‌های سرعتی نامعین ،

انجام شود. تلورانس $\pm 0/322 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ و سطح اطمینان ۹۵٪ مورد نیاز است. چه تعداد نمونه لازم

است ؟

از آنجایی که ویژگی‌های سرعت ناشناخته است ، انحراف معیار برابر $۸/۰۵ \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$

(معمول‌ترین نتیجه در مطالعات سرعت) ، فرض می‌شود. آنگاه برای اطمینان ۹۵٪ ،

$$N = \frac{((1/96)^2 \times (8/0.5)^2)}{(0.322)^2} = 240.1$$

یعنی ۲۴۰۱ نمونه لازم است. این عدد بزرگ است.

جمع‌آوری این تعداد نمونه ، بسیار پرهزینه است. بنابراین ، روش انتخابی ، کم کردن ضریب اطمینان یا افزایش تلورانس است. اطمینان ۹۵٪ حداقل مقدار معقول و قابل قبول است. بنابراین

در این حالت ، تلورانس باید افزایش یابد. با یک تلورانس $۸/۰۵ \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ داریم که :

$$N = \frac{(1/96)^2 \times (8/0.5)^2}{(0.805)^2} = 384$$

بنابراین افزایش تنها $۰/۴۸۳ \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ در تلورانس ، حدود ۲۰۱۷ وسیله نقلیه مورد نیاز را ،

کاهش داد. توجه کنید که تعداد نمونه مورد نیاز وابسته به S است که در ابتدا فرض شده بود. بعد

از اینکه مطالعه کامل می‌شود و انحراف معیار و مقدار میانگین محاسبه شدند ، (N) باید مجدداً

کنترل شود. اگر (N) بزرگتر است (یعنی S واقعی بزرگتر از S فرض شده است) نمونه‌های

بیشتری باید جمع‌آوری شود.

یک مثال دیگر :

یک راه اصلی باید مورد مطالعه قرار گیرد و می‌خواهیم متوسط زمان سفر را با تلورانس ± 5

ثانیه با ۹۵٪ اطمینان تخمین بزنیم. بر اساس دانش قبلی و تجربه ، تخمین زده می‌شود که انحراف

معیار زمان‌های سفر حدود ۱۵ ثانیه است. چه تعداد نمونه لازم است ؟

با استفاده از کاربرد معادله $(7-10)$ ، $N = (1/96)^2 (15)^2 / (5^2)$ که با تعداد ۳۵ نمونه گرد می‌شود.

همانطور که داده‌ها جمع‌آوری می‌شود ، مشخص می‌شود S محاسبه شده برابر ۲۲ ثانیه است و نه ۱۵ ثانیه. اگر تعداد نمونه‌ها را ۳۵ نمونه انتخاب کنیم ، حدود اطمینان برابر $\pm 1/96 \times 22 / \sqrt{35}$ یا حدود $\pm 7/35$ است. اگر حدود اطمینان برابر ± 5 ثانیه انتخاب شود ، آنگاه تعداد نمونه باید افزایش یابد به گونه‌ای که $N \geq (1/96)^2 (22)^2 / 5^2 = 75$. در نتیجه اطلاعات اضافی مورد نیاز ، باید برای رسیدن به تلورانس موردنظر و سطح اطمینان خواسته شده ، جمع‌آوری شوند.

۵-۷- جمع کردن متغیرهای تصادفی

یکی از معمول‌ترین اتفاقات در احتمال وقوع و آمار، جمع کردن متغیرهای تصادفی، اغلب

به فرم $Y = a_1X_1 + a_2X_2$ یا به شکل عمومی‌تر زیر می‌باشد:

$$Y = \sum a_i X_i \quad (۷-۱۱)$$

که در آن عمل جمع روی i ها، به ازای از ۱ تا n انجام می‌شود. می‌توان به طور مستقیم

اثبات کرد که مقدار موردنظر (میانگین) μ_Y ، از متغیرهای تصادفی Y به صورت زیر تعیین

می‌شود:

$$\mu_Y = \sum a_i \mu_{xi} \quad (۷-۱۲)$$

و اگر متغیرهای تصادفی X_i مستقل از یکدیگر باشند واریانس S_Y^2 از متغیرهای تصادفی Y به

صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\sigma_Y^2 = \sum a_i^2 \sigma_{xi}^2 \quad (۷-۱۳)$$

این واقعیت که ضرایب a_i ، ضرب می‌شوند، اهمیت عملی زیادی برای ما در تمام کارهای

آماري دارد.

یک مسئله نمونه : جمع کردن زمان‌های سفر

یک سفر از سه بخشی تشکیل شده است ، که هر کدام میانگین و انحراف معیار مربوطه به خود را همانطور که در زیر نشان داده شده است ، دارند. میانگین ، واریانس و انحراف معیار کل زمان سفر چیست ؟

انحراف معیار	میانگین	وسیله سفر
۲ دقیقه	۷ دقیقه	۱- اتومبیل
۶ دقیقه	۴۵ دقیقه	۲- حمل و نقل ریلی
۳ دقیقه	۱۵ دقیقه	۳- اتوبوس

حل : واریانس با به توان رساندن انحراف معیار محاسبه می‌شود. زمان کل سفر مجموع سه قسمت است. معادلات $(7-12)$ و $(7-13)$ را می‌توان برای به دست آوردن میانگین ۶۷ دقیقه‌ای به کار برد ، واریانس برابر $49 = (1^2 \times 2) + (1^2 \times 6^2) + (1^2 \times 2^2)$ و بنابراین انحراف معیار ۷ دقیقه است.

یک مسئله نمونه : فضای پارکینگ

بر اساس مشاهدات مجموعه‌ای با ۱۰۰ واحد، اعتقاد بر این است که مقدار میانگین فضاهای پارکینگ موردنظر، ۷۰ عدد و انحراف معیار برابر ۴/۶ می‌باشد. اگر بخواهیم مجموعه‌ای بزرگتر با ۱۰۰۰ واحد بسازیم، در مورد پارکینگ چه چیزی می‌توانیم بگوییم؟

حل : اگر X تعداد فضاهای پارکینگ برای یک مجموعه با ۱۰۰ واحد باشد، آنگاه متوسط (μ_x) این توزیع از مقدار برابر ۷۰ فضا تخمین زده شده است و انحراف معیار (σ_x) برابر ۴/۶ تخمین زده شده است. باید فرض کرد که تعداد فضاهای پارکینگ مورد نیاز متناسب با توسعه مجموعه است. (یعنی یک مجموعه با ۱۰۰۰ واحد، ۱۰ برابر بیشتر فضای پارکینگ نسبت به یک مجموعه ۱۰۰ واحدی نیاز دارد). در معادلات $(7-12)$ و $(7-13)$ مقدار a برابر ۱۰ است. آنگاه اگر Y تعداد فضای پارکینگ مورد نیاز برای یک مجموعه ۱۰۰ واحدی باشد :

$$\mu_y = 10 \times 70 = 700 \text{ فضا}$$

و

$$\sigma_y^2 = (10)^2 (4/6)^2 = 2116$$

$$\sigma_y = 46 \text{ فضا}$$

توجه کنید این روش تعداد متوسط فضاهای مورد نیاز برای یک مجموعه ۱۰۰۰ واحدی را تخمین می‌زند، اما مقدار دقیق پارکینگ‌های لازم برای هر توسعه از این تعداد را نشان نمی‌دهد. این تخمین همچنین بر اساس این فرض است که پارکینگ‌های لازم متناسب با اندازه توسعه

خواهد بود ، که ممکن است صحیح نباشد. اگر بتوانیم باید از روش بهتری برای جمع‌آوری

اطلاعات برای توسعه دادن رابطه‌ای بین پارکینگ‌های لازم و توسعه واحدها استفاده کنیم.

قسمت آخر شامل آنالیز رگرسیون است که شکل پیچیده‌تری از آنالیز آماری است.

۱-۵-۷- قضیه محدودیت مرکزی

یکی از مهم ترین و مفیدترین تئوری ها در احتمال وقوع این است که ، مجموع n متغیر تصادفی که به طور نرمال توزیع شده اند تمایل به توزیع نرمال دارند و مهم نیست که توزیع اولیه و اساسی چه چیزی است. یعنی متغیر تصادفی $Y = \sum X_i$ ، که در آن X_i ها توزیع یکسان دارند ، تمایل به توزیع نرمال دارد. کلمه « تمایل دارد » را می تواند به صورت « تمایل دارد تا به صورت » توزیع نرمال باشد ، خواند. در عبارت های ریاضی ، توزیع واقعی متغیرهای تصادفی Y به توزیع نرمال نزدیک می شود.

مجموع زمان های سفر

سفری را در نظر بگیرید که توسط ۱۵ وسیله انجام می شود که همگی توزیع یکسانی دارند و هر کدام میانگین ۱۰ دقیقه و انحراف معیار ۳/۵ دقیقه دارند ، توزیع آنها ناشناخته می باشد. چه چیزی می توانید درباره زمان کل سفر بگوئید ، در حالی که ممکن است در اینجا موقعیت های منفرد وجود داشته باشند ، $n = ۱۵$ کاملاً مناسب است که بگوییم ، توزیع کلی زمان سفر تمایل به توزیع نرمال دارد. از معادله (۷-۱۲) میانگین توزیع کلی زمان سفر به وسیله جمع کردن ۱۵ عبارت (a_i, μ_i) به دست می آید که در آن $a_i = ۱$ و $\mu_i = ۱۰$ دقیقه می باشد یا :

$$\mu_y = ۱۵ \times ۱۰ = ۱۵۰ \text{ دقیقه}$$

واریانس توزیع زمان کلی سفر از معادله (۷-۱۳) به وسیله جمع کردن ۱۵ عبارت (a_i, σ_i^2) به

دست می آید که در آن a_i مجدداً برابر ۱ و دقیقه $\sigma_i = ۳/۵$ ، می باشد. آنگاه :

$$\sigma_y^2 = 15 \times (1 \times 3 / 5^2) = 183 / 75^2 \text{ (دقیقه)}$$

بنابراین انحراف معیار σ_y ، برابر $13/6$ دقیقه است. اگر فرض شود کل زمانهای سفر به

صورت نرمال توزیع شده‌اند ، 95% از کل مشاهدات زمانهای سفر ، در محدوده متوسط (150

دقیقه) به علاوه ($\pm 1/96$) ضرب در انحراف معیار ($13/6$ دقیقه) قرار می‌گیرند یا :

$$X_y = 150 + (1/96 + 13/6)$$

بنابراین انتظار می‌رود 95% از کل زمانهای سفر ، در محدوده 117 تا 123 دقیقه قرار گیرند (

مقادیر به نزدیکترین عدد صحیح بر حسب دقیقه ، گرد شده‌اند.)

حجم‌های ساعتی

اندازه‌گیری‌های پنج دقیقه‌ای انجام شده ، تمایل دارند با شیب آرام توزیع شوند اما کمی عدم

تقارن دارند. بر اساس مشاهدات بسیار ، میانگین آنها به مقدار 45 وسیله نقلیه ، در 5 دقیقه تمایل

دارد و انحراف معیار آن هفت وسیله نقلیه می‌باشد. چه اظهار نظری می‌توان درباره حجم ساعتی

داشت ؟

حجم ساعتی مجموع 12 توزیع 5 دقیقه‌ای می‌باشد که باید به طور منطقی و اساساً اگر سطح

ترافیک پایدار باشد ، مشابه باشند. بنابراین حجم ساعتی تمایل دارد نرمال باشد ، و متوسط آن با

استفاده از معادله ($7-12$) با ($a_i = 1$ و $\mu_i = 45$) وسیله نقلیه و ($n = 12$) به دست می‌آید و یا

وسیله نقلیه در ساعت $540 = 12 \times 45$ ، واریانس با استفاده از معادله ($7-13$) محاسبه می‌شود با

($a_i = 1$ و $\sigma_i = 7$ و $n = 12$) خواهیم داشت (وسیله نقلیه در ساعت) $588 = 12 \times 7^2$.

انحراف معیار نیز برابر (وسیله نقلیه در ساعت) $24/2$ است. بر اساس فرض نرمال بودن ، 95% از حجم ساعتی باید بین $[540 \pm 1/96(24/20) = 540 \pm 47]$ باشد (که به نزدیک‌ترین عدد گرد شده است.)

توجه کنید که عمل جمع اثر قابل توجهی داشته است. نسبت $\frac{\sigma}{\mu}$ برای توزیع شمارش پنج دقیقه‌ای برابر $\left[\frac{7}{45} = 0/156 \right]$ بود اما برای حجم‌های ساعتی برابر $\left[\frac{47}{540} = 0/087 \right]$ می‌باشد. این ناشی از عمل جمع است که تمایل دارد تا خروجی‌ها را به وسیله حذف کردن مقادیر بزرگ با مقادیر کوچک خارج کند و از طریق آن پایداری را ، به وجود آورد. میانگین عمل جمع متناسب با n رشد می‌کند ، اما انحراف معیار متناسب با ریشه دوم n ، تغییر می‌کند.

مجموع توزیع‌های نرمال

با وجود اینکه در اینجا اثبات نمی‌شود ، اما صحیح است که بگوییم مجموع هر دو توزیع نرمال خودش به صورت نرمال توزیع می‌شود. با گسترش موضوع ، اگر یک نرمال به وسیله n_1 عمل جمع از توزیع‌های نرمال تشکیل شده باشد و یک نرمال دیگر به وسیله n_2 عمل جمع از توزیع‌های نرمال دیگر تشکیل شده باشد ، مجموع کل نیز تمایل به توزیع نرمال دارد. بنابراین در مثال قبلی زمان سفر تمام اجزاء ، مجبور نبوده‌اند دقیقاً توزیع یکسانی داشته باشند ، همانند زیرگروه‌ها که هر کدام تمایل به توزیع نرمال دارند.

۶-۷- توزیع دوجمله‌ای مربوط شده به توزیع‌های نرمال و برنولی

۱-۶-۷- توزیع دوجمله‌ای و توزیع برنولی

توزیع برنولی ساده‌ترین توزیع گسسته است، که شامل تنها دو متغیر است، بلی یا خیر، یا داشتن ارزش، صفر یا ۱. اولین متغیر با احتمال وقوع P ، اتفاق می‌افتد و بنابراین دومین متغیر با احتمال وقوع $(1 - p = q)$ اتفاق می‌افتد. این توزیع به صورت زیر مدل می‌شود:

$$P(X = 1) = p$$

$$P(X = 0) = 1 - p = q$$

در ترافیک، این توزیع یک انتخاب اساسی را بیان می‌کند، پارک کردن یا پارک نکردن، انتخاب این مسیر یا دیگری، انتخاب اتوبوس یا وسیله شخصی. آشکار است که اگر به جای نگاه کردن به یک مورد به بیش از یک مورد توجه کنیم، در این حال این نگرش ما را به سمت توزیع دوجمله‌ای هدایت می‌کند. توزیع دوجمله‌ای به دو صورت عمده تعریف می‌شود:

۱- مشاهده (N) خروجی از توزیع برنولی، ضبط تعداد واقعه‌هایی که دارای خروجی ۱

می‌باشند و گزارش آن تعداد به صورت خروجی X .

۲- توزیع دوجمله‌ای به وسیله خواص زیر مشخص می‌شود.

- (N) رویداد وجود دارد، هر کدام با احتمال وقوع P برابر با خروجی مثبت و $(1-P)$ با

خروجی منفی.

- خروجی‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند.

- کمیت مورد نظر برابر تعداد کل X از خروجی‌های مثبت است که ممکن است از نظر

منطقی بین صفر و یک تغییر کند.

- (N) یک عدد محدود است.

برای بیشتر اهداف ، هر دو روش معادل یکدیگر می‌باشند.

موقعیتی را در نظر بگیرید که در آن افراد ممکن است « حمل و نقل عمومی » یا « اتومبیل

شخصی » را انتخاب کنند که در آن احتمال وقوع برای هر نفر برابر با $P = 0.25$ باشد و

تصمیم‌گیری هر شخص مستقل از کلیه افراد دیگر است. با تعریف « ترانزیت » به صورت انتخاب

مثبت برای این مثال و انتخاب $N = 8$ توجه کنید که :

۱- هر شخص به وسیله توزیع برنولی با $(P = 0.25)$ مشخص می‌شود.

۲- در اینجا ممکن است $(2^8 = 256)$ ترکیب ، از انتخاب‌ها وجود داشته باشد و بعضی از

ترکیبات نه تنها مقادیر مشابهی از X نتیجه را می‌دهند بلکه همچنین احتمال وقوع مشابهی برای

رویداد دارند. برای نمونه ، مقدار $X = 2$ برای دو حالت زیر اتفاق می‌افتد.

TATAAAAA و TAAAAAAA و چندین ترکیب دیگر که هر یک دارای احتمال وقوع

$P^2(1-P)^2$ می‌باشند و در کل ۲۸ مورد ، از چنین ترکیباتی موجود می‌باشند. نتیجه‌ای که بدون

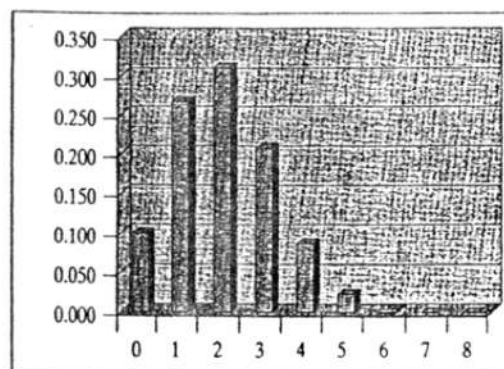
اثبات بیان می‌شود این است که ، احتمال وقوع P با عبارت زیر داده می‌شود :

$$P(X = x) = \frac{N!}{(N-x)!x!} p^x (1-p)^{N-x} \quad (7-14)$$

با میانگین Np و واریانس (Npq) که در آن $(q = 1-p)$. نحوه اثبات آن را می‌توان در هر

کتاب آمار و احتمالی ، جستجو کرد. شکل (۷-۳) نمودار توزیع دوجمله‌ای را برای $(P = 0.25)$

و ($N = 8$) نشان می‌دهد. جدول (۷-۴) احتمال وقوع هر خروجی را نشان می‌دهد. مقدار میانگین را می‌توان به صورت ($\mu = N_p = 8 \times 0.25 = 2.0$) و انحراف معیار را به صورت ($\sigma = N_{pq} = 8 \times 0.25 \times 0.75 = 1.5$) محاسبه کرد. در اینجا مفهوم مهمی وجود دارد که خواننده باید برای استفاده موثر از آمار در طول این کتاب به آن توجه کند. با وجود اینکه به طور متوسط دو نفر از هشت نفر حمل و نقل عمومی را انتخاب خواهند کرد، در اینجا تضمین مطلقی وجود ندارد که برای ۸ نفر بعدی انتخاب به چه صورت خواهد بود، حتی اگر آنها همان قواعد را رعایت کنند. (همان P و تصمیمات مستقل و غیره را). در واقع تعداد می‌تواند در هر جا از صفر تا ۸ تغییر کند و ما انتظار داریم که نتیجه $X = 1$ با ۱۰٪ از زمان اتفاق خواهد افتاد، $X = 4$ با ۸٪/۷ و $X = 2$ با ۳۱٪/۱ از زمان اتفاق خواهد افتاد. این مسئله، معمای قابلیت تغییر در نتایج است. اگر ۲۰۰ نفر در کلاس استاد وجود داشته باشند و هر دانش‌آموز ۸ را مورد مطالعه قرار دهد، نتایج متفاوتی به دست خواهیم آورد. به طور کلی، نتایج ما اگر رسم شوند و جدول‌بندی شود، به شکل (۷-۳) و جدول (۷-۴) می‌رسیم اما دقیقاً مشابه آن نخواهد شد. به همین ترتیب، اگر نتایج را متوسط‌گیری کنیم نتایج احتمالاً نزدیک به ۲ خواهد بود، اما در بعضی موارد دقیقاً مشابه آن نخواهد بود.



شکل (۷-۳): نتایج توزیع دوجمله‌ای برای $N = 8$ و $P = 0.25$

جدول (۷-۴) : احتمال جدول بندی شده به ازای $N = 8$ و $P = 0.25$ در توزیع دوجمله ای

احتمال (X)	افراد شماره کننده از حمل و نقل عمومی (X)
0/1	0
0/267	1
0/311	2
0/208	3
0/087	4
0/023	5
0/004	6
0/000	7
0/000	8

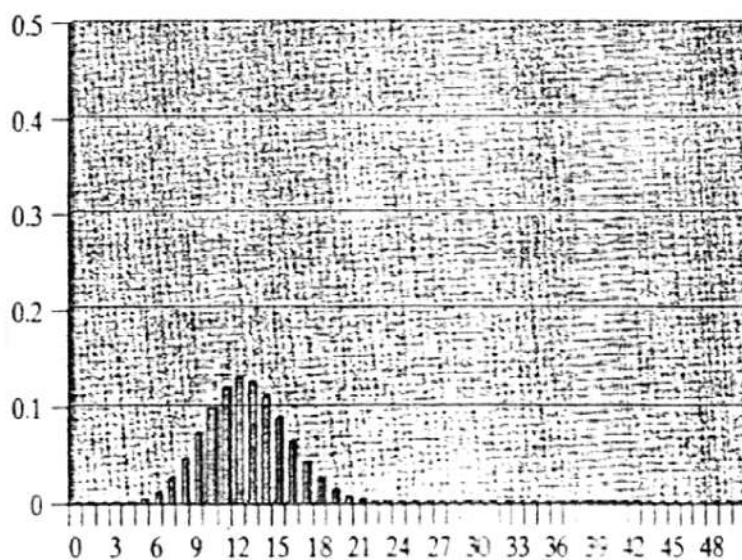
۲-۶-۷- سوال پرسیدن از افراد : نتایج مطالعه و بررسی

فرض کنید که دو انتخاب در سفر افراد ، وجود دارد ($X = 0$) بررسی ماشین و ($X=1$) برای حمل و نقل عمومی. احتمال وقوع P نامعلوم است و معمولاً مسئله مورد نظر است. فرض کنید که احتمال وقوع برای تمام افراد مشابه است (حداقل برای بررسی) ، سپس هر شخص با توزیع برنولی مشخص می شود.

اگر از ($N = 50$) نفر برای مقدار (X) آنها سوال کنیم ، توزیع حاصله از متغیر تصادفی X به صورت دوجمله ای است و ممکن است به صورت نرمال باشد. شکل (۷-۳) این توزیع دقیق را ، برای $P = 0.25$ نشان می دهد. بدون سوال این توزیع شبیه توزیع نرمال است. با بکارگیری تعدادی « Quick Facts » و با توجه به اینکه مقدار مورد نظر (یعنی مقدار میانگین) برابر ($12.5 \times (50 \times 0.25)$) می باشد. واریانس برابر ($9.375 \times (50 \times 0.25 \times 0.75)$) است و انحراف

معیار برابر (۳/۰۶) است ، می توان انتظار داشت ۹۵٪ از نتایج در محدوده $۱۲/۵ \pm ۰/۶$ یا بین ۶/۵ تا ۱۸/۵ قرار گیرد.

اگر ($n = ۲۰۰$) انتخاب شده باشد ، آنگاه میانگین Y هنگامی که ($P = ۰/۲۵$) باشد برابر ۵۰ خواهد بود و انحراف معیار برابر ۶/۱ خواهد شد به گونه ای که ۹۵٪ از نتایج در محدوده ۳۸ تا ۶۲ قرار خواهد گرفت. شکل (۷-۴) توزیع نتایج را نشان می دهد.

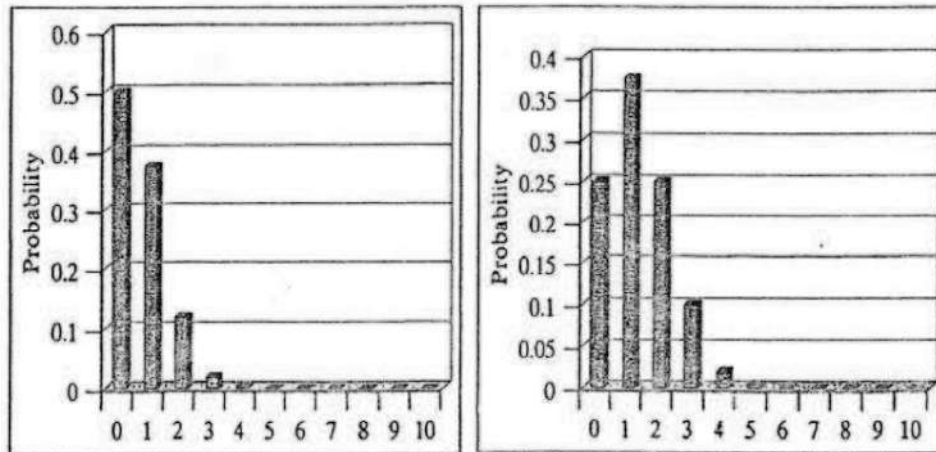


شکل (۷-۴) : توزیع دوجمله ای برای $N = ۲۰$ و $P = ۰/۲۵$

۷-۶-۳- توزیع های نرمال و دوجمله ای

تئوری محدودیت مرکزی به ما این شناخت را می دهد که مجموع توزیع های برنولی (یعنی توزیع های دوجمله ای) ، تمایل به توزیع نرمال دارد. تنها سوال این است که : تا چه اندازه عملگران در زمینه های متفاوت ، می توانند از این قانون برای N بزرگ و p کوچک استفاده کنند. این موضوع می تواند باعث خطا شود.

قابل ذکرترین مورد که در آن خطا رخ می دهد هنگامی است که وقایع کمیاب تشریح می شوند مانند تصادف وسایل نقلیه در هر میلیون کیلومتر طی شده یا تصادفات هواپیماها. شکل (۷-۵) را در نظر بگیرید که یک تصویر واقعی از توزیع دوجمله ای برای $P = 0.07 \times (10)^{-6}$ و دو مقدار n معمولاً $n = 10^6$ و $n = 2 \times (10)^6$ می باشد. واضح است که P کوچک است و n در اینجا بزرگ است و همانطور که مشخص است دارای شکل مشخصی از توزیع نرمال نمی باشند. می توان نشان داد برای اینکه در اینجا امکانی برای تقارن وجود داشته باشد، یعنی، برای تقریب توزیع نرمال به توزیع دوجمله ای - شرط این است که $\left(\frac{np}{1-p}\right) \geq 9$. به طور واضح، هیچکدام از موارد در شکل (۷-۵) چنین شرطی را برآورده نمی کند.



شکل (۷-۵): توزیع برای N های بزرگ و P های کوچک

۷-۷- توزیع Poisson

توزیع پواسون در مهندسی ترافیک به نام توزیع « شمارش » شناخته می‌شود. این توزیع یک معنی واضح فیزیکی از تعداد رویدادهای X دارد که در یک فاصله معین زمانی T ، اتفاق می‌افتند و یک توزیع تک پارامتری است که :

$$P(X = x) = e^{-m} \frac{m^x}{x!} \quad (۷-۱۵)$$

با میانگین $(\mu = m)$ و واریانس $(\sigma^2 = m)$

این واقعیت که پارامتر m هم واریانس و هم میانگین را تعیین می‌کند، یک محدودیت است که در آن اگر ما با اطلاعاتی مواجه باشیم که در آن واریانس و متوسط کاملاً با هم متفاوت می‌باشند، نمی‌توان از توزیع پواسون استفاده کرد. توزیع پواسون اغلب اوقات برای مشاهدات در واحد زمان به کار می‌رود، از قبیل ورودی‌ها در هر دوره پنج دقیقه‌ای، هنگامی که زمان‌های بزرگراه‌ها به طور نمایی با میانگین $\mu = \frac{1}{\lambda}$ توزیع شده باشد، تعداد ورودی‌ها در یک دوره زمانی T ، یک توزیع پواسون با میانگین $(\mu = m = \lambda T)$ می‌باشد.

بکارگیری توزیع پواسون مانند روشی است که قبلاً در توزیع دوجمله‌ای انجام دادیم. برای مثال، فرض کنید به طور متوسط پنج تصادف در روز در آزادراه‌های فلوریدا وجود دارد. جدول (۷-۵) احتمال وقوع تصادف ۰ و ۱ و ۲ و غیره را در یک روز معین در آزادراه فلوریدا نشان می‌دهد. آخرین ستون احتمال وقوع تجمعی یا احتمال وقوع P را نشان می‌دهد. $(X \leq x)$

جدول (۷-۵) : یک توزیع پواسون با $m = ۵$

تعداد دفعات (x)	احتمال $P(x)$	احتمال تجمعی $P(X \leq x)$
۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
۱	۰/۰۳۴	۰/۰۴۱
۲	۰/۰۸۴	۰/۱۲۵
۳	۰/۱۴۰	۰/۲۶۵
۴	۰/۱۷۵	۰/۴۴۰
۵	۰/۱۷۵	۰/۶۱۵
۶	۰/۱۴۶	۰/۷۶۱

۸-۷- آزمایش فرضیه

در بسیاری از موارد ، مهندسین ترافیک باید تصمیم‌هایی بر اساس اطلاعات نمونه ، داشته باشند. برای مثال ، آیا کنترل ترافیک سودمند است یا نه ؟ برای آزمایش آن ، یک فرضیه را فرمول‌نویسی می‌کنیم (H_0) ، که به آن فرضیه صفر می‌گوییم ، و تلاش می‌کنیم تا آن را تکذیب کنیم. فرضیه صفر به گونه‌ای فرمول‌نویسی می‌شود که هیچگونه اختلاف یا تغییری وجود ندارد و سپس فرضیه مخالف ، که فرضیه گزینه گفته می‌شود ، (H_1) ، ایجاد می‌شود.

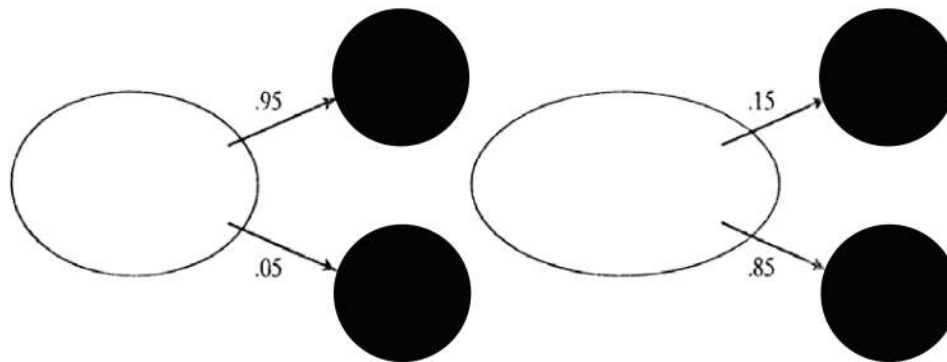
هنگام آزمایش یک فرضیه ، امکان دارد دو نوع خطا ایجاد شود :

(۱) می‌توانیم فرضیه‌ای را که باید پذیرفته شود ، رد کنیم (مثلاً فرض کنیم یک کنترل سودمند ، مفید نیست). به این نوع خطا ، خطای نوع (I) می‌گوئیم. احتمال وقوع خطای نوع (I) با متغیر α عنوان ، داده می‌شود.

(۲) ممکن است یک فرضیه غلط را بپذیریم (مثلاً یک کنترل غیر سودمند ، مفید نیست). به این نوع خطا ، خطای نوع (II) گفته می‌شود و با متغیر اسمی β نمایش داده می‌شود. این مثال را در نظر بگیرید :

یک برنامه بررسی اتومبیل قصد دارد ۱۰۰۰۰۰ وسیله را مورد مطالعه قرار دهد که ، از این تعداد ۱۰۰۰۰ ناامن و بقیه ایمن هستند. البته نمی‌دانیم کدام ماشین‌ها ایمن و کدام‌شان غیر ایمن می‌باشند. ما یک روش کار آزمایشی داریم ، اما کامل نیست ، با توجه به مکانیزم و تجهیزات آزمایشی استفاده شده ، می‌دانیم که ۱۵٪ از وسایل نقلیه غیرایمن ، ایمن تشخیص داده مشخص

شده‌اند که باید ایمن شوند و ۵٪ از وسایل نقلیه ایمن ، به عنوان غیرایمن مشخص شده‌اند. این موضوع به طور واضح در شکل (۶-۷) دیده می‌شود.



شکل (۶-۷) : α و β برای برنامه تست خودروها

بنا به تعریف داریم :

H_0 : وسایل نقلیه‌ای که آزمایش شده‌اند و ایمن هستند.

H_1 : وسایل نقلیه آزمایش شده‌ای که غیر ایمن هستند.

خطای نوع (I) ، مردود کردن یک فرضیه صحیح می‌باشد ، مانند برچسب زدن یک وسیله نقلیه ایمن به عنوان « غیر ایمن » است. احتمال وقوع این نوع با نام α ، خوانده می‌شود و در این مورد داریم $\alpha = 0.05$.

خطای نوع (II) ، عدم مردود کردن یک فرضیه صفر می‌باشد ، که مانند برچسب زدن یک وسیله نقلیه غیر ایمن ، به عنوان یک وسیله ایمن می‌باشد. احتمال وقوع این نوع خطا ، β ، برابر ۰/۱۵ است. به طور کلی ، برای یک روش کار آزمایش معین ، می‌توان خطای نوع (I) را تنها به وسیله در نظر گرفتن خطای نوع II بزرگتر ، کاهش داد و برعکس.

۱-۸-۷- آزمایش‌های قبل و بعد با دو انتخاب متمایز

در بعضی موارد ، دو انتخاب مجزا و متمایز وجود دارد و فرضیه خودش را تعریف می‌کند :

- بررسی اتومبیل (قابل قبول یا غیر قابل قبول)

- بیماری (بیماری دارد یا نه)

- کاهش سرعت به میزان ۸ (km) (اتفاق می‌افتد یا نه)

- کاهش تصادف به میزان ۱۵٪ (اتفاق می‌افتد یا نه)

- انتقال مد به اندازه پنج درصد نقاط (اتفاق می‌افتد یا نه)

البته در اینجا تفاوتی بین مسئله واقعی (که برای ما ناشناخته است) و تصمیم‌گیری ما وجود

دارد که باعث می‌شود و به خطای نوع (I) و (II) ارتباط داده شود. یعنی می‌توانیم تصمیم بگیریم

که بعضی ماشین‌ها که وضعیت خوبی هستند ، نیاز به تعمیر دارند و می‌توانیم تصمیم بگیریم که

بعضی ماشین‌های غیرایمن ، نیاز به تعمیر ندارند. در اینجا مشکلی وجود دارد و آن این است که ،

که افراد ممکن است نخواهند که موضوع را به یک انتخاب دو موردی کاهش دهند یا ممکن است

قادر نباشند تا چنین کاری انجام دهند. برای نمونه ، اگر یک مهندس انتظار داشته باشد ۱۰٪ نرخ

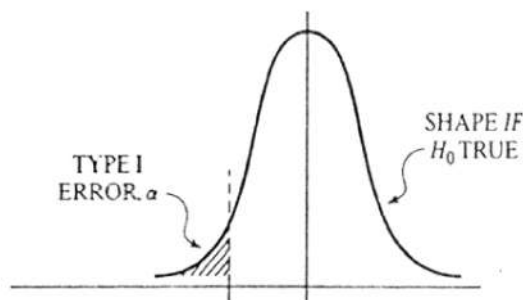
تصادفات کاهش یابد ، آیا « آزمایش H_0 تغییر نمی‌کند » ، را در مقابل « H_1 ۱۰٪ کاهش می‌یابد

» انجام دهیم و اجازه ندهیم احتمال وقوع ۵٪ تغییر کند ؟ چنین مواردی در بخش بعد توضیح

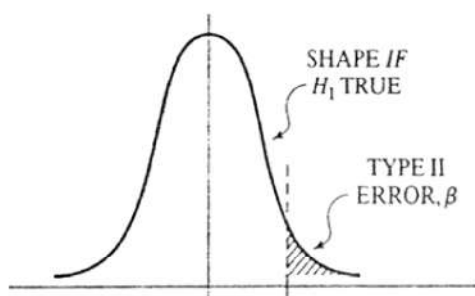
داده می‌شوند. در این بخش بر روی مسائل انتخاب دوگانه متمرکز می‌شویم.

کاربرد : کاهش زمان سفر

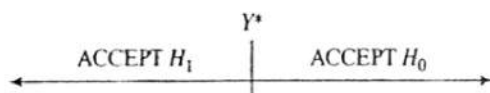
موقعیتی را در نظر بگیرید که در آن زمان کنونی سفر در یک مسیر معین به طور متوسط برابر ۶۰ دقیقه مشخص شده است و تجربه نشان داده است که انحراف معیار حدود ۸ دقیقه است. یک اصلاح مورد نظر است ، یعنی انتظار می رود زمان میانگین واقعی سفر تا ۵۵ دقیقه کاهش یابد. این یک مسئله استاندارد است ، به همراه یک راه حل استاندارد جدید ، که در ادامه بیان می شود. اولین سوالی که ممکن است از خود بپرسیم این است که آیا می توانیم مقدار میانگین و انحراف معیار را از توزیع اولیه کاملاً مشخص بدانیم یا باید تخمین زده شوند ؟ در واقع ، ما از این سوال به سادگی با تمرکز روی اینکه آیا مورد بعدی زمان میانگین واقعی ۵۵ دقیقه دارد یا ۶۰ دقیقه ، جلوگیری می کنیم. توجه کنید که ما شکل توزیع زمانی سفر را نداریم اما فرضیه محدودیت مرکزی به ما می گوید : یک متغیر تصادفی جدید Y ، که به وسیله متوسط گیری چندین مشاهده زمان زمان سفر تعیین می شود ، (اگر مشاهدات کافی وجود داشته باشد) ، تمایل به توزیع نرمال دارد. شکل (۷-۷) ، شکل Y را برای دو فرضیه متفاوتی که ما ایجاد کرده ایم ، نشان می دهد.



الف) با فرض اینکه H_0 درست باشد، میانگین ۶۰ دقیقه است.



ب) با فرض اینکه H_1 درست باشد، میانگین ۵۵ دقیقه است.



ج) تصمیم‌گیری بر اساس Y^*

شکل (۷-۷): شکل Y برای یک یا هر دو فرض

H_0 : مقدار میانگین دقیق Y برابر ۶۰ دقیقه است.

H_1 : مقدار میانگین دقیق Y برابر ۵۵ دقیقه است.

شکل (۷-۷) همچنین یک قاعده تصمیم‌گیری منطقی را نشان می‌دهد. اگر مشاهدات در

سمت چپ آن قرار گرفت، باید H_1 را پذیرفت. در نهایت شکل (۷-۷) مناطق هاشور زده را که

احتمال وقوع خطای نوع (I) و (II) می‌باشند را، نشان می‌دهد. توجه کنید که:

$n-1$ مشاهده زمان‌های سفر همگی برای یک تخمین Y به کار می‌روند.

۲- اگر نقطه Y^* ثابت شده باشد ، آنگاه تنها راهی که خطاهای نوع I و II می توانند تغییر کنند این است که n افزایش یابد به گونه ای که شکل دو توزیع به دلیل انحراف معیار Y که شامل دو ریشه دوم n در مقدار مشخصه خود می باشد ، باریک می شود.

۳- اگر نقطه Y^* حرکت کند ، احتمال خطاهای نوع (I) و (II) طوری تغییر می کند که اگر یکی افزایش می یابد ، دیگری کاهش می یابد. برای تکمیل تعریف روش آزمایش ، نقطه Y^* باید انتخاب شود و خطاهای نوع (I) و (II) مشخص شوند. این مسئله معمولاً نیازمند این است که خطای (I) (که به صورت سطح اهمیت α نیز شناخته می شود) برابر 0.05 در نظر گرفته شود به گونه ای که تنها 5% شانس مردود کردن یک فرضیه صحیح ، وجود داشته باشد. در مورد دو گزینه فرضی ، معمول است که هر دو خطای نوع (I) و (II) برابر 0.05 قرار داده شود. مگر اینکه دلیل بسیار خوبی برای بر هم زدن توازن آنها وجود داشته باشد (هر دو احتمال خطر را نشان می دهند ، هر دو احتمال خطر ممکن است معادل نباشند). با بررسی شکل $(V-V)$ ، Y^* برابر $57/5$ دقیقه برای موازنه کردن دو احتمال تعیین می شود. تنها راهی که این دو خطا با هم برابر باشند این است که مقدار Y^* دقیقاً برابر نصف فاصله بین 55 و 60 دقیقه قرار داده شود. فرضیه تقارن توزیع نرمال ، نیازمند این است که نقطه تصمیم گیری از نظر فاصله از هر دو مقدار 55 و 60 دقیقه به یک فاصله باشد و انحراف معیار هر دو توزیع (قبل و بعد) 8 دقیقه ، باقی می ماند.

برای اطمینان از اینکه نه تنها هر دو خطا با هم برابرند بلکه مقدار آنها نیز 0.05 است ، Y^* باید به اندازه $1/64$ انحراف معیار از 60 دقیقه دور باشد ، البته بر اساس جدول نرمال استاندارد. بنابراین $n \geq (1/64)(8^2) / (2/5)^2$ یا 28 مشاهده که در آن (8 = انحراف معیار) ،

($2/5 =$ تلورانس) ($57/5$ کیلومتر در ساعت به اندازه $2/5$ کیلومتر در ساعت از 55 و 60 دور است) و $1/645$ متناظر با آمار Z روی تابع توزیع نرمال برای داده اطلاعاتی $0/05$ است (که متناظر با احتمال وقوع $\% 95/0 < Z$ می باشد.) حال آزمایش را با نقطه تصمیم گیری $57/5$ دقیقه انجام می دهیم. اگر مطالعات « بعد » متوسط زمانی سفر را کمتر از $57/5$ دقیقه را نتیجه دهد ، ما فرضیه ای را که بیان می کند متوسط زمان سفر به 55 دقیقه کاهش یافته است را ، می پذیریم. اگر نتیجه مطالعات « بعدی » نشان دهنده متوسط زمان سفر بیشتر از $57/5$ دقیقه می باشد ، فرضیه صفر - که میانگین فاصله زمانی در 60 دقیقه باقی مانده است - پذیرفته می شود. آیا تمام این آنالیز برای انجام یک قضاوت منطقی برای تنظیم زمان تصمیم گیری در $57/5$ دقیقه - نصف فاصله بین متوسط زمانی حاضر و متوسط زمانی فاصله مورد نظر - لازم بود ؟ جواب به دو شکل زیر است :

این آنالیز یک پایه منطقی برای یک چنین تصمیم گیری است. این روش سودمند است. این آنالیز همچنین حداقل تعداد نمونه مورد نیاز را برای مطالعات « بعد » برای محدود کردن خطاهای α و β تا مقدار $0/05$ فراهم می آورد. این مهم ترین نتیجه این آنالیز است.

کاربرد : تمرکز روی اختلاف زمان سفر.

قسمت قبل که توضیح داده شد ، ما روی این موضوع تمرکز داشتیم که آیا متوسط دقیق « بعد از اصلاح » برابر 60 دقیقه بود یا 55 دقیقه ؟ موارد عملی که مردم می توانند از آن استفاده کننده چیست ؟ مطمئناً یک هدف این است که ما به طور غیر صریح پذیرفتیم که موقعیت « قبل » به طور

صحیح یک متوسط دقیق برابر ۶۰ دقیقه داشت که برای غلبه بر آن پیشنهاد می‌شود بر روی اختلاف بین مشاهدات قبل و بعد تمرکز کنیم.

(n_1) مشاهده « قبل » را می‌توان برای به دست آوردن یک متغیر تصادفی Y_1 با میانگین معین

(μ_1) و یک واریانس $\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1}\right)$ متوسط‌گیری کرد. به همین صورت ، می‌توان (n_2) مشاهدات

« بعد » را نیز برای به دست آوردن متغیر تصادفی Y_2 با یک میانگین معین μ_2 (متفاوت ؟) و

یک واریانس $\left(\frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)$ متوسط‌گیری کرد. یک متغیر تصادفی دیگر نیز می‌تواند به صورت

$Y = (Y_2 - Y_1)$ تشکیل شود که خودش به طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین منطقی

$(\mu_2 - \mu_1)$ و واریانس $\left(\sigma^2 = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)$ می‌باشد. این کار اغلب به صورت تقریب نرمال

ارجاع داده می‌شود. شکل (۷-۸) توزیع Y را با فرض دو فرضیه نشان می‌دهد. تفاوت بین این

مثال و شکل قبلی چیست ؟ تمرکز در اینجا مستقیماً روی اختلافات است و یک روش ضمنی که

فرض می‌کند ما متوسط اولیه را می‌دانیم ، ندارد. در نتیجه ، نمونه‌های « قبل » لازم می‌باشند.

همچنین در اینجا عدم قطعیت بیشتری وجود دارد که به صورت واریانس بزرگتری منعکس شده

است. در اینجا تعدادی مشاهدات عملی وجود دارد که ریشه در استفاده از این نتایج دارد : معمول

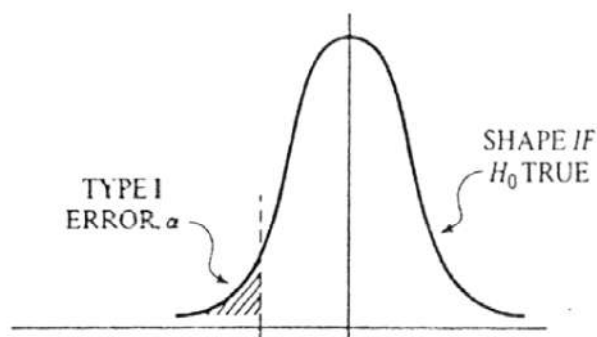
است که واریانس‌های « قبل » و « بعد » مساوی هستند که در این مورد تعداد کل مشاهدات را

می‌توان اگر $(n_1 = n_2)$ باشد به حداقل رساند. اگر واریانس‌ها نامعلوم باشند ، تخمین زننده‌های

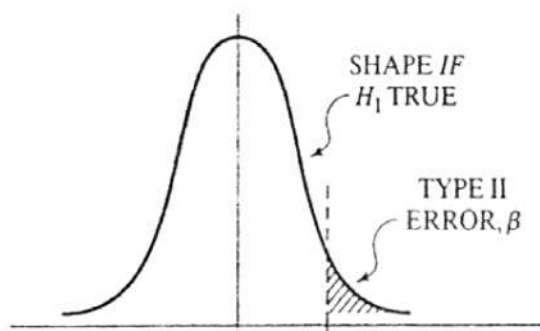
(S_i^2) به جای آنها استفاده می‌شوند. اگر اطلاعات « قبل » در گذشته به دست آمده باشد و n_1

ثابت شده باشد ، امکان ندارد تا واریانس کل را به اندازه کافی (تنها با استفاده از n_2) برای

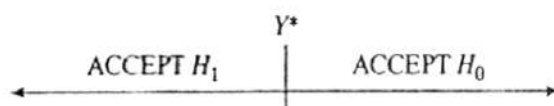
رسیدن به یک سطح مطلوب از اهمیت از قبیل $\alpha = 0.05$ کاهش داد. در مقایسه با مسئله قبلی ، توجه کنید که اگر هر دو واریانس σ^2 باشند و $(n_1 = n_2)$ تعیین گردد آنگاه $n_1 \geq 2 \times (1.645^2)$ یا ۵۵ و $(n_2 > 55)$. مقدار کل مشاهدات لازم برابر ۱۱۰ می باشد. افزایش ناگهانی نتیجه مستقیم تمرکز روی اختلاف است یعنی ۵ (کیلومتر در ساعت) به جای دو انتخاب (۶۰ یا ۵۵ کیلومتر در ساعت).



الف) فرض H_0 ، تفاوت ۰ در میانگین ها



ب) فرض H_1 : تفاوت ۵ کیلومتر در ساعت در میانگین ها



ج) قانون تصمیم گیری بر حسب Y^*

شکل (۷-۸) : شکل Y وقتی روی تفاوت ها

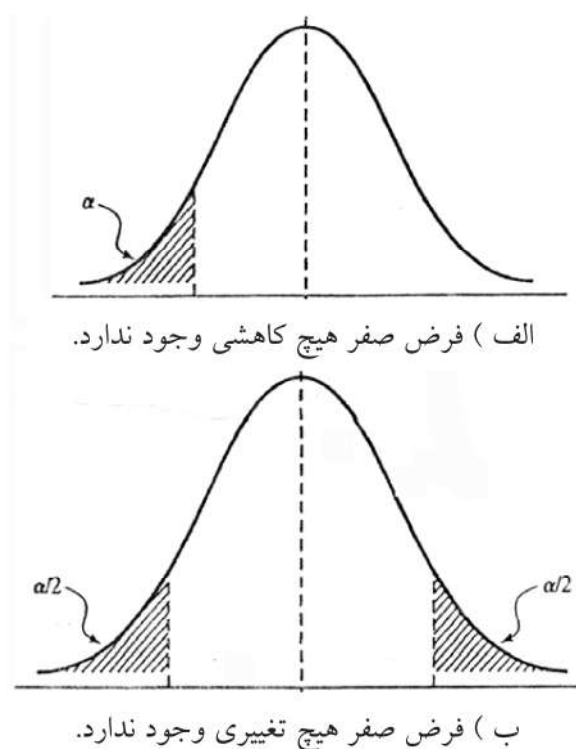
۲-۸-۷- آزمایش‌های قبل و بعد با فرضیه‌های گزینه تعمیم یافته

در بعضی موارد با موقعیت‌هایی مواجه می‌شویم که در آن، موقعیت‌ها به صورت « در اینجا کاهشی بود » یا « در اینجا تغییری بود » در مقابل « نبود » بیان می‌شوند اما مقدار تغییر را بیان نمی‌کنند. در این موارد، این یک روش استاندارد است که یک گزینه مردود « هیچ تغییری نبود » ($\mu_1 = \mu_2$) و یک گزینه فرضیه‌ای به شکل « یک تغییر بود » ($\mu_1 \neq \mu_2$) را در کنار هم قرار دهیم. در چنین مواردی، یک سطح اهمیت ۰/۰۵ عموماً استفاده می‌شود. شکل (۷-۹) فرضیه صفر را برای دو حالت محتمل نشان می‌دهد که هر دو دارای فرضیه‌های مردود « بدون تغییر » می‌باشند. اولین مورد به طور ضمنی در نظر می‌گیرد که اگر تغییر وجود داشته باشد باید منفی باشد - یعنی تغییری وجود ندارد یا کاهش در مقدار میانگین وجود دارد. دومین مورد هیچ نظری را در مورد جهت تغییر ندارد، البته اگر وجود داشته باشد. توجه کنید که :

۱- اولین مورد زمانی استفاده می‌شود که دلایل فیزیکی مشخصی را برای ارزیابی اینکه اگر تغییری وجود داشته باشد به صورت، کاهش خواهد بود راهنمایی می‌کند. در چنین مواردی احتمال روی وقوع خطای نوع I متمرکز می‌شود که در آن خطا بسیار محتمل می‌شود و در یک سمت رخ می‌دهد.

۲- دومین مورد زمانی استفاده می‌شود که دلایل فیزیکی مشخصی را هدایت می‌کند تا به سادگی « در اینجا تغییری بود » را بدون هیچگونه حسی از جهت آن ارزیابی کند. در چنین مواردی خطای نوع (I) به طور مساوی در دو طرف پراکنده می‌شود.

در استفاده از مورد دوم اغلب امیدواریم که هیچ تغییری وجود نداشته باشد و در واقع نمی‌خواهیم فرضیه صفر را رد کنیم. یعنی رد نکردن فرضیه صفر در این مورد، یک موفقیت است. با این حال موارد دیگری وجود دارند که در آنها می‌خواهیم ثابت کنیم که اختلافی وجود دارد. منطق مشابهی را می‌توان، استفاده کرد اما در چنین مواردی رد کردن فرضیه صفر یک « موفقیت » است.



شکل (۷-۹): آزمایش فرض برای هر دو حالت فرض

یک کاربرد: تفاوت‌های زمان سفر

حال فرض می‌کنیم اصلاحاتی انجام داده‌ایم و انتظار داریم که کاهش در زمانی سفر وجود داشته باشد. در شکل (۷-۹) قسمت الف را مشاهده کنید. با استفاده از اطلاعات حاصل از شکل‌های قبلی، سطح اهمیت را $\alpha = 0.05$ در نظر می‌گیریم. نقطه تصمیم‌گیری به واریانس σ_1

بستگی دارد. اگر واریانس‌ها همانند آنهایی باشند که در مثال‌های قبلی بیان شدند و

($n_1 = n_2 = 55$) باشد ، آنگاه نقطه تصمیم‌گیری $Y^* = -2/5$ همانند موارد قبل است. حال

اجازه دهید به یک مرحله بالاتر رویم. اطلاعات جمع‌آوری شده و نتیجه $Y = -3/11$ می‌باشد.

تصمیم‌گیری واضح است : فرضیه صفر را رد کنید که می‌گوید « هیچ تغییری وجود ندارد ». اما

این کار چه احتمال ریسکی برای ما دارد ؟

- با توجه به عبارت‌های گفته شده ، عبارت فرضیه صفر معتبر شده است و ما شانس ۵٪ را

برای مردود کردن مورد صحیح انتخاب کردیم.

- در همان زمان ، هیچ احتمال خطری از پذیرفتن فرضیه غلط (H_1) وجود ندارد به دلیل

اینکه چنین فرضیه‌ای بیان نشده است.

- فرضیه صفر مردود شده زیرا مقدار Y بزرگتر از مقدار تصمیم‌گیری $2/5$ کیلومتر در ساعت

بود. از آنجایی که مقدار واقعی $-3/11$ به طور قابل توجهی بزرگتر از مقدار تصمیم‌گیری است ،

می‌توان در مورد اعتبار سطح مربوطه به عمل مردود کردن سوال کرد. نقطه $Y = -3/11$ دارای

انحراف معیار $2/0.33$ از نقطه نظر صفر است که می‌توان به صورت زیر مشاهده نمود :

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$
$$= \sqrt{\frac{1^2}{55} + \frac{1^2}{55}} = 1/53$$

و $z = \frac{3/11}{1/53} = 2/0.33$ انحراف معیار است. با استفاده از جدول توزیع نرمال استاندارد و

$Y = 2/0.33$ احتمال وقوع برابر $0/9790$ به دست می‌آید. این بدان معنا است :

ما اطمینان ۹۸٪ داریم که مردود کردن فرضیه صفر صحیح است. این آزمایش تقریب نرمال

نامیده می‌شود و تنها هنگامی معتبر است که $n_1 \geq 30$, $n_2 \geq 30$ باشند.

آزمایش یک طرفه در مقابل دو طرفه

مواردی که توضیح داده شد در مقالات آماری تحت عنوان « یک طرفه » ظاهر می‌شوند، به

این دلیل که احتمال وقوع در یک دنباله متمرکز می‌شود (ما تنها کاهش در مقدار متوسط را مورد

توجه قرار دادیم). اگر هیچ دلیلی برای این کار وجود نداشته باشد یک آزمایش دو طرفه باید با

تابع احتمال که در دو سمت دنباله شکسته می‌شود انجام گیرد. به عنوان یک موضوع عملی، این

بدان معناست که شخص از جداول احتمال وقوع با سطح اهمیت ۰/۰۵ استفاده نمی‌کند. اما با

$$\frac{0/05}{2} = 0/025 \text{ کار می‌کند.}$$

۳-۸-۷-آزمایش های مفید آماری دیگر

آزمون t: برای تعداد نمونه کم ($N < 30$) تقریب نرمال اعتبار خوبی ندارد. می‌توان نشان داد

که اگر x_1 و x_2 از یک مجموعه باشند. آمار t مطابق با توزیع t جدول بندی شده توزیع می‌شود،

که در آن :

$$t = \frac{x_1 - x_2}{s_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \quad (7-16)$$

و s_p انحراف معیار تجمعی می‌باشد که برابر است با :

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (7-17)$$

توزیع t بستگی به درجه آزادی f دارد که به تعداد اجزاء جداگانه اطلاعات که توزیع را تشکیل می‌دهند مربوط است. برای توزیع t اجزاء وابسته اطلاعات دارای دو متوسط x_1 و x_2 می‌باشند. بنابراین :

$$f = N_1 + N_2 - 2 \quad (7-18)$$

یک بار که آمار t مشخص می‌شود ، مقدار جدول‌بندی شده جدول (7-6) که احتمال وقوع مقدار t را می‌دهد ، نسبت به مقدار محاسبه شده بزرگتر می‌شود. برای محدود کردن احتمال وقوع خطای نوع (I) تا مقدار (0/05) یعنی اگر t محاسبه شده در 5٪ ناحیه دنباله قرار گیرد. یا به عبارت دیگر کمتر از پنج درصد احتمال وجود دارد که چنین اتفاقی بتواند در یک مجموعه مشابه پیدا شود. اگر احتمال وقوع بیش از 5٪ باشد که چنین اختلافی در مقدار متوسط بتواند در مجموعه مشابه یافت شود ، آنگاه می‌توان در نظر گرفت که این اختلافات اهمیت ندارد.

مثال زیر را در نظر بگیرید :

۱۰ نمونه از داده‌های سرعت هم قبل و هم بعد از تغییر سرعت به کار برده می‌شوند. میانگین

و انحراف معیار دست آمده ، به صورت زیر است :

قبل		بعد
۳۵	\bar{x}	۳۲
۴	S	۵
۱۰	N	۱۰

آنگاه :

$$s_p = \sqrt{\frac{(10-1)4^2 + (10-1)5^2}{1+1-2}} = 4/53$$

$$t = \frac{35-32}{4/53 \sqrt{1/1+1/10}} = 1/48$$

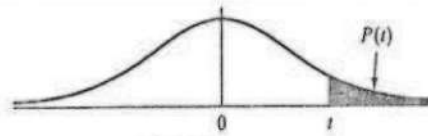
$$f = 1+1-2 = 18$$

احتمال وقوع اینکه $t \geq 1/48$ ، با ۱۸ درجه آزادی ، بین ۰/۰۵ و ۰/۱۰ قرار گیرد ، وجود

دارد. بنابراین این مقدار بزرگتر از ۰/۰۵ است و می توان نتیجه گرفت که اختلاف مهمی در

متوسطها وجود ندارد.

جدول (۷-۶) : درصد نقاط بالای توزیع (t)



$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{(f-1/2)!}{(f-2/2)! \sqrt{\pi f}} (1 + t^2/f)^{-1/2} dt$$

Deg. of Freedom f	Probability of a Value Equal to or Greater Than t										
	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0003
1	0.325	0.727	1.000	1.376	1.936	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.289	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.290	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.277	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.271	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.267	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.265	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.263	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.608
8	0.262	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.401
9	0.261	0.544	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.260	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.260	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.259	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.259	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.258	0.537	0.692	0.866	1.076	1.345	1.761	2.143	2.624	2.977	4.140
15	0.258	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.258	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.257	0.534	0.689	0.865	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.257	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.257	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.257	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.257	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.256	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.256	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.256	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.256	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.735
26	0.256	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.256	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.256	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.256	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.256	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.255	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.254	0.527	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.254	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
Infinity	0.253	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

آزمون F

در استفاده از آزمون t و همچنین در موارد دیگر یک فرض ضمنی این بود که $\sigma_1 = \sigma_2$. این

فرض را می‌توان با توزیع F آزمایش کرد که در آن :

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (7-19)$$

می‌توان اثبات کرد که این مقدار F مطابق با توزیع F توزیع می‌شود که در جدول (7-7)

جدول‌بندی شده است. توزیع F مطابق با درجه آزادی در هر نمونه جدول‌بندی می‌شود بنابراین

$(f_1 = n_1 - 1)$ و $(f_2 = n_2 - 1)$. از آنجایی که توزیع F در جدول (7-7) منطقه هاشور زده در

دنباله را نشان می‌دهد ، شبیه توزیع t ، قواعد تصمیم‌گیری به صورت زیر می‌باشند :

- اگر (احتمال وقوع $F \geq F$) $0.05 \geq$ ، آنگاه اختلاف مهم است.

- اگر (احتمال وقوع $F \geq F$) $0.05 \leq$ ، آنگاه اختلاف اهمیت ندارد.

مسئله زیر را در نظر بگیرید :

بر اساس داده‌های زیر ، می‌توانیم بگوئیم که انحراف‌های استاندارد از یک مجموعه ناشی

می‌شوند ؟

قبل		بعد
۳۰	\bar{x}	۳۵
۵	s	۴
۱۱	(N)	۲۱

$$F = \frac{5^2}{4^2} = 1.56$$

$$f_1 = 11 - 1 = 10$$

$$f_2 = 21 - 1 = 20$$

توزیع f برای احتمال وقوع متعددی جدول بندی شده است ، البته بر اساس درجه آزادی ،

بنابراین :

$$p = 0/10, F = 1/94$$

$$p = 0/05, F = 2/35$$

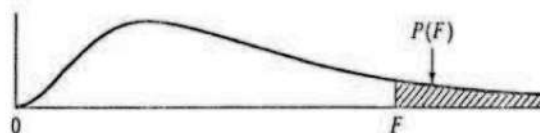
$$p = 0/025, F = 2/77$$

مقادیر F افزایش پیدا می کند و احتمال وقوع $[F \geq 1/56]$ باید با توجه به این روند که داده

شده است بزرگتر از $0/1$ باشد بنابراین ، اختلاف در انحراف های معیار اهمیت ندارد. بنابراین

فرض اینکه انحراف های استاندارد با هم برابرند معتبر است.

جدول (۷-۷) : درصد تقاطع بالای توزیع f



$$P(F) = \int_F^{\infty} \frac{(f_1 + f_2 - 2)/2!}{(f_1 - 2)/2! (f_2 - 2)/2!} f_1^{f_1/2} f_2^{f_2/2} F^{(f_1 - 2)/2} (f_2 + f_1 F)^{-(f_1 + f_2)/2} dF$$

(a) All $P(F) = 0.10$

Deg. of Freedom f_2 Denom.	Degrees of Freedom f_1 (Numerator)								
	1	5	10	20	30	40	60	120	Infinity
1	39.86	57.24	60.20	61.24	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33
5	4.06	3.45	3.30	3.21	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
10	3.28	2.52	2.32	2.20	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
20	2.97	2.16	1.94	1.79	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
30	2.89	2.05	1.82	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.00	1.76	1.61	1.57	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	1.95	1.71	1.54	1.51	1.44	1.40	1.35	1.29
120	2.75	1.90	1.65	1.48	1.45	1.37	1.32	1.26	1.19
Infinity	2.71	1.85	1.00	1.42	1.39	1.30	1.24	1.17	1.00

(b) All $P(F) = 0.05$

Deg. of Freedom f_2 Denom.	Degrees of Freedom f_1 (Numerator)								
	1	5	10	20	30	40	60	120	Infinity
1	161.45	230.16	241.88	248.01	250.09	251.14	252.20	253.25	254.32
5	6.61	5.05	4.74	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
10	4.96	3.33	2.98	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
20	4.35	2.71	2.35	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
30	4.17	2.53	2.16	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	2.45	2.08	1.84	1.79	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	2.37	1.99	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	2.29	1.91	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.23
Infinity	3.84	2.21	1.83	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

(c) All $P(F) = 0.025$

Deg. of Freedom f_2 Denom.	Degrees of Freedom f_1 (Numerator)								
	1	5	10	20	30	40	60	120	Infinity
1	647.79	921.85	968.63	993.10	1,001.40	1,005.60	1,009.80	1,014.00	1,018.30
5	10.01	7.15	6.62	6.33	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
10	6.94	4.24	3.72	3.42	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
20	5.87	3.29	2.77	2.46	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
30	5.57	3.03	2.51	2.20	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	2.90	2.39	2.07	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	2.79	2.27	1.94	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	2.67	2.16	1.82	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
Infinity	5.02	2.57	2.05	1.71	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

اختلاف‌های جفت شده

در بعضی کاربردها، به ویژه شبیه‌سازی که در آن محیط کنترل می‌شود، داده‌های حاصل از موقعیت‌های «قبل» و «بعد» می‌توانند جفت شوند و تنها اختلاف‌ها مهم هستند. به این روش، کل آنالیز آماری مستقیماً روی اختلاف‌ها انجام می‌شود و واریانس کلی می‌تواند بسیار کمتر باشد، به دلیل ماهیت نشانه‌ها و علامت‌ها یک مثال کاربردی از اختلاف‌های جفت شده در جدول (۷-۸) ارائه می‌شود نتایج دو روش را برای اندازه‌گیری سرعت ارائه می‌دهد. هر دو روش برای وسایل نقلیه مشابه به کار برده شده‌اند و جدول (۷-۸) ابتدا اطلاعات را بدون هیچ تلاشی برای جفت کردن و سپس با اطلاعات جفت شده نشان می‌دهد.

مشاهده اینکه چه اتفاقی می‌افتد، اگر اختلاف داده‌ها مهم باشند، نسبتاً آسان است. سوال این است: آیا این اختلاف می‌تواند به طور آماری بدون جفت کردن تشخیص داده شود، با استفاده از آزمون یک طرفه روی فرضیه صفر «بدون افزایش» محاسبات زیر نتیجه می‌دهد که:

$$s_1 = 1747$$

$$s_2 = 7/26$$

$$N_1 = N_2 = 15$$

سپس:

$$s_Y = \sqrt{\frac{7/74^2}{15} + \frac{7/26^2}{15}} = 2/74$$

برای سطح اهمیت حدود ۰/۰۵ (یا اعتبار ۹۵٪) در یک آزمون یک طرفه نقطه تصمیم‌گیری

برابر ۱/۶۵ انحراف معیار است یا $7/36 = 1/65 \times 4/46$ (کیلومتر در ساعت). با توجه به اینکه

اختلاف مشاهده شده در سرعت‌های متوسط تنها $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۶/۹۸ است فرضیه صفر « بدون افزایش

» نمی‌تواند رد شود و آزمون نشان می‌دهد که دو روش اندازه‌گیری از نظر آماری سرعت‌های

برابری را می‌دهند.

جدول ۸-۷: مثال منفعت استفاده از تست زوج را نشان می‌دهد

تعداد وسایل نقلیه	روش اول : سرعت $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$	روش دوم : سرعت $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$	اختلاف بین وسایل $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$	D ²
۱	۸۸/۶	۹۶/۶	۸/۱	۶۴/۸
۲	۷۵/۷	۸۸/۶	۱۲/۹	۱۶۵/۹
۳	۱۱۲/۷	۱۱۹/۱	۶/۴	۴۱/۵
۴	۹۹/۸۲	۱۰۷/۸۷	۸/۰۵	۶۴/۸۰
۵	۷۸/۸۹	۸۵/۳۳	۶/۴۴	۴۱/۴۷
۶	۱۰۷/۸۷	۱۱۴/۳۱	۶/۴۴	۴۱/۴۷
۷	۸۳/۷۲	۹۱/۷۷	۸/۰۵	۶۴/۸۰
۸	۹۱/۷۷	۹۶/۶۰	۴/۸۳	۲۳/۳۳
۹	۹۳/۳۸	۹۸/۲۱	۴/۸۳	۲۳/۳۳
۱۰	۷۲/۴۵	۷۷/۲۸	۴/۸۳	۲۳/۳۳
۱۱	۱۰۹/۴۸	۱۱۲/۷۰	۳/۲۲	۱۰/۳۷
۱۲	۸۳/۷۲	۹۱/۷۷	۸/۰۵	۶۴/۸۰
۱۳	۸۲/۱۱	۹۰/۱۶	۸/۰۵	۶۴/۸۰
۱۴	۹۳/۳۸	۱۰۳/۰۴	۹/۶۶	۹۳/۳۲
۱۵	۹۹/۸۲	۱۰۴/۶۵	۴/۸۳	۲۳/۳۳
میانگین	۹۱/۵۶	۹۸/۵۳	۶/۹۸	----
انحراف معیار	۱۲/۴۷	۱۱/۶۹	۲/۴۱	----

با این حال ، با بررسی اختلاف‌های جفت شده ، ملاحظه می‌شود که هنگامی که روش ۲ به کار برده می‌شود هر اندازه‌گیری افزایش را نشان می‌دهد. کاربرد روش آماری مشابه با استفاده از اختلافات جفت شده نتیجه می‌دهد :

$$s = 2/41$$

$$N = 15$$

خطای استاندارد مقدار متوسط برای این حالت برابر است با :

$$E = \frac{2/41}{\sqrt{15}} = 0/622$$

برای یک سطح اهمیت برابر ۰/۰۵ ، نقطه تصمیم‌گیری برابر است با

$$Y^* = 1/65 \times 0/622 = 1/03$$

با یک اختلاف مشاهده شده برابر $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$ ۶/۹۸ قضیه صفر

« بدون افزایش » به طور آشکار مردود می‌شود. دو روش اندازه‌گیری نتایج مختلفی می‌دهد ، با روش ۲ سرعت‌های بالاتری نسبت به روش ۱ به دست می‌آید.

آزمون Chi – Square : قضیه‌ای در مورد توزیع منطقی f(x)

یکی از مسائلی که قبلاً بیان شد ، علاقه‌ای برای « مشخص کردن » توزیع منطقی همانند مطالعه سرعت بود. معمول‌ترین آزمون برای انجام این عمل آزمون (Chi - Square) است. در واقع ، توزیع منطقی مشخص نخواهد شد. به علاوه ، یک فرضیه از قبیل « H_0 : توزیع منطقی نرمال است » ساخته خواهد شد و ما آن را که مردود نشده است آزمایش می‌کنیم. بنابراین آنگاه می‌توانیم اگر توزیع واقعاً نرمال بود روی آن عمل کنیم. روش کار با یک مثال به خوبی نمایش

داده می‌شود. داده‌های حاصل از قد ۱۰۰ نفر در جدول (۷-۹) نشان داده شده است. برای ساده‌سازی مثال، ما قضیه‌ای را که این اطلاعات به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند آزمایش می‌کنیم. (یعنی تعداد مساوی از مشاهدات در هر گروه وجود دارد). برای آزمایش این فرضیه، آزمون برازش مقدار مطلوب را با مراحل زیر انجام می‌دهیم.

جدول (۷-۹): اطلاعات قد نمونه برای آزمون Chi-Squares

تعداد افراد	گروه‌های قد (بر حسب متر)
۴	۱/۵۲ - ۱/۵۸
۶	۱/۵۸ - ۱/۶۵
۱۱	۱/۶۵ - ۱/۷۱
۱۴	۱/۷۱ - ۱/۷۷
۲۱	۱/۷۷ - ۱/۸۳
۱۸	۱/۸۳ - ۱/۸۹
۱۶	۱/۸۹ - ۱/۹۵
۵	۱/۹۵ - ۲/۰۱
۴	۲/۰۱ - ۲/۰۷
۱	۲/۰۷ - ۲/۱۳
۲۰۰	کل

۱- فرکانس‌های تئوری f_i را برای هر گروه محاسبه کنید. بنابراین یک توزیع یکنواخت

فرض شده و ۱۵ گروه با مجموع ۱۰۰ مشاهده وجود دارد. $f_i = \frac{100}{15} = 10$ برای تمام گروه‌ها.

۲- کمیت χ^2 را محاسبه کنید.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(n_i - f_i)^2}{f_i} \quad (۷-۲۰)$$

که در آن عمل جمع روی کل داده‌های (N) گروه یا گروه‌ها انجام می‌شود. این محاسبات در

جدول (۷-۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۷-۱۰): محاسبه χ^2 برای مسئله نمونه

گروه‌های قد (بر حسب متر)	n	F	X^2
۵ - ۵/۲	۴	۱۰	$(۴ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۳ / ۶۰$
۵/۲ - ۵/۴	۶	۱۰	$(۶ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۱۶ / ۶۰$
۵/۴ - ۵/۶	۱۱	۱۰	$(۱۱ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۰ / ۱۰$
۵/۶ - ۵/۸	۱۴	۱۰	$(۱۴ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۱۶ / ۶۰$
۵/۸ - ۶	۲۱	۱۰	$(۲۱ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۱۲۱ / ۱۰$
۶ - ۶/۲	۱۸	۱۰	$(۱۸ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۶۴ / ۴۰$
۶/۲ - ۶/۴	۱۶	۱۰	$(۱۶ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۳۶ / ۶۰$
۶/۴ - ۶/۶	۵	۱۰	$(۵ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۲۵ / ۵۰$
۶/۶ - ۶/۸	۴	۱۰	$(۴ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۳۶ / ۶۰$
۶/۸ - ۷	۱	۱۰	$(۱ - ۱۰)^2 / ۱۰ = ۸۱ / ۱۰$
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۴۳/۲۰

۳- همانطور که در هر مرجع آمار استاندارد نشان داده شده است ، کمیت χ^2 به صورت

(Chi-Squared) توزیع شده می‌باشد و ما انتظار داریم اگر فرضیه ، صحیح باشد مقدار χ^2 کم

باشد. (اگر نمونه‌های مشاهده شده تقریباً برابر مقدار موردنظر باشد ، آنگاه این کمیت صفر

است). بنابراین با مراجعه به یک جدول توزیع (Chi-Square) (جدول (۷-۱۱)) و توجه به

تعدادی که انتظار داریم بیش از ۵٪ زمان داشته باشیم داریم $\alpha = ۰/۰۵$. برای انجام این عمل

باید تعداد درجه آزادی را که با df نمایش داده می‌شود و به صورت $(df = (N) - 1 - g)$ تعریف

می‌شود داشته باشیم. (N) تعداد مقوله‌ها و g تعداد اجزایی است که ما از داده‌ها در تعریف توزیع فرض شده، تخمین زده‌ایم. برای توزیع یکنواخت تنها اندازه نمونه برای تخمین فرکانس‌های تئوری لازم بود، بنابراین، 0 ، پارامتر ($g=0$) در محاسبه x^2 استفاده شد. بنابراین برای این حالت ($df = 10 - 1 - 0 = 9$).

۴- حال با استفاده از جدول (۷-۱۱) با $\alpha = 0.05$ و $df = 9$ یک مقدار تصمیم‌گیری $x^2 = 16.92$ یافت می‌شود. چون که مقدار به دست آمده $16.92 > 43/2$ می‌باشد، فرضیه توزیع منطقی یکنواخت باید مردود شود.

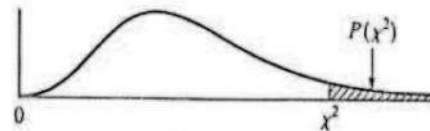
در این حالت، یک بررسی اجمالی از داده‌ها باید شخص را متقاعد کند که اطلاعات مطمئناً یکنواخت نیستند و آنالیز او را راهنمایی نموده است. در واقع به نظر می‌رسد که توزیع نزدیک‌تر به نرمال باشد و این فرضیه می‌تواند مورد آزمون واقع شود. مشخص کردن فرکانس‌های تئوری برای یک توزیع نرمال بسیار پیچیده‌تر است. مثالی که از آزمون (x^2) برای یک فرضیه نرمال استفاده می‌کند به طور مفصل در فصل ۹ شرح داده خواهد شد که از اطلاعات سرعت استفاده می‌کند.

توجه کنید که در انجام آزمون مقدار مطلوب برازش آیا امکان دارد نشان دهیم که چندین توزیع متفاوت می‌تواند داده‌ها را ارائه کند؟ چگونه چنین چیزی اتفاق می‌افتد؟ به خاطر بیاورید که آزمون اثبات نمی‌کند که چه توزیع منطقی واقعی است. در بهترین حالت، با موضوع مورد نظر، تضادی ندارد که یک توزیع معین را فرض کنیم. بنابراین امکان دارد که توزیع‌های فرض شده متفاوت برای یک مجموعه از داده‌ها از نظر آماری، قابل قبول واقع شوند.

یک نقطه نهایی در آزمون فرضیه :

آزمون مستقیماً روی توزیع فرض شده نمی‌باشد بلکه روی مقدار موردنظر بر حسب تعداد مشاهدات نمونه‌ها می‌باشد. جدول (۷-۱۰) این موضوع را به روشنی نشان می‌دهد، محاسبه شامل تعدادی از مشاهدات شده مورد نظر از نمونه‌ها باشد. توزیع واقعی تنها تا محدوده‌ای مهم است که مقوله احتمال وقوع آن دسته را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یعنی آزمون واقعی بین دو هیستوگرام است. بنابراین مهم است که موارد به گونه‌ای تعریف شوند که هیستوگرام تئوری به درستی مقوله‌های لازم و جزئیات توزیع فرض شده را منعکس کند.

جدول (۱۱-۷): درصد نقاط بالای توزیع Chi-Square



$$P(x^2) = \int_x^\infty \frac{1}{(f-2/2)^{1/2}} (x^2)^{(f-2)/2} e^{-x^2/2} dx$$

df	.995	.990	.975	.950	.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
1	3927×10^{-2}	1571×10^{-7}	9821×10^{-7}	3932×10^{-8}	0.01579	0.1015	0.4549	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01003	0.02010	0.05064	0.1026	.2107	.5754	1.386	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210	10.60
3	.07172	.1148	.2158	.3578	.5844	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.34	12.34
4	.2070	.2971	.4844	.7107	1.064	1.923	3.357	5.585	7.779	9.488	11.14	13.28	14.86
5	.4117	.5543	.8312	1.145	1.610	2.675	4.351	6.626	9.236	11.07	12.83	15.09	16.75
6	.6757	.8721	1.237	1.635	2.204	3.455	5.348	7.841	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	.9893	1.259	1.690	2.167	2.833	4.255	6.346	9.037	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.199	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	17.63	20.09	21.98
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.150	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.458	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.844	7.644	8.907	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.434	8.260	9.591	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.034	8.897	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.93	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.643	9.542	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.60
23	9.260	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.886	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.24	28.24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.58
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.58	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	33.66	39.34	45.62	51.80	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	42.94	49.33	56.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	52.29	59.33	66.98	74.08	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	61.70	69.33	77.58	85.53	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	71.14	79.33	88.13	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	80.62	89.33	98.65	107.56	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.00	74.22	77.93	82.36	90.13	99.33	109.14	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17
	-2.576	-2.326	1.960	-1.645	-1.28	-0.6745	0.0000	+0.6745	+1.282	+1.645	+1.960	+2.326	576

۷-۹- خلاصه و راهنمایی

مطالعات ترافیکی را نمی‌توان بدون استفاده از بعضی معادلات اساسی آماری انجام داد. در استفاده از آمار، مهندس اغلب با نیازی برای عمل کردن بر خلاف عدم اطمینان، مواجه می‌شود و این دلیل استفاده از آنالیزهای آماری می‌باشد. این فصل مروری پایه‌ای برای خواننده است تا بتواند مطالعات روزمره ترافیکی را انجام دهد و درک کند.

چندین نوع مهم روش‌های آماری مبهم وجود دارند که در این فصل ارائه نشده است و برای مهندسین ترافیک بسیار سودمند است. این روش‌ها شامل جداول احتمالات، آنالیز معادلات و آنالیز واریانس (ANOVA)، آنالیز رگرسیون و آنالیز کلاستر است. خواننده برای مطالعه بیشتر باید به مراجع [۱-۵] مراجعه کند.

مسائل

۷-۱- تجربه پیشنهاد می‌کند که داده‌های سرعت در یک مکان داده شده به طور نرمال با

متوسط $91/77 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ و انحراف معیار $12/24 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ به طور نرمال توزیع شده است. سرعتی

که ۸۵٪ از وسایل نقلیه با کمتر از آن عبور می‌کنند، چیست؟

۷-۲- اطلاعات زمان سفر روی یک بزرگراه با ۳۰ مورد جمع‌آوری می‌شود. یک زمان

متوسط سفر ۱۵۲۵ برای فاصله ۳۲۲ کیلومتر محاسبه می‌شود که انحراف معیار آن ۱۷/۳ ثانیه

است. حدود اطمینان ۹۵٪ را روی تخمین متوسط خود پیدا کنید. چرا لازم است فرضی در مورد

شکل توزیع زمان سفر داشته باشیم؟

۷-۳- اطلاعات ترافیک اتومبیل در یک بزرگراه با نتایج زیر جمع‌آوری می‌شود.

الف) مقدار متوسط تخمین زده شده و انحراف معیار را برای تجمع وسایل نقلیه در خط

(HOV) محاسبه کنید. حدود اطمینان ۹۵٪ را روی تخمین مقدار متوسط محاسبه کنید.

ب) هنگامی که خط (HOV) مورد سوال است حجم ساعتی ۹۰۰ (وسیله نقلیه در ساعت)

را دارد. تخمین شما از اینکه به طور متوسط چه تعداد افراد در خط حال عبور هستند چیست؟

حدود اطمینان ۹۵٪ را در نظر بگیرید.

ج) اگر آن خط را فردا مورد توجه قرار دهیم و حجم برابر ۹۰۰ وسیله نقلیه در ساعت را

بینیم، محدوده افرادی که می‌توانیم انتظار داشته باشیم در آن ساعت حرکت کرده‌اند چقدر است

؟ یک محدوده منطقی ۹۵٪ را شبیه خروجی‌ها استفاده کنید. تمام فرضیات را که در قسمت (ب)

لازم نمی‌باشد اما در بخش (ج) لازم است، اگر وجود دارد، فهرست کنید.

تعداد خودروها	ترافیک خودرو
۱۲۰	۲
۴۰	۳
۳۰	۴
۱۰	۵

۷-۴- یک مطالعه موردی را در محل علامت توقف در یک منطقه مسکونی انجام دهید ، کار را بین یک گروه از ۳ تا ۴ دانشجو تقسیم کنید به گونه‌ای که هر گروه حدود $N = ۱۰۰$ مشاهده داشته باشد. جزئی را که کاملاً آشکار و منطقی است تخمین زده و حدود اطمینان ۹۵٪ را روی این جزء که در آن $S^2 = P(1 - P) / N$ است ، محاسبه کنید.

۷-۵- یک مطالعه و بررسی از (N) نفر را که از آنها در مورد استفاده از مسیر A یا مسیر B سوال می‌شود با یک جزء مشارکتی P که مسیر A را انتخاب می‌کنند. اگر $P = ۰/۳$ حدود اطمینان ۹۵٪ و مقدار موردنظر X را به صورت تابعی از (N) برای $n = ۵۰$ تا $n = ۸۰۰$ رسم کنید.

۷-۶- دو روش کار متفاوت برای اندازه‌گیری « تاخیر » در یک روش تقاطعی مشابه در یک زمان انجام شده‌اند. هر دو بر حسب تاخیر بر وسیله نقلیه بیان شده‌اند. معرف مشاهده این است که کدام روش می‌تواند به بهترین شکل در این زمینه استفاده شود. فرض کنید که اطلاعات زیر در این زمینه وجود دارد.

الف) یک متخصص آماری ، خواسته است که آیا داده‌ها « مشابه هستند » و آزمون‌ها روی مقدار میانگین و واریانس برای مشخص کردن اینکه آیا آنها در یک سطح اهمیت ۰/۰۵ مشابه

هستند یا نه انجام شوند. از آزمون‌های مناسب روی فرضیه‌هایی که اختلاف در مقدار متوسط صفر

است و واریانس‌ها برابر یک می‌باشند استفاده کنید. محاسبات را انجام داده و نتایج را ارائه دهید.

ب) آیا مناسب خواهد بود که از آزمون « t - جفت شده » در بخش (الف) به جای یک

آزمون ساده‌تر استفاده کنیم؟ چرا؟

تاخیر بر حسب ثانیه برای هر وسیله	
روش اول	روش دوم
۸/۴	۷/۲
۹/۲	۸/۱
۱۰/۹	۱۰/۳
۱۳/۲	۱۰/۳
۱۲/۷	۱۱/۲
۱۰/۸	۷/۵
۱۵/۳	۱۰/۷
۱۲/۳	۱۰/۵
۱۹/۷	۱۱/۹
۸	۸/۷
۷/۴	۵/۹
۲۶/۷	۱۸/۶
۱۲/۱	۸/۲
۱۰/۷	۸/۵
۱۰/۱	۷/۵
۱۲	۹/۵
۱۱/۹	۸/۱
۱۰	۸/۸
۲۲	۱۹/۸
۴۱/۳	۳۶/۴

۷-۷- بر اساس مشاهدات و تجربیات طولانی مدت ، سرعت‌های روی یک منحنی دارای

میانگین $92 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ و انحراف معیار $9/7 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ می‌باشند. این به صورت یک داده در نظر

گرفته می‌شود. بعضی کنترل‌های فعال در مکان قرار داده می‌شوند و مهندس اطمینان دارد که این

مقدار به مقدار $81 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ کاهش خواهد داشت که انحراف معیار آن احتمالاً یکسان خواهد بود.

الف) یک فرضیه صفر و گزینه‌ای بر اساس به دست آوردن اطلاعات « بعد » فرموله کنید و

تعداد نمونه لازم را به گونه‌ای که خطاهای نوع I و II هر کدام $0/05$ می‌باشند محاسبه کنید.

ب) فرض کنید که اطلاعات از (N) مشاهده مورد نیاز به دست آمده‌اند و اینکه مقدار

متوسط $84 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ و انحراف معیار $9/7 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ است. تصمیم شما چیست ؟ چه خطایی ممکن

است اتفاق افتد و احتمال وقوع آن چقدر است ؟

ج) قسمت (ب) را مجدداً با مقدار متوسط $84 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ انحراف معیار $8/69 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$ حل

کنید.

فصل ۸

مطالعات و خصوصیات حجم ترافیک

۸-۱- مقدمه‌ای بر مطالعات ترافیکی

نخستین گام در اکثر فعالیتهای مهندسی ترافیک بررسی وضعیت موجود ترافیک و تسهیلات، به همراه پیشگویی یا پیش‌بینی تقاضای آینده می‌باشد. این امر مستلزم جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های بسیار متنوع است که به نحو مناسبی وضعیت موجود سیستمها، تسهیلات و ترافیک را توصیف نماید. مهندسان ترافیک به دلایل و مقاصد متعددی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات می‌نمایند:

• اداره و نگهداری ساختار فیزیکی سیستم :

فهرستی واقعی از اجزای ساختار فیزیکی، شامل تجهیزات کنترل ترافیک، تأسیسات روشنایی و سواره‌روها همواره مورد نیاز می‌باشد. این فهرست به تشخیص گزینه‌های نیازمند تعمیر یا تعویض و همچنین پیش‌بینی اولویت زمانی انجام هریک، کمک می‌نماید.

• بررسی روندها در طی زمان:

مهندسان ترافیک به منظور پیش‌بینی نیازهای آینده حمل و نقل نیازمند روند داده‌ها می‌باشند. مطالعات پارامتری بر روی حجم ترافیک، سرعت و چگالی به سنجش نیازهای کنونی و ارزیابی کیفی عملکرد تسهیلات ترافیکی کمک می‌کند. مطالعات تصادف موقعیتهای حادثه‌خیزی را که باید نشانه‌گذاری و اصلاح گردد، مشخص می‌نماید. برقراری روندها به مهندس ترافیک این امکان را می‌دهد تا اصلاحات لازم را قبل از اینکه کمبودهای سیستم خود را نشان دهند، به انجام رساند.

• درک نیازها و گزینه‌های عمومی و صنعتی :

مهندس ترافیک به منظور توسعه و برنامه‌ریزی اهداف باید معیاری مناسب از اینکه مردم چگونه و به چه دلیل سفر می‌کنند، در اختیار داشته باشد. مطالعات نحوه استفاده مسافران از گزینه‌های موجود، تصمیمات زمان سفر و دیگر قضاوتها برای درک طبیعت تقاضای سفر ضروری و حیاتی است. مطالعات پارکینگ و مشخصات تحویل کالا به طراحی تسهیلات برای اداره موثر این نیازها کمک می‌کند.

• تنظیم روابط و پارامترهای اساسی :

معیارهای اساسی نظیر زمان مشاهده و عکس‌العمل، فواصل زمانی تخلیه وسایل نقلیه در یک تقاطع دارای چراغ راهنمایی، روابط فاصله عبور زمانی و فاصله عبور مکانی در آزادراه‌ها و دیگر تسهیلات جریان

غیر منقطع و سایر روابط و پارامترهای کلیدی باید به طور صحیح برای شرایط موجود تعیین و تنظیم شود. این معیارها با مدل‌های متنوع پیش‌بینی و ارزیابی که بخش عمده‌ای از مهندسی ترافیک بر مبنای آنها استوار است، پیوست می‌گردد.

• ارزیابی موثر بودن اصلاحات:

پس از انجام هرگونه اصلاحات، به منظور تایید اثر بخش بودن آن و نیز امکان تنظیم در مواردی که اهداف به طور کامل برآورده نشده باشد، انجام مطالعات تکمیلی ضروری است.

• ارزیابی تأثیرات بالقوه :

توانایی پیشگویی و تحلیل آثار پیش‌بینی شده ترافیک به دلیل پیشرفتهای جدید و فراهم نمودن ورود ترافیک به مدل‌های آلودگی هوا بخشی ضروری در مهندسی ترافیک می‌باشد.

• ارزیابی امکانات و عملکرد سیستم :

به منظور اطمینان از ارائه کمیت و کیفیت مورد نظر برای دسترسی و یا حرکت عموم، کلیه سیستمها و تسهیلات ترافیکی باید به صورت متناوب و در زمانهای معین مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. مطالعات ترافیکی اساس و شالوده برنامه‌ریزی، طراحی و تحلیل ترافیک را فراهم می‌سازد. در صورتی که اطلاعات صحیح نباشد، مهندسی ترافیک پایه‌گذاری شده بر آن، ناقص خواهد بود. برخی از فعالیتهای مرتبط با جمع‌آوری، تقلیل، تحلیل و ارائه داده‌ها تا حدی پیش پا افتاده هستند. لیکن برای موثر بودن نتیجه و خروجی نهایی مهندسی ترافیک، باید به این فعالیتها توجه متمرکزی داشت.

۸-۱-۱- فن‌آوری نوین

در سالهای اخیر، پیشرفت فن‌آوری اطلاعات به میزان زیادی توانایی مهندسان ترافیک را در زمینه جمع‌آوری، خلاصه‌سازی و تحلیل اطلاعات افزایش داده است. فن‌آوری‌هایی نظیر دید از راه دور، پیشرفتهای تدریجی شناسایی تصویر، ارتباطات بی‌سیم، سیستمهای مکان یاب ماهواره‌ای، فن‌آوری‌های نقشه‌برداری و... در حال دگرگون نمودن کیفیت و کمیت داده‌هایی است که قابل جمع‌آوری، ذخیره در فرمتهای قابل بازیابی و تحلیل می‌باشد.

این چنین فن‌آوری‌هایی گران هستند و هنوز هزاران مطالعه جزیی و متمرکز با استفاده از فن‌آوریهای قدیمی و حتی روشهای دستی انجام می‌گیرند.

پتانسیل فن‌آوریهای جدید به راستی شگفت آور است. سیستم‌های برچسب برای جمع‌آوری خودکار عوارض راه (نظیر E-Z PASS که اکنون در ساحل شرقی نیویورک به واشنگتن در حال استفاده است) می‌تواند باقرار گرفتن حسگرهای سریع در فواصل متناوبی از امتداد بزرگراههای اصلی، برای مسیریابی حرکات وسیله‌نقلیه در سراسر شبکه نیز مورد استفاده قرار گیرد. پتانسیل دستیابی به بینشی فوق‌العاده پیرامون خصوصیات سفر و الگوهای مبدأ - مقصد بی‌نهایت می‌باشد. لیکن استفاده از چنین فن‌آوری‌هایی، سوالات قانونی و اخلاقی زیادی را نیز در بر داشته است. مسئله مشاهده جزئیات حرکت روزانه افراد شخصی توسط بهره‌برداران از این فن‌آوری‌ها، یکی از مهمترین مسائل اجتماعی می‌باشد.

سیستم مکان‌یاب جهانی (GPS) می‌تواند برای ردیابی ناوگانهای ترابری مانند کامیونها و وسایل نقلیه ریلی مورد استفاده قرارگیرد. همچنین این سیستم می‌تواند به عنوان سیستم راهنمای وسایل نقلیه شخصی که هم اکنون در اغلب خودروها موجود بوده و به نظر می‌رسد در طی یک دهه به یکی از تجهیزات استاندارد خودرو تبدیل گردد، استفاده شود. در آینده این فن‌آوری با اضافه نمودن آخرین اطلاعات از وضعیت ترافیک، شامل تصادفات و رخدادها به سیستمهای مکان‌یاب و راهنما، امکان تخمین زمان واقعی حرکت در بهترین مسیر موجود بین نقاط A و B را فراهم می‌سازد.

سرعت پیشرفت فن‌آوری داده و اطلاعات بسیار فراتر از روند آهسته به روز شدن کتابهای مرجع و سایر نشریات می‌باشد. از اینرو مهندسان ترافیک به منظور بکارگیری بهترین ابزار ممکن برای بدست آوردن اطلاعات مورد نیاز سیستمهای ترافیک موظفند تا همگام با جدیدترین تکنولوژی در جمع‌آوری اطلاعات، خلاصه سازی و تحلیل رویدادهای ترافیکی حرکت نمایند.

۸-۱-۲- انواع مطالعات

ارائه فهرست کامل مطالعاتی که مهندسان ترافیک دست‌اندرکار انجام آن هستند، تقریباً غیر ممکن می‌باشد. متداول‌ترین مطالعات شامل موارد زیر می‌شوند:

- ۱- **مطالعات حجم ترافیک** : شمارش ترافیک اساسی‌ترین مطالعه ترافیکی و نخستین معیار سنجش تقاضا می‌باشد. عملاً همه جنبه‌های مهندسی ترافیک شامل برنامه‌ریزی و طراحی بزرگراه‌ها، تدابیر کنترل و بهره‌برداری ترافیک، جزئیات زمانبندی چراغها و ... نیازمند حجم ورودی ترافیک هستند.
- ۲- **مطالعات سرعت** : خصوصیات سرعت ارتباط زیادی با مخاطرات ایمنی دارد و ارزیابی عملی بودن مقررات موجود سرعت و یا وضع قوانین جدید بر مبنایی منطقی، نیازمند آن می‌باشد.
- ۳- **مطالعات زمان سفر** : زمان سفر در قسمتهای عمده‌ای از جاده و یا در سراسر طول شبکه معیاری مهم از کیفیت سرویس‌دهی به رانندگان و مسافران می‌باشد. بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی تقاضا نیز به مقادیر صحیح و دقیق زمان سفر نیاز دارند.
- ۴- **مطالعات تاخیر** : تاخیر دارای معانی متعددی است که در فصل‌های بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت. اساساً تاخیر آن بخش یا بخش‌هایی از زمان سفر است که کاربران به نحو مخصوصی احساس رنجش و ناراحتی می‌کنند، مانند توقف پشت چراغ راهنمایی یا توقف ناشی از راه‌بندان بین دو تقاطع.
- ۵- **مطالعات چگالی** : چگالی جریان به ندرت مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود، لیکن با اندازه نرخ جریان و سرعت در موقعیتهای مهم می‌توان آنرا محاسبه نمود. فن‌آوری حسگرهای جدید می‌تواند شلوغی مسیر بر روی یک شناسگر را اندازه‌گیری و آنرا به چگالی تبدیل نماید.
- ۶- **مطالعات تصادف** : از آنجایی که ایمنی ترافیک نخستین وظیفه مهندس ترافیک می‌باشد، مطالعه متمرکز بر روی مشخصات تصادف بر حسب نرخهای کل تصادف و محل‌های خاص، وظیفه بسیار مهمی می‌باشد.
- ۷- **مطالعات پارکینگ** : این مطالعات شامل ارائه فهرستی از پارکینگ‌های موجود و روش‌های مختلف تعیین محل‌های تجمع در نواحی مشخص و در توزیع‌های زمانی معین می‌باشد. همچنین روش‌های مصاحبه‌ای در تعیین نگرش استفاده از تسهیلات پارکینگ و گزینش آن از میان مقصدهای جایگزین حائز اهمیت می‌باشد.

۸- مطالعات حمل و نقل وجابجایی کالا: فهرست تسهیلات موجود حمل بار و سیستمهای ترانزیت

کالا، توصیف گر مهمی برای سیستم حمل و نقل می باشد. از آنجایی که این عناصر می توانند به طور قابل ملاحظه ای منجر به تراکم و انباشتگی گردند، اتخاذ سیاستهای مناسب در طراحی و بهره برداری از این تسهیلات، یکی از نیازهای مهم می باشد.

۹- مطالعات عابر پیاده: عابران پیاده یکی از اجزای سیستم ترافیک می باشند که مهندسان ترافیک باید

خصوصیات آنها را در استفاده از خطوط عابر پیاده در محلهای دارای چراغ راهنمایی یا فاقد چراغ راهنمایی کنترل نمایند. این خصوصیات در بسیاری از تحلیلها به عنوان یک ورودی مورد نیاز می باشند. روشهای مصاحبه ای می تواند برای ارزیابی الگوهای رفتاری و دستیابی به اطلاعات با جزئیات بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰- مطالعات واسنجی (کالیبره سازی): مهندس ترافیک مدلهای اساسی و غیر اساسی مختلف و ارتباط

آنها را برای توصیف و تحلیل ترافیک بکار می گیرد. به منظور اطمینان از اینکه مدلها به صورت منطقی معرف شرایط مورد ادعا می باشند، انجام مطالعات واسنجی مناسب بر روی آنها مورد نیاز می باشد.

۱۱- مطالعات تبعیت از وسایل کنترل ترافیک: به منظور ارزیابی نحوه طراحی و کاربرد وسایل

کنترلی مناسب، انجام مطالعات بر روی کارایی تجهیزات مختلف کنترل ترافیک مورد نیاز می باشد. میزان رعایت و تخطی، ورودی های بسیار مهمی در ارزشیابی شاخصهای کنترل می باشند.

این کتاب دارای فصلهای کاملی پیرامون مطالعات حجم، مطالعات سرعت، زمان سفر و تاخیر،

مطالعات تصادف و مطالعات پارکینگ می باشد. دیگر انواع مطالعات به صورت کلی خلاصه نویسی شده

است، لذا برای دستیابی به تعاریف مشروح پیرامون روندها و روشهای موجود در این زمینه ها، مهندسان باید

به سایر مراجع، مراجعه نمایند.

۸-۲- خصوصیات حجم ترافیک

اساسی ترین اندازه گیری در مهندسی ترافیک شمارش وسایل نقلیه، مسافران و یا افراد می باشد. روشهای مختلف شمارش خودکار و دستی به منظور برآورد پارامترهای زیر مورد استفاده قرار می گیرد :

- حجم
- نرخ جریان
- میزان تقاضا
- ظرفیت

گاهی اوقات در برخی از اندازه گیری ها و وضعیتها، روشهای خودکار و دستی همراه با هم مورد استفاده قرار می گیرند. چهار پارامتر ذکر شده کاملاً با یکدیگر مرتبط بوده و همه آنها بر حسب واحدهایی یکسان یا مشابه بیان می شوند، لیکن مفاهیم آنها یکسان نمی باشد.

۱- حجم عبارت است از تعداد وسایل نقلیه (یا افراد) عبوری از یک نقطه در طی بازه زمانی مشخص که معمولاً برابر یک ساعت می باشد.

۲- نرخ جریان عبارت است از میزان وسایل نقلیه (یا افراد) عبوری از یک نقطه در طی بازه زمانی مشخص که کمتر از یک ساعت می باشد و به صورت نرخ معادل ساعتی بیان می شود.

۳- تقاضا عبارت است از تعداد وسایل نقلیه ای (یا افرادی) که می خواهند از یک نقطه در طی بازه زمانی مشخص (معمولاً یک ساعت) عبور نمایند. در محلهایی که انسداد یا انباشتگی به وقوع می پیوندد اغلب تقاضا بیشتر از حجمهای واقعی می باشد. برخی از سفرها به مسیرهای دیگر منتقل می شوند و تعداد دیگری از سفر اصلاً انجام نمی شوند.

۴- ظرفیت عبارت است از بیشترین نرخ که وسایل نقلیه می توانند از یک نقطه یا طول کوتاه در طی بازه زمانی مشخص عبور نمایند. این پارامتر یکی از مشخصات جاده می باشد. حجم واقعی هرگز نمی تواند در سطحی بیشتر از ظرفیت دقیق یک مقطع مشاهده شود. با این وجود امکان رویت چنین نتایجی هم وجود دارد زیرا ظرفیت جاده اغلب با استفاده از روندهای تحلیلی استاندارد HCM

برآورد می‌شود و ممکن است در عمل برای برخی از موقعیتها خیلی کمتر از ظرفیت دقیق آن برآورد گردد.

به هر حال اندازه‌گیری میدانی هر یک از این پارامترها به شمارش وسایل نقلیه در مکانهای مناسب متکی می‌باشد. این فصل روشهای اصولی مطالعات آمارگیری، از مطالعات محلهای تک و مجزا تا برنامه‌های مداوم شمارش سراسری، و نیز اطلاعات مربوط به خصوصیات متداول حجمهای ترافیک را ارائه می‌دهد.

۸-۲-۱- حجم، تقاضا و ظرفیت

توضیح داده شد که حجم، تقاضا و ظرفیت با وجود آنکه همه بر حسب واحدهای یکسان بیان می‌شوند و ممکن است مربوط به یک مکان مشابه نیز باشند، سه معیار متفاوت هستند. از دیدگاه عملی حجم آن چیزی است که وجود دارد، تقاضا شامل رانندگانی است که تمایل به حضور دارند و ظرفیت محدودیتی فیزیکی است که در امکان حضور وجود دارد. به بیان ساده‌تر، اگر وسایل نقلیه در یک محل مشخص برای مدت یک ساعت شمارش شوند:

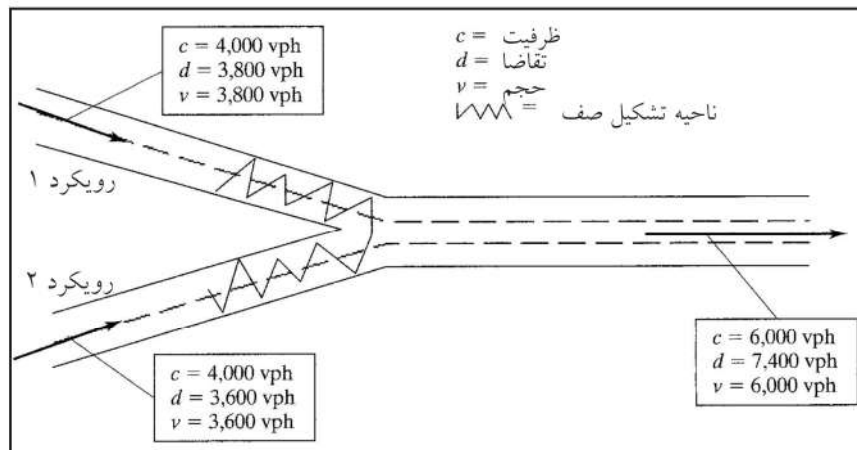
• حجم عبارت خواهد بود از تعداد وسایل نقلیه شمارش شده‌ای که در مدت یک ساعت از محل مطالعه عبور می‌کنند.

• تقاضا عبارت خواهد بود از مقدار حجم به علاوه وسایل نقلیه‌ای که رانندگان آنها مایل بودند در طی ساعت مطالعه از محل عبور نمایند، لیکن انسداد و انباشتگی آنها را از این کار باز داشته است. این رانندگان شامل راننده‌های منتظر در صف برای رسیدن به محل مطالعه، راننده‌های استفاده کننده از مسیرهای دیگر برای اجتناب از شلوغی اطراف محل مطالعه و راننده‌های صرف نظر کننده از سفر به علت وجود شلوغی می‌باشند.

• ظرفیت عبارت خواهد بود از بیشترین حجمی که جاده بتواند در محل مطالعه در خود جای دهد.

به مثال ارائه شده در شکل (۸-۱) توجه کنید. این شکل مقطع نمونه گلوگاه را در یک آزاد راه نشان می‌دهد که در این مورد شامل یک ناحیه همگرایی مهم می‌باشد. برای هر یک از شاخه‌های ورودی و برای

مقطع پایین دست آزاد راه، مقادیر حجم واقعی (v)، تقاضا (d) و ظرفیت (c) قطعات معلوم می‌باشند. ظرفیت محدودیت اصلی تسهیلات محسوب می‌شود. مطابق شکل (۸-۱) ظرفیت هر خط برابر 2000 veh/h است، بنابراین ظرفیت هر یک از شاخه‌های ورودی دوخطه برابر 4000 veh/h می‌باشد و این در حالی است که ظرفیت آزاد راه سه خطه پائین دست برابر 6000 veh/h خواهد بود.



شکل (۸-۱): حجم، تقاضا و ظرفیت در یک موقعیت گلوگاهی

با فرض اینکه ظرفیتهای تعیین شده صحیح هستند، هرگز حجمی بیش از این ظرفیتهای قابل شمارش نمی‌باشد. به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت که شما نمی‌توانید ۲۵ لیتر آب را در یک سطل ۲۰ لیتری حمل کنید. لذا این موضوع مطالب مفیدی را برای رسیدگی به آنچه در وضعیت توصیف شده مشاهده خواهد شد در بر دارد. در رویکرد ۱، تقاضا واقعی 3800 veh/h و ظرفیت 4000 veh/h می‌باشد. در رویکرد ۲، تقاضای واقعی 3600 veh/h و ظرفیت همچنان 4000 veh/h می‌باشد. در هیچ کدام از دو رویکرد کمبود ظرفیت وجود ندارد. با این وجود در پائین دست ناحیه همگرایی، ظرفیت برابر 6000 veh/h می‌باشد و این در حالی است که مجموع تقاضای ورودی برابر $3800 + 3600 = 7400 \text{ veh/h}$ خواهد بود. این مقدار بیشتر از ظرفیت قطعه می‌باشد.

با در نظر گرفتن این سناریو، چه مشاهداتی را می‌توان پیش‌بینی نمود ؟

• تا زمانی که شرایط نشان داده شده وجود دارد، هر حجمی که در پائین دست ناحیه همگرایی شمارش می شود، نمی تواند از 6000 veh/h تجاوز نماید. از اینرو شمارش حجم 6000 veh/h پیش بینی می شود.

• کمبود ظرفیت در پایین دست ناحیه همگرایی منجر به آغاز شکل گیری صفی از وسایل نقلیه و گسترش آن به بالادست هر دو رویکرد خواهد شد.

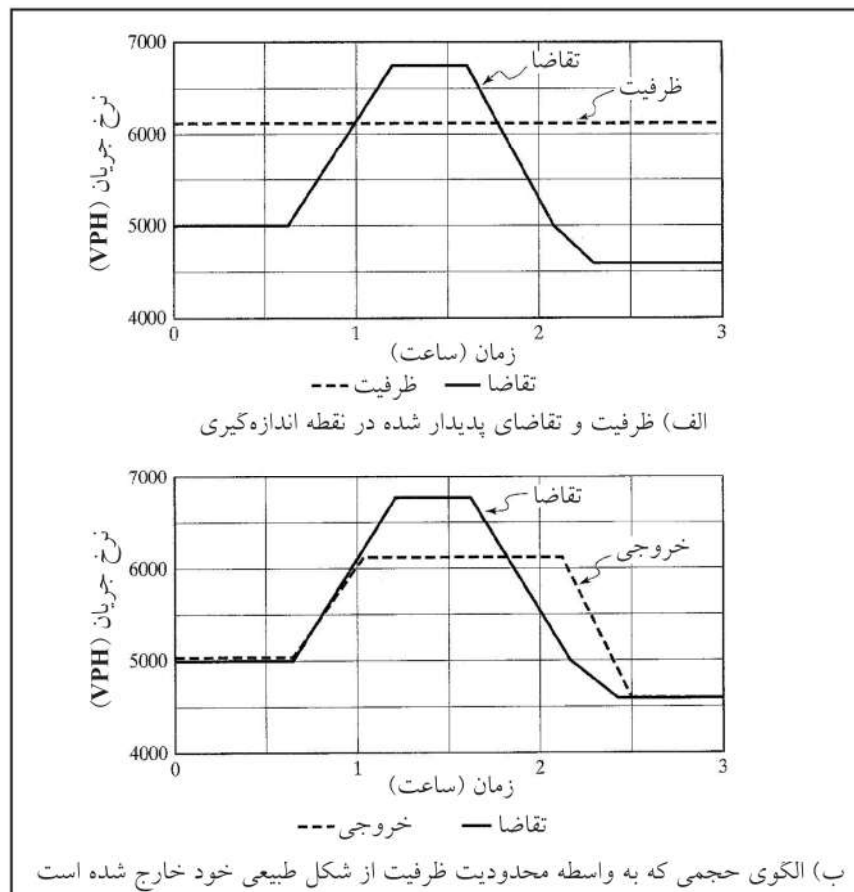
• در صورتی که وسایل نقلیه ورودی به هریک از دو مسیر در بالادست صفهای تشکیل شده شمارش شوند و با این فرض که هیچ یک از وسایل نقلیه به مسیرهای جایگزین تغییر مسیر نمی دهند، تقاضای واقعی برای هریک از مسیرها محاسبه خواهد شد. در صورتی که وسایل نقلیه نزدیک شوند در داخل صفهای تشکیل شده شمارش شوند، نتایج در زمان و مکان متغیر و بی ثبات خواهد بود. لیکن کل وسایل نقلیه نباید از 6000 veh/h یا به عبارتی ظرفیت مقطع پائین دست آزاد راه بیشتر باشد.

سوال آخر نیز جالب توجه است: فرض کنید صفهای هر دو رویکرد تحت نظر قرار می گیرد، آیا این فرض که شمارش پائین دست به میزان 6000 veh/h یک اندازه بی کم و کاست از ظرفیت مقطع می باشد، منطقی است؟ این موضوع مستلزم موشکافی های بیشتر است.

وجود صف در هر دو رویکرد مطمئناً حاکی این مطلب است که مقطع پائین دست، جریانی به اندازه ظرفیت خود را تجربه نموده است. با این وجود، ظرفیت به صورت حداکثر نرخ جریانی که تحت شرایط پایدار عملیاتی (بدون از کار افتادگی) حاصل می شود، تعریف می گردد. بنابراین ظرفیت دقیقاً برابر نرخ جریان در لحظه ای قبل از شکل گیری صفها خواهد بود. پس از شکل گیری صفها، جریان در حالت "تخلیه صف" قرار می گیرد، در این حالت نرخهای جریان و حجمهای اندازه گیری شده ممکن است برابر، کمتر و یا حتی بیشتر از ظرفیت باشد. با این وجود در عمل ممکن است ظرفیت تخلیه صف با اهمیت تر از شاخص جریان پایدار باشد. در بسیاری از موارد جریان پایدار، موقتی می باشد و نمی تواند برای مدت زمانهای طولانی ادامه یابد.

همانطور که در شکل ملاحظه می شود، حجم (یا نرخ جریان) می تواند در هر جایی شمارش گردد و یک نتیجه حاصل شود. در موقعیتهایی که صف وجود دارد، منطقی است که فرض گردد جریانهای

پائین‌دست بیانگر ظرفیت یا شرایط تخلیه صف می‌باشد. با این وجود، بحث پیرامون تقاضا بسیار مشکل است. در حالی که وسایل نقلیه موجود در صف می‌تواند به آمارها افزوده شود، این کار ضرورتاً یک سنجش از تقاضای واقعی نمی‌باشد. تقاضای واقعی شامل عناصری می‌شود که در یک محل مجزا موفق شوند به آن سوی وسایل نقلیه موجود در صف برسند. تعیین تقاضای واقعی نیازمند برآوردی از نحوه تغییر مسیر اکثر رانندگان برای اجتناب از محل مورد بحث می‌باشد. همچنین این امر نیازمند شناخت رانندگانی است که به سمت مقصدهای جایگزین سفر می‌کنند و یا آنهایی که خیلی راحت تصمیم می‌گیرند به عنوان پیامدی از تراکم و ازدحام در خانه بمانند (سفر نکنند).



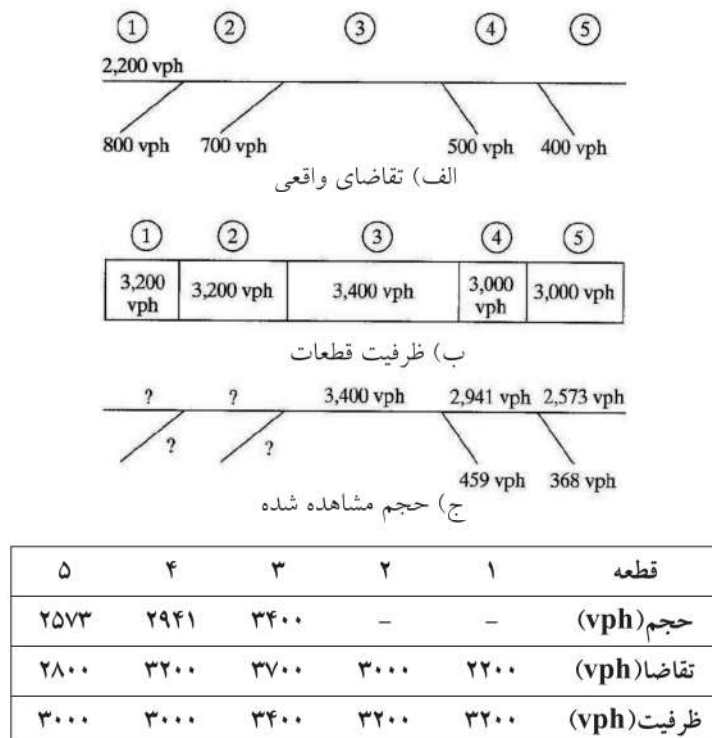
شکل (۸-۲): یک تحلیل ساده از تقاضای بیش از ظرفیت

شکل (۸-۲) تاثیر محدودیت ظرفیت را بر روی شمارش‌های ترافیکی نشان می‌دهد. قسمت (الف)

نموداری از تقاضا و ظرفیت را نمایش می‌دهد. در صورتی که محدودیت موجود در ظرفیت بر طرف نشود،

تقاضای ترسیم شده قابل مشاهده خواهد بود. قسمت (ب) آن چیزی را که در حقیقت اتفاق می افتد، نشان می دهد. حجم ترافیک هیچگاه نمی تواند به سطحی بیشتر از مقدار ظرفیت ارتقاء یابد. بنابراین اوج واقعی شمارشها برابر مقدار ظرفیت می باشد و به دلیل آنکه تمام وسایل نقلیه ورودی نمی توانند سرویس دریافت کنند، ضرورتاً دوره اوج جریان تا هنگامی که تمام وسایل نقلیه سرویس داده شوند به طول می انجامد. در نتیجه آمار مشاهده شده بر این موضوع دلالت خواهد داشت که نرخ جریان اوج تقریباً برابر مقدار ظرفیت بوده و این جریان در طول یک دوره زمانی ممتد اتفاق می افتد. توزیع حجم مثل آن به نظر می رسد که یک نفر توزیع تقاضا را گرفته و با دست خود آن را به صورت تخت در آورد.

هنگامی که تفاوت میان آمار حجم مشاهده شده و تقاضای واقعی در برنامه ریزی و طراحی ناشناخته بماند و لحاظ نشود، این تفاوت می تواند پیامدهای جالب توجهی را در بر داشته باشد. شکل (۸-۳) یک مورد جالب را در مقطعی از آزادراه که دارای چهار شیب راه (رمپ) می باشد، نشان می دهد.



(د) حجم، تقاضا و ظرفیت در قطعات آزادراه

شکل (۸-۳): اثرات یک گلوگاه در حجمهای مشاهده شده

مطابق شکل (۸-۳) حجم تقاضای ورودی به قطعه ۳ برابر 3700 veh/h می باشد و این مقدار بیشتر از ظرفیت 3400 veh/h آن قطعه است. به لحاظ شمارش انجام شده درون هر قطعه، 3400 veh/h در قطعه ۳ مشاهده شده است. از آنجایی که 3400 veh/h فقط در حال خروج از قطعه ۳ هستند، شمارشهای پایین دست در قطعات ۴ و ۵ از تقاضای واقعی این قطعات کمتر خواهد بود. در این مثال، شمارشهای نشان داده شده بیانگر یک توزیع متناسب حجم بر روی شیب‌راه‌های مختلف می باشد و برای این منظور از توزیع مشابهی که برای مقادیر تقاضا بیان شده است استفاده می شود. این شمارشها از ظرفیت قطعات ۴ و ۵ بیشتر نمی باشد. شمارشهای بالادست در قطعات ۱ و ۲ ناپایدار خواهد بود و بیانگر حالت صف ناپایدار در طی دوره شمارش می باشد.

فرض نمایید که به عنوان دستاورد این مطالعه تصمیم گرفته شده است تا با افزودن یک خط به قطعه ۳، ظرفیت آنرا بطور اساسی تا حجمی بیشتر از تقاضای 3700 veh/h ، افزایش دهند. پس از انجام این کار، اکنون حجمی که به داخل قطعه ۴ تخلیه می شود برابر 3200 veh/h می باشد که از ظرفیت 3000 veh/h این قطعه بیشتر است. این گلوگاه دوم که اغلب به عنوان یک گلوگاه پنهان منسوب می باشد، در اطلاعات اصلی بدست آمده از حجم آشکار نبود. دلیل عدم مشهود بودن این گلوگاه این بود که تقاضای موجود به علت وجود یک گلوگاه در بالادست از رسیدن به قطعه محدود شده بود. این چنین محدودیتی اغلب به عنوان کمبود تقاضا منسوب می باشد.

در طرح بهسازی اصلاحی جاده، بسیار مهم حیاتی می باشد که تمام نقاط پایین دست بطور صحیح مورد ارزیابی قرار گیرد تا این قبیل گلوگاههای پنهان شناسایی شوند. در مثال نشان داده شده، ممکن است پروژه بهسازی مجبور شود هر دو گلوگاه موجود و پنهان را برای دستیابی به نتایج موفق اصلاح نماید.

آنالیز یک گلوگاه واقع در آزادراه نسبتاً ساده می باشد، زیرا تعداد نقاط ورودی و خروجی محدود می شود و تعداد مسیرهای جایگزین موجود معمولاً کم است. با این وجود در شریانی‌ها وضعیت بسیار پیچیده است، زیرا هر تقاطع بیانگر یک دسترسی برای انحراف از مسیر می باشد و بطور کلی تعداد مسیرهای جایگزین بسیار گسترده است. از اینرو پی بردن به واکنش تقاضا نسبت به یک گلوگاه واقع در شریانی بسیار سخت می باشد. همچنین ممکن است یک شریانی دارای گلوگاههایی باشد که روی هم قرار می گیرند و این

موضوع تحلیل آن را پیچیده‌تر می‌کند. برای مثال در صورتی که چند تقاطع چراغدار متوالی با کمبود ظرفیت مواجه شوند، ردیابی اثرات مشکل می‌باشد. آیا زمانبندی ناکافی یک چراغ راهنمایی در بالادست منجر به کمبود شده است یا به علت صف حاصل از چراغ راهنمایی پایین دست، تقاطع مسدود شده است؟

در سیستمهای شریانی بجز در محلهایی که محدودیت ظرفیت وجود ندارد، اندازه‌گیری تقاضای موجود اغلب امکان‌پذیر نیست. در ادامه این فصل، یک روش برای تشخیص تقاضای ورودی به تقاطع از حجمهای مشاهده شده در یک وضعیت مواجه با محدودیت ظرفیت، مورد بحث قرار می‌گیرد. با این وجود این روش فقط برای یک انسداد مجزا و بدون در نظر گرفتن تاثیرات تغییر جهت بکار می‌رود. شلوغی در یک سطح از شبکه خیابان به شدت الگوهای تقاضا را از شکل طبیعی خارج می‌کند و حجمهای مشاهده شده به جای تقاضای واقعی، بیشتر بازتابی از محدودیتهای ظرفیت می‌باشند.

دانشجویان باید توجه نمایند که واژه‌های "حجم" و "تقاضا" حتی در متون فنی نیز اغلب نادرست مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بیشتر موارد لازم می‌باشد که معنی واقعی این واژه‌ها از متنی که در آن بکار رفته‌اند، تشخیص داده شود.

در تحلیل نهایی، همیشه شمارشهای حجم به مشاهده‌ای از حجم منجر می‌شوند. بر حسب شرایط، حجمهای مشاهده شده ممکن است برابر تقاضا، ظرفیت و یا هیچ یک از این دو باشد. با این وجود مهندس ترافیک باید از طریق برنامه‌ها و مطالعات آمارگیری، بینش کافی برای تشخیص وضعیت موجود، در نظر گرفتن صحیح وضعیت در تفسیر اطلاعات حاصل از مطالعه و توسعه برنامه‌های اصلاحی را کسب نماید.

۸-۲-۲- خصوصیات و الگوهای حجم ترافیک

در صورتی که ترافیک به صورت یکنواخت در بین ۸۷۶۰ ساعت سال توزیع می‌شد، هیچ نقطه‌ای از کشور دچار تجمع یا تاخیر قابل ملاحظه نبود. بطور حتم مسئله‌ای که برای مهندسان ترافیک مطرح می‌باشد این است که در طی یک روز معمولی اوجهای شدیدی وجود دارند و اصولاً بوسیله مسافران دائمی که به سر کار می‌روند یا از کار باز می‌گردند تقویت می‌شوند. بر حسب منطقه و موقعیت خاص، ساعت اوج بطور

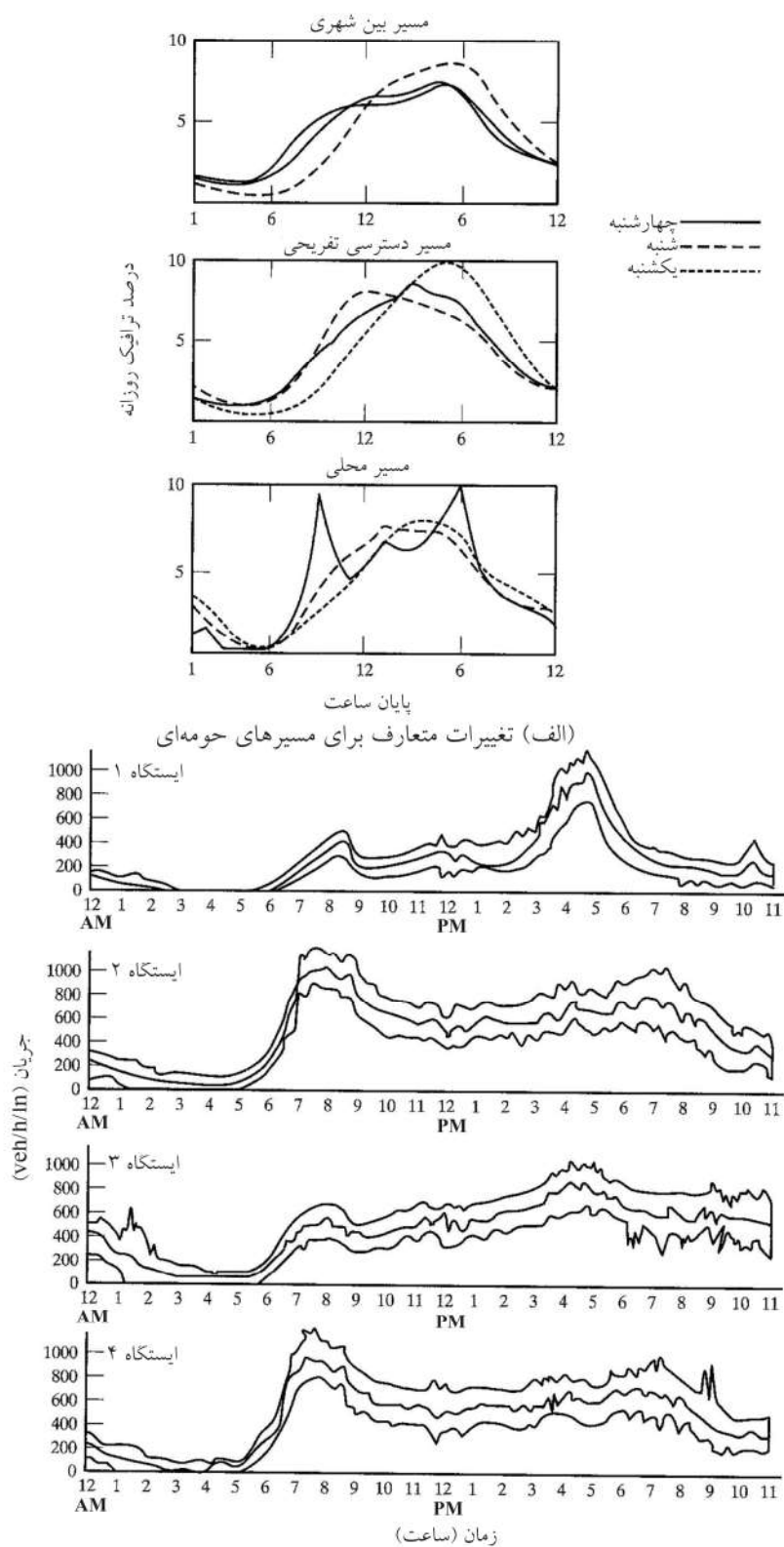
متعارف ۱۰ تا ۱۵ درصد حجم ۲۴ ساعته را در بر می گیرد. در نواحی دوردست یا برون شهری این درصد می تواند خیلی بیشتر باشد لیکن حجمهای ترافیک در این محدوده ها بسیار کمتر است.

بنابراین مهندس ترافیک باید اولویتهای سفر جامعه خود را در برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری از سیستمهای جاده ای مورد رسیدگی قرار دهد. در برخی از نواحی متراکم شهری به منظور وادار نمودن پخش ترافیک ساعت اوج، مبادرت به اتخاذ سیاستهایی نظیر تغییر ساعات یا روزهای کاری و یا سیاستهای قیمت گذاری متغیر برای عوارض راه و تسهیلات پارکینگ شده است. با این حال مهندس ترافیک هنوز باید با مسئله ای اساسی روبرو شود. تقاضا در ساعات یک روز، روزهای یک هفته، ماهها یا فصلهای یک سال و در واکنش به رویدادهای منحصر به فرد (چه برنامه ریزی شده و چه برنامه ریزی نشده) نظیر مسیرهای انحرافی، تصادفات یا دیگر حوادث و حتی شرایط جوی طاقت فرسا تغییر می نماید. فن آوری نوین سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS) بطور افزاینده ای تلاش می کند تا با فراهم نمودن اطلاعات مربوط به مسیرها، زمانهای متداول سفر و شرایطی که بطور مستقیم به رانندگان مربوط می شود، تقاضا را بر مبنای یک زمان واقعی اداره و کنترل نمایند. این بخش از فن آوری به سرعت در حال رشد است اما تأثیرات آن تا کنون به خوبی مستند نشده است.

یکی از دلایل انجام مطالعات حجم ترافیک مستندسازی این الگوهای تغییر پیچیده و ارزیابی تأثیر فن آوری ITS و دیگر معیارها بر تقاضای ترافیک می باشد.

الگوهای تغییر ساعتی ترافیک: پدیده ساعت اوج

به هنگام بررسی الگوهای ساعتی ترافیک، مقید خواهیم بود که در مورد دو "ساعت اوج" از روز فکر کنیم: صبح و عصر. با توجه به زیاد بودن مسافران دائمی که در صبح (معمولاً بین ۷ تا ۱۰ صبح) به سر کار می روند و هنگام عصر (معمولاً بین ۴ تا ۷ عصر) به خانه باز می گردند، این الگوها تمایل به تکرار دارند و نسبت به سایر جنبه های تقاضای ترافیک بیشتر قابل پیش بینی هستند. این مورد اصطلاحاً الگوی نمونه ای نامیده می شود که فقط سفر روزهای کاری هفته را در بر می گیرد و ممکن است شواهد جدید اظهار نمایند که این الگو به آن اندازه ای که ما تمایل داشته ایم برای پذیرش متعارف نمی باشد.



شکل (۸-۴): تغییر روزانه در حجمهای ترافیک ۴ موقعیت شهری

شکل (۴-۸) تعدادی از الگوهای تغییر ساعتی را که از مراجع ۲ و ۳ گردآوری شده و در راهنمای ظرفیت جاده (HCM) مستند می‌باشد، را نشان می‌دهد. در قسمت (الف) شکل (۴-۸)، توزیعهای ساعتی برای جاده‌های برون شهری رسم شده است. فقط الگوی روزهای کاری در یک مسیر محلی برون شهری الگوهای مورد انتظار برای اوج صبح و عصر را نشان می‌دهد. توزیعهای محلی ترافیک تعطیلات آخر هفته، ترافیک تفریحی و ترافیک بین شهری فقط دارای یک اوج هستند که به صورت پراکنده در ظهر یا بعد از ظهر اتفاق می‌افتد. در قسمت (ب) اطلاعات مربوط به یک جهت از ۴ ایستگاه شهری در روزهای کاری هفته نشان داده شده است. ایستگاه ۱ و ۳ در جهت مخالف ایستگاه ۲ و ۴ در دو بلوک مجزا از همان تسهیلات واقع می‌باشند. در حالی که ایستگاه‌های ۲ و ۴ اوجهای مشهود صبح را نشان می‌دهند، ترافیک پس از اوج نسبتاً زیاد و بطور شگفت‌آوری برای اغلب روز یکنواخت باقی می‌ماند. در جهت مخالف، ایستگاه‌های ۱ و ۳ اوجهای عصر را نشان می‌دهند و مشاهده می‌شود که ایستگاه ۳ حجم ترافیک قابل ملاحظه‌ای را در ساعات غیر اوج نمایش می‌دهد. مطابق شکل فقط ایستگاه ۱ اوج عصرگاهی شدیدی را نشان می‌دهد که ترافیک در طی سایر قسمتهای روز بطور قابل توجهی از آن کمتر است.

عدم وجود اوجهای صبح و عصر مشهود در بسیاری از نواحی اصلی شهری پدیده‌ای شایع می‌باشد. مطالعه اخیر بر روی یکی از تسهیلات اصلی (شاهراه Long Island در نیویورک (I-459)) نشان داد که در یک روز کاری نمونه فقط یک اوج در داده‌های ترافیک قابل تشخیص بود و این اوج برای ۱۰ تا ۱۲ ساعت از روز به طول انجامید. این مشخصه پیامد مستقیم محدودیتهای ظرفیت سیستم می‌باشد. همه کسانی که می‌خواهند در ساعات معمول اوج رانندگی کنند، نمی‌توانند سرویس دریافت کنند. به این دلیل افراد انتخابهایی از سفر را در پیش می‌گیرند که به آنها اجازه می‌دهد بطور افزاینده‌ای در طی ساعات غیر اوج سفر کنند. این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که واقعاً تفکیک دوره‌های غیر اوج از دوره‌های اوج غیر ممکن می‌باشد.

شکل (۴-۸-ب) مشخصه درخور توجه دیگری را نشان می‌دهد. خطوط بیرونی هر یک از نمودارها فواصل اطمینان ۹۵ درصد برای حجمهای ساعتی در طی یک دوره یک ساله را نشان می‌دهند. مهندسان ترافیک بر روی تکرارپذیری تقاضای پایه ترافیک ساعت اوج حساب می‌نمایند. با این وجود مطابق شکل

(۸-۴-ب) تغییر در این حجمها ناچیز نمی باشد. در طی هر دوره سالانه مفروض، ۳۶۵ ساعت اوج (برای هر روز سال یک ساعت اوج) در هر موقعیت وجود دارد. سوال مطرح برای مهندس ترافیک این است که کدام یک از این ساعات را باید برای برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری مورد استفاده قرار دهد.

در شکل (۸-۵) نمودارهایی از حجمهای ترافیک ساعت اوج (به صورت درصدهایی از AADT) به صورت نزولی برای تسهیلات مختلف در مینسوتا ارائه شده است. در کلیه موارد به وضوح یک ساعت اوج حداکثر در سال وجود دارد. با این وجود اختلاف بین این اوج حداکثر و حجم ساعات اوج سال بستگی به نوع تسهیلات دارد. مسیر تفریحی دارای بیشترین اختلاف می باشد. این موضوع غیر منتظره نیست، زیرا چنین مسیری در طی تعطیلات آخر هفته فصلهای مناسب گرایش به اوجهای ترافیک بزرگ خواهد داشت و در یک روز عادی ترافیک آن بسیار کم می باشد. اختلاف در مسیر اصلی برون شهری کمتر می باشد زیرا اقلاً برخی از مولفه های ترافیک را سفرهای کاری منظم در بر می گیرند. جاده های شهری اختلاف بین حجم ساعت حداکثر و حجم ساعات اوج را بسیار کمتر نشان می دهند.

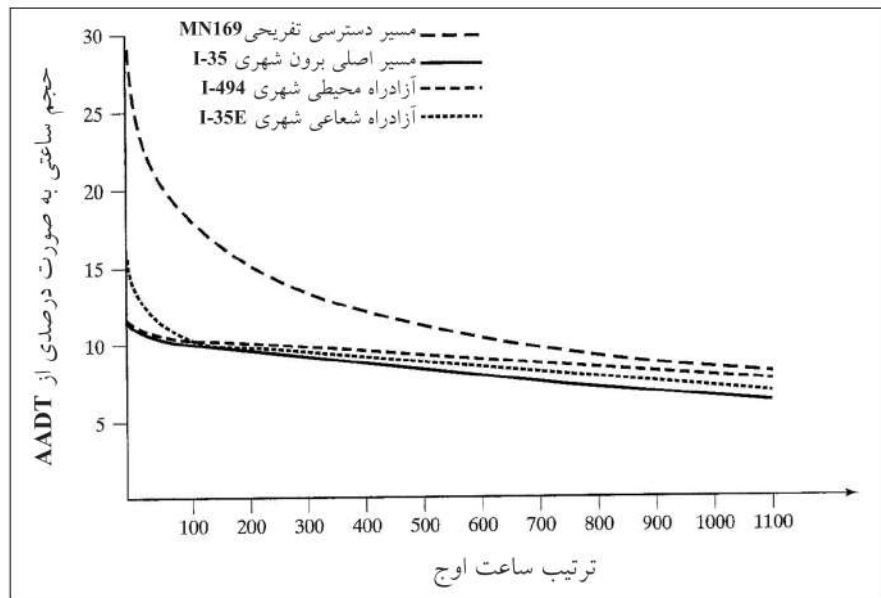
بررسی ساعات اوج مختلف برای انواع تسهیلات نشان داده شده در شکل (۸-۵) که اطلاعات تسهیلات مختلف در مینسوتا را ارائه می دهند، جالب توجه می باشد. جدول (۸-۱) درصد AADT را که در طی ساعات اوج برگزیده برای انواع تسهیلات ارائه شده اتفاق می افتد، فهرست نموده است.

انتخاب ساعت اوج برای استفاده به عنوان مبنای از یک مسیر دسترسی تفریحی بسیار مهم می باشد. در این مورد، ساعت حداکثر سال دو برابر ترافیک دویستمین ساعت اوج سال و ۱/۳۶ برابر ترافیک سی امین ساعت اوج سال را تحمل می کند. در مورد مسیرهای شهری، ترافیک ساعت حداکثر سال فقط ۱/۲ برابر دویستمین ساعت اوج سال می باشد.

به لحاظ تاریخی، سی امین ساعت اوج در برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری مسیرهای برون شهری استفاده شده است. دو استدلال اصلی برای چنین سیاستی عبارتند از:

- تقاضای هدف تنها ۲۹ دفعه در سال بیشتر خواهد شد.
- سی امین ساعت اوج معمولاً دلالت بر نقطه ای دارد که ساعات اوج بعدی حجمهای مشابهی دارند.

مورد دوم بر روی بسیاری از نمودارها نقطه‌ای را تعیین می‌کند که در آن منحنی شروع به صاف شدن می‌نماید، محدوده‌ای از تقاضا که برای سرمایه‌گذاری در ظرفیت اضافی جاده اقتصادی به نظر می‌رسد.



شکل (۵-۸): ساعات اوج به صورت درصدی از AADT [۱]

جدول (۱-۸): مقادیر راهنما مطابق شکل (۵-۸)

درصدی از AADT که در ساعات اوج i ام رویت می‌شود				نوع تسهیلات
یکم	سی‌ام	صدم	دویست‌ام	
۳۰٪	۲۲٪	۱۸٪	۱۵٪	دسترسی تفریحی
۱۵٪	۱۳٪	۱۰٪	۹٪	اصلی بین شهری
۱۱/۵٪	۱۰/۵٪	۱۰٪	۹/۵٪	آزاد راه محیطی شهری
۱۱/۵٪	۱۰/۵٪	۱۰٪	۹/۵٪	آزاد راه شعاعی شهری

انتخاب ساعت طرح در موقعیتهای شهری کمتر مشهود می‌باشد و تاثیر کمتری دارد. ساعت‌های طرح معمولاً در محدوده بین ساعت اوج سی‌ام و ساعت اوج صدم انتخاب می‌شوند. برای تسهیلات شکل (۵-۸)، این انتخاب محدوده‌ای از ۱۰ تا ۱۰/۵ درصد AADT را ارائه می‌دهد. برای مثال به ازای AADT برابر با ۸۰۰۰۰ veh/h، تفاوت در میزان تقاضای این محدوده تنها برابر ۴۰۰ veh/h می‌باشد.

الگوهای تغییر زیر ساعتی : نرخ جریان در مقابل حجم

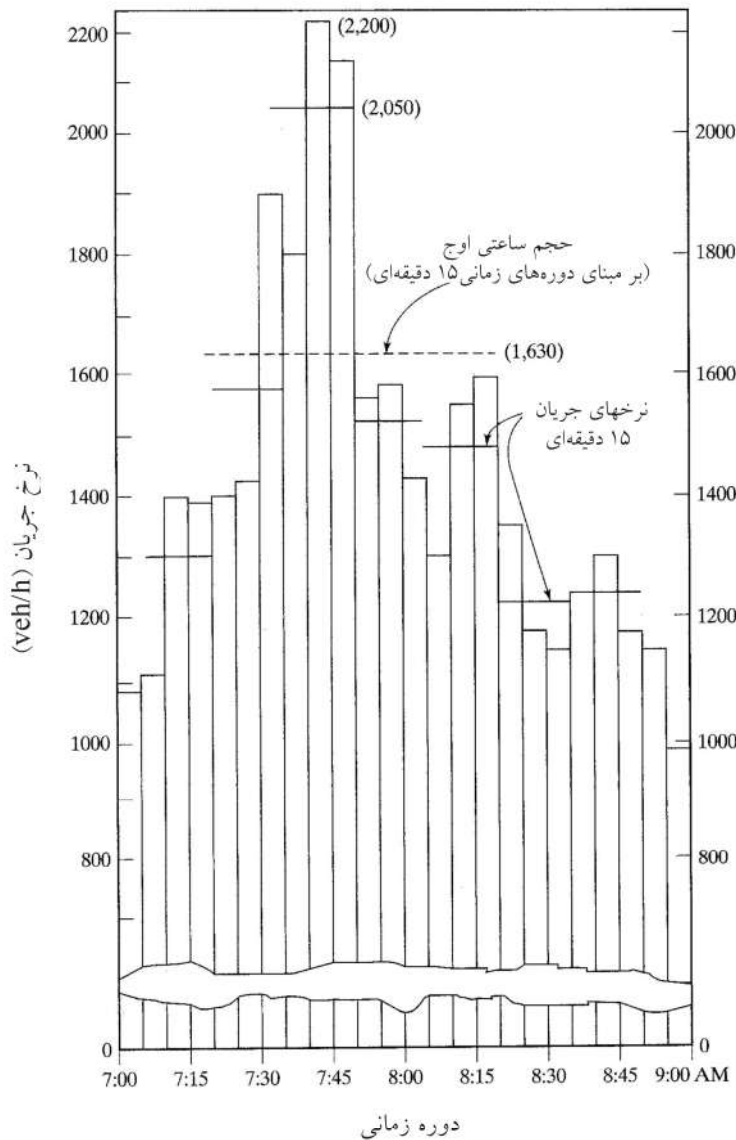
در فصل ۵ اشاره شد که در بیشتر موارد لازم است تا اوج جریانهای ترافیک در ساعت اوج، در طراحی و بهره‌برداری مورد رسیدگی قرار گیرد. فاکتور ساعت اوج (PHF) به عنوان عامل تعیین تفاوت بین حداکثر نرخ جریان و حجم ساعتی در مدت ساعت اوج تعریف می‌شود. شکل (۸-۶) اختلاف میان نرخ‌های جریان ۵ دقیقه‌ای، ۱۵ دقیقه‌ای و ساعتی اوج را برای یک موقعیت آزاد راهی در مینسوتا نشان می‌دهد.

نرخهای جریان تقریباً برای هر دوره زمانی قابل اندازه‌گیری می‌باشند. برای اهداف تحقیقاتی غالباً دوره‌هایی از یک تا پنج دقیقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود فواصل زمانی خیلی کوچک در برخی نقاط غیر عملی می‌باشد. در یک بازه ۲ ثانیه‌ای، دامنه تغییرات حجم عبوری از یک خط مفروض به ۰ یا ۱ محدود خواهد شد و نرخهای جریان به لحاظ آماری بی معنی خواهد بود.

برای اکثر کاربردهای مهندسی ترافیک، زمان ۱۵ دقیقه به عنوان دوره زمانی استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد و اساساً این اعتقاد وجود دارد که این زمان کوتاه‌ترین دوره زمانی است که نرخهای جریان در طی آن به لحاظ آماری ثابت می‌باشند. ثبات آماری بر این موضوع دلالت دارد که روابطی منطقی می‌تواند میان پارامترهای جریان نظیر نرخ جریان، سرعت و چگالی تعیین شود. در سالهای اخیر نظریه‌هایی ارائه شده است که بویژه در تسهیلات آزادراهی، ممکن است نرخهای جریان ۵ دقیقه‌ای بیانگر ثبات آماری باشند. با این وجود، روال استفاده از زمان ۱۵ دقیقه‌ای به عنوان دوره زمانی استاندارد برای نرخهای جریان ادامه دارد.

به هر حال، این انتخاب پیامدهای مهمی را در بر دارد. مطابق شکل (۸-۶)، بزرگترین نرخ جریان ۵ دقیقه‌ای برابر 2200 veh/h/ln ، بزرگترین نرخ جریان ۱۵ دقیقه‌ای برابر 2050 veh/h/ln و حجم ساعت اوج برابر 1630 veh/h/ln می‌باشد. در این مورد انتخاب دوره مبنای ۱۵ دقیقه‌ای برای طراحی و تحلیل به این معنی می‌باشد که نرخ جریان تقاضا (با فرض عدم محدودیت ظرفیت) برابر 2050 veh/h/ln خواهد بود. این مقدار ۷ درصد کمتر از حداکثر نرخ جریان ۵ دقیقه‌ای و ۲۰ درصد بیشتر از حداکثر حجم ساعتی می‌باشد. در شرایط واقعی طراحی، این تفاوتها را می‌توان به صورت طرحی با یک خط عبور کمتر یا بیشتر یا تفاوتی در جنبه‌های هندسی و کنترلی تعبیر نمود. همچنین استفاده از دوره‌های جریان ۱۵ دقیقه‌ای بر

این موضوع دلالت دارد که اختلالاتی یک دوره زمانی کوتاهتر منجر به انواعی از بی ثباتی که توأم با اختلالاتی طولانی تر از ۱۵ دقیقه می باشد، نمی گردد.

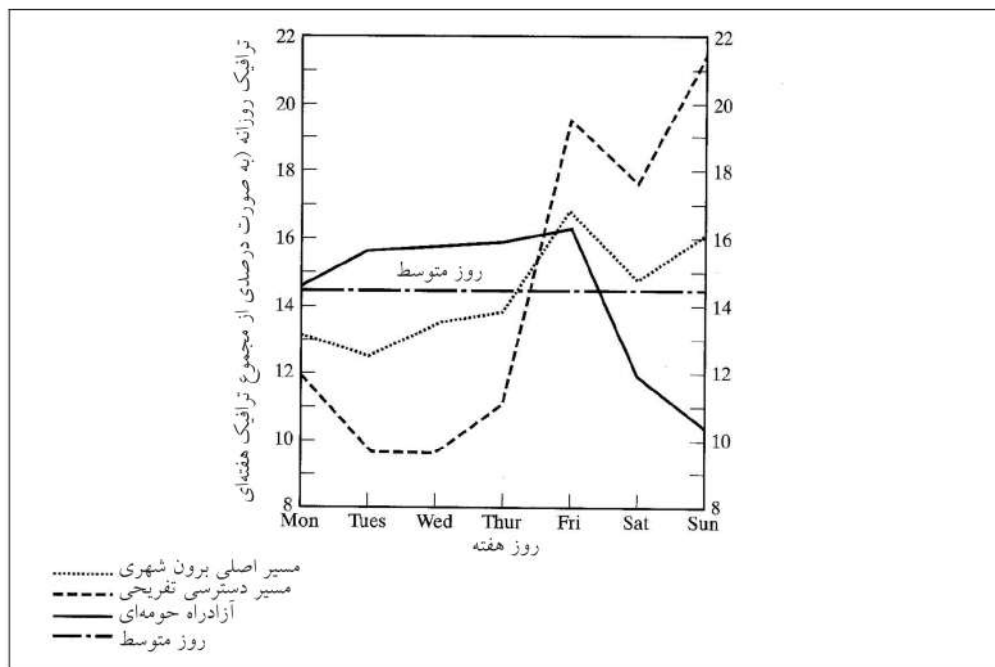


شکل (۸-۶): تغییرات جریان در طی ساعت اوج [۱]

الگوهای تغییر روزانه :

حجم‌های ترافیک از الگوهای تغییر روزانه پیروی می‌کنند. این الگوها به وسیله انواع کاربری زمین و اهداف سفر سرویس داده شده به وسیله هر یک از تسهیلات، ایجاد می‌شوند. شکل (۸-۷) برخی از

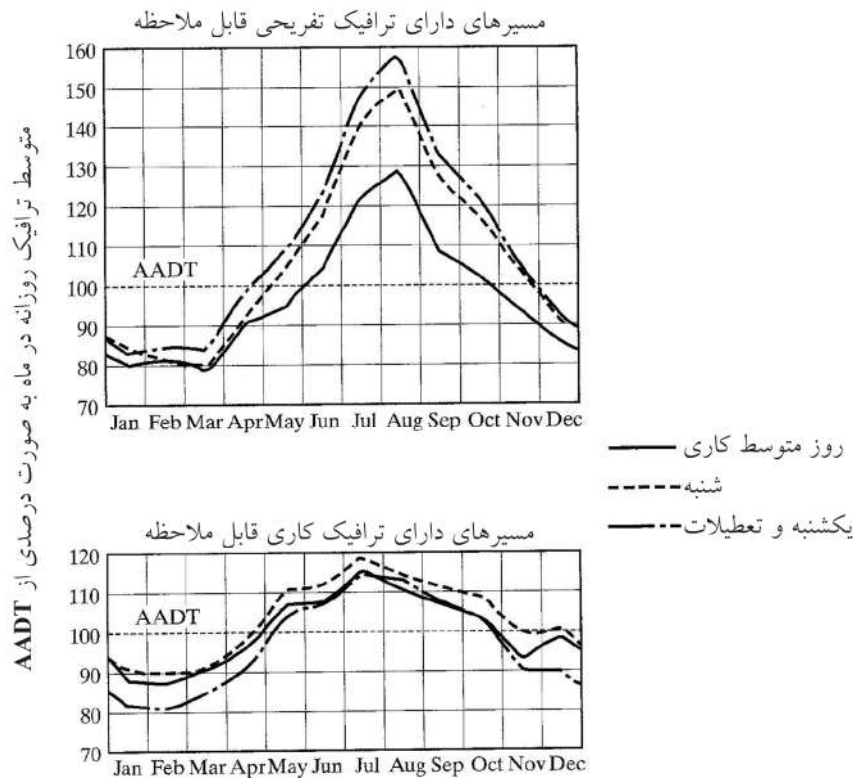
الگوهای نمونه را نشان می‌دهد. در راههای دسترسی تفریحی اوجهای شدید در جمعه‌ها و شنبه‌ها مشاهده می‌شود. این یک الگوی نمونه برای مسیریابی است که رانندگان در جمعه‌ها شهر را به مقصد نواحی تفریحی ترک می‌نمایند و در یکشنبه باز می‌گردند. دوشنبه تا پنج شنبه تقاضای ترافیکی کمتری دارد، هر چند به علت اینکه تعدادی از مسافران به جای یکشنبه، بعد از تعطیلی آخر هفته باز می‌گردند، ترافیک دوشنبه مقداری بیشتر از سایر روزهای هفته می‌باشد. آزادراه حومه شهری به طور مشهود نیاز مسافران دائمی را برآورده می‌کند. سفرهای دائمی (سفرهای کاری روزانه که از حومه شهر و بالعکس انجام می‌شوند) تقریباً برعکس سفرهای تفریحی هستند، به عبارتی اوجها در روزهای کاری هفته اتفاق می‌افتند و در تعطیلات آخر هفته تقاضا کمتر می‌باشد. راه اصلی برون شهری در این شکل الگویی مشابه راه تفریحی دارد، لیکن تغییرات موجود بین روزهای کاری هفته و تعطیلات آخر هفته کمتر می‌باشد. راهی که به سفرهای تفریحی و سفرهای دائمی و ترکیب آنها سرویس می‌دهد، به کاهش میزان تغییرات مشاهده شده منجر می‌شود.



شکل (۸-۷): الگوهای متعارف تغییرات حجم روزانه

الگوهای تغییر ماهانه یا فصلی:

شکل (۸-۸) الگوهای نمونه‌ای از تغییر حجم ماهانه را نشان می‌دهد. راههای تفریحی در طی فصول مناسب (تابستان برای سواحل دریا و زمستان برای اسکی) دارای اوجهای شدید خواهند بود. راههای سفرهای دائمی اغلب الگوهایی مشابه و با تغییرپذیری کمتر را نشان می‌دهند. مطابق شکل (۸-۸)، راههای تفریحی ADT ماهانه‌ای در محدوده ۷۷ تا ۱۵۸ درصد AADT را در معرض نمایش می‌گذارند. راههای سفرهای دائمی با وجود آنکه دوره‌های اوج مشابهی را نشان می‌دهند، ADT ماهانه‌ای در محدوده ۸۲ تا ۱۱۹ درصد دارند.



شکل (۸-۸): الگوهای نمونه تغییر ماهانه

ممکن است این انتظار مطرح باشد که راههای سفرهای دائمی روندی مخالف با راههای تفریحی را نشان دهند (به عبارتی اگر راههای تفریحی در تابستان دارای اوج هستند، آنگاه راههای سفرهای دائمی باید

ترافیک کمتری در طی آن دوره‌ها داشته باشند). مشکل در این است که تسهیلات محدودی وجود دارد که به صورت کامل برای سفرهای تفریحی یا سفرهای دائمی مورد استفاده باشد و همواره ترکیبی از ترافیک موجود می‌باشد. همچنین سفرهای تفریحی زیادی بوسیله ساکنان ناحیه مذکور انجام می‌شود و همین رانندگان ممکن است بخشی از تقاضای دائمی و تفریحی در طی همان ماه باشند. لیکن در برخی از نواحی، ترافیک سفرهای دائمی به طور مشهود در طی ماههای تفریحی تابستان کاهش می‌یابد. توزیع‌هایی که در اینجا نشان داده شد، برای توضیح مطالب می‌باشد و ممکن است توزیع‌های متفاوتی در سایر نواحی رخ دهد.

برخی از ملاحظات نهایی پیرامون الگوهای تغییر حجم :

یکی از مشکل‌ترین مسائل مطرح در مهندسی ترافیک این موضوع می‌باشد که ما بطور دائم برنامه‌ریزی و طراحی را برای تقاضایی انجام می‌دهیم که بیانگر نرخ جریان اوج در ساعت اوج مربوط به روز اوج واقع در یک فصل اوج می‌باشد. علی‌رغم موفقیت ما، تسهیلات مورد بهره‌برداری در بیشتر زمانها کمتر از حد ظرفیت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بنابراین از طریق مستندسازی دقیق الگوهای تغییر مهندس ترافیک می‌تواند اثرات این بهره‌برداری کم را تشخیص دهد. شناخت الگوهای تغییر حجم که بر یک ناحیه یا مکان خاص حاکم است، برای دستیابی به معیارهای طراحی و کنترل مناسب جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری بسیار مهم می‌باشد. همچنین مستندسازی این الگوها دارای اهمیت بسیار است زیرا بر اساس اطلاعات اخذ شده برای دوره‌های زمانی خیلی کوتاه‌تر می‌توان به برآوردهایی از AADT پی برد. آمارگیری هر محل برای یک سال کامل به منظور تعیین AADT و عوامل مربوط به تقاضا، واقعاً غیر عملی می‌باشد. بنابراین در صورت اطلاع از الگوهای تغییر و مستندسازی مناسب آنها، آمارگیری انجام شده در یک دوره زمانی کوتاه‌تر می‌تواند به گونه‌ای تعدیل شود که بیانگر یک متوسط سالیانه یا یک اوج اتفاق افتاده در طی بخش دیگری از سال باشد. این تدابیر در قسمتهای آتی توضیح داده می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۸-۳- روشهای میدانی برای مطالعات حجم ترافیک :

تنوع گسترده‌ای از روشها و تجهیزات مورد استفاده برای شمارش وسایل نقلیه عبوری از یک نقطه وجود دارد. با این وجود، اغلب مطالعات با استفاده از روشهای نسبتاً ساده و فن‌آوری ابتدایی انجام می‌شوند. حجم ترافیک می‌تواند به طور دقیق با استفاده از یک ماهواره شمارش شود. در حالی که به لحاظ اصول فنی این کار عملی می‌باشد، لیکن به طور کلی هزینه مورد نیاز، اجازه استفاده از چنین روشهای پیچیده‌ای را نمی‌دهد.

بسیاری از روشهای شمارش حجم ترافیک هنوز بوسیله دست و مشاهدات میدانی و با شمارشگرهای دستی مکانیکی انجام می‌شود. دو دلیل اصلی برای استفاده از روشهای شمارش دستی در مطالعات حجم ترافیک وجود دارد. در اغلب موارد یک شمارش سریع در یک موعد مقرر (ضرب‌العجل) مورد نیاز می‌باشند. برای مثال اگر لازم باشد تا آمار وسایل نقلیه ساعت اوج عصر (PM) طی امروز و فردا در یک تقاطع بدست آید، در بسیاری از موارد زمان و هزینه صرف شده برای گردآوری و نصب تجهیزات خودکار در محل توجیه ناپذیر می‌باشد. دومین دلیل برای شمارش دستی وجود چندین پارامتر می‌باشد که به آسانی با استفاده از روشهای خودکار قابل تشخیص نمی‌باشند. این پارامترها عبارتند از :

• سطح اشغال وسیله نقلیه

• حرکات گردش در تقاطعها

• طبقه بندی وسایل نقلیه

شناسگرهای چند متغیره‌ای وجود دارد که می‌تواند وسایل نقلیه را بر اساس طول آنها طبقه‌بندی کند. با این وجود در صورتی که اطلاعات به صورت تفکیک تاکسی‌ها از خودروهای سواری مورد درخواست باشد، مشاهده دستی ضروری می‌باشد.

لوله‌های هوای فشرده با شمارشگرهای مکانیکی یا الکترونیکی هنوز کاربرد فراوانی دارند. جدیدترین روش شامل استفاده از شناسگرهای دائمی همراه با نظارت محل از راه دور می‌باشد. جز در مواردی که انجام بررسی‌های چند جانبه مورد نظر می‌باشد یا هنگامی که شناسگرهای دائمی به دلایل دیگری نظیر

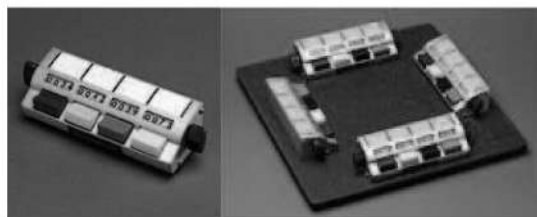
بهره‌برداری از چراغهای راهنمایی فعال، از قبل در محل وجود دارند، این روش به ندرت اقتصادی و قابل توجه می‌باشد.

۸-۳-۱- روشهای شمارش دستی :

شمارش‌های دستی نسبتاً کم هزینه هستند و بطور کلی در یک مدت زمان کوتاه قابل راه اندازی می‌باشند. همچنین این شمارشها با برخی چالشهای منحصر به فرد شامل هماهنگی پرسنل، مشاهده و ثبت دقیق اطلاعات، و ساماندهی اطلاعات به نحوی که به سادگی قابل فهم و تفسیر باشد، درگیر هستند.

تجهیزات شمارشهای دستی

تجهیزات متنوعی برای کمک به انجام شمارش‌های دستی وجود دارد. ساده‌ترین آنها شامل شمارشگرهای دستی مکانیکی می‌باشد که می‌تواند به صورت تکی یا بخشی از یک مجموعه مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۸-۹) یک شمارشگر دستی تک و چهار شمارشگر نصب شده بر روی یک تخته را برای استفاده در آمارگیری تقاطع نشان می‌دهد.



شکل (۸-۹) : شمارشگرهای دستی

مطابق شکل (۸-۹) شمارشگرهای دستی معمولاً چهار ثبت کننده تکی دارند، لیکن می‌توانند تا شش ثبت کننده هم داشته باشند. توسط یک شمارشگر تک، ناظر قادر است روند چهار آیتم مختلف را ثبت نماید. این امر اجازه می‌دهد تا ناظر حجم‌ها را بر اساس نوع وسیله‌نقلیه، خط عبور و حجمهای گردشی به طور مجزا دسته‌بندی کند. هنگامی که چهار شمارشگر بر روی یک تخته نصب می‌شود، می‌تواند برای

مشاهده چهار رویکرد مختلف یک تقاطع نمونه مورد استفاده قرار گیرد. مشاهده همزمان چهار رویکرد مشکل است، مگر حجم‌های ترافیکی نسبتاً سبک باشند. بنابراین یک ناظر تک بر اساس تجربه می‌تواند آیتمهای مختلفی را به طور همزمان ثبت نماید. جزئیات آمارگیری‌های تقاطع به صورت مفصل در بخشها بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.

یکی از معایب اصلی شمارشگرهای دستی این است که اطلاعات باید در فواصل متناوب به صورت دستی بر روی برگه‌های میدانی ثبت شوند. این کار منجر به گسیختگی متناوب شمارش می‌شود و برای اطمینان از عدم تناقض در جمع آوری اطلاعات نیازمند هماهنگی نزدیک بین آمارگیران می‌باشد. بنابراین اغلب استفاده از تجهیزات الکترونیکی ثبت و بایگانی اطلاعات در فرمی که توسط یک ماشین قابل خواندن می‌باشد و می‌توان با استفاده از یک مدار مبدل ورودی اطلاعات آن را به طور مستقیم بر روی یک کامپیوتر انتقال داد، مفید می‌باشد. شکل (۸-۱۰) یک شمارشگر الکترونیکی را برای مطالعات تقاطع نشان می‌دهد.



شکل (۸-۱۰): شمارشگر الکترونیکی دارای مبدل اطلاعات برای مطالعات تقاطع

ثبت اطلاعات حجم در مدت شمارشهای دستی :

هنگامی که آمارگیری دستی به وسیله شمارشگرهای دستی انجام می‌شود، آمارگیران باید در فواصل متناوب اطلاعات را بر روی برگه‌های میدانی وارد نمایند. برای انجام این کار آنها باید آمارگیری را برای مدتی از دوره زمانی متوقف نموده و در آن زمان اطلاعات را به صورت دستی از شمارشگر بر روی کاغذ منتقل کنند. بنابراین هنگامی که چنین روشهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شمارش پیوسته نمی‌باشد.

به طور متداول برای دستیابی به اطلاعات شمارش پیوسته، در دستورالعمل آمارگیری وقفه هایی کوتاه مدت تعریف می شود. چنین وقفه هایی باید برای کلیه آمارگیران سازمان یافته و یکسان باشد. اصول این کار بر روی دوره شمارش مطالعات (یعنی واحد زمانی که حجم ها برای آن مدت آمارگیری و ثبت می شوند) متمرکز می شود.

دوره های شمارش متداول برابر ۵ دقیقه، ۱۵ دقیقه و ۶۰ دقیقه می باشند، هر چند سایر دوره های زمانی نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد (گاهی اوقات باید از دوره های زمانی دیگر استفاده کرد).

وقفه های کوتاه به یکی از دو روش زیر تعیین می شوند:

(۱) بخشی از هر دوره شمارش برای یک وقفه کوتاه کنار گذاشته می شود.

(۲) کل یک دوره شمارش دیگر به عنوان یک وقفه کوتاه مورد استفاده قرار می گیرد.

در روش اول، ممکن است ۴ دقیقه از هر دوره شمارش ۵ دقیقه ای (یا ۱۳ دقیقه از ۱۵ دقیقه و یا هر ترکیب مناسب دیگری) آمارگیری انجام شود. با این فرض که نرخ جریان در طی وقفه کوتاه مشابه بخش آمارگیری شده دوره شمارش می باشد، آمار کل در طی هر دوره شمارش می تواند به صورت زیر برآورد شود:

$$V_{ep} = V_i \times CF \quad \text{رابطه (۸-۱)}$$

$$CF = \frac{\text{دوره شمارش (دقیقه)}}{\text{زمان واقعی شمارش (دقیقه)}}$$

که در آن :

V_{ep} = آمار برآورد شده برای کل دوره شمارش، وسیله نقلیه

V_i = آمار واقعی برای یک بخش از دوره شمارش (دوره i)، وسیله نقلیه

CF = ضریب تعدیل آمارگیری

برای مثال، اگر در یک مطالعه ۱۲ دقیقه از هر دوره شمارش ۱۵ دقیقه ای آمارگیری انجام شود، ضریب

تعدیل آمارگیری برابر $CF = \frac{15}{12} = 1.25$ خواهد بود. بنابراین یک شمارش مشاهده شده (برای ۱۲ دقیقه) به

اندازه ۱۵۰ وسیله نقلیه تعدیل خواهد شد تا بیانگر آمار برآورد شده ۱۵ دقیقه ای باشد: $150 \times 1.25 = 188 \text{ veh}$

توجه گردد که چنین برآوردی همیشه به نزدیکترین عدد صحیح گرد می شود.

هنگامی که دوره‌های زمانی یک در میان (متناوب) به عنوان وقفه مورد استفاده قرار می‌گیرند، بر اساس مشاهدات مستقیم، حجم دوره کامل شمارش برای هر یک از دیگر دوره‌ها بدست می‌آید. سپس درونیابی خطی برای برآورد آمار در طی دوره‌های توقف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در عمل، اغلب لازم است تا دو روش با یکدیگر ترکیب شوند. مثال ارائه شده در جدول (۸-۲) را ملاحظه کنید. یک نفر آمارگیر برای شمارش ترافیک ۲ خط عبور یک راه شریانی شهری بکار گرفته شد. آمارگیر در هر زمان تنها می‌تواند یک خط عبور را شمارش و طبقه بندی نماید، از اینرو هر خط عبور را در دوره‌های یک در میان (متناوب) مورد ملاحظه قرار می‌دهد. همچنین مبنای شمارش باید مدت ۴ دقیقه از دوره‌ای ۵ دقیقه‌ای باشد به گونه‌ای که آمارگیر بتواند اطلاعات هر دوره شمارش را به صورت دستی ثبت نماید. در نتیجه برای هر خط عبور یک آمار دوره‌ای متناوب بدست می‌آید، لیکن در هر دوره فقط ۴ دقیقه از ۵ دقیقه شمارش انجام شده است.

جدول (۸-۲): اطلاعات یک مطالعه حجم توضیحی

دوره	زمان (PM)	آمار واقعی (vehs)		آمار بسط داده شده (×۱/۲۵)		آمار برآورد شده (vehs)		نرخهای جریان برآورد شده	
		خط ۱	خط ۲	خط ۱	خط ۲	خط ۱	خط ۲	خط ۱	خط ۲
۱	۵:۰۰	۲۴		۳۰/۰		۳۰	۴۳	۳۶۰	۵۱۶
۲	۵:۰۵	۳۶		۴۵/۰		۳۳	۴۵	۳۹۶	۵۴۰
۳	۵:۱۰	۲۸		۳۵/۰		۳۵	۴۷	۴۲۰	۵۶۴
۴	۵:۱۵	۳۹		۴۸/۸		۳۶	۴۹	۴۳۲	۵۸۸
۵	۵:۲۰	۳۰		۳۷/۵		۳۸	۵۴	۴۵۶	۶۴۸
۶	۵:۲۵	۴۷		۵۸/۸		۴۱	۵۹	۴۹۲	۷۰۸
۷	۵:۳۰	۳۶		۴۵/۰		۴۵	۶۱	۵۴۰	۷۳۲
۸	۵:۳۵	۵۰		۶۲/۵		۴۴	۶۳	۵۲۸	۷۵۶
۹	۵:۴۰	۳۴		۴۲/۵		۴۳	۶۱	۵۱۶	۷۳۲
۱۰	۵:۴۵	۴۸		۶۰/۰		۴۶	۶۰	۵۵۲	۷۲۰
۱۱	۵:۵۰	۴۰		۵۰/۰		۵۰	۵۹	۶۰۰	۷۰۸
۱۲	۵:۵۵	۴۶		۵۷/۵		۵۵	۵۸	۶۶۰	۶۹۶
مجموع		۱۹۲	۲۶۶	۲۴۰/۰	۳۳۲/۶	۴۹۶	۶۵۹		
درصد هر خط		۴۱/۹٪	۵۸/۱٪	۴۱/۹٪	۵۸/۱٪	۴۲/۹٪	۵۷/۱٪		

توجه شود که این محاسبات بر روی یک برگ ستون‌بندی شده منتقل می‌گردد. از آنجایی که برآورد حجمهای دوره شمارش یک فرآیند دو مرحله‌ای می‌باشد (بسط ۴ دقیقه به ۵ دقیقه؛ درون‌یابی برای دوره‌های یک در میان)، پس از آن نتیجه به نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌شود. عملیات گرد کردن فقط در مرحله دوم انجام می‌گردد تا از خطای مرکب گرد کردن پرهیز شود. همچنین شمارش دوره ۱ برای خط ۲ و دوره ۱۲ برای خط ۱ نمی‌تواند درون‌یابی شود. از آنجایی که این دوره‌ها به ترتیب اولین و آخرین دوره هستند، شمارشها باید با استفاده از روند دوره‌های شمارش مجاور برون‌یابی شوند. واضح است که این فرآیند تا حدودی غیر دقیق است و کم و بیش درگیر حدس و داوری می‌باشد. برای اولین دوره در خط ۲، روند نسبتاً پایدار است (برای دوره‌های ۲، ۳ و ۴ اختلاف موجود برابر دو وسیله‌نقلیه در هر دوره می‌باشد).

برای آخرین دوره در خط ۱، روند وضوح کمتری دارد. بر اساس دوره ۸ به ۹، کاهشی به میزان ۱ وسیله‌نقلیه یادداشت می‌شود؛ بر اساس دوره ۹ به ۱۰، افزایشی به میزان ۳ وسیله‌نقلیه یادداشت می‌شود؛ بر اساس دوره ۱۰ به ۱۱، افزایش برابر ۴ وسیله‌نقلیه است. با برون‌یابی سریع روند چنین به نظر می‌رسد که پیشنهاد گردد شمارش در دوره ۱۲ باید ۵ وسیله‌نقلیه بیشتر از شمارش در دوره ۱۱ باشد. با این وجود، این برون‌یابی توازن جریان در دو خط را از شکل طبیعی خارج می‌نماید. شمارش واقعی بر این دلالت دارد که توازن جریان به صورت $41/9\%$ در خط ۱ و $58/1\%$ در خط ۲ می‌باشد. برون‌یابی توازن را به ترتیب به $42/9\%$ و $57/1\%$ تغییر می‌دهد. ممکن است شخصی چنین استدلال نماید که برون‌یابی باید بر مبنای ثابت در نظر گرفتن توزیع خط انجام شود. با این وجود، این کار از تغییرات توزیع خط از یک دوره به دوره دیگر در هر رویدادی صرف نظر می‌کند و هرگز به طور مستقیم در هیچ دوره‌ای که از سیستم دوره یک در میان استفاده می‌کند، مشاهده نشده است.

همچنین باید توجه گردد که طبق رویه شمارش بکار گرفته شده در این مثال، از هر ۱۰ دقیقه، ۴ دقیقه آمار واقعی برای هر خط از تسهیلات بدست آمد. فقط ۴۰ درصد از زمان (و احتمالاً ۴۰ درصد از شمارشها) مورد مشاهده واقع شده و باقی‌مانده از طریق بسط و درون‌یابی یا برون‌یابی برآورد شده است. مطلوب است درصد مشاهدات واقعی تا بیشترین حد ممکن افزایش یابد، لیکن ملاحظات عملی پرسنل و اثر تجهیزات نیز به همان اندازه مورد توجه می‌باشد.

ملاحظات مربوط به پرسنل آمارگیری

هنگامی که آمارگیری به صورت دستی انجام می‌شود، باید محدودیتهای عملی انسان در شمارش مورد توجه قرار گیرد. برخی از ملاحظات ضروری شامل موارد زیر می‌باشد:

- کلیه پرسنل باید بطور صحیح درباره جزئیات مطالعه و نتایج مورد انتظار آموزش داده شوند. این امر شامل آشنا کردن آنها با برگه‌های میدانی و تجهیزات مورد استفاده و همچنین وظایف خاص آنها در آمارگیری می‌باشد.

- در هیچ مطالعه‌ای نباید تعداد ناظران بکار گرفته شده در محل آن قدر زیاد باشد که موجب آشفتگی رانندگان و اختلال جریان ترافیک شود.

- در صورت عدم استفاده از ناظران حرفه‌ای، از یک ناظر معمولی نمی‌توان انتظار داشت که بیش از یک رویکرد سنگین یا دو رویکرد سبک را بطور همزمان شمارش و طبقه‌بندی نماید.

- از آنجایی که زمانها باید با دقت در تمام محلها و بین تمام پرسنل آمارگیری هماهنگ شود، برقراری تعدادی سیستم ارتباطی سریع ضروری می‌باشد. زمانهای شمارش و وقفه‌های کوتاه باید یکسان باشند، لذا معمولاً زمانبندی به صورت مرکزی انجام می‌شود و یک هماهنگ کننده زمان شروع و توقف شمارش را به کلیه پرسنل اعلام می‌نماید.

- تعدادی پرسنل کمکی باید در محل مستقر باشند تا در صورتی که سایر پرسنل به استراحت بیشتری نیاز داشتند از آنها کمک گرفته شود.

برگه‌های میدانی یکی از اصلی‌ترین اجزاء کنترل کیفیت اطلاعات می‌باشد. این برگه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند تا نیازهای خاص مطالعه را مرتفع سازند و زمینه انتقال آسان اطلاعات به روشی سازگار را در نظر داشته باشند. در هر صورت کلیه برگه‌های میدانی باید دارای چند جزء مشترک باشند:

- موقعیت آمارگیری باید به طور دقیق تعریف شود.

- حرکات گردشی، خطهای عبور و یا طبقه‌بندی وسایل نقلیه باید بر روی شیتها ذکر گردد.

- شرایط جوی، شرایط جاده، حوادث و تصادفات ترافیکی که در طی مدت آمارگیری اتفاق می‌افتد، باید بر روی برگه‌ها قید گردد.

- نام و نام خانوادگی ناظر باید بر روی برگه ها یادداشت شود.
 - تاریخ و زمان مطالعه و شمارشهای خاص باید بر روی برگه ها ذکر شود.
 - دوره های شمارش باید مشخص شده و با زمان ساعت هماهنگ شوند.
 - شماره صفحه هر برگه باید به صورت x از y بر روی آن قید گردد.
- موارد فوق محتویات برگه ها را مشخص می نماید. در صورتی که سوالی درباره اطلاعات هر برگه مطرح شود، هویت ناظر بسیار مهم و کلیدی می باشد. به خاطر داشته باشید در موقعیتهایی که در فواصل زیاد واقع می شوند، ممکن است یک مطالعه از تعداد زیادی ناظر استفاده نماید. نتایج اولیه مطالعه به صورت توده بزرگی از برگه های میدانی خواهد بود که در نهایت باید به صورت واضح و مختصر گردآوری و ارائه شود تا بتواند در مواقع لزوم به مهندس ترافیک در تفسیر شرایط موجود و پیشنهاد گزینه های بهسازی کمک نماید.

۸-۳-۲- روشهای شمارش با تجهیزات قابل حمل

کلیه تجهیزات شمارش که از لوله های هوای فشرده یا سایر تجهیزات شناسگر موقتی استفاده می کنند به تجهیزات قابل حمل منسوب می باشند. علت این امر این است که تجهیزات مورد استفاده می تواند از محلی به محل دیگر منتقل شوند تا در صورت نیاز شمارشهای مختلف را انجام دهند.

متداولترین کاربرد تجهیزات قابل حمل شامل استفاده از لوله های هوای فشرده می باشد. این لوله ها در عرض روسازی محکم می شوند. هنگامی که وسیله نقلیه از روی لوله عبور می کند یک ضربه در لوله ایجاد می شود. این ضربه می تواند بوسیله انواع مختلف شمارشگرهای متصل به لوله ثبت گردد. به لحاظ قدمت، شمارشگرها ابتدا الکترومکانیکی بودند و می توانستند کل شمارشها را جمع بندی نموده و یا آنها را بر روی یک نوار پانچ در فواصل از پیش تعیین شده خلاصه نمایند. تجهیزات جدید کوچکتر، سبکتر و کاملاً الکترونیکی هستند. این تجهیزات دارای قابلیت تبادل اطلاعات و حتی ارتباطات موج کوتاه هستند.

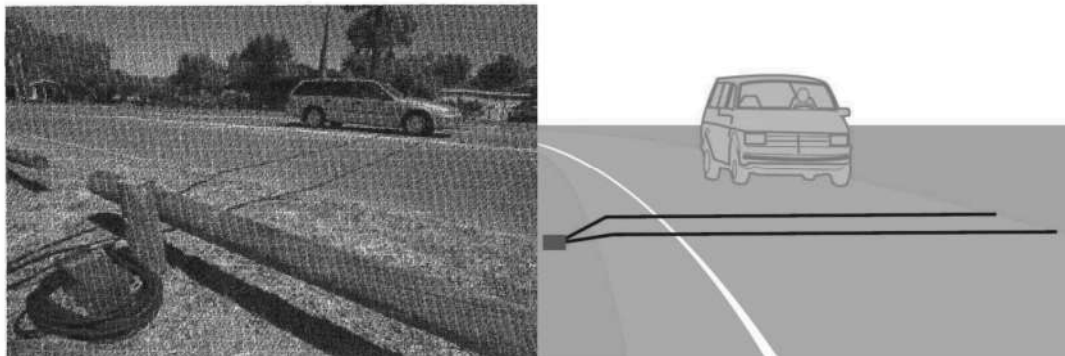
شمارشگرها در موارد زیر قابل استفاده می باشند:

- جمع بندی یک آمار کلی برای دوره مطالعه

• جمع‌بندی یک آمار کلی، ثبت مجموع آمار بر مبنای روزانه

• جمع‌بندی یک آمار کلی، ثبت مجموع آمار در فواصل از پیش تعیین شده

مورد آخر به دلیل اینکه می‌تواند برای هر ساعت یا حتی هر ۱۵ دقیقه یک جمع‌بندی ارائه نماید، بسیار مفید می‌باشد. شکل (۸-۱۱) تصویری از شمارشگرهای بکارگرفته شده با لوله‌های هوای فشرده را نشان می‌دهد. همچنین شمارشگرهای بسیار پیشرفته می‌تواند با اتصال به حلقه مغناطیسی یا دیگر انواع شناسگرها مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۸-۱۱): شمارشگر الکترونیکی قابل حمل مورد استفاده با لوله‌های هوای فشرده

هنگامی که لوله‌های هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد، شمارشگرها بطور مستقیم تعداد وسایل نقلیه را ارائه نمی‌دهند. بلکه آنها تعداد تحریکهای لوله را ثبت می‌کنند که در بیشتر موارد برابر تعداد محورهای عبوری از روی لوله می‌باشد. با این وجود برای برآورد آمار وسایل نقلیه عبوری، صرفاً تقسیم تعداد محورها بر ۲ کافی نیست. تعداد محورهای وسایل نقلیه تجاری ممکن است سه، چهار، پنج و یا بیشتر باشد. به منظور تبدیل شمارشهای محوری حاصل از لوله‌های هوای فشرده به آمار وسایل نقلیه، لازم است تا حداقل برای تعدادی دوره نمونه در طول مدت مطالعه، متوسط تعداد محور به ازای هر وسیله نقلیه اندازه‌گیری شود.

فرض کنید که در نتیجه ۱۰ ساعت شمارش بوسیله لوله هوا، ۸۰۰۰ ضریان ثبت شده است و برآوردی از تعداد وسایل نقلیه مورد نظر می‌باشد. جدول (۸-۳) نتیجه یک نمونه آمار طبقه‌بندی وسیله نقلیه را در دوره مطالعه ۱۰ ساعته برابر ۵۰۰ وسیله نقلیه نشان می‌دهد.

جدول (۸-۳): نمونه‌ای از آمار طبقه‌بندی برای مطالعات حجم

تعداد محورها	تعداد وسایل نقلیه مشاهده شده	تعداد کل محورها در گروه
۲	۳۹۰	۷۸۰
۳	۷۰	۲۱۰
۴	۳۰	۱۲۰
۵	۷	۳۵
۶	۳	۱۸
مجموع	۵۰۰	۱۱۶۳

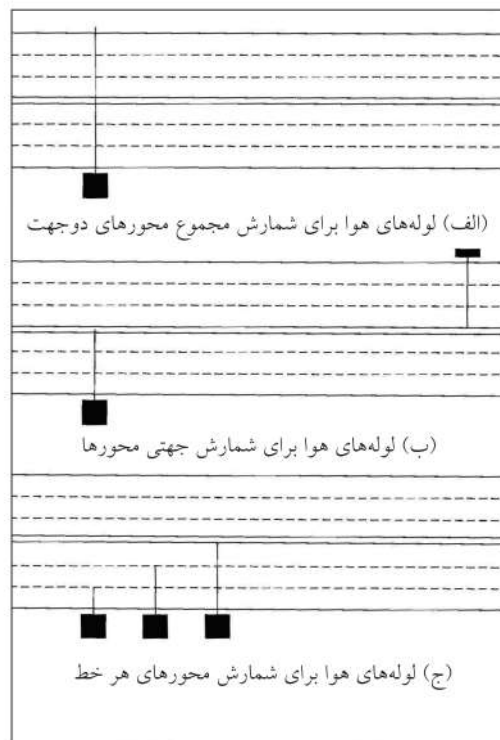
با این فرض که این نمونه به عنوان نماینده انتخاب شود، متوسط تعداد محورها به ازای هر وسیله نقلیه

در این موقعیت برابر $\frac{1163}{500} = 2/33$ می‌باشد. از اینرو ۸۰۰۰ ضربان به طور معمول با عبور $\frac{8000}{2/33} = 3433$ وسیله نقلیه ایجاد می‌شود.

شمارشگرهای کنار جاده می‌تواند به دیگر انواع شناسگرها متصل شود. برای مثال شناسگرهای حلقه‌ای مستقیماً وسایل نقلیه را شمارش می‌کنند، در صورتی که سوئیچ‌های نواری محورها را می‌شمرند. مهندس ترافیک باید متوجه باشد که چه چیزی در حال شمارش است و بر اساس این آگاهی در موارد لزوم آماده ارائه روشی منطقی برای تعدیل نتایج باشد.

لوله‌های هوای فشرده به روشهای مختلفی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در صورتی که یک لوله در عرض هر دو جهت حرکت کشیده شود، آمار کل محورها در هر دو جهت بدست می‌آید. رایج‌ترین مورد کاربرد لوله‌های هوای فشرده در جمع‌آوری شمارشهای جهتی می‌باشد. این کار با استفاده از یک لوله مجزا برای هر یک از جهت‌های حرکت انجام می‌شود. یک توالی از چند لوله پشت سر هم می‌تواند برای بدست آوردن آمار هر خط مورد استفاده قرار گیرد، لیکن این کاربرد متعارف نمی‌باشد.

شکل (۸-۱۲) گزینه‌های پیشنهادی برای نصب لوله‌های هوای فشرده جهت شمارش ترافیک را نشان می‌دهد. هنگامی که این لوله‌ها برای بدست آوردن شمارشهای خط مورد استفاده قرار می‌گیرند، فاصله آنها باید به اندازه کافی نزدیک باشد تا از بروز مسائل مربوط به تعویض خط وسایل نقلیه پرهیز شود. شمارشهای خط بوسیله تفریق متوالی نتایج هر یک از شمارشگرها حاصل می‌شود.



شکل (۸-۱۲): گزینه‌های نصب میدانی لوله‌های هوای فشرده

علاوه بر شمارش محورها، لوله‌های هوا مشخصات دیگری نیز دارند که باید مورد توجه قرار گیرند:

- در صورتی که لوله‌ها بر روی روسازی محکم بسته نشوند، به هنگام عبور وسایل نقلیه به شدت ضربه خواهند خورد و در نهایت شکاف بر می‌دارند؛ با شکاف بر داشتن لوله‌ها جمع‌آوری اطلاعات متوقف می‌گردد.

- هنگامی که لوله‌ها در سرتا سر عرض مسیر چند خطه مورد استفاده قرار می‌گیرند، برخی از تحریکها به صورت همزمان اتفاق خواهد افتاد و موجب از قلم انداختن تعدادی از شمارشها می‌گردد.

نصب لوله‌های هوای فشرده باید به صورت دوره‌ای کنترل شود تا از قابل استفاده بودن آنها اطمینان حاصل گردد. به منظور برآورد شمارشهای از قلم افتاده به علت تحریکهای همزمان می‌توان شمارشهای دستی نمونه را با شمارشهای دستگاه مقایسه نمود؛ با این وجود این کار به ندرت انجام می‌شود زیرا از قلم افتادگی مربوط به حجمهای ترافیک بوده و در اغلب کاربردها مسئله قابل توجهی نمی‌باشد.

۸-۳-۳- شمارشهای دائمی

یک بخش از هر برنامه آمارگیری سراسری، شامل ایستگاههایی می باشد که به صورت ۲۴ ساعته در ۳۶۵ روز سال آمارگیری انجام می دهند. این ایستگاهها از انواع شناسگرهای دائمی و واسطه های انتقال داده برای تحویل نتایج به سیستم رایانه مرکزی جهت ذخیره سازی، دستکاری و تحلیل استفاده می کنند.

تعداد معدودی از ایستگاههای شمارش دائمی منحصرأ با هدف شمارش ترافیک راه اندازی می شوند. چراغهای راهنمایی فعال، سیستمهای جمع آوری عوارض راه و سیستمهای مدیریت ترافیک همه شامل شناسگرهایی هستند که می توانند برای شمارشهای دائمی نیز مورد استفاده قرار گیرند. در حالی که بیشتر این شناسگرها اطلاعات را برای نظارت آنی و بی درنگ مورد استفاده قرار می دهند، برخی از آنها می توانند به عنوان ایستگاه شمارش دائمی انتخاب شوند و اطلاعات پس از انتقال به سیستم رایانه ای مرکزی، در آنجا ذخیره گردد. اکثر شناسگرهای مورد استفاده، شناسگرهای مغناطیسی حلقه ای هستند، با این وجود فن آوریهای دیگری نیز موجود می باشد و در برخی محلها استفاده می شود.

فن آوری جمع آوری داده های ترافیکی به سرعت در حال پیشرفت می باشد. همانطور که اشاره شد، شناسگرهای قابل حمل چند پارامتری وجود دارند که می توانند برای شمارش وسایل نقلیه، مشاهدات سرعت، دستیابی به اطلاعات سطح اشغال/چگالی، و طبقه بندی وسایل نقلیه بر حسب طول مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از تصویر برداری ویدئویی و شناسایی مجازی نیز به سرعت در حال پیشرفت است. نخستین مانع برای استفاده فراگیر از این تجهیزات پیشرفته در کاربردهای معمول مهندسی ترافیک، مسئله هزینه آنها می باشد. با این وجود، هم اکنون استفاده از چنین سیستمهایی برای اهداف تحقیقاتی نسبتاً گسترده می باشد.

۸-۴- مطالعات حجم ترافیک تقاطع

در یک سیستم ترافیکی، مکانی پیچیده تر از یک تقاطع همسطح وجود ندارد. در یک چهارراه معمولی دوازده حرکت مجزا (چپ، مستقیم و راست برای هر شاخه) وجود دارد. در صورتی که آمار حجم ترافیک تقاطع به تفکیک طبقه بندی هر حرکت بر حسب خودروی سواری، تاکسی، کامیون و اتوبوس مورد نظر باشد، هر دوره شمارش نیازمند مشاهده جداگانه $4 \times 12 = 48$ سری اطلاعات می باشد.

هنگامی که تقاطع به صورت دستی آمارگیری می‌شود (اغلب نیز چنین می‌باشد)، ناظران باید به نحوی مستقر شوند که بطور صحیح حرکت‌هایی را که در حال شمارش آن هستند، ببینند. این مسئله که یک آمارگیر بی‌تجربه بتواند بیش از یک حرکت اصلی یا دو حرکت فرعی را بطور همزمان مشاهده و طبقه‌بندی نماید، شک برانگیز می‌باشد. برای رویکردهای سنگین که از چند خط استفاده می‌کنند، ممکن است لازم باشد تا برای خطوط مختلف از یک ناظر جداگانه استفاده شود. در مطالعات تقاطع که بصورت دستی انجام می‌شود، معمولاً به منظور کاهش تعداد ناظران مورد نیاز، روشهای وقفه زمانی کوتاه و دوره یک در میان با هم ترکیب می‌شوند. با این وجود به ندرت می‌توان یک تقاطع را با کمتر از چهار ناظر و یک سرگروه برای زمانگیری دوره‌های شمارش و وقفه‌ها، آمارگیری نمود.

۸-۴-۱- حجمهای ورودی در مقابل حجمهای خروجی: موضوعی کلیدی برای مطالعات تقاطع

در اغلب تقاطعها، حجمهای ترافیک زمانی شمارش می‌شوند که در حال ترک تقاطع هستند. این کار هم برای راحتی و هم به این دلیل که اظهار نظر قطعی در مورد حرکت‌های گردشی تا زمان خروج وسایل نقلیه از تقاطع ممکن نمی‌باشد، انجام می‌گردد. این روش در جایی که هیچ محدودیتی در ظرفیت وجود ندارد (یا به عبارتی صفهای ایجاد شده در رویکرد ناپایدار هستند) مناسب خواهد بود، اما در جایی که تقاضا از ظرفیت رویکرد بیشتر شود، قابل قبول نمی‌باشد. در چنین مواردی لازم است تا حجمهای ورودی مورد توجه قرار گیرند، زیرا بازتاب دقیق‌تری از تقاضا را ارائه می‌دهند.

در تقاطعهای دارای چراغ راهنمایی، "تشکیل صف ناپایدار" هنگامی نمایان می‌گردد که وسایل نقلیه‌ای که در طی یک زمان قرمز تشکیل صف داده‌اند، نتوانند در طی زمان سبز بعدی به طور کامل تخلیه شوند. در تقاطعهای فاقد چراغ راهنمایی، "تشکیل صف ناپایدار" می‌تواند بوسیله صفهایی که در طی هر دوره متوالی شمارش طولانی‌تر می‌شوند، مشخص گردد.

از آنجایی که صف متحرک می‌باشد، مشاهده مستقیم حجمهای ورودی به یک تقاطع مشکل خواهد بود. به دلیل کوتاه و بلند شدن طول صف، نقطه ورود تغییر می‌نماید. بنابراین روش مورد استفاده برای شمارش حجمهای ورودی، شامل شمارش حجمهای خروجی و تعداد وسایل نقلیه حاضر در صف در

فواصل زمانی پی در پی می‌باشد. برای رویکردهای دارای چراغ راهنمایی، اندازه صف در آغاز هر فاز قرمز ثبت می‌گردد. این مقدار "صف باقیمانده" از وسایل نقلیه‌ای را مشخص می‌نماید که در طی سیکل قبلی چراغ راهنمایی وارد رویکرد شده‌اند، اما سرویس دریافت نکردند. برای رویکردهای فاقد چراغ راهنمایی، صف در انتهای هر دوره شمارش شمرده می‌شود. لذا زمانی که چنین روشی دنبال می‌شود، حجم ورودی به صورت زیر برآورد می‌گردد:

$$V_{ai} = V_{di} + N_{qi} - N_{q(i-1)} \quad \text{رابطه (۸-۲)}$$

که در آن :

$$V_{ai} = \text{وسایل نقلیه ورودی در طی دوره } i, (\text{vehs})$$

$$V_{di} = \text{حجم خروجی در طی دوره } i, (\text{vehs})$$

$$N_{qi} = \text{تعداد وسایل نقلیه حاضر در صف در انتهای دوره } i, (\text{vehs})$$

$$N_{q(i-1)} = \text{تعداد وسایل نقلیه حاضر در صف در انتهای دوره } (i-1), (\text{vehs})$$

برآورد حجمهای ورودی با استفاده از این روش فقط حجم ورودی متمرکز در محل را مشخص می‌نماید. این روش وسایل نقلیه منحرف شده یا تعداد سفرهایی را که به علت سطوح معمول ازدحام انجام نشده‌اند را مشخص نمی‌کند. از اینرو هنگامی که حجمهای ورودی نماینده تقاضای متمرکز در محل باشند، تقاضای منحرف شده یا تقاضای خودداری شده اندازه‌گیری نمی‌شود. جدول (۸-۴) اطلاعات مطالعه نمونه‌ای که برای برآورد حجمهای ورودی از این روش استفاده می‌کند را نشان می‌دهد.

توجه شود که مطالعه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که اولین و آخرین دوره‌های شمارش دارای صفهای باقیمانده نباشند. همچنین مجموع شمارش ورود و خروج مشابه می‌باشد اما تبدیل خروجی‌ها به ورودی باعث یک تغییر در توزیع حجمهای دوره زمانی می‌گردد. بر اساس شمارشهای خروجی، حداکثر حجم ۱۵ دقیقه‌ای برابر ۶۵ وسیله نقلیه، یا معادل نرخ جریان $260 \text{ veh/h} = \frac{65}{.25}$ می‌باشد. با استفاده از شمارشهای ورودی، حداکثر حجم ۱۵ دقیقه‌ای برابر ۷۰ وسیله نقلیه، یا معادل نرخ جریان $280 \text{ veh/h} = \frac{70}{.25}$ می‌باشد.

تفاوت حائز اهمیت است زیرا بیشترین نرخ جریان ورودی (با این فرض که مطالعه شامل دوره اوج نباشد) حجمی را ارائه می‌نماید که برای استفاده در برنامه‌ریزی، طراحی یا بهره‌برداری معتبر خواهد بود.

جدول (۸-۴): برآورد حجمهای ورودی از شمارشهای خروجی (یک مثال)

دوره زمانی (PM)	آمار خروجی (vehs)	طول صف (vehs)	حجم ورودی (vehs)
۴:۰۰ تا ۴:۱۵	۵۰	۰	۵۰
۴:۱۵ تا ۴:۳۰	۵۵	۰	۵۵
۴:۳۰ تا ۴:۴۵	۶۲	۵	$۶۲ + ۵ = ۶۷$
۴:۴۵ تا ۵:۰۰	۶۵	۱۰	$۶۵ + ۱۰ - ۵ = ۷۰$
۵:۰۰ تا ۵:۱۵	۶۰	۱۲	$۶۰ + ۱۲ - ۱۰ = ۶۲$
۵:۱۵ تا ۵:۳۰	۶۰	۵	$۶۰ + ۵ - ۱۲ = ۵۳$
۵:۳۰ تا ۵:۴۵	۶۲	۰	$۶۲ - ۵ = ۵۷$
۵:۴۵ تا ۶:۰۰	۵۵	۰	۵۵
مجموع	۴۶۹		۴۶۹

۸-۴-۲- ملاحظات ویژه برای تقاطعهای چراغدار

در تقاطعهای چراغدار، روشهای شمارش در آن واحد هم ساده و هم بسیار پیچیده می‌باشد. برای مشاهدات دستی، به دلیل اینکه در تقاطع چراغدار تمام حرکتها در یک زمان جریان ندارند، شمارش آسان می‌باشد. ناظری که در یک زمان به طور معمول فقط می‌تواند یک حرکت مستقیم را شمارش نماید، عملاً قادر می‌باشد در یک دوره شمارش مشابه دو حرکت مستقیم (برای مثال انتخاب حرکتهای مستقیم باند شمالی و باند شرقی) را شمارش نماید. این دو شمارش در طی سیکلهای مختلف چراغ انجام می‌شوند.

با این وجود دوره‌های شمارش در تقاطعهای چراغدار باید مضربی از زمان سیکل چراغ باشند. علاوه بر این، زمانهای واقعی شمارش (بدون در نظر گرفتن وقفه‌ها) نیز باید مضربی از زمان سیکل چراغ باشند. این امر تضمین می‌نماید که تعداد فازهای سبز کلیه حرکتها در یک دوره شمارش یکسان باشد. از اینرو برای زمان سیکل ۶۰ ثانیه‌ای چراغ، ممکن است یک روش شمارش ۴ دقیقه از ۵ دقیقه مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، برای یک سیکل ۹۰ ثانیه‌ای، هیچکدام از اعداد ۴ و ۵ برابر مضربی از ۹۰ ثانیه (۱/۵ دقیقه)

نیستند. برای یک سیکل ۹۰ ثانیه‌ای، روش شمارش ۱۲ دقیقه از ۱۵ دقیقه می‌تواند به اندازه روش ۴/۵ دقیقه از ۶ دقیقه مناسب باشد.

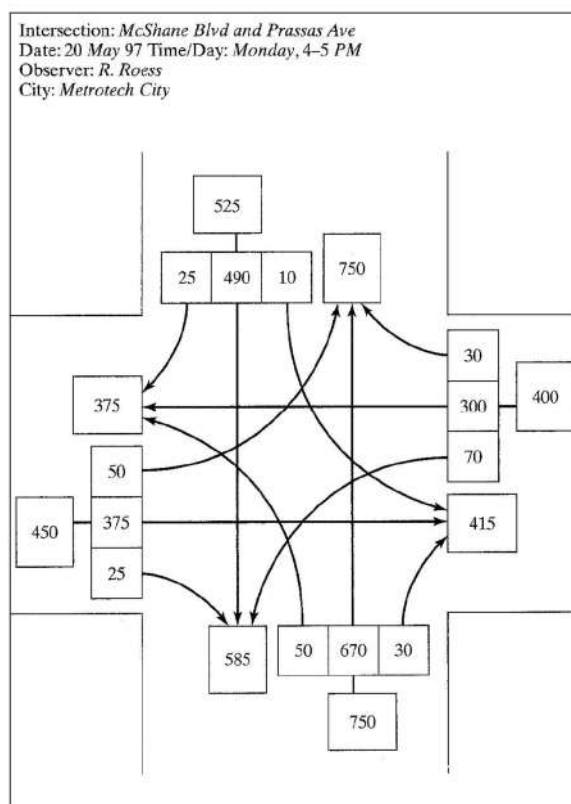
چراغهای راهنمایی فعال به دلیل اینکه هم زمان سیکلها و هم تفکیک زمانهای سبز از یک سیکل به سیکل دیگر متغیر می‌باشد، با مشکلات خاصی مواجه‌اند. دوره‌های شمارش معمولاً با استفاده از مبنا قرار دادن طول بزرگترین چرخه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که حداقل پنج چرخه چراغ راهنمایی را در بر بگیرند. ترتیب واقعی شمارش بطور دلخواه با هدف انعکاس این اصل انتخاب می‌شود، لیکن اطمینان از برابر بودن تعداد فازهای هر یک از حرکتها در هر دوره شمارش میسر نمی‌باشد. این مسئله به عنوان یک مشکل عمده مطرح نیست زیرا فرض زمانبندی چراغهای فعال این است که زمانهای سبز باید به تناسب تقاضای وسایل نقلیه موجود در طی هر چرخه تخصیص داده شوند.

۸-۴-۳- نحوه ارائه اطلاعات حجم تقاطع

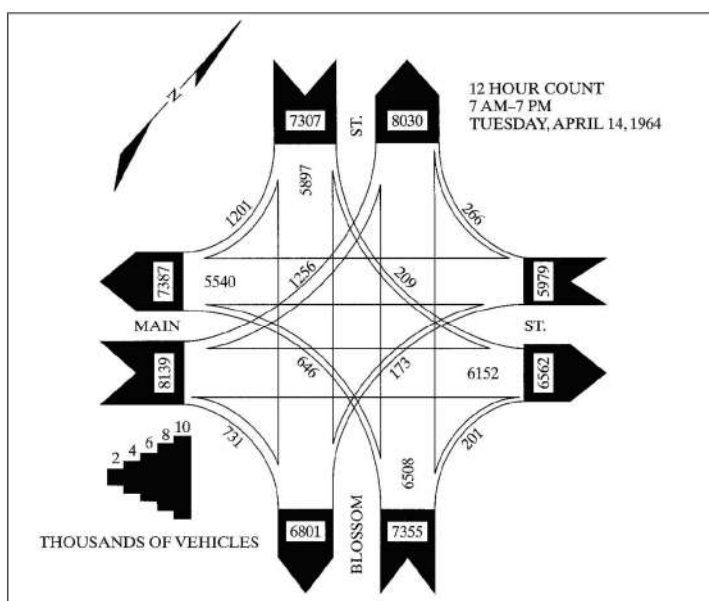
اطلاعات حجم تقاطع ممکن است به روشهای مختلفی خلاصه و ارائه شود. آرایه‌های یک جدول ساده می‌تواند شمارشها را بر حسب حرکت، برای هر دوره شمارش خلاصه نماید. تفکیک نوع وسایل نقلیه نیز معمولاً بسادگی در جداول نشان داده می‌شود. روشهای مفصل‌تر ارائه گرافیکی، اغلب به گونه‌ای تولید می‌شوند که حجم ساعت اوج و یا حجم روز کاری را نشان دهند. شکل‌های (۸-۱۳) و (۸-۱۴) قالبهای رایج برای نمایش اطلاعات ساعت اوج یا روزانه را نشان می‌دهد. شکل (۸-۱۳) یک دیاگرام گرافیکی خلاصه شده برای تقاطع می‌باشد که امکان ورود ساده اطلاعات بر روی یک فرم از قبل طراحی شده را فراهم می‌سازد. شکل (۸-۱۴) دیاگرام جریان تقاطع را نشان می‌دهد که در آن ضخامت خطوط جریان بر مبنای حجمهای نسبی ترافیک استوار می‌باشند.

۸-۵- مطالعات حجم شبکه محدود

موضوع زیر را ملاحظه نمایید؛ یک مطالعه حجم که دوره زمانی ۶ صبح تا ۱۲ نیمه شب را پوشش می‌دهد در شبکه خیابانهای در بر گیرنده مرکز خرید بخش مان‌هاتان (یعنی از خیابان فرعی چهاردهم تا



شکل (۸-۱۳): دیاگرام گرافیکی خلاصه شده برای تقاطع



شکل (۸-۱۴): دیاگرام جریان تقاطع

پنجاه و نهم، اولین تا دوازدهمین خیابان اصلی) انجام شده است. در حالی که این شبکه بسیار بزرگ بوده و شامل بیش از ۵۰۰ مسیر خیابانی و ۵۰۰ تقاطع می‌باشد، لیکن شامل تمام شهر نیویورک و یا یک شبکه سراسری نمی‌شود.

با این توصیف، اندازه شبکه به یک دلیل ساده باعث وحشت می‌باشد؛ بکارگیری و تعلیم پرسنل کافی برای شمارش همزمان تمام این محلها عملاً غیر ممکن است. همچنین به دلیل هزینه زیاد، تهیه و آزمایش تعداد کافی از تجهیزات شمارش قابل حمل نیز امکان‌پذیر نیست. برای انجام این مطالعه لازم است تا از شگردهای نمونه‌برداری استفاده شود (یعنی تمام محلهای درون ناحیه تحت مطالعه نه تنها در یک زمان مشابه شمارش نخواهند شد بلکه در یک روز مشابه نیز شمارش نمی‌شوند). عددسازی آماری بر مبنای این نمونه‌ها نیازمند ارائه یک نقشه حجم ساعتی از شبکه برای هر ساعت از دوره بررسی مورد نظر یا برای یک دوره اوج متوسط می‌باشد.

چنین شبکه‌های محدودی در شهرکهای کوچک، شهرهای بزرگ و اطراف سایر مولدهای اصلی سفر نظیر فرودگاهها، ورزشگاهها، بازارهای خرید و سایر مراکز فعالیت وجود دارند. مطالعات حجم بر روی چنین شبکه‌هایی شامل برنامه‌ریزی منحصر به فرد و اطلاع کم و بیش از مشخصات پایه‌ای نظیر محل مولدهای اصلی سفر و طبیعت ترافیک بر روی تسهیلات (برای مثال ترافیک محلی در مقابل ترافیک استفاده کنندگان عبوری) می‌باشد. بکارگیری یک روش منطقی برای نمونه‌برداری، نیازمند داوری بر مبنای چنین شناختی از محل خواهد بود.

روشهای نمونه‌برداری بر این فرض تکیه دارند که کل شبکه یا زیربخشهای قابل شناسایی شبکه دارای الگوهای تقاضای مشابه در زمان هستند. در صورتی که این الگوها در تعداد معدودی از محلها قابل اندازه‌گیری باشند، می‌توان آنها بر اندازه‌گیریهای نمونه حاصل از سایر محلهای داخل شبکه منطبق نمود. برای انجام چنین روشی دو نوع شمارش انجام می‌شود:

- شمارشهای کنترلی: این شمارشها در محلهای نمونه منتخب برای اندازه‌گیری و تعیین الگوهای تغییر تقاضا در زمان انجام می‌گردد. بطور کلی شمارشهای کنترلی باید بطور پیوسته در سرتاسر دوره مطالعه ادامه یابد.

• شمارشهای پوششی: این شمارشها در تمام محلهایی که اطلاعات آنها مورد نیاز می باشد، انجام می گردد. آنها به عنوان نمونه هایی شناخته می شوند که مطابق با یک برنامه از پیش مقرر شده، هر محل تنها برای قسمتی از دوره مطالعه تحت شمارش قرار می گیرد.

این انواع شمارش و کاربرد آنها در تحلیل حجم ترافیک در بخشهای ذیل مورد بحث قرار می گیرد.

۸-۵-۱- شمارش کنترلی

از آنجایی که شمارشهای کنترلی برای بسط و تعدیل نتایج شمارشهای پوششی سراسر شبکه مورد مطالعه استفاده خواهد شد، انتخاب مناسب محلهای معرف برای شمارش کنترلی بسیار مهم می باشد. در صورتی که روش نمونه گیری دقیق و معنی دار باشد، الگوی مشاهده شده تغییرات ساعتی و روزانه در یک شمارش کنترلی باید معرف بخشی وسیع تر از یک شبکه باشد. لازم به یاد آوری می باشد که الگوی تغییرات حجم بر اساس مشخصات کاربری زمین، نوع ترافیک و بویژه درصدهای وسایل نقلیه عبوری و ترافیک تولید شده محلی در جریان ترافیک بدست می آید. با در نظر گرفتن این اصول، برخی از راهنمایی های کلی که می تواند در انتخاب مناسب محلهای شمارش کنترلی مورد استفاده قرار گیرد، عبارتست از :

- ۱- به ازای هر ۱۰ تا ۲۰ محل شمارش پوششی، یک محل شمارش کنترلی باید آمارگیری شود.
- ۲- برای هر طبقه از تسهیلات موجود در شبکه (خیابانهای محلی، جمع آوری کننده ها، شریانی ها و...) باید محلهای شمارش کنترلی جداگانه ای در نظر گرفته شود زیرا طبقات مختلف تسهیلات به ترکیب متفاوتی از ترافیک محلی و عبوری سرویس می دهند.
- ۳- برای بخشهایی از شبکه که دارای مشخصات خاص کاربری زمین می باشند، باید محلهای شمارش کنترلی جداگانه ای در نظر گرفت.

موارد فوق تنها یک راهنمایی کلی می باشد. مهندسان باید بر اساس قضاوت تجربی و آگاهی های خود

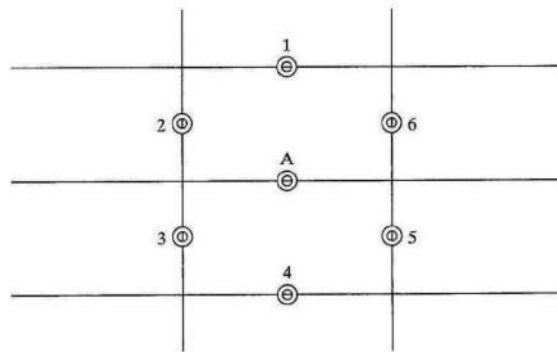
از منطقه تحت مطالعه، محلهای مناسب شمارش کنترلی را مشخص نمایند.

۸-۵-۲- شمارش پوششی

تمام محلهایی که آمارگیری نمونه‌ها در آنها انجام می‌شود، محلهای شمارش پوششی نامیده می‌شوند. به منظور اجتناب از مشکلات برداشت جداگانه حرکت‌های گردش، کلیه شمارش‌های پوششی (و همچنین شمارش‌های کنترلی) در مطالعه یک شبکه در محلهای بین دو تقاطع انجام می‌شوند. هر مسیر ارتباطی (کمان) از شبکه حداقل یک بار در طول دوره مطالعه شمارش می‌شود. حرکت‌های گردش تقاطع ممکن است به صورت تقریبی از احجام مسیرهای متوالی استنباط شود و یا در مواقع ضروری با شمارش‌های تکمیلی بدست آید. آمارگیری در محلهای بین دو تقاطع می‌تواند با استفاده از شمارشگرهای خودکار قابل حمل انجام شود، هر چند مدت زمان برخی از شمارش‌های پوششی ممکن است آن قدر کوتاه باشد که استفاده از این تجهیزات را توجیه نکند.

۸-۵-۳- تشریح یک مطالعه

نحوه محاسبات مربوط بسط و تعدیل آمارهای نمونه شبکه با ارائه یک مثال ساده به بهترین وجه تشریح می‌شود. شکل (۸-۵) قطعه‌ای از یک شبکه وسیع‌تر را نشان می‌دهد که به طور قابل قبولی در طی زمان دارای الگوهای ترافیکی مشابه تشخیص داده شده است. این قطعه از شبکه دارای ۷ مسیر ارتباطی (کمان) می‌باشد که یکی از آنها به عنوان محل شمارش کنترلی تعیین شده است. هر یک از ۶ مسیر دیگر یک محل شمارش پوششی می‌باشد که آمارهای نمونه در آنها شمارش خواهند شد. همه روشهای مختلفی که برای مطالعه پیشنهاد شده‌اند چنین در نظر می‌گیرند که فقط دو نفر آمارگیر یا شمارشگر خودکار می‌تواند به طور همزمان برای این بخش از شبکه مورد استفاده قرار گیرد. در یک مطالعه لازم است تا حجم هر یک از مسیرهای شبکه را در ساعات بین ۱۲ ظهر تا ۸ بعد از ظهر برای یک روز کاری معمولی بدست آید. سه روش مختلف مورد بحث قرار خواهند گرفت. این روشها به عنوان نمونه هستند و روشهایی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد به این موارد خلاصه نمی‌شود. با این وجود، این روشها کلیه محاسبات مربوط به بسط و تعدیل چنین مطالعاتی را نشان می‌دهند.



شکل (۵-۸): یک شبکه نمونه برای مطالعه حجم

برنامه یک مطالعه یکروزه

این امکان وجود دارد که مطالعه در یک روز کامل شود. یکی از دو نفر آمارگیر یا تجهیزات نصب شده موجود، در کل ۸ ساعت دوره مطالعه برای شمارش محل کنترلی A مورد استفاده قرار خواهد گرفت. نفر دوم یا دستگاه دیگر به مدت ۱ ساعت برای آمارگیری در هر یک از ۶ محل شمارش پوششی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آمار نمونه و تحلیل مربوط به این روش در جدول (۵-۸) ارائه شده است.

توجه شود که آمار به صورت ساعت کامل نشان داده می‌شود. چنین آماری بیانگر بسط شمارشهای واقعی برای دوره‌های توقف می‌باشد. همچنین در صورتی که آمارگیری بوسیله دستگاه انجام شده باشد، آمارها بیانگر تبدیل شمارش محورها به شمارش وسایل نقلیه خواهد بود.

در جدول (۵-۸ ب)، آمار شمارش کنترلی برای نمایش الگوی تغییر ساعتی مشاهده شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. حال فرض می‌شود که این الگو برای تمام محلهای پوششی داخل شبکه کاربرد دارد. از اینرو شمارشی برابر ۸۴۰ وسیله نقلیه در محل ۱ معرف $0/117$ (یا $11/7$ درصد) از کل ۸ ساعت در این محل خواهد بود. لذا کل ۸ ساعت می‌تواند به صورت $840 \div 0/117 = 7179$ وسیله نقلیه برآورد شود. علاوه بر این از آنجایی که توزیع ساعتی نشان می‌دهد که ساعت بیشترین حجم شامل $0/163$ (یا $16/3$ درصد) از حجم ۸ ساعتی می‌باشد، پس حجم ساعت اوج می‌تواند به صورت $0/163 \times 7179 = 1170$ وسیله نقلیه برآورد شود. توجه شود که این بسط نتایج آماری در برآورد حجمهای ۸ ساعته و ساعت اوج در هر یک از ۷ محل شمارش، نماینده روزی می‌باشد که آمارگیری در آن انجام می‌گردد. تغییرات روزانه و فصلی بوسیله این

روش مطالعاتی حذف نشده است. با این وجود، حجمهای سر تا سر شبکه در دوره‌های زمانی متداول برآورد شده است.

یک مطالعه چند روزه

در روش مطالعه چند روزه هر محل پوششی به مدت یک ساعت آمارگیری می‌شد. بر مبنای الگوهای تغییر ساعتی که در ایستگاه کنترلی مستند شده است، این آمارگیری‌های ۱ ساعته به برآوردهای حجم ۸ ساعته بسط داده می‌شد. با این وجود، الگوهای تغییر ساعتی ثبات تغییرات دوره‌های زمانی بزرگتر را ندارند. به این دلیل، می‌توان استدلال نمود که ممکن است شمارش هر محل پوششی به مدت ۸ ساعت کامل روش بهتری باشد.

با فرض محدودیت برای شمارش همزمان به دلیل پرسنل یا تجهیزات، مطالعه‌ای مشابه می‌تواند در مدت ۶ روز انجام شود. یک نفر آمارگیر می‌تواند ایستگاه کنترلی را برای کل دوره مطالعه مورد بازبینی قرار دهد و این در حالی است که نفر دوم در هر یک از ۶ روز یک ایستگاه پوششی را به مدت ۸ ساعت شمارش می‌نماید.

آمار و محاسبات مربوط به یک مطالعه ۶ روزه در جدول (۸-۶) ارائه شده است. در این مورد، الگوهای ساعتی نیازی به مدل شدن ندارند زیرا هر ایستگاه پوششی برای تمام ساعات دوره مطالعه شمارش می‌شود. متأسفانه، شمارشها در طی ۶ روز تفکیک می‌شوند و ممکن است در این مدت حجم هر یک محل‌های مفروض به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر نماید. در این مورد، از آمار کنترلی برای تعیین الگوی اصلی تغییر روزانه استفاده می‌شود. این آمار برای تعدیل آمار پوششی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تغییرات حجم روزانه بر حسب ضرایب تعدیل که در ادامه تعریف می‌شوند، تعیین می‌گردند. با ضرب حجم یک روز مفروض در ضریب مربوطه، حجم روز متوسط دوره مطالعه بدست می‌آید. به صوت ریاضی خواهیم داشت:

$$V_a = V_i \times F_{vi}$$

رابطه (۸-۳)

که در آن :

V_a = حجم روز متوسط دوره مطالعه، بر حسب وسیله نقلیه

V_i = حجم روز i

F_{vi} = ضریب تعدیل برای روز i

با استفاده از آمار ایستگاه کنترلی که بر اساس آن حجم متوسط تعیین خواهد شد، ضرایب تعدیل برای هر روز دوره مطالعه می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$F_{vi} = \frac{V_a}{V_i} \quad \text{رابطه (۸-۴)}$$

که تمام جملات آن از قبل مشخص می‌باشد. ضرایب یک مطالعه موردی در جدول (۸-۶-ب) کالیبره می‌شود. شمارشهای پوششی با استفاده از رابطه (۸-۳) در جدول (۸-۶-ج) تعدیل می‌گردد. نتایج، حجمهای متوسط ۸ ساعته را برای تمام محلها در طی دوره ۶ روزه مطالعه ارائه می‌دهد. تغییرات فصلی و روزهای آخر هفته که از مطالعه کنار گذاشته شد، شناخته نمی‌شوند.

یک روش ترکیبی : یک مطالعه سه روزه

دو روش قبل می‌تواند به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه به علت برآورد حجمهای ۸ ساعته بر مبنای مشاهدات یک ساعته، مطالعه یک روزه مناسب شناخته نشود و مطالعه ۶ روزه نیز بسیار هزینه بر باشد، می‌توان برنامه یک مطالعه ۳ روزه را ترتیب داد که در آن هر محل پوششی به مدت ۴ ساعت در یکی از سه روز آمارگیری می‌شود و به این ترتیب نتایج می‌تواند برای تعیین نمودن توزیع حجم در دوره ۴ ساعته و در هر روز مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش، شمارشهای پوششی ۴ ساعته، ابتدا باید برای نشان دادن دوره کامل مطالعه ۸ ساعته بسط داده شوند و سپس برای بیان روز متوسط در طی دوره مطالعه ۳ روزه، تعدیل گردند. جدول (۸-۷) آمار و محاسبات روش مطالعه سه روزه را نمایش می‌دهد.

لازم به ذکر است که در بسط شمارشهای پوششی ۴ ساعته به ۸ ساعته، تقسیم‌بندی حجم از یک روز به روز دیگر تغییر می‌کند. در این بسط دادن از نسبتی استفاده می‌شود که برای روز آمارگیری مناسب باشد.

با این وجود، هنگامی که این تغییر شدید نباشد، استفاده از تقسیم ساعتی متوسط نیز برای هر سه روز قابل توجیه می باشد. مجدداً نتایج بدست آمده معرف دوره سه روزه مشخصی می باشد که آمارگیری طی آن انجام گردید. تغییرات حجم مربوط به سایر روزهای هفته یا ضرایب فصلی مورد بررسی قرار نمی گیرد.

سه روشی که در این بخش با جزئیات مورد بحث قرار گرفت، نمونه‌هایی هستند که برای توضیح بیشتر مطالب ارائه شدند. بسط و تعدیل آمار پوششی بر مبنای مشاهدات کنترلی می تواند به روش های بسیار متفاوت سازماندهی شود، به نحوی که هر دوره مطالعاتی و اندازه شبکه را تحت پوشش قرار دهد. انتخاب محل های کنترلی نظریات زیادی را در بر دارد و موفقیت هر مطالعه خاص بستگی به کیفیت نظریات اعمال شده در طراحی مطالعه دارد. مهندس ترافیک باید هر مطالعه را به گونه ای طراحی نماید تا اهداف خاص اطلاعاتی سریعتر در دسترس قرار گیرد.

۸-۵-۴- برآورد مسافت پیموده شده توسط وسیله نقلیه (VMT) در یک شبکه

برآوردی از کل مسافت پیموده شده توسط وسیله نقلیه (VMT) در شبکه و طی دوره مورد نظر، یکی از خروجی های اغلب مطالعات حجم بر روی شبکه های محدود می باشد. این برآورد به طور تقریبی با این فرض انجام می گردد که یک وسیله نقلیه شمارش شده بر روی یک مسیر، کل طول مسیر را می پیماید. این یک فرض منطقی می باشد زیرا بر حسب اینکه آیا وسایل نقلیه از محل شمارش عبور می نمایند یا خیر، تعدادی از وسایل نقلیه که تنها بخشی از یک مسیر را می پیمایند، شمارش خواهند شد در حالی که سایر آنها شمارش نخواهند شد. با استفاده از شبکه نمونه بخش قبلی، نتایج ۸ ساعته حجم مطابق جدول (۸-۷) و با فرض اینکه تمام مسیرها ۴۰۰ متر طول دارند، جدول (۸-۸) برآوردی از VMT را ارائه می دهد. برآورد انجام شده در این مورد، VMT متوسط ۸ ساعته برای سه روزه مطالعه می باشد. بدون آگاهی بیشتر درباره الگوهای تغییر روزانه و فصلی سرتاسر سال، این مقدار نمی تواند به برآوردی از VMT سالیانه بسط داده شود.

۸-۵-۵- نمایش نتایج حجم ترافیک شبکه

مشابه با مطالعات حجم تقاطع، بیشتر جزئیات نتایج یک مطالعه شبکه محدود در یک فرم جدولی ارائه می‌شود که برخی از آنها در این کتاب نمایش داده شده است. برای حجمهای ساعات اوج یا حجمهای کل روزانه اغلب مناسب است که نقشه جریان شبکه تهیه شود. این نقشه مشابه نمودار جریان تقاطع می‌باشد که در آن ضخامت خطوط جریان متناسب با حجم ترافیک است. نمونه‌های از این نقشه در شکل (۸-۱۶) نشان داده شده است.

۸-۶- برنامه‌های شمارش ایالتی (سراسری)

به طور کلی ایالتها دارای توجه خاصی به دنبال کردن روندهایی در AADT می‌باشند و این امر در الگوی ADT و مسافتهای پیموده شده توسط وسیله‌نقلیه معطوف می‌شود. این روندها در برنامه‌ریزی ایالتی و برای فهرست‌بندی پروژه‌های خاص بهسازی بزرگراه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سالهای اخیر، توجه به مسافت پیموده شده توسط فرد (PMT) و آمار مربوط به سایر مدهای حمل و نقل در حال رشد بوده است. برنامه‌های مشابهی در سطح محلی و منطقه‌ای برای سیستمهای بزرگراهی غیر ایالتی مطلوب می‌باشند، هرچند در بیشتر موارد هزینه‌ها گران و بازدارنده هستند.

با پیروی از یک سری رهنمودهای کلی، به طور مثال آنچه در مرجع [۴] آمده است، سیستم راههای ایالتی به طبقه‌بندی‌های عملکردی تقسیم می‌شود. در هر طبقه‌بندی، الگویی از محل‌های شمارش کنترلی و محل‌های شمارش پوششی برقرار می‌شود به نحوی که بتوان از روندها پیروی نمود. برنامه‌های ایالتی مشابه مطالعات شبکه محدود می‌باشند، با این تفاوت که شبکه مورد بحث شامل تمام سیستم بزرگراهی ایالت بوده و چارچوب زمانی مطالعه مستمر و بی وقفه می‌باشد (یعنی ۳۶۵ روز سال، هر سال). برخی از اصول کلی برای برنامه‌های ایالتی عبارتند از :

- ۱- هدف اغلب برنامه‌های ایالتی اجرای یک شمارش پوششی هرساله بر روی هر قطعه ۳/۲ کیلومتری از سیستم بزرگراهی ایالت، به استثنای جاده‌های کم حجم ($AADT < 100 \text{ veh/day}$) می‌باشد.

جاده‌های کم حجم معمولاً حدود ۵۰ درصد از مسافت سیستم ایالتی را تشکیل می‌دهند و به عنوان راه‌های محلی درجه سه طبقه بندی می‌شوند.

۲- هدف از شمارشهای پوششی ارائه برآوردی سالیانه از AADT برای هر محل پوششی می‌باشد.

۳- بر حسب خصوصیات منطقه تحت مطالعه برای هر ۲۰ تا ۵۰ محل شمارش پوششی معمولاً یک محل شمارش کنترلی مستقر می‌شود. معیارهای استقرار محلهای کنترلی مشابه مواردی است که برای شبکه‌های محدود مورد استفاده قرار گرفت.

۴- محلهای شمارش کنترلی ممکن است شمارشهای دائمی و یا شمارشهای کنترلی اصلی یا فرعی باشند که از نمونه‌های نماینده استفاده می‌کنند. در هر دو مورد، محلهای شمارش کنترلی باید الگوهای تغییر روزانه و الگوهای تغییر ماهانه یا فصلی را برای کل ۳۶۵ روز سال مورد بازبینی و واسنجی (کالیبراسازی) قرار دهند.

۵- تمام شمارشهای پوششی حداقل برای یک دوره ۲۴ تا ۴۸ ساعته انجام می‌گیرند تا نیاز لازم برای واسنجی الگوهای تغییر ساعتی را مرتفع سازند.

در محلهای شمارش دائمی برای فراهم نمودن جریان پیوسته‌ای از اطلاعات مربوط به حجم ترافیک، تجهیزات شناسگر ثابت و فن‌آوری انتقال داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شمارشهای کنترلی اصلی و فرعی عموماً با استفاده از شمارشگرهای قابل حمل و لوله‌های هوای فشرده انجام می‌شوند. شمارشهای کنترلی اصلی معمولاً برای یک هفته در طی هر ماه از سال انجام می‌گردند و شمارشهای کنترلی فرعی معمولاً برای یک دوره ۵ روزه (فقط روزهای کاری) در هر فصل انجام می‌شوند.

۸-۶-۱- تعیین ضرایب تغییر روزانه

داده‌های مشخص شده در جدول (۸-۹) از یک ایستگاه شمارش دائمی بدست آمده است. در این ایستگاه شمارش دائمی، داده‌های تمام ۵۲ هفته از سال موجود می‌باشد (یعنی برای ۵۲ یکشنبه، ۵۲ دوشنبه، ۵۲ سه‌شنبه و ...). (توجه شود که در یک سال ۳۶۵ روزه، تنها یک روز از هفته ۵۳ دفعه اتفاق خواهد افتاد).

ضرایب تغییر روزانه بر مبنای میانگین حجمهای مشاهده شده در طی هر روز از هفته تعیین می شوند. مقدار پایه برای تعیین ضریب برابر است با متوسط ۷ میانگین روزانه که یک برآورد تقریبی از AADT می باشد (به علت وجود ۵۳ امین نمونه از داده ها برای یک روز از هفته، این مقدار به طور دقیق برابر AADT نمی شود). ترسیم این ضرایب مطابق شکل (۸-۱۷)، یک الگوی تغییر صریح را نشان می دهد که می تواند برای نتایج شمارش پوششی بکار رود.

توجه شود که مجموع ۷ ضریب تعدیل روزانه بیش از ۷/۰۰ نمی شود (مقدار واقعی برابر ۷/۱۱ می باشد). این امر به دلیل روشی است که ضرایب بر اساس آن تعریف و محاسبه می شوند. میانگین های روزانه در مخرج ضرایب تعدیل قرار دارند. در نتیجه، متوسط ضریب با میانگین حجم روزانه نسبت عکس دارد و به این ترتیب انتظار نمی رود جمع این ضرایب از ۷ بیشتر شود.

ضرایب تعدیل روزانه می تواند از نتایج شمارشهای کنترلی اصلی و یا فرعی نیز محاسبه شود. در یک شمارش کنترلی اصلی، به ازاء یک هفته از هر ماه سال یا به عبارتی ۱۲ هفته اطلاعات وجود دارد. میانگین های روزانه، علاوه بر اینکه معرف اطلاعات ۵۲ هفته هستند، اطلاعات ۱۲ هفته نماینده را نیز انعکاس می دهند. بنابراین محاسبات تعدیل دقیقاً مشابه قبل می باشد.

۸-۶-۲- تعیین ضرایب تغییر ماهانه

جدول (۸-۱۰) نحوه تعیین ضرایب تغییر ماهانه (MF) از اطلاعات شمارش دائمی را نشان می دهد. ضرایب ماهانه بر مبنای ADT ماهانه ای که در ایستگاه شمارش دائمی مشاهده می شود، استوار هستند. توجه شود که مجموع ۱۲ الگوی تغییر ماهانه برابر ۱۲ نمی شود (مقدار واقعی برابر ۱۲/۲۹ می باشد)، زیرا ADT های ماهانه در مخرج ضرایب قرار دارند.

جدول (۸-۹) بر مبنای اطلاعات شمارش دائمی تنظیم شده است، به نحوی که ADT های ماهانه مستقیماً محاسبه می شوند. یک شمارش ۷ روزه در هر ماه سال مقادیر مشابهی را ایجاد خواهد کرد، مگر اینکه ADT مربوط به هر ماه به جای اطلاعات تمام ماه بر مبنای اطلاعات یک هفته ای برآورد شود. این نحوه ایجاد می تواند به هنگامی که هفته جمع آوری اطلاعات از یک ماه به ماه دیگر تغییر می کند، منجر به

یک انحراف گردد. در نتیجه، ADT یک ماه معین به احتمال زیاد در وسط ماه مشاهده می‌شود (یعنی ۱۴ تا ۱۶ هر ماه). این اظهار نظر بر مبنای این فرض استوار است که روند حجم در طی هر ماه یک جهته باشد (یعنی حجم در سراسر ماه رشد نماید یا در سراسر ماه کاهش یابد). هنگامی که یک نقطه اوج یا حداقل در طی ماه وجود دارد، این اظهار نظر درست نمی‌باشد.

شکل (۸-۱۸) نموداری از ۱۲ ضریب تغییر ماهانه که بر اساس برداشت اطلاعات در یک هفته از هر ماه تعیین شده‌اند را نشان می‌دهد. در مواردی که اطلاعات برای ماه برداشت گردد، ضرایب تغییر روزانه در مقابل نقطه وسط هفته رسم می‌گردد.

اکنون با در نظر گرفتن وسط هر ماه (روز پانزدهم) در این نمودار، می‌توان ضرایب تعدیل را از محور عمودی خواند. برای مثال، ضریب محاسبه شده برای ماه می برابر $0/93$ بدست آمد، در حالی که نمودار بر این موضوع دلالت دارد که محاسبه ضریب برای نیمه این ماه نتیجه $0/96$ را در بر خواهد داشت. تعدیل ضرایب در این روش به محاسبات بیشتری بر مبنای نقاط نیمه ماه می‌انجامد.

۸-۶-۳- گروه‌بندی اطلاعات بدست آمده از ایستگاههای شمارش کنترلی

در سیستمها و شبکه بزرگراه‌های ایالتی، بویژه در نواحی برون شهری، ممکن است یک منطقه وسیع دارای ضرایب تعدیل روزانه و یا ماهانه‌ای باشد که اگر یکسان نباشند، اقلاً مشابه هستند. در چنین مناطقی، ممکن است ایستگاههای کنترلی همجوار واقع بر بزرگراههای با طبقه یکسان با یکدیگر ادغام گردند و به شکل یک گروه کنترلی منفرد در آیند. سپس ضرایب متوسط مناسب برای گروه ممکن است بر روی یک ناحیه وسیع با الگوهای تغییر مشابه بکار برده شود. به طور کلی، یک استاندارد آماری برای چنین گروه‌بندی‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد: در صورتی که ضرایب در ایستگاههای منفرد بیشتر از $\pm 0/10$ با میانگین گروه تفاوت داشته باشد، ممکن است شمارشهای کنترلی همجوار بر روی انواع مشابه بزرگراهها گروه‌بندی شوند.

به مثال ارائه شده در جدول (۸-۱۱) توجه کنید. ضرایب تغییر روزانه برای چهار ایستگاه شمارش کنترلی پشت سر هم بر روی یک بزرگراه ایالتی به صورت نشان داده شده معین شده است. فرض می‌شود

که این چهار ایستگاه معرف چهار منطقه با الگوهای تغییر مشابه هستند. بنابراین ضرایب متوسط برای چهار ایستگاه گروه‌بندی شده محاسبه شده است.

ضرایب تیره شده به مواردی اشاره دارند که قوانین آماری مربوط به گروه‌بندی را نقض می‌کنند (یعنی تفاوت‌های میان این ضرایب و مقدار میانگین گروه، بیشتر از ± 0.10 می‌باشد). این مطلب به این موضوع اشاره دارد که گروه‌بندی پیشنهادی مناسب نمی‌باشد. ممکن است که به صورت امتحان ایستگاه ۱ و ۴ از گروه حذف گردند و فقط ایستگاه ۲ و ۳ ترکیب شوند. با این وجود روش صحیح به این ترتیب می‌باشد که در هر مرتبه یک ایستگاه از گروه حذف می‌شود به نحوی که متوسط ضرایب بدست آمده تغییر خواهد کرد. در این مثال یک مشاهده سرسری بر این دلالت دارد که ایستگاه ۴ به طور واقعی یک الگوی تغییر روزانه مشابه ایستگاه‌های دیگر را ارائه نمی‌دهد. اوج ترافیک ($DF < 1$) این ایستگاه در طول هفته اتفاق می‌افتد، در حالی که اوج ترافیک دیگر ایستگاه‌ها در تعطیلات آخر هفته می‌باشد. از اینرو ایستگاه ۴ از گروه‌بندی پیشنهادی حذف می‌شود و مطابق جدول (۸-۱۲) میانگین‌های جدید محاسبه می‌گردد.

اکنون کلیه ضرایب در ایستگاه‌های منفرد در حدود ± 0.10 از میانگین گروه قرار دارند. این حالت یک گروه‌بندی مناسب از ایستگاه‌های کنترلی خواهد بود.

۸-۶-۴- کاربرد نتایج

باید توجه داشت که گروه‌بندی برای ضرایب روزانه و گروه‌بندی برای ضرایب ماهانه لزوماً یکسان نمی‌باشند. با این وجود در صورت یکسان بودن گروه‌بندی‌ها کار آسانتر می‌باشد و اصلاً بعید نیست که گروه‌بندی یک سری از ایستگاه‌های برای یک نوع ضریب، برای دیگری نیز مناسب باشد.

سازمان راه کشور از برنامه شمارش خود در ایجاد اطلاعات پایه روند در سراسر کشور استفاده خواهد کرد. همچنین این برنامه در قطعات متوالی هر طبقه‌بندی از راه‌های کشور، یک سری ضرایب تغییر روزانه و ماهانه ایجاد خواهد کرد که می‌تواند در هر شمارش پوششی درون سطح نفوذ گروه‌بندی تحت کنترل مورد استفاده قرار گیرد. یک مثال از نوع اطلاعاتی که می‌تواند در دسترس قرار گیرد در جدول (۸-۱۳) نشان داده شده است.

با استفاده از این جدول، هر شمارش پوششی مربوط به یک دوره ۲۴ ساعته یا بیشتر می‌تواند به کمک

رابطه زیر به یک برآورد از AADT تبدیل گردد:

$$\text{AADT} = V_{rij} \times DF_i \times MF_j \quad \text{رابطه (۵-۸)}$$

که در آن:

AADT = میانگین ترافیک روزانه در سال، vehs /day

V_{rij} = حجم ۲۴ ساعته برای روز i در ماه j ، vehs

DF_i = ضریب تعدیل روزانه برای روز i

MF_j = ضریب تعدیل ماهانه برای روز j

یک شمارش پوششی را در نظر بگیرید که در یک ایستگاه داخل ناحیه انجام می‌شود و بوسیله ضرایب

جدول (۸-۱۳) بیان می‌گردد. شمارشی به اندازه ۱۰۰۰ وسیله‌نقلیه در یک روز سه‌شنبه از ماه جولای

مشاهده شده است. بر اساس جدول (۸-۱۳) ضریب روزانه برای سه‌شنبه‌ها (DF) برابر ۱/۱۲۱ و ضریب ماه

جولای (MF) برابر ۰/۹۱۳ می‌باشد. بنابراین:

$$\text{AADT} = 1000 \times 1/121 \times 0/913 = 10.23 \text{ vehs/day}$$

جدول (۸-۱۴) نتایج چند تکرار را نشان می‌دهد. شمارشهای نهایی مبدا - مقصد زمانی مورد پذیرش

قرار می‌گیرند که تمام ضرایب تعدیل بزرگتر و یا مساوی ۰/۹ یا کوچکتر و یا مساوی ۱/۱ باشند. در این

مثال برای دستیابی به دقت مورد نظر، بسط اولیه شمارشهای مبدا - مقصد دو بار تکرار گردید.

F_j	V_j	T_j	ایستگاه مبدا				ایستگاه مقصد
			۴	۳	۲	۱	
۲/۶۳	۲۵۰	۹۵	۱۷	۲۰	۸	۵۰	۱
۲/۹۲	۳۱۰	۱۰۶	۱۰	۲۱	۶۵	۱۰	۲
۲/۵۰	۲۰۰	۸۰	۱۵	۳۸	۱۲	۱۵	۳
۴/۳۱	۳۷۵	۸۷	۴۲	۱۸	۱۴	۱۳	۴
		۳۶۸	۸۴	۹۷	۹۹	۸۸	T_i
	۱۱۳۵		۴۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۲۱۰	V_i
			۴/۷۶	۳/۳۵	۲/۰۲	۲/۳۹	F_i

(الف) اطلاعات میدانی و ضرایب تکرار صفر

F_j	V_j	T_j	ایستگاه مبدا				ایستگاه مقصد
			۴	۳	۲	۱	
۰/۹۳	۲۵۰	۲۶۷	۶۳	۶۰	۱۹	۱۲۵	۱
۱/۰۶	۳۱۰	۲۹۲	۳۸	۶۶	۱۶۱	۲۷	۲
۱۱۳۵	۳۴۷	۲۲۹	۵۴	۱۱۱	۲۷	۳۷	۳
۱/۰۸	۳۷۵	۳۴۷	۱۹۰	۶۹	۴۴	۴۴	۴
		۱۱۳۵	۳۴۵	۳۰۶	۲۵۱	۲۳۴	T_i
	۱۱۳۵		۴۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۲۱۰	V_i
			۱/۱۶	۱/۰۶	۰/۸۰	۰/۹۰	F_i

(ب) بسط اولیه ماتریس مبدا - مقصد (تکرار صفر)

F_j	V_j	T_j	ایستگاه مبدا				ایستگاه مقصد
			۴	۳	۲	۱	
۰/۹۷	۲۵۰	۲۵۷	۶۶	۶۰	۱۶	۱۱۵	۱
۱/۰۸	۳۱۰	۲۸۸	۴۲	۷۰	۱۵۰	۲۶	۲
۰/۹۲	۲۰۰	۲۱۸	۵۵	۱۰۷	۲۳	۳۳	۳
۱/۰۱	۳۷۵	۳۷۲	۲۱۳	۷۴	۴۱	۴۴	۴
		۱۱۳۵	۳۷۶	۳۱۱	۲۳۰	۲۱۸	T_i
	۱۱۳۵		۴۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۲۱۰	V_i
			۱/۰۶	۱/۰۵	۰/۸۷	۰/۹۶	F_i

(ج) تکرار اول ماتریس مبدا - مقصد

F_j	V_j	T_j	ایستگاه مبدا				ایستگاه مقصد
			۴	۳	۲	۱	
۰/۹۸	۲۵۰	۲۵۴	۶۷	۶۱	۱۵	۱۱۱	۱
۱/۰۶	۳۱۰	۲۹۳	۴۵	۷۵	۱۴۶	۲۷	۲
۰/۹۵	۲۰۰	۲۱۱	۵۴	۱۰۵	۲۱	۳۱	۳
۰/۹۹	۳۷۵	۳۷۸	۲۲۰	۷۶	۳۹	۴۳	۴
		۱۱۳۶	۳۸۶	۳۱۷	۲۲۱	۲۱۲	T_i
	۱۱۳۵		۴۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۲۱۰	V_i
			۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۹۰	۰/۹۹	F_i

(د) تکرار دوم ماتریس مبدا - مقصد

۸-۷-۲- شمارشهای محدوده‌ای

محدوده عبارت است از یک مرز فرضی که در دور یک ناحیه مطالعاتی در نظر گرفته می‌شود. این مرز

معمولاً برای مشخص نمودن یک ناحیه تجاری (CBD) یا سایر مراکز اصلی فعالیت که تجمع وسایل نقلیه

داخل ناحیه در برنامه‌ریزی ترافیکی دارای اهمیت می‌باشد، بکار می‌رود. مطالعات محدوده‌ای حجم نیازمند شمارش تمام خیابانها و بزرگراههایی است که خط محدوده را قطع می‌کنند. همچنین شمارشها باید بر حسب جهت و فواصل زمانی ۱۵ تا ۶۰ دقیقه دسته‌بندی شوند. برای پیاده سازی محدوده، چند اصل را باید رعایت نمود:

- مساحت محدوده باید به اندازه‌ای بزرگ باشد تا کل ناحیه مورد نظر را تعریف نماید و در عین حال به اندازه‌ای کوچک باشد که برآوردهای تجمع برای برنامه‌ریزی پارکینگ و سایر اهداف ترافیکی مفید باشد.
- خط محدوده به گونه‌ای پیاده می‌شود که تمام خیابانها و بزرگراهها را در موقعیتهای بین دو تقاطع قطع نماید تا از پیچیدگی حالتی که در آن وسایل نقلیه گردشی به محدوده وارد و یا از آن خارج می‌شوند، اجتناب گردد.

- خط محدوده باید به گونه‌ای تعیین شود که تعداد نقاط گذرگاهی را در هر جا که امکان دارد، به حداقل برساند. موانع طبیعی و یا ساخته دست انسان (نظیر رودخانه‌ها، خطوط راه‌آهن، جاده‌های با دسترسی محدود و موارد مشابه دیگر) می‌توانند به عنوان قسمتی از خط محدوده مورد استفاده قرار گیرند.

- کاربری زمین در نواحی محدوده باید نسبتاً یکسان باشد. برآوردهای تجمع برای تخمین ظرفیت خیابانها و فضای مورد نیاز پارکینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. محدوده‌های بزرگی که در برگیرنده فعالیت‌های مختلف کاربری زمین هستند، تمرکز کافی را برای این اهداف نخواهند داشت.

تجمع وسایل نقلیه درون محدوده با خلاصه کردن مجموع کل شمارشهای ورودی و خروجی ناحیه بر حسب دوره زمانی تعیین می‌گردد. شمارشهای محدوده‌ای باید در زمانی آغاز شود که خیابانها تقریباً خالی هستند. اما از آنجایی که دستیابی به چنین شرایطی مشکل است، مطالعه باید با برآوردی از وسایل نقلیه همان زمان آغاز شود. این برآورد می‌تواند با گردش درون ناحیه و شمارش وسایل نقلیه پارک شده و خودروهایی که در حال گردش رویارو می‌شوند، انجام گردد. تسهیلات پارکینگ غیر خیابانی می‌تواند به منظور برآورد میزان اشغال شبانه آنها به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

توجه شود که اگر میزان عرضه پارکینگ ناکافی باشد و بسیاری از وسایل نقلیه در حال حرکت صرفاً درصدد یافتن جایی برای پارک کردن باشند، برآورد تعداد وسایل نقلیه پارک شده بیانگر تقاضای واقعی برای

پارگینگ نمی‌باشد. همچنین تقاضایی که به دلیل وجود تراکم از ورود به محدوده منصرف می‌شود، بوسیله این روش قابل محاسبه نیست.

پس از خلاصه سازی مجموع شمارشهای ورودی و خروجی، تجمع وسایل نقلیه درون محدوده در طی هر دوره زمانی معلوم به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$A_i = A_{i-1} + V_{Ei} - V_{Li} \quad \text{رابطه (۸-۸)}$$

که در آن:

A_i = تجمع در دوره زمانی i ، (وسیله نقلیه)

A_{i-1} = تجمع در دوره زمانی $i-1$ ، (وسیله نقلیه)

V_{Ei} = حجم کل وسایل نقلیه ورودی به محدوده در دوره زمانی i ، (وسیله نقلیه)

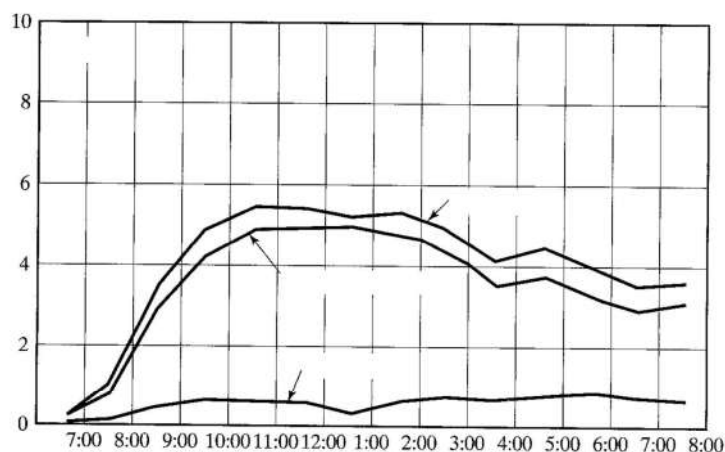
V_{Li} = حجم کل وسایل نقلیه خروجی از محدوده در دوره زمانی i ، (وسیله نقلیه)

جدول (۸-۱۵): محاسبات تجمع در مثالی از یک مطالعه محدوده‌ای

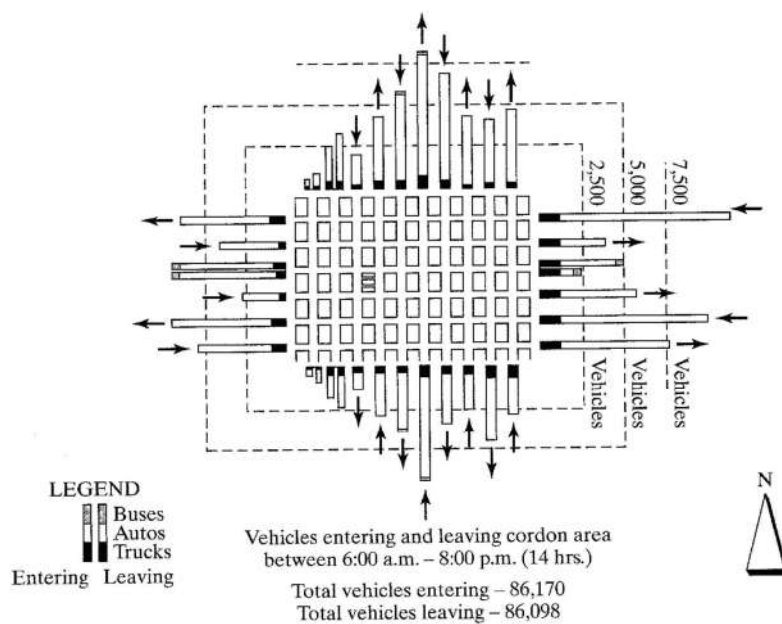
زمان	وسایل نقلیه ورودی	وسایل نقلیه خروجی	تجمع (vehs)
۴:۰۰ تا ۵:۰۰ صبح	-	-	۲۵۰*
۵:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح	۱۰۰	۲۰	$۲۵۰ + ۱۰۰ - ۲۰ = ۳۳۰$
۶:۰۰ تا ۷:۰۰ صبح	۱۵۰	۴۰	$۳۳۰ + ۱۵۰ - ۴۰ = ۴۴۰$
۷:۰۰ تا ۸:۰۰ صبح	۲۰۰	۴۰	$۴۴۰ + ۲۰۰ - ۴۰ = ۶۰۰$
۸:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح	۲۹۰	۸۰	$۶۰۰ + ۲۹۰ - ۸۰ = ۸۱۰$
۹:۰۰ تا ۱۰:۰۰ صبح	۳۵۰	۱۲۰	$۸۱۰ + ۳۵۰ - ۱۲۰ = ۱۰۴۰$
۱۰:۰۰ تا ۱۱:۰۰ صبح	۳۴۰	۲۰۰	$۱۰۴۰ + ۳۴۰ - ۲۰۰ = ۱۱۸۰$
۱۱:۰۰ تا ۱۲:۰۰ ظهر	۳۵۰	۳۵۰	$۱۱۸۰ + ۳۵۰ - ۳۵۰ = ۱۱۸۰$
۱۲:۰۰ تا ۱:۰۰ عصر	۲۶۰	۳۰۰	$۱۱۸۰ + ۲۶۰ - ۳۰۰ = ۱۱۴۰$
۱:۰۰ تا ۲:۰۰ عصر	۲۰۰	۳۸۰	$۱۱۴۰ + ۲۰۰ - ۳۸۰ = ۹۶۰$
۲:۰۰ تا ۳:۰۰ عصر	۱۸۰	۴۲۰	$۹۶۰ + ۱۸۰ - ۴۲۰ = ۷۲۰$
۳:۰۰ تا ۴:۰۰ عصر	۱۰۰	۳۵۰	$۷۲۰ + ۱۰۰ - ۳۵۰ = ۴۷۰$
۴:۰۰ تا ۵:۰۰ عصر	۱۲۰	۳۲۰	$۴۷۰ + ۱۲۰ - ۳۲۰ = ۲۷۰$

* تجمع برآورد شده برای شروع

یک مثال از مطالعه محدوده‌ای حجم و برآورد تجمع درون محدوده در جدول (۸-۱۵) نشان داده شده است. شکل (۸-۲۰) نمونه‌ای از نحوه ارائه آمار تجمع را نشان می‌دهد، در عین حال شکل (۸-۲۱) ارائه‌ای جالب از اطلاعات عبور و مرور محدوده را نمایش داده است.



شکل (۸-۲۰): نمونه‌ای از نحوه ارائه آمار تجمع



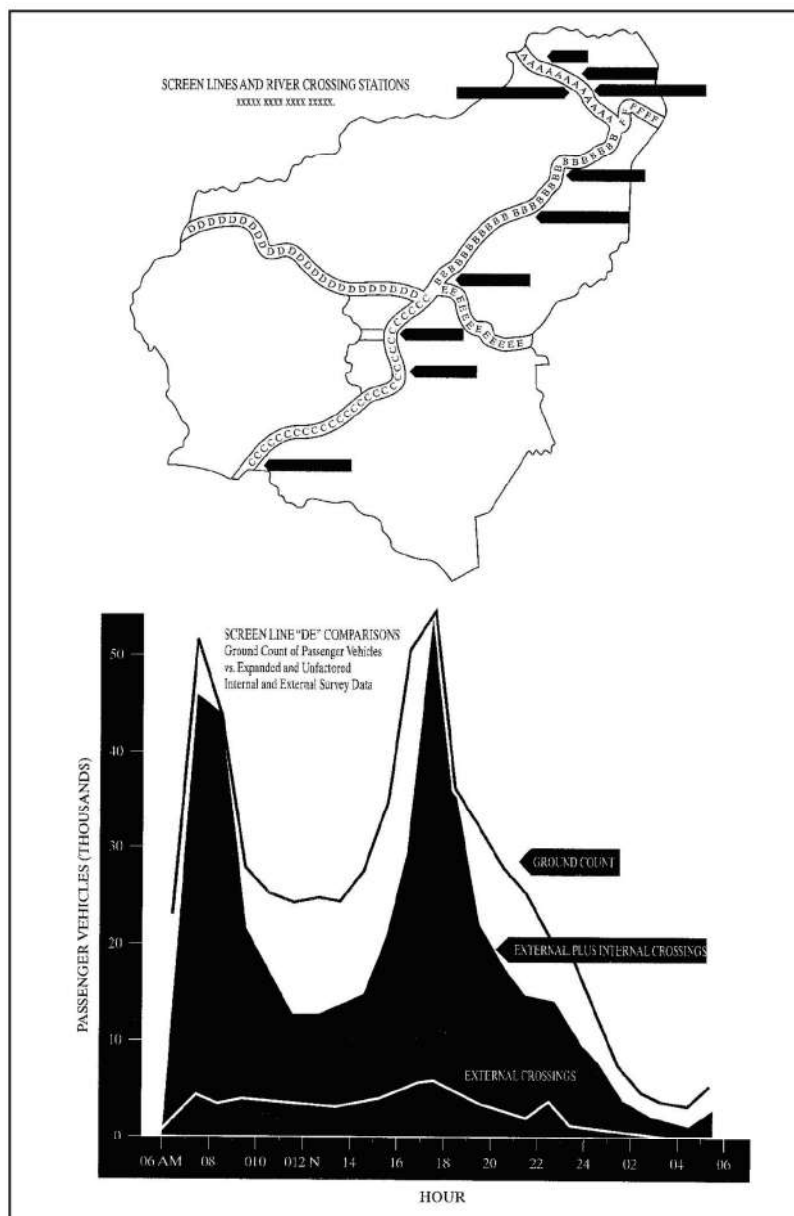
شکل (۸-۲۱): نمونه‌ای از ارائه عبور و مرور روزانه محدوده

۸-۷-۳- شمارشهای خط برش (Screen - Line)

شمارشهای خط برش و مطالعات حجم معمولاً به عنوان بخشی از یک مطالعه مبدا - مقصد جامع در سطح منطقه که مصاحبه خانه به خانه به عنوان روش اصلی لحاظ شده است، انجام می‌گردد. در این قبیل مطالعات برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پاسخهای مصاحبه خانه به خانه الگوهای کوچکی را بوجود می‌آورد که در عین حال دارای جزئیات مفصل بوده و به منظور برآورد تعداد سفرهای روزانه (یا دیگر فواصل زمانی مشخص) بین حوزه‌های حمل و نقلی معین که درون منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده‌اند، استفاده می‌شود. به دلیل کوچک بودن الگوهای مصاحبه خانه به خانه و با توجه به استفاده از اطلاعات تکمیلی برای برآورد الگوی سفرهای عبوری از ناحیه مطالعاتی یا سفرهایی که فقط انتهای سفر به داخل ناحیه مطالعاتی می‌باشد، استفاده از برخی روشهای مشاهده میدانی برای بررسی صحت حرکت‌های پیش‌بینی‌شده ضروری می‌باشد.

خطوط برش عبارتند از موانع مناسبی که سراسر ناحیه مطالعاتی را قطع می‌نمایند و تعداد نقاط تقاطع آنها محدود می‌باشد. رودخانه‌ها، خطوط راه آهن، بزرگراههای با دسترسی محدود و مواردی از این قبیل، شکلهای مناسبی از خطوط برش را ایجاد می‌کنند. برآورد سفرهای بین حوزه‌ها در یک مطالعه منطقه‌ای می‌تواند به گونه‌ای جمع‌بندی شود که تعداد سفرهای پیش‌بینی‌شده از عرض خط برش در یک دوره زمانی معین بدست آید. سپس با انجام یک شمارش خط برش، تعداد عبورهای واقعی مشاهده می‌شود. مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با عبورهای مشاهده‌شده، وسیله‌ای برای تعدیل سفرهای پیش‌بینی‌شده بین حوزه‌ها فراهم می‌سازد.

شکل (۸-۲۲) یک ناحیه مطالعاتی که برای آن دو خط برش در نظر گرفته شده است را نشان می‌دهد. عبورهای پیش‌بینی‌شده در مقابل عبورهای مشاهده‌شده به صورت گرافیکی ارائه شده است. نسبت عبورهای مشاهده‌شده به عبورهای پیش‌بینی‌شده، ضریب تعدیلی را فراهم می‌سازد که می‌تواند در تمام ترکیبهای سفر مربوط به منطقه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۸-۲۲): مثالی از یک مطالعه خط برش

۸-۸- توضیحات پایانی:

مفهوم شمارش وسایل نقلیه آسان است. لیکن همانطور که در این فصل مورد بررسی قرار گرفت، فرآیند شمارش همیشه آسان نیست و استفاده مناسب از نتایج میدانی برای دستیابی به آمار مورد نظر همیشه ساده نمی‌باشد. عملیات میدانی مطالعات حجم ترافیک نسبتاً پیش پا افتاده است اما بسیار با اهمیت می‌باشد. اطلاعات حجم ترافیک یکی از مبانی بنیادی در کلیه تحلیل‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و بهره‌برداری‌های مهندسی ترافیک می‌باشد.

اطلاعات حجم ترافیک باید به دقت جمع‌آوری شود. این اطلاعات باید در قالب فرم‌های قابل فهم ثبت گردد و به منظور دستیابی به هدف از پیش تعیین شده مطالعه، به شکل صحیح تحلیل شود. پس از آن نتایج باید برای استفاده مهندسان ترافیک و سایر افراد درگیر در فرآیند برنامه‌ریزی و مهندسی، به صورت واضح و بدون ابهام ارائه گردد. هیچ طرح هندسی و یا طرح کنترل ترافیکی در صورتی که بر پایه اطلاعات نادرست از حجم ترافیک و تقاضای واقعی بنا نهاده شود نمی‌تواند موثر واقع گردد. بنابراین اهمیت نقش مطالعات حجم ترافیک حقیقتاً نمی‌تواند دست کم گرفته شود.

مراجع:

[1] *Highway Capacity Manual, 4th Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 2000.*

[2] *Transportation and Traffic Engineering Handbook, 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.*

[3] *McShane, W. and Crowley, K., "Regularity of Some Detector-Observed Arterial Traffic Volume Characteristics," Transportation Research Record 596, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 1976.*

[4] *Traffic Monitoring Guide, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, 1985.*

مسائل:

۸-۱- اطلاعات زیر به هنگام مطالعه بر روی دو خط عبور شریانی جمع‌آوری شده است. شمارشهای

پیوسته ۱۵ دقیقه‌ای را به صورت کامل برای جاده دو خطه برآورد نمایید. ساعت اوج را تعیین نموده و

ضریب ساعت اوج را محاسبه کنید.

خط ۲ (vph)	خط ۱ (vph)	زمان (عصر)
-	۱۰۰	۳:۳۰ تا ۳:۴۰
۱۲۰	-	۳:۴۵ تا ۳:۵۵
-	۱۰۶	۴:۰۰ تا ۴:۱۰
۱۲۴	-	۴:۱۵ تا ۴:۲۵
-	۱۱۵	۴:۳۰ تا ۴:۴۰
۱۳۰	-	۴:۴۵ تا ۴:۵۵
-	۱۲۰	۵:۰۰ تا ۵:۱۰
۱۴۶	-	۵:۱۵ تا ۵:۲۵
-	۱۴۲	۵:۳۰ تا ۵:۴۰
۱۴۰	-	۵:۴۵ تا ۵:۵۵
-	۱۳۵	۶:۰۰ تا ۶:۱۰
۱۳۰	=	۶:۱۵ تا ۶:۲۵
-	۱۲۰	۶:۳۰ تا ۶:۴۰
۱۱۰	-	۶:۴۵ تا ۶:۵۵
-	۱۰۵	۷:۰۰ تا ۷:۱۰

۸-۲- برای مطالعات حجم ترافیک در یک تقاطع چراغدار با طول چرخه (الف) ۶۰ ثانیه ، (ب) ۹۰

ثانیه ، (ج) ۱۲۰ ثانیه چه دوره شمارشی را انتخاب خواهید کرد ؟

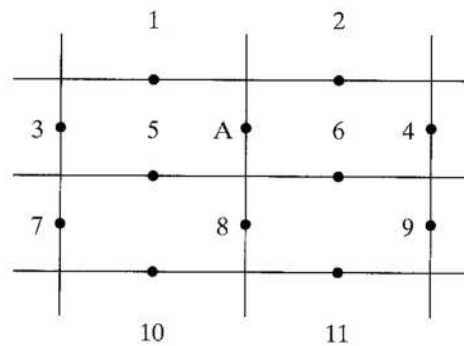
۸-۳- با استفاده از تجهیزات شمارش قابل حمل یک شمارش بر روی شبکه کوچک نشان داده شده

در شکل زیر انجام گردید. از آنجایی که تنها دو سری تجهیزات میدانی در اختیار بود، برنامه شمارش در

طی یک دوره چند روزه انجام شد و ایستگاه A به عنوان ایستگاه کنترلی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده

از اطلاعات ارائه شده در زیر، حجم ۱۲ ساعته (۶ صبح تا ۶ عصر) را در هر ایستگاه برای روز متوسط

دوره مطالعه برآورد نمایید.



شمارش محورها در ایستگاه کنترلی A

روز	دوره زمانی		
	۶ صبح تا ۱۰ صبح	۱۰ صبح تا ۲ عصر	۲ عصر تا ۶ عصر
دوشنبه	۴۰۰۰	۲۸۰۰	۴۴۰۰
سه شنبه	۳۷۰۰	۲۶۰۰	۴۰۰۰
چهارشنبه	۳۹۵۰	۲۶۸۰	۴۲۰۰
پنجشنبه	۴۲۰۰	۲۹۵۰	۴۵۵۰

شمارش محورها در ایستگاه‌های پوششی

ایستگاه	روز	زمان	شمارش
۱	دوشنبه	۶ صبح تا ۹:۳۰ صبح	۲۱۰۰
۲	دوشنبه	۱۰ صبح تا ۱:۳۰ عصر	۱۲۰۰
۳	دوشنبه	۲ عصر تا ۵:۳۰ عصر	۹۳۰
۴	سه شنبه	۶ صبح تا ۹:۳۰ صبح	۸۷۲
۵	سه شنبه	۱۰ صبح تا ۱:۳۰ عصر	۱۱۰۰
۶	سه شنبه	۲ عصر تا ۵:۳۰ عصر	۱۰۰۰
۷	چهارشنبه	۶ صبح تا ۹:۳۰ صبح	۶۸۰
۸	چهارشنبه	۱۰ صبح تا ۱:۳۰ عصر	۱۹۲۰
۹	چهارشنبه	۲ عصر تا ۵:۳۰ عصر	۱۲۳۰
۱۰	پنجشنبه	۶ صبح تا ۹:۳۰ صبح	۲۹۰۰
۱۱	پنجشنبه	۱۰ صبح تا ۱:۳۰ عصر	۲۰۰۰

شمارش نمونه طبقه‌بندی وسایل نقلیه

طبقه‌بندی وسایل نقلیه	شمارش
۲ محوری	۸۵۰
۳ محوری	۷۵
۴ محوری	۵۰
۵ محوری	۲۵

۸-۴- به منظور ارائه ضریب تغییرات روزانه و ماهانه حجم ترافیک، شمارشهای کنترل‌ی زیر در یک ایستگاه شمارش شهری انجام گردید. با در نظر گرفتن داده‌های زیر این ضرایب را تعیین نمایید.

حجمهای روزانه ۲۴ ساعته

روز هفته							اولین هفته در ماه :
یکشنبه	شنبه	جمعه	پنجشنبه	چهارشنبه	سه‌شنبه	دوشنبه	
۹۵۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۵۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	ژانویه
۸۹۰	۱۴۰۰	۱۷۵۰	۱۸۹۰	۲۱۱۰	۲۰۸۰	۱۹۰۰	آوریل
۸۰۰	۱۱۵۰	۱۵۸۰	۱۷۱۰	۱۹۰۰	۱۸۵۰	۱۷۰۰	جولای
۱۰۱۰	۱۵۵۰	۱۸۰۰	۲۰۵۰	۲۳۰۰	۲۲۷۰	۲۱۰۰	اکتبر

حجمهای استاندارد ماهانه

متوسط حجم ۲۴ ساعته (Vehs)	سومین هفته در ماه :
۲۲۵۰	ژانویه
۲۲۰۰	فوریه
۲۰۰۰	مارس
۲۱۰۰	آوریل
۱۹۵۰	مه
۱۸۵۰	ژوئن
۱۸۰۰	جولای
۱۷۰۰	اگوست
۲۰۰۰	سپتامبر
۲۱۰۰	اکتبر
۲۱۵۰	نوامبر
۲۳۰۰	دسامبر

۸-۵- به منظور تعیین ضرایب تغییر روزانه، چهار ایستگاه کنترل‌ی نشان داده شده در صفحه بعد مجدداً

گروه‌بندی شده‌اند. آیا این گروه‌بندی مناسب است؟ در صورت منفی بودن پاسخ، گروه‌بندی مناسب چگونه

خواهد بود؟ ضرایب تغییر روزانه ترکیبی برای گروه (یا گروههای) مناسب چه می‌باشد؟ ایستگاهها به صورت متوالی در امتداد یک راه ایالتی مستقر شده اند.

ضرایب تغییر روزانه برای ایستگاههای جداگانه

ایستگاه	روز هفته					
	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنجشنبه	جمعه	شنبه
۱	۱/۰۵	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۱۰	۱/۱۲	۰/۹۱
۲	۱/۱۰	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۱۰	۱/۰۸	۰/۸۹
۳	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۸۹	۱/۰۱	۰/۸۹	۱/۰۵
۴	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۱۲	۰/۸۹
یکشنبه						۰/۸۱

۸-۶- VMT سالیانه را برای قطعه‌ای از سیستم بزرگراه ایالتی که ضرایب تغییر آن در جدول (۸-۱۱)

ارائه شده است، برآورد نمایید. شمارشهای پوششی زیر برای ایستگاههای داخل این قطعه موجود می‌باشد.

داده‌های شمارش پوششی

ایستگاه	طول قطعه (Km)	تاریخ شمارش پوششی	شمارش ۲۴ ساعته (Vehs)
۱	۰/۳۲	سه شنبه در مارس	۸۷۶۵
۲	۰/۴۸	دوشنبه در سپتامبر	۱۱۴۳۲
۳	۴	جمعه در اگوست	۱۵۳۷۶
۴	۶/۴	شنبه در مه	۲۰۰۱۰
۵	۳/۲	چهارشنبه در دسامبر	۸۱۱۱
۶	۲/۵۶	چهارشنبه در ژانویه	۱۰۵۲۰

۸-۷- نتایج مطالعات مبدا و مقصد ارائه شده در زیر، از نمونه مشاهدات پلاک خودروها در پنج

ایستگاه بدست آمده است. مطلوب است بسط و تعدیل نتایج اولیه ماتریس سفر، به گونه‌ای که بیانگر کل جمعیت وسایل نقلیه در طی دوره مطالعه باشد.

نتایج مطالعات اولیه مبدا و مقصد مطابق با نمونه‌ای از مشاهدات پلاک خودروها

مجموع شمارش مقصد (Vehs)	ایستگاه مبدا					ایستگاه مقصد
	۵	۴	۳	۲	۱	
۱۲۰۰	۷۵	۲۱۰	۱۲۵	۱۲۰	۵۰	۱
۲۰۴۰	۱۰۰	۳۰۵	۱۴۳	۸۰	۱۰۵	۲
۱۵۰۰	۹۸	۳۲۸	۱۲۸	۱۰۰	۱۲۵	۳
۹۸۵	۱۰۱	۱۲۵	۱۰۰	۷۰	۸۲	۴
۲۶۹۰	۲۱۰	۲۰۸	۱۸۰	۲۱۵	۲۰۱	۵
۸۴۱۵	۱۱۱۰	۲۵۱۰	۱۷۵۰	۱۲۲۵	۱۸۲۰	مجموع شمارش مبدا (Vehs)

فصل ۹

مطالعات سرعت، زمان سفر و تاخیر

۹-۱- مقدمه

سرعت، زمان سفر و تاخیر، شاخص‌های وابسته‌ای هستند که معمولاً به عنوان نشانه عملکرد تسهیلات ترافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همه این شاخص‌ها به عاملی مربوط می‌شوند که مستقیماً توسط رانندگان احساس می‌شود: چقدر طول می‌کشد تا از A به B بروند؟ رانندگان مایلند سفر خود را در حداقل زمان ممکن و با ایمنی کامل به پایان برسانند و عملکرد تسهیلات ترافیکی اغلب به صورت کیفیت دستیابی به هدف فوق، تشریح می‌شود. برای مثال، در کتاب ظرفیت جاده [۱]، از سرعت سفر به عنوان شاخص کارایی معابر شریانی و جاده‌های دوخطه برون‌شهری استفاده شده است. تاخیر کنترل نیز شاخص کارایی تقاطع‌های چراغ‌دار و دارای تابلو کنترل توقف است. شاخص اصلی کارایی آزادراه چگالی است، با این حال سرعت هم نقش مهمی در ارزیابی عملکرد سیستم آزادراهی دارد.

بنابراین، لازم است مهندسان ترافیک با نحوه اندازه‌گیری و تفسیر داده‌های سرعت، زمان سفر، و تاخیر به منظور درک کیفیت عملکرد تسهیلات ترافیکی و معیارهای تعریف شده برای عملکرد آن، آشنا باشند. به علاوه، سرعت عامل مهمی در ارزیابی نقاط پرتصادف و سایر مطالعات مربوط به ایمنی است.

سرعت به طور معکوس با زمان سفر رابطه دارد. اما اندازه‌گیری سرعت یا زمان سفر به دلایل مختلف در محل‌های متفاوتی انجام می‌پذیرد. اندازه‌گیری سرعت معمولاً در یک نقطه (یا یک قطعه کوتاه) از مسیر در شرایط جریان آزاد انجام می‌شود. هدف آن است که سرعت انتخابی توسط رانندگان در شرایط بدون ازدحام، اندازه‌گیری شود. این اطلاعات برای تعیین روند کلی سرعت، تعیین سرعت مجاز مناسب و ارزیابی ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون این مطالعات در یک نقطه از مسیر انجام می‌شود، به آن "مطالعات سرعت نقطه‌ای" گفته می‌شود.

زمان سفر باید در طولی از مسیر اندازه‌گیری شود. در حالی که می‌توان سرعت نقطه‌ای را از تقسیم زمان سفر بر طول کوتاهی از مسیر (معمولاً کمتر از ۳۰۰ متر) بدست آورد، اندازه‌گیری زمان سفر باید در طول قابل توجهی از مسیر انجام شود. این مطالعات معمولاً در ساعات پر ازدحام برای اندازه‌گیری شدت و علت ازدحام انجام می‌پذیرد.

به بیان کلی، تاخیر، بخشی از کل زمان سفر است. این بخش از زمان سفر، به طور خاصی توسط رانندگان احساس شده و باعث ناراحتی شدید آن‌ها می‌گردد. برای مثال، تاخیر در طول یک

راه شریانی، ممکن است شامل زمان توقف ناشی از چراغ راهنمایی، موانع موجود در مسیر حرکت یا سایر عوامل ازدحام باشد.

تاخیر در تقاطع‌های دارای چراغ راهنمایی یا کنترل توقف، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، چون تعریف زمان سفر برای یک نقطه، بسیار دشوار است. متأسفانه، تعاریف مختلفی برای تاخیر در تقاطع، به ویژه تقاطع‌های چراغ‌دار وجود دارد و مهندسان ترافیک باید از روش‌های اندازه‌گیری و معیارهای مرتبط به یک تعریف واحد برای تاخیر استفاده کنند. برخی از انواع تاخیر در تقاطع عبارتند از:

- تاخیر زمان توقف - زمانی که خودرو به صورت متوقف و در انتظار برای عبور از تقاطع دارای چراغ یا کنترل توقف، صرف می‌کند.
- تاخیر رویکرد - تاخیر مربوط به کاهش و افزایش سرعت ناشی از توقف را به تاخیر زمان توقف اضافه می‌کند.
- تاخیر در صف - فاصله بین زمانی که وسیله نقلیه به انتهای صف پشت تقاطع دارای چراغ یا کنترل توقف می‌رسد، تا زمانی که از خط توقف تقاطع، عبور می‌کند.
- تاخیر کنترل - کل تاخیر ناشی از سیستم کنترل تقاطع (چراغ یا تابلوی توقف)، شامل تاخیر در صف و تاخیر ناشی از افزایش و کاهش سرعت.

تاخیر کنترل که اولین بار در کتاب ظرفیت جاده ۱۹۸۵ معرفی شده، به عنوان شاخص کارایی تقاطع‌های دارای چراغ راهنمایی یا کنترل توقف، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تعریف دیگری از تاخیر را می‌توان در طول مسیر مورد استفاده قرار داد: تاخیر زمان سفر، اختلاف بین زمان سفر واقعی در یک نقطه از معبر با زمان سفر دلخواه یا مورد نظر راننده است. این پارامتر، بیشتر جنبه فلسفی دارد، زیرا روش دقیقی برای تعیین زمان سفر مورد نظر رانندگان وجود ندارد. به همین دلیل، به ندرت از آن برای ارزیابی ازدحام در طول یک قطعه از معبر استفاده می‌شود. از آنجا که سرعت معمولاً در یک نقطه از مسیر در شرایط جریان آزاد اندازه‌گیری می‌شود، اما زمان سفر و تاخیر در طول قطعه‌ای از راه مطالعه می‌شوند، روش‌های مربوط به اندازه‌گیری هر یک کاملاً متفاوت است. بخش عمده‌ای از این فصل به تشریح روش‌های موجود برای انجام مطالعات فوق می‌پردازد.

۹-۲- مطالعات سرعت نقطه‌ای

سرعت نقطه‌ای به صورت متوسط سرعت وسایل نقلیه گذرنده از یک نقطه معبر، تعریف شده است. با عنایت به مباحث اولیه اندازه‌گیری سرعت در فصل ۵، تعریف فوق معادل سرعت متوسط زمانی است. از آنجا که مهندس ترافیک مایل است مطالعات سرعت نقطه‌ای را شرایط جریان آزاد (یعنی شرایطی که سرعت مشاهده شده تحت تاثیر حجم یا چگالی قرار ندارد) انجام دهد، این

مطالعات در صورتی که حجم تردد آزادراه از $750-1000 \text{ veh/h/ln}$ و در سایر معابر با جریان غیرمنقطع از 500 veh/h/ln تجاوز کند، انجام نخواهد شد.

۹-۲-۱- تعاریف مربوط به سرعت

هنگامی که سرعت تک تک وسایل نقلیه در یک نقطه خاص اندازه‌گیری می‌شود، توزیع سرعت به دست می‌آید، زیرا هیچ دو وسیله نقلیه‌ای با سرعت یکسان حرکت نمی‌کنند. بنابراین، نتیجه مطالعه باید توزیع سرعت را با دقت کافی ارائه کند. پارامترهای آماری مختلفی برای تشریح توزیع سرعت نقطه‌ای بکار می‌روند:

- سرعت متوسط زمانی یا سرعت متوسط - متوسط سرعت کلیه وسایل نقلیه گذرنده از نقطه مورد مطالعه در طول مدت مطالعه.
 - انحراف/استاندارد - به بیان ساده، انحراف استاندارد سرعت. متوسط اختلاف بین سرعت مشاهده شده و سرعت متوسط زمانی در طول مدت مطالعه است.
 - سرعت ۸۵ درصد - سرعتی که ۸۵ درصد وسایل نقلیه با سرعتی کمتر از آن حرکت می‌کنند.
 - میانه - سرعتی که توزیع سرعت نقطه‌ای را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند، ۵۰٪ سرعت‌های مشاهده شده بیش از میانه و ۵۰٪ آن‌ها کمتر از میانه هستند.
 - گام: دامنه سرعت به میزان 15 km/h که شامل بیشترین تعداد از سرعت‌های مشاهده شده است (در مقایسه با هر کاهش دیگری به مقدار 15 km/h).
- هدف از مطالعات سرعت نقطه‌ای، تعیین هر یک از شاخص‌های فوق و ارائه توصیف ریاضی مناسبی برای توزیع سرعت‌های مشاهده شده است.

۹-۲-۲- کاربرد داده‌های سرعت نقطه‌ای

نتایج مطالعات سرعت نقطه‌ای برای هدف‌های مختلفی توسط مهندسان ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، از جمله:

- شناخت موثر بودن سرعت مجاز موجود یا جدید در معبر و روش‌های نظارتی.
- تعیین سرعت مجاز عملی.
- شناخت روند سرعت در سطح محلی، استانی و ملی برای ارزیابی موثر بودن سیاست‌های ملی در مورد سرعت مجاز و روش‌های نظارتی.
- کاربردهای خاص طراحی شامل فاصله دید مناسب، رابطه بین سرعت و طرح هندسی راه، و تاثیر شدت و طول شیب بر سرعت.

- کاربردهای خاص کنترلی برای تعیین زمان "زرد" و "تمام قرمز" در چراغ‌های راهنمایی، جانمایی صحیح تابلوها و طراحی مناسب چراغ‌ها برای حرکت دسته‌ای وسایل نقلیه.
- مطالعه نقاط پر تصادف که سرعت در آن‌ها به عنوان یک عامل مطرح شده است.
- فهرست فوق کامل نیست و حالت‌های زیاد دیگری وجود دارد که نیازمند تحلیل دقیق داده‌های سرعت هستند. این مطالعات اهمیت زیادی داشته و معمولاً توسط مهندسان ترافیک انجام می‌شوند.

۹-۲-۳- روش‌های اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای

اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای، معمولاً به دو روش زیر صورت می‌گیرد:

- اندازه‌گیری زمان سفر عبور وسایل نقلیه از یک طول کوتاه و معین از معبر،
 - استفاده از دستگاه‌های راداری دستی یا ثابت
- در مطالعات پیچیده‌تر از شناسه‌گرهایی که قابلیت ثبت سرعت و برخی پارامترهای دیگر را دارند استفاده می‌شود. روش‌های فیلمبرداری ویدئویی نیز به سرعت پیشرفت کرده و در مطالعات ترافیکی طولانی مدت و یا برای کنترل دائم یک نقطه خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند.

زمان سفر عبور از یک طول کوتاه و معین

در روزهای نخست نظارت بر سرعت وسایل نقلیه، روش اولیه مورد استفاده توسط پلیس استفاده از دو لوله در فاصله کوتاهی از هم بود که به کمک یک درجه، زمان بین عبور وسیله نقلیه از دو لوله متوالی و در نتیجه سرعت آن تعیین می‌شد. فاصله کوتاه بین لوله در جاده، "تله" نامیده می‌شود. این روش، مبدا پیدایش "تله سرعت" شد که در حال حاضر در محل‌هایی که پلیس سرعت را کنترل می‌کند، به کار می‌رود.

ساده‌ترین، ارزان‌ترین و آسان‌ترین روش اندازه‌گیری در مطالعات مهندسی ترافیک، شامل استفاده دستی از زمان سنج برای اندازه‌گیری زمان عبور وسایل نقلیه از یک قطعه مشخص (تله) است. محدوده تله را می‌توان توسط یک نوار پهن و یا مرزهای موجود در حاشیه راه مشخص نمود. بنابراین، می‌توان به عنوان مثال زمان عبور وسایل نقلیه را از فاصله بین دو ترک آسفالت یا دو پایه چراغ روشنایی، اندازه گرفت. به منظور انجام مطالعه به این روش، مشاهده‌گر در محل یکی از مرزهای تله (معمولاً مرز ورودی) می‌ایستد. به این ترتیب مشاهده‌گر قادر خواهد بود وسیله نقلیه گذرنده از مرز را بدون خطا مشاهده کند، اما مرز خروجی به صورت زاویه‌دار دیده می‌شود. این مساله مطابق شکل ۹-۱ باعث بروز خطای سیستماتیکی به نام "خطای انحراف" می‌شود. مشاهده‌گر هنگامی وسیله نقلیه را در حال عبور از مرز خروجی به فاصله d مشاهده می‌کند، که در حقیقت آن وسیله نقلیه به فاصله d_{eff} قرار گرفته است. این خطا ممکن است در مواردی که قطعه مورد نظر از

یک نقطه مرتفع مشاهده می‌شود نیز رخ دهد. برای رفع این خطا در صورت معلوم بودن زاویه مشاهده، ϕ ، فاصله d_{eff} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{eff} = d_1 \tan \phi \quad (۹-۱)$$

سپس سرعت هر وسیله نقلیه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_i = \frac{d_{eff}}{t_i} \quad (۹-۲)$$

که در آن:

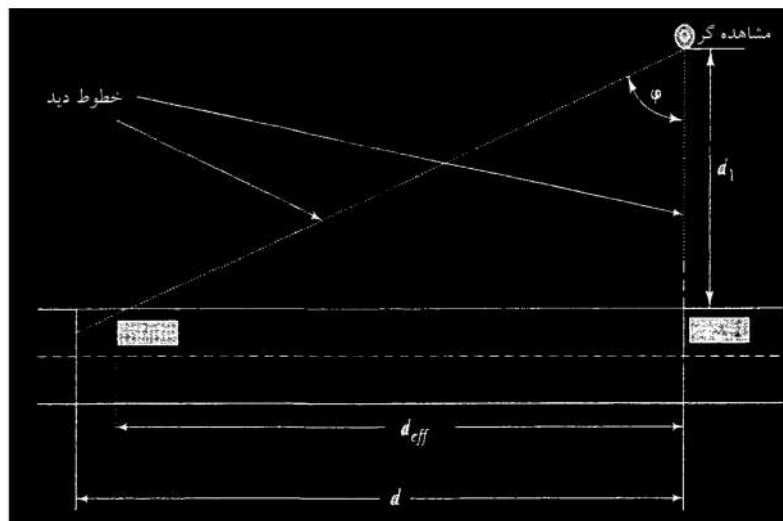
s_i = سرعت وسایل نقلیه i m/s

d_{eff} = متوسط فاصله‌ای که زمان سفر وسیله نقلیه i در آن اندازه‌گیری می‌شود، m

t_i = زمان طی فاصله d_{eff} توسط وسیله نقلیه i s

d_1 = فاصله عمودی بین مشاهده‌گر و خط شروع حرکت، m

ϕ = زاویه بین خطوط دید، درجه °



شکل ۹-۱- خطای انحراف خطوط دید

در حالی که خطای سیستماتیک انحراف را می‌توان به روش فوق اصلاح نمود، خطای بزرگ‌تر دیگری نیز به دلیل عملکرد فردی که کلیه زمان‌سنج را پس از عبور از وسایل نقلیه از یک مرز فشار می‌دهد، بوجود می‌آید. ممکن است مشاهده‌گر کلیه زمان‌سنج را کمی زودتر یا دیرتر فشار دهد. خوشبختانه، این خطا تصادفی است (و پس از تعدادی مشاهده) مقدار متوسط آن رقم صحیحی می‌شود. برای به حداقل رساندن این خطا، می‌توان طول تله را آن قدر زیاد کرد، که خطای حاصل درصد کمی از نتیجه نهایی شود.

فرض کنید خطای مشاهده‌گر به هنگام ورود یا خروج وسیله نقلیه از تله، $0/20$ ثانیه باشد. در نتیجه، کل خطا $0/20 + 0/20 = 0/40$ ثانیه خواهد بود. اگر متوسط زمان عبور وسیله نقلیه از تله، $1/0$ ثانیه باشد، مقدار خطا به $0/40$ ٪ هر اندازه‌گیری بالغ خواهد شد. اگر طول تله سه برابر افزایش یابد، متوسط زمان سفر $3/0$ ثانیه می‌شود. حداکثر خطا نیز در این حالت $13/3$ ٪ ($0/40 \div 3/0 \times 100 = 13/3$) خواهد بود.

خطای تصادفی ایجاد شده توسط کاربر را می‌توان با استفاده از درجه سرعت‌سنج و لوله‌های مربوطه در ابتدا و انتهای تله، از بین برد. این روش در گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفته، ولی در حال حاضر، به جای استفاده از لوله، نوارهایی از سیم روی سطح روسازی کشیده شده و به درجه سرعت‌سنج متصل می‌شود.

سرعت‌سنج راداری

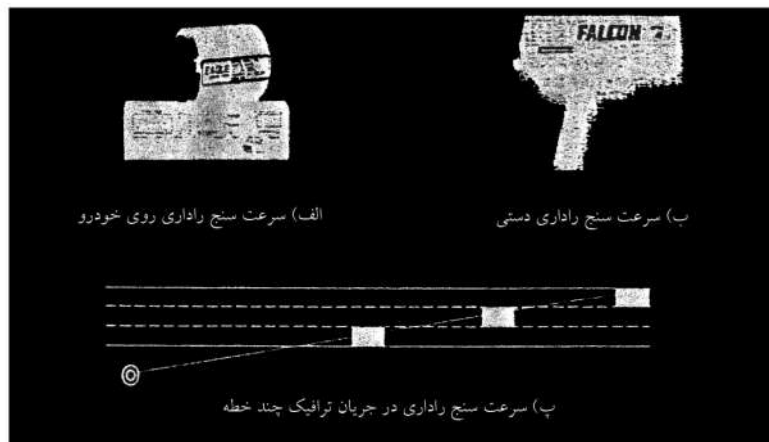
ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری سرعت، استفاده از سرعت‌سنج راداری دستی و یا نصب شده روی یک خودرو است. این دستگاه، سرعت را مستقیماً و به کمک اندازه‌گیری اختلاف بسامد تابش و بازتابش یک موج رادار بر خودرو، تعیین می‌کند. این اختلاف بسامد را "اثر داپلر"^۱ می‌نامند که با سرعت خودروی در حال حرکت، متناسب است.

سرعت سنج‌های راداری به لحاظ عملی دارای محدودیت‌های زیر هستند:

۱. چون امواج رادار در محدوده طول موج و بسامدهای رسمی دولتی هستند، باید از کمیسیون ارتباطات فدرال، برای هر دستگاه مجوز اخذ شود.
 ۲. دقت این سرعت‌سنج‌ها بین $1/5$ تا $3/0$ کیلومتر در ساعت است.
 ۳. محقی کردن آن دشوار است و ممکن است رانندگان با مشاهده آن، سرعت خود را کاهش دهند که بر نتایج اندازه‌گیری تاثیر خواهد گذاشت.
 ۴. اندازه‌گیری صحیح سرعت فقط هنگامی انجام خواهد شد که موج رادار مستقیماً در طول محور حرکت خودرو بازتابش شود، برای تصحیح خطای انحراف، باید زاویه انحنای موج به دقت اندازه‌گیری شود.
 ۵. استفاده از آن در جریان‌های ترافیک چند خطه دشوار است.
- در شکل ۹-۲، دو نمونه از تجهیزات راداری مدرن برای اندازه‌گیری سرعت را به همراه مساله دشوار بودن استفاده از آن در جریان ترافیک چند خطه نشان می‌دهد. چون زاویه بازتاب باید تا حد امکان کوچک باشد، ممکن است موج تابش شده با خودروهای در حال حرکت در سایر خطوط

^۱ Doppler Effect

برخورد کند. اگر جریان ترافیک متراکم باشد، تعیین سرعت یک خودروی خاص با دشواری همراه است.



شکل ۹-۲- اندازه‌گیری سرعت با سرعت‌سنج‌های راداری

برخی نکات مهم در اندازه‌گیری سرعت

- در هنگام جمع‌آوری داده‌های سرعت، توجه به نکات عملی زیر ضروری است:
- کلیه پرسنل آمارگیری باید خود و وسایل نقلیه خود را تا حد ممکن مخفی نمایند. اگر رانندگان متوجه شوند که سرعت آن‌ها کنترل می‌شود، ممکن است تصور کنند پلیس قصد اعمال مقررات و جریمه دارد، در نتیجه سرعت خود را کاهش خواهند داد. در این صورت، اندازه‌گیری‌ها دیگر شرایط واقعی محل را نشان نمی‌دهد. مخفی کردن تجهیزات به ویژه در صورت استفاده از سرعت‌سنج‌های راداری بسیار دشوار است زیرا این دستگاه‌ها نیازمند یک مسیر بدون مانع برای تابش و بازتابش امواج رادار هستند.
- در بهترین شرایط هم، اندازه‌گیری سرعت کلیه خودروهای عبوری از محل مورد مطالعه، غیرممکن است. بنابراین، ضروری است نمونه انتخاب شده واقعاً نشانگر کل جریان ترافیک باشد. اشتباهاتی نظیر تلاش برای اندازه‌گیری سریع‌ترین یا کندترین سرعت‌ها، سرعت همه کامیون‌ها، و غیره باعث بروز خطا در نمونه‌گیری شده و باعث جمع‌آوری آماری می‌شود که نماینده جریان ترافیک به عنوان یک مجموعه کلی، نخواهد بود. نمونه‌ها باید به طور تصادفی انتخاب شود. بنابراین اگر احتمال می‌رود که فقط می‌توان سرعت $\frac{1}{3}$ خودروها را اندازه گرفت، باید از روش ثبت سرعت برای سومین خودروی عبوری در هر خط، یا سایر روش‌های مشابه استفاده کرد (یعنی از هر سه خودروی عبوری، سرعت خودروی سوم را اندازه‌گیری کرد).
- حتی در ترافیک سبک هم امکان تشکیل دسته‌های خودرویی وجود دارد. در جریان دسته‌ای، فقط اولین خودرو در هر دسته قادر به حرکت با سرعت دلخواه خودش است و سایر

خودروها مجبور به پذیرش سرعت وی هستند. بنابراین، در شرایط حرکت دسته‌ای، فقط می‌توان سرعت خودروی اول را اندازه‌گیری نمود. به عنوان یک ضابطه کلی، هنگامی یک خودرو عضو دسته‌ای از خودروها خواهد بود که فاصله آن از خودروی جلویی کمتر از ۶۰ متر در سرعت‌های کمتر از ۶۰ km/h و یا کمتر از ۱۰۵ متر در سرعت‌های بیشتر از ۶۰ km/h باشد.

ثبت داده‌های میدانی در محل

در طی مطالعات میدانی، معمولاً داده‌های سرعت تک تک خودروها ثبت نمی‌شوند. این مساله دو علت دارد: (۱) اغلب روش‌های اندازه‌گیری (به جز استفاده از دو شناسه‌گر بسیار نزدیک به هم) دقت کمی برای اندازه‌گیری سرعت یک خودروی منفرد دارند (بین ۱/۵ تا ۳ کیلومتر در ساعت)، و (۲) بین ریاضی داده‌ها (فصل ۸) قادر به تشریح رخداد یک مقدار منفرد در یک توزیع پیوسته نیست، بلکه نسبت (یا احتمال) رخدادها را بین "x" و "y" در توزیع، نشان می‌دهد. به بیان دیگر، یک توزیع ریاضی پیوسته، قادر به بیان احتمال حرکت یک خودرو با سرعت ۵۴/۸ km/h نیست، اما می‌تواند احتمال حرکت خودرو را بین سرعت‌های ۵۴/۰ و ۵۵/۰ کیلومتر در ساعت برآورد نماید.

به دلیل مسایل فوق، داده‌های سرعت معمولاً به صورت فراوانی رخداد در محدوده پیش تعیین شده‌ای از سرعت، ثبت می‌شوند. فرم نمونه جمع‌آوری داده‌های سرعت در شکل ۹-۳، این فرآیند جمع‌آوری و خلاصه کردن داده‌ها را نشان می‌دهد. در دو ستون سمت چپ، سرعت در دسته‌هایی به اندازه ۳ km/h تعریف شده است. معمولاً محدوده سرعت مورد استفاده در اغلب مطالعات، بین ۲ km/h تا ۸ km/h است. استفاده از دسته‌های کوچک‌تر عملی نیست و دسته‌های بزرگ‌تر هم روی صحت و دقت مطالعات تاثیر منفی می‌گذارد. هر مشاهده سرعت (مثلاً با استفاده از سرعت سنچ رادرای) به عنوان یک "چوب خط" در خانه مرتبط با دسته سرعت، وارد می‌شود، به طوری‌که سرعت خودروهای سواری، کامیون‌ها و سایر خودروها به صورت جداگانه ثبت شود. پس از اتمام مطالعات میدانی، "چوب خط‌ها" با هم جمع شده و در ستون‌های راست فرم، درج می‌شود.

در مثال ارایه شده در شکل ۹-۳، اندازه نمونه برای کامیون و سایر خودروها به منظور تحلیل جداگانه، بسیار کوچک است، بنابراین فقط مجموع کل خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سایر بخش‌های این فصل از داده‌های شکل ۹-۳ به عنوان یک مثال نمونه برای تشریح روش انجام محاسبات و تفسیر نتایج مطالعات استفاده می‌شود.

فرم داده‌های میدانی در شکل ۹-۳، در صورت اندازه‌گیری زمان سفر در طول یک تله کوتاه نیز مفید خواهد بود. هر یک از مرزهای سرعت را می‌توان به یک مقدار زمان سفر معادل، تبدیل کرد.

برای مثال، اگر تله‌ای به طول ۳۰۰ متر مورد استفاده قرار گرفته، مرز سرعت ۶۰ km/h برای یک دسته را می‌توان به زمان سفری به شرح زیر تبدیل کرد:

$$t = \frac{300 \times 3/6}{60} = 18/0 \quad \text{ثانیه}$$

زمان‌های معادل مربوط به هر دسته را می‌توان در مجموعه دوم ستون‌های سمت چپ فرم داده‌های میدانی وارد نمود. به این ترتیب، "چوب خط‌ها" را می‌توان مستقیماً و بر اساس قرائت زمان‌سنج در فرم‌ها وارد کرد.

محل: خیابان ۱۰ @ MP125.3				تاریخ: July 10, 2003			ساعت: ۴:۰۰-۱:۰۰ pm	
وضع هوا: خوب- صاف- خشک				وضع سطح راه: آسفالت- خوب				
دسته سرعت		دسته زمان		خودروی شخصی	کامیون	سایر	جمع	
حد بالا (kph)	حد پایین (kph)	حد بالا (kph)	حد پایین (kph)					
۴۵	۴۸							
۴۸	۵۱							
۵۱	۵۴							
۵۴	۵۷							
۵۷	۶۰							
۶۰	۶۳							
۶۳	۶۶							
۶۶	۶۹							
۶۹	۷۲							
۷۲	۷۵							
۷۵	۷۸							
۷۸	۸۱							
۸۱	۸۴							
۸۴	۸۷							
۸۷	۹۰							
۹۰	۹۳							
۹۳	۹۶							
۹۶	۹۹							
۹۹	۱۰۲							
۱۰۲	۱۰۵							

روش اندازه‌گیری: امضا: ۲۰۰۳/۱۰/۷
 × سرعت‌سنج راداری
 اندازه‌گیری زمان سفر در طول متر
 زمان‌سنج دستی
 لوله در سطح جاده
 سیم‌های الکترونیکی

شکل ۹-۳- داده‌های میدانی برای نمونه‌ای از مطالعات سرعت نقطه‌ای

۹-۲-۴- خلاصه کردن و تحلیل داده‌های سرعت نقطه‌ای

داده‌های ارائه شده در شکل ۹-۳، نتایج مطالعات سرعت نقطه‌ای را به صورت خام نشان می‌دهد. برای درک کامل نتایج، روش‌های مختلفی برای ارائه و تحلیل این داده‌ها به گونه‌ای سیستماتیک وجود دارد.

جدول توزیع فراوانی

داده‌های شکل ۹-۳ را می‌توان در جدول توزیع فراوانی، مشابه جدول ۹-۱ ارایه نمود. در این جدول، تعداد کل خودروهای مشاهده شده در هر دسته سرعت، دیده می‌شود. برای تسهیل در کاربردهای بعدی، یک دسته سرعت به ابتدا و انتهای جدول اضافه شده که فاقد خودروی عبور با آن سرعت است. "حد متوسط سرعت" (S). در ستون سوم، برابر مقدار متوسط سرعت در هر دسته است. کاربرد این مقدار در بخش بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ستون چهارم جدول، تعداد خودروهای مشاهده شده، در هر دسته سرعت را نشان می‌دهد. این مقدار که فراوانی دسته نامیده می‌شود، از داده‌های شکل ۹-۳ بدست می‌آید.

جدول ۹-۱- جدول توزیع فراوانی برای مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه

ns ^{2**}	ns ^{**}	درصد فراوانی تجمعی* (%)	درصد فراوانی در دسته* (%)	فراوانی مشاهده شده در دسته n	حد وسط سرعت (s) (kph)	دسته سرعت	
						حد بالا (kph)	حد پایین (kph)
.	۴۹/۵	۵۱	۴۸
۱۳۷۸۱/۳	۲۶۲/۵	۱/۸	۱/۸	۵	۵۲/۵	۵۴	۵۱
۱۵۴۰۱/۳	۲۷۷/۵	۳/۵	۱/۸	۵	۵۵/۵	۵۷	۵۴
۲۳۹۵۵/۸	۴۰۹/۵	۶/۰	۲/۵	۷	۵۸/۵	۶۰	۵۷
۴۹۱۶۹/۳	۷۹۹/۵	۱۰/۶	۴/۶	۱۳	۶۱/۵	۶۳	۶۰
۸۷۳۶۵/۳	۱۳۵۴/۵	۱۸/۰	۷/۴	۲۱	۶۴/۵	۶۶	۶۳
۱۵۰۳۵۶/۳	۲۲۲۷/۵	۲۹/۷	۱۱/۷	۳۳	۶۷/۵	۶۹	۶۶
۲۲۸۶۳۱/۵	۳۲۴۳	۴۵/۹	۱۶/۳	۴۶	۷۰/۵	۷۲	۶۹
۳۳۴۹۳۹/۵	۴۵۵۷	۶۷/۸	۲۱/۹	۶۲	۷۳/۵	۷۵	۷۲
۲۱۶۵۳۳/۳	۲۸۳۰/۵	۸۰/۹	۱۳/۱	۳۷	۷۶/۵	۷۸	۷۵
۱۵۱۶۸۶/۰	۱۹۰۸	۸۹/۴	۸/۵	۲۴	۷۹/۵	۸۱	۷۸
۹۵۲۸۷/۵	۱۱۵۵	۹۴/۳	۴/۹	۱۴	۸۲/۵	۸۴	۸۱
۶۵۷۹۲/۳	۷۶۹/۵	۹۷/۵	۳/۲	۹	۸۵/۵	۸۷	۸۴
۳۹۱۶۱/۳	۴۴۲/۵	۹۹/۳	۱/۸	۵	۸۸/۵	۹۰	۸۷
۱۶۷۴۴/۵	۱۸۳	۱۰۰/۰	۰/۷	۲	۹۱/۵	۹۳	۹۰
.	.	۱۰۰/۰	.	.	۹۴/۵	۹۶	۹۳
۱۴۸۸۸۰۴/۸	۲۰۴۱۹/۵		۱۰۰	۲۸۳			

* درصد فراوانی تا یک رقم گرد شده است؛ بنابراین ممکن است باعث مشاهده خطای ظاهری در محاسبه فراوانی تجمعی شود.

** بهتر است محاسبات به نزدیکترین عدد صحیح گرد شود.

در ستون پنجم، درصد کل مشاهدات در هر دسته سرعت به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\% = 100 \frac{n_i}{N} \quad (3-9)$$

که در آن:

n_i = تعداد مشاهدات (فراوانی) در دسته سرعت i

N = تعداد کل مشاهدات در نمونه.

از کل ۲۸۳ مشاهده انجام گرفته، ۱۳ مشاهده در دسته سرعت ۶۰-۶۳ km/h قرار دارد.

بنابراین، درصد فراوانی این دسته $\% \frac{13}{283} = 4.6\%$ است.

درصد فراوانی تجمعی ($\% \text{cum}$) برابر درصد خودروهای عبوری با سرعت مساوی یا کمتر

از سرعت دسته است:

$$\text{Cum}\% = 100 \frac{\sum_{i=1-x} n_i}{N} \quad (4-9)$$

که در آن:

x = شماره ردیف دسته سرعتی که قرار است درصد فراوانی تجمعی برای آن محاسبه شود

(شماره ردیف از کمترین دسته سرعت شروع می‌شود).

مجموع فراوانی دسته سرعت‌هایی که در حد بالای سرعت آن‌ها ۴۲ km/h یا کمتر باشد

برابر است با: $30 = 13 + 7 + 5 + 5 + 0$. بنابراین، درصد فراوانی تجمعی برای دسته سرعت ۶۰-۶۳ km/h

۶۰ برابر است با: $\% \frac{30}{283} = 10.6\%$.

دو ستون آخر جدول توزیع فراوانی سرعت، حاصل ضرب‌های ساده‌ای هستند که در

محاسبات آتی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

منحنی‌های توزیع فراوانی و فراوانی تجمعی

شکل ۹-۴، دو نمودار استاندارد را نشان می‌دهد که معمولاً از جدول توزیع فراوانی، ترسیم

می‌شود. این نمودارها عبارتند از:

- منحنی توزیع فراوانی. برای هر دسته سرعت، درصد فراوانی‌های مشاهده شده به

صورت نموداری در مقابل حد وسط سرعت دسته (S)، ترسیم می‌شود.

- منحنی توزیع فراوانی تجمعی. برای هر دسته سرعت، درصد فراوانی تجمعی مشاهدات

به صورت نموداری در مقابل حد بالای سرعت دسته، ترسیم می‌شود.

توجه شود که این دو فراوانی، در مقابل دو مقدار مختلف سرعت ترسیم می‌شوند. حد وسط

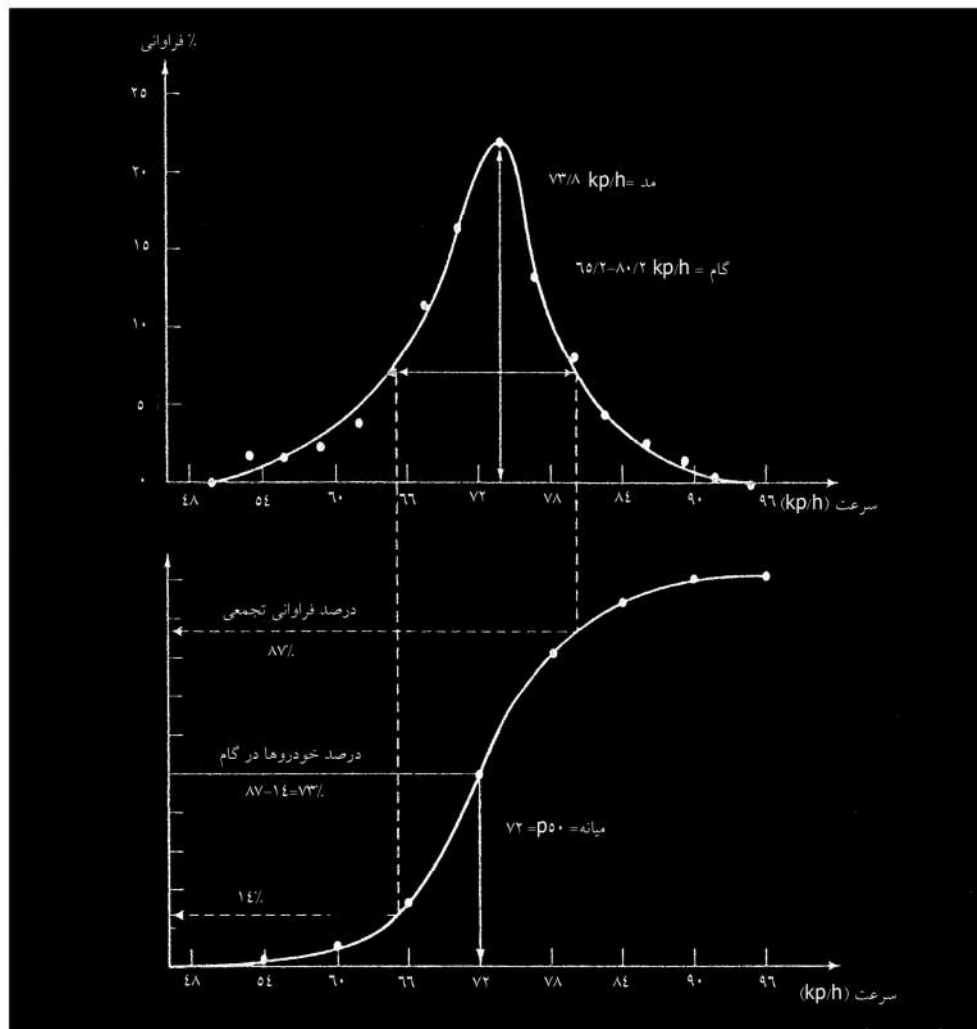
سرعت در منحنی توزیع فراوانی به کار می‌رود. از سوی دیگر، منحنی توزیع فراوانی تجمعی، نتایج

خوبی را از ترسیم سرعت در برابر تعداد خودروهایی که با سرعتی برابر یا کمتر از سرعت مورد نظر

می‌گذرند، ارائه می‌دهد. به همین دلیل، از حد بالای سرعت دسته، برای ترسیم آن استفاده می‌شود.

در هر دو حالت، نقاط به کمک یک منحنی ملایم به هم وصل می‌شوند که با حداقل فاصله (در جهت محور قائم) نسبت به نقاط بالا و پایین خود قرار می‌گیرد. منظور از ملایم بودن منحنی ملایم، عدم وجود شکستگی در شیب منحنی است. برازش منحنی به نقاط، معمولاً به صورت چشمی و تقریبی انجام می‌شود.

بهتر است منحنی توزیع فراوانی را مستقیماً در بالای منحنی توزیع فراوانی تجمعی و با مقیاس یکسان روی محور افقی ترسیم نمود. به این ترتیب، تعیین پارامترهای کلیدی از این دو نمودار، ساده‌تر خواهد شد. منحنی‌های توزیع فراوانی و فراوانی تجمعی داده‌های شکل ۹-۳ و جدول ۹-۱ در شکل ۹-۴ ترسیم شده‌اند.



شکل ۹-۴- منحنی‌های توزیع فراوانی و فراوانی تجمعی برای داده‌های سرعت نقطه‌ای نمونه

برخی پارامترهای کلیدی در شکل ۹-۴ نشان داده شده که برای تشریح توزیع مشاهده شده به کار می‌روند. این پارامترها در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پارامترهای آماری

پارامترهای مهم آماری را می‌توان بر اساس جدول توزیع فراوانی یا منحنی‌های توزیع فراوانی و فراوانی تجمعی محاسبه نمود. این پارامترها برای تشریح دو خصوصیت مهم توزیع سرعت به کار می‌روند:

- مرکزگرایی^۱ - شاخص‌هایی که محدوده تقریبی وسط یا مرکز توزیع را مشخص می‌کند.
- پراکندگی^۲ - شاخص‌هایی که محدوده بیرونی توزیع را نسبت به مرکز آن مشخص می‌کند.

شاخص‌های مرکزگرایی عبارتند از: سرعت متوسط یا میانگین، سرعت میانه، سرعت مد و گام^۳. شاخص‌های پراکندگی نیز عبارتند از سرعت ۸۵ درصد و ۱۵ درصد و انحراف معیار استاندارد. **سرعت متوسط: شاخص مرکزگرایی.** سرعت متوسط یا میانگین در یک توزیع، معمولاً به سادگی و از طریق تقسیم مجموع مقادیر مشاهده شده بر تعداد مشاهدات بدست می‌آید. اما در مطالعه سرعت نقطه‌ای، مقادیر سرعت ثبت نمی‌شود، بلکه فراوانی مشاهده دسته‌های سرعت ثبت می‌گردد. برای محاسبه سرعت متوسط فرض می‌شود که سرعت میانگین در هر دسته سرعت، برابر حد وسط سرعت، S_i ، در آن دسته است. به همین دلیل فاصله حد بالا و پایین دسته سرعت نباید بیش از ۸ km/h باشد، زیرا با افزایش فاصله دسته، اعتبار فرض فوق کاهش می‌یابد. اما فرض مذکور برای فاصله دسته ۳ km/h که در مطالعه نمونه به کار رفته، کاملاً مناسب است. به این ترتیب، مجموع همه سرعت‌ها در هر دسته سرعت، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$n_i S_i$$

که در آن:

$$n_i = \text{فراوانی مشاهدات در دسته سرعت } i$$

$$S_i = \text{حد وسط سرعت در دسته سرعت } i$$

مجموع همه سرعت‌ها در توزیع، از جمله حاصل ضرب فوق برای تمام دسته‌های سرعت بالا می‌آید.

$$\sum_i n_i S_i$$

سپس سرعت متوسط یا میانگین، از تقسیم حاصل جمع فوق بر تعداد مشاهدات، به دست می‌آید:

¹ Central tendency

² Dispersion

³ Pace

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i s_i}{N} \quad (9-5)$$

که در آن:

\bar{x} = سرعت میانگین مشاهدات نمونه، km/h

N = تعداد کل نمونه.

برای داده‌های مطالعه نمونه در شکل ۹-۳ و جدول ۹-۱، متوسط سرعت یا میانگین عبارت

است از:

$$\bar{x} = \frac{20419/5}{283} = 72/15 \text{ km/h}$$

که در آن، $\sum n_i s_i$ برابر مجموع ستون ماقبل آخر جدول توزیع فراوانی‌ها از جدول ۹-۱ است. **سرعت میانه: شاخص مرکزگرایی.** سرعت میانه، سرعتی است که توزیع را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند. (یعنی، تعداد مشاهدات برای سرعت‌های بیشتر از آن، برابر تعداد مشاهدات برای سرعت‌های کمتر از آن است). این مقدار، تحت تاثیر مقادیر مطلق مشاهدات قرار ندارد. اختلاف بین میانه و میانگین را می‌توان با توجه به مثال زیر بررسی نمود. سه سرعت مشاهده شده عبارتند از: ۴۵ km/h، ۶۰ km/h، ۷۵ km/h. مقدار سرعت میانگین برابر است با: ۶۰ km/h. $3 = (45 + 60 + 75) \div 3$. مقدار میانه نیز ۶۰ km/h است، زیرا توزیع سرعت را به صورت مساوی تقسیم می‌کند، به طوری که یک سرعت کمتر از ۶۰ و یک سرعت بیشتر از آن وجود دارد. حال سه سرعت دیگر در نظر می‌گیریم: ۴۵ km/h، ۶۰ km/h، ۱۰۵ km/h. مقدار سرعت میانگین برابر است با: ۷۰ km/h. $3 = (45 + 60 + 105) \div 3$. در حالی که میانه، هنوز همان ۶۰ km/h است، زیرا در مشاهدات، یک سرعت از آن بیشتر و یک سرعت از آن کمتر است. مقدار میانگین از بزرگی مشاهدات تاثیر می‌پذیرد، در حالی که میانه تحت تاثیر تعداد آن‌ها است.

از آن‌جا که مقدار تک تک سرعت‌ها در داده‌های جدول ۹-۱ آورده نشده، تعیین "مقدار وسطی" با دشواری همراه است، اما می‌توان آن را به راحتی از منحنی و توزیع فراوانی تجمعی شکل ۹-۴ تعیین نمود. بنا به تعریف، میانه توزیع را به دو قسمت تقسیم می‌کند. بنابراین، ۵۰٪ کلیه سرعت‌های مشاهده شده باید کمتر از مقدار میانه باشد. این، دقیقاً همان چیزی است که در منحنی توزیع فراوانی تجمعی ترسیم می‌شود. اگر از مقدار ۵۰٪ در روی محو قائم، خطی رسم شود، سرعت میانه مطابق شکل ۹-۴ بدست می‌آید. در مطالعه نمونه:

$$P_{50} = 72 \text{ km/h (} 48 \text{ mi/h)}$$

که در آن، P_{50} مقدار میانه برای سرعت ۵۰ درصد است.

گام: شاخص مرکزگرایی. گام، شاخصی در مهندسی ترافیک است که کمتر در سایر تحلیل‌های آماری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود: *محدوده‌ای از مقادیر سرعت به فاصله 15 km/h که بیشترین درصد خودروهای مشاهده شده را در خود جا دهد.* مقدار گام را می‌توان از منحنی توزیع فراوانی شکل ۹-۴ بدست آورد. روش حل بر این مبنا است که سطح زیر منحنی توزیع فراوانی بین هر دو مقدار سرعت، تقریباً برابر درصد خودروهای عبوری با سرعتی بین آن دو مقدار است، به طوری که سطح کل زیر منحنی، مساوی ۱۰۰٪ خواهد بود.

برای تعیین مقدار گام، به شرح زیر عمل می‌شود: شابلنی به عرض 15 km/h بر اساس مقیاس محور افقی، تهیه می‌شود. سپس یک انتهای آن را روی گوشه سمت چپ منحنی قرار داده و آن را به صورت افقی روی منحنی حرکت می‌دهیم. هنگامی که سمت راست شابلن با سمت راست منحنی برخورد نمود، محل گام مشخص شده است. در این روش، تلاقی اوج منحنی با فاصله 15 km/h تعیین می‌شود که سطح زیر منحنی در آن، بیشترین مقدار را دارد. در نتیجه بیشترین درصد خودروها را شامل می‌شود. مقدار گام، در شکل ۹-۴ عبارت است از:

$$65-80 \text{ Km/h}$$

سرعت مد: شاخص مرکزگرایی. مد، به صورت مقدار سرعتی تعریف می‌شود که بیشترین احتمال رخداد را دارد. چون مقدار سرعت مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌شود، سرعت مد از منحنی توزیع فراوانی و به صورت ترسیمی بدست می‌آید. یک خط عمودی از قله منحنی به طرف پایین ترسیم شده و مقدار سرعت از روی محور افقی خواند می‌شود. سرعت مد در مطالعه نمونه برابر است با:

$$49/2 \text{ Km/h}$$

انحراف معیار استاندارد: شاخص پراکندگی. معمول‌ترین شاخص آماری پراکندگی یک توزیع، انحراف معیار استاندارد است. این شاخص میزان پراکندگی داده‌ها را در اطراف مقدار متوسط، نشان می‌دهد. به بیان ساده، انحراف معیار استاندارد، مقدار متوسط اختلاف بین تک تک مشاهده‌ها با مقدار متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. اگر مقادیر منفرد مربوطه به هر متغیر موجود باشد، انحراف معیار استاندارد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (9-6)$$

که در آن :

S = انحراف معیار استاندارد

x^i = مشاهده شماره i

\bar{x} = متوسط همه مشاهده‌ها

N = تعداد مشاهده‌ها

اختلاف بین مقدار متوسط داده‌ها با مقدار آن‌ها در یک نقطه، شاخص مستقیمی برای میزان پراکندگی است. این اختلاف‌ها برای خنثی کردن غلامت مثبت یا منفی، به توان ۲ می‌رسند، سپس مجموع آن برای تمام نقط محاسبه و بر $N-1$ تقسیم می‌شود. یک درجه آزادی آماری، به دلیل معلوم بودن مقدار متوسط و استفاده از آن در محاسبات، از معادله کاسته شده است. نکته قابل توجه آنکه مجموع اختلاف و مقدار متوسط داده‌ها با مقدار آن‌ها برای تمام نقاط، مساوی صفر خواهد بود، به عنوان مثال، اگر داده از ۳ عدد تشکیل شده‌اند که اختلاف بین مقدار متوسط با دوتای اول آن‌ها، ۲ و ۳ باشد، اختلاف بین مقدار متوسط با عدد سوم، حتماً ۵- خواهد بود، زیرا مجموع همه اختلاف‌ها باید مساوی صفر شود. جذر مجموعه فوق نیز به این دلیل گرفته می‌شود که در ابتدای محاسبات، همه آن‌ها به توان ۲ رسیده بودند.

از آن جا که مقدار سرعت مستقیماً ثبت نمی‌شود، رابطه ۹-۶ باید برای در نظر گرفتن اثر فراوانی دارد، اصلاح گردد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum n^i (x_i - \bar{x}^*)}{N-1}}$$

که پس از انجام عملیات ریاضی، می‌توان آن را بصورت زیر نوشت:

$$S = \sqrt{\frac{\sum n_i S_i^2 - N \bar{x}^2}{N-1}} \quad (9-7)$$

اولین عبارت در رابطه فوق، مجموع ستون آخر جداول ۹-۱، یعنی جدول توزیع فراوانی است. بنابراین، انحراف معیار استاندارد در مطالعه نمونه برابر است با:

$$S = \sqrt{\frac{148880.4/8 - (283)(72/15)^2}{283-1}} = 7.44 \text{ km/h}$$

انحراف معیار استاندارد توزیع سرعت‌های مشاهده شده

مقدار انحراف معیار استاندارد در اغلب توزیع‌های مربوط به سرعت مشاهده، در حدود ۷/۵ km/h است که نشانگر الگوی رفتاری رانندگان است. بر خلاف سرعت متوسط و سایر سرعت‌های مربوط به شاخص مرکزگرایی، که از محلی به محل دیگر تفاوت می‌کنند. مقدار انحراف معیار استاندارد در اغلب مطالعات سرعت نقطه‌ای، تقریباً ثابت است.

سرعت‌های ۸۵ و ۱۵ درصد. مقادیر سرعت ۸۵ و ۱۵ درصد، توصیفی کلی از حد بالا و پایین سرعت‌های مشاهده شده را در مورد رانندگان معمولی ارائه می‌کند. اعتقاد عمومی بر این است که ۱۵٪ بالایی یا پایین نمودار توزیع سرعت، بیانگر سرعت‌هایی است که برای شرایط موجود، بیش از اندازه کم یا زیاد هستند. این مقادیر به صورت ترسیمی از نمودار توزیع فراوانی تجمعی شکل ۹-۴ بدست می‌آیند. از مقادیر ۱۵٪ و ۸۵٪ روی محور عمودی، یک خط افقی ترسیم می‌شود تا نمودار را

قطع کند. سرعت متناظر نقطه تقاطع از روی محور افقی، مقدار متغیرهای فوق را نشان می‌دهد. در مطالعه نمونه، این سرعت‌ها عبارتند از:

$$P_{85} = 79 \text{ km/h}$$

$$P_{15} = 65/5 \text{ km/h}$$

مقدار انحراف معیار استاندارد را می‌توان به طور تقریبی، به کمک سرعت‌های ۱۵ درصد و ۸۵ درصد تخمین زد، اما در صورت و جود داده‌ها برای محاسبات دقیق‌تر، این کار توصیه نمی‌شود:

$$S_{est} = \frac{P_{85} - P_{15}}{2} \quad (9-8)$$

در مطالعه نمونه، مقدار تقریبی انحراف معیار استاندارد از رابطه ۸-۹، نزدیک به مقدار حاصل از محاسبات دقیق‌تر (یعنی ۷/۴۴ km/h) بدست آمده است:

$$S_{est} = \frac{79 - 65/5}{2} = 7/75 \text{ Km/h}$$

مقادیر سرعت ۸۵ درصد و ۱۵ درصد، در شناخت مرکزگرایی و پراکندگی توزیع مفید هستند. هر چه این مقادیر به مقدار متوسط نزدیک‌تر شود، پراکندگی کمتر شده و مرکزگرایی توزیع افزایش می‌یابد.

درصد خودروها در گام. گام، شاخص برای تعیین مرکز توزیع است. درصد خودروهای عبوری در محدوده سرعت‌های گام، شاخصی از مرکزگرایی و پراکندگی است. هر چه درصد خودروها در گام کمتر باشد، پراکندگی توزیع، بیشتر خواهد بود.

درصد خودروها در گام، به صورت ترسیمی و با استفاده از منحنی‌های توزیع فراوانی و توزیع فراوانی تجمعی در شکل ۹-۴ تعیین خواهد شد. محدوده سرعت در گام، قبلاً از منحنی توزیع فراوانی بدست آمد. از این مقادیر سرعت، دو خط عمودی به طرف منحنی توزیع فراوانی تجمعی ترسیم می‌شود. درصد خودروهای عبوری با سرعتی برابر یا کمتر از این سرعت‌ها را می‌توان از محور عمودی منحنی توزیع فراوانی تجمعی تعیین نمود. بنابراین:

درصد خودروهایی که سرعتی کمتر از ۸۰ km/h دارند = ۸۷٪

درصد خودروهایی که سرعتی کمتر از ۶۵ km/h دارند = ۱۴٪

درصد خودروهایی که سرعتی بین ۸۰ km/h و ۶۵ km/h دارند = ۷۳٪

هرچند محدوده سرعت مشاهده شده برای خودروها، در این مطالعه بین ۵۱ km/h تا ۹۳ km/h تغییر می‌کند، اما بیش از ۷۰٪ خودروها با سرعتی بین ۶۵ km/h تا ۸۰ km/h حرکت می‌کرده‌اند و این وضعیت رفتار عادی ترافیک را مقدار تقریبی انحراف معیار استاندارد ۷/۵ km/h نشان می‌دهد.

استفاده از توزیع نرمال برای تحلیل داده‌های سرعت نقطه‌ای

توزیع سرعت، اغلب به لحاظ آماری نرمال است (یعنی می‌توان آن را با یک توزیع نرمال نمایش داد). در فصل ۷، توزیع نرمال و مشخصات آن ارائه شده که باید به همراه این بخش مورد مطالعه قرار گیرد.

اگر فرض شود که سرعت‌های مشاهده شده به صورت نرمال توزیع شده‌اند، می‌توان تحلیل‌های دیگری نیز بر روی داده‌ها انجام داد. به خاطر دارید که نمایش استاندارد $x:N[40,25]$ نشان می‌دهد که متغیر " x " به صورت نرمال توزیع شده و دارای مقدار متوسط " 40 " و واریانس " 25 " است. انحراف معیار استاندارد، جذر واریانس بوده و در اینجا مساوی " 5 " خواهد بود. به علاوه به خاطر دارید که هر مقدار " x " در یک توزیع نرمال را می‌توان به مقدار معادل " z " روی توزیع نرمال استاندارد تبدیل کرد که در آن:

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (8-9) \quad Z:N[0,1]$$

که در آن :

x_i = عددی در یک توزیع نرمال $X:N(\mu, \sigma^2)$

μ = مقدار متوسط واقعی مقادیر توزیع x_i

σ = مقدار انحراف استاندارد واقعی مقادیر توزیع x_i

Z_i = مقدار معادل در توزیع نرمال استاندارد $Z:N[0,1]$

در حالت عملی، مقادیر واقعی μ و σ معلوم نیست. آنچه که از مطالعه سرعت نقطه‌ای نتیجه می‌شود، برآوردهایی از مقدار متوسط \bar{x} و انحراف معیار استاندارد واقعی s است که بر اساس اندازه‌گیری نمونه، بدست آمده‌اند. جدولی از مقادیر توزیع نرمال استاندارد در فصل ۷، جدول ۷-۳ ارائه شده و در محاسبات نمونه این فصل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقادیر دقت و سطح اطمینان. پس از انجام مطالعات سرعت نقطه‌ای، یک مقدار برای

سرعت متوسط محاسبه می‌شود. در مطالعه نمونه این فصل، مقدار متوسط $72/15 \text{ km/h}$ که بر اساس ۲۸۳ مشاهده بدست آمده است. در عمل، از این مقدار که بر اساس اندازه‌گیری سرعت تعداد محدودی خودرو بدست آمده، برای برآورد مقدار سرعت متوسط واقعی توزیع کلیه خودروهای گذرنده از محل، در شرایط بدون ازدحام، استفاده می‌شود. تعداد این خودروها برای کلیه اهداف عملی یا آماری، نامحدود (بی‌نهایت) است. مقدار اندازه‌گیری شده برای \bar{x} برای برآورد μ به کار می‌رود. نخستین پرسش آماری که در این حالت باید پاسخ داده شود، این است که این برآورد، تا چه اندازه مناسب است؟

در فصل ۷، خطای استاندارد مقدار متوسط، E ، تعریف شده اگر متغیر X به طور نرمال توزیع شده باشد:

$$X : N[\mu, \sigma^2]$$

می توان نشان داد که توزیع مقدار متوسط نمونه‌هایی از آن (مجموعه ای از مقادیر متوسط برای نمونه‌هایی با اندازه ثابت n)، نیز دارای توزیع نرمالی به صورت زیر است:

$$\bar{X} : N\left[\mu, \left(\frac{\sigma^2}{n}\right)\right]$$

فرض کنید مقدار متوسط ۱۰۰ سرعت مشاهده شده، ۷۵ km/h باشد. حال این سرعت‌ها به ۱۰ گروه، با مقدار متوسط که هر کدام دارای ۱۰ سرعت مشاهده شده هستند، تقسیم می‌شود. مقدار متوسط مقادیر متوسط ۱۰ گروه، همچنان ۷۵ km/h خواهد بود، زیرا متوسط توزیع مقدار متوسط نمونه‌ها با مقدار متوسط توزیع اولیه برابر است. با این حال، مقدار انحراف معیار استاندارد، متفاوت خواهد بود، زیرا فرآیند متوسط‌گیری و گروه‌بندی، رخداد مقادیر حدی را کاهش می‌دهد. برای مثال، در توزیعی که مقدار متوسط آن ۷۵ km/h است، احتمال دارد برخی مشاهدات ۱۰۵ km/h یا بیشتر باشند. با این حال، خیلی بعید است که در همان محل، متوسط ۱۰ سرعت مشاهده شده برابر km/h ۱۰۵ شود.

خطای استاندارد مقدار متوسط، E ، برابر انحراف معیار استاندارد توزیع مقدار متوسط نمونه‌هایی با اندازه ثابت n است:

$$E = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (9-9)$$

که در آن :

E = خطای استاندارد مقدار متوسط

s = انحراف معیار استاندارد توزیع اولیه

n = تعداد نمونه‌ها در هر دسته مشاهده.

مشخصات توزیع نرمال در فصل ۷ ارایه شده است. این مشخصات به همراه خطای استاندارد مقدار متوسط، برای کمی کردن کیفیت برآورد نمونه و مقدار متوسط واقعی توزیع، به کار می‌رود. در واقع، تمام مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه (که اندازه نمونه آن ۲۸۳ عدد داشت)، به عنوان یک نقطه در توزیع مقدار متوسط نمونه‌هایی با اندازه ۲۸۳ عدد، در نظر گرفته می‌شود. با فرض یک توزیع نرمال، معلوم شده که ۹۵٪ کلیه مقادیر، بین (انحراف معیار استاندارد $\times 1/96 \pm$ مقدار متوسط) ۹۹/۷٪ کلیه مقادیر بین (انحراف معیار استاندارد $\times 3/00 \pm$ مقدار متوسط) قرار گرفته‌اند. بنابراین، تا ۹۵٪ می‌توان مطمئن بود.

که مقدار متوسط نمونه ($72/15 \text{ km/h}$) در محدوده (انحراف معیار استاندارد $\pm 1/96$ مقدار متوسط واقعی) قرار خواهد گرفت. انحراف معیار استاندارد در این حالت، برابر خطای استاندارد مقدار متوسط است. بنابراین در ۹۵٪ مواقع:

$$\bar{x} = \mu \pm 1/96 E \Rightarrow \mu = \bar{x} \pm 1/96 E \quad (9-10)$$

به درصد فوق، سطح اطمینان گفته می‌شود، در حالی که دقت اندازه‌گیری از عبارت $1/96 E$ بدست می‌آید. برای مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه:

$$E = \frac{7/44}{\sqrt{283}} = 0/442 \text{ km/h}$$

$$\mu = 72/15 \pm 1/96 (0/442) = 72/15 \pm 0/866$$

$$\mu = 71/284 \text{ km/h} - 73/016 \text{ km/h}$$

به این ترتیب، با ۹۵٪ اطمینان می‌توان گفت که مقدار متوسط واقعی برای توزیع سرعت، بین $71/2 \text{ km/h}$ تا $73/0 \text{ km/h}$ قرار دارد. برای سطح اطمینان ۹۹٪:

$$\bar{x} = \mu \pm 3/00 E \Rightarrow \mu = \bar{x} \pm 3/00 E$$

$$\mu = 72/15 \pm 3/00 (0/442)$$

$$\mu = 72/15 \pm 1/326$$

$$\mu = 70/824 \text{ km/h} - 73/476 \text{ km/h}$$

به این ترتیب با ۹۹٪ اطمینان می‌توان گفت که مقدار متوسط واقعی برای توزیع سرعت، بین $70/8 \text{ km/h}$ تا $73/5 \text{ km/h}$ قرار دارد.

جمله‌های فوق، دقت اندازه‌گیری و سطح اطمینان برآوردها را به صورت کمی، بیان می‌کنند. توجه شود که با افزایش سطح اطمینان، دقت برآورد، کاهش می‌یابد (یعنی محدوده برآورد انجام شده، افزایش می‌یابد). با فرض آن که سرعت نرمال توزیع شده باشد، می‌توان ۱۰۰٪ مطمئن بود که سرعت متوسط واقعی در محدوده $\pm \infty \text{ km/h}$ قرار دارد.

البته از دیدگاه مهندسی ترافیک، جمله فوق ارزش ندارد. چون مطالعات سرعت نقطه‌ای در مورد نمونه‌ای از یک جمعیت نامحدود و بی نهایت انجام می‌شود، اندازه‌گیری مقدار متوسط به طور کاملاً دقیق و با اطمینان ۱۰۰٪، امکان ندارد. معمولاً از سطح اطمینان ۹۵٪ برای محاسبه دقت و اطمینان مقدار متوسط نمونه و استفاده از آن در برآورد مقدار متوسط واقعی برای توزیع کلی، استفاده می‌شود.

برآورد اندازه نمونه مورد نیاز. هر چند دانستن سطح اطمینان و دقت اندازه‌گیری مقدار متوسط یک نمونه آماری پس از انجام آمارگیری مفید است، دانستن اندازه نمونه مورد نیاز برای دستیابی به سطح اطمینان و دقت از پیش تعیین شده، بسیار مفیدتر خواهد بود. با توجه به اینکه دقت یا *روادری* (e) یک برآورد، برابر محدوده اطراف مقدار متوسط است، می‌توان گفت:

$$۹۵\% : e = ۱/۹۶ E = ۱/۹۶ \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

$$۹۹/۷\% : e = ۳/۰۰ E = ۳/۰۰ \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

با حل این معادلات برای اندازه نمونه، n روابط زیر بدست می‌آید:

$$۹۵\% : n = \frac{۳/۸۴ s^2}{e^2} \quad (۹-۱۱)$$

$$۹۹/۷\% : n = \frac{۹/۰ s^2}{e^2} \quad (۹-۱۲)$$

مساله زیر را در نظر بگیرید: چه تعداد سرعت باید اندازه‌گیری شود تا متوسط سرعت در توزیع کلی با ۹۵٪ اطمینان، دارای دقتی برابر $\pm ۱/۵ \text{ km/h}$ باشد؟ اگر مقدار دقت به $\pm ۰/۷۵ \text{ km/h}$ و سطح اطمینان به ۹۹/۷٪ تغییر یابد، نتایج چه تغییری خواهد کرد؟

مساله نخست، در اختیار نداشتن انحراف معیار استاندارد (s)، توزیع است. زیرا مطالعات هنوز انجام نشده است. در این حالت می‌توان از مقدار تقریبی $۷/۵ \text{ km/h}$ استفاده کرد که برای اغلب توزیع‌های سرعت، به عنوان انحراف معیار استاندارد، صدق می‌کند. نتایج محاسبه در جدول ۹-۲ مشاهده می‌شود.

برای دستیابی به دقتی برابر $\pm ۱/۵ \text{ km/h}$ با سطح اطمینان ۹۵٪، باید نمونه آماری شامل اندازه‌گیری سرعت ۹۶ خودرو باشد. برای دستیابی به دقت $\pm ۰/۷۵ \text{ km/h}$ با سطح اطمینان ۹۹/۷٪، اندازه نمونه آماری را باید در حدود ۱۰ برابر افزایش داد. در اغلب مطالعات مهندسی ترافیک، دقت $\pm ۱/۵ \text{ km/h}$ و سطح اطمینان ۹۵٪ کافی است.

جدول ۹-۲- محاسبه اندازه نمونه

سطح اطمینان		دقت
۹۹/۷٪	۹۵٪	$e(\text{km/h})$
$n = \frac{۹/۰ \cdot (۷/۵)^2}{(۱/۵)^2} = ۲۲۵$	$n = \frac{۳/۸۴ (۷/۵)^2}{(۱/۵)^2} = ۹۶$	۱/۵
$n = \frac{۹ (۷/۵)^2}{(۰/۷۵)^2} = ۹۰۰$	$n = \frac{۳/۸۴ (۷/۵)^2}{(۰/۷۵)^2} = ۳۸۴$	۰/۷۵

مطالعات سرعت نقطه‌ای قبل و بعد^۱

در شرایط مختلفی لازم است سرعت موجود خودروها در یک محل کاهش یابد. این وضعیت به ویژه در شرایطی که تعداد یا شدت زیاد تصادفات ناشی از سرعت زیاد باشد، وجود دارد.

^۱ Before and After Spot Speed Studies

همچنین، در مواردی که سرعت تعداد زیادی از رانندگان از سرعت مجاز تجاوز کند، نیز انجام مطالعات قبل و بعد لازم است.

روش‌های مختلفی در مهندسی ترافیک، برای کاهش سرعت خودروها وجود دارد، از جمله کاهش سرعت مجاز، افزایش نظارت نیروی انتظامی، علائم هشدار دهنده، اجرای خط‌کشی برجسته و غیره. با این حال، باید با انجام مطالعاتی نشان داد که واقعاً از سرعت خودروها کاسته شده است. این کار خیلی ساده نیست. شرایط زیر را در نظر بگیرید: فرض کنید به منظور کاهش سرعت به میزان $7/5 \text{ km/h}$ ، یک تابلوی جدید سرعت مجاز، در محلی نصب شده است. مطالعات سرعت نقطه‌ای قبل از نصب تابلوی جدید و چند ماه بعد از نصب آن انجام شد. توجه شود که مطالعات "بعد" از اجرا، معمولاً چند ماه پس از اعمال تغییرات انجام می‌شود، تا بتوان رفتار عادی و پایدار راننده را فارغ از تاثیر اولیه تغییرات مشاهده نمود. ملاحظه شد که سرعت متوسط در مطالعات "بعد" از اجرا، در حدود $5/25 \text{ km/h}$ کمتر از سرعت متوسط در مطالعات قبل از اجرا بود. به لحاظ آماری، پاسخ به دو پرسش در این خصوص لازم است:

- آیا کاهش سرعت مشاهده شده در سرعت متوسط، واقعی است؟
- آیا کاهش سرعت مشاهده در سرعت متوسط، به اندازه مورد نظر یعنی $7/5 \text{ km/h}$ است؟

هر چند پاسخ پرسش‌های فوق ظاهراً معلوم است، اما در واقع چنین نیست. دو دلیل برای کاهش سرعت متوسط خودروها وجود دارد:

- (۱) تابلوی جدید سرعت مجاز، باعث کاهش سرعت متوسط واقعی توزیع کلی شده و در نتیجه، سرعت متوسط مشاهده شده به مقدار $5/25 \text{ km/h}$ کاهش یافته است.
- (۲) کاهش سرعت مشاهده شده به میزان $5/25 \text{ km/h}$ ، ممکن است ناشی از انتخاب دو نمونه آماری متفاوت از توزیع کلی باشد، در حالی که توزیع کلی ثابت مانده است.

به بیان آماری، حالت اول از لحاظ آماری کافی است، اما حالت دوم از لحاظ آماری کافی نیست. پرسش دوم به همان اندازه دو پهلو است. فرض کنید کاهش سرعت مشاهده شده به مقدار $5/25 \text{ km/h}$ ، از لحاظ آماری کافی باشد، لازم است تعیین شود که آیا سرعت متوسط واقعی توزیع کلی به میزان $7/5 \text{ km/h}$ کاهش یافته یا خیر. برای پاسخ به این پرسش‌ها، باید از آزمون‌های آماری استفاده کرد. در ضمن، نمی‌توان به این پرسش‌ها با سطح اطمینان ۱۰۰٪ پاسخ داد.

در فصل ۷، مفهوم و روش‌های آزمون کافی بودن اختلاف مشاهدات در مطالعات قبل و بعد مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون‌های آماری ممکن است چهار نتیجه را حاصل کنند:

- (۱) اختلاف واقعی، کافی است و آزمون آماری این کافی بودن را نشان می‌دهد،
 (۲) اختلاف واقعی، کافی نیست و آزمون آماری این کافی نبودن را نشان می‌دهد،
 (۳) اختلاف واقعی، کافی است ولی آزمون آماری، کافی بودن آن را نشان می‌دهد،
 (۴) اختلاف واقعی، کافی نیست ولی آزمون آماری، کافی بودن آن را نشان می‌دهد.
 دو نتیجه اول، منجر به ارزیابی صحیح نتیجه مطالعات می‌شود، در حالی که دو نتیجه دوم، باعث بروز خطا در مطالعات خواهد شد. به بیان آماری، نتیجه (۴) باعث خطای I یا α و نتیجه (۳) باعث خطای II یا β می‌شود.

در عمل، مهندس ترافیک نباید مرتکب خطای I شود. در این حالت، به نظر می‌رسد که مشکل (سرعت زیاد) حل شده است، در حالی که هنوز حل نشده است. این مساله باعث می‌شود تصادفات خسارتی، جرحی و یا فوتی همچنان ادامه یابد. تا زمانی که "واقعیت" مساله، مشخص گردد. در صورت بروز خطای II، تلاش‌های بیشتری برای کاهش سرعت به عمل خواهد آمد. هرچند این مساله باعث هزینه‌های اضافی می‌شود، اما باعث به بار آمدن نتایج منفی نخواهد شد. آزمون آماری مورد استفاده در ارزیابی کافی بودن کاهش در سرعت متوسط مشاهده شده، روش تقریب نرمال است. همان‌طور که در فصل ۷ اشاره شد، از این آزمون می‌توان در مطالعات قبل و بعد با شرط اینکه اندازه نمونه از ۳۰ بیشتر باشد، استفاده کرد. به منظور اطمینان از کافی بودن کاهش در سرعت‌های مشاهده شده، سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته می‌شود. به بیان دیگر، احتمال بروز خطای I، کمتر از ۵٪ است.

روش تقریب نرمال به کمک تبدیل کاهش مشاهده شده در سرعت‌های متوسط به مقدار Z روی توزیع نرمال استاندارد به کار می‌رود:

$$z_d = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - 0}{s_y}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}} \quad (۹-۱۳)$$

که در آن:

Z_d = مقدار توزیع نرمال استاندارد معادل اختلاف مشاهده شده در سرعت‌ها

\bar{x}_1 = سرعت متوسط در نمونه قبل از اجرا، km/h

\bar{x}_2 = سرعت متوسط در نمونه بعد از اجرا، km/h

S_y = انحراف معیار استاندارد توزیع اختلاف سرعت متوسط نمونه‌ها

S_1 = انحراف معیار استاندارد نمونه قبل از اجرا، km/h

S_2 = انحراف معیار استاندارد نمونه قبل از اجرا، km/h

اگر مقدار متوسط هر دو نمونه از یک توزیع کلی باشند، جدول توزیع نرمال استاندارد (جدول ۷-۳) از فصل ۷ برای تعیین احتمال اینکه مقداری مساوی یا کمتر از Z_d رخ دهد، به کار می‌رود.

بنابراین:

- اگر احتمال $(Z \leq Z_d) \geq 95\%$ باشد، کاهش مشاهده شده در سرعت به لحاظ آماری کافی است.
- اگر احتمال $(Z \leq Z_d) < 95\%$ باشد، کاهش مشاهده شده در سرعت به لحاظ آماری کافی نیست.

حالت اول بدین معنی است که در واقع ۵٪ مواقع، از اختلاف مشاهده شده در سرعت‌های متوسط نمونه، تجاوز خواهد شد، البته مشروط به آن که هر دو نمونه از یک توزیع کلی بدست آمده باشد. در صورتی که چنین مقداری مشاهده شود، می‌توان آنرا به این صورت تفسیر کرد که کمتر از ۵٪ احتمال دارد اختلاف مشاهده شده، از همان توزیع کلی قبلی بدست آمده باشد، بلکه بیش‌تر از ۹۵٪ احتمال دارد که ناشی از تغییری در توزیع کلی باشد.

توجه شود که یک ازمون یک‌طرفه انجام شده است (یعنی کافی بودن کاهش مشاهده در متوسط نمونه‌ها آزمایش شده است، نه اختلاف متوسط نمونه‌ها). اگر مشاهدات نشان دهد که متوسط نمونه‌ها افزایش یافته است، هیچ آزمونی انجام نمی‌شود، زیرا نتیجه دلخواه از اقدامات مهندسی ترافیک به دست نیامده است.

اگر کاهش مشاهده شده از لحاظ آمار کافی باشد، نوبت به پاسخگویی به پرسش دوم می‌رسد (یعنی آیا سرعت به اندازه مورد نظر کاهش یافته است؟). به این منظور، فقط از نتایج توزیع بعد از اجرا، استفاده می‌شود. توجه شود که بر اساس مشخصات توزیع نرمال، ۹۵٪ احتمال دارد که متوسط واقعی توزیع، مقدار زیر باشد:

$$\mu = \bar{x} \pm 1/96 E$$

اگر سرعت مورد نظر در این محدوده قرار گیرد، می‌توان فرض کرد که به کاهش سرعت مورد نظر بدست آمده است.

نتایج زیر را از مطالعات قبل و بعد سرعت نقطه‌ای، که برای ارزیابی موثر بودن یک سرعت مجاز جدید و کاهش سرعت متوسط به ۹۰ km/h انجام شده، در نظر بگیرید:

نتایج قبل		نتایج بعد
۹۰ km/h	\bar{x}	۹۴/۵ km/h
۷/۵ km/h	S	۹/۰ km/h
۵۰	N	۶۰

آزمون تقریب نرمال برای تعیین کافی بودن کاهش مشاهده شده در متوسط نمونه‌ها به لحاظ آماری، مورد استفاده قرار می‌گیرد:

گام ۱: انحراف معیار استاندارد کل، محاسبه شود:

$$S_y = \sqrt{\frac{7/5^2}{50} + \frac{9/0^2}{60}} = 1/57 \text{ km/h}$$

گام ۲: محاسبه Z_d :

$$Z_d = \frac{(98/0 - 94/5) - 0}{1/57} = 2/23$$

گام ۳: تعیین احتمال $Z \leq 2/23$ از جدول ۷-۳ = ۰/۹۸۵۷

گام ۴: مقایسه نتایج با مقدار ۹۵٪

چون $98/57\% > 95\%$ است، نتایج نشان می‌دهد که کاهش مقدار متوسط نمونه از لحاظ آماری کافی است.

اکنون می‌توان دستیابی به کاهش سرعت تا 90 km/h را در نمونه بعد از اجرا، بررسی نمود. محدوده متوسط سرعت واقعی توزیع کلی، در سطح اطمینان ۹۵٪، برابر است با:

$$E = \frac{9/0}{\sqrt{60}} = 1/62 \text{ km/h}$$

$$\mu = 9/45 \pm 1/96 (1/62) =$$

$$\mu = 9/45 \pm 2/227$$

$$\mu = 92/223 \text{ km/m} - 96/777 \text{ km/h}$$

چون سرعت مورد نظر 90 km/h است و در محدوده فوق قرار ندارد و نمی‌توان گفت که کاهش سرعت به مقدار مورد نظر بدست آمده است.

در این حالت، هرچند کاهش سرعت قابل توجه بوده، ولی به اندازه مورد نظر، یعنی 90 km/h نرسیده است. بنابراین لازم است مطالعات دیگری انجام شود و اقدامات دیگری نیز به منظور کاهش بیشتر سرعت و دستیابی به مقدار مورد نظر، انجام پذیرد.

معیار سطح اطمینان ۹۵٪ برای اطمینان از کافی بودن کاهش در سرعت‌های مشاهده شده، باید کاملاً درک شود. اگر مطالعات قبل و بعد نشان می‌دهد که سطح اطمینان ۹۴/۵٪ است، نتیجه به لحاظ آماری کافی نخواهد بود. به این ترتیب، احتمال بروز خطای I به ۵٪ محدود می‌شود. با این حال، هنگامی که گفته می‌شود اختلاف مشاهده شده در سرعت متوسط به لحاظ آماری کافی نیست، ۹۴/۵٪ احتمال دارد که مرتکب خطای II شده باشیم. بنابراین، قبل از صرف هزینه زیادی برای اقدامات مربوط به کاهش سرعت، باید نمونه بزرگتری مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود که آیا با اطلاعات بیشتر، می‌توان به سطح اطمینان ۹۵٪ رسید یا خیر.

آزمون نرمال بودن: آزمون نیکویی برازش کای دو

به طور کلی، در تمام تحلیل‌های این بخش فرض می‌شود که توزیع سرعت را می‌توان به صورت نرمال نشان داد. به این دلیل، ضروری است به کمک یک آزمون آماری، صحت این فرض بررسی شود. همان‌طور که در فصل ۷ شرح داده شد، آزمون کای دو برای تعیین اینکه اختلاف بین توزیع مشاهده شده و شکل ریاضی فرض شده برای آن، قابل توجه است یا خیر، به کار می‌رود. برای داده‌های دسته‌ای، پارامتر کای دو به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\chi^2 = \sum_{N_G} \frac{(n_i f_i)^2}{f_i} \quad (۹-۱۴)$$

که در آن:

χ^2 پارامتر آماری کای دو

n_i = فراوانی مشاهدات در دسته سرعت i

f_i = فراوانی نظری در دسته سرعت i ، با فرض وجود توزیع فرض شده،

N_G = تعداد دسته‌های سرعت در توزیع.

جدول ۹-۳ این محاسبات را برای مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه، نشان می‌دهد. دسته‌های سرعت قبلاً تعریف شده و فراوانی‌های مشاهده شده مستقیماً از جدول ۹-۱ استخراج شده‌اند. برای سادگی، دسته‌های سرعت از بیشتر به کمتر مرتب شده‌اند، تا با جدول توزیع نرمال استاندارد (جدول ۷-۳) که شامل احتمال $Z \leq Z_d$ است، سازگار باشد. حد بالای بزرگترین دسته، "بی‌نهایت" فرض شده است، زیرا توزیع نرمال نظری تا مثبت و منهای بی‌نهایت امتداد می‌یابد. بقیه ستون‌های جدول ۹-۳، به تعیین فراوانی نظری f_i و مقدار نهایی χ^2 اختصاص یافته‌اند. فراوانی نظری، تعداد مشاهداتی است که در صورت کاملاً نرمال بودن توزیع، برای دسته‌ها بدست می‌آید. برای تعیین این مقادیر، احتمال یک رخداد در هر دسته سرعت، باید از جدول نرمال استاندارد برای تعیین این مقادیر، احتمال رخداد در هر دسته سرعت، باید از جدول نرمال استاندارد (جدول ۷-۳) تعیین شود. ستون‌های ۴ تا ۷ از جدول ۹-۳، این موضوع را به شرح زیر نشان می‌دهد:

۱. حد بالای هر دسته با استفاده از رابطه ۹-۸ به مقدار معادل Z تبدیل می‌شود. مثلاً برای حد بالای دسته برابر 90 km/h داریم:

$$Z_{90} = \frac{90 - 72/15}{7/44} = 2/40$$

برای انجام محاسبه فوق، از سرعت متوسط و انحراف معیار استاندارد مطالعه سرعت نقطه‌ای استفاده می‌شود.

جدول ۹-۳ آزمون کای دو برای نرمال بودن داده‌های سرعت نقطه‌ای مطالعه نمونه

سرعت متوسط = ۷۲/۱۵ km/h انحراف معیار استاندارد = ۷/۴۴ km/h اندازه نمونه = ۲۸۳									
χ^2 گروه	گروه‌های ترکیب شده f	گروه‌های ترکیب شده n	فراوانی نظری	احتمال رخداد در دسته	احتمال $Z \leq Z_d$ جدول ۳-۷	حد بالا (نرمال) Z_d (استاندارد)	فراوانی مشاهده شده n	دسته سرعت	
								حد پایین km/h	حد بالا km/h
-	-	-	۲/۳۲۰۶	۰/۰۰۸۲	۱/۰۰۰۰	∞	۲	۹۰	∞
۰/۰۴۶۵	۶/۴۵۲۴	۷	۴/۱۳۱۸	۰/۰۱۴۶	۰/۹۹۱۸	۲/۴۰	۵	۸۷	۹۰
۰/۰۱۴۴	۹/۳۶۷۳	۹	۹/۳۶۷۳	۰/۰۳۳۱	۰/۹۷۷۲	۲/۰۰	۹	۸۴	۸۷
۰/۶۲۶۵	۱۷/۲۹۱۳	۱۴	۱۷/۲۹۱۳	۰/۰۶۱۱	۰/۹۴۴۱	۱/۵۹	۱۴	۸۱	۸۴
۰/۴۸۸۶	۲۷/۶۷۷۴	۲۴	۲۷/۶۷۷۴	۰/۰۹۷۸	۰/۸۸۳۰	۱/۱۹	۲۴	۷۸	۸۱
۰/۰۸۶۰	۳۸/۸۲۷۶	۳۷	۳۸/۸۲۷۶	۰/۱۳۷۲	۰/۷۸۵۲	۰/۷۹	۳۷	۷۵	۷۸
۷/۲۱۸۸	۴۴/۱۴۸۰	۶۲	۴۴/۱۴۸۰	۰/۱۵۶۰	۰/۶۴۸۰	۰/۳۸	۶۲	۷۲	۷۵
۰/۱۰۹۶	۴۳/۸۰۸۴	۴۶	۴۳/۸۰۸۴	۰/۱۵۴۸	۰/۴۹۲۰	-۰/۰۲	۴۶	۶۹	۷۲
۰/۶۳۲۰	۳۷/۸۹۳۷	۳۳	۳۷/۸۹۳۷	۰/۱۳۳۹	۰/۳۳۷۲	-۰/۴۲	۳۳	۶۶	۶۹
۱/۱۷۹۷	۲۶/۶۰۲۰	۲۱	۲۶/۶۰۲۰	۰/۰۹۴۰	۰/۲۰۳۳	-۰/۸۳	۲۱	۶۳	۶۶
۰/۶۷۸۷	۱۶/۳۲۹۱	۱۳	۱۶/۳۲۹۱	۰/۰۵۷۷	۰/۱۰۹۳	-۱/۲۳	۱۳	۶۰	۶۳
۰/۳۴۸۱	۸/۷۴۴۷	۷	۸/۷۴۴۷	۰/۰۳۰۹	۰/۰۵۱۶	-۱/۶۳	۷	۵۷	۶۰
۲/۹۲۸۵	۵/۸۵۸۱	۱۰	۳/۷۹۲۲	۰/۰۱۳۴	۰/۰۲۰۷	-۲/۰۴	۵	۵۴	۵۷
-	-	-	۰/۰۶۵۹	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۷۳	-۲/۴۴	۵	۵۱	۵۴
۱۴/۳۵۷۴	۲۸۳	۲۸۳	۲۸۳	۱/۰۰۰۰					جمع
$\chi^2 = ۱۴/۳۵۷۴$									
درجه آزادی: ۹ - ۳ = ۱۲									

۲. مقدار متناظر Z از جدول ۳-۷ فصل ۷ تعیین و احتمال $Z \leq Z_d$ در ستون ۵ جدول ۳-۹

ثبت می‌شود.

۳. دسته سرعت ۷۲-۷۵ km/h را در جدول ۳-۹ در نظر بگیرید. از ستون ۵، احتمال رخداد

سرعت کمتر از ۷۵ km/h در توزیع نرمال ۰/۶۴۸۰ و احتمال رخداد سرعت کمتر از ۷۲ km/h،

برابر ۰/۴۹۲۰ است. بنابراین، احتمال رخداد سرعت بین ۷۲-۷۵ km/h برابر است با

۰/۱۵۶۰ = ۰/۴۹۲۰ - ۰/۶۴۸۰. احتمالات ستون ۶، از تفاضل‌های متوالی، مشابه حالت فوق بدست

آمده‌اند. نتیجه حاصل، احتمال وجود سرعت در یکی از دسته‌های سرعت با فرض توزیع نرمال است.

۴. فراوانی‌های نظری ستون ۷ از حاصل ضرب اندازه نمونه در احتمال رخداد و در دسته

سرعت، بدست آمده‌اند. در مورد فراوانی نظری، کاربرد رقم‌های اعشاری مجاز است.

۵. استفاده از آزمون کای دو فقط هنگامی مجاز است که مقدار فراوانی نظری بزرگتر یا مساوی ۵ باشد. به این منظور، باید دو دسته سرعت اول و دو دسته سرعت آخر جدول را با هم ترکیب نمود. فراوانی‌های مشاهده شده نیز باید به طور مشابه با هم جمع شود.

۶. مقدار کای دو برای هر دسته سرعت به صورت زیر محاسبه می‌شود. مثلاً محاسبه مربوط به دسته سرعت ۶۰-۶۳ Km/h چنین است:

$$\chi^2 = \frac{(n_i - f_i)^2}{f_i} = \frac{(13 - 16/3291)^2}{16/3291} = 0/6787$$

این مقادیر با هم جمع می‌شود تا مقدار نهایی χ^2 را برای توزیع بدست دهد که برابر ۱۴/۳۵۷۴ است.

برای ارزیابی نتایج، از جدول کای دو، یعنی جدول ۷-۱۱ فصل ۷ استفاده می‌شود. مقادیر احتمالات روی محور افقی جدول نشان داده شده است. محور عمودی هم درجات آزادی را نشان می‌دهد. در یک توزیع کای دو، تعداد درجات آزادی برابر است با تعداد دسته‌های داده‌ها (پس از ترکیب برای داشتن فراوانی‌های مساوی یا بزرگتر از ۵)، منهای ۳. علت حذف سه درجه آزادی آن است که در محاسبه χ^2 باید سه ویژگی توزیع اندازگیری شده معلوم باشد:

متوسط، انحراف معیار استاندارد و اندازه نمونه. بنابراین برای مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه، تعداد درجات آزادی برابر است با $9 = 12 - 3$.

مقادیر χ^2 در جدول ۷-۱۱ مشاهده می‌شود. برای داده‌های نمونه، مقدار χ^2 ، بین مقادیر ۱۱/۳۹ (با احتمال ۰/۲۵) و ۱۴/۶۸ (با احتمال ۰/۱۰) قرار می‌گیرد. توجه شود که احتمالات نشان داده شده در جدول ۷-۱۱، مربوط به احتمال بزرگتر یا مساوی بودن از مقدار χ^2 هستند.

از درونیابی برای تعیین سطح دقیق احتمال مربوط به مقدار ۱۴/۳۵۷۴ روی توزیع کای دو با ۹ درجه آزادی استفاده می‌شود.

مقدار	احتمال
۱۱/۳۹۰۰	۰/۲۵
۱۴/۳۵۷۴	P
۱۴/۶۸۰۰	۰/۱۰

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Prob}(\chi^2 \geq 14/3574) \\
 &= 0/10 + (0/15) \left[\frac{14/6800 - 14/3574}{14/6800 - 11/3900} \right] \\
 &= 0/1147
 \end{aligned}$$

به این ترتیب، اگر توزیع به لحاظ آماری نرمال باشد، ۱۱/۴۷٪ احتمال دارد که مقداری مساوی یا بزرگتر از ۱۴/۳۵۷۴ وجود داشته باشد. معیار تصمیم‌گیری، مشابه سایر آزمون‌های آماری

است (یعنی برای بیان اینکه داده‌ها و توصیف ریاضی فرض شده برای آن، به اندازه کافی اختلاف دارند، باید سطح اطمینان ۹۵٪ باشد). در مورد جداولی که احتمال مقداری کمتر یا مساوی پارامتر آماری محاسبه شده را ارایه می‌کنند، باید مقدار احتمال ۹۵٪ یا بیشتر باشد تا از کافی بودن اختلاف، اطمینان حاصل شود. در مورد آزمون تقریب نرمال، این وضعیت وجود دارد. به طور مشابه، نقطه تصمیم‌گیری در هنگام استفاده از جدولی که احتمالات بزرگتر یا مساوی پارامتر آماری محاسبه شده را ارایه می‌کند، باید مقدار احتمال ۵٪ یا کمتر باشد تا از کافی بودن اختلاف، اطمینان حاصل شود. در مورد داده‌های نمونه، احتمال مقداری مساوی یا بزرگتر از $14/3574$ ، برابر $11/47$ است، که از ۵٪ بیشتر است. بنابراین، اختلاف بین داده‌ها و توصیف ریاضی فرض شده برای آن کافی نیست و نرمال بودن آن با موفقیت نشان داده شده است.

در عمل از آزمون کای دو به ندرت در مورد نتایج سرعت نقطه‌ای استفاده می‌شود، زیرا توزیع سرعت معمولاً نرمال است. اگر داده‌ها به طور جدی اریب باشد، یا شکلی کاملاً متفاوت نسبت به توزیع نرمال داشته باشد، می‌توان از این آزمون استفاده کرد. به علاوه می‌توان داده‌ها را با انواع دیگر توزیع‌ها مقایسه نمود. برخی توزیع‌ها دارای شکلی کلی مشابه توزیع نرمال هستند، اما در ابتدا یا انتهای توزیع، حالتی اریب پیدا می‌کنند. همچنین ممکن است مجموعه‌ای از داده‌ها با استفاده از توزیع‌های مختلفی توصیف شوند. این مساله، اعتبار توزیع نرمال را مخدوش نمی‌کند. تا هنگامی که داده‌های سرعت را می‌توان با توزیع نرمال، توصیف کرد، کلیه موارد ذکر شده در این بخش، معتبر هستند.

اگر توزیع سرعت نرمال نباشد، می‌توان از توزیع‌های دیگری برای توصیف آن استفاده کرد و آزمون‌های آماری دیگری را روی آن انجام داد. این موارد در این کتاب آورده نشده و برای آشنایی بیشتر با آن‌ها باید به کتاب‌های آمار و احتمالات مراجعه نمود.

۹-۲-۵- محل مناسب برای مطالعات سرعت نقطه‌ای

بیشتر بحث‌های قبلی در مورد مطالعه سرعت نقطه‌ای، به تحلیل آماری و تفسیر نتایج آن مربوط بود. لازم به یادآوری است که مطالعات سرعت با اهدافی کاملاً منطقی برای تعیین تاثیر اقدامات مهندسی ترافیک در موارد معین، انجام می‌شود.

محلی که اندازه‌گیری سرعت در آن انجام می‌شود، باید با هدف مطالعه سازگار باشد. اگر سرعت رویکرد در یک ایستگاه عوارضی زیاد به نظر می‌رسد، اندازه‌گیری آن باید در نقطه‌ای قبل از محل کاهش سرعت رانندگان انجام شود. به طور مشابه، اگر تصور می‌شود سرعت زیاد در طول یک قوس، باعث تصادفات و خروج از خط می‌شود، اندازه‌گیری سرعت باید قبل از قوس و قبل از نقطه کاهش سرعت رانندگان انجام پذیرد. با این حال، شاید مناسب باشد که اندازه‌گیری سرعت در محل

وقوع تصادفات هم انجام شود تا امکان مقایسه آن با سرعت رویکرد، به این ترتیب، مهندس ترافیک قادر خواهد بود تعیین کند که آیا سرعت زیاد رویکرد فراهم گردد. به این ترتیب، مهندس ترافیک قادر خواهد بود تعیین کند که آیا سرعت زیاد رویکرد باعث بروز مشکل است یا عدم کاهش کافی سرعت توسط رانندگان در طول جزء هندسی مورد نظر و یا هر دو. مطالعه سرعت رویکرد در تقاطع‌ها هم باید در محلی قبل از نقطه کاهش سرعت رانندگان انجام شود. این نقطه با توجه به کاهش یا افزایش طول صف در ساعات مختلف روز، قابل تغییر است.

فلسفه مطالعه سرعت نقطه‌ای آن است که اندازه‌گیری‌ها باید در شرایطی انجام پذیرد که رانندگان سرعت خود را آزادانه انتخاب کرده و تحت تاثیر ازدحام قرار نداشته باشند. بنابراین، مطالعه سرعت نقطه‌ای به ندرت در شرایط ترافیک سنگین و حتی متوسط انجام می‌شود.

۹-۳- مطالعات زمان سفر

مطالعات زمان سفر، در طول قابل توجهی از تسهیلات ترافیکی یا مجموعه‌ای از آن‌ها که تشکیل یک مسیر را می‌دهند، انجام می‌شود. در این مطالعات، اطلاعات مربوط به زمان سفر بین دو نقطه کلیدی تعیین شده و برای شناسایی قطعاتی که نیازمند اصلاح هستند، به کار می‌رود. مطالعات زمان سفر، اغلب با مشاهده تاخیر در نقاط پر ازدحام در طول مسیر مورد مطالعه همراه است.

اطلاعات زمان سفر برای اهداف برای اهداف مختلفی به کار می‌رود، از جمله:

- شناسایی محل‌های مساله‌دار در تسهیلات حمل و نقل با توجه به زمان سفر و یا تاخیر زیاد.
- اندازه‌گیری سطح خدمت راه شریانی، بر اساس متوسط سرعت سفر و زمان سفر.
- فراهم کردن اطلاعات لازم برای مدل‌های تخصیص ترافیک، که مساله زمان سفر در یک پیوند را به عنوان عامل کلیدی انتخاب مسیر بررسی می‌کند.
- فراهم کردن داده‌های زمان سفر برای ارزیابی اقتصادی بهسازی‌های حمل و نقل.
- تهیه نقشه‌های زمان سفر و سایر ترسیمات مربوط به ازدحام ترافیک در یک ناحیه یا منطقه.

۹-۳-۱- روش‌های مطالعه میدانی

چون مطالعه زمان سفر در طول قابل توجهی از خیابان‌ها انجام می‌شود، مشاهده مستقیم خودروهای در حال عبور از محدود مورد مطالعه دشوار است. معمول‌ترین روش برای انجام مطالعات زمان سفر، استفاده از خودروی آزمون است که در طول محدوده مورد مطالعه حرکت می‌کند و یک مشاهده‌گر از درون آن، زمان صرف شده در طول محدوده و نقاط کلیدی میانی را

ثبت می‌کند. مشاهده‌گر فرمی در اختیار دارد که در آن، زمان سفر تا نقاط میانی مورد نظر را ثبت می‌کند. وی، از زمان سنجی استفاده می‌کند که با ورود خودروی آزمون به محدوده مورد مطالعه آغاز به کار کرده و زمان رسیدن به هر نقطه میانی و انتهای مسیر را نیز ثبت می‌نماید. مدت زمان توقف در تقاطع و سایر نقاط غیرتقاطع هم توسط زمان‌سنج دیگری ثبت می‌شود. محل این توقف‌ها نیز معین شده و در صورت امکان دلیل وقوع آن‌ها ذکر می‌گردد. برای حفظ سازگاری نتایج، به راننده خودروی آزمون گفته می‌شود که به یکی از صورت‌های زیر حرکت کند:

۱. روش خودروی شناور. در این روش، از راننده خودروی آزمون خواسته می‌شود از همان تعداد خودرویی که از روی سبقت گرفته‌اند، سبقت بگیرد. به این ترتیب، موقعیت نسبی آن در جریان ترافیک بدون تغییر باقی می‌ماند و خودروی آزمون رفتار متوسط خودروها را در جریان ترافیک با تقریب خوبی نشان می‌دهد.
 ۲. روش خودروی پیشینه. در این روش، از راننده خواسته می‌شود تا با بیشترین سرعت ایمن در جریان ترافیک حرکت نماید، اما از سرعت طراحی تجاوز نکند.
 ۳. روش خودروی متوسط. در این روش، از راننده خواسته می‌شود تا با سرعت متوسط جریان ترافیک، حرکت کند.
- روش‌های خودروی شناور و خودروی متوسط، برای تخمین زمان سفر متوسط در طول مقطع به کار می‌روند. روش خودروی شناور، معمولاً فقط برای راه‌های دوخطه که سبقت‌های کمی در آن رخ می‌دهد و امکان شمارش تعداد آن‌ها به سادگی وجود دارد، به کار می‌رود. در یک آزادراه چندخطه، این روش رانندگی بسیار دشوار بوده و ممکن است خطراتی را در پی داشته باشد. روش خودروی متوسط، نتایج مشابهی را بدست می‌دهد، ضمن اینکه مانع از اعمال استرس و نگرانی به راننده خودروی آزمون می‌شود.

روش خودروی پیشینه، شرایط متوسط در جریان ترافیک را نشان نمی‌دهد، بلکه، زمان سفر اندازه‌گیری شده در این روش، نماینده حد پایین توزیع زمان سفر است. این زمان سفر، بیشتر نشانگر ۱۵ درصد خودروهاست تا تعداد متوسط آن‌ها. سرعت محاسبه شده بر مبنای این زمان سفر نیز تقریباً نماینده سرعت ۸۵ درصد است.

بنابراین، ضروری است کلیه خودروهای آزمون یک یک مطالعه خاص، از روش یکسانی پیروی کنند، مقایسه زمان سفرهایی که از روش‌های مختلفی بدست آمده‌اند، نتیجه معتبری ارایه نخواهد کرد.

مسایل مربوط به اندازه نمونه، مشابه مطالعات سرعت نقطه‌ای است. اگر از روش خاصی برای رانندگی استفاده شود، انحراف معیار نتایج تقریباً محدود بوده و نمونه‌های کمتری لازم است. این مساله بسیار مهم است. اگر تعداد زیادی خودروی آزمون در مدت کوتاهی وارد جریان ترافیک شوند، بر عملکرد آن تاثیر گذاشته و نتایج مشاهده را تغییر خواهند داد. در اغلب کاربردهای عملی، تعداد خودروهای آزمون که منجر به اندازه‌گیری زمان سفر با سطح اطمینان کافی و دقت مناسب خواهد شد، بین ۶ تا ۱۰ خودرو و حداکثر ۵۰ خودرو، بسته به نوع راه و حجم ترافیک، متغیر است. حالت آخر معمولاً باعث تاثیر بر جریان ترافیک می‌شود و لازم است که در بازه زمانی بیشتری، مثلاً طی ساعت اوج عصر چندین روز مختلف، انجام شود.

روش دیگری نیز برای جمع‌آوری آمار زمان سفر وجود دارد. یک مشاهده‌گر در کنار جاده، می‌تواند شماره پلاک خودروهای عبوری از یک نقطه معین در طول مسیر را ثبت کند. ساعت عبور هم به همراه شماره پلاک ثبت می‌شود. در این روش، امکان جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تاخیر در نقاط میانی وجود ندارد. نمونه‌گیری بسیار دشوار بوده و ثبت زمان و شماره پلاک همه خودروها ممکن نیست. فرض کنید که نمونه‌ای شامل ۵۰٪ همه شماره پلاک‌ها در تمام محل‌های آمارگیری ثبت شود. احتمال آن که یک شماره پلاک در دو محل مشاهده شود، $0.5 \times 0.5 = 0.25$ یا ۲۵٪ است. احتمال آنکه یک شماره پلاک در سه محل مشاهده شود نیز، $0.5 \times 0.5 \times 0.5 = 0.125$ یا ۱۲.۵٪ است. به علاوه، روش رانندگی رانندگان یکسان نیست و برای دستیابی به نتایج دقیق و مطمئن، باید شماره پلاک‌های بسیار زیادی نسبت به حالت خودروی آزمون ثبت شود.

در برخی مواقع، می‌توان تمام محدوده مورد مطالعه را از یک نقطه مرتفع مشاهده و حرکت تک تک خودروها را در جریان ترافیک مستقیماً بررسی نمود. در این روش، معمولاً از فیلم‌برداری استفاده می‌شود و می‌توان زمان سفر تقریباً همه خودروها را مشاهده و ثبت نمود. روش دیگری به جای مشاهده مستقیم، تجهیز خودروی آزمون با دستگاه‌های مختلفی است که همزمان با حرکت خودرو در طول مقطع مورد مطالعه، نمودار سرعت را نسبت به زمان ترسیم می‌کند. به این ترتیب می‌توان داده‌های مربوطه به زمان سفر نقاط کلیدی و محل و مدت تاخیر ناشی از توقف را از نمودار استخراج نمود.

جدول ۹-۴، نمونه‌ای از فرم جمع‌آوری داده‌های زمان سفر را به خودروی آزمون نشان می‌دهد. داده‌های نمونه‌ی نشان داده شده در جدول ۹-۴، مربوط به یک طول ۱۰/۵ کیلومتری از بزرگراه لینکلن است که یک بزرگراه ۶ خطه شهری محسوب می‌شود. نقاط کلیدی به صورت هر ۱/۵ کیلومتر از حاشیه بزرگراه تعریف شده‌اند. البته می‌توان از تقاطع‌ها و یا سایر نقاط هم به عنوان نقاط کلیدی استفاده نمود. زمان رسیدن به هر نقطه کلیدی ثبت می‌شود. داده‌های هر قطعه، فاصله بین نقطه کلیدی

قبلی تا نقطه مورد نظر را نشان می‌دهد. بنابراین، برای قطعه‌ای که به صورت mp16 نامگذاری شده، داده‌های قطعه مربوط به قطعه بین نقاط ۱۶ و ۱۷ است. کل تاخیر ناشی از توقف در هر قطعه، به همراه تعداد توقف‌ها ثبت می‌شود. در ستون "ملاحظات"، نظر مشاهده گردد مورد علت تاخیر ذکر می‌گردد. زمان سفر در کل مقطع بر اساس اختلاف زمان سفرهای تجمعی بین نقاط کلیدی محاسبه می‌شود.

جدول ۹-۴ نمونه‌ای از فرم آمارگیری زمان سفر

محل: بزرگراه لینکلن				شماره حرکت: ۳	محل شروع: نقطه ۱۵	
آمارگیر: ویلیام مک شین				تاریخ: ۲۰۰۲/۸/۱۰	زمان شروع: ۵:۰۰ عصر	
نقطه کلیدی	فاصله تجمعی در طول مسیر (km)	زمان سفر تجمعی (ثانیه: دقیقه)	هر قطعه			ملاحظات
			تاخیر ناشی از توقف (ثانیه)	تعداد توقف‌ها	زمان سفر در قطعه (ثانیه: دقیقه)	
MP ۱۶	۱/۵	۱:۳۵	۰/۰	۰	۱:۳۵	
MP ۱۷	۳/۰	۳:۰۵	۰/۰	۰	۱:۳۰	
MP ۱۸	۴/۵	۵:۵۰	۴۲/۶	۳	۲:۴۵	توقف به دلیل چراغ راهنمایی در: MP ۱۷/۲ MP ۱۷/۵ MP ۱۸/۰
MP ۱۹	۶/۰	۷:۵۰	۴۶/۰	۴	۲:۰۰	توقف ناشی از چراغ در MP ۱۸/۵ و پارک دوبله خودروها
MP ۲۰	۷/۵	۹:۰۳	۰/۰	۰	۱:۱۳	
MP ۲۱	۹/۰	۱۰:۴۵	۶/۰	۱	۱:۴۲	توقف ناشی از اتوبوس مدرسه
MP ۲۲	۱۰/۵	۱۲:۰۰	۰/۰	۰	۱:۱۵	
جمع قطعه	۱۰/۵	-	۸۸/۶	۸	۱۲:۰۰	

در این مطالعه، تاخیر در قطعه‌ای منتهی به نقاط ۱۸ و ۱۹ به حداکثر می‌رسد، و بنابراین، بیشترین زمان سفر مربوط به این قطعه‌ها است. اگر در همه یا اغلب دفعاتی که خودروی آزمون از این قطعه‌ها عبور می‌کند، نتیجه مشابهی حاصل شود، باید مطالعه بیشتری روی آن‌ها انجام شود. از آنجا که علت اصلی تاخیر، وجود چراغ راهنمایی ذکر شده، باید برای بهبود وضعیت این دو قطعه، زمان‌بندی و هماهنگ‌سازی چراغ‌ها در نظر قرار گیرد. در یکی از قطعه‌ها هم وجود پارک دوبله به

عنوان عامل تاخیر ذکر شده است. وضعیت پارکینگ شامل نظارت پلیس و ظرفیت پارکینگ‌های موجود هم باید مورد توجه قرار گیرد.

۹-۳-۲- داده‌های زمان سفر در یک راه شریانی: مثالی از پارامترهای آماری زمان سفر

به دلیل میزان هزینه و تجهیزات مورد نیاز برای انجام مطالعات زمان سفر (شامل خودروهای آزمون، رانندگان، دفعات مختلف حرکت، روزهای مختلف مطالعه، و غیره)، تمایل طبیعی بر این است که تعداد مشاهدات، N ، را تا حد ممکن کمتر در نظر گرفت. در این قسمت، یک شریانی فرضی در نظر گرفته می‌شود که زمان سفر متوسط واقعی در طول یک قطعه $4/5$ کیلومتری از آن، 169 ثانیه است. انحراف معیار استاندارد زمان سفر 15 ثانیه و توزیع زمان‌های حرکت خودروهای آزمون نرمال است. توجه شود که در این مرحله، بحث در مورد زمان‌های حرکت است و شامل تاخیر ناشی از توقف در طول مسیر نیست، در نتیجه، معادل زمان سفر نخواهد بود.

با فرض توزیع نرمال زمان‌های سفر، زمان سفر متوسط در طول قطعه، 169 ثانیه است و 95% همه زمان‌های سفر، در فاصله $29/4 = 1/96(15)$ ثانیه از این مقدار خواهند بود. بنابراین، حد 95% زمان‌های سفر، $166/6 = 169 - 29/4$ تا $225/4 = 169 + 29/4$ ثانیه خواهد بود. سرعت‌های متناظر با این مقادیر زمان سفر عبارتند از:

$$S_1 = \frac{4/5 \text{ km}}{225/4 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 71/9 \text{ km/h}$$

$$S_{av} = \frac{4/5 \text{ km}}{169} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 82/65 \text{ km/h}$$

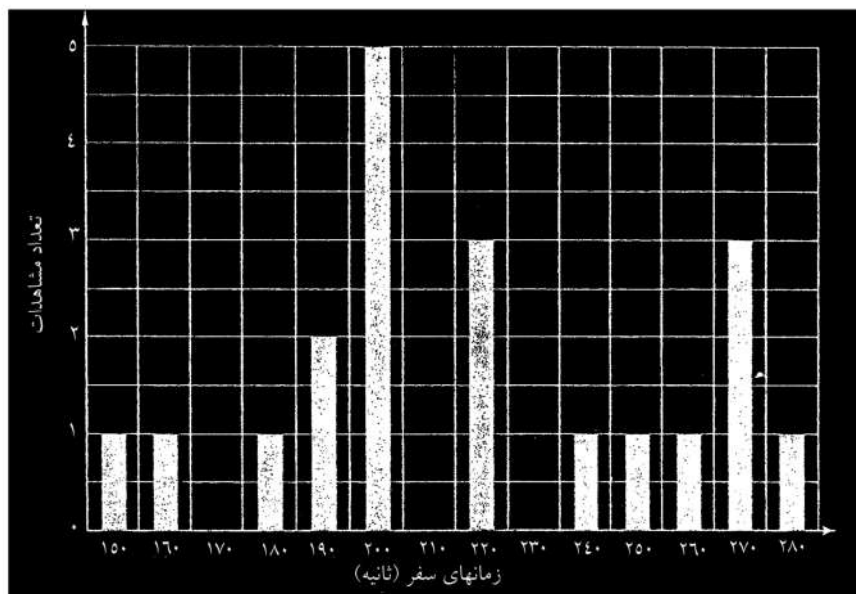
$$S_2 = \frac{4/5 \text{ km}}{166/6} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 97/2 \text{ km/h}$$

توجه شود که میانگین دو حد زمان سفر در سطح 95% ، برابر $84/515 \text{ km/h}$ است. $2 \pm (71/9 + 97/2)$ است، نه $82/65 \text{ km/h}$. این اختلاف، ناشی از حقیقت است که زمان‌های سفر به صورت نرمال توزیع شده و نسبت به هم، قرینه هستند. در نتیجه توزیع سرعت حرکت، اریب است. اگر زمان سفر نرمال باشد، توزیع سرعت که معکوس زمان سفر است، نمی‌تواند نرمال باشد. بر اساس مشاهدات انجام شده در مورد زمان سفر در طول قطعه $4/5$ کیلومتری، مقدار متوسط مناسب برای سرعت برابر $82/65 \text{ km/h}$ است.

تا اینجا، فقط زمان‌های حرکت خودروهای آزمون در طول مقطع بررسی شد. نتایج زمان سفر واقعی که از 20 بار حرکت خودروی آزمون بدست آمده، در شکل ۹-۵ دیده می‌شود.

این توزیع، نرمال به نظر نمی‌رسد. در واقع، اصلاً نرمال نیست زیرا کل زمان سفر، مجموع زمان‌های حرکت (که به صورت نرمال توزیع شده‌اند) و زمان‌های تاخیر ناشی از توقف است که از توزیع دیگری پیروی می‌کنند. به طور مشخصی می‌توان نتیجه گرفت:

تعداد توقف‌های ناشی از چراغ راهنمایی	احتمال رخداد	مدت توقف‌ها
۰	۰/۵۶۹	۰ ثانیه
۱	۰/۳۰۰	۴۰ ثانیه
۲	۰/۱۳۱	۸۰ ثانیه



شکل ۹-۵ نمودار میله‌ای داده‌های زمان سفر برای ۲۰ بار حرکت در طول قطعه ۴/۵ کیلومتری

مشاهدات جدول ۹-۴، ترکیبی از انتخاب تصادفی سرعت حرکت توسط راننده و تاثیر تاخیر ناشی از چراغ هستند که از رابطه فوق، پیروی می‌کنند.

زمان سفر متوسط واقعی مشاهدات شکل ۹-۵، برابر ۲۱۸/۵ ثانیه و انحراف معیار استاندارد آن ۳۸/۳ ثانیه است. محدوده سطح اطمینان ۹۵٪ برای مقدار متوسط برابر است با:

$$218.5 \pm 1.96 \left(\frac{38.3}{\sqrt{20}} \right) = 218.5 \pm 16.79$$

$$\text{ثانیه } 239.29 - \text{ثانیه } 201.71$$

سرعت‌های مربوط به مقدار متوسط و این مقادیر حدی زمان سفر، عبارتند از:

$$S_i = \frac{4.5 \text{ km}}{239.29 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 68.85 \text{ km/h}$$

$$S_{av} = \frac{4.5 \text{ km}}{218.5 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 74.11 \text{ km/h}$$

$$S_r = \frac{4.5 \text{ km}}{201.71 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{h} = 80.31 \text{ km/h}$$

یک روش دیگر برای بررسی زمان سفر متوسط، جمع کردن متوسط زمان حرکت (۱۹۶ ثانیه) با متوسط زمان تاخیر است که از احتمالات فوق، به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$d_{av} = (0.069 \times 0) + (0.30 \times 40) + 0.131 \times 80 = 22/5 \quad \text{ثانیه}$$

بنابراین، انتظار می‌رود، زمان متوسط، برابر $196 + 22/5 = 218/5$ ثانیه باشد، که با مقدار بدست آمده از نمودار میله‌ای اندازه‌گیری‌ها، برابر است.

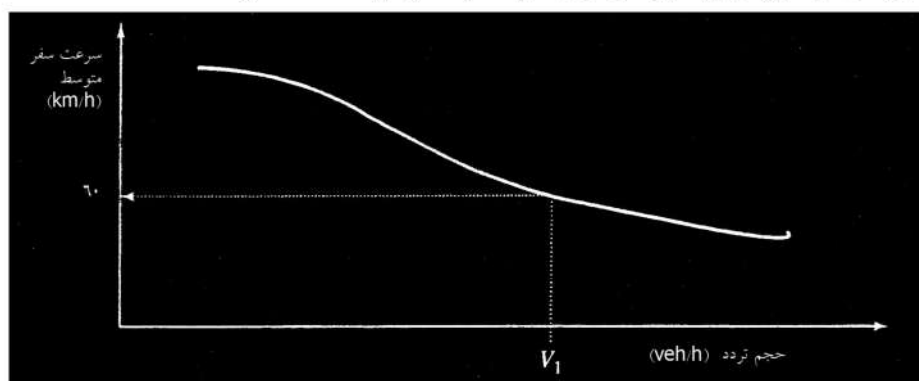
۹-۳-۳- کنار گذاشتن مقادیر پیش فرض: مثال دیگری از تحلیل آماری داده‌های زمان

سفر

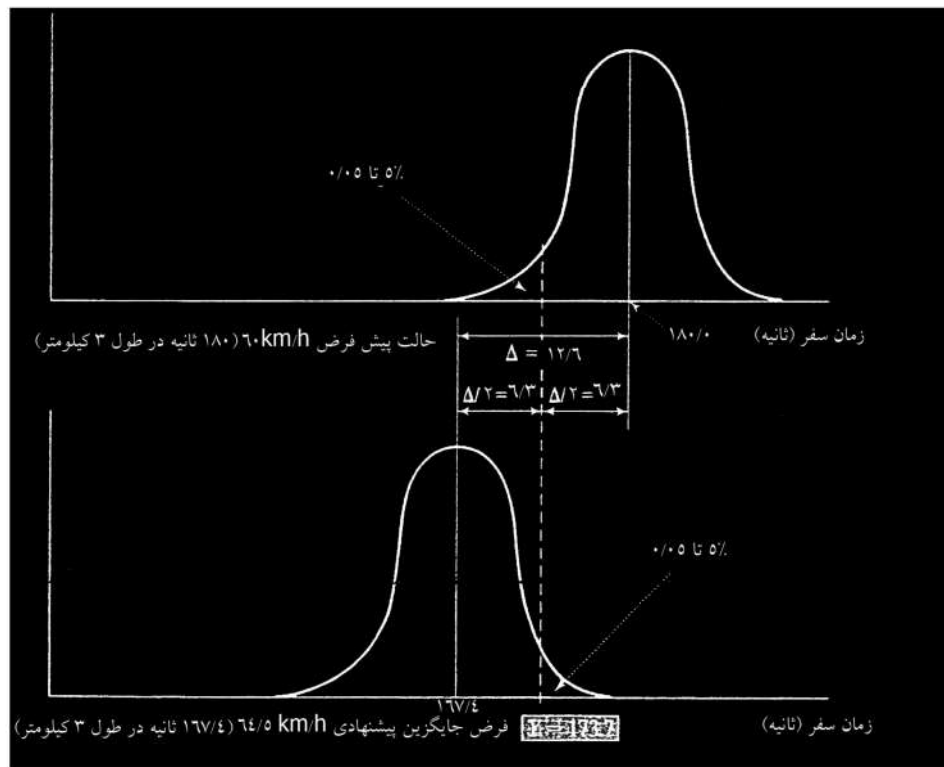
شکل ۹-۶، یک منحنی پیش فرض را برای سرعت سفر متوسط در طول یک شریانی چهار خطه نشان می‌دهد که توسط یک سازمان محلی، تطابق‌دهی (کالیبره) شده است. مشابه کلیه مقادیر "استاندارد"، استفاده از مقادیر دیگری که از اندازه‌گیری‌های محلی بدست آمده، به جای مقدار استاندارد، مجاز است.

حالتی را در نظر بگیرید که مقدار پیش‌فرض سرعت سفر با حجم مفروض V_1 ، برابر 60 Km/h باشد. بر اساس زمان سفر سه بار حرکت در طول قطعه ۳ کیلومتری، متوسط سرعت اندازه‌گیری شده $64/5 \text{ km/h}$ است. آیا تحلیل‌گر می‌تواند از مقدار اندازه‌گیری شده به جای مقدار پیش‌فرض استفاده کند؟

سوال این است که آیا اختلاف $4/5 \text{ km/h}$ مشاهده شده بین مقدار استاندارد و مقدار اندازه‌گیری شده، به لحاظ آماری کافی است یا خیر؟ از دیدگاه عملی (در این حالت فرضی)، اغلب مهندسان بر این باورند که مقادیر استاندارد شکل ۹-۶ بسیار کم هستند و معمولاً مقادیر بیشتر مشاهده می‌شود. به این ترتیب باید از آزمون یک‌طرفه فرضیه استفاده شود.



شکل ۹-۶- منحنی پیش‌فرض تعریف شده توسط یک اداره (فرضی)



شکل ۹-۷- آزمایش حالت پیش فرض (فرض صفر) و فرض جایگزین پیشنهادی

شکل ۹-۷، یک توزیع احتمالی را برای متغیر تصادفی $Y = \sum t_i / N$ نشان می‌دهد، که زمان سفر متوسط را در طول مقطع برآورد می‌کند. بر اساس سرعت‌های سفر متوسط استاندارد و اندازه‌گیری شده، زمان‌های سفر در طول یک قطعه ۳ کیلومتری از راه برابر است با:

$$\text{ثانیه } 180 = \frac{3}{60} \times 3600$$

$$\text{ثانیه } 167/4 = \frac{3}{64/5} \times 3600$$

این مقادیر، مطابق شکل ۹-۷ به عنوان فرض صفر و فرض جایگزین، ترسیم شده‌اند. نکات

زیر در مورد شکل ۹-۷ قابل ذکر است.

- خطای I و خطای II با هم مساوی و ۵٪ (۰/۰۵) فرض شده است.
- بر اساس جدول نرمال استاندارد از فصل ۷ (جدول ۷-۳)، مقدار Z_{α} متناظر با احتمال $(z \leq z_{\alpha}) = 0/95$ (مربوط به آزمون یک‌طرفه با خطای I و II مساوی ۵٪) برابر ۱/۶۴۵ است.
- اختلاف بین فرض صفر و فرض جایگزین، زمین سفری معادل $180 - 167/4 = 12/6$ ثانیه است، که با Δ نشان داده می‌شود.
- انحراف معیار استاندارد زمان سفر، ۲۸ ثانیه است.

مطابق شکل ۹-۷، برای آن که اختلاف بین فرض‌های صفر و جایگزین، از لحاظ آماری کافی باشد، باید مقدار $\Delta/2$ مساوی یا بزرگتر حاصل ضرب $1/645$ در خطای استاندارد زمان سفر باشد، یعنی:

$$\frac{\Delta}{2} \geq 1/645 \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

$$6/3 \geq 1/645 \left(\frac{28}{\sqrt{3}} \right) = 26/6$$

واضح است که در این حالت، اختلاف کافی نیست و نمی‌توان مقدار اندازه‌گیری شده $64/5 \text{ km/h}$ را جایگزین مقدار پیش‌فرض نمود. می‌توان با داشتن مقدار انحراف معیار استاندارد (۲۸)، رابطه فوق را برای تعیین مقدار N ، حل نمود.

$$N \geq \frac{8486}{\Delta^2}$$

یادآوری می‌شود که Δ ، اختلاف بین زمان‌های سفر در طول مسیر ۳ کیلومتری است، نه اختلاف بین سرعت‌های سفر متوسط. جدول ۹-۵، حداقل اندازه نمونه را برای پذیرش امکان جایگزینی سرعت پیش‌فرض با مقدار اندازه‌گیری شده برای سرعت سفر متوسط، نشان می‌دهد. مثلاً برای اینکه فرض جایگزین $64/5 \text{ km/h}$ پذیرفته شود، اندازه نمونه باید $54 = 8486 \div (12/6)^2$ باشد. با این حال، همان‌طور که در شکل ۹-۷ دیده می‌شود، اگر ۵۴ نمونه برداشت می‌شد، گزینه جایگزین فقط تا هنگامی قابل قبول می‌بود که زمان سفر متوسط، کمتر از $173/7$ ثانیه باشد (یعنی سرعت سفر متوسط بیشتر از $62/2 \text{ km/h} = 3600 \div 137/7 \times 3$ باشد). جدول ۹-۵ برخی فرض‌های جایگزین را به همراه اندازه نمونه لازم و نقاط تصمیم‌گیری مورد قبول، ارائه می‌کند.

جدول ۹-۵ نقاط تصمیم‌گیری و اندازه نمونه لازم برای قبول فرض‌های جایگزین مختلف

مقدار پیش فرض (سرعت سفر متوسط) km/h	فرض جایگزین (سرعت سفر متوسط) km/h	اندازه نمونه لازم N	نقطه تصمیم‌گیری (زمان سفر متوسط)، y (km/h)
۶۰	۶۳	≥ 115	۶۱/۵
۶۰	۶۴/۵	≥ 54	۶۲/۱
۶۰	۶۶	≥ 32	۶۲/۸۵
۶۰	۶۷/۵	≥ 22	۶۳/۶

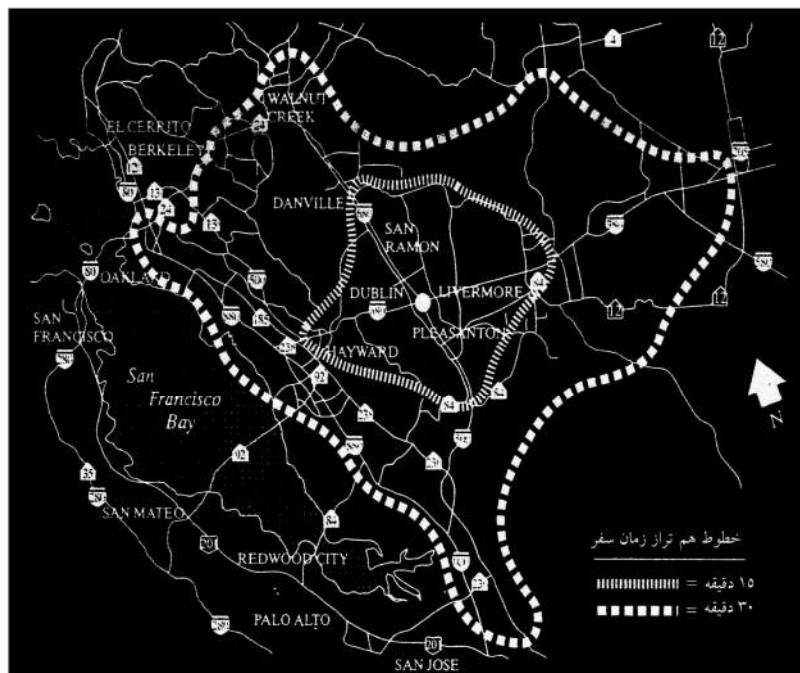
هر چند مساله فوق، برخی تحلیل‌های آماری به داده‌های زمان سفر را نشان می‌دهد، دانشجو باید صحت روش فرمول‌بندی فوق را بررسی کند. آیا باید خطای II و خطای I را مساوی قرار داد؟

آیا وجود یک مقدار پیش فرض، این کار را رد می‌کند؟ آیا هرگز مقدار جایگزینی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده پذیرفته خواهد شد؟ (مثلاً، آیا مقدار جایگزین $64/5 \text{ km/h}$ در صورتی که سرعت سفر متوسط نمونه‌ای شامل ۵۴ اندازه‌گیری یا بیشتر، $62/4 \text{ km/h}$ باشد که از مقدار تصمیم‌گیری $62/25 \text{ km/h}$ بیشتر است، پذیرفته خواهد شد؟).

با توجه به دامنه عملی اندازه نمونه در اغلب مطالعات زمان سفر، توجیه جایگزینی مقادیر پیش فرض بسیار دشوار است. با این حال، باید بررسی‌هایی برای اصلاح مقادیر پیش فرض و منحنی‌های مورد استفاده توسط ادارات مربوطه صورت گیرد.

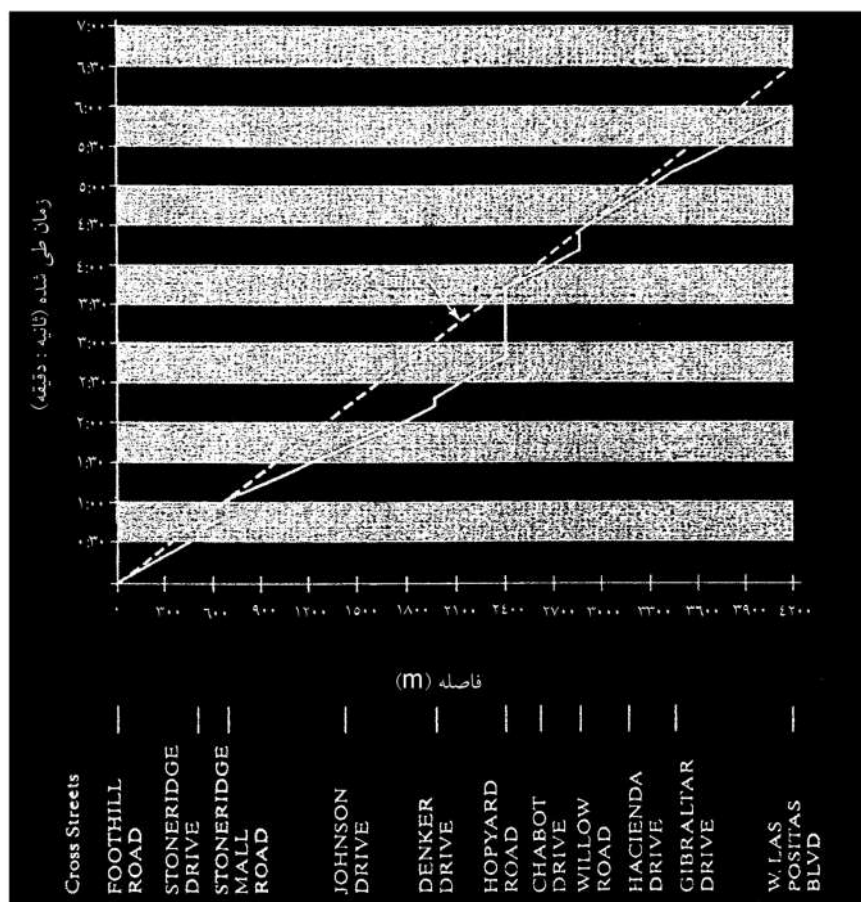
۹-۳-۴- نمایش زمان سفر

روش‌های مختلفی برای نمایش داده‌های زمان سفر وجود دارد. یکی از این روش‌ها که برای برنامه‌ریزی کلی ترافیک منطقه به کار می‌رود، تهیه نقشه خطوط هم‌تراز زمان سفر، مطابق شکل ۹-۸ است. زمان سفر در طول همه مسیرهای اصلی ورودی یا خروجی به ناحیه مرکزی اندازه‌گیری می‌شود. خطوط هم‌تراز از زمان، معمولاً با فاصله‌های ۱۵ دقیقه‌ای ترسیم می‌شود. شکل این خطوط، یک دید کلی و فوری برای ارزیابی زمان سفر در کریدورهای مختلف ارائه می‌دهد. هر چه خطوط هم‌تراز به هم نزدیک‌تر باشد، زمان لازم برای طی یک مسیر معین افزایش می‌یابد. این نحوه ترسیم برای برنامه‌ریزی‌های کلان و شناسایی کریدورها و قطعاتی از سیستم که نیازمند ساماندهی و اصلاح هستند، به کار می‌رود.

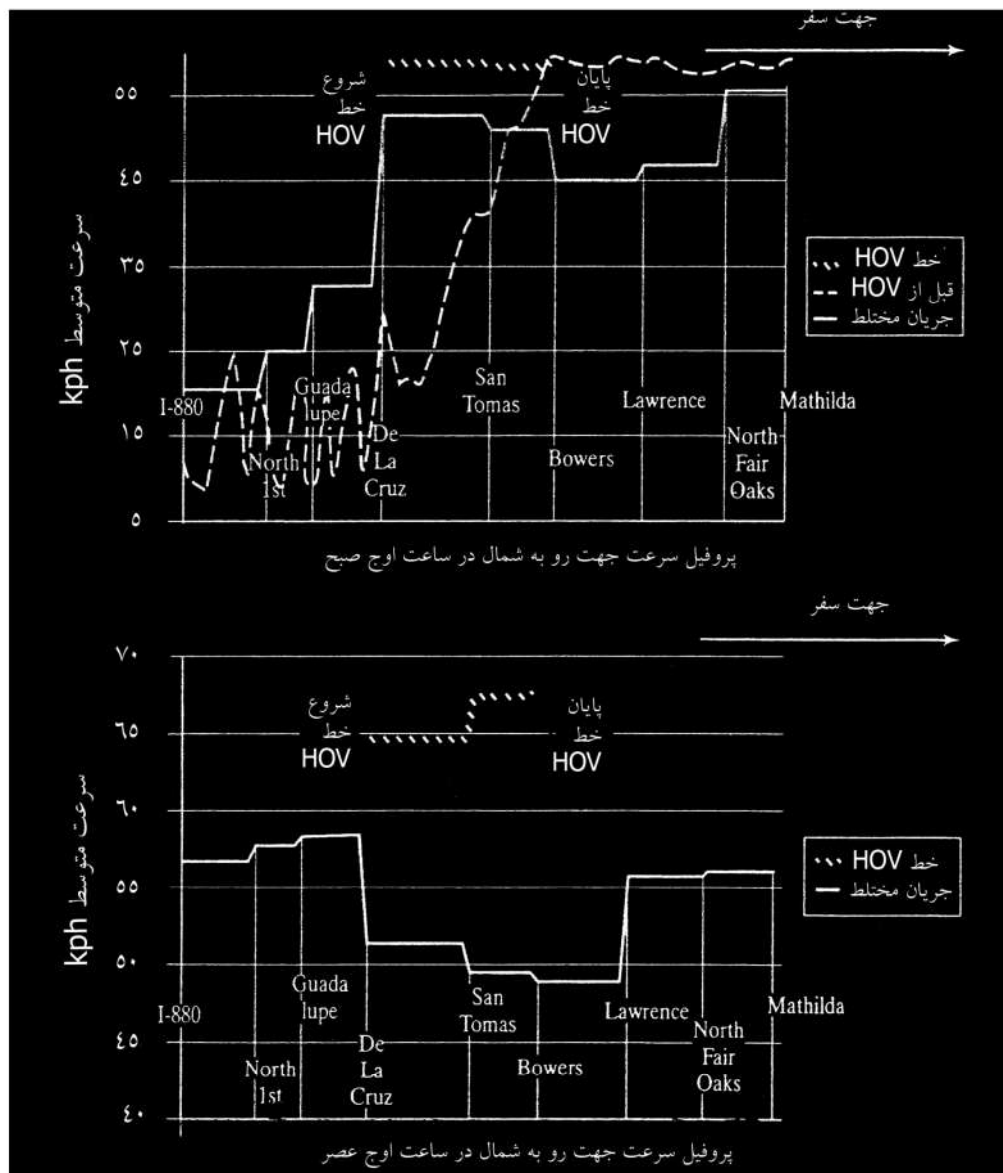


شکل ۹-۸- نقشه خطوط هم‌تراز زمان سفر

زمان سفر در طول یک مسیر هم به روش‌های مختلفی قابل نمایش است. شکل ۹-۹، نمایش ترسیمی زمان سفر تجمعی را در طول یک مسیر نشان می‌دهد. شیب خط در هر قطعه سرعت را نشان می‌دهد (m/s)، و تاخیر ناشی از توقف به وضوح توسط خطوط عمودی دیده می‌شود. شکل ۹-۱۰، سرعت سفر متوسط در مقابل فاصله ترسیم شده است. در هر دو حالت، محله‌های مساله‌دار به خوبی مشخص هستند و مهندس ترافیک می‌تواند روی محل‌ها و مقاطعی تمرکز کند که تحت بیشترین ازدحام هستند و با بیشترین زمان سفر (یا کمترین سرعت متوسط) نشان داده شده‌اند.



شکل ۹-۹- نمایش زمان طی شده در مقابل فاصله



شکل ۹-۱۰- نمایش سرعت سفر متوسط در قطعات مسیر

۹-۴- مطالعات تاخیر در تقاطع

برخی از انواع تاخیر به عنوان بخشی از مطالعه زمان سفر و با توجه به محل و مدت توقفها در طول یکبار حرکت خودروی آزمون، اندازه‌گیری می‌شود. یکی از پیچیدگی‌های مطالعات تاخیر، تنوع تعریف‌های ارائه شده برای آن است که در بخش‌های اولیه این فصل مورد اشاره قرار گرفت. روش اندازه‌گیری باید با تعریف تاخیر سازگار باشد.

قبل از سال ۱۹۹۷، تاخیر ناشی از توقف به عنوان شاخص اصلی تاخیر در تقاطع بود. هر چند اندازه‌گیری میدانی انواع مختلف تاخیر آسان نیست، اما اندازه‌گیری تاخیر ناشی از توقف از بقیه ساده‌تر است. با این حال، شاخص کارایی فعلی برای تقاطع‌های دارای کنترل توقف و یا کنترل با

چراغ راهنمایی، کل تاخیر کنترل^۱ است. تاخیر کنترل به صورت زمان تاخیر در صف به اضافه زمان تلف شده به دلیل افزایش و کاهش سرعت تعریف می‌شود. راهنمای ظرفیت جاده ۲۰۰۰ [۱] روشی را برای اندازه‌گیری میدانی تاخیر کنترل ارائه کرده که با توجه به فرم شکل ۹-۱۱ انجام می‌شود.

کاربرگ تاخیر کنترل در تقاطع											
اطلاعات کلی											
تقاطع						تحلیل گر					
نوع محدوده <input type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> غیره						شرکت					
سال تحلیل						تاریخ					
						مدت زمان تاخیر					
پارامترهای ورودی اولیه											
تعداد کل خودروهای ورودی V_T						تعداد خطوط، N					
تعداد خودروهای متوقف V_{STOP}						فاصله زمانی شمارش‌ها					
طول چرخه D (ثانیه)											
داده‌های میدانی											
تعداد خودروها در صف										شماره چرخه	زمان
فاصله شمارش											
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
											جمع

شکل ۹-۱۱- فرم آمارگیری میدانی تاخیر در تقاطع‌های چراغ‌دار

روش مطالعه‌ای که در راهنمای ظرفیت جاده توصیه شده، بر اساس مشاهده مستقیم تعداد خودروها در صف، در دوره‌های زمانی مختلف است و باید حداقل توسط دو مشاهده کننده، انجام شود. نکات زیر قابل توجه است:

^۱ Control delay

۱. این روش در شرایط جریان غیراشباع و با وجود حداکثر ۲۰ تا ۲۵ خودرو در صف کاربرد دارد.
۲. این روش، تاخیر ناشی از کاهش و افزایش سرعت را به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌کند، اما از یک ضریب اصلاحی برای تخمین آن، بهره می‌برد.
۳. این روش برای اصلاح خطاهای احتمالی در فرآیند نمونه‌گیری، اصلاحاتی را انجام می‌دهد.
۴. مشاهده‌گر باید قبل از شروع آمارگیری اصلی، سرعت آزاد را برآورد نماید. به این منظور، هنگامی که صفی در تقاطع وجود ندارد، یک خودرو از چراغ سبز عبور می‌کند، یا سرعت رویکرد در نقطه‌ای که تحت تاثیر چراغ نباشد، اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌گیری اصلی، با شروع زمان قرمز در خط مورد نظر، آغاز می‌شود. تقاطع نباید تحت تاثیر پس‌زدگی صف ناشی از زمان سبز قبلی باشد. فعالیت‌های زیر توسط دو مشاهده‌گر انجام می‌شود:

مشاهده گر ۱

- انتهای صف متوقف در هر چرخه، از طریق مشاهده آخرین خودروی متوقف در هر خط، ثبت می‌شود. این شمارش شامل خودروهایی است که در زمان سبز می‌رسند ولی به فاصله یک خودرو از صف خودروهایی که هنوز شروع به حرکت نکرده‌اند، متوقف می‌شوند.
- در فاصله‌های زمانی ۱۰ و ۲۰ ثانیه، تعداد خودروها در صف، روی فرم آمارگیری ثبت می‌شود. طول چرخه باید مضربی از فاصله زمانی انتخاب شده برای این شمارش باشد. خودروهایی جزء صف هستند که در صف خودروهای متوقف (به شرح فوق) بوده و هنوز از تقاطع خارج نشده‌اند. در مورد خودروهای مستقیم‌رو، "خروج از تقاطع" هنگامی رخ می‌دهد که چرخ عقب آن‌ها از خط توقف عبور کند. خودروهای گردش‌ی نیز هنگامی از تقاطع "خارج" شده‌اند، که از جریان پیاده یا خودروی مقابل خود عبور کرده و شروع به افزایش شتاب نماید.
- در پایان دوره آمارگیری، شمارش خودروها همچنان ادامه می‌یابد تا هنگامی که کلیه خودروهای ورودی به تقاطع در دوره آمارگیری، از آن خارج شوند.

مشاهده گر ۲

- در تمام مدت مطالعه، تعداد خودروهایی که در مدت آمارگیری به تقاطع می‌رسند و نیز

تعداد خودروهایی که یکبار یا بیشتر در مدت آمارگیری متوقف می‌شوند، به طور جداگانه شمارش می‌شوند. شمارش خودروهای متوقف، صرف نظر از تعداد دفعات توقف، فقط یکبار انجام می‌شود.

برای سادگی، مدت آمارگیری به صورت تعداد صحیحی از چرخه‌ها تعریف می‌شود، هر چند یک مدت زمان دلخواه (مثلاً ۱۵ دقیقه) نیز قابل استفاده و در مورد چراغ‌های هوشمند (القایی) ضروری است.

مجموع تعداد خودروها در صف برای هر ستون تعیین می‌شود و سپس این مجموع‌ها برای محاسبه تعداد کل خودروها در صف برای مدت مطالعه، با هم جمع می‌شوند. سپس فرض می‌شود که متوسط زمان در صف برای خودروی شمارش شده، برابر فاصله زمانی بیش شمارش‌هاست. یعنی:

$$T_Q = \left(L_S \times \frac{\sum V_{iq}}{V_T} \right) \times 0.9 \quad (9-15)$$

که در آن:

T_Q = متوسط زمان در صف، S/veh

I_s = فاصله زمانی بین شمارش‌های زمان در صف، S

$\sum V_{iq}$ = مجموع همه خودروها در صف، veh

V_T = مجموع تعداد خودروهایی که در مدت مطالعه به تقاطع می‌رسند، Veh

۰/۹ = ضریب اصلاح تجربی.

ضریب اصلاحی ۰/۹، خطاهای ناشی از این روش نمونه‌گیری را اصلاح می‌کند. این خطاها،

باعث تخمین تاخیر به مقدار بیشتر از حد واقعی می‌شود.

اصلاح دیگری برای تاخیر ناشی از کاهش و افزایش سرعت، نیازمند محاسبه دو مقدار زیر

است:

۱. تعداد متوسط خودروهای متوقف در هر خط، در هر چرخه، و

۲. نسبت خودروهای رسیده به تقاطع که متوقف می‌شوند.

این مقادیر به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$V_{slc} = \frac{V_{stop}}{N_C \times N_L} \quad (9-16)$$

که در آن:

V_{slc} = تعداد خودروهای متوقف در هر خط در هر چرخه، Veh/ln/cycle

V_{stop} = تعداد کل خودروهای متوقف شمارش شده، vehs

N_C = تعداد چرخه‌ها در مدت آمارگیری

N_L = تعداد خطوط در رویکرد مورد مطالعه

$$FVS = \frac{V_{stop}}{V_T} \quad (۱۷۹-۹)$$

که در آن:

FVS = نسبت خودروهای متوقف

با استفاده از تعداد خودروهای متوقف در هر خط در هر چرخه، و سرعت آزاد اندازه‌گیری شده برای رویکرد مورد نظر، ضریب اصلاحی از جدول ۹-۶ بدست می‌آید.

جدول ۹-۶- ضریب اصلاحی برای تاخیر ناشی از کاهش و افزایش سرعت

تعداد خودروهای متوقف در هر خط در هر چرخه (V_{slc})			سرعت آزاد Km/h
۲۰ تا ۳۰ خودرو	۸ تا ۱۹ خودرو	۷ خودرو یا کمتر	
-۱	+۲	+۵	$\leq ۵۵/۵$
+۲	+۴	+۷	$۵۵/۵ - ۶۷/۵$
+۵	+۷	+۹	$\geq ۶۷/۵$

به این ترتیب، تاخیر کنترل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d = T_Q + (FVC \times CF)$$

که در آن:

d = کل تاخیر کنترل، S/veh

CF = ضریب اصلاح از جدول ۹-۶.

جدول ۹-۷: نمونه‌ای از فرم برداشت میدانی را نشان می‌دهد، که خلاصه داده‌های آمارگیری در یک رویکرد تقاطع چراغ‌دار را نشان می‌دهد. این رویکرد دو خط دارد و طول چرخه ۶۰ ثانیه است. ۱۰ چرخه مورد بررسی قرار گرفته و فاصله زمانی شمارش خودروها در صف، ۲۰ ثانیه است. متوسط زمین در صف، با استفاده از رابطه ۹-۱۵ محاسبه می‌شود:

$$T_Q = (20 \times \frac{132}{120}) \times 0.9 = 19.8 \text{ S/veh}$$

برای تعیین ضریب اصلاح از جدول ۹-۶، تعداد خودروهای متوقف در هر خط در هر چرخه

به کمک رابطه ۹-۱۶ محاسبه می‌شود:

$$V_{SLC} = \frac{75}{10 \times 2} = 3.75 \text{ Vehs}$$

به این ترتیب و با استفاده از سرعت آزاد که برابر $52/5 \text{ km/h}$ اندازه‌گیری شده، ضریب اصلاحی معادل $+5$ ثانیه انتخاب می‌شود. حال تاخیر کنترل با کمک روابط $9-17$ و $9-18$ برآورد می‌گردد:

$$FVS = \frac{75}{120} = 0/625$$

$$d = 19/8 + (0/625 \times 5) = 22/9 \quad \text{S/veh}$$

برای اندازه‌گیری تاخیر ناشی از زمان توقف نیز می‌توان از روش مشابهی استفاده نمود. در این حالت، فاصله شمارش‌ها فقط شامل خودروهای متوقف در محدوده صف تقاطع است و خودروهای در حال حرکت، در نظر گرفته نمی‌شوند. هیچ اصلاحی هم برای تاخیر ناشی از کاهش یا افزایش سرعت اعمال نمی‌گردد.

جدول ۹-۷- داده‌های نمونه برای مطالعه تاخیر تقاطع چراغ‌دار

زمان	شماره چرخه	تعداد خودروها در صف		
		۰ + ثانیه	۲۰ + ثانیه	۴۰ + ثانیه
۵:۰۰ Pm	۱	۴	۷	۵
۵:۰۱ Pm	۲	۶	۶	۵
۵:۰۲ Pm	۳	۳	۵	۵
۵:۰۳ Pm	۴	۲	۶	۴
۵:۰۴ Pm	۵	۵	۳	۳
۵:۰۵ Pm	۶	۵	۴	۵
۵:۰۶ Pm	۷	۶	۸	۴
۵:۰۷ Pm	۸	۳	۴	۳
۵:۰۸ Pm	۹	۲	۴	۳
۵:۰۹ Pm	۱۰	۴	۳	۵
	جمع	۴۰	۵۰	۴۲
$\Sigma V_{ix} = 132 \text{ veh} \quad V_T = 120 \text{ vehs} \quad V_{STOP} = 75 \quad FFS = 52/5 \text{ km/h}$				

۹-۵- کلام آخر

زمان، یکی از نکات کلیدی مورد توجه رانندگان و سایر مسافران برای حرکت از جایی به جای دیگر است. مسافران اغلب مایل هستند زمان سفر را تا حد ممکن، کاهش دهند. مطالعات زمان سفر و تاخیر، داده‌های لازم را برای بررسی ازدحام، زمان سفر در مقاطع مختلف و تاخیر در نقاط

مختلف فراهم می‌کند. با بررسی دقیق این داده‌ها، علت ازدحام، زمان سفر و تاخیر بیش از حد تعیین شده و روش‌های مهندسی ترافیک برای بهبود مشکلات، قابل ارایه خواهند بود.

سرعت، عکس زمان سفر است. مسافران مایل هستند، سرعت سفر خود را به گونه‌ای سازگار با ایمنی، افزایش دهند. داده‌های سرعت، برای بررسی مسایل مختلفی از جمله ایمنی، زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، تعیین سرعت مجاز، محل علایم و تابلوها، بسیاری مسایل مرتبط با مهندسی ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مراجع

1-High way capacity manual, the Edition, Transportation Research board, National science Foundation, Washington DC, 2000.

مسائل

۹-۱- داده‌های سرعت نقطه‌ای زیر را که از یک آزادراه در شرایط جریان آزاد جمع‌آوری

شده‌اند، در نظر بگیرید:

تعداد خودروهای مشاهده شده ، N	دسته سرعت km/h
	۳۰/۰-۲۲/۵
	۳۷/۵-۳۰/۰
	۴۵/۰-۳۷/۵
	۵۲/۵-۴۵/۰
	۶۰/۰-۵۲/۵
	۶۷/۵-۶۰/۰
	۷۵/۰-۵/۶۷
	۸۲/۵-۷۵/۰
	۹۰/۰-۸۵/۵۰
	۹۷/۵-۹۰/۰
	۱۰۵-۹۷/۵

الف) منحنی‌های فراوانی و فراوانی تجمعی را برای این داده‌ها ترسیم نمایید.

ب) روی منحنی‌ها، سرعت میانه، سرعت مد، گام و درصد خودروها در گام را تعیین نمایید.

پ) مقدار متوسط و انحراف معیار توزیع سرعت را محاسبه کنید.

ت) محدوده سرعت متوسط واقعی توزیع کلی با سطح اطمینان ۹۵٪ چقدر است؟ با سطح اطمینان ۷/۹۹٪ چقدر؟

ث) براساس نتایج این مطالعه، قرار است مطالعه دیگری انجام شود تا یک رواداری $\pm 3h/km$ با سطح اطمینان ۹۵٪ حاصل شود. اندازه نمونه باید چقدر باشد؟

ج) آیا این داده‌ها را می‌توان نرمال در نظر گرفت؟

۹-۲- دو مطالعه سرعت نقطه‌ای نمونه زیر را که در محلی برای تعیین تاثیر تابلوی جدید سرعت مجاز $75h/km$ انجام شده‌اند، در نظر بگیرید.

الف) آیا تابلوی جدید سرعت مجاز، در کاهش سرعت متوسط در این محل موثر بوده است؟

ب) آیا تابلوی جدید سرعت مجاز، در کاهش سرعت متوسط به $75h/km$ موثر بوده است؟

موضوع	قبل	بعد
سرعت متوسط	$82/95h/km$	$79/2h/km$
انحراف معیار استاندارد	$7/5h/km$	$8/4h/km$
اندازه نمونه	۱۰۰	۸۵

۹-۳- قرار است اندازه‌گیری زمان سفر در طول قطعه‌ای از یک راه شریانی انجام شود. تعداد حرکت‌های لازم را برای برآورد زمان سفر متوسط کلی با سطح اطمینان ۹۵٪ و دقت ± 2 دقیقه، ± 5 دقیقه ± 10 دقیقه و انحراف معیار استاندارد ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه تعیین کنید، نتیجه به صورت یک جدول 3×3 ارائه شود.

۹-۴- داده‌های زیر در مطالعه تاخیر کنترل در یک رویکرد تقاطع چراغ‌دار جمع‌آوری گردید. طول چرخه چراغ ۹۰ ثانیه است.

الف) متوسط زمان طی شده در صف را برآورد نمایید.

ب) متوسط تاخیر کنترل را به ازای هر خودرو در این رویکرد برآورد نمایید.

پ) آیا مدت دوره آمارگیری مناسب به نظر می‌رسد؟ چرا؟

زمان	شماره چرخه	تعداد خودروها در صف					
		۰ + ثانیه	۱۵ + ثانیه	۳۰ + ثانیه	۴۵ + ثانیه	۶۰ + ثانیه	۷۵ + ثانیه
۸:۰۰ Am	۱	۲	۴	۲	۱	۴	۳
	۲	۳	۳	۲	۱	۴	۴
۸:۰۳ Am	۳	۳	۲	۴	۲	۵	۶

۴	۲	۳	۶	۴	۱	۴	۸:۰۶ Am
۷	۶	۵	۴	۵	۵	۵	
۵	۳	۴	۴	۲	۵	۶	
۳	۳	۲	۳	۳	۴	۷	۸:۰۹ Am
۴	۵	۳	۵	۲	۲	۸	
۴	۲	۴	۲	۲	۱	۹	۸:۱۲ Am
۵	۲	۱	۱	۴	۳	۱۰	
۳	۴	۴	۳	۵	۳	۱۱	۸:۱۵ Am
۴	۳	۴	۳	۲	۲	۱۲	
V _T = ۲۰۰ Vehs V _{STOP} = ۱۰۰ FFS = ۶۳ km/h							

۵-۹- نتایج یک مطالعه زمان سفر در جدول زیر آورده شده است. برای این داده‌ها:

الف) نتایج زمان سفر و تاخیر به صورت جدول و ترسیمی نشان دهید. سرعت سفر متوسط و سرعت حرکت متوسط را برای هر مقطع نشان دهید.

ب) توجه شود که تعداد حرکت‌ها برای اندازه‌گیری در این مساله، ۵ بار انتخاب شده که الزاماً با نتایج مساله ۳-۹ سازگار نیست. با فرض آنکه هر خودرو ۵ بار حرکت کند، چند خودروی آزمون برای دستیابی به دقت $\pm 4/5 \text{ km/h}$ با سطح اطمینان ۹۵٪ لازم است؟

نتایج ۵ بار حرکت		آمارگیر: XYZ		بلوار ارین
هر مقطع		زمان سفر تجمعی (min:Sec)	طول تجمعی مقطع km	شماره نقطه کلیدی
تعداد توقف‌ها	تاخیر (s)			
—	—	—	—	۱
۱	۱۰	۲:۰۵	۱/۵۰	۲
۱	۳۰	۴:۵۰	۳/۳۷	۳
۱	۲۵	۷:۳۰	۵/۲۵	۴
۲	۴۲	۹:۱۰	۶/۰	۵
۱	۴۷	۱۰:۲۷	۶/۳۷	۶
۱	۱۴	۱۱:۵۴	۷/۵	۷

فصل

۱۱

پارکینگ : مطالعات، ویژگی‌ها، تسهیلات و برنامه‌ها

۱۱-۱- مقدمه

هر فرد سفر خود را بصورت پیاده شروع و خاتمه می دهد. بجز برخی تسهیلات خاص که جدیداً ایجاد شده‌اند مانند برخی بانک‌ها و رستوران‌های حاضری که افراد در حین رانندگی از این تسهیلات استفاده می کنند، رانندگان عموماً مبدأ خود را بصورت پیاده ترک می کنند و به مقصد خود بصورت پیاده وارد می شوند. در مورد سفرهایی که با سواری شخصی انجام می گیرند، بخش پیاده روی سفر از فضای پارکینگ آغاز و خاتمه می یابد. در سفرهایی که از نواحی مسکونی آغاز می شوند، وسایل نقلیه شخصی به گذرهای خصوصی و پارکینگ‌ها طبقاتی، به فضاهای پارکینگ حاشیه خیابان‌ها و یا به پارکینگ‌های مسطح دسترسی پیدا کرده‌اند. اما در سمت دیگر سفر، موقعیت و طبیعت فرصت‌های پارکینگ به میزان زیادی بستگی به عملکرد کاربری زمین و چگالی آن و همچنین به بازه گسترده‌ای از سیاست‌های عمومی و شاخص‌های برنامه‌ریزی دارد.

برای اینکه زمین بطور پربار استفاده شود، می بایست در دسترس باشد. اگرچه حمل و نقل عمومی می تواند بخش اصلی در فراهم آوردن دسترسی در یک ناحیه متراکم شهری تلقی شود، لیکن در اکثر قسمت ها، دسترسی تابعی از عرضه، سهولت و هزینه تسهیلات پارکینگ دارد. مراکز فعالیت اصلی، از مراکز خرید عمومی گرفته تا تسهیلات ورزشی و فرودگاه ها، تکیه بر عرضه مناسب پارکینگ برای فراهم آوردن دسترسی به محل دارند. بدون چنین عرضه ای، این تسهیلات قادر به عملکرد سودمند در دوره های زمانی مهم نخواهند بود.

حیات اقتصادی بسیاری از مراکز فعالیت مستقیماً به وضعیت پارکینگ و سایر اشکال دسترسی مرتبط می باشد. عرضه پارکینگ می بایست متوازن با سایر اقسام دسترسی (حمل و نقل عمومی)، شرایط ترافیکی ایجاد شده از انواع دسترسی و محیط عمومی مراکز فعالیت صورت پذیرد. مادامیکه حیات اقتصادی مهمترین چیزی باشد که موجودیت پارکینگ مرتبط است، اثرات محیطی ترافیک ایجاد شده ممکن است تأثیراتی منفی در بر داشته باشد.

این فصل تلاش می کند که چشم اندازی از موارد و مباحث مرتبط با پارکینگ فراهم آورد. پوشش مطالب بگونه ای تنظیم نشده است که کامل و جامع باشد و لذا خواننده تشویق می گردد که به منابع موجود رجوع نماید تا مطالب تکمیلی و جزئیات بیشتری در این موضوع کسب نماید. این فصل به چهار موضوع کلیدی در خصوص پارکینگ می پردازد :

- ایجاد پارکینگ و نیازهای مربوط به عرضه آن
- مطالعات پارکینگ و ویژگی های آن
- طراحی و مکانیابی تسهیلات پارکینگ
- برنامه های پارکینگ

۱۱-۲- ایجاد پارکینگ و نیازهای مربوط به عرضه آن

موضوع کلیدی در زمینه پارکینگ، تعیین تعداد فضای مورد نیاز برای هرگونه توسعه کاربری است. همچنین اینکه این فضاها می بایست در کجا استقرار یابند نیز اهمیت زیادی دارد. این الزامات، در قالب ضوابطی ناحیه‌ای برای حداقل تعداد فضای پارکینگ مورد نیاز در زمان ساخته شدن کاربری‌ها بروز می کنند. نیاز به فضاهای پارکینگ بستگی به پارامترهای مختلفی دارد که بررسی و ارزیابی برخی از آنها مشکل است. نوع و اندازه کاربری مورد نظر، شاخص اصلی در این خصوص به حساب می آید؛ هرچند که شاخص هایی از قبیل تراکم عمومی محیط توسعه و مقدار و کیفیت دسترسی سیستم حمل و نقل عمومی نیز در این زمینه نقش دارند.

۱۱-۲-۱- ایجاد پارکینگ

جامعترین منبع اطلاعاتی در زمینه ایجاد و تأمین پارکینگ، ویرایش دوم کتاب /ایجاد پارکینگ می باشد که توسط مؤسسه مهندسين حمل و نقل به چاپ رسیده است [۱]. متأسفانه این مرجع در سال ۱۹۸۷ به چاپ رسیده است که در مرحله نگارش کتاب حاضر (۲۰۰۲)، ویرایش سوم آن در دست تهیه است و پیش بینی می شود در سال آینده آماده بهره برداری باشد.

ایجاد پارکینگ به حداکثر تعداد مشاهده شده فضاهای پارکینگ اشغال شده ارتباط دارد که متغیری جایگزین بجای اندازه و سطح فعالیت کاربری زمین مورد نظر به حساب می آید. مطالعات اخیر که در مرجع مفاهیم پارکینگ [۲] گزارش شده است، دو نوع متغیرهای ارجح و جایگزین برای تعیین نرخ ایجاد پارکینگ استفاده کرده اند. این متغیرها در جدول (۱۱-۱) نشان داده شده اند.

جدول (۱۱-۱). واحدهای مرسوم در تعیین میزان تأمین پارکینگ.

واحد مربوطه پارکینگ		نوع کاربری زمین
جایگزین	ارجح	
بازاء واحد مسکونی در بازه‌ای بسته به تعداد اتاق‌های خواب	بازاء واحد مسکونی	مسکونی تک خانوار
بازاء واحد مسکونی	بازاء واحد مسکونی در بازه‌ای بسته به تعداد اتاق‌های خواب	مسکونی آپارتمان
N/A	بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GLA *	مرکز خرید
N/A	بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	سایر خرده فروشی‌ها
بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	بازاء شاغلان	دفتر کار
بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	بازاء شاغلان	صنعتی
بازاء تخت	بازاء شاغلان	بیمارستان
بازاء دفتر	بازاء پزشکان	پزشکی/دندانپزشکی
بازاء تخت	بازاء شاغلان	مرکز پرستاری
N/A	بازاء واحد	هتل/متل
بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	بازاء صندلی	رستوران
N/A	بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	بانک
N/A	بازاء صندلی	انجمن عمومی
بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	بازاء خط	بولینگ
N/A	بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA **	کتابخانه

GLA* = مساحت خالص تجاری

GFA** = مساحت خالص طبقه

خلاصه‌ای از نرخ‌های ایجاد پارکینگ و روابط آن‌ها که از مرجع [۱] گرفته شده است در جدول (۱۱-۲)

نشان داده شده است.

جدول (۱۱-۲). نرخ‌های متداول تأمین پارکینگ.

تعداد مطالعات	R^2	معادله b	بازاء	نرخ میانگین	کاربری زمین a
۱۱	۰/۹۶۲	$P = 1.32X - 53.0$	واحد مسکونی	۱/۲۱	مسکونی - آپارتمان با ارتفاع کم/متوسط
۷	۰/۵۱۶	$P = 0.34X + 105.0$	واحد مسکونی	۰/۸۸	مسکونی - آپارتمان با ارتفاع زیاد
۳۲	۰/۹۰۸	$P = 1.29X - 23.0$	واحد مسکونی	۱/۱۱	مسکونی - مالکیت مشترک
۲۲	۰/۴۹۸	$\ln P = 0.71 \ln X + 1.42$	اتاق	۰/۸۱	مجموعه هتل
۱۰	۰/۴۹۶	$P = 0.42X + 70.0$	اتاق	۰/۸۹	متل - w/رستوران/محل استراحت
۴	۰/۸۵۴	$P = 0.37X + 11.0$	اتاق	۰/۵۱	متل - w/o/رستوران/محل استراحت
۸	۰/۷۷۴	$\ln P = 0.94 \ln X + 0.54$	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۱/۵۵	صنعتی - سبک
۵	۰/۷۶۳	$\ln P = 1.38 \ln X - 2.10$	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۱/۴۸	صنعتی - پارک صنعتی
۲۰	۰/۹۶۱	$P = 1.02X + 51.0$	۱۰۰۰ فوت مربع مساحت ساختمان	۱/۵۹	صنعتی - کارخانه‌ای
۲۰	۰/۶۳۷	$\ln P = 0.95 \ln X + 0.81$	تخت	۱/۷۹	درمانی - بیمارستان
۴۰	۰/۹۵۸	$\ln P = 0.82 \ln X + 1.81$	۱۰۰۰ فوت مربع مساحت ساختمان	۴/۱۱	درمانی - پزشکی / دندانپزشکی
۲۰۷	۰/۸۷۰	$\ln P = 0.93 \ln X + 1.253$	۱۰۰۰ فوت مربع مساحت ساختمان	۲/۷۹	دفتر - دفتر عمومی
۲۴	۰/۹۰۶	$P = 2.58X - 14.03$	۱۰۰۰ فوت مربع مساحت ساختمان	۲/۵۲	دفتر - پارک اداری
۱۴۱	۰/۹۳۹	$\ln P = 1.173 \ln X + 0.064$	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۳/۹۷	خرید - مرکز خرید
۳۴	۰/۴۷۲	$P = 15.35X - 23.0$	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۱۵/۸۹	رستوران - رستوران کیفی
۱۱	۰/۹۲۸	$P = 9.54X - 2.0$	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۹/۰۸	رستوران - رستوران خانوادگی
۱۱	۰/۸۳۷	$P = 0.50X - 322.0$	صندلی	۰/۲۶	تفریحی - سالن سینما
۴۳	۰/۵۷۴	$\ln P = 0.72 \ln X + 2.35$	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۴/۳۷	تفریحی - کلوپ ورزشی
۸	۰/۸۴۹	$P = 0.495X - 4.0$	شرکت کننده	۰/۴۳	مذهبی - کلیسا یا کنیسه

a تأمین پارکینگ نشان داده شده برای روز اوج در هفته.

b شاخص P بیانگر تعداد اوج فضاهای پارک اشغال شده و X متغیری است که بر اساس اطلاعات ستون «بازاء» تعیین می شود.

جدول (۱۱-۲)، تنها نمونه‌ای از اطلاعات ایجاد پارکینگ از مرجع ایجاد پارکینگ را نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به کاربردهای دیگر در این مرجع ارائه شده است لیکن این اطلاعات بر اساس نمونه گیری‌های بسیار کوچک مبتنی هستند. حتی برای آن دسته از کاربری‌های زمین که در جدول ارائه شده است، تعداد محلهایی که برای کالیبراسیون انتخاب شده‌اند همیشه مناسب نبوده است و مقادیر R^2 اغلب دلالت بر تغییر پذیری زیاد در مشخصات پارکینگ دارد.

به این دلیل، اغلب ترجیح داده می‌شود که طرح‌ریزی برای نیازهای پارکینگ بر اساس مقادیر کالیبره شده محلی برای کاربری‌های و تسهیلات مشابه به عنوان مبنا انجام گیرد.

موردی از یک پارک اداری کوچک با ۲۵۰۰۰ فوت مربع مساحت فضای دفتری را در نظر بگیرید. سؤال این است که حداکثر بارگذاری پارکینگ مورد انتظار این مجتمع در ساعت اوج چقدر است؟ با استفاده از اطلاعات جدول (۱۱-۲) برای پارک‌های اداری، متوسط اشغال پارکینگ در دوره اوج ۲/۵۲ بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع مساحت ساختمانی است که برای این مورد $۲۵ \times ۲/۵۲ = ۶۳$ خواهد بود. برآورد دقیقتر در این خصوص می‌تواند از رابطه ارائه شده برای این نوع تسهیلات بدست آید :

$$P = 2/51X - 14/03 = 2/51 * 25 - 14/03 = 50/5 \text{ فضا}$$

بدین ترتیب بازه‌ای از ۵۱ تا ۶۳ فضای پارکینگ پیش روی مهندس قرار می‌گیرد. بنابراین این نوع رهنمودهای کلی می‌توانند چشم‌اندازی برای نیازهای پارکینگ فراهم آورند و نکته مهم آن است که انجام مطالعات محلی برای بررسی میزان تأمین پارکینگ بر اساس استانداردهای ملی حایز اهمیت می‌باشد.

اطلاعات جدیدتر در خصوص مراکز خرید بر اساس مطالعات جامعی که در سال ۱۹۹۸ انجام گرفته است در دسترس می‌باشد [۳]. در این مطالعه بیش از ۴۰۰ مرکز خرید مورد آمارگیری قرار گرفتند که نتیجه آن

انتشار «نسبت‌های پارکینگ» توصیه شده و تعداد فضاهای مورد نیاز به ازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع GLA می‌باشد. این مراکز بر اساس کلیت اندازه (با واحد GLA) و درصدی از کل مساحت مرکز که به سینما، رستوران و سایر کاربری‌های تفریحی اختصاص شده است طبقه‌بندی شدند. نتایج این مطالعه بصورت خلاصه در جدول (۱۱-۳) ارائه شده است.

رهنمون‌های ارائه شده در این مطالعه بر این اساس ۲۰ امین ساعت پیک پارکینگ استوار هستند. به این معنی که تنها ۱۹ ساعت در سال وجود دارد که تقاضای پارکینگ از مقادیر توصیه شده فراتر می رود. تقاضای پارکینگ در نظر گرفته شده، هم مشتریان و هم شاغلان در مجموعه را در بر می گیرد.

جدول (۱۱-۳). نسبت‌های پارکینگ توصیه شده (فضای پارکینگ بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع GLA) در مطالعات سال ۱۹۹۸.

درصد استفاده برای سینما، رستوران و سایر کاربری‌های تفریحی					انداز مرکز (GLA کل)
٪۰	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۱۵	۴/۳۰	۰ - ۹۹۹,۳۹۹
۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۱۵	۴/۳۰	۴۰۰,۰۰۰ - ۴۱۹,۹۹۹
۴/۰۶	۴/۰۶	۴/۰۶	۴/۲۱	۴/۳۶	۴۲۰,۰۰۰ - ۴۳۹,۹۹۹
۴/۱۱	۴/۱۱	۴/۱۱	۴/۲۶	۴/۴۱	۴۴۰,۰۰۰ - ۴۵۹,۹۹۹
۴/۱۷	۴/۱۷	۴/۱۷	۴/۳۲	۴/۴۷	۴۶۰,۰۰۰ - ۴۷۹,۹۹۹
۴/۲۲	۴/۲۲	۴/۲۲	۴/۳۷	۴/۵۲	۴۸۰,۰۰۰ - ۴۹۹,۹۹۹
۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۴۳	۴/۵۸	۵۰۰,۰۰۰ - ۵۱۹,۹۹۹
۴/۳۳	۴/۳۳	۴/۳۳	۴/۴۸	۴/۶۳	۵۲۰,۰۰۰ - ۵۳۹,۹۹۹
۴/۳۹	۴/۳۹	۴/۳۹	۴/۵۴	۴/۶۹	۵۴۰,۰۰۰ - ۵۵۹,۹۹۹
۴/۴۴	۴/۴۴	۴/۴۴	۴/۵۹	۴/۷۴	۵۶۰,۰۰۰ - ۵۷۹,۹۹۹
۴/۵۰	۴/۵۰	۴/۵۰	۴/۶۵	۴/۸۰	۵۸۰,۰۰۰ - ۵۹۹,۹۹۹
۴/۵۰	۴/۵۰	۴/۵۰	۴/۶۵	۴/۸۰	۶۰۰,۰۰۰ - ۶۵۰,۰۰۰

در مواردی که سالن‌های نمایش فیلم و تئاتر، رستوران‌ها و سایر تسهیلات تفریحی بیش از ۲۰٪ مساحت تجاری خالص (GLA) را اشغال می‌کنند، روش «پارکینگ اشتراکی» توصیه شده است. به این صورت که نیازهای پارکینگ بطور جداگانه برای تسهیلات خرید، سینما، رستوران‌ها و تسهیلات تفریحی پیش‌بینی گردد. در این خصوص مطالعه محلی میزان همپوشانی استفاده از فضاهای پارک را تعیین می‌کند. فرضاً فضاهای پارکینگی که توسط خریداران در بعد از ظهر استفاده می‌شود، ممکن است در عصر توسط مشتریان سینما استفاده شود.

مورد زیر را در نظر بگیرید: یک مرکز خرید منطقه‌ای جدید با مساحت ۱,۰۰۰,۰۰۰ فوت مربع GLA قرار است ساخته شود. پیش‌بینی می‌شود که ۱۵٪ از GLA بوسیله سالن سینما، رستوران‌ها و سایر تسهیلات تفریحی اشغال شود. بر اساس اطلاعات توصیفی جدول (۱۱-۳)، نسبت پارکینگ مورد نیاز در این مجتمع ۴/۶۵ فضا بازا هر ۱۰۰۰ فوت مربع GLA معادل ۴,۶۵۰ = ۱,۰۰۰ * ۴/۶۵ فضای پارکینگ می‌باشد.

مرجع [۴] مدل دقیقتری برای پیش‌بینی نیاز به پارکینگ در دوره اوج ارائه می‌کند. از آنجا که این مدل دارای جرئیات بیشتری است، اطلاعات ورودی متعددی برای بکار بردن آن مورد احتیاج می‌باشد. بر این اساس تقاضای پارکینگ اوج بصورت زیر برآورد می‌گردد:

$$D = \frac{NKRP * pr}{O} \quad (11-1)$$

که در آن:

D : تعداد فضای پارکینگ مورد نیاز.

N : اندازه فعالیت اندازه‌گیری شده متناسب با نوع واحد (سطح طبقه، تعداد شاغلین، تعداد واحد

مسکونی و سایر پارمترهای مرتبط با کاربری زمین).

K : بخشی از مقاصد (میزان سفرهای ختم شده) که در بازه زمانی مورد نظر اتفاق می افتند.

R : نفر - مقصد (نفر - سفر) در روز (یا هر بازه زمانی دیگر) بازاء واحد فعالیت.

P : نسبتی از مردم که بوسیله سواری شخصی به مقصد می رسند.

O : متوسط تعداد سرنشین سواری های شخصی.

pr : نسبتی از افراد که مقصد اصلی آن ها در محدوده مورد مطالعه می باشد.

مرکز خریدی دارای واحدهای خرده فروشی با مساحت ۴۰۰,۰۰۰ فوت مربع را در قلب CBD شهر در

نظر بگیرید. برآوردهای زیر در این خصوص انجام شده است:

- تقریباً ۴۰٪ کل خریداران به دلایل و مقاصد دیگری در CBD حضور دارند ($pr = ۰/۶$).
- تقریباً ۷۰٪ خریداران با اتومبیل به مرکز تجاری مورد نظر سفر می کنند ($P = ۰/۷$).
- تقریباً مجموع فعالیت صورت گرفته در مرکز تجاری، ۴۵ نفر - سفر بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع سطح خالص واحدهای تجاری می باشد که ۲۰ درصد این سفرهای در دوره اوج انباشت پارکینگ اتفاق می افتد ($K = ۰/۲۰$ و $R = ۴۵$).

- متوسط ضریب سرنشین سواری مراجعین به مرکز خرید، ۱/۵ نفر می باشد ($O = ۱/۵$).

با توجه به آنکه واحد اندازه گیری کاربری ها، ۱۰۰۰ فوت مربع فضای تجاری خالص می باشد،

$N=400$ خواهد بود. تقاضای پارکینگ در دوره اوج بر اساس رابطه (۱۱-۱) بصورت زیر برآورد می گردد:

$$D = \frac{۴۰۰ * ۰/۲ * ۴۵ * ۰/۷ * ۰/۶}{۱/۵} = ۱۰۰۸ \text{ فضای پارکینگ}$$

این عدد معادل $۲/۵۲ = ۱۰۰۸/۴۰۰$ فضای پارکینگ بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع GLA می باشد.

با وجود اینکه این روش به علت تحلیلی بودن جالب توجه است، استفاده از آن منوط به انجام چندین برآورد در رابطه با فعالیت پارکینگ است. برای اکثر بخش‌ها در صورتیکه اطلاعات دقیق محلی وجود نداشته باشد، این برآوردها مبتنی بر اطلاعات مشابه موجود از توسعه کاربری‌ها در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی می‌باشد.

۱۱-۲-۲- ضوابط ناحیه‌ای

کنترل عرضه پارکینگ برای کاربری‌های مهم عمدتاً بر اساس ملاحظات ناحیه‌ای صورت می‌پذیرد. مقررات ناحیه‌ای محلی عمدتاً حداقل تعداد فضای پارک که می‌بایست برای کاربری‌های از نوع و اندازه خاص فراهم شوند را مشخص می‌نمایند. ضوابط ناحیه‌ای همچنین اغلب احتیاجات پارک افراد معلول را معین می‌کنند و حداقل استانداردها برای بارگذاری نواحی را تنظیم می‌کنند.

مرجع [۴] مشتمل بر فهرستی قابل توجه از احتیاجات ناحیه‌ای توصیه شده برای انواع مختلف کاربری‌ها در نواحی «حومه شهری» می‌باشد. نواحی «حومه شهری» دارای دسترسی کمی به سیستم حمل و نقل عمومی هستند، همپیمایی قابل توجهی در آن‌ها دیده نمی‌شود و پیاده‌روی اجباری برای کاستن از تقاضای پارکینگ به میزان کمی در آن‌ها ملاحظه می‌شود. توصیه‌ها مبتنی بر برآوردن تقاضای ۸۵ درصد (که عبارت است از سطحی از تقاضا که تنها در ۱۵٪ زمان‌ها فراتر از آن می‌رود) هستند و خلاصه‌ای از آن در جدول (۱۱-۴) نشان داده شده است. ملزومات ناحیه‌ای معمولاً ۵٪ تا ۱۰٪ بالاتر از تقاضای انتظار ۸۵٪ در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۴-۱۱). ملزومات ناحیه‌ای فضاهای پارک توصیه شده در مناطق حومه شهری.

کاربری زمین	واحد	فضاهای پارکینگ بازاء واحد	
		تقاضای پارکینگ اوج	ملزومات ناحیه‌ای توصیه شده
مسکونی			
تک خانوار	واحد مسکونی	۲/۰	۲/۰
چند خانوار	واحد مسکونی	۲/۰	۲/۰
اتاق کار	واحد مسکونی	۱/۰	۱/۰
آپارتمان ۱ خوابه	واحد مسکونی	۱/۵	۱/۵
آپارتمان ۲ خوابه یا بیشتر	واحد مسکونی	۲/۰	۲/۰
خانه سالمندان	واحد مسکونی	۰/۷	۱ فضا بازاء کارمندان شیفت روز + ۰/۵
انباری	واحد مسکونی	۱/۰	۱/۰
مسکن تجاری			
هتل/متل	تخت خواب	۱/۲	۰/۲۵ بازاء کارمندان شیفت روز+فضاهای رستوران، محل استراحت و اتاق ملاقات+۱/۰
اتاق خواب	تخت خواب	۱/۰	۲/۰ برای مدیران مقیم + ۱/۰
درمانی			
بیمارستان	تخت	۲/۵	بزرگترین : ۲/۷ یا ۰/۲۵ بازاء کادر پزشکی+۰/۲ بازاء بیماران+۰/۴ بازاء کارمندان+۰/۳۳
مرکز پزشکی	تخت	۵/۵	بزرگترین : ۶/۰ یا ۰/۳۳ بازاء دانشجویان+۰/۲۵ بازاء کادر پزشکی+۰/۲ بازاء بیماران+۰/۴ بازاء کارمندان+۰/۵
دفتر بازرگانی			
دفتر عمومی :	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۰	۴/۰
کمتر از ۳۰۰۰۰ فوت مربع			۳/۳
بیش از ۳۰۰۰۰ فوت مربع			۳/۶
بانک‌ها	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۳	۵/۶
شعب بانک‌هایی که به رانندگان سرویس می دهند	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۵	
خدمات خرده فروشی			
خرده فروشی‌های عمومی	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۲/۲	۲/۴
پرستاری خصوصی	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۵	بزرگترین : ۴/۰ یا ۲ بازاء هر واحد مراقبت
لباس شویی‌های سکه‌ای	ماشین شستشو	۰/۵	۰/۵

جدول (۱۱-۴). ملزومات ناحیه‌ای فضاهای پارک توصیه شده در مناطق حومه شهری (ادامه).

کاربری زمین	واحد	فضاهای پارکینگ بازاء واحد	
		تقاضای پارکینگ اوج	ملزومات ناحیه‌ای توصیه شده
خرده فروشی کالاها خرده فروشی عمومی فروشگاه معمولی فروشگاه کالاهای سخت مراکز خرید: GLA > ۴۰۰,۰۰۰ فوت مربع ۴۰۰,۰۰۱ تا ۶۰۰,۰۰۰ GLA < ۶۰۰,۰۰۰ فوت مربع	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۰	۳/۳
	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۴/۰	۴/۴
	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	۳/۰	۱/۵ بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع انبار داخلی و نمای ظاهری + ۲/۵
	۱۰۰۰ فوت مربع GFA		۴/۷
		۴/۵	۵/۲
		۵/۰	۵/۸
		۵/۵	
غذا و نوشیدنی رستوران کیفی رستوران خانوادگی رستوران غذای آماده	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۲۰/۰	۲۲/۰ + ملزومات اتاق ملاقات در هر ضیافت
	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۱۱/۲	۱۲/۳ + ملزومات اتاق ملاقات در هر ضیافت ۱۶/۹ (آشپزخانه، کانتر سرویس، ناحیه انتظار) + ۵/۰ بازاء هر صندلی
	۱۰۰۰ فوت مربع GLA	۱۵/۴	
آموزشی ابتدایی / عالی کالج / دانشگاه مرکز مراقبت روزانه	کلاس درس	۱/۵	۱/۵ (شامل کلاس‌های درس و سایر اتاق‌های مورد استفاده دانش‌جویان و اساتید) + ۰/۲۵ بازاء دانش‌جویان دارای سن رانندگی
	جمعیت	نا معلوم	۱/۰ بازاء کارمندان شیفت روز و اعضای هیأت علمی + ۰/۵ بازاء دانش‌آموزان مقیم و میهمان
	کارمندان	نا معلوم	۱/۰ + ۰/۱ بازاء ظرفیت ثبت نام
فرهنگی، سرگرمی و تفریحی انجمن عمومی تفریح عمومی کنفرانس، تئاتر یا ورزشگاه کلیسا	حداکثر اشغال	نا معلوم	۰/۲۵
	حداکثر اشغال	نا معلوم	۰/۳۳
	صندلی	۰/۳۵	۰/۳۸
	صندلی	نا معلوم	۰/۵۰
صنعتی عمومی	کارمند	۰/۶۰ تا ۱/۰۰	۱/۰ + ۱/۰ بازاء ۱۰۰۰ فوت مربع GFA
انبار، کلی فروش یا خدمات عمومی	۱۰۰۰ فوت مربع GFA	نا معلوم	۰/۵۰ + فضاهای مورد نیاز برای دفتر یا نواحی فروش

ملزومات ناحیه‌ای توصیه شده در جدول (۱۱-۴) به میزان قابل توجهی در نواحی شهری که دارای دسترسی خوب به حمل و نقل عمومی هستند، پیاده‌روی اجباری در آن‌ها وجود دارد (مردمی که درست در مجاورت کاربری‌ها زندگی یا کار می‌کنند) یا دارای برنامه‌های استفاده از اتومبیل اشتراکی هستند کاهش می‌یابد. در این نواحی، خصوصیات انتخاب وسیله نقلیه برای استفاده کنندگان می‌بایست تعیین گردد و بدین ترتیب فضاهای پارکینگ ممکن است کاهش یابند. برآورد تفکیک مدی می‌بایست شرایط محلی را که می‌تواند بطور گسترده تغییر کند لحاظ نماید. در یک جامعه شهری کوچک، حمل و نقل عمومی ممکن است ۱۰٪ تا ۱۵٪ کل دسترسی‌ها را فراهم آورد؛ در منهن (شهر نیویورک)، کمتر از ۵٪ دسترسی‌های مرکز اصلی شهر توسط اتومبیل شخصی تأمین می‌گردد.

در هر نوع تسیلات پارکینگ، فضای پارکینگ افراد معلول می‌بایست بر اساس قوانین و آیین‌نامه‌های ملی و محلی فراهم آورده شود. برخی استانداردها هم تعداد فضای مورد نیاز و هم موقعیت آن‌ها را مورد اشاره قرار داده اند. انجمن مهندسان حمل و نقل [۴] توصیه می‌کند حداقل استانداردها برای فضای پارکینگ مورد نیاز افراد معلول به صورت زیر فراهم آید :

- ادارات و دفاتر : ۰/۰۲ فضای پارک بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع GFA.
- بانک ها : ۱ تا ۲ فضای پارک بازاء هر بانک.
- رستوران ها : ۰/۳ فضای پارک بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع GFA.
- خرده فروشی ها (با GFA > ۵۰۰۰۰۰ فوت مربع) : ۰/۰۷۵ فضای پارک بازاء هر ۱۰۰۰ فوت مربع

GFA.

- خرده فروشی ها (با $GFA < 500000$ فوت مربع) : $0/065$ فضای پارک بازاء هر 1000 فوت مربع

GFA.

در تمامی موارد، حداقلی مفید برای یک فضای پارک افراد معلول در نظر گرفته شده است.

۱۱-۳- مطالعات پارکینگ و ویژگی‌های آن

تعدادی از خصوصیات پارک کنندگان و پارکینگ تأثیری به سزا بر امر برنامه‌ریزی دارند. مسائل بحرانی در خصوص نیازهای عرضه پارکینگ عبارتند از مدت پارک، انباشت و ملزومات مجاورت پارک کنندگان. مدت پارک و انباشت پارکینگ به خصوصیات مختلفی ارتباط دارند. اگر ظرفیت پارکینگ در قالب «فضا-ساعت» نگریسته شود، وسایل نقلیه پارک شده برای یک مدت طولانی، ظرفیت بیشتری نسبت به وسایل نقلیه‌ای که تنها یک دوره کوتاه پارک می‌کند استفاده می‌نمایند. در هر ناحیه و یا در هر تسهیلات خاص، هدف فراهم آوردن فضای پارکینگ کافی برای مقابله با حداکثر انباشت تجمعی پارک در شرایط یک روز عادی می‌باشد.

۱۱-۳-۱- مجاورت : پارک کنندگان چه میزان پیاده‌روی می‌کنند؟

حداکثر فاصله پیاده‌روی که پارک کنندگان بر خود هموار می‌کنند با هدف سفر و اندازه شهر تغییر می‌کند. در شرایط عمومی، فاصله پیاده‌روی مقدور برای سفرهای کاری طولانی‌تر از هر نوع سفر دیگری است؛ شاید به علت دوره زمانی طولانی‌تر که این نوع سفرکنندگان درگیر آن هستند. مسافت‌های پیاده‌روی طولانی‌تر برای فضاهای پارکینگ غیر حاشیه‌ای در مقایسه با فضاهای پارکینگ حاشیه‌ای (کنار جدول) بیشتر قابل تحمل هستند. همچنین هرچه جمعیت ناحیه شهری افزایش یابد، مسافت‌های پیاده‌روی طولانی‌تری تجربه می‌شود. تمایل پارک کنندگان به پیاده‌روی به میزان مشخص به (یا از) مقاصدشان تا اتومبیل آنان می‌بایست به خوبی دانسته شود، همانطور که این مسأله تأثیر به سزایی در تعیین محل فراهم آوردن عرضه پارکینگ دارد. در

هر شرایطی، رانندگان تمایل دارند محلی برای پارک پیدا کنند که حتی الامکان به مقصدشان نزدیک باشد. حتی در شهرهای پر جمعیت (۱,۰۰۰,۰۰۰ تا ۲,۰۰۰,۰۰۰ نفر)، ۷۵٪ رانندگان در فاصله ۰/۲۵ مایلی مقصد نهایی خود پارک می کنند.

جدول (۵-۱۱)، توزیع مسافت پیاده روی بین محل های پارک تا مقاصد نهایی در نواحی شهری را نشان می دهد. این توزیع مبتنی بر مطالعاتی است که در پنج شهر مختلف (آتلانتا، پیتسبورگ، دالاس، دنور و سیاتل)، آنطور که در مرجع [۴] گزارش شده انجام گرفته است.

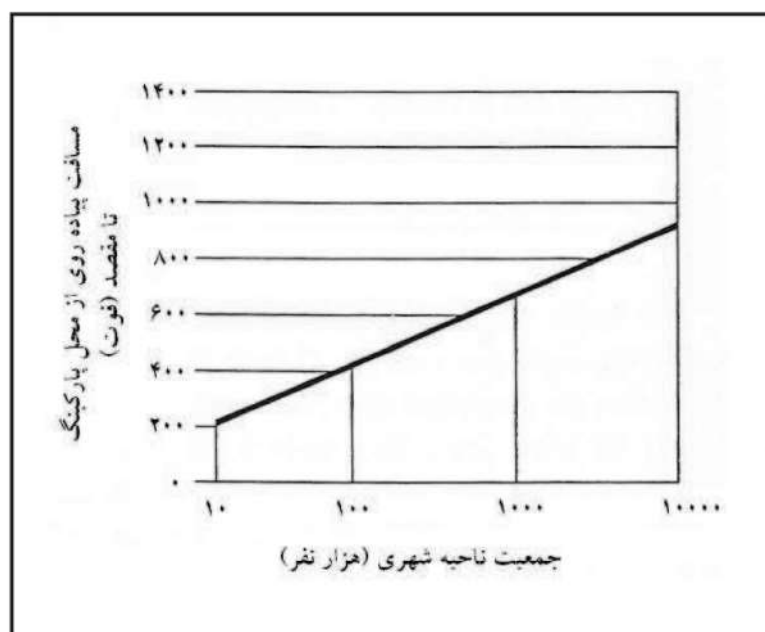
آنچنانکه در این جدول نشان داده شده است، پارک کنندگان علاقمند هستند که نزدیک به مقاصدشان باشد. یک دوم (۵۰٪) کلیه رانندگان در فاصله ۵۰۰ فوتی مقاصدشان پارک می کنند. شکل (۱۱-۱) متوسط فاصله های پیاده روی تا و از فضاهای پارک در مقابل میزان جمعیت نواحی شهری را نشان می دهد.

دیگر بار این اطلاعات بر نیاز مجاورت ظرفیت پارکینگ در نزدیکی مقاصد تأکید می کنند. حتی در یک منطقه شهری با ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ نفر جمعیت، متوسط فاصله پیاده روی تا محل پارک تقریباً ۹۰۰ فوت بوده است.

هدف سفر و دوره زمانی سفر همچنین بر مسافت پیاده روی که رانندگان تمایل به انجام آن دارند تأثیر می گذارد. برای خرید یا سایر سفرهایی که در آن ها اشیائی باید حمل شوند، مسافت پیاده روی کوتاه تری دنبال می شود. برای پارکینگ های کوتاه مدت فرضاً برای خرید روزنامه یا سفارش دادن غذا، همچنین مسافت پیاده روی کوتاهی دنبال می شود. مسلماً رانندگان حاضر نیستند برای شرایطی که تنها ۵ دقیقه می خواهند پارک کنند، ۱۰ دقیقه پیاده روی کنند. در مکانیابی تسهیلات پارکینگ، ویژگی های مربوط به دانش عمومی پارک کنندگان دارای اهمیت است، اگرچه مطالعات محلی تصویر دقیق تری در این خصوص فراهم می آورد. در برخی موارد، کاربرد شعور عمومی و قضاوت حرفه ای نیز اجزایی مهم در این امر به شمار می آیند.

جدول (۱۱-۵). فاصله پیاده روی تا محل پارکینگ در CBD.

درصد پیاده روی از این مسافت یا بیشتر		مسافت	
بازه	میانگین	مایل	فوت
	۱۰۰	۰	۰
۶۰-۸۰	۷۰	۰/۰۵	۲۵۰
۴۰-۶۰	۵۰	۰/۱۰	۵۰۰
۲۵-۴۵	۳۵	۰/۱۴	۷۵۰
۱۷-۳۷	۲۷	۰/۱۹	۱,۰۰۰
۸-۲۴	۱۶	۰/۲۸	۱,۵۰۰
۵-۱۵	۱۰	۰/۳۸	۲,۰۰۰
۰-۸	۴	۰/۵۷	۳,۰۰۰
۰-۶	۳	۰/۷۶	۴,۰۰۰
۰-۲	۱	+ ۰/۹۵	+ ۵,۰۰۰



شکل (۱۱-۱). متوسط مسافت پیاده روی بر اساس جمعیت نواحی شهری.

۱۱-۳-۲- گردآوری اطلاعات پارکینگ‌های موجود

یکی از مهمترین مطالعاتی که می‌بایست در بررسی کلی نیازهای پارکینگ لحاظ شود، گردآوری اطلاعات عرضه پارکینگ‌های موجود می‌باشد. این قبیل فهرست‌برداری‌ها شامل مشاهده و برداشت تعداد فضاهای پارکینگ و موقعیت آن‌ها، محدودیت‌های زمانی برای استفاده از فضاهای پارکینگ و نوع تسهیلات پارکینگ (فرضاً حاشیه‌ای، غیر حاشیه‌ای مسطح و غیر حاشیه‌ای طبقاتی) می‌باشد. اکثر آماربرداری‌های پارکینگ بصورت دستی انجام می‌شوند؛ با استفاده از آماربرداران پیاده در منطقه، شمارش و ثبت فضاهای کنار جدول و محدودیت‌های زمانی ممکن و همچنین ثبت موقعیت، نوع و ظرفیت تسهیلات پارکینگ غیر حاشیه‌ای، کاربرد فن‌آوری‌های سیستم حمل و نقل هوشمند برای توسعه و ارتقاء کمی سطح اطلاعات موجود و موضوع دسترسی به آن‌ها آغاز شده است. برخی تسهیلات پارکینگ برای تعیین قیمت پارکینگ شروع به استفاده از برچسب‌ها و تجهیزات الکترونیکی (مانند EZ Pass) نموده‌اند. در این پروسه همچنین می‌توان پیگیری وضعیت دوره زمانی و انباشت پارکینگ را نیز بصورت همزمان بعمل آورد. دستگاه‌های هوشمند اندازه‌گیری پارکینگ (پارکومتر) می‌توانند انواع اطلاعات مشابه را برای فضاهای پارکینگ حاشیه‌ای فراهم آورند.

برای تسهیل ثبت اطلاعات موقعیت‌های پارکینگ، محدوده مورد مطالعه معمولاً بر روی نقشه کدگذاری می‌شود. شکل (۱۱-۲) یک سیستم کدگذاری ساده را برای بلوک‌ها و نمایه‌های بلوکی نشان می‌دهد. همچنین شکل (۱۱-۳) برگه‌های برداشت میدانی که توسط آمارگران مورد استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. محل‌های پارکینگ حاشیه‌ای بر اساس ممنوعیت‌های پارکینگ و محدودیت‌های زمانی مربوطه تقسیم‌بندی می‌شوند. هنگامی که چند سطر از یک برگه برداشت میدانی برای یک بلوک مورد نیاز باشد، یک زیر مجموعه تهیه شده و نشان داده می‌شود. در مواردی که فضاهای پارک کنار جدول بطور مشخص با رنگ متمایز نشده‌اند، طول جدول

برای برآورد تعداد فضای پارک قابل دسترس مورد استفاده قرار می گیرد که این امر با استفاده از مفروضات زیر صورت می پذیرد :

- در حالت موازی جدول : ۲۳ فوت برای هر جای پارک
- در حالت پارک زاویه دار : ۱۲ فوت برای هر جای پارک
- در حالت پارک ۹۰ درجه : ۹/۵ فوت برای هر جای پارک

مادامیکه گردآوری اطلاعات پارکینگ مبتنی بر شمارش فضاهای پارک قابل استفاده در طول دوره زمانی مورد نظر - که اغلب ۸ تا ۱۱ ساعت کاری روز در نظر گرفته می شود - باشد، ارزیابی عرضه پارکینگ می بایست با در نظر گیری مقررات و محدودیت های زمانی مربوطه و متوسط طول دوره پارک در منطقه صورت پذیرد. کل عرضه پارکینگ می تواند در قالب تعداد وسایل نقلیه ای که توانسته اند در طول دوره برداشت در محدوده مطالعات پارک کنند بصورت زیر اندازه گیری شود :

$$P = \left(\frac{\sum NT}{nD} \right) * F \quad (2-11)$$

که در آن :

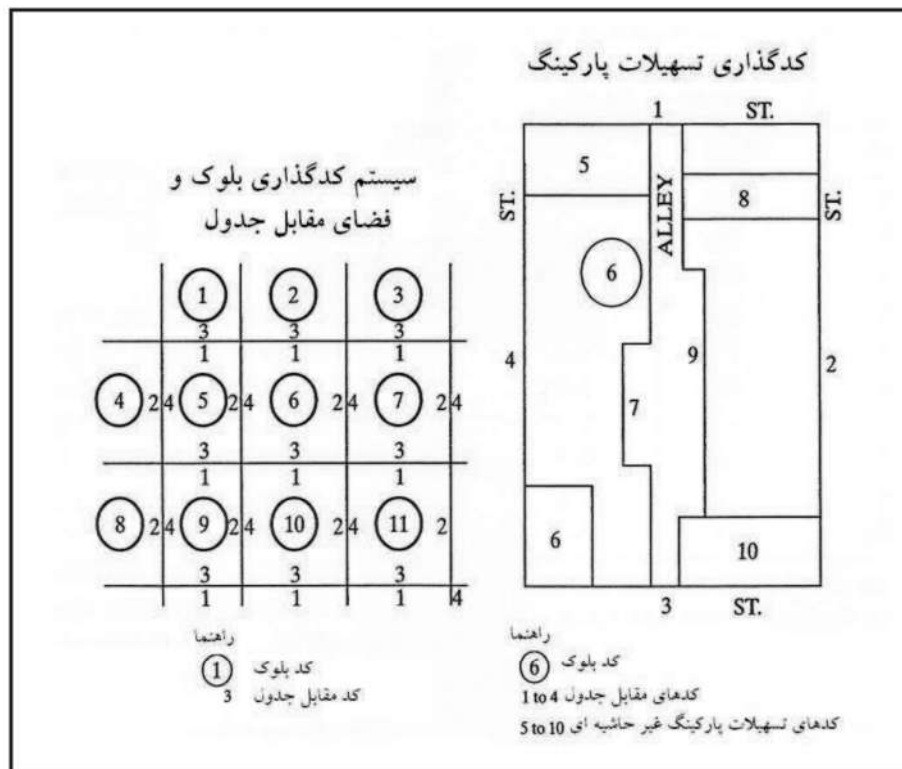
P : عرضه پارکینگ (وسیله نقلیه).

N : تعداد فضای پارکینگ از نوع مشخص در شرایط محدودیت زمانی معین.

T : میزان زمانی که N فضای پارک (از نوع مشخص و با محدودیت های زمانی معین)، در طول دوره مطالعه قابل استفاده می باشد (ساعت).

D : متوسط زمان پارک در طول دوره مطالعه (ساعت بر وسیله نقلیه).

F : شاخص عدم بهره وری برای لحاظ جایگزینی در پارک که بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ در نظر گرفته می شود و با افزایش متوسط زمان پارک افزایش می یابد.



شکل (۱۱-۲). سیستم نمایشی برای کدگذاری موقعیت پارکینگ.

محدوده برداشت _____
تاریخ برداشت _____

بلوک	تسهیلات	فضاهای پارک خیابان و کوچه						پارکینگ غیر حاشیه ای		کل فضای پارک
								عمومی	خصوصی	

تاریخ _____
آمارگر _____

شکل (۱۱-۳). برگه برداشت میدانی اطلاعات موجود پارکینگ.

مثالی را در نظر بگیرید که در آن، یک دوره مطالعه ۱۱ ساعته پارکینگ در ناحیه‌ای نشان می‌دهد که ۴۵۰ فضای پارک در تمام ۱۲ ساعت قابل استفاده بوده است، ۲۸۰ جای پارک برای ۶ ساعت قابل بهره‌برداری بوده است، ۱۵۰ جای پارک برای ۷ ساعت در دسترس بوده است و ۱۰۰ جای پارک تنها برای ۵ ساعت قابل استفاده بوده است. متوسط زمان پارک وسایل نقلیه در این ناحیه ۱/۴ ساعت می‌باشد. عرضه پارکینگ در این محدوده با استفاده از شاخص عدم بهره‌وری به میزان ۰/۹ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \left\{ \frac{(450 \cdot 12) + (280 \cdot 6) + (150 \cdot 7) + (100 \cdot 5)}{1/4} \right\} \cdot 0.9 = 5548 \text{ vehicles}$$

این نتیجه بدان معنی است که ۵،۵۴۸ وسایل نقلیه توانسته‌اند در طول دوره ۱۱ ساعته مطالعه در محدوده مذکور پارک نمایند. البته به این معنی که تمامی ۵،۵۴۸ وسیله نقلیه در یک زمان پارک بوده‌اند نیست. این تحلیل نیازمند معلوم بودن متوسط طول دوره پارک وسایل نقلیه می‌باشد. تعیین این شاخص مهم در بخش بعدی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

گردآوری اطلاعات می‌تواند در قالب جدولی مشابه آنچه که در شکل (۱۱-۳) نشان داده شده است نشان داده می‌شود. همچنین این امر را می‌توان بصورت گرافیکی بر روی نقشه‌ای کدگذاری شده به نمایش درآید. نقشه‌ها دید خوبی فراهم می‌کنند لیکن نمی‌توانند اطلاعات جزئی را که در جداول خلاصه می‌شوند نشان دهند. از این رو نقشه‌ها و هر نوع ابزار گرافیکی دیگر اغلب به همراه جداول ارائه می‌شوند.

۱۱-۳-۳- انباشت تجمعی و مدت زمان پارک^۱

انباشت تجمعی به عنوان تعداد کل وسایل نقلیه پارک شده در یک بازه زمانی معنی تعریف می‌شود. برخی مطالعات پارکینگ بدنبال ایجاد توزیعی آماری برای انباشت پارکینگ در طول زمان بوده‌اند تا اوج انباشت

^۱ Accumulation and Duration

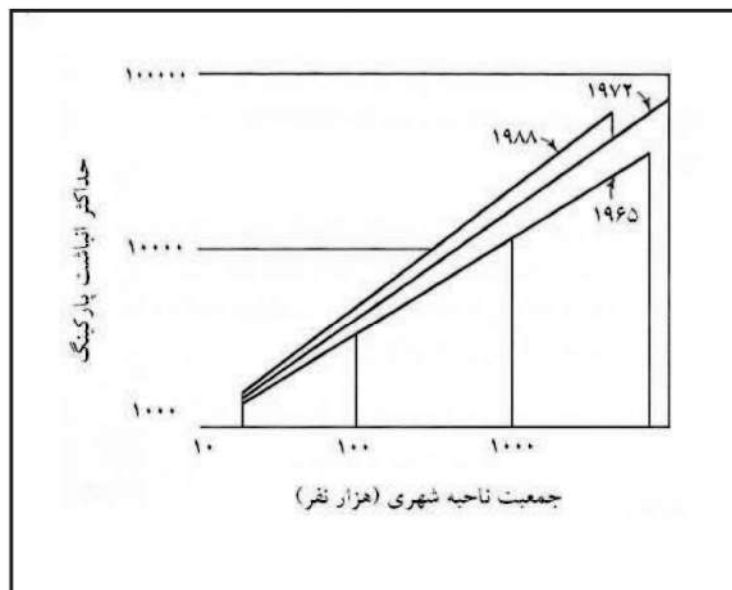
و اینکه چه زمانی روی می دهد را تعیین کنند. البته، انباشت‌های پارکینگ مشاهده شده با میزان عرضه پارکینگ محدود می شوند؛ بنابراین، تقاضای پارکینگ که با کمبود عرضه محدود می گردد می بایست بر اساس ابزارهای دیگر برآورد شود.

مطالعات در سطح ملی نشان داده اند که انباشت تجمعی پارکینگ در اکثر شهرها در طول زمان افزایش یافته است. کل انباشت در یک ناحیه شهری به میزان قابل توجهی به جمعیت ناحیه شهری دارد که این امر در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.

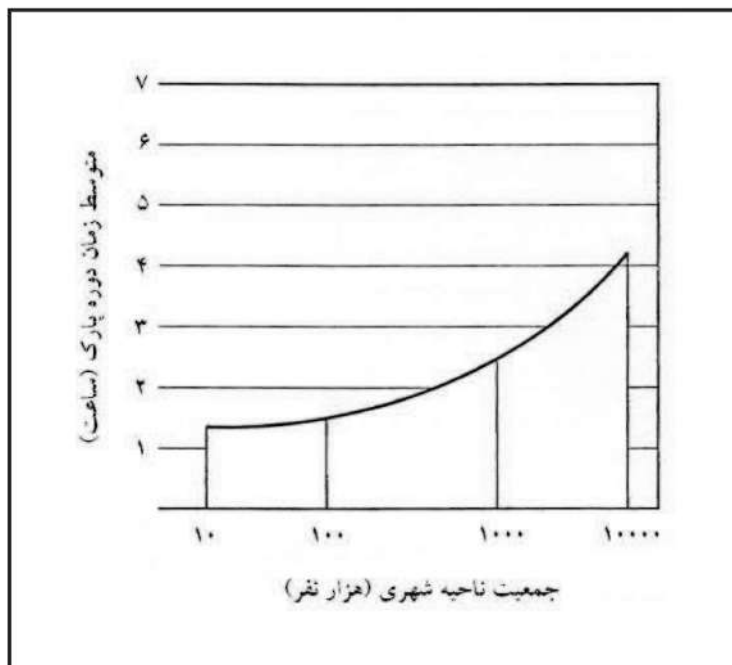
مدت زمان پارک عبارت است از طول زمانی که یک وسیله نقلیه در حالت پارک قرار دارد. این خصوصیت از این رو، توزیعی از مقادیر انفرادی است و این توزیع و مقدار متوسط آن، هر دو از مسائل قابل توجه هستند.

همانند انباشت پارکینگ، متوسط طول زمان پارک به جمعیت ناحیه شهری ارتباط دارد. به این صورت که با افزایش جمعیت شهری، متوسط زمان پارک نیز افزایش می یابد که این امر در شکل (۵-۱۱) نشانه داده شده است. همچنین متوسط زمان پارک با توجه به هدف سفر تغییر می کند که این امر در جدول (۶-۱۱) مورد اشاره قرار گرفته است. این جدول خلاصه‌ای از نتایج مطالعات در شهرها بوستن در سال ۱۹۷۲ و چارلوت در سال ۱۹۸۷ را ارائه می کند.

بر اساس اطلاعات جدول (۶-۱۱)، واضح است که زمان پارک به میزان زیادی از محلی به محل دیگر تغییر می کند. نتایج مطالعات شهر چارلوت کاملاً متفاوت از آنچه در شهر بوستن بدست آمده است. بنابراین مطالعات محلی در خصوص هر دو مورد یعنی انباشت تجمعی و زمان پارک، عناصری مهم در مسیر برنامه‌ریزی و اداره تسهیلات پارکینگ می باشند.



شکل (۴-۱۱). انباشت تجمعی پارکینگ در یک ناحیه شهری باتوجه به میزان جمعیت.



شکل (۵-۱۱). مدت زمان پارک در مقابل جمعیت ناحیه شهری.

جدول (۱۱-۶). متوسط مدت زمان پارک در نواحی شهری به تفکیک هدف سفر.

هدف سفر	متوسط طول زمان پارک (ساعت، دقیقه)	
	بوستن (۱۹۷۲)	چارلوت (۱۹۸۷)
کاری مدیر کارمند همه	۵ ساعت و ۳۰ دقیقه ۵ ساعت و ۵۹ دقیقه	۸ ساعت و ۸ دقیقه
مشاغل انفرادی	۲ ساعت و ۶ دقیقه	۱ ساعت و ۵ دقیقه
فروش/مشاغل آزاد	۲ ساعت و ۱۴ دقیقه	۳ ساعت و ۳۲ دقیقه
خدمات تفریحی فروش سایر	۲ ساعت و ۹ دقیقه ۲ ساعت و ۱۸ دقیقه ۱ ساعت و ۵۷ دقیقه ۳ ساعت و ۱۲ دقیقه	۱ ساعت و ۲۹ دقیقه ۴ ساعت و ۱۷ دقیقه
تمامی اهداف (متوسط)	۴ ساعت و ۲۰ دقیقه	۱ ساعت و ۴۱ دقیقه

مطرح ترین روش در مشاهده و ثبت خصوصیات انباشت و مدت زمان پارک در پارکینگ‌های حاشیه‌ای و پارکینگ‌های غیر حاشیه‌ای مسطح، عبارت است از ثبت شماره پلاک وسایل نقلیه پارک شده. به این صورت که در بازه‌های زمانی معین که از ۱۰ تا ۳۰ دقیقه در نظر گرفته می شود، یک آمارگر در مسیری مشخص (معمولاً از بالای یک بلوک تا پایین آن بلوک) قدم زده و شماره پلاک وسایل نقلیه‌ای که فضاهای پارک را اشغال نموده اند ثبت می کند. نمونه‌ای از برگه‌های برداشت در شکل (۱۱-۶) نشان داده شده است.

اطلاعات هر فضای پارکینگ مشخص شده، در یک برگه برداشت مجزا فهرست برداری می شود که این امر با توجه به محدودیت‌های زمانی مربوطه صورت می گیرد. در این بین از نمادهای مختلفی برای به تفصیل نشان دادن اطلاعات استفاده می شود؛ فرضاً «T» برای کامیون‌ها، «TK» برای پارک غیر مجاز و وسایل نقلیه جرمیه شده و مانند آن. انتظار آن است که یک فرد آمارگر بتواند تا ۶۰ فضای پارک را در هر ۱۵ دقیقه مشاهده

نماید. بنابراین محدوده‌های مطالعاتی می‌بایست بطور دقیق بر روی نقشه مشخص شود تا تمامی مسیرها تحت پوشش آماربرداری قرار گیرند.

برگه برداشت اطلاعات شماره پلاک

شهر _____ تاریخ 10 MAY 1978 آمارگر JONES سمت خیابان W
 خیابان WRIGHT بین 5^m و 6^m
 سه رقم آخر شماره پلاک 000: کدها ☒ برای تکرار عدد از گردش قبل ☐ برای فضای خالی

فضای و مقررات	زمان شروع دور گردش											
	07	07 ³⁰	08	08 ³⁰	09	09 ³⁰	10	10 ³⁰	11	11 ³⁰	12 ⁰⁰	
5 ^m												
X-WALK	-	-	-									
NPHC	-	-	-									
IHRM	-	713	✓	✓TK								
" M	631	✓	✓	971								
" M	512	342	✓	019								
DRIVEWAY	-	-	-	-								
"	-	-	-	613								
IHRM	-	-	418	✓								
" M	117	220	✓	989								
" M	-	148	086	✓								
FIRE HYD	-	-	-	-								
IHRM	042	-	216	✓								
NPHC	-	-	-	774								
X-WALK	-	-	-	-								
6 ^m												

شکل (۱۱-۶). نمونه‌ای از برگه‌های برداشت شماره پلاک وسایل نقلیه در آمارگیری پارکینگ.

تحلیل اطلاعات شامل جمع‌بندی‌ها و محاسبات متعددی است که با استفاده از اطلاعات برگه‌های

برداشت انجام می‌گیرد:

- مجموع/نباشت. از جمع‌بندی اطلاعات هر ستون در برگه برداشت، مجموع انباشت وسایل نقلیه

پارک شده در هر بازه زمانی برای مسیر هر آمارگر معین می شود.

- توزیع مدت زمان پارک. بر اساس مشاهده شماره پلاک ثبت شده برای هر فضا، وسایل نقلیه

می‌توانند برای یک بازه، دو بازه، سه بازه و مانند آن طبقه‌بندی شوند. با بررسی هر خط از برگه

برداشت اطلاعات، توزیع مدت زمان پارک حاصل می شود.

- تخلیفات. تعداد وسایل نقلیه‌ای که بصورت غیر مجاز پارک کرده‌اند، چه به خاطر اینکه فضایی

غیر مجاز را اشغال کرده‌اند یا از محدودیت زمانی در نظر گرفته شده تجاوز کرده باشند

می‌بایست در برگه‌های برداشت ذکر شود.

متوسط مدت زمان پارک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$D = \frac{\sum_x (N_x * X * I)}{N_T} \quad (3-11)$$

که در آن :

D : متوسط مدت پارک (ساعت بر وسیله نقلیه).

N_x : تعداد وسایل نقلیه پارک شده برای x بازه زمانی.

X : تعداد بازه های زمانی در نظر گرفته شده برای پارکینگ.

I : طول بازه زمانی برداشت (ساعت).

N_T : تعداد کل وسایل نقلیه پارک شده مورد مشاهده.

شاخص آماری مفید دیگر عبارت است از نرخ جایگزینی پارکینگ که با TR نشان داده می شود. این نرخ

نشان دهنده تعداد پارک کنندگانی است که بطور متوسط از یک جای پارک در طول دوره‌ای زمانی از یک

ساعت استفاده می کنند. این شاخص از رابطه زیر بدست می آید:

$$TR = \frac{N_T}{P_s * T_s} \quad (4-11)$$

که در آن :

TR : نرخ جایگزینی پارکینگ (وسیله نقلیه بر فضای پارک در ساعت).

N_T : تعداد کل وسایل نقلیه پارک شده مورد مشاهده در دوره مطالعه.

P_s : تعداد کل فضاهای مجاز پارکینگ.

T_s : طول دوره مطالعه (ساعت).

متوسط مدت زمان پارک و نرخ جایگزینی ممکن است برای هر برگه آمارگیری بعنوان بخش‌های مختلف محدوده مطالعات محاسبه شود و یا برای کل محدوده مورد مطالعه محاسبه گردد. جدول (۷-۱۱) یک برگه آمارگیری که مربوط به مسیر یک آمارگر است را نشان می‌دهد. جدول (۸-۱۱) نیز نحوه جمع‌بندی اطلاعات تک تک برگه‌های آمارگیری برای بدست آوردن اطلاعات کل محدوده را ارائه می‌کند.

توجه شود که هر آمارگیری تنها شامل دوره زمانی آن مطالعه می‌باشد. بنابراین، وسایل نقلیه پارک شده در ۳:۰۰ بعد از ظهر دارای مدت زمانی برای پارک خواهند بود که به آن زمان ختم می‌شود، حتی در صورتیکه آن‌ها بصورت پارک شده در خارج از محدوده زمانی مطالعه باقی بمانند. برای ساده نمودن کار، تنها ۳ عدد آخر پلاک وسایل نقلیه ثبت می‌گردند؛ در اکثر ایالت‌ها، دو یا سه عدد/حرف اول بیان‌کننده کدی است که نشان می‌دهد آن پلاک در کجا به ثبت رسیده است. بنابراین، این اعداد/حروف اغلب در بسیاری از پلاک‌ها تکراری هستند.

متوسط مدت زمان پارک برای محدوده مورد مطالعه بر پایه جمع‌بندی قسمت ب جدول (۸-۱۱)

بصورت زیر می‌باشد :

$$D = \frac{(875 * 1 * .5) + (490 * 2 * .5) + (308 * 3 * .5) + (275 * 4 * .5) + (143 * 5 * .5) + (28 * 6 * .5)}{2119} = 1/12 \text{ h/veh}$$

نرخ جایگزینی پارکینگ نیز بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$TR = \frac{2119}{150 * 7} = 0.2 \text{ veh/stall/h}$$

جدول (۷-۱۱). نحوه جمع بندی و محاسبات برای یک برگه برداشت پارکینگ.

فضای پارک *	زمان														
	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00
1	-	-	861	✓	✓	-	136	-	140	✓	-	-	201	✓	✓
2	470	✓	380	-	-	412	307	-	900	✓	✓	✓	✓	-	070
3	-	211	✓	✓	✓	400	✓	✓	-	-	666	-	855	999	-
4	175	✓	✓	500	✓	222	-	-	616	✓	✓	✓	✓	✓	-
5	333	-	-	380	✓	✓	420	✓	707	-	-	-	-	-	-
شیر آتشنشانی	-	-	-	-	-	-	-	242TK	-	-	-	-	-	-	-
1-hr	-	-	484	✓	909	-	811	✓	✓	158	✓	✓	685	✓	-
1-hr	301	-	-	525	✓	✓	696	✓	422	-	299	✓	✓	-	892
1-hr	-	675	895	✓	✓	703	✓	819	-	401	✓	✓	288	-	412
1-hr	406	-	442	781	882	✓	✓	✓	444	-	903	✓	-	-	-
1-hr	-	-	115	✓	618	✓	818	✓	✓	906	✓	-	-	893	✓
2-hr	-	509	✓	✓	-	705	✓	✓	✓	688	✓	696	-	-	807
2-hr	-	-	214	✓	✓	✓	209	-	248	✓	797	✓	✓	✓	✓
2-hr	101	✓	✓	✓	-	531	✓	-	940	✓	✓	✓	628	✓	✓
2-hr	-	392	✓	✓	✓	251	✓	772	-	835	✓	✓	✓	-	-
انباشت	6	7	12	13	11	12	13	10	11	10	12	10	10	7	8

وسيله نقلیه مشابه پارک شده در فضای پارک = ✓؛ فضاهای زماندار نشان دهنده شاخص محدودیت پارکینگ است؛ کل اطلاعات برای بلوک ۶۱ است *

جدول (۸-۱۱). جمع بندی اطلاعات آمارگیری پارکینگ در سطح محدوده مورد مطالعه.

کد بلوک	تجمع برای بازه های زمانی (کل فضای پارک)														
	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00
61	6	7	12	13	11	12	13	10	11	10	12	10	10	7	8
62	5	10	15	14	16	18	17	15	15	10	9	9	7	7	8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
180	7	8	13	13	18	14	15	15	11	14	16	10	9	9	6
181	7	5	18	16	12	14	13	11	11	10	10	10	6	6	5
مجموع	806	900	1,106	1,285	1,311	1,300	1,410	1,309	1,183	1,002	920	935	970	726	694

(الف) جمع بندی ستون های برگه برداشت برای تعیین تعداد کل تجمعی

کد فضای مقابل بلوک	تعداد بازه های پارک شده					
	1	2	3	4	5	6
61	28	17	14	8	2	1
62	32	19	20	7	1	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
180	24	15	12	10	3	0
181	35	17	11	9	4	2
مجموع	875	490	308	275	143	28

$\Sigma = 2119$ تعداد کل پارک کنندگان مشاهده شده

(ب) جمع بندی ستون های برگه برداشت برای تعیین توزیع دوره زمان پارک

حداکثر انباشت پارکینگ مشاهده شده در ساعت ۱۱ صبح اتفاق می افتد (با توجه به قسمت الف از

جدول (۸-۱۱)) و برابر است با ۱,۴۱۰ وسیله نقلیه که بیان کننده میزان استفاده ۹۴٪ $= 100 \times (1,410 / 1,500)$ از

فضاهای پارکینگ می باشد.

در خصوص تسهیلات غیر حاشیه ای، فرآیند مطالعه تا حدی متفاوت است. به این صورت که در بازه های

زمانی ۱۵ دقیقه ای، تعداد وسایل نقلیه وارده شده و خارج شده از پارکینگ شمارش می شوند. برآوردهای

انباشت تجمعی مبتنی بر شروع شمارش اشغال پارکینگ در تسهیلات و تفاوت بین وسایل نقلیه ورودی و

خروجی می باشد. توزیع مدت زمان پارک برای تسهیلات غیر حاشیه‌ای نیز در صورتیکه شماره پلاک وسایل نقلیه وارد شده و خارج شده ثبت شده باشد قابل استحصال است.

آنطور که اخیراً اشاره شد، مشاهده انباشت و مدت زمان پارک نمی توانند با توجه به عدم کفایت عرضه پارکینگ، میزان تقاضا را منعکس کند. اگرچه برخی یافته‌ها برای نشان دادن کمبودهای وجود دارند :

تعداد زیاد وسایل نقلیه‌ای که بصورت غیر مجاز پارک شده‌اند.

تعداد زیاد وسایل نقلیه‌ای که بطور غیر معمول در فاصله‌ای دور از نقطه اولیه پارک شده‌اند.

انباشت‌های حداکثر که برای دوره‌های زمانی طولانی در روز اتفاق می افتند و یا مکانی که انباشت

حداکثر رخ می دهد معادل تعداد فضاهای پارکینگ است بصورت مجاز موجود است.

حتی این شاخص‌ها بیان کننده کلیه سفرهایی که انجام شده‌اند نیستند و همچنین سفرهایی که بعلت محدودیت پارکینگ به نقاط دیگر منحرف شده‌اند را در بر نمی گیرند. یک مطالعه تردد شماری در خط قرنطینه (به فصل ۸ رجوع شود)، ممکن است استفاده شود تا تعداد کل وسایل نقلیه شامل وسایل نقلیه پارک شده و در حال گردش در درون محدوده مورد مطالعه برآورد شود. البته در این حالت نیز تعداد سفرهایی که بخاطر کمبود پارکینگ اصلاً انجام نشده اند انعکاس داده نمی شود.

۱۱-۳-۴- سایر انواع مطالعات پارکینگ

تعدادی از سایر روش‌هایی دیگر نیز در گردآوری اطلاعات وسایل نقلیه پارک شده و پارک کنندگان کاربرد دارند. مبادی وسایل نقلیه را می توان پس از ثبت شماره پلاک آن‌ها و استعلام آدرس سکونت فرد از مراکز ایالتی (با فرض اینکه مبدأ سفر باشد) بدست آورد. این روش که نیازمند مجوزهای خاص از ادارات ایالتی است به تناوب در خصوص مراکز خرید، استادیوم‌ها و سایر کاربری‌های عمده جاذب سفر کاربرد دارد.

پرسشگری از پارک کنندگان نیز سودمند بوده و در محل‌های اصلی جذب سفر قابل انجام است. اطلاعات پایه در خصوص هدف سفر، مدت زمان پارک، فاصله پیاده‌روی و غیره به این روش قابل دستیابی می‌باشد. بعلاوه، اطلاعات مربوط به خصوصیات رفتاری و زمینه‌ای پارک کنندگان نیز برای حصول دیدگاه مناسب از اینکه چگونه شرایط پارکینگ بر استفاده کنندگان اثر می‌گذارد قابل استحصال می‌باشد.

۱۱-۴- جنبه های طراحی تسهیلات پارکینگ

تسهیلات پارکینگ غیر حاشیه‌ای به دو صورت (۱) مسطح^۱ و (۲) پارکینگ طبقاتی^۲ ایجاد می‌شوند. نوع دوم ممکن است بالای سطح زمین، پایین سطح زمین و یا بصورت ترکیبی از این دو احداث شود. هزینه‌های احداث پارکینگ‌های مسطح و پارکینگ‌های طبقاتی به میزان قابل توجهی بسته به موقعیت و شرایط مختص محل متغیر است. عموماً ایجاد پارکینگ‌های مسطح کم هزینه‌تر از پارکینگ‌های طبقاتی است. بطوریکه هزینه پارکینگ‌های مسطح نوعاً بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ دلار بازاء هر فضای پارک تأمین شده می‌باشد. پارکینگ‌های طبقاتی دارای پیچیدگی بیشتری بوده و پارکینگ‌های طبقاتی زیر زمینی به مراتب پر هزینه‌تر از پارکینگ‌های طبقاتی دارای سازه بالای سطح زمین هستند. هزینه معمول برای پارکینگ‌های طبقاتی بالای سطح زمین بین ۸۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ دلار بازاء هر فضای پارک است در صورتیکه این هزینه برای پارکینگ‌های طبقاتی زیر زمینی بین ۱۶۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ دلار بازاء هر فضای پارک برآورد می‌شود. تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی تأمین فضاهای پارکینگ غیر حاشیه‌ای به ملاحظات مختلفی ارتباط دارد، شامل موجود بودن زمین، میزان فضای پارکینگ مورد نیاز و هزینه‌های تأمین آن.

مرجع [۴] سه هدف کلیدی در طراحی تسهیلات پارکینگ را نام برده است :

^۱ Parking lot

^۲ Parking garage

- تسهیلات پارکینگ می بایست در طراحی، ساده و ایمن برای کاربران آن باشد.
 - تسهیلات پارکینگ می بایست دارای فضای کارآمد بوده و از نظر بهره‌بردار اقتصادی باشند.
 - تسهیلات پارکینگ می بایست با محیط بیرونی خود سازگار باشند.
- سادگی و ایمنی شامل برخی موارد شامل نزدیکی به مقاصد اصلی، امکانات کافی برای ورود و خروج (شامل فضای ذخیره)، سیستم گردش داخلی کارآمد و ساده، ابعاد مناسب برای فضاهای پارک و امنیت می باشد. مورد آخر به معنی امنیت در مقابل سرقت وسایل نقلیه و امنیت در برابر آسیب زدن و سایر بهره‌کاهی‌های فردی است. کارآمدی فضا به این معنا است که در کنار فراهم آوردن سیستم گردش مناسب و فضاهای پارک و ذخیره، ظرفیت پارکینگ می بایست بیشینه بوده و فضاهای اتلافی آن حداقل باشند. هدف سوم مواردی همچون زیبایی معماری و اطمینان از عدم بدنال داشتن ناپسامانی دیداری و شنیداری برای محیط زیست اطراف این تسهیلات بعثت وسیله نقلیه - سفری که ایجاد می شود را در بر دارد.

۱۱-۴-۱- مبانی ابعادی در پارکینگ‌ها

ابعاد پایه در پارکینگ مبتنی بر یکی از دو نوع «وسایل نقلیه طرح» می باشد. تسهیلات پارکینگ مدرن اغلب از ناحیه‌های پارک مجزا برای «سواری‌های کوچک» به منظور حداکثر نموده کل ظرفیت پارکینگ استفاده می کنند. شکل (۱۱-۷)، ضوابط پایه برای دو نوع وسیله نقلیه طرح که در طراحی تسهیلات پارکینگ بکار برده می شود را نشان می دهد:

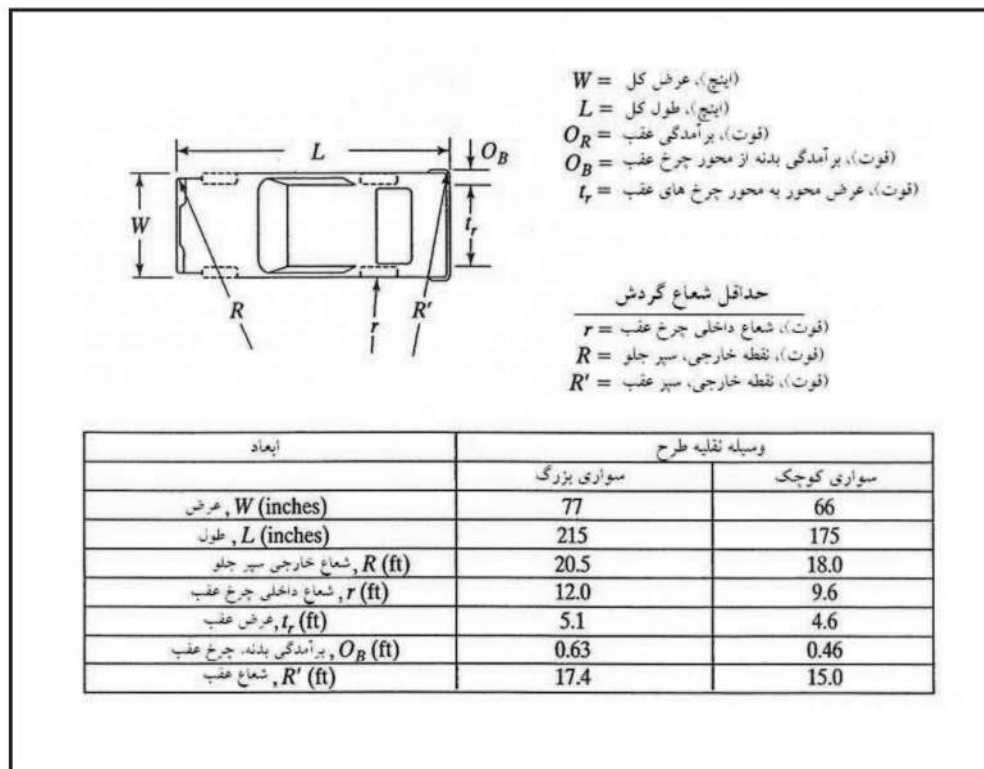
- خودروهای سواری بزرگ
- خودروهای سواری کوچک

عرض فضای پارک

محل‌های پارک می‌بایست دارای عرض کافی برای جای گرفتن وسایل نقلیه بوده و فضای اطمینان کافی برای باز شدن درها را تأمین کنند. حداقل عرض اطمینان مناسب برای باز شدن درها ۲۲ اینچ می‌باشد ولی ممکن است این فضا تا ۲۶ اینچ نیز وقتی تعداد جایگزینی‌ها در پارکینگ زیاد است افزایش یابد. البته تنها یک فضای باز شدن در برای هر جای پارک در نظر گرفته می‌شود، چرا که وسایل نقلیه پارک شده در مجاورت یکدیگر می‌توانند این فضا را به طور مناسب برای استفاده تقسیم کنند. برای خودروهای سواری بزرگ، عرض فضای پارک می‌بایست در بازه‌ای بین $99 = 77 + 22$ اینچ (۸/۲۵ فوت) تا $103 = 77 + 26$ اینچ (۸/۵۸ فوت) در نظر گرفته شود.

مرجع [۵] استفاده از چهار نوع فضای پارک را بسته به میزان نرخ جایگزینی، و استفاده کنندگان متداول توصیه می‌کند. رهنمودهای طراحی توصیه شده برای عرض فضای پارک سواری‌های بزرگ در جدول (۹-۱۱) نشان داده شده است.

برای سواری‌های کوچک، این رهنمودها عرض پارک را در بازه‌ای بین $88 = 66 + 22$ اینچ (۷/۳ فوت) تا $92 = 66 + 26$ اینچ (۷/۷ فوت) توصیه می‌کنند. استاندارد طراحی ۷/۶ فوت اغلب برای عرض پارک سواری‌های کوچک در نظر گرفته می‌شود. مرجع [۵]، عرض هر جای پارک برای خودروهای نوع A و B را ۸/۰ فوت (مطابق جدول (۹-۱۱)) و برای نوع C و D را ۷/۵ فوت توصیه می‌کند.



شکل (۷-۱۱). وسایل نقلیه طرح برای طراحی پارکینگ.

طول و عمق فضای پارک

طول فضای پارک به موازات زاویه پارک اندازه گیری می شود. این طول عموماً به اندازه طول وسیله نقلیه

بعلاوه ۶ اینچ برای حاشیه اطمینان سپر در نظر گرفته می شود. این طول به میزان $221 = 215 + 6$ اینچ (۱۸/۴)

فوت) برای سواری های بزرگ و $181 = 175 + 6$ اینچ (۱۵/۱ فوت) برای سواری های کوچک می باشد.

عمق فضای پارک عبارت است از پیش آمدگی ۹۰ درجه طول وسیله نقلیه بعلاوه ۶ اینچ فاصله اطمینان

سپر. برای فضاها پارک ۹۰ درجه، طول و عمق فضای پارک برابر هستند. برای پارکینگ های زاویه دار، عمق

پارکینگ کمتر از طول پارکینگ می باشد.

عرض راهرو

راهرو در پارکینگ‌های مسطح می‌بایست به اندازه کافی عریض باشد تا رانندگان بتوانند به راحتی و با ایمنی با کمترین مانور به فضای پارک وارده شده و یا از آن خارج شوند. تعداد این مانورها معمولاً یک مانور در هنگام وارد شدن و دو مانور در هنگام خروج می‌باش. در مواردی که فضای پارک باریک هستند، راهروها می‌بایست قدری عریض‌تر باشند تا امکان مذکور فراهم آید. راهروها همچنین وظیفه عبور دادن ترافیک گردشی و عابرانی که تا وسایل نقلیه خود قدم می‌زنند را بر عهده دارند. عرض راهرو بستگی به زاویه پارکینگ و اینکه راهرو یک طرفه است یا دو طرفه دارد.

جدول (۹-۱۱). ضوابط طراحی عرض پارکینگ برای انواع مختلف وسایل نقلیه.

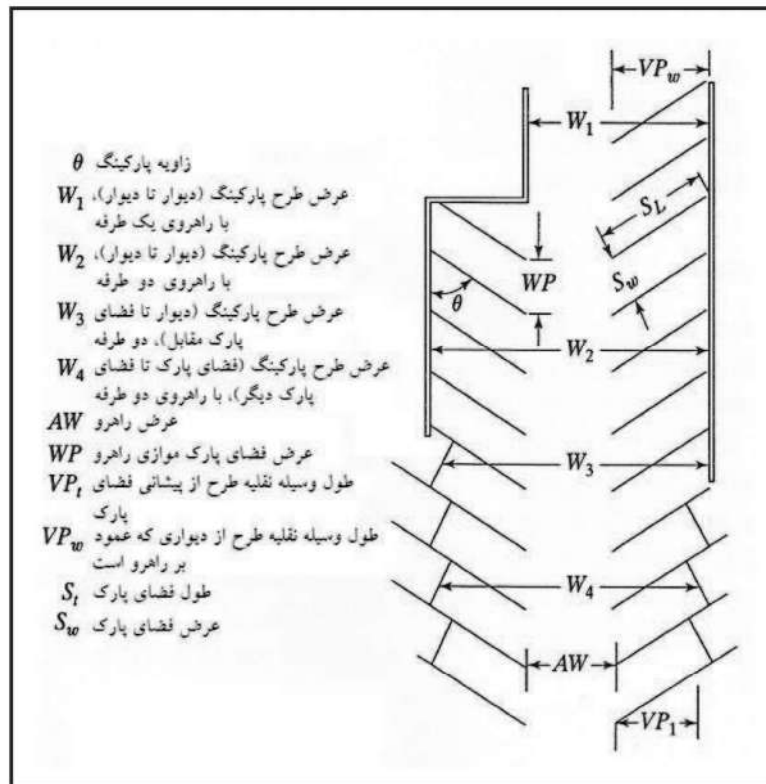
نوع پارکینگ	عرض پارکینگ (فوت)	جایگزینی معمول			استفاده‌های معمول
		کم	متوسط	زیاد	
A	۹/۰۰			X	مشتریان خرده‌فروشی، بانک‌ها، رستوران‌ها و سایر تسهیلات دارای نرخ جایگزینی زیاد
B	۸/۷۵		X	X	مشتریان خرده‌فروشی‌ها، بازدید - کنندگان
C	۸/۵۰	X	X		بازدیدکنندگان، کارمندان ادارات، مسکونی، فرودگاه، بیمارستان‌ها
D	۸/۲۵	X			صنعتی، دانشگاه‌ها

۱۱-۴-۲- طرح‌های پارکینگ^۱

یک «طرح پارکینگ» عبارت است از طرح‌ریزی پایه برای یک راهرو با مجموعه‌ای از فضاهای پارک در هر دو سمت راهرو. روش‌های بالقوه مختلفی برای طرح‌ریزی فضاهای پارک مطرح شده است. برای فضاهای ۹۰ درجه، عموماً راهروهای دو طرفه استفاده می‌شوند به این صورت که وسایل نقلیه می‌توانند از هر دو جهت حرکت به جای پارک مورد نظر وارد شوند. در مواقعی که فضاهای پارک بصورت زاویه‌دار طراحی می‌شوند، وسایل نقلیه تنها می‌توانند در یک جهت حرکت به فضای پارک وارد شوند و از سمتی دیگر خارج شوند. در اکثر موارد، پارک زاویه‌دار با راهروی یک طرفه و فضاهای پارکینگ در دو طرف راهرو بطوریکه ورودی‌ها و خروجی‌ها در یک جهت مشابه حرکت صورت گیرند طراحی می‌شود. پارکینگ‌های زاویه‌دار همچنین می‌توانند بگونه‌ای طراحی شوند که فضاهای پارک یک سمت راهرو از جهت روبرو دستیابی شوند، همچنانکه فضاهای پارک سمت دیگر راهرو. در برخی موارد، راهروهای دو طرفه می‌بایست فراهم آیند. شکل (۸-۱۱) ابعاد پایه برای طرح‌ریزی پارکینگ را ارائه نموده است.

شکل (۸-۱۱) چهار روش مختلف برای طرح‌ریزی پارکینگ را نشان می‌دهد. حالت اول عرض‌ها مربوط به مواردی است که مجموعه فضاهای پارک در مقابل دیوار یا موانع فیزیکی افقی دیگر قرار داده شده اند. حالت دوم در مواردی بکار برده می‌شود که فضاهای پارک به هم پیوسته باشند. حالت سوم وضعیتی است که پارکینگ‌های یک سمت در مقابل دیوار باشند و سمت دیگر به هم پیوسته باشند. حالت دیگر منعکس کننده وضعیتی است که تنها یک مجموعه منفرد مقابل دیوار قرار داده شده باشد. جدول (۱۰-۱۱) ابعاد بحرانی برای انواع مختلف طرح‌های پارکینگ را جمع‌بندی نموده است.

^۱ Parking Modules



شکل (۸-۱۱). عناصر ابعادی در طرح ریزی پارکینگ.

فرآهم آوردن مساحت‌های پارکینگ مجزا برای وسایل نقلیه بزرگ و کوچک، تعداد مشکلات در بهره‌برداری را بدنبال دارد. محدوده‌ها می‌بایست به خوبی تابلوگذاری شوند و سیستم گردش وسایل نقلیه می‌بایست بگونه‌ای باشد که رانندگان امکان دسترسی ساده به هر دو فضای پارکینگ را داشته باشند. در مواقعی که ترکیب پارک وسایل نقلیه بزرگ و کوچک در نظر گرفته شده است، در برخی موارد، وسایل نقلیه بزرگ مجبور هستند که در جای پارک وسایل نقلیه کوچک پارک کنند و در مواقعی نیز وسایل نقلیه کوچک، جای پارک فضای وسایل نقلیه بزرگ را اشغال می‌کنند. وسایل نقلیه بزرگ نه تنها با معضلاتی در جای گیری در فضای پارک وسایل نقلیه کوچک مواجه هستند بلکه در مانور دادن در راهروهای طراحی شده برای وسایل نقلیه کوچک نیز مشکل دارند.

جدول (۱۱-۱۰). رهنمودهای ابعادی در طرح ریزی فضاهای پارکینگ.

طرح‌ها		عرض AW	عمق VP_i	عمق VP_w	عرض WP	عرض S_w	نوع پارکینگ	طرح پایه
		فضای	فضای	فضای	فضای	فضای		
W_4 نوار تا	W_2 دیوار تا	پارک	پارک تا	پارک تا	پارک	پارک		
نوار (فوت)	نوار (فوت)	(فوت)	نوار دیگر (فوت)	دیوار (فوت)	(فوت)	(فوت)		
سواری‌های بزرگ								
۶۱/۰	۶۱/۰	۲۶/۰	۱۷/۵	۱۷/۵	۹/۰۰	۹/۰۰	A	راهروی ۲ طرفه
۶۱/۰	۶۱/۰	۲۶/۰	۱۷/۵	۱۷/۵	۸/۷۵	۸/۷۵	B	
۶۱/۰	۶۱/۰	۲۶/۰	۱۷/۵	۱۷/۵	۸/۵۰	۸/۵۰	C	- ۹۰ درجه
۶۱/۰	۶۱/۰	۲۶/۰	۱۷/۵	۱۷/۵	۸/۲۵	۸/۲۵	D	
۵۹/۰	۶۲/۰	۲۶/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۱۰/۴	۹/۰۰	A	راهروی ۲ طرفه
۵۹/۰	۶۲/۰	۲۶/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۱۰/۱	۸/۷۵	B	
۵۹/۰	۶۲/۰	۲۶/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۹/۸	۸/۵۰	C	- ۶۰ درجه
۵۹/۰	۶۲/۰	۲۶/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۹/۵	۸/۲۵	D	
۵۷/۰	۵۹/۰	۲۲/۰	۱۷/۵	۱۸/۵	۹/۳	۹/۰۰	A	راهروی ۱ طرفه
۵۷/۰	۵۹/۰	۲۲/۰	۱۷/۵	۱۸/۵	۹/۰	۸/۷۵	B	
۵۷/۰	۵۹/۰	۲۲/۰	۱۷/۵	۱۸/۵	۸/۸	۸/۵۰	C	- ۷۵ درجه
۵۷/۰	۵۹/۰	۲۲/۰	۱۷/۵	۱۸/۵	۸/۵	۸/۲۵	D	
۵۱/۰	۵۴/۰	۱۸/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۱۰/۴	۹/۰۰	A	راهروی ۱ طرفه
۵۱/۰	۵۴/۰	۱۸/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۱۰/۱	۸/۷۵	B	
۵۱/۰	۵۴/۰	۱۸/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۹/۸	۸/۵۰	C	- ۶۰ درجه
۵۱/۰	۵۴/۰	۱۸/۰	۱۶/۵	۱۸/۰	۹/۵	۸/۲۵	D	
۴۴/۰	۴۸/۰	۱۵/۰	۱۴/۵	۱۶/۵	۱۲/۷	۹/۰۰	A	راهروی ۱ طرفه
۴۴/۰	۴۸/۰	۱۵/۰	۱۴/۵	۱۶/۵	۱۲/۴	۸/۷۵	B	
۴۴/۰	۴۸/۰	۱۵/۰	۱۴/۵	۱۶/۵	۱۲/۰	۸/۵۰	C	- ۴۵ درجه
۴۴/۰	۴۸/۰	۱۵/۰	۱۴/۵	۱۶/۵	۱۱/۷	۸/۲۵	D	
سواری‌های کوچک*								
۵۱/۰	۵۱/۰	۲۱/۰	۱۵/۰	۱۵/۰	۸/۰	۸/۰	A/B	راهروی ۲ طرفه
۵۱/۰	۵۱/۰	۲۱/۰	۱۵/۰	۱۵/۰	۷/۵	۷/۵	C/D	- ۹۰ درجه
۵۰/۰	۵۲/۰	۲۱/۰	۱۴/۰	۱۵/۴	۹/۳	۸/۰	A/B	راهروی ۲ طرفه
۵۰/۰	۵۲/۰	۲۱/۰	۱۴/۰	۱۵/۴	۸/۷	۷/۵	C/D	- ۶۰ درجه
۴۷/۰	۴۹/۰	۱۷/۰	۱۵/۱	۱۶/۰	۸/۳	۸/۰	A/B	راهروی ۱ طرفه
۴۷/۰	۴۹/۰	۱۷/۰	۱۵/۱	۱۶/۰	۷/۸	۷/۵	C/D	- ۷۵ درجه
۴۳/۰	۴۶/۰	۱۵/۰	۱۴/۰	۱۵/۴	۹/۳	۸/۰	A/B	راهروی ۱ طرفه
۴۳/۰	۴۶/۰	۱۵/۰	۱۴/۰	۱۵/۴	۸/۷	۷/۵	C/D	- ۶۰ درجه
۳۸/۰	۴۲/۰	۱۳/۰	۱۲/۳	۱۴/۲	۱۱/۳	۸/۰	A/B	راهروی ۱ طرفه
۳۸/۰	۴۲/۰	۱۳/۰	۱۲/۳	۱۴/۲	۱۰/۶	۷/۵	C/D	- ۴۵ درجه

* با وجود اینکه زوایای مختلف ارائه شده‌است، اکثر طرح‌های مربوط به وسایل نقلیه کوچک برای پارکینگ‌های ۹۰ درجه هستند.

برخی طراحان طرفدار استفاده از یک اندازه برای تمامی فضاهای پارک هستند. در حالت مطلوب، ابعاد وسایل نقلیه بزرگ می بایست برای تمامی فضاهای پارک در نظر گرفته شود. سیاستی که به اصطلاح با عنوان «یک اندازه مناسب برای همه (OSFA)» تعریف می شود مبتنی بر فضاهای یکنواخت و ابعاد طراحی حاصل از میانگین وزنی معیارهای وسایل نقلیه بزرگ و کوچک می باشد. این وزندهی بر مبنای نسبت استفاده کنندگان هر نوع می باشد. برخی مهندسان ترافیک، مدافع این سیاست به عنوان کاربردی کارآمد در فضاهای پارکینگ غیر حاشیه‌ای بوده‌اند. تمامی مشکلات وسایل نقلیه بزرگ برای استفاده از فضاها و راهروهای وسایل نقلیه کوچک در تمامی این تسهیلات وجود خواهند داشت. بنابراین، یک مهندس می بایست بطور دقیق اثرات منفی بهره‌برداری OSFA در مقابل استفاده افزایش یافته فضایی که OSFA فراهم می آورد را وزن دهی نماید.

۱۱-۴-۳- تفکیک فضاهای وسایل نقلیه بزرگ و کوچک

مرجع [۵] تعدادی از روش‌های مختلف برای جداسازی (یا یکپارچه‌سازی) فضاهای پارک وسایل نقلیه بزرگ و کوچک، در مواردی که هر دو نوع فراهم شده است را توصیه می نماید. شکل (۱۱-۹) الگوهای مختلف برای یکپارچه‌سازی فضاهای پارک وسایل نقلیه بزرگ و کوچک را نشان می دهد.

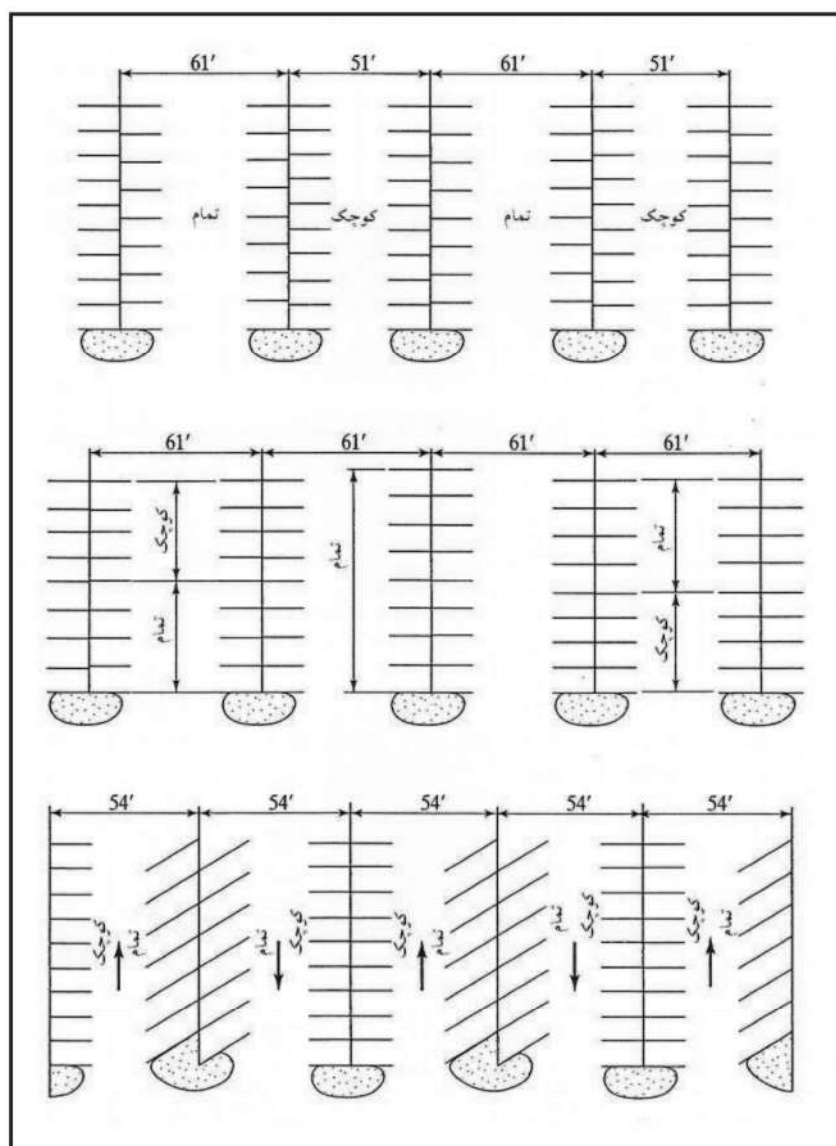
- تفکیک کامل فضاهای با اندازه بزرگ و کوچک. بیشترین کارایی در طرح پارکینگ می تواند بوسیله جداسازی کامل نواحی پارکینگ وسایل نقلیه بزرگ و کوچک بدست آید. در این مورد، تمامی ابعاد کاهش یافته برای ملزومات سواری‌های کوچک می توانند بطور کامل استفاده شوند. مورد اخیر به این معنی است که تابلوگذاری دقیق می بایست برای هدایت وسایل نقلیه به سمت فضاهای مربوطه انجام گیرد و تضمین شود که برای یک نوع استفاده کننده خاص، تعداد فضاهای بیش از نیاز اولیه وجود نداشته باشد.

- ترکیب فضاهای با اندازه بزرگ و کوچک در ردیف‌های یک در میان. در این الگو، طراحی وسایل نقلیه بزرگ و کوچک مطابق آنچه در قسمت فوقانی شکل (۹-۱۱) نشان داده است بطور یک در میان و با ایجاد تفکیک ۵۰-۵۰ در تعداد فضاهای پارک از هر دو نوع در نظر گرفته می‌شود. مزیت این روش آن است که سهولت دسترسی به دو نوع فضاها نسبتاً به یک میزان بوده و رانندگان به محدوده‌ای وارد نمی‌شوند که کاملاً برای وسایل نقلیه آن‌ها «اشتباه» باشد. مشکلات زمانی افزایش می‌یابند که نسبت ۵۰-۵۰ متناسب با ترکیب وسایل نقلیه نباشد. این الگو می‌تواند با استفاده از طرح تناوب مضاعف بصورت دو راهروی وسایل نقلیه سنگین با دو راهروی وسایل نقلیه سبک بهبود یابد.

- فضاهای با اندازه بزرگ و کوچک در یک ردیف (یا طرح). این الگو در مرکز شکل (۹-۱۱) نشان داده شده است. بخشی از هر ردیف به نوعی از وسایل نقلیه تخصیص می‌یابد. مزیت این طرح آن است که هر ترکیب از فضاهای وسایل نقلیه بزرگ و کوچک قابل اجرا می‌باشد و هیچ راننده‌ای در ردیف «اشتباه» وارد نمی‌شود. نقطه ضعف این روش آن است که همه راهروها می‌بایست با معیارهای وسایل نقلیه بزرگ انطباق داشته باشند.

- تفکیک میان-راهرو. این الگو در بخش پایین شکل (۹-۱۱) به تصویر کشیده شده است. فضاهای پارک وسایل نقلیه کوچک در یک سمت راهرو ایجاد می‌شوند در حالیکه فضاهای پارک وسایل نقلیه بزرگ در سمت دیگر فراهم می‌آیند. در این خصوص، فضاهای سواری‌های کوچک همواره با زاویه ۹۰ درجه استقرار می‌یابند در صورتیکه فضاهای سواری‌های کوچک با عمق کمتر ایجاد می‌شوند. استفاده از فضاها تا حدی خود شرایط را اداره می‌کند بطوریکه

رانندگان وسایل نقلیه بزرگ مانور کردن در فضای وسایل نقلیه کوچک را مشکل می یابند. اگر این الگو در کل مساحت پارکینگ مسطح در نظر گرفته شود، توازن فضاها بیشتر به نفع وسایل نقلیه کوچک خواهد بود (بیش از ۵۰٪) که این امر ممکن است نامتناسب باشد.



شکل (۹-۱۱). طرح‌های مختلف یکپارچه‌سازی فضا پارک سواری‌های بزرگ و کوچک در تسهیلات پارکینگ.

اگرچه ترجیح داده می شود که یک طرح در کل مجموعه تسهیلات پارکینگ استفاده شود (تا رانندگان دچار سردرگمی نشوند)، همواره این امکان وجود دارد که بطور دقیق بیش از یک طرح واحد را به اجرا رساند. این امر ممکن است برای حداکثر کردن استفاده از فضاها ضروری باشد لیکن می بایست با هدایت و علامتگذاری دقیق همراه باشد.

۱۱-۴- پارکینگ‌های طبقاتی

پارکینگ‌های طبقاتی مقید به فضاها و نیازمندی‌های طراحی همانند پارکینگ‌های سطح بوده و دارای ملزومات مشابه در خصوص نواحی ذخیره و گردش وسایل نقلیه هستند. سازه پارکینگ‌های طبقاتی نیز محدودیتی دیگر برای این پارکینگ‌ها به حساب می آید، از قبیل ابعاد ساختمان، موقعیت ستون‌های سازه و شاخصه‌های دیگر. طرح ایده‌ال و ابعاد هر فضای پارک می بایست در برخی مواقع متناسب با عملکرد محیطی این شاخصه‌های سازه‌ای باشد.

پارکینگ‌های طبقاتی علاوه بر تأمین گردش در تراز افقی، دارای وظیفه‌ای دیگر برای فراهم آوردن گردش وسایل نقلیه در ترازهای عمودی نیز هستند. این امر مشتمل بر یک طراحی عمومی و طراحی دارای سیستم شيراهه، حداقل در مواردی که رانندگان خود پارک می کنند می باشد. در برخی پارکینگ‌های طبقاتی کوچک برای جابجایی قائم از آسانسورهایی استفاده می شود که اغلب کند و ناکارآمد هستند.

سیستم‌های شيراهه در قالب دو طبقه‌بندی کلی قرار می گیرند :

- سیستم‌های با مسیر مجزا. شيراهه‌ها برای گردش بین طبقات بطور کامل مجزا از شيراهه‌های

فراهم شده برای ورودی و خروجی پارکینگ طبقاتی است.

• سیستم‌های پارکینگ همجوار. بخشی یا همه شیب‌راه‌های حرکت در راهروهایی اجرا می شوند

که دسترسی مستقیم به فضاهای پارکینگ همجوار را فراهم می آورند.

حالت اخیر، حرکتی ساده‌تر و ایمن‌تر با حداقل تأخیر را فراهم می آورد. این سیستم‌ها البته در تسهیلاتی

که دارای فضای بالقوه پارکینگ زیادی هستند اولویت دارد و بنابراین، این نوع سیستم‌ها تنها در تسهیلات بسیار

بزرگ کاربرد دارند. شکل (۱۱-۱۰) در دو صفحه متوالی تعدادی از طرح‌های شیب‌راه که می توانند بصورت

جایگزین در پارکینگ‌های طبقاتی بکار برده شوند را نشان می دهد.

در برخی پارکینگ‌های طبقاتی و پارکینگ‌های مسطح، سیستم قفسه بندی مکانیکی برای افزایش ظرفیت

پارکینگ تسهیلات استفاده شده است. سیستم‌های مکانیکی عموماً کند بوده و برای پارکینگ‌های با دوره زمانی

طولانی مانند پارک تمام روز افرادی که از حومه به درون شهر می آیند، مناسب ترین هستند.

البته برخی جزئیات پیچیده در طراحی و طرح‌ریزی پارکینگ‌های طبقاتی و مسطح وجود دارد. این کتاب

تنها برخی از ملاحظات اصلی مربوطه را پوشش داده است. توصیه می شود که خوانندگان برای جزئیات بیشتر

مستقیماً به مراجع [۴] و [۵] مراجعه کنند.

۱۱-۵- برنامه های پارکینگ

هر واحد مدیریت شهری می بایست دارای برنامه‌ای کارآمد برای پرداخت به نیازهای پارکینگ و مسائل

مربوطه باشد. پارکینگ اغلب موضوعی بحث انگیز می باشد چراکه پارکینگ عمومی موضوعی حیاتی برای

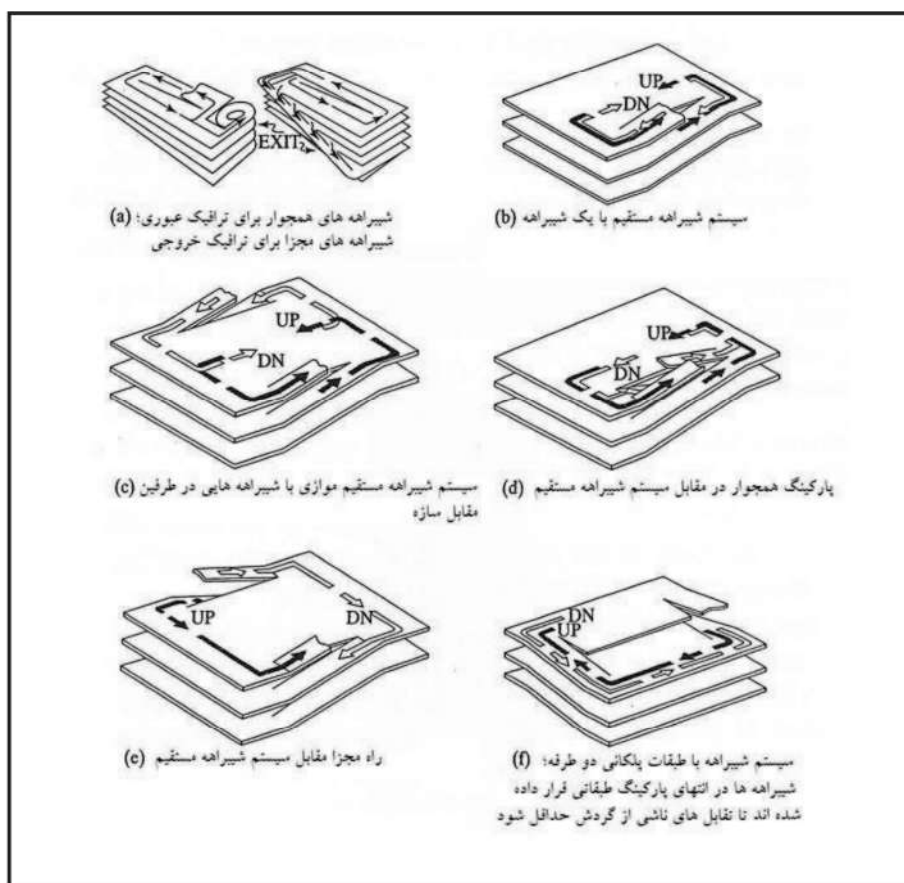
فعالیت‌های اقتصادی است و برخی امور اقتصادی خاص، حساسیت ویژه‌ای به پارکینگ دارند. علاوه بر آن،

پارکینگ دارای جنبه‌های مالی هنگفتی است. علاوه بر اثر پارکینگ بر دسترسی و سلامت مالی فعالیت‌های

بزرگ، ساخت و بهره‌برداری از تسهیلات پارکینگ دارای هزینه‌های زیادی است. از بعد دیگر، درآمد حاصل از کرایه پارکینگ نیز قابل توجه می‌باشد.

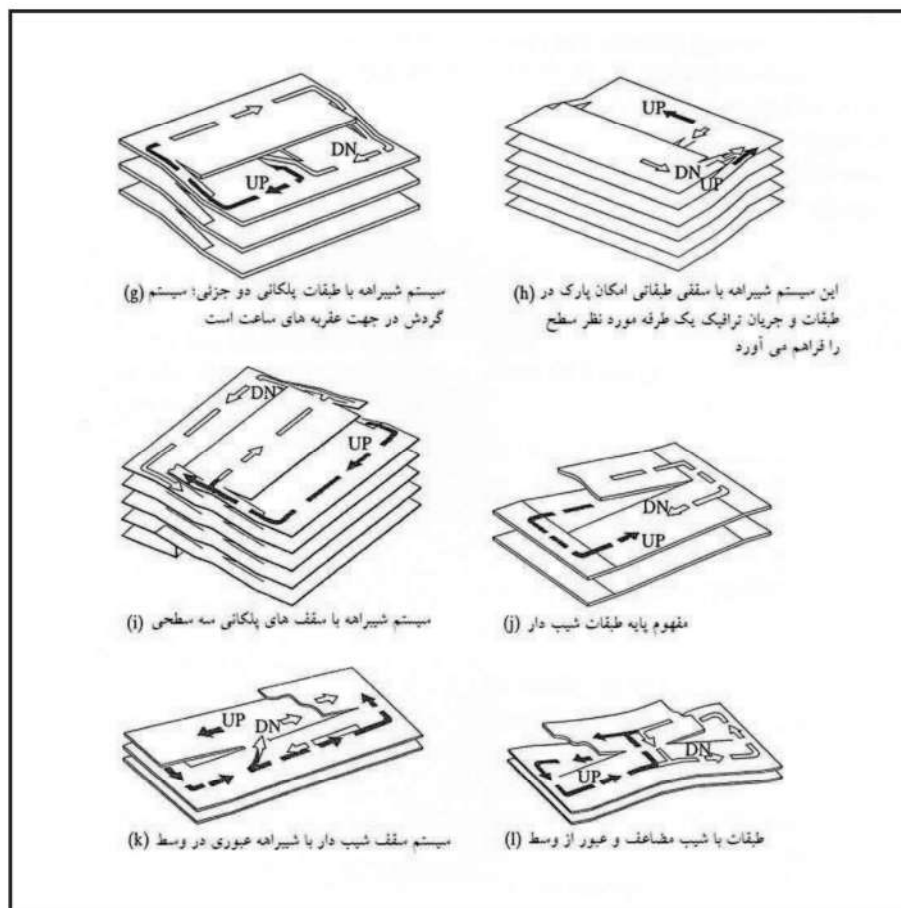
اقبال عمومی به پارکینگ به میزان مسئولیت عمومی دولت در حفاظت سلامت، ایمنی و رفاه شهروندان آن بستگی دارد. بنابراین، دولت دارای مسئولیت در زمینه‌های زیر می‌باشد [۴]:

- ایجاد آرمان‌ها و اهداف کمی در برنامه‌های پارکینگ.
- توسعه سیاست‌ها و برنامه‌ها.



شکل (۱۰-۱۱). سیستم‌های گردش در پارکینگ‌های طبقاتی.

- توسعه استانداردهای برنامه و معیارهای کارایی.
- ایجاد ملزومات ناحیه‌ای برای پارکینگ.
- فراهم آوردن پارکینگ برای استفاده‌های عمومی خاص.
- مدیریت و تعدیل پارکینگ حاشیه‌ای و بارگذاری آن.
- اعمال قوانین، مقررات و آیین‌نامه‌هایی در زمینه پارکینگ و برخورد با قانون شکنان.



شکل (۱۱-۱۰). سیستم‌های گردش در پارکینگ‌های طبقاتی (ادامه).

اینها تعدادی از روش‌های سازمانی برای اجرای مؤثر مقررات عمومی هستند. پارکینگ می‌تواند تحت مدیریت و نظارت بخش‌های اداری موجود در سیستم دولتی قرار گیرد. در جوامع کوچک که در آنها مهندس ترافیک حرفه‌ای و یا اداره ترافیک وجود ندارد، اداره خدمات عمومی می‌تواند مسئولیت پارکینگ را بر عهده گیرد. در برخی موارد نیز ادارات پلیس این مسئولیت را متقبل شده‌اند (به عنوان مکمل مسئولیت‌های مطرح در اعمال قانون)، لیکن این روش به عنوان راهکاری مناسب شناخته نمی‌شود؛ چراکه به عنوان وظیفه‌ای پیش پا افتاده در مقابل وظایف اولیه اداره پلیس به آن نگریسته می‌شود. در مواردی که ادارات ترافیک وجود دارند، مسئولیت اداره پارکینگ‌ها بطور منطقی توسط آنها بعمل خواهد آمد. در شهرداری‌های بزرگتر، ممکن است اداره‌ای مجزا برای پارکینگ در نظر گرفته شده باشد. هیأت امنای پارکینگ ممکن است بصورت انتصابی و یا انتخابی جهت نظارت بر عملکرد پارکینگ تعیین شوند. با توجه به درآمدها و هزینه‌های پارکینگ، ادارات نظارتی عمومی نیز قابل ایجاد هستند.

تسهیلات پارکینگ ممکن است مستقیماً توسط واحدها دولتی اداره شوند و یا حق بهره‌برداری از آنها به بخش‌های خصوص واگذار شود. این امر اغلب به عنوان مسأله‌ای مهم و حیاتی در فرآیند بهره‌برداری به حساب آمده و ممکن است اثرات قابل توجهی بر درآمد خالص پارکینگ‌هایی که درآمدها به خزانه دولت واریز می‌شود وارد نماید.

سیاست‌های پارکینگ بسته به شرایط محیطی محلی ممکن است در دامنه‌ای وسیع متغیر باشد. در برخی شهرهای بزرگ، عرضه پارکینگ تعمداً محدود شده است و برای ترغیب به عدم استفاده از خودروی شخصی، هزینه‌های پارکینگ مخصوصاً بالا در نظر گرفته شده است. این نوع سیاست تنها در محل‌هایی کاربرد دارد که یک سیستم حمل و نقل عمومی قوی برای برقراری دسترسی به مراکز تجاری شهر وجود داشته باشد. در

مواردی که پارکینگ یکی از عناصر اصلی در دسترسی می باشد، برنامه ریزی، توسعه و بهره‌برداری از تسهیلات پارکینگ غیر حاشیه‌ای موضوعی مهم خواهد بود. اغلب از مشارکت بخش خصوص برای ساخت، بهره‌برداری و مدیریت تسهیلات پارکینگ استفاده می شود. از آنجا که این روش عموماً نیاز بخش‌های دولتی به سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از این تسهیلات را مستقیماً مرتفع می کند، مدیریت شهری می بایست مذاکره نموده و بخش عمده درآمد پارکینگ را به مجموعه مشارکت کننده اختصاص دهد. البته، پارکینگ‌های مسطح و طبقاتی می توانند تماماً خصوص باشند، اگرچه این تسهیلات عموماً تحت ضوابط خاص اداره می شوند.

درآمد معمولاً از اندازه زمان قانونی پارکینگ و زمان تخلف استحصال می شود. برنامه‌های سنجش زمان پارک معمولاً به دو دلیل اصلی صورت می گیرند: برای نظم بخشیدن به نرخ جایگزینی پارکینگ و برای کسب درآمد. مورد اول با به اجرا گذاشتن محدودیت‌های زمانی حاصل می شود. این محدودیت‌ها بر حسب نیازهای محلی تعیین می شوند. شاخص‌های سنجش پارک در یک ایستگاه قطار حومه شهری، برای مثال دارای محدودیت‌های زمانی طولانی‌تری خواهند بود چراکه اکثر مردم برای یک روز کاری کامل پارک می کنند. نقاط پارکینگ موجود در نزدیکی محل‌های تجاری محلی مانند شیرینی فروشی‌ها، آرایشگاه‌ها، رستوران‌های غذای آماده، گل‌فروشی‌ها و کاربری‌های مشابه ممکن است به نسبت دارای محدوده زمانی کوتاه‌تری برای ترغیب به افزایش جایگزینی و تعدد استفاده از فضاهای پارک باشند. تعرفه‌ها بر اساس نیازهای درآمدی و متأثر از سیاست‌های عمومی برای ترغیب یا عدم ترغیب استفاده از پارکینگ تعیین می شوند.

صرفنظر از چگونگی سازمان‌دهی و مدیریت، برنامه‌های پارکینگ می بایست اجزاء زیر را دارا باشند:

۱. برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری. اهداف کلان می‌بایست تعریف شده و برنامه‌ریزی جهت نیل به آن‌ها صورت پذیرد؛ سیاست‌های معمول در عرصه پارکینگ می‌بایست به عنوان بخشی از برنامه‌ریزی طرح‌ریزی شوند.

۲. مدیریت حاشیه معابر. فضای حاشیه معابر می‌بایست به پارکینگ حاشیه‌ای، ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، توقفگاه تاکسی، محدوده سوار و پیاده شدن مسافر و سایر کاربردهای مربوطه اختصاص یابد. میزان استفاده از هر یک و محل مربوطه می‌بایست تنظیم شده و مقررات مناسب اجرا شده و تابلوگذاری به عمل آید.

۳. ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از تسهیلات پارکینگ غیر حاشیه‌ای. این امور چه از طریق بخش خصوص صورت پذیرند و چه بخش دولتی، مقوله ساخت تسهیلات پارکینگ مورد نیاز می‌بایست تحت سیاست‌های تشویقی و قوانین مورد حمایت قرار گیرد؛ اعتبار این قبیل تسهیلات می‌بایست با دقت عمل برنامه‌ریزی شود تا امکان بهره‌برداری را تضمین نموده و درآمدی را نیز برای دولت محلی به ارمغان آورد.

۴. اعمال قانون. مقررات مربوط به پارکینگ و سایل کاربردهای حاشیه معابر می‌بایست بطور جدی اجرا شوند تا کارآمدی حاصل شود. این وظیفه ممکن است بر عهده پلیس محلی باشد و یا تحت عمل اداره مستقلی که برای برخورد با تخلفات پارک ایجاد شده باشد قرار گیرد؛ امر قضاوت نیز ممکن در قالب یک سیستم دادگاه ترافیک بصورت مجزا صورت گیرد و یا بر عهده سیستم دادگاه محلی معمول نهاده شود.

برای کارآمدی، سیاست‌های پارکینگ می‌بایست هماهنگ با برنامه کلی نظام دسترسی به نواحی مرکزی شهر باشد. ایجاد یا بهبود خدمات حمل و نقل عمومی ممکن است بخشی از تقاضای پارکینگ را مرتفع نماید، در حالیکه سکونت پذیری عملاً در محدوده مرکزی شهر حفظ خواهد شد.

همانگونه در خصوص سایر عناوین مربوط به پارکینگ ملاحظه شد، این کتاب تنها تنها نگاهی سطحی به مقوله پیچیده برنامه‌ریزی پارکینگ دارد. لذا توصیه می‌شود خواننده به منابع دیگر خصوصاً مرجع [۴] رجوع نماید تا به جزئیات بیشتر و مطالب تکمیلی این موضوع دست یابد.

۱۱-۶- توضیحات پایانی

بدون محلی برای پارک در دو طرف یک سفر، اتومبیل وسیله‌ای ناکارآمد در حمل و نقلی خواهد بود. بدلیل آنکه جامعه ما به میزان زیادی به وسایل نقلیه شخصی برای جابجایی و دسترسی اتکا دارد، موضوع احتیاجات پارکینگ و فراهم آوردن تسهیلات پارکینگ کافی، عنصری حیاتی در سیستم حمل و نقل محسوب می‌شود.

منابع

1. *Parking Generation*, 2nd Edition, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 1982.
2. "Parking Principles", *Special Report 125*, Transportation Research Board, Washington DC, 1971.
3. *Parking requirements for shopping Centers*, 2nd Edition, Urban Land Institute, Washington DC, 1999.
4. *Weant, R. and Levinson, H.*, Parking Eno Foundation for Transportation, Westport, CT, 1990.
5. *Guidelines for Parking Facility Design and Location: A Recommended Practice*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, April 1994.

مسائل

۱۱-۱. یک مجموعه آپارتمانی بلند مرتبه با ۶۰۰ واحد مسکونی قرار است ساخته شود. تقاضای پارکینگ اوج

مورد انتظار برای چنین تسهیلاتی با فرض اینکه ناحیه مورد نظر فاقد دسترسی از طریق سیستم حمل و نقل

عمومی قابل توجه است چقدر است؟

۱۱-۲. یک مرکز خرید با ۶۰۰,۰۰۰ فوت مربع مساحت خالص تجاری برنامه ریزی شده است. انتظار می رود

که ۱۰٪ مساحت طبقات به سالن سینما و رستوران اختصاص داده شود. تقاضای پارکینگ اوج مورد انتظار برای

این کاربری چه میزان خواهد بود؟

۱۱-۳. بر مبنای ضوابط ناحیه‌ای، چه تعداد از فضاهای پارکینگ در مسأله ۱ و ۲ می بایست از سازندگان

خواسته شود تا فراهم آیند؟

۱۱-۴. یک مجموعه اداری جدید ۲۰۰۰ کارمند برای صنایع امنیتی را جای خواهد داد. تعداد مراجعین اندکی

برای این مجموعه انتظار می رود. هر کارمند ۱ نفر-سفر در روز خواهد داشت. البته، ۳۵٪ این سفرها انتظار

می‌رود که در ساعت اوج به وقوع پیوندد. تنها ۷٪ کارمندان بوسیله حمل و نقل عمومی به محل می رسند.

متوسط ضریب سرنشین سواری‌های شخصی ۱/۳ است. تقاضای پارکینگ اوج مورد انتظار برای این تسهیلات

چقدر است؟

۱۱-۵. یک مطالعه پارکینگ نشان داده است که متوسط زمان پارک در مرکز شهر ۳۵ دقیقه است و فضاهای زیر

در طول ۱۴ ساعت دوره مطالعه (۶ صبح تا ۸ شب) با ضریب کارایی ۹۰٪ موجود هستند. چند وسیله نقلیه

ممکن است در محدوده مورد مطالعه در این ۱۴ ساعت پارک کرده باشند؟

تعداد فضاها	دوره زمانی موجود بودن
۱۰۰	۶ صبح تا ۸ عصر
۱۵۰	۱۲ ظهر تا ۸ عصر
۲۰۰	۶ صبح تا ۱۲ ظهر
۳۰۰	۸ صبح تا ۶ عصر

۱۱-۶. اطلاعات شماره پلاک در جدول (۱۱-۱۱) را برای یک دوره مطالعه از ۷ صبح تا ۲ بعد از ظهر را در

نظر بگیرید. بر حسب این اطلاعات :

جدول (۱۱-۱۱). اطلاعات مسأله ۱۱-۶.

فضای پارکینگ	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	1:00	1:30	2:00
1 hr meter	100	√	—	150	√	√	246	385	—	691	√	√	—	810	√
1 hr	—	468	√	630	√	485	—	711	888	927	√	√	108	√	—
1 hr	848	911	√	√	221	747	922	√	—	787	√	452	√	—	289
1 hr	—	—	206	√	242	√	√	—	899	√	205	603	812	√	√
1 hr	—	—	566	665	√	333	848	√	999	—	720	—	802	√	—
1 hr	—	690	—	551	√	√	347	√	265	835	486	√	—	721	855
شیر آتششانی	—	—	—	—	—	—	—	777	—	—	—	—	—	—	—
2 hr meter	—	—	940	√	√	505	608	√	√	√	121	123	√	—	880
2 hr	636	√	√	√	√	—	582	√	√	811	919	√	711	√	√
2 hr	—	399	√	√	401	904	√	√	789	√	556	√	√	√	232
2 hr	—	416	√	√	√	√	√	—	658	√	292	844	493	√	√
2 hr	188	√	√	—	665	558	√	√	√	213	√	—	779	√	√
2 hr	—	—	—	277	√	336	409	√	√	884	√	√	713	895	431
2 hr	—	—	837	√	√	418	575	√	952	√	√	√	√	—	762
2 hr	—	506	√	√	—	786	√	√	√	527	606	√	385	√	√
شیر آتششانی	—	—	—	—	—	518	—	—	—	758	—	—	—	—	—
3 hr	—	079	√	√	√	√	√	√	√	—	441	√	611	√	√
3 hr	256	√	√	√	√	—	295	√	√	338	√	—	499	√	√
3 hr	—	—	848	√	√	√	√	√	—	933	√	√	√	√	√
ایستگاه اتوبوس	—	—	—	—	—	740	142	—	—	—	—	—	—	—	—
ایستگاه اتوبوس	—	—	—	—	—	915	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ایستگاه اتوبوس	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ایستگاه اتوبوس	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	818
ایستگاه اتوبوس	—	—	—	888	—	175	755	—	—	—	—	—	—	—	397

(الف) توزیع زمانی دوره پارک را بدست آورده و نمودار مستطیلی مربوطه را رسم نمایید.

(ب) الگوی تجمعی انباشت پارک را ترسیم کنید.

(ج) متوسط دوره زمان پارک را محاسبه کنید.

(د) زمان کل و نرخ تخلفات پارکینگ را جمع بندی نمایید.

(ه) نرخ جایگزینی پارکینگ را محاسبه کنید.

آیا عرضه پارکینگ مازاد یا کسری پارکینگ در این بلوک وجود دارد؟ چگونه این را می دانید؟

۱۲-۱- مقدمه‌ای بر مفاهیم ظرفیت و سطح سرویس

از مهم‌ترین نیازهای مهندسی ترافیک، درک صحیح از میزان ترافیک قابل سرویس‌دهی و شرایط عملکردی تسهیلات داده شده است. این موضوعات تحت عناوین ظرفیت بزرگراه‌ها و تحلیل سطح سرویس بیان می‌شود.

تحلیل سطح سرویس و ظرفیت برپایه روندهای تحلیلی مربوط به میزان تقاضا، میزان جریان موجود، خصوصیات هندسی و میزان‌های موجود از عملکرد راه انجام می‌شود. این آنالیزها اشکال مختلفی دارند. برخی براساس تحلیل رگرسیون داده‌های پایه و بعضی برپایه الگوریتم‌های نظری و یا قوانین فیزیکی هستند و مدل‌هایی نیز برپایه مفاهیم شبیه‌سازی می‌باشند. کاربرد آنها به مهندسين ترافیک امکان تشخیص حد نهایی ترافیک و تخمین خصوصیات عملکردی یک تسهیلات در سطوح مختلف جریان را می‌دهد. برای این نوع تحلیل‌ها در آمریکا، از کتاب استاندارد راهنمای ظرفیت بزرگراه‌ها (HCM) استفاده می‌شود. که از سوی برد تحقیقات حمل و نقل (TRB) از آکادمی ملی مهندسی منتشر شده است و محتوی آن توسط کمیته‌ای در ارتباط با ظرفیت بزرگراه‌ها و کیفیت سرویس (HCQSC) از TRB کنترل شده است. ایجاد زمینه‌های تدوین این راهنما با حمایت مالی و فنی بعضی از موسسات فدرال آمریکا مانند تعاونی برنامه تحقیقات ملی بزرگراه‌ها (NCHRP) و اداره فدرال بزرگراه‌ها (FHWA) بوده است.

اولین ویرایش HCM به وسیله انجمن عمومی راه در سال ۱۹۵۰ منتشر شد که هدف آن فراهم آوردن راهنمای هماهنگی برای برنامه توسعه ملی سریع بزرگراه‌ها بود. گروه‌های غیررسمی که اولین ویرایش HCM را نوشتند اولین اعضا HCQSC بودند و ویرایش دوم آن

در سال ۱۹۶۵ منتشر شد که مفاهیم مهمی را در ارتباط با تسهیلات با دسترسی‌های محدود از قبیل سطح سرویس بیان می‌کرد. سوّمین ویرایش در سال ۱۹۸۵ انتشار یافت که نکات جدیدی را در رابطه با سطح سرویس دربر داشت و همچنین شامل مواردی در رابطه با تسهیلات ترانزیتی و پیاده بود. برای اولین بار معرفی آن به عنوان یک سند در انتشار ویرایش جدید HCM در سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۷ بود.

موضوعات موجود در این متن برپایه چهارمین ویرایش HCM تحت عنوان HCM ۲۰۰۰ می‌باشد که در دسامبر ۲۰۰۰ منتشر شد. این ویرایش شامل موضوعات جدید در ارتباط با طراحی تسهیلات و تحلیل سیستم‌ها و کریدورها بوده و همچنین مرجع رسمی در ارتباط با شبیه‌سازی و رابطه آن با مدل‌های سستی تشخیص ظرفیت و سطح سرویس بزرگراه‌ها می‌باشد. HCM ۲۰۰۰ اولین کتاب راهنمایی است که به دو شکل، یکی با استاندارد آمریکا و دیگری در واحد متریک انتشار یافته‌است. این کتاب راهنما در ابتدا با واحدهای متریک در پاسخ به نیازهای برخی از ایالات منتشر شد. سپس قانون موجود اصلاح شده و انشعابی بین دپارتمان راه و حمل و نقل ایجاد شد و بدین ترتیب بعضی از ایالت‌ها هم‌اکنون از سیستم متریک استفاده می‌کنند و بعضی دیگر هنوز واحدهای استاندارد آمریکا را بکار می‌برند.

این متن در ابتدا براساس واحدهای استاندارد آمریکا نوشته شد. نوشتن این متن مانند HCM ۲۰۰۰ با دو استاندارد، پس از مباحث زیاد انجام شده، غیرعملی می‌باشد.

مقاله جدیدی که توسط آقای کتیلسون نوشته شد تاریخچه و بحث اساسی در رابطه با

مفاهیم HCM و نکات کلیدی آن را بیان می‌کند.

۱۲-۱-۱- مفهوم ظرفیت

HCM ۲۰۰۰ مفهوم ظرفیت را بدین گونه تعریف می‌کند:

ظرفیت یک تسهیلات بیشترین نرخ ساعتی است که انتظار می‌رود در آن اشخاص یا وسایل نقلیه با شرایط مناسبی از یک نقطه یا یک قسمت یا خط‌عبور در یک دوره زمانی خاص و در شرایط غالب جاده با وجود ترافیک و عوامل کنترلی عبورکنند. (HCM ۲۰۰۰ صفحه ۲-۲)

این تعریف شامل مفاهیمی می‌شود که در روندهای تحلیلی به کار می‌رود. ظرفیت به عنوان یک نرخ حداکثر ساعتی تعریف می‌شود و در بیشتر موارد نرخ به کار رفته برای ساعت اوج، یک پیک ۱۵ دقیقه‌ای می باشد.

گرچه HCM ۲۰۰۰ اجازه انتخاب دوره آنالیز را در بعضی موارد می‌دهد. در هر آنالیز باید توجه شود که تقاضا و ظرفیت باید در یک دوره تحلیل توضیح داده شوند.

می‌توان ظرفیت را برحسب فرد و یا وسیله نقلیه بیان کرد. وقتی موضوعات ترانزیت و عبورپیاده بالاخص در خطوط عبور و تسهیلات شلوغ مورد بحث قرار می‌گیرد ظرفیت اشخاص از ظرفیت وسیله نقلیه مهم تر است.

• ظرفیت برای جاده‌ها، شرایط مختلف ترافیکی و شرایط کنترل شده نیز تعریف شده است. شرایط جاده‌ای به خصوصیات هندسی تسهیلات از قبیل تعداد خطوط عبور، عرض خط‌عبور، پهنای شانه‌ها و سرعت جریان آزاد اشاره دارد. شرایط ترافیکی اساساً به ترکیب جریان ترافیک به ویژه با حضور کامیون‌ها و وسایل نقلیه سنگین دیگر اشاره دارد. شرایط کنترلی عمدتاً به تسهیلات با جریان ترافیک باوقفه که دارای کنترل‌هایی مانند ایست، علامت

زرد و علامت‌های دیگر ترافیکی که در ظرفیت تأثیر دارند، اطلاق می‌شود. مفهوم کلی این است که تغییر در هر یک از شرایط موجود باعث تغییر در ظرفیت تسهیلات می‌شود.

- ظرفیت برای یک نقطه یا یک قسمت از تسهیلات تعریف شده است. این موضوع به شرایط موجودی که در بند فوق مورد بحث قرارگرفت، مربوط می‌شود. یک قسمت باید دارای شرایط موجود پایداری باشد. در هر نقطه‌ای که این شرایط تغییر کند ظرفیت نیز تغییر می‌کند.
- ظرفیت به ماکزیمم جریانی اشاره دارد که می‌تواند به صورت منطقی از یک قسمت عبور کند.

این موضوع تصدیق می‌کند که ظرفیت همانند بقیه عوامل وابسته به زمان و مکان است. بنابراین ظرفیت به‌عنوان یک میزان جریان خاص ماکزیمم که انتظار می‌رود در یک تسهیلات رخ‌دهد تعریف نمی‌شود، بلکه مقداری است که بیانگر سطحی از جریان می‌باشد که می‌تواند به‌صورت منطقی و مستمر در یک محل داده شده از یک تسهیلات در محل‌های مشابه در سراسر ایالت متحده به دست‌آید. بنابراین مشاهده جریان‌های ترافیکی واقعی بالاتر از ظرفیت ثابت یک تسهیلات، یک تناقض نیست و در بعضی موارد انتظار می‌رود. باید متذکر شویم درحالی‌که ظرفیت یک مفهوم مهم است، تأثیر شرایط عملکردی در ظرفیت به‌طور کلی ضعیف است و حفظ ظرفیت یک تسهیلات بدون ایجاد مشکل در یک دوره زمانی سخت بوده، ولی غیرممکن نمی‌باشد.

۱۲-۱-۲- مفهوم سطح سرویس

مفهوم سطح سرویس در سال ۱۹۶۵ به وسیله HCM به عنوان یک راه مناسب برای توضیح کیفیت کلی عملکرد یک تسهیلات با شرایط ترافیکی، جاده‌ای و شرایط کنترلی مشخص معرفی شد.

با کاربرد یک مقیاس حرفی از A تا F، یک سری حروف فنی برای بیان عملکرد یک تسهیلات ایجاد شده تا ابزار مناسبی برای عموم و مسئولان در بیان مسائل ترافیکی باشد. HCM ۲۰۰۰ سطح سرویس را مطابق مفهوم زیر تعریف می‌کند.

سطح سرویس (LOS) یک مقیاس کیفیتی است که شرایط عملکردی مانند سرعت، زمان سفر، آزادی عمل، اغتشاشات ترافیکی و راحتی را در یک جریان ترافیک توضیح می‌دهد (HCM ۲۰۰۰ صفحه ۲-۲).

۶ سطح سرویس از A تا F، بهترین تا بدترین عملکرد را برای هر نوع از تسهیلات توضیح می‌دهد گرچه در ابتدا مدل‌ها برای پیش‌بینی یک معیار کیفی در بیشتر انواع تسهیلات به وجود نیامدند ولی در حال حاضر انواع تسهیلات دارای سطوح سرویسی هستند که براساس معیارهای مورد نظر تعریف شده است.

جدول ۱-۱۲ معیارهای که در آن HCM ۲۰۰۰ سطوح سرویس را تعریف می‌کند، نشان می‌دهد. اصولاً سطح سرویس یک تابع پله‌ای است که هرپله شرایط عملکردی را مطابق با شکل ۱-۱۲ نشان می‌دهد بنابراین هنگام به کارگیری مفهوم سطح سرویس باید دقت کافی را مبذول داشت. دو تسهیلات یکسان با سطح سرویس مشابه ممکن است بیش از دو تسهیلات با

دو سطح سرویس متفاوت با هم فرق داشته باشند. این موضوع باتوجه به چگونگی تعریف سطح سرویس می باشد.

برای مثال دو سطح سرویس B و C هنگامی که نزدیک به مرز مشترک باشند، ممکن است شرایط کاملاً یکسانی را نشان دهند. یک مفهوم دیگر، این است که سطح سرویس باید برحسب پارامترهایی تعریف شود که توسط رانندگان قابل مشاهده و برداشت باشد

بنابراین حجم یا جریان ترافیک هرگز نباید به عنوان معیار کارایی به کار رود و درحقیقت یک معیار نقطه ای است که توسط رانندگان و مسافری در جریان ترافیکی قابل درک نیست، به عبارت دیگر تعیین یک آستانه پذیرش خاص برای رانندگان و مسافری بسیار دشوار است. بنابراین تعیین حدود سطح سرویس برپایه قضاوت گروهی از متخصصین کمیته ظرفیت و کیفیت بزرگراه های آمریکا استوار می باشد.

نرخ های جریان سرویس

شکل شماره ۱۲-۱ سطح سرویس را به عنوان یک تابع پله ای نشان می دهد. و همچنین تعریفی از یک مفهوم جدید یعنی نرخ جریان سرویس را بیان می کند. نرخ جریان سرویس به جز وقتی که بیشترین نرخ جریان برای حفظ سطح سرویس جریان دارد با ظرفیت برابر است. نرخ های جریان آزاد برای سطوح A تا E تعریف می شوند ولی هرگز برای سطح سرویس F که یک جریان ناپایدار و کیفیت سرویس غیرقابل قبول را ارائه می دهد، قابل تعریف نیست. به خاطر پیچیدگی بعضی از مدل های ظرفیت و سطح سرویس، نرخ های جریان سرویس را به سختی برای بعضی از انواع تسهیلات می توان، مشخص کرد.

نرخ‌های جریان آزاد مانند ظرفیت معمولاً برای شرایط رایج در یک مقطع یکنواخت در یک تسهیلات تعریف شده و در رابطه مستقیم با سطوح جریانی که منطقی انتظار می‌رود در سطح سرویس‌های مختلف اتفاق بیفتد، قرارداد.

مسائل سطح سرویس

همانطور که ذکر شد مفهوم سطح سرویس، مهم‌ترین ابزاری است که برای بیان مفاهیم پیچیده ترافیک برای تصمیم‌گیران و عموم به کار می‌رود و در موارد مختلف دیگری نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کمیته تامین ظرفیت و کیفیت بزرگراه‌ها سال‌ها با تعداد زیادی از این موضوعات دست و پنجه نرم کرده‌اند و حتی سعی در رها کردن بعضی از مفاهیم جنبی به نفع ساده‌سازی روش گزارش که اساس کار است، نموده‌اند.

یکی از مسائل مهم، امکان تعبیر نادرست از تغییر سطوح سرویس به خاطر طبیعت پله‌ای آن است که اکنون مورد توجه قرار گرفته است. بعضی از مسائل دیگر به شرح زیر است.

معیارهای متفاوت سطح سرویس ثابت است و درک مختلف عموم را در اقصی نقاط آمریکا در نظر نمی‌گیرد. برای مثال، تاخیری که ممکن است در یک تقاطع در شهر نیویورک پذیرفته شده باشد ممکن است در یک تقاطع مشابهی در یک شهر کوچک‌تر پذیرفتنی نباشد. بعضی از ایالت‌ها و حکومت‌های محلی معیارهای سطح سرویس را در قوانین جدید خود گنجانده‌اند. بنابراین وقتی که تجدید نظر بر روی HCM انجام شد، قانون‌های استاندارد

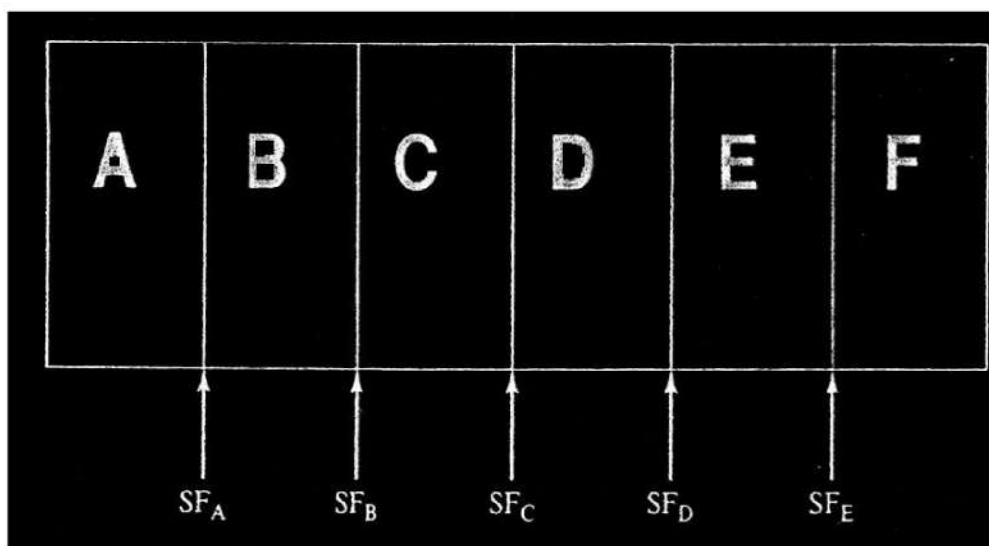
شده آنها نیز تغییر یافت و این دقیقاً براساس نظرات HCQSC نبود و کاملاً توسط قانون‌گذارانی که این قانون را تصویب کردند، مشخص نشد.

در سال ۱۹۸۵، انتخاب تأخیر به عنوان معیار سطح سرویس برای تقاطع‌های چراغ‌دار، پیچیدگی و مشکل جدیدی را در تعبیر مفهوم سطح سرویس F ایجاد کرد. برای بعضی از انواع تسهیلات مفهوم سطح سرویس F موقعیتی را نشان می‌دهند که تقاضا بیش از ظرفیت است و برای انواع دیگر تسهیلات، کیفیت سرویس غیرقابل قبول را مشخص می‌کند.

دسترسی به مدل‌هایی که قابلیت تخمین مقادیر عددی برای معیارهای کارایی در انواع تسهیلات را دارند در HCM ۲۰۰۰ امکان حذف سطح سرویس به صورت مفهومی را فراهم می‌سازد. معیارهایی مانند تأخیر، تراکم، سرعت و غیرو معیار دائمی هستند و بهتر بر روی شرایط عملکردی تأثیر می‌گذارند. حذف یک مفهوم، باعث ایجاد بار مسئولیت تشریح معیارهای کارایی برای تصمیم‌گیران و عموم و توضیح سطوح قابل قبول در حالات مختلف برای مهندسين می‌شود. به‌خاطر همین موضوع این مفاهیم همچنان مفید واقع می‌شوند و باید مواظب بود تا مفاهیم به صورت مناسبی به کار رفته و نمونه‌هایی که در آن مفهوم سطح سرویس باعث انحراف خواهند شد را مشخص کرد.

جدول شماره ۱۲-۱- شاخص‌های کارایی که سطح سرویس را در HCM ۲۰۰۰ تعریف می‌کنند

نوع جریان	نوع تسهیلات	شاخص کارایی
جریان بی‌وقفه	آزاد راه‌ها	تراکم (Pc/Km/ln)
	مقاطع اصلی	تراکم (Pc/Km/ln)
	محل‌های تداخل	تراکم (Pc/Km/ln)
	رمپ‌های دسترسی	تراکم (Pc/Km/ln)
	بزرگراه‌ها چندخطه	تراکم (Pc/Km/ln)
	بزرگراه‌های دوخطه	میانگین سرعت سفر (Km/h) درصد زمان دنبال کردن (%)
جریان باوقفه	تقاطع‌های چراغ دار	تأخیرهای کنترل (S/veh)
	تقاطع بدون چراغ	تأخیرهای کنترل (S/veh)
	خیابان‌های شهری	میانگین سرعت سفر
	حمل و نقل عمومی	تعداد سرویس (veh/day)
		سرفاصله سرویس (دقیقه)
		مسافر / تعداد صندلی
	پیاده دوچرخه	فضا (m ² /ped) فراوانی رخدادهای تداخلی (evens/h)



شکل شماره ۱۲-۱- تصویر سطوح سرویس و نرخ‌های جریان سرویس

معیارهای اجرایی دیگر

HCM ۲۰۰۰ علاوه بر توضیح معیارهای کارایی که حدود سطح سرویس را نشان می‌دهند شامل روش‌های تعیین معیارهای اجرایی برای مهندسين ترافیک نیز می‌باشد. بنابراین وقتی در تسهیلاتی با جریان بی‌وقفه سطح سرویس را با استفاده از چگالی در اختیار داریم پیش‌بینی سرعت متوسط آسان است. برای تقاطع‌های چراغ‌دار، تخمین تأخیر معمولاً با پیش‌بینی میانگین اندازه صف تکمیل می‌شود.

پس از مباحث و مناظرات فراوان HCM ۲۰۰۰ سطح سرویس را برای سیستم‌ها، کریدورها و شبکه‌ها قابل تعریف ندانست ولی وقتی معیارهای اجرایی تعریف و در بعضی موارد تخمین زده شد مفهوم سطح سرویس با توجه به گستردگی آن هنوز در برگرنده سؤالات بسیار و توجه زیاد بود. بیشترین اهمیت مربوط به درک کاربر از کیفیت سرویس بوده، به‌عنوان مثال یک سیستم که با معیار سطح سرویس ارزیابی می‌شود کارایی یک قسمت خاص از آن خیلی ارتباطی با نظریه مسافران شخصی از کل آن ندارد. در رابطه با مفهوم سطح سرویس بدون شک این مساله برای سالیان متمادی ادامه خواهد داشت و در پنجمین ویرایش HCM در نظر گرفته شده و برای آن برنامه‌ریزی شده است.

۱۲-۳-۱ نسبت v/c و کاربرد آن در تحلیل ظرفیت

یکی از نتایج مهم تحلیل ظرفیت و سطح سرویس نسبت v/c یعنی نسبت بین تقاضای جریان موجود بر ظرفیت تسهیلات است. این نسبت به‌عنوان معیاری برای کفایت ظرفیت موجود و یا مورد نظر به‌کار می‌رود. کاملاً آرمانی است که همه تسهیلات طوری طراحی شوند

که ظرفیت کافی را برای تقاضا موجود و طراحی شده داشته باشند (یعنی نسبت v/c همیشه از یک کمتر باشد).

وقتی یک نسبت v/c تخمین زده یا فرض می‌شود، باید دقت گردد تا مفهوم اصلی نرخ جریان (v) و ظرفیت در نظر گرفته شده باشد. نرخ جریان، تقاضا را نشان می‌دهد. در هر حالتی تقاضای دقیق شامل جریان واقعی ورودی به اضافه ترافیکی که به علت مسائل خاص به مسیرها و یا در زمان‌های دیگر هدایت شده و یا حتی مقصد آن به خاطر انبوهی ترافیک عوض شده است، می‌شود. یک جریان ورودی نمی‌تواند بیش از ظرفیت یک تسهیلات باشد ولی برای یک جریان اندازه‌گیری شده در مقایسه با ظرفیت محاسبه شده به وسیله روش HCM ۲۰۰۰ یا هر روند دیگری v/c بزرگ‌تر از ۱ قابل قبول است. در اینجا یک ورودی واقعی نمی‌تواند بیش از ظرفیت سیستم باشد و اگر اتفاق بیفتد نشان می‌دهد که ظرفیت تخمین زده شده، خیلی کم بوده است.

وقتی در رابطه با آینده بحث می‌شود تقاضای پیش‌بینی شده با ظرفیت تخمین زده شده مقایسه می‌شود. یک نسبت v/c بزرگ‌تر از یک نشان می‌دهد که ظرفیت کافی نبوده و توانایی تحمل تقاضای پیش‌بینی شده را ندارد وقتی یک نسبت درست از تقاضا جریان نسبت به حجم (چه در حال و چه در پیش‌بینی آینده) از یک بزرگ‌تر باشد، استنباط می‌شود که صف ایجاد خواهد شد و پراکندگی جریان بالادست قطعه مشخص نیست. گستردگی صف و زمان لازم برای از بین رفتن آن به شرایط مختلفی وابسته است که شامل مدت زمانی که v/c بزرگ‌تر از یک است و میزان آن می‌باشد. و همچنین وابسته به شکل منحنی تقاضا در زمان مورد نظر است و وقتی جریان تقاضا به میزان کمتر از ظرفیت رسید صف شروع به از بین رفتن

می‌کند. به علاوه با ایجاد شدن صف رانندگان تمایل به انتخاب مسیرهای دیگر برای جلوگیری از تراکم دارند. بنابر این اتفاق افتادن $v/c > 1$ اغلب باعث یک پرش دینامیک در الگوی تقاضا شده که می‌تواند شدیداً عملکرد را در درون و بیرون قطعه تحت تأثیر قرار دهد.

در مقایسه میزان تقاضا جریان با ظرفیت، اساساً هدف تحلیل ظرفیت و سطح سرویس است. در اینجا علاوه بر سطح سرویس میزان v/c نیز یکی از خروجی‌های این تحلیل است.

۱۲-۲- آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه

شیوه‌های توضیح داده شده در این فصل دربر گیرنده تحلیل جریان بدون وقفه در مسیرهای چندخطه است که شامل مقاطع اصلی آزادراه و مقاطع هم سطح بزرگراه‌ها با فاصله کافی از تقاطع‌های چراغ‌دار است تا امکان جریان بدون وقفه (تصادفی و نه گروهی) بین دو نقطه ایجاد شود.

۱۲-۲-۱- انواع تسهیلات

آزادراه‌ها، تنها نوع تسهیلاتی هستند که امکان جریان بدون وقفه را ایجاد می‌کند. همه ورودی‌ها و خروجی‌های آزادراه با استفاده از رمپ بوده تا به جریان ترافیک اجازه حرکت بدون وقفه داده شود و هیچ تقاطع همسطح (با چراغ و بدون چراغ)، دسترسی مستقیم و اجازه پارک در سمت راست مسیر وجود ندارد و کنترل کامل دسترسی‌ها وجود دارد. آزادراه‌ها معمولاً با تعداد کافی خط‌عبور در هر دو طرف ایجاد شده مثلاً یک آزادراه ۶ خطه در هر جهت دارای ۳ خط‌عبور می‌باشد. در دسته‌بندی‌های معمول، آزادراه‌ها دارای ۴، ۶ و ۸ خط‌عبور هستند گرچه در بعضی مناطق مهم شهری ممکن است ۱۰ یا بیشتر خط عبور نیز در مقاطع خاصی وجود داشته باشد.

تسهیلات چندخطه مسطح اگر فاصله مقاطع چراغ‌دار کمتر از $1/6$ کیلومتر باشد باید به‌عنوان خیابان‌های شهری (شریان) طبقه‌بندی و تحلیل شوند.

جریان بی‌وقفه در صورتی وجود دارد که یک تسهیلات چندخطه دارای فاصله بیش از $3/2$ کیلومتر بین دو مقطع چراغ‌دار باشد. درحالتی که فاصله بین مقطع چراغ‌دار در یک تسهیلات بین $1/6$ تا $3/2$ کیلومتر باشد وجود جریان بدون‌وقفه وابسته به شرایط موجود است متأسفانه مشخصات خاصی وجود ندارد تا مهندس ترافیک را در تشخیص دقیق نوع جریان در اینجا کمک کند.

در اکثر موارد تقاطع‌های چراغ‌دار که با فاصله $1/6$ تا $3/2$ کیلومتر قرار گرفته‌اند به‌طور کامل باعث توقف و حرکت گروهی ترافیکی نمی‌شوند مگر اینکه زمانبندی به‌صورت هماهنگی ایجاد شده باشد. بنابراین در اکثر موارد می‌تواند به‌عنوان یک شریان تجزیه و تحلیل شود.

مقاطع چندخطه بزرگراهی با استفاده از خطوط عبور و نوع جزیره وسط خیابان طبقه‌بندی می‌شود. تسهیلات چندخطه معمولاً شامل ۴ تا ۶ ردیف خط‌عبور در دو جهت می‌شوند. این مسیرها می‌تواند جداکننده (به‌عنوان مثال بدون وجود میانه ولی با استفاده از دو خط موازی زرد جدا شده) یا جدا شده با استفاده از یک جداکننده فیزیکی برای دو جهت باشند. بزرگراه با سه میانه نیز وجود دارد (بیشتر در حومه شهر) که شامل دو جهت گردش به چپ می‌شود این حالت به ردیف‌هایی با خطوط عبور اضافه یعنی ۵ یا ۷ خط عبور احتیاج دارد. خط عبور وسط به‌عنوان یک خط گردش به چپ برای هر دو طرف به‌کار می‌رود.

نوع میانه در بزرگراه‌های مسطح چندخطه می‌تواند تاثیرات مهمی روی عملکرد تسهیلات داشته باشد. وجود یک میانه فیزیکی باعث جلوگیری از ایست ترافیک به‌خاطر گردش به چپ به‌جز در جاهای مجاز می‌شود.

ولی ایست ترافیکی ناشی از گردش به‌چپ در هر نقطه از مسیرهای جدانشده ممکن است به‌وقوع بپیوندد. وقتی در یک جهت خط‌عبور گردش به‌چپ وجود دارد ایست ترافیکی ناشی از آن بدون محدودیت خاصی در همان خط‌عبور اتفاق می‌افتد و جلو وسایل نقلیه دیگر را نمی‌گیرد. در روندهای تحلیل ظرفیت، مقاطع آزادراهی و بزرگراه‌های چندخطه با توجه به سرعت جریان آزادشان طبقه‌بندی می‌شوند. مطابق با تعریف، سرعت جریان آزاد سرعتی است که هنگام جریان صفر در منحنی سرعت جریان انتظار می‌رود. به‌صورت عملی این موضوع وقتی اتفاق می‌افتد که نرخ جریان از 1000 veh/h/ln کمتر باشد. برای بحث کامل در ارتباط با رابطه سرعت-جریان و خصوصیات آن به فصل ۵ مراجعه شود. شکل شماره ۱۲-۲ برای نمونه چند نوع بزرگراه و مسیر چندخطه را نشان می‌دهد.

۱۲-۲-۲- خصوصیات اساسی آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه

خصوصیات سرعت-جریان

خصوصیات اساسی جریان بی‌وقفه در فصل ۵ با جزئیات توضیح داده شده است. روندهای تحلیل ظرفیت برای آزاد راه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه بر اساس منحنی‌های کالیبره شده سرعت-جریان و برای هر مقطع براساس سرعت جریان آزاد در شرایط پایه می‌باشد. شرایط پایه برای آزاد راه‌ها و بزرگراه‌های چند خطه شامل موارد زیر است:

- خودروهای سنگین در جریان ترافیک نیستند.

• اکثر رانندگان آشنا به مسیر هستند.

اشکال شماره ۳-۱۲ و ۴-۱۲ منحنی‌های استاندارد برای استفاده در تحلیل ظرفیت قسمت‌های اصلی بزرگراه و آزادراه را نشان می‌دهند. این شکل‌ها همچنین خطوط چگالی که سطوح سرویس را برای یک جریان بی‌وقفه تعریف می‌کند را دربر می‌گیرد راننده‌های امروزی حتی در نرخ‌های بالای جریان میانگین سرعت‌شان را در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها حفظ می‌کنند این موضوع به‌وضوح در اشکال شماره ۳-۱۲ و ۴-۱۲ نشان داده شده است. برای آزادراه‌ها سرعت جریان آزاد تا زمانی که نرخ جریان به ۱۳۰۰ تا ۱۷۵۰ وسیله نقلیه در هر خط‌عبور در ساعت برسد تقریباً ثابت باقی می‌ماند این خصوصیات برای بزرگراه‌های چندخطه نیز یکسان است بنابراین در بیشتر تسهیلات با جریان بی‌وقفه انتقال از حالت جریان پایدار به ناپایدار خیلی سریع و با تغییر کم در میزان جریان ترافیک اتفاق می‌افتد.

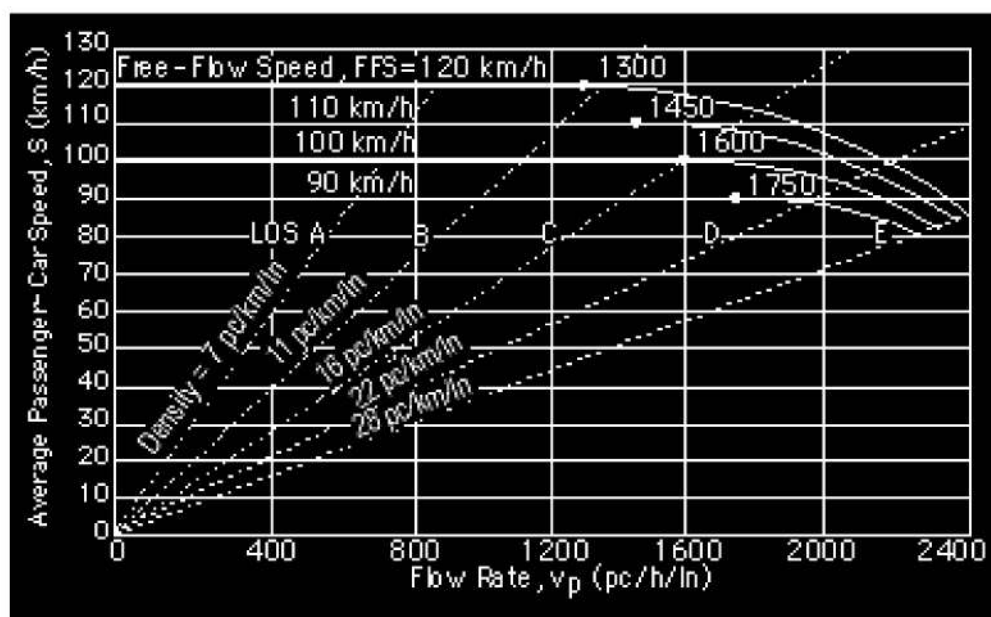
سطح سرویس

برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه، معیار کارایی که برای تعریف سطح سرویس به‌کار می‌رود، تراکم است. استفاده از تراکم به‌جای سرعت در ابتدا بر پایه رابطه بین سرعت و جریان است که در اشکال شماره ۳-۱۲ و ۴-۱۲ نشان داده شده است و از آنجا نشأت می‌گیرد که میانگین سرعت تقریباً ثابت بوده و به‌علاوه تفاوت کلی بین سرعت در جریان آزاد و سرعت در ظرفیت کم است و تعریف سطح سرویس براساس متغیرهای دیگر بسیار سخت است. اگر نرخ‌های جریان وقتی که سرعت تقریباً ثابت است تغییر کند تراکم باید به‌همراه جریان مطابق با رابطه $v=s*d$ تغییر کند. به‌علاوه تراکم، فاصله بین وسایل نقلیه را مشخص

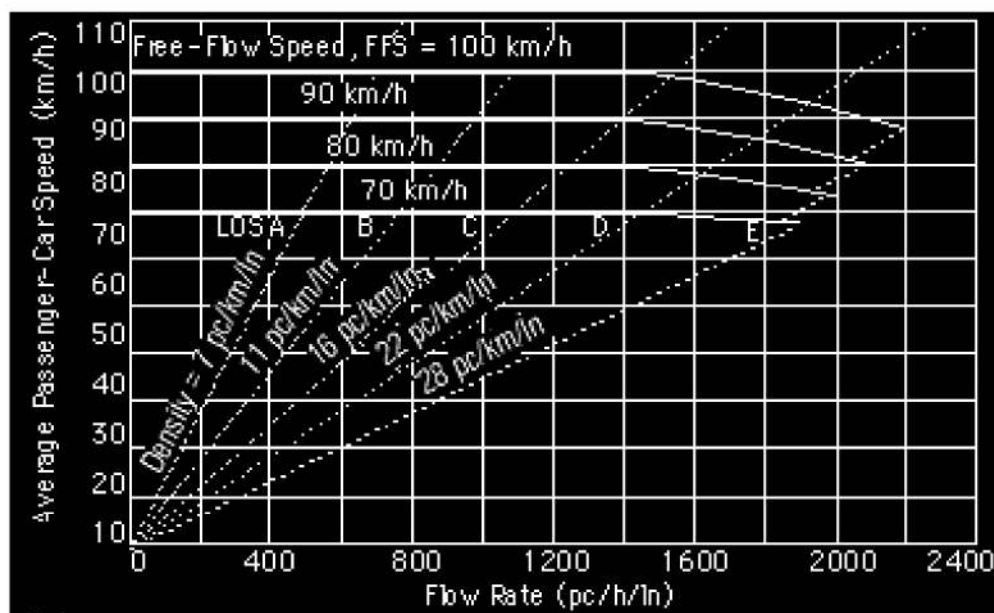
شکل شماره ۱۲-۲- نمونه آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه

می‌سازد که تأثیر اساسی در مانور دارد همچنین این مورد ملاک مناسبی برای کیفیت سرویس است. در تسهیلات با جریان بدون وقفه، مرز بین سطوح سرویس E و F به‌عنوان تراکم‌ی که در آن ظرفیت اتفاق می‌افتد، تعریف می‌شود. منحنی‌های سرعت-جریان این حدود مرزی را مشخص می‌کنند. برای آزادراه‌ها این منحنی‌ها ثابتی در حد 27 pc/km/ln را در ظرفیت برای همه سرعت‌های جریان آزاد نشان می‌دهند برای بزرگراه‌ها چندخطه ظرفیت در تراکم $25-27 \text{ pc/km/ln}$ بسته به سرعت جریان آزاد تسهیلات اتفاق می‌افتد مرز دیگر سطوح سرویس از روی قضاوت اعضای گروه HCQSC برای فراهم نمودن محدوده منطقی برای تراکم و نرخ‌های جریان سرویس بدست می‌آید. جدول شماره ۱۲-۲ ضوابط تعریف شده سطوح سرویس را برای مقاطع اصلی آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه نشان می‌دهد. شرایط عملکرد عمومی برای این سطوح سرویس مانند زیر تعریف می‌شود.

• سطح سرویس A در حقیقت عملکرد جریان آزاد را شرح می‌دهد در تراکم پایین مربوط به این سطح سرویس عملکرد هر وسیله تحت تأثیر حضور وسایل نقلیه دیگر نیست. سرعت تحت تأثیر جریان در این سطح سرویس نبوده و عملکرد در حالت سرعت جریان آزاد است.



شکل شماره ۱۲-۳- منحنی های سرعت-جریان برای مقاطع اساسی آزادراه ها (منبع ۲۰۰۰ hcm)



شکل شماره ۱۲-۴- منحنی های سرعت-جریان برای مقاطع اساسی بزرگراه ها (منبع ۲۰۰۰ hcm)

جدول شماره ۱۲-۲- معیارهای تعیین سطح سرویس برای آزاد راه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه

سطح سرویس	محدود چگالی برای مقاطع اصلی آزاد راه‌ها	محدود چگالی برای بزرگراه‌های چندخطه
A	۰-۶/۷	۰-۶/۷
B	۶/۷-۱۱	۶/۷-۱۱
C	۱۱-۱۵/۹	۱۱-۱۵/۹
D	۱۵/۹-۲۱/۳	۱۵/۹-۲۷/۴
E	۲۱/۳-۲۷/۴	(۲۴/۴-۲۷/۴) > بسته به سرعت جریان آزاد
F	>۲۷/۴	(۲۴/۴-۲۷/۴) > بسته به سرعت جریان آزاد

تغییر خط، حرکات واگرا و همگرا در آزادراه به دلیل فاصله زیاد وسایل نقلیه آسان است. انسدادهای موقتی ممکن است باعث شود سطح سرویس در بعضی از مناطق کیفیت خود را از دست بدهد ولی سبب اختلال مهمی در جریان نمی‌شود. میانگین سرفاصله وسایل نقلیه ۱۴۶ متر یا در حدود طول ۲۴ خودرو سواری است.

• در سطح سرویس B، راننده تحت تاثیر وجود وسایل نقلیه دیگر قرار می‌گیرند ولی هنوز عملکرد در سطح سرعت جریان آزاد است. تغییر جهت در جریان ترافیک هنوز آسان است ولی رانندگان باید در حفظ سرفاصله کاملاً هشیار باشند و هنوز فاصله کافی برای به حداقل رساندن تأثیر اختلالات جزئی بر ترافیک در هر خط عبور وجود دارد. میانگین سرفاصله وسایل نقلیه ۸۹/۳ متر یا در حدود طول ۱۵ خودرو سواری است.

• در سطح سرویس C وجود وسایل نقلیه سبب کاهش مانور در جریان ترافیک شده ولی عملکرد هنوز در سطح سرعت جریان آزاد است. راننده‌ها باید مسیر خود را به گونه‌ای انتخاب کنند که سرفاصله لازم برای پیوستن به جریان ترافیک و یا عبور را داشته باشند. در این سطح سرویس هشیاری کامل راننده بسیار مهم است گرچه هنوز سرفاصله کافی در جریان

ترافیک برای کاستن تأثیرات انسدادهای جزئی وجود دارد ولی هر انسداد مهمی می‌تواند منجر به انسداد کامل و ایجاد صف گردد. میانگین فاصله، $61/8$ متر یا به اندازه طول 10 خودرو سواری است.

• سطح سرویس D محدوده‌ای است که میانگین سرعت با افزایش جریان شروع به کم شدن می‌کند و تراکم خیلی سریع در این محدوده با افزایش جریان، کیفیت خود را از دست می‌دهد. تغییر جهت در جریان ترافیک کاملاً سخت است و رانندگان قبل از پیوستن به جریان یا عبور باید به دنبال سرفاصله مناسب باشند. توانایی جریان ترافیک برای کاستن تأثیر انسدادهای جزئی نیز بسیار محدود بوده و این نوع انسدادها باعث ایجاد صف می‌شوند مگر اینکه سریع برطرف شوند. میانگین فاصله حداقل 46 متر یا در حدود طول 7 خودرو است.

• سطح سرویس E عملکرد در حد ظرفیت مسیر را نشان می‌دهد حد بالایی تراکم در سطح سرویس E در حقیقت عملکرد در میزان ظرفیت است. در این حالت سرفاصله در جریان ترافیک اندک و ناکارآمد است و هر اغتشاش ناشی از تغییر خط و پیوستن وسایل نقلیه منجر به یک موج شوک در جریان ترافیک می‌شود. حتی یک گرفتگی کوچک منجر به ایجاد صف می‌گردد و تغییر جهت دادن بسیار سخت است و وسایل نقلیه باید برای تغییر جهت و یا پیوستن به جریان ترافیک به یکدیگر راه دهند. میانگین فاصله وسایل نقلیه $35/7$ متر یا در حدود طول 6 خودرو سواری است.

• سطح سرویس F عملکرد صف ایجاد شده در نقطه مختل شدن جریان ترافیک را نشان می‌دهد. این اختلال ممکن است ناشی از تصادفات یا هر واقعه‌ای دیگر و یا در حالتی باشد که ورودی مقطع بیش از ظرفیت آن است. و شرایط عملکرد دارای تنوع زیاد و نمونه‌ای از

اغتشاشات کوتاه‌مدت است و وقتی به یک وسیله نقلیه توجه شود مدتی را در صف و مدتی را صرف یک حرکت کوتاه می‌کند.

در ضمن سطح سرویس F نقطه‌ای را نشان می‌دهد که مازاد تقاضا نسبت به ظرفیت باعث مختل شدن جریان ترافیک شده است و درحقیقت وقتی وسایل نقلیه از محل وقفه خارج می‌شوند عملکرد نسبتاً خوب است ولی با این وجود کمبود ظرفیت موجود سبب صف شده که سطح سرویس F مشخصه مناسبی برای این موضوع است.

نرخ‌های جریان سرویس و ظرفیت

بیشترین میزان تراکم، کمترین میانگین سرعت و بیشترین نسبت v/c و بیشترین نرخ‌های جریان سرویس برای سطوح سرویس مختلف در آزادراه‌های و بزرگراه‌های چندخطه در اشکال شماره ۱۲-۳ و ۱۲-۴ نشان داده شده است. اعداد این جداول به صورت مستقیم از منحنی‌های اشکال شماره ۱۲-۳ و ۱۲-۴ اخذ شده است و رقم یکان نرخ‌های جریان سرویس گرد شده است بیشترین نرخ‌های جریان سرویس بر حسب $pc/km/ln$ و با توجه به شرایط ایده آل قبلی تعریف می‌شود.

۱۲-۳ روش‌های تحلیل برای مقاطع اصلی آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه

خصوصیات و ضوابط توضیح داده شده برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه در ابتدای فصل در تسهیلاتی با ترافیک و شرایط جاده‌ای پایه کاربرد دارد در اکثر موارد شرایط پایه وجود ندارد و یک روش تحلیل باید وجود داشته باشد که تأثیر شرایط موجود را بر روی خصوصیات و معیارها مشخص کند.

روش تحلیل برای مشخص نمودن تأثیر تنوع در شرایط معمول زیر به کار می‌رود.

- پهنای خط
- فاصله ایمن کناری
- تعداد خطوط (آزاد راه ها)
- نوع جداکننده (بزرگراه‌های چندخطه)
- تراکم تبادل‌ها (آزادراه‌ها) یا نقاط دسترسی (بزرگراه‌های چندخطه)
- درصد وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک
- تعداد رانندگان آشنا و رانندگان ناآگاه در تسهیلات

بعضی از این عوامل بر روی سرعت آزاد تسهیلات اثر می‌گذارند و بعضی روی نرخ

هم‌ارز تقاضا برای تردد در تسهیلات اثر دارند.

جدول شماره ۱۲-۳- معیارهای سطح سرویس برای مقاطع اساسی آزاد راه

سطح سرویس					معیار
E	D	C	B	A	
سرعت جریان آزاد ۱۲۳ km/hr					
۲۷/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۸۷/۴	۱۰۲	۱۱۵/۸	۱۲۲/۶	۱۲۳	حداقل سرعت (km/hr)
۱	۰/۹	۰/۷۶	۰/۵۶	۰/۳۴	حداکثر v/c
۲۴۰۰	۲۱۷۰	۱۸۳۰	۱۳۵۰	۸۲۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد ۹۰/۲km/hr					
۲۷/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۸۷/۴	۱۰۰/۹	۱۱۱/۸	۱۱۴/۸	۱۱۴/۸	حداقل سرعت (km/hr)
۱/۰۰	۰/۹	۰/۷۴	۰/۵۳	۰/۳۲	حداکثر v/c
۲۴۰۰	۲۱۵۰	۱۷۷۰	۱۲۶۰	۷۷۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد ۹۸/۴ km/hr					
۲۷/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۸۵/۶	۹۷/۹	۱۰۵/۹	۱۰۶/۶	۱۰۶/۶	حداقل سرعت (km/hr)
۱	۰/۸۹	۰/۷۱	۰/۵	۰/۳	حداکثر v/c
۲۳۵۰	۲۰۹۰	۱۶۸۰	۱۱۷۰	۷۱۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد ۹۰/۲ km/hr					
۲۷/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۸۲	۸۹/۷	۹۰/۲	۹۰/۲	۹۰/۲	حداقل سرعت (km/hr)
۱	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۲۷	حداکثر v/c
۲۲۵۰	۱۹۱۰	۱۴۳۰	۹۹۰	۶۰۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)

توجه: رابطه دقیق ریاضی بین تراکم و v/c در حدود سطح سرویس به‌خاطر گرد شدن اعداد وجود

ندارد. تراکم در ابتدا بیان‌کننده سطح سرویس است و معیار سرعت، سرعتی است که در حداکثر تراکم برای

سطح سرویس داده شده به‌وجود می‌آید.

جدول شماره ۱۲-۴- معیارهای سطح سرویس برای بزرگراههای چند خطه

سطح سرویس					معیار
E	D	C	B	A	
سرعت جریان آزاد=۹۸/۴km/hr					
۲۴/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۹۰/۲	۹۳	۹۷/۴	۹۸/۴	۹۸/۴	حداقل سرعت (km/hr)
۱/۰۰	۰/۹	۰/۷	۰/۴۹	۰/۳	حداکثر v/c
۲۲۰۰	۱۹۸۰	۱۵۵۰	۱۰۸۰	۶۶۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد=۹۰/۲km/hr					
۲۵	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۸۴	۸۶/۸	۹۰	۹۰/۲	۹۰/۲	حداقل سرعت (km/hr)
۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۲۱	حداکثر v/c
۲۱۰۰	۱۸۵۰	۱۴۳۰	۹۹۰	۶۰۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد=۸۲km/hr					
۲۶/۲	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۷۷/۹	۸۰/۲	۸۲	۸۲	۸۲	حداقل سرعت (km/hr)
۱	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۲۸	حداکثر v/c
۲۰۰۰	۱۷۱۰	۱۳۰۰	۹۰۰	۵۵۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)
سرعت جریان آزاد= ۷۳/۸ km/hr					
۲۷/۴	۲۱/۳	۱۵/۹	۱۱	۶/۷	حداکثر چگالی (pc/km/hr)
۶۹/۲	۷۲/۸	۷۳/۸	۷۳/۸	۷۳/۸	حداقل سرعت (km/hr)
۱	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۲۶	حداکثر v/c
۱۹۰۰	۱۵۵۰	۱۱۷۰	۸۱۰	۴۹۰	حداکثر نرخ جریان سرویس (pc/hr/ln)

توجه: به خاطر گرد شدن اعداد در حدود سطح سرویس رابطه دقیق ریاضی بین تراکم و

V/C وجود ندارد در حقیقت تراکم بیان کننده سطح سرویس است.

۱۲-۳-۱ نوع تحلیل

سه نوع روش تحلیل وجود دارد که می‌توان بر روی مقاطع اصلی آزادراه و بزرگراه‌های

چندخطه اجرا کرد.

• تحلیل عملکرد

• تحلیل نرخ جریان سرویس و حجم سرویس

• تحلیل طراحی

به‌اضافه HCM روش آنالیز برنامه‌ریزی را که شامل استفاده از AADT به‌عنوان تقاضای ورودی به‌جای حجم ترافیک ساعت اوج در ابتدای کار است را پیشنهاد می‌دهد. آنالیز برنامه‌ریزی با بحث بر روی AADT در طراحی حجم ساعتی جهتی (DDHV) و با کاربرد روندهای سنتی مطابق مندرجات فصل ۵ شروع می‌شود. همه اشکال تحلیل به مشخص نمودن سرعت جریان آزاد تسهیلات به‌عنوان یک سؤال احتیاج دارند. تکنیک اندازه‌گیری و تخمین برای این کار در بندهای بعدی آمده است.

تحلیل عملکرد

عمومی‌ترین روش آنالیز، تحلیل عملکرد است. در این شکل از تحلیل، ترافیک، شرایط جاده، شرایط کنترلی برای مقاطع بزرگراه موجود یا در دست ساخت و سطح سرویس و پارامترهای عملکردی مشخص می‌شود پیشنهاد اساسی این است که حجم تقاضای موجود یا پیش‌بینی شده به هم‌ارز نرخ جریان در شرایط ایده‌آل تبدیل شود.

$$V_P = \frac{V}{PHF * N * F_{VH} * F_P} \quad \text{رابطه ۱۲-۱}$$

که

V_P = میزان تقاضای جریان در شرایط هم‌ارز ایده‌آل pc/h/ln

PHF = فاکتور اوج‌ساعتی

N = تعداد خطوط عبور

f_{HV} = ضریب اصلاحی برای وسایط نقلیه سنگین

N = تعداد خطوط عبور

f_P = ضریب اصلاحی برای نوع استفاده کنندگان از مسیر

نتیجه رابطه فوق در منحنی‌های جریان-سرعت اشکال شماره ۱۲-۳ (آزادراه) یا ۱۲-۴

(بزرگراه) استفاده می‌شوند. با کاربرد سرعت جریان آزاد، می‌توان با داشتن میزان تقاضای

جریان برای مشخص نمودن سطح سرویس و میانگین سرعت مورد نظر از منحنی x ها وارد

نمودار شد. این روش در شکل شماره ۱۲-۵ نشان داده شده است. در مثال نشان داده شده

تقاضای pc/h/ln ۱۸۰۰ برای آزادراهی با سرعت تردد آزاد ۱۰۶/۶ km/hr نشان داده شده است

برای این حالت سرعت بدست آمده ۱۰۵ km/hr می‌باشد. تراکم نیز با استفاده از تقسیم کردن

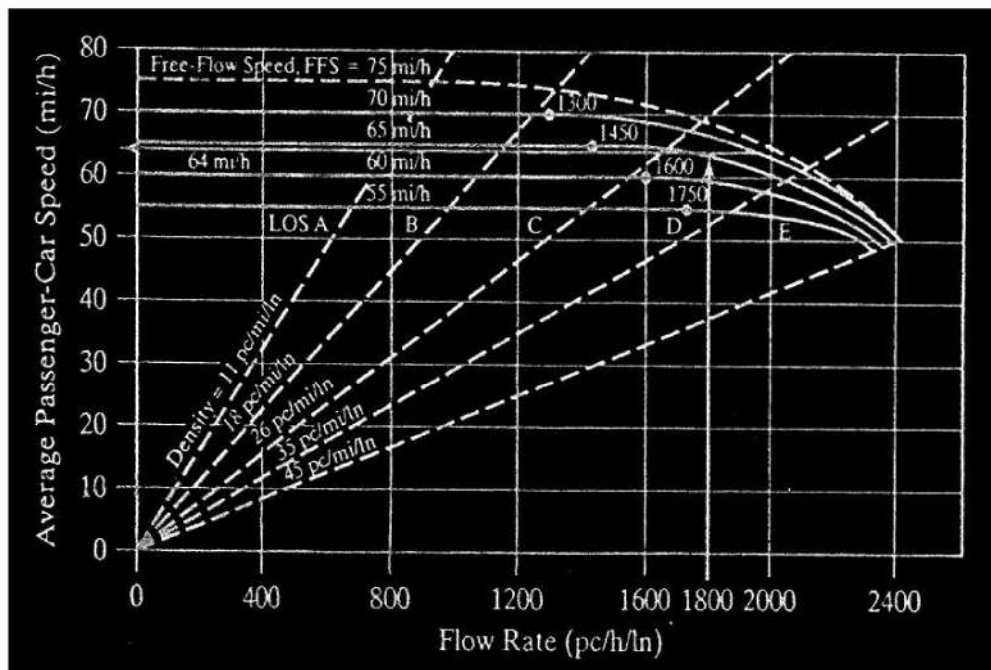
میزان جریان بر سرعت بدست می‌آید. سطح سرویس نیز براساس محاسبه تراکم یا توسط

منحنی‌های مربوطه بدست می‌آید. مقطع با جریان pc/h/ln ۱۸۰۰ معمولاً در سطح سرویس D

قرار می‌گیرد.

روش‌های تعیین سرعت جریان آزاد و ضریب‌های مربوط وسایل نقلیه سنگین و نوع

استفاده کنندگان در بندهای بعد بیان خواهد شد.



شکل شماره ۱۲-۵- کاربرد منحنی‌های پایه سرعت-جریان برای تعیین سرعت و سطح سرویس

تحلیل نرخ تردد و حجم

معمولاً مشخص کردن نرخ و احجام تردد برای سطوح سرویس مختلف در شرایط موجود روسازی در اغلب موارد مفید است. سطوح مختلف تقاضا برای مشخص کردن سطوح سرویس مورد نظر می‌تواند کارایی داشته باشد میزان جریان برای سطح سرویس داده شده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$SF_i = MSF_i * N * F_{HV} * F_{\rho} \quad \text{رابطه ۱۲-۲}$$

که

SF_i = نرخ جریان برای سطح سرویس i veh/hr

MSF_i = حداکثر نرخ تردد برای سطح سرویس i

F_{ρ}, F_{HV}, N همانند تعریف قبلی

حداکثر میزان جریان هر سطح سرویس MSF_i از جدول شماره ۱۲-۳ (برای آزادراه‌ها) و از جدول شماره ۱۲-۴ (برای بزرگراه‌های چندخطه) بدست می‌آید در ابتدا باید با سرعت جریان آزاد مناسب وارد جدول شد.

میزان جریان برحسب حداکثر جریان در ساعت اوج و معمولاً در یک تحلیل ۱۵ دقیقه‌ای بیان می‌شود. اغلب مناسب است که میزان جریان به حجم سرویس در ساعت اوج تبدیل شود که این کار با استفاده از ضریب اوج ساعتی انجام می‌شود.

$$SV_i = SF_i * PHF \quad \text{رابطه ۱۲-۳}$$

SV_i = حجم سرویس در ساعت اوج برای سطح سرویس i

SF_i ، قبلاً تعریف شده اند.

آنالیز طراحی

در آنالیز طراحی تقاضای حجم موجود یا پیش‌بینی شده برای تعیین خطوط عبور که در سطح سرویس خاصی هستند به کار می‌رود. تعداد خطوط عبور با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$N_i = \frac{DDHV}{PHF * MSF_i * f_{HV} * f_p} \quad \text{رابطه ۱۲-۴}$$

که

N_i = تعداد خطوط عبور (در یک جهت) که برای ایجاد سطح سرویس i لازم است

$DDHV$ = حجم جریان ساعت طرح

MSF_i, f_{HV}, f_p قبلاً تعریف شده‌اند.

تحلیل طراحی یک روند تبدیلی است. مقادیر MSF_i به سرعت جریان آزاد تسهیلات وابسته است. همان‌طور که به‌نظر می‌رسد سرعت جریان آزاد در یک آزادراه به تعداد خطوط عبور وابسته است بنابراین تعداد خطوط عبور باید فرض گرفته شود سپس با رابطه فوق محاسبه شود و این روند ادامه یابد تا عدد فرض شده و محاسبه شده با هم برابر شوند.

وقتی این روند به کار می‌رود بهتر است در ابتدا نرخ تردد و حجم سرویس برای سطح سرویس مورد نظر برای محدوده‌ای از مقادیر N (معمولاً ۴، ۳، ۲ و در صورت امکان ۵ خط عبور) محاسبه شود سپس تقاضای حجم با نرخ تردد با نتایج محاسبه فوق برای تعیین آسان‌تر تعداد خطوط عبور مقایسه می‌شود.

۱۲-۳-۲ تعیین سرعت جریان آزاد

سرعت جریان آزاد یک تسهیلات به‌خوبی با اندازه‌گیری‌های عملی محاسبه می‌شود با توجه به منحنی رابطه جریان-سرعت برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها چندخطه، میانگین سرعت محاسبه شده وقتی که تردد کمتر یا برابر 1000 pc/h/ln تقریباً سرعت جریان آزاد را نشان می‌دهد.

همیشه این امکان وجود ندارد که بتوان سرعت جریان آزاد را اندازه‌گیری کرد. وقتی یک تسهیلات جدید در دست ساخت یا یک تسهیلات باید از نو طراحی شود، محاسبه دقیق سرعت جریان آزاد میسر نیست. حتی برای یک تسهیلات موجود نیز زمان و هزینه مطالعه کارگاهی کاملاً معین و تضمین شده نیست.

سرعت جریان در یک آزادراه با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_N - f_{ID} \quad \text{رابطه (۵-۱۲)}$$

که

$$FFS = \text{سرعت جریان آزادراه (km/hr)}$$

$$BFFS = \text{سرعت جریان آزاد پایه در آزادراه (۱۱۴/۸ km/hr برای آزادراه‌های شهری و}$$

$$\text{حومه و ۱۲۳ km/hr برای آزادراه‌های بین شهری)}$$

$$f_{lw} = \text{مقدار اصلاحی برای عرض خط (km/hr)}$$

$$f_{lc} = \text{مقدار اصلاحی برای فاصله جانبی از موانع (km/hr)}$$

$$f_N = \text{مقدار اصلاحی برای تعداد خطوط (km/hr)}$$

$$f_{ID} = \text{مقدار اصلاحی برای تراکم تبدلات در طول مسیر (km/hr)}$$

اصلاح برای عرض خط: شرایط پایه برای عرض خط ۳/۶۶ متر است. برای خطوط

عبور باریک سرعت جریان آزاد پایه به میزان مقادیر داده شده در جدول شماره ۵-۱۲ کاهش می‌یابد.

اصلاح برای فاصله جانبی از موانع: میزان پایه فاصله جانبی حداقل ۱/۸۳ متر برای

سمت راست و حداقل ۰/۶۱ متر برای سمت چپ یا میانه در آزادراه‌هاست. مقدار اصلاحی

برای فاصله جانبی از راست مطابق با داده‌های جدول شماره ۶-۱۲ بوده و مقدار خاصی برای

فاصله کمتر در سمت چپ چون به ندرت اتفاق می‌افتد وجود ندارد.

جدول شماره ۵-۱۲- مقدار اصلاحی سرعت جریان آزاد برای عرض خط آزادراه

عرض خط (متر)	کاهش در سرعت جریان آزاد f_{lw} (km/hr)
$\geq 3/66$	۰
۳/۳۵	۳/۱۲
۳/۰۴	۱۱

استفاده شده با مجوز HCM۲۰۰۰, TRB

باید در ارزیابی هنگام وجود مانع در سمت راست جاده دقت شود. بعضی موانع مانند گاردریل یا دیوار حایل پیوسته‌اند و بعضی مانند دیواره پل یا حایل‌های نوری تکراری می‌باشند. در بعضی موارد رانندگان ممکن است به بعضی از موانع عادت کرده و تأثیر آن بر سرعت جریان آزاد به حداقل برسد.

جدول شماره ۶-۱۲- مقدار اصلاحی سرعت جریان آزاد برای موانع جانبی در آزادراه

فاصله جانبی از دست راست (متر)	کاهش سرعت جریان آزاد (km/hr)			
	تعداد خطوط عبور در یک جهت			
	۲	۳	۴	≥ 5
≥ 6	۰	۰	۰	۰
۵	۰/۹۸	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۱۶
۴	۱/۶۷	۱/۳۱	۰/۶۶	۰/۳۳
۳	۲/۹۵	۱/۶۷	۰/۹۸	۰/۴۹
۲	۳/۹۴	۲/۶۲	۱/۳۱	۰/۶۶
۱	۴/۹۲	۳/۲۸	۱/۶۴	۰/۸۲
۰	۵/۹۰	۳/۹۴	۱/۹۷	۰/۹۸

استفاده شده با مجوز HCM۲۰۰۰, TRB

موانع سمت راست در ابتدا روی عملکرد خط عبور کنارشان تأثیر می‌گذارند. رانندگان سعی می‌کنند از این موانع دور شده و به سمت چپ بیایند و به همین ترتیب رانندگان خط عبور دوم نیز سعی می‌کنند تحت تأثیر این موضوع بیشتر در سمت چپ حرکت کنند. تأثیر کلی این موضوع سبب می‌شود که رانندگان از سمت راست فاصله گرفته، نزدیک به هم حرکت کنند که سبب کاهش بازده جریان ترافیک می‌شود. این تأثیر مانند باریک بودن خط عبور است. چون عمده تأثیر بر روی خط عبور سمت راست می‌باشد میزان اثر این موضوع با افزایش تعداد خطوط عبور کاهش می‌یابد.

اصلاح برای تعداد خطوط عبور

این اصلاح موضوع بحث زیادی دارد. شرایط پایه برای تعداد خطوط عبور یک بزرگراه ۵ خط عبور در هر جهت است استفاده از این تعداد خطوط عبور که به‌ندرت اتفاق می‌افتد جای سؤال زیادی دارد. بزرگراه‌های ۸ خطه یعنی ۴ خط عبور در هر طرف بزرگ‌ترین اندازه معمول در سطح ملی برای آمریکا است به‌علاوه این پرسش وجود دارد که به چه دلیل این مقدار اصلاحی برای تعداد خط عبور ۸ و حتی ۶ خط عبور برای آزادراه‌ها وجود دارد. کاربرد این مقدار اصلاحی این مفهوم را در بردارد که آزادراه‌های ۸، ۶، ۴ خطه در مناطق شهری و حومه شهر هرگز نمی‌توانند دارای سرعت جریان آزاد $114/8 \text{ (km/hr)}$ حتی با شرایط ایده‌آل باشند. در نتیجه مباحث فوق HCQSC کاربرد این مقدار اصلاحی را تغییر داد و مقدار اصلاحی برای جاده‌های برون‌شهری در نظر گرفته نشد. ادامه کاربرد این مقدار اصلاحی در آزادراه‌های شهری و حومه شهر هنوز جدال‌انگیز است با این حال مقدار اصلاحی تعداد خطوط عبور در جدول شماره ۱۲-۷ ذکر شده است.

عامل اصلاحی برای تراکم تبادلات:

شاید بیشترین تأثیر در سرعت جریان آزاد یک آزادراه ناشی از تعداد و فاصله تبادلات باشد. تراکم تبادلات به‌عنوان میانگین تعداد تبادلات در هر کیلومتر در طول ۱۰ کیلومتر یک بزرگراه تعریف می‌شود که به‌عنوان ۵ کیلومتر جریان ترافیک بالادست و ۵ کیلومتر جریان ترافیک پایین دست مقطع مورد بررسی، در نظر گرفته می‌شود. توجه داشته باشید که تراکم تبادلات براساس تعداد رمپ‌ها نیست و یک تبادول ممکن است شامل چند رمپ باشد یک تبادول نیم‌شبدری دارای چهار و یک تبادول تمام‌شبدری دارای ۸ رمپ می‌باشد. در یک تبادول حداقل یک رمپ ورودی باید وجود داشته باشد و یک مقطع با یک رمپ خروجی یک تبادول تلقی نمی‌شود. شرایط پایه برای تبادلات ۰/۳ تبادول در هر کیلومتر است که نشان‌دهنده فاصله ۳/۳ کیلومتر بین تبادلات است. مقدار اصلاحی تراکم تبادول‌ها در شکل شماره ۱۲-۸ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۲-۷- مقدار اصلاحی سرعت جریان آزاد برای تعداد خطوط عبور آزادراه

تعداد خطوط عبور (در یک جهت)	کاهش در سرعت جریان آزاد f_N (km/hr)
≥ 5	۰
۴	۱/۵
۳	۳/۰
۲	۴/۵

جدول شماره ۱۲-۸- مقدار اصلاحی برای سرعت جریان آزاد تراکم‌های مختلف تبدلات آزادراه‌ها

کاهش در سرعت جریان آزاد f_{ID} (km/hr)	تعداد تبدلات در هر کیلومتر
۰	$\leq ۰/۳$
۲/۱	۰/۴۶
۴/۱	۰/۶۱
۶/۱	۰/۷۶
۸/۲	۰/۹۱
۱۰/۳	۱/۰۷
۱۲/۳	۱/۲۲

(استفاده با مجوز HCM ۲۰۰۰، TRB)

بزرگراه‌های چندخطه

سرعت جریان آزاد بزرگراه‌های چندخطه با استفاده از رابطه زیر مشخص می‌شود:

رابطه ۱۲-۶

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_M - f_A$$

که

FFS = سرعت جریان آزاد بزرگراه‌های چندخطه (Km/h)

$BFFS$ = سرعت جریان آزاد پایه (مطابق بحث زیر) (Km/h)

f_{lw} = مقدار اصلاحی برای عرض خط (Km/h)

f_{lc} = مقدار اصلاحی برای فاصله جانبی از موانع (Km/h)

f_M = مقدار اصلاحی برای نوع میانه راه (Km/h)

f_A = مقدار اصلاحی برای تعداد نقاط دسترسی راه (Km/h)

اگر داده‌های دقیقی وجود نداشته باشد برای مسیرهای برون‌شهری و حومه سرعت جریان آزاد پایه $(98/4 \text{ Km/h})$ ، به کار می‌رود. همچنین کاربرد سرعت مجاز ذکر شده روی تابلو به عنوان یک تخمین، مناسب است. سرعت جریان آزاد حدوداً وقتی سرعت ذکر شده تابلو ۶۰ یا ۷۰ کیلومتر در ساعت باشد حدود (12 Km/h) از آن بزرگ‌تر بوده و برای محدودیت‌های ۸۰ و ۹۰ سرعت جریان آزاد ۸ کیلومتر بالاتر از این حد است.

مقدار اصلاحی برای عرض خط. همانند آزادراه‌ها عرض خط پایه برای بزرگراه‌ها ۳/۶۶ متر است. برای خطوط باریک‌تر سرعت جریان آزاد مطابق با داده‌های جدول شماره ۹-۱۲ است.

مقدار اصلاحی برای فاصله از موانع جانبی:

. برای بزرگراه‌ها این مقدار اصلاحی براساس فاصله کل تا موانع جانبی است که شامل مجموع فاصله جانبی در سمت راست جاده و سمت چپ نسبت به میانه می‌شود. گرچه این موضوع ساده به نظر می‌رسد ولی جزئیات خاصی باید در نظر گرفته شود.

• فاصله جانبی پایه $1/83$ متر است بنابراین نه فاصله جانبی چپ و نه راست هیچ وقت بزرگ‌تر از $1/83$ متر در نظر گرفته نمی‌شود و کل فاصله جانبی ۳/۶۶ متر بوده که نصف آن برای سمت راست و نصف دیگر برای سمت چپ است.

جدول شماره ۹-۱۲- مقدار اصلاحی سرعت جریان آزاد برای عرض خط بزرگراهها

عرض خط (متر)	کاهش در سرعت جریان آزاد f_{lw} (Km/h)
۳/۶۶	۰
۳/۳۵	۳/۱
۳/۰۵	۱۰/۸

(استفاده با مجوز HCM ۲۰۰۰، TRB)

• برای یک بزرگراه بدون میانه (جدا نشده) هیچ فاصله جانبی در سمت چپ وجود ندارد ولی یک مقدار اصلاحی برای نوع میانه وجود دارد که حالت (جدا نشده) را هم دربر می گیرد. برای جلوگیری از تأثیر دوباره عدم وجود فاصله جانبی در سمت چپ، فاصله جانبی سمت چپ را پس از اخذ مقدار کاهش سرعت جریان آزاد f_M ۱/۸۳۶ متر در نظر می گیریم.

• برای بزرگراههای چندخطه که در دو جهت دارای خط عبور گردش به چپ هستند (TWL/TLS) فاصله جانبی چپ یا وسط همچنین مقدار ۱/۸۳ متر در نظر گرفته می شود.

• برای بزرگراههای تفکیک نشده، فاصله سمت چپ یا فاصله تا میانه براساس موقعیت حایل یا موانع تکراری (پایه ها یا چراغ استاندارد) در میانه یا فاصله تا جریان ترافیک مخالف ارزیابی می شود. و همچنان که قبلاً ذکر شد حداکثر فاصله ۱/۸۳ متر است

مقادیر اصلاحی سرعت جریان آزاد برای فاصله کل از موانع جانبی در یک بزرگراه

چند خطی در جدول شماره ۱۲-۱۰ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۲-۱۰- مقادیر اصلاحی سرعت جریان آزاد برای فاصله از موانع جانبی در بزرگراه‌های چندخطه

بزرگراه‌های ۶ خطه		بزرگراه چهار خطه	
کاهش در سرعت جریان آزاد f_{lc} (Km/h)	فاصله کل از موانع جانبی (m)	کاهش در سرعت جریان آزاد (Km/h)	فاصله کل از موانع جانبی (m)
۰	$\geq 3/66$	۰	$\geq 3/66$
۰/۶۶	۳/۰۵	۰/۶۶	۳/۰۵
۱/۴۸	۲/۴۴	۱/۴۸	۲/۴۴
۲/۱۳	۱/۸۳	۲/۱۳	۱/۸۳
۲/۹۵	۱/۲۲	۲/۹۵	۱/۲۲
۵/۹	۰/۶۱	۵/۹	۰/۶۱
۸/۸۶	۰	۸/۸۶	۰

(استفاده با مجوز HCM۲۰۰۰، TRB)

مقدار اصلاحی نوع میانه

مقدار اصلاحی نوع میانه در جدول شماره ۱۲-۱۱ نشان داده شده است. کاهشی

برابر با $2/6$ (Km/h) برای حالت تفکیک نشده وقتی که بزرگراه‌های تفکیک شده یا

بزرگراه‌های که دو طرف آنها گردش به چپ دارند ملاک کار می‌باشند، در نظر گرفته شده

است.

مقدار اصلاحی برای تراکم نقاط دسترسی

یک مقدار حساس برای سرعت جریان آزاد پایه وابسته به تراکم نقاط دسترسی است.

تراکم نقاط دسترسی میانگین تقاطع‌های بدون چراغ با جاده‌ها و مسیرهای مختلف در کیلومتر

است که نقاط دسترسی در سمت راست جاده به حساب می‌آید (برای جهت مورد نظر

ترافیک).

جدول شماره ۱۱-۱۲- مقدار سرعت جریان آزاد برای نوع میانه در بزرگراه‌های چند خطه

نوع میانه	کاهش در سرعت جریان آزاد f_M (Km/h)
تفکیک نشده بزرگراه که هر دو طرف آن باند گردش بچپ دارد (TWLTL) تفکیک شده	۲/۶۲ ۰ ۰

جاده‌ها و ورودی‌هایی با ترافیک کم یا برای اهداف خاص که تأثیر کمی در رفتار راننده ها دارند، به عنوان نقطه دسترسی به حساب نمی‌آیند. مقدار اصلاحی مربوطه در جدول شماره ۱۲-۱۲ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۲-۱۲ فاکتور اصلاحی سرعت جریان آزاد برای تراکم نقاط دسترسی در بزرگراه‌های چندخطه

تراکم نقاط دسترسی (دسترسی در کیلومتر)	کاهش در سرعت جریان آزاد (Km/h)
۰	۰
۶	۴/۱
۱۲	۸/۲
۱۸	۱۲/۳
۲۴	۱۶/۴

مثال برای تخمین سرعت جریان آزاد

مثال شماره ۱۲-۱ یک آزادراه شهری

یک آزادراه قدیمی شهری دارای خصوصیات زیر است:

عرض خط ۳/۳۵ متر، حایل سمت راست در فاصله ۰/۶۱ متری از باند عبور و تراکم

تبادلات ۱/۲۲ تبادل در کیلومتر (تبادلات با فاصله ۰/۸۲ کیلومتر). سرعت جریان آزاد در این

آزادراه چقدر است؟

حل:

سرعت جریان آزاد با استفاده از رابطه ۵-۱۲ بدست می آید:

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_N - f_{ID}$$

$$BFFS = 114/8 \text{ km/h} \text{ (شرایط پایه برای آزادراه شهری)}$$

$$f_{lw} = 3/1 \text{ km/h} \text{ (جدول شماره ۵-۱۲ و عرض ۳/۳۵ متر)}$$

$$f_{lc} = 4/92 \text{ km/h} \text{ (جدول شماره ۶-۱۲، ۰/۶۲ متر فاصله جانبی از مانع و سه خطعبور)}$$

$$f_N = 4/92 \text{ km/h} \text{ (جدول شماره ۳۷-۱۲ خطعبور در هر جهت)}$$

$$f_{ID} = 12/3 \text{ km/h} \text{ (جدول شماره ۸-۱۲ تبادل در هر کیلومتر)}$$

$$\text{سرعت جریان آزاد} = FFS = 114/8 - 3/1 - 2/6 - 4/92 - 12/3 = 91/88 \text{ Km/h}$$

مثال شماره ۱۲-۲ یک بزرگراه چهارخطه در حومه شهر

یک بزرگراه چهارخطه جدا نشده در منطقه حومه شهر دارای خصوصیات زیر است:

سرعت مجاز ذکرشده روی تابلو ۸۰ Km/h، عرض ۳/۳۵ متر، حایل در فاصله ۱/۲ متر

از سمت چپ روسازی ۱۸ نقطه دسترسی در سمت راست تسهیلات در هر کیلومتر. سرعت

جریان آزاد برای جهت فوق چقدر است؟

حل:

سرعت جریان آزاد در بزرگراه چندخطه با استفاده از رابطه ۶-۱۲ بدست می آید.

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_M - f_A$$

سرعت جریان آزاد یک بزرگراه چندخطه ممکن است با استفاده از پیش فرض

۹۸ Km/h یا با استفاده از سرعت مجاز روی تابلو بدست آید. در اینجا سرعت جریان آزاد

حداکثر ۸ کیلومتر بیشتر از سرعت ذکر شده روی تابلو است .

که این مقدار در اینجا مد نظر است $80+8=88 \text{ Km/h}$

مقادیر اصلاحی برای سرعت جریان آزاد پایه مطابق زیر است:

$$3/1 \text{ km/h} = f_{lw} \text{ (جدول شماره 9-12، عرض خط } 3/35 \text{ متر)}$$

$$0/66 \text{ km/h} = f_{lc} \text{ (جدول شماره 10-12، کل فاصله جانبی از موانع } 3/04 \text{ متر و آزادراه}$$

چهارخطه)

$$2/6 \text{ km/h} = f_m \text{ (جدول شماره 10-12، بزرگراه جدا نشده)}$$

$$12/3 \text{ km/h} = f_A \text{ (جدول شماره 12-12، 18 دسترسی در هر کیلومتر)}$$

$$FFS = 88 - 3/1 - 0/66 - 2/6 - 12/3 = 69/4 \text{ Km/h}$$

توجه:

در مقادیر اصلاحی انتخاب شده برای فاصله از موانع، کل فاصله جانبی $1/22 \text{ m}$ (برای

سمت راست) با مقدار فرضی $1/83 \text{ m}$ (برای سمت چپ) به عنوان پیش فرض بزرگراه‌های

تفکیک شده است.

۱۲-۳-۳- مشخص کردن عامل وسایل نقلیه سنگین

میزان اصلاحی اصلی برای تقاضا حجم، عامل وسایل نقلیه سنگین است که به خاطر

حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک است. وسیله نقلیه سنگین به وسایل نقلیه‌ای

اطلاق می‌شود که در حالت عملکرد معمولی دستگاه بیش از چهار تایر سطح روسازی را لمس

کند. دو گروه از این وسایل به شرح زیر است:

• کامیون‌ها و اتوبوس‌ها

• وسایل نقلیه تفریحی

اتوبوس‌ها و کامیون‌ها دارای خصوصیات یکسان هستند و در تحلیل ظرفیت به صورت یکسان طبقه‌بندی می‌شوند. کامیون‌ها دارای محدوده اندازه و خصوصیات متنوعی بوده و از کامیون‌های تک‌محور کوچک تا تریلی‌های ترکیبی یک‌کش بزرگ را دربر می‌گیرند. عامل وسیله‌نقلیه سنگین در HCM ۲۰۰۰ براساس ترکیب ترافیکی کامیون‌ها با میانگین نسبت وزن به قدرت در حد 70 kg/hp تعریف شده است.

وسایل نقلیه تفریحی نیز دارای تنوع زیادی در اندازه و خصوصیات بوده و برخلاف اتوبوس و کامیون که وسایلی با کاربرد تجاری و راننده‌های حرفه‌ای هستند وسایل نقلیه تفریحی معمولاً با مالکیت شخصی و بدون راننده حرفه‌ای بوده که گاه و بی‌گاه مورد استفاده قرار می‌گیرند وسایل نقلیه تفریحی، اتاقک‌های شخصی‌موتوردار و تریلرهایی که با وسایل نقلیه شخصی یک می‌شود، SUV و کامیون‌های کوچک را دربر می‌گیرد. این نوع وسایل دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به کامیون و اتوبوس در جریان ترافیک و نسبت وزن به اسب بخار در محدوده 34 kg/hp تا 45 kg/hp می‌باشند.

تأثیر وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک بدون وقفه تقریباً برای بزرگراه‌های چندخطه و آزاد راه‌ها یکسان است. بنابراین روندهای ذکر شده در این بند برای هر دو مورد کارایی دارد.

مفهوم هم‌ارز خودرو سواری و رابطه آن با مقدار اصلاحی برای وسیله نقلیه سنگین:

مفهوم مقدار اصلاحی برای وسایل نقلیه سنگین بر پایه هم‌ارز خودرو سواری می‌باشد. هم‌ارز خودرو و سواری به تعداد خودرو سواری که در یک جریان ترافیک با شرایط و عملکرد موجود می‌تواند جایگزین یک کامیون، اتوبوس یا وسایل نقلیه تفریحی شوند، اطلاق می‌گردد.

مطابق با دو نوع تعریف برای وسایل نقلیه سنگین دو هم‌ارز معادل خودرو سواری نیز تعریف می‌شود.

E_T = هم‌ارز خودرو سواری برای اتوبوس و کامیون در شرایط موجود جریان ترافیک

E_R = هم‌ارز خودرو سواری برای وسایل نقلیه تفریحی در شرایط موجود ترافیک

رابطه بین این هم‌ارزها و عامل تطبیق وسایل نقلیه سنگین را با استفاده از مثال زیر می‌توان نشان داد:

فرض کنید یک جریان ترافیک شامل ۱ درصد کامیون و ۲ درصد وسایل نقلیه تفریحی است برای این نوع جریان ترافیک مطالعات کلی نشان می‌دهد که هر کامیون و هر وسیله نقلیه تفریحی را می‌توان به ترتیب با ۲/۵ و ۲ عدد خودرو سواری جایگزین کرد. تعداد کل هم‌ارز خودرو سواری در ساعت برای این جریان ترافیک چقدر است؟

با توجه به مقادیر هم‌ارز خودرو سواری داریم

یک کامیون = ۲/۵ خودرو سواری

یک وسیله نقلیه تفریحی = ۲ خودرو سواری

تعداد هم‌ارز خودرو سواری در جریان ترافیک با ضرب کردن تعداد هر نوع وسیله نقلیه در هم‌ارز خودرو سواری مربوطه با توجه به اینکه هم‌ارز خودرو سواری برای خودش برابر یک می‌باشد، بدست می‌آید. این محاسبات برای هر نوع وسیله نقلیه به شرح زیر است:

کامیون $1000 \times 1/2.5 = 400$ خودرو سواری در ساعت

وسيله نقلیه تفریحی: $1000 \times 2/2 = 1000$ خودرو سواری در ساعت

خودرو سواری: $1000 \times 1/1 = 1000$ خودرو سواری در ساعت

کل: ۱۱۷۰ وسیله نقلیه سواری در ساعت

بنابراین جریان ترافیک ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت فوق هم‌ارز ۱۱۷۰ خودرو سواری می‌باشد.

بدین وسیله، عامل تطبیق وسایل نقلیه سنگین f_{HV} ، تعداد وسیله نقلیه بر ساعت را در جریان ترافیک به تعداد خودرو سواری در ساعت pc/h تبدیل می‌کند.

$$V_{pce} = \frac{V_{vph}}{f_{HV}} \quad \text{رابطه ۱۲-۷}$$

که

$$V_{pce} = \text{نرخ جریان pc/h}$$

$$V_{vph} = \text{نرخ جریان Veh/h}$$

$$f_{HV} = \text{در اینجا بدین ترتیب بدست می‌آید}$$

$$1170 = \frac{1000}{f_{HV}}$$

$$f_{HV} = \frac{V_{vph}}{V_{pce}} = \frac{1000}{1170} = 0.8547$$

برای این مثال تعداد خودرو سواری هم‌ارز در ساعت برای هر نوع وسیله نقلیه با ضرب

کردن کل وسایل نقلیه مذکور در نسبت هم‌ارز خودرو سواری آن نوع وسیله نقلیه بدست

می‌آید. تعداد هم‌ارز خودرو سواری در جریان ترافیک بدین گونه شرح داده می‌شود.

$$V_{pce} = (V_{vph} * P_T * E_T) + (V_{vph} * P_R * E_R) + (V_{vph} * (1 - P_T - P_R))$$

که

$$P_T = \text{نسبت کامیون و اتوبوس در جریان ترافیک}$$

E_T = هم ارز خودرو سواری برای کامیون و اتوبوس

E_R = هم ارز خودرو سواری برای وسایل نقلیه تفریحی

عامل وسیله نقلیه در اینجا بدین ترتیب بدست می آید که

$$f_{HV} = \frac{V_{vph}}{V_{pce}} = \frac{V_{vph}}{(V_{vph} * P_T * E_T) + (V_{vph} * P_R * E_R) + (V_{vph} * (1 - P_T - P_R))}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

پس از ساده کردن برابر است: با

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

رابطه ۹-۱۲

کاربرد رابطه فوق در مساله قبلی.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.1(2/5 - 1) + 0.2(2 - 1)} = \frac{1}{1.17} = 0.8547$$

همانطور که انتظار می رفت این داده با محاسبه قبلی برابر است.

هم ارز خودرو سواری برای آزادراه های وسیع و مقاطع بزرگراه های چندخطه

HMC ۲۰۰۰ هم ارز خودرو سواری را برای کامیون ها، اتوبوس ها وسایل نقلیه تفریحی

در مقاطع معمولی جاده و برای شیب های خاص که تاثیر عمده در ترافیک دارند طبقه بندی کرده است.

یک قسمت طولانی از یک جاده ممکن است در صورتی که شیب ۳ درصد و بیشتر

دارای طول بالای ۰/۴۱ کیلومتر و شیب های کمتر از ۳ درصد دارای طول بالای ۰/۸ کیلومتر

نداشته باشد به عنوان یک قسمت تکی گسترده تلقی شود. این نواحی، طبقه بندی شده و دارای سه حالت زیر هستند:

• نواحی مسطح:

نواحی با شیب‌های کم، و به طور معمول کمتر از ۲ درصد را شامل می‌شود که ترکیبی از خصوصیات افقی و قائم جاده به کامیون‌ها و اتوبوس‌ها امکان حفظ سرعت در حد سرعت خودرو سواری را در جریان ترافیک می‌دهند.

• نواحی تپه ماهوری:

نواحی تپه ماهوری به ترکیبی از شیب‌های افقی و قائم که سبب کاهش سرعت وسایل نقلیه سنگین نسبت به خودرو سواری شده ولی سرعت وسایل نقلیه سنگین به سرعت خزش نرسد، گفته می‌شود. سرعت خزش به حداقل سرعتی، اطلاق می‌شود که وسیله نقلیه سنگین می‌تواند در یک مقطع آن سرعت را حفظ کند.

• نواحی کوهستانی

در این نواحی خصوصیات هندسی جاده به گونه ای است که سبب می‌شود عملکرد وسایل نقلیه سنگین به صورت نوسانی یا در یک فاصله طولانی در حد سرعت خزش باشد. قابل ذکر است از نظر اجرایی حالت کوهستانی یک مورد نادر است. وجود یک مقطع طولانی بزرگراه که وسایل نقلیه سنگین را به صورت نوسانی یا دائم مجبور به باقی ماندن در سرعت خزش کند دور از انتظار است و این نوع مقاطع معمولاً شامل شیب تند و طولانی که نیاز به تحلیلی خاص دارند، می‌شود.

جدول شماره شماره ۱۲-۱۳ هم‌ارز خودرو سواری را برای آزادراه‌های و بزرگراه‌های

چندخطه طولانی در یک ناحیه معمولی نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱۲-۱۳- هم‌ارز خودرو سواری برای کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی

در یک مقطع از یک ناحیه معمولی یک آزادراه یا بزرگراه چندخطه

عامل	نوع ناحیه		
	کوهستانی	تپه، ماهور	مسطح
E_T	۴/۵	۲/۵	۱/۵
E_R	۴	۲	۱/۲

در تحلیل مقاطع معمولی برای مشخص نمودن نوع منطقه، خود جاده مورد بررسی قرار گرفته و از شرایط اطراف آن صرف نظر می‌شود. برای مثال بسیاری از آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه که در مناطق مسطح قرار دارند بسته به نوع شیب آنها در مقاطع مختلف ممکن است در دسته تپه‌ماهوری قرارگیرند. به‌طور کلی طبقه‌بندی انواع راه‌ها بسته به عملکرد وسایل نقلیه سنگین داشته و در مواردی نیز درصد این نوع وسایل در این دسته‌بندی موثر است.

هم‌ارزی‌های خودرو سواری برای شیب‌های خاص در آزادراه‌های و بزرگراه‌های چندخطه

کلیه شیب‌های کمتر از ۳ درصد با طول بیش از ۰/۸۲ کیلومتر و کلیه شیب‌های ۳ درصد و بیشتر با طول بیش از ۰/۴۱ کیلومتر به‌عنوان شیب‌های خاص ارزیابی می‌شود. این موضوع بدین علت است که یک شیب طولانی می‌تواند تاثیر زیادی در عملکرد وسایل نقلیه سنگین و خصوصیات کل جریان ترافیک داشته باشد.

HCM ۲۰۰۰ هم‌ارز خودرو سواری را برای موارد زیر تعریف کرده است:

- کامیون و اتوبوس در شیب‌های خاص (جدول شماره ۱۲-۱۴)
- وسایل نقلیه تفریحی در شیب‌های خاص (جدول شماره ۱۲-۱۵)
- کامیون‌ها و اتوبوس‌ها در سرازیری (جدول شماره ۱۲-۱۶)

هم‌ارز خودرو سواری وسایل نقلیه تفریحی در سرازیری‌ها معمولاً برابر با مناطق صاف یا

۱/۲ برابر آن منظور می‌شود.

با گذشت زمان عملکرد وسایل نقلیه سنگین نسبت به خودرو سواری پیشرفت کرده است. کامیون‌ها در شرایط حاضر به‌خاطر استفاده از موتورهای توبوشارژ دارای توان زیادی نسبت به گذشته می‌باشند. بنابراین حداکثر هم‌ارز خودرو سواری در جدول شماره ۱۲-۱۴ و ۱۲-۱۵ عدد ۷ است در حالی که این عدد در HCM ۱۹۶۵ بزرگ‌تر و در حد ۱۷ بوده است.

جدول شماره ۱۲-۱۴ تا ۱۲-۱۶ تأثیر وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک را مشخص می‌کنند. در بدترین حالت یک کامیون می‌تواند عملکردی معادل ۷-۷/۵ خودرو سواری در جریان ترافیک داشته‌باشد. این تفاوت هم به‌خاطر اندازه وسایل نقلیه و هم بدین علت هست که وسایل نقلیه سنگین نمی‌توانند مانند خودروهای سواری سرعت خود را در شرایط خاص حفظ کنند. بالاخص مورد دوم بسیار مهم است و خیلی از اوقات فاصله زیادی بین وسایل نقلیه سنگین ایجاد می‌شود که خودروهای سواری نمی‌توانند به‌صورت پیوسته آن را پر کنند.

توجه داشته باشید که در این جدول‌ها روندهای خاصی وجود دارد. معمولاً وقتی شیب، زیادتر و یا طولانی‌تر می‌شود (چه سربالایی و چه سرازیری) هم‌ارز خودرو سواری افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر جریان ترافیک است.

یک روند ضعیف‌تر نیز اینست که هم‌ارز خودرو سواری در هر موقعیتی با افزایش نسبت کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه تفریحی کاهش می‌یابد. به‌خاطر داشته باشید که اعداد داده شده در جدول شماره ۱۲-۱۴ تا ۱۲-۱۶ هم‌ارز خودرو سواری می‌باشند (یعنی تعداد خودرو سواری که می‌توانند جایگزین یک کامیون، اتوبوس یا وسیله نقلیه تفریحی شوند).

حداکثر تاثیر وسایل نقلیه سنگین، هنگامی است که یک وسیله نقلیه سنگین در جریان ترافیک بلوکه شود. وقتی که تعداد وسایل نقلیه سنگین افزایش می‌یابد کم‌کم یک دسته را تشکیل می‌دهند که می‌تواند با بازده مناسب‌تری عمل کنند. تاثیر تجمعی تعداد زیاد وسایل نقلیه سنگین باعث کاهش کیفیت عملکرد است.

در بعضی موارد تاثیر وسیله نقلیه سنگین در سرازیری می‌تواند از سربالایی همان شیب بدتر باشد. تاثیر وسایل نقلیه سنگین در سرازیری به این امر وابسته است که آیا برای کنترل نیاز به استفاده از دنده سنگین دارند یا نه. این مورد برای کامیون‌ها در سرازیری‌های بالای ۴ درصد عمومیت دارد و برای سرازیری‌های کمتر مقدار E_T در مناطق مسطح به‌کار می‌رود.

شیب‌های ترکیبی

هم‌ارز خودرو سواری داده شده در جدول شماره ۱۲-۱۴ تا ۱۲-۱۶ بر پایه شیب و طول ثابت است. ولی در اکثر مواقع بزرگراه، ترکیبی از شیب‌های مختلف است (برای مثال سربالایی و سرپایینی با شیب‌های متفاوت) در این شرایط می‌توان هم‌ارز یکنواخت را برای مشخص کردن هم‌ارز خودرو سواری به‌کار برد.

جدول شماره ۱۲-۱۴- هم‌ارز خودروسواری برای کامیون و اتوبوس در سربالایی

EXHIBIT 23-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON UPGRADES										
Upgrade (%)	Length (km)	E_T								
		Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
≥ 2-3	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.2-1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.6-2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3-4	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.2-1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.6-2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4-5	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.8-1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 1.2-1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5-6	0.0-0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.5-0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.4-0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.5-0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

جدول شماره ۱۲-۱۵- هم‌ارز خودرو سواری برای وسایل نقلیه تفریحی در سربالایی

Upgrade (%)	Length (km)	E_R								
		Percentage of RVs								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤ 2	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
$> 2-3$	0.0-0.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.8	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
$> 3-4$	0.0-0.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	$> 0.4-0.8$	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
$> 4-5$	0.0-0.4	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	$> 0.4-0.8$	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.8	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	$> 0.4-0.8$	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
	> 0.8	6.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

منبع HCM2000

جدول شماره ۱۲-۱۶- هم‌ارز خودرو سواری برای کامیون و اتوبوس در سرازیری

EXHIBIT 23- 11. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON DOWNGRADES					
Downgrade (%)	Length (km)	E_T			
		Percentage of Trucks			
		5	10	15	20
< 4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	> 6.4	2.0	2.0	2.0	1.5
$> 5-6$	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
$> 5-6$	> 6.4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 6	> 6.4	7.5	6.0	5.5	4.5

منبع HCM2000

ترکیب شیب‌های زیر را در نظر بگیرید.

۹۲۰ متر با شیب ۳ درصد و سپس ۱۵۲۰ متر با شیب ۵ درصد.

چه هم‌ارز وسیله نقلیه سنگینی را در این حالت می‌توان مورد استفاده قرار داد؟

می‌توان شیبی را به طول ۲۴۴۰ متر در نظر گرفت که اثر آن مانند اثر دو شیب فوق

باشد.

روش متوسط شیب: شیبی را برای این مساله می‌توان در نظر گرفت که ترکیبی از دو

شیب بیان شده باشد. برای این کار باید میزان تغییر ارتفاع در این دو شیب را به ترتیب زیر

تعیین کرد.

$$۲۷/۶ \text{ متر} = ۰/۰۳ * ۹۲۰ = \text{تغییر ارتفاع در شیب ۳ درصد}$$

$$۷۶ \text{ متر} = ۰/۰۵ * ۱۵۲۰ = \text{تغییر ارتفاع در شیب ۵ درصد}$$

متوسط شیب با تقسیم تغییر ارتفاع کل بر طول بدست می‌آید.

$$G_{AV} = \frac{۱۰۳/۶ \text{ متر}}{۲۴۳۵} = ۴/۲۵ \text{ درصد}$$

هم‌اکنون ارقام مناسب را می‌توان برای تعیین هم‌ارز خودرو سواری با استفاده از شیب

۴/۲۵ درصد به طول ۲۴۴۵ مورد استفاده قرار داد.

روش متوسط شیب وقتی کلیه قسمت‌ها دارای شیب کمتر از ۴ درصد هستند یا وقتی

که کل طول شیب از ۱۲۲۰ متر کمتر است روش مناسبی است.

روش شیب‌های ترکیبی: برای موارد دشوارتر، روش دقیق دیگری وجود دارد. در این

روند، درصد شیب قطعه ۲۴۴۰ متری با استفاده از سرعت نهایی عملکردی کامیون‌ها به‌عنوان

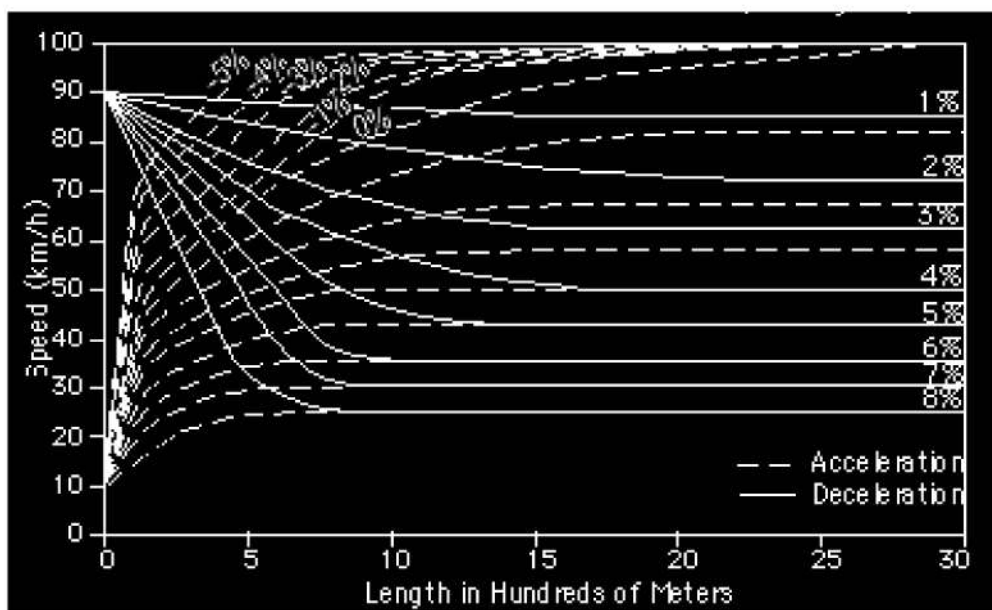
یک روش ترکیبی بدست می‌آید. این کار یک شیوه گرافیکی است که به یک سری منحنی

شیب اجرایی برای کامیون نمونه با نسبت وزن به توان ۹۰ نیاز دارد. شکل شماره ۱۲-۶ منحنی اجرایی و شکل شماره ۱۲-۷ کاربرد آن را برای پیدا کردن شیب معادل در مسأله قبلی که با استفاده از روش متوسط شیب حل شد را نشان می‌دهد.

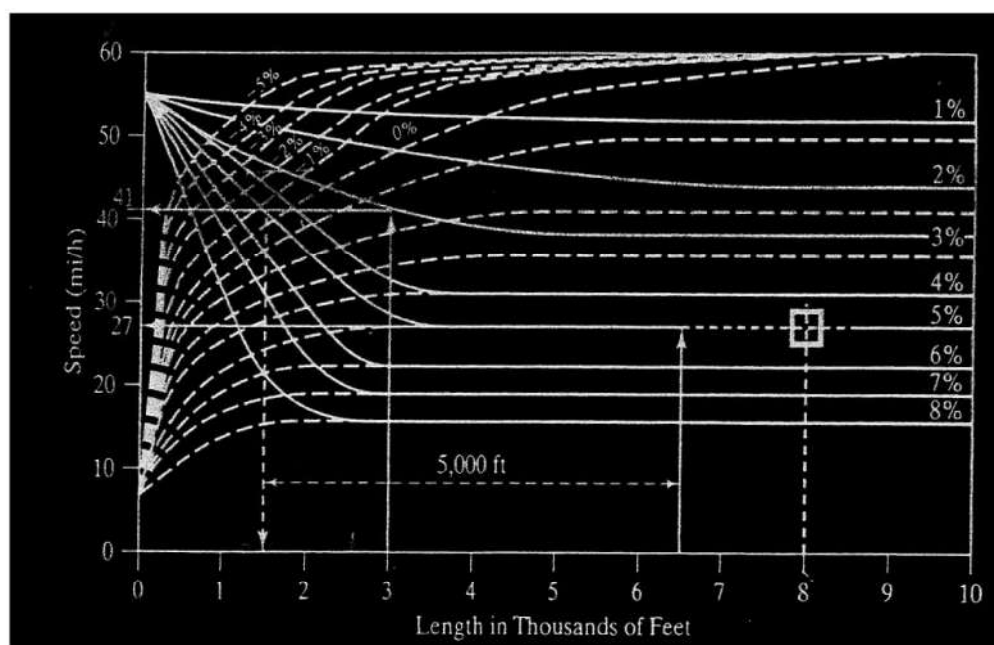
مراتب زیر در شکل شماره ۱۲-۷ برای تعیین شیب هم‌ارز ترکیبی به کار می‌رود.

- با عدد ۹۲۰ متر یعنی طول قسمت شیب مسأله فوق وارد جدول شده و تقاطع آن با منحنی با شیب ۳ درصد را بدست می‌آوریم.
- تقاطع شیب سه درصد را با خط مربوط به طول ۹۲۰ متر به صورت افقی ادامه داده تا به محور y ها می‌رسیم که سرعت ۶۷ کیلومتر در ساعت را مشخص می‌کند. این سرعت یک کامیون نمونه پس از طی ۹۲۰ متر شیب ۳ درصد است و در ضمن سرعت ورودی به شیب ۵ درصد نیز می‌باشد.
- تقاطع خط مربوط به سرعت ۶۷ کیلومتر در ساعت با شیب ۵ درصد را پیدا کرده و به صورت عمودی به محور x ها وصل می‌کنیم. طول بدست آمده در حدود ۴۴۰ متر است بنابراین وقتی کامیون به ابتدای شیب ۵ درصد می‌رسد مانند آنست که ۴۴۰ متر از مسیری با این شیب را طی کرده است

- کامیون دوباره ۱۵۲۰ متر را در شیب ۵ درصد طی می‌کند پس در مجموع ۱۹۶۰ متر را در این شیب به صورت هم‌ارز طی کرده است. در این طول خط عمودی رسم کرده تا منحنی شیب ۵ درصد را قطع کند و سپس به محور y ها به صورت افقی وصل می‌کنیم. با این حساب در پایان شیب، کامیون دارای سرعت ۴۴ کیلومتر بر ساعت است.



شکل شماره ۶-۱۲ عملکرد یک کامیون نمونه در شیب



شکل شماره ۷-۱۲ حل مساله با استفاده از شیب ترکیبی

• برای مشخص کردن شیب معادل، تقاطع سرعت ۴۴ کیلومتر بر ساعت و طول ۲۴۴۰ متر را رسم کرده و بدین ترتیب شیب معادل برابر ۵ درصد بدست می‌آید.

این روش بسیار دقیق‌تر از روش متوسط شیب بوده و ساده‌سازی را به‌خوبی نمایش می‌دهد. یکی از موارد ساده‌سازی انتخاب کامیون‌هایی با توان ۹۰ kg در هر اسب بخار به‌عنوان کامیون نمونه است. به‌علاوه در منحنی اجرایی فرض می‌شود که کامیون‌ها با سرعت ۹۰ کیلو متر بر ساعت وارد می‌شوند و هرگز به سرعت ۹۸ کیلومتر بر ساعت نمی‌رسند که یک فرض کاملاً محافظه‌کارانه است و بالاخره این که هم‌ارز خودرو سواری برای همه انواع وسایل نقلیه سنگین در این روش، کامیون نمونه است.

علیرغم این ساده‌سازی‌ها به‌نظر می‌رسد این روش شیوه بسیار مناسبی در پروفیل‌های شیب‌دار نسبت به روش متوسط شیب است. با استفاده از این روش برای هر تعداد از مقاطع که حتی شامل سرازیری و سربالایی باشند می‌توان شیب ترکیبی هم‌ارز را بدست آورد.

قابل توجه است که در هنگام تحلیل حداکثر تأثیرپذیری در پایان شدیدترین شیب می‌باشد.

بنابراین اگر یک مقطع ۳۰۰ متری با شیب ۳ درصد به‌دنبال یک مقطع ۳۰۰ متری با شیب ۴ درصد بیاید هم‌ارز خودرو سواری در پایان شیب اولی باید در نظر گرفته شود.

۱۲-۳- مشخص کردن و کاربرد عامل اصلاحی برای وسایل نقلیه سنگین

حجم ترافیکی به‌میزان ۲۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت در حال عبور در بزرگراهی جریان دارد که شامل ۱۵ درصد کامیون و ۵ درصد وسایل نقلیه تفریحی می‌باشد قطعه مورد بحث

دارای ۵ درصد شیب و ۱۳۵۰ متر طول است. حجم معادل براساس هم‌ارز خودرو سواری چقدر است؟

حل: مسأله با پیدا کردن هم‌ارز خودرو سواری برای کامیون‌ها و وسایل نقلیه تفریحی با توجه به شیب ۵ درصد و طول ۱۳۵۰ متر قابل حل است که در جدول شماره ۱۲-۱۵ و ۱۲-۱۴ موجود می‌باشد.

$E_T = 2/5$ (جدول شماره ۱۲-۱۴ و با توجه به ۱۵ درصد کامیون، شیب ۴ تا ۵ درصد، طول بین ۹۰۰ تا ۱۳۵۰ متر)

$E_R = 3$ (جدول شماره ۱۲-۱۵ و با توجه به ۵ درصد وسایل نقلیه تفریحی، شیب ۴ تا ۵ درصد، طول بیش از ۹۰۰ متر)

در این جداول باید به حدود مرزی که برای آنها عدد ذکر شده است، توجه شود. عامل اصلاحی برای وسایل نقلیه از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(2/5 - 1) + 0.05(3 - 1)} = \frac{1}{1.325} = 0.7547$$

و معادل حجم خودرو سواری به وسیله رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V_{\rho ce} = \frac{V_{phi}}{F_{HV}} = \frac{2/500}{0.7547} = 3313 \quad \text{اتومبیل سواری در ساعت.}$$

حل مسأله را می‌توان به صورت مستقیم با استفاده از هم‌ارز خودرو سواری انجام داد.

$$2500 * 0.15 * 2/5 = 938 = \text{هم‌ارز خودرو سواری برای کامیون}$$

$$2500 * 0.05 * 3 = 375 = \text{هم‌ارز خودرو سواری برای وسایل نقلیه تفریحی}$$

$$2500 * 0.8 * 1 = 2000 = \text{تعداد خودرو سواری}$$

$$3313 = \text{کل خودرو سواری}$$

۱۲-۳-۴ مشخص کردن عامل انسانی راننده

یکی از روندهای اساسی در آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه در نظر گرفتن عامل انسانی یعنی رانندگان آشنا و کاربران روزانه و خصوصیات آنهاست. در بعضی از مسیرهای تفریحی، اکثر رانندگان با جاده آشنا نیستند. این موضوع می‌تواند تأثیر زیادی در عملکرد راننده داشته باشد. می‌توان گفت عامل اصلاحی به‌درستی تعریف نشده و وابسته به شرایط محلی می‌باشد. عموماً، این عامل از مقدار ۱ (برای جریان ترافیک تشکیل شده از کاربران روزانه) تا ۰/۸۵ به‌عنوان حد پایین برای دیگر راننده‌ها متغیر است. معمولاً در آنالیز عدد یک را مورد استفاده قرار می‌دهیم مگر این که دلیل دیگری برای این مورد وجود داشته باشد. وقتی اکثریت راننده‌ها در جاده‌ای ناآشنا به مسیر باشند برای بدست آوردن عامل انسانی بررسی خصوصیات عملکردی آنها نسبت به رانندگان آشنا پیشنهاد می‌شود. وقتی هدف پیش‌بینی آینده می‌باشد و تعداد مسافرت‌های تفریحی غالب است عامل انسانی راننده برای بدترین حالت عدد ۰/۸۵ پیشنهاد می‌شود.

۱۲-۴ کاربردهای نمونه

مثال ۱۲-۴ آنالیز یک بزرگراه شهری قدیمی

شکل شماره ۱۲-۸ یک قسمت از یک آزادراه قدیمی را در شهر نیویورک نشان می‌دهد. که یک آزادراه چهارخطه (جاده کنار گذر در شکل نشان داده شده) با خصوصیات زیر است.

- عرض خطوط عبور ۳/۰۵ متر.

- وجود ساختمان‌های جانبی در کنار جاده.

- تعداد تبادل ها ۰/۶ تبادل در هر کیلومتر

-منطقه مسطح

جاده دارای اوج حجم ترافیک ۳۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و عامل اوج ساعتی برابر ۰/۹۵ بوده و هیچ کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی در جریان ترافیک وجود ندارد و عبور این نوع وسایل نقلیه ممنوع است.

این آزادراه در هنگام اوج تقاضا در چه سطح سرویس کار می‌کند؟

مرحله ۱:

در ابتدا سرعت جریان آزاد در بزرگراه باید مشخص شود.

سرعت جریان آزاد در بزرگراه با استفاده از رابطه ۵-۱۲ تعیین می شود.

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

که

$BFFS = 114/8$ کیلومتر بر ساعت (پیش فرض برای یک آزادراه شهری)

$f_{LW} = 10/8$ کیلومتر بر ساعت (جدول شماره ۵-۱۲ یک خط عبور ۳/۰۵ متر)

$f_{LC} = 5/9$ کیلومتر بر ساعت (جدول شماره ۶-۱۲، دو خط عبور، مانع در فاصله صفر)

$f_N = 7/4$ کیلومتر بر ساعت (جدول شماره ۷-۱۲ دو خط عبور)

$f_{ID} = 12/3$ کیلومتر بر ساعت (جدول شماره ۸-۱۲ وجود ۰/۶ تبادل در هر کیلومتر)

بنابراین

$$FFS = 114/8 - 10/8 - 5/9 - 7/4 - 12/3 = 78/6 \text{ کیلومتر بر ساعت}$$

مرحله ۲:

مشخص کردن نرخ تقاضای جریان بر حسب هم‌ارز خودرو سواری در شرایط پایه

حجم تقاضا در شرایط پایه با استفاده از رابطه ۱-۱۲ به نرخ جریان معادل تبدیل

می شود.

$$v_p = \frac{V}{PHF * N * f_{HV} * f_p}$$

که:

$V = 3500$ وسیله نقلیه در ساعت (داده شده)

$$PHF = 0.95 \text{ (داده شده)}$$

$$N = 2 \text{ خط عبور (داده شده)}$$

$$f_{HV} = 1 \text{ (عدم وجود کامیون، اتوبوس یا وسایل نقلیه تفریحی)}$$

$$f_p = 1 \text{ (فرض رانندگان با آشنایی به مسیر)}$$

$$V_p = \frac{1}{0.95 * 2 * 1 * 1} = 1842 \text{ وسیله نقلیه در یک خط عبور در ساعت}$$

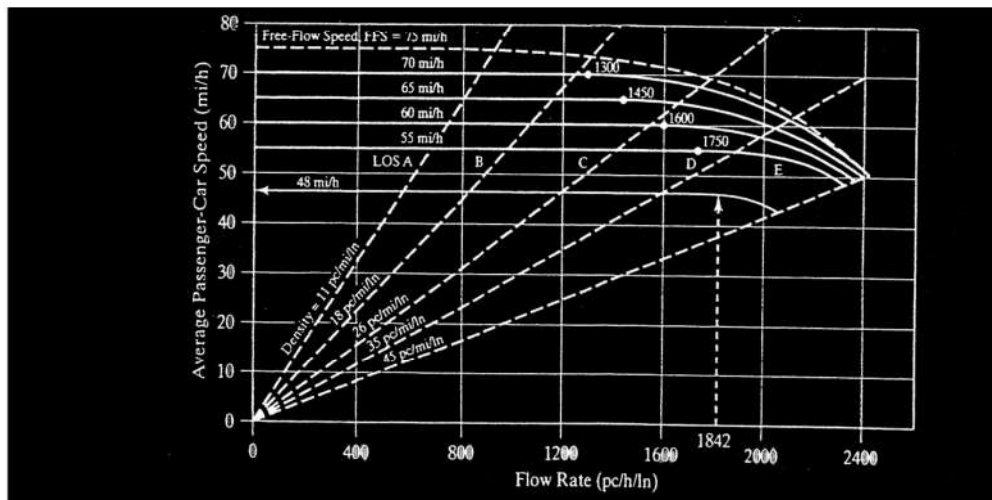
مرحله ۳:

مشخص کردن سطح سرویس، سرعت و تراکم در جریان ترافیک

معمولاً تقاضای جریان ۱۸۴۲ وسیله نقلیه در ساعت با توجه به شکل شماره ۱۲-۳ برای تشخیص سطح سرویس و سرعت به کار می‌رود. ولی شکل دارای منحنی خاصی برای سرعت جریان آزاد (FFS) ۷۸/۶ کیلومتر بر ساعت نیست. درونیابی بین منحنی‌ها در اینجا قابل قبول است ولی با توجه به این که کمترین عدد جدول برای جریان سرعت آزاد ۹۰/۲ کیلومتر بر ساعت است در اینجا از طریق برون‌یابی منحنی مورد نظر بدست می‌آید. روند فوق در شکل شماره ۱۲-۹ نشان داده شده است.

با توجه به شکل شماره ۱۲-۹ وقتی در یک بزرگراه با سرعت جریان آزاد ۷۹ کیلومتر نرخ جریان ۱۸۴۲ pc/h/ln باشد میانگین سرعت باز هم ۷۹ km/h می‌باشد و این نشان می‌دهد که حتی در نرخ جریان نسبتاً زیاد باز هم میزان سرعت، کاهش نیافته و سطح سرویس بزرگراه E می‌باشد تراکم در این بزرگراه با استفاده از تقسیم نرخ جریان بر سرعت به ترتیب زیر قابل تخمین است.

$$D = \frac{V_p}{s} = \frac{1842}{48} = 38.37 \text{ pc / km / ln}$$



شکل شماره ۱۲-۹- حل مساله شماره ۱۲-۴

با استفاده از مقادیر فوق و مقادیر مندرج در جدول شماره ۱۲-۲ می‌توان سطح سرویس را بدست آورد که برابر با سطح سرویس E می‌باشد و میزان تراکم $27/4 - 31/3$ pc/km/ln را دربر می‌گیرد.

مثال ۱۲-۵

تحلیل قسمت‌های مختلف بزرگراه‌های چندخطه:

یک مقطع بزرگراه چهارخطه با میانه کامل دارای ترافیک حجم ساعت اوج 2600 veh/h در جهت سنگین‌تر است که دربر گیرنده ۱۲ درصد کامیون و ۲ درصد وسایل نقلیه تفریحی و رانندگان آشنا به جاده می‌باشند. این مقطع دارای شیب ۳ درصد به طول $1/6$ کیلومتر و PHF برابر با $0/88$ است.

مطالعات در محل نشان می‌دهد که سرعت جریان آزاد این تسهیلات برابر با ۹۰ کیلومتر در ساعت است. این تسهیلات در چه سطح سرویس کار می‌کند؟

حل:

چون سرعت جریان آزاد از مطالعات در محل اخذ شده است تخمین آن با معادله ۶-۱۲ ضروری نیست. مقطع، دارای شیب ثابت بوده و چون حجم اوج دارای یک پیک برای سربالایی و یک پیک برای سرازیری می‌باشد لازم است برای هر دو مورد سربالایی و سرازیری مورد آزمایش قرار گیرد.

مرحله ۱.

تعیین نرخ جریان در سربالایی بر حسب هم‌ارز خودرو سواری در شرایط پایه. معادله ۱-۱۲ برای تبدیل حجم اوج ساعتی به نرخ جریان هم‌ارز خودرو سواری در شرایط پایه به کار می‌رود:

$$V\rho = \frac{V}{PHF * N * F_{HV} * F_p}$$

$$V = 2600 \text{ veh/h} \text{ (داده شده)}$$

$$PHF = 0.88 \text{ (داده شده)}$$

$$N = 2 \text{ خط عبور (داده شده)}$$

$$F_p = 1 \text{ (کاربر آشنا)}$$

عامل وسیله نقلیه سنگین، f_{HV} ، با استفاده از معادله ۹-۱۲ قابل محاسبه است:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

که

$$P_T = 0.12 \text{ (داده شده)}$$

$$P_R = 0.2 \text{ (داده شده)}$$

$$E_T = 1/5 \text{ (با توجه به جدول ۱۲-۱۴)}$$

$$E_R = 3 \text{ (با توجه به جدول ۱۲-۱۵)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.12(1/5 - 1) + 0.02(3 - 1)} = \frac{1}{1.1} = 0.909$$

و:

$$V_p = \frac{2600}{0.88 * 0.909 * 1} = 1620 \text{ pc/h/ln}$$

مرحله ۲:

تعیین نرخ جریان هم‌ارز خودروسواری در شرایط پایه

محاسبات مربوط به سرانشیبه مانند روند مربوط به محاسبات سربالای بوده به‌جز این که

هم‌ارز خودروسواری برای کامیون‌ها و وسایل نقلیه سواری برای شرایط سرانشیبه بدست آمده

و به‌ترتیب زیر است:

$$E_T = 1/5 \text{ (با توجه به جدول شماره ۱۲-۱۶)}$$

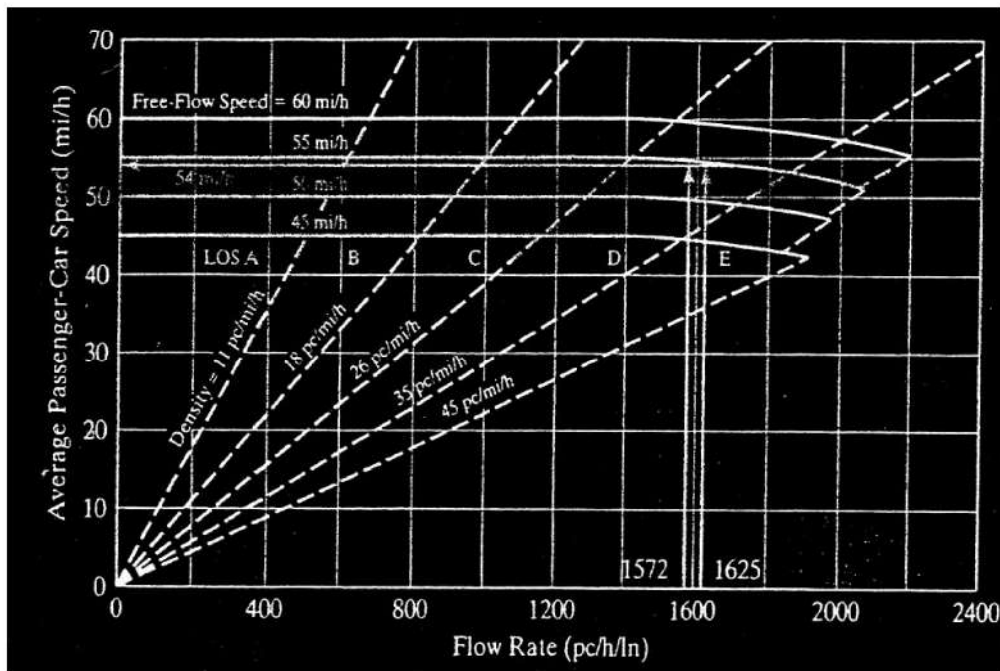
$$E_R = 1/2 \text{ (با توجه به جدول شماره ۱۲-۱۳ و شرایط مسطح)}$$

توجه داشته باشید که هم‌ارز خودروسواری مربوط به سرانشیبه برای وسایل نقلیه

تفریحی با فرض شرایط مسطح بدست می‌آید.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.12(1/5 - 1) + 0.02(1/2 - 1)} = \frac{1}{1.064} = 0.94$$

$$V_p = \frac{2600}{0.88 * 0.94 * 1} = 1572 \text{ pc/h/ln}$$



شکل شماره ۱۰-۱۲ حل مثال ۵-۱۲

مرحله ۳:

تعیین سطح سرویس، سرعت و تراکم در جریان ترافیک.

تعیین سطح سرویس و سرعت با استفاده از شکل شماره ۴-۱۲ مانند آنچه در شکل

شماره ۱۰-۱۲ نشان داده شده است برای بزرگراه‌های چندخطه انجام می‌شود. توجه داشته

باشید که سرعت جریان آزاد در محل، اندازه‌گیری شده است.

با توجه به شکل شماره ۱۰-۱۲ سرعت مورد انتظار در مقاطع سربالایی و سرازیری

تقریباً برابر با ۸۹ km/h می‌باشد. گرچه به‌نظر می‌رسد قدری سرعت در سرازیری بیشتر از

سربالایی است. مقیاس شکل ۴-۱۲ تشخیص این میزان را دشوار نموده است. چه در سربالایی

و چه در سرازیری در اوج جریان ترافیک سطح سرویس در حالت D قرار دارد.

تراکم نیز برای مقطع سربالایی و سرازیری با تقسیم نرخ جریان بر سرعت به طریق زیر قابل اندازه گیری است.

$$D_{Up} = \frac{1625}{89} = 18.3 \text{ pc / km / ln}$$

$$D_{du} = \frac{1572}{89} = 18.7 \text{ pc / km / ln}$$

هر دو مقدار فوق در محدوده سطح سرویس D ، ۱۶-۲۱/۳ pc/km/ln قرار دارد.

مثال ۱۲-۶:

تعیین نرخ جریان و حجم سرویس برای یک مقطع آزادراه.

یک آزادراه شش خطه دارای مشخصات زیر است:

عرض خط ۳/۶۶ متر، ۱/۸۳ متر فاصله مانع جانبی در سمت راست جاده، منطقه مسطح،

تراکم تبادل برابر با ۰/۶ تبادل در هر کیلومتر.

فاکتور اوج ساعتی (pHF) برابر با ۰/۹۲ ترافیک دارای ۸ درصد کامیون و بدون وسایل

نقلیه تفریحی بوده و کلیه رانندگان آشنا به مسیر می باشند.

اوج حجم ساعتی در تسهیلات ۳۶۰۰ veh/h و پیش‌بینی می‌شود که در طی ۲۰ سال

آینده دارای ۶ درصد رشد سالیانه باشد.

سطح سرویس این تسهیلات در حال حاضر و در ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال آینده در چه

سطحی است؟

این سؤال توسط پنج تحلیل عملکردی جداگانه و تعیین سطح سرویس برای جریان‌های

مختلف چه برای حال و چه سال‌های ذکر شده قابل ارزیابی است. معمولاً حل یک مسئله شامل

سطوح متعدد تقاضا از طریق محاسبه نرخ‌های جریان سرویس (SF) و حجم‌های سرویس

(SV) برای قسمت‌های مختلف با سطوح سرویس مجزا آسانتر می‌باشد. بنابراین میزان‌های مختلف تقاضا می‌توانند برای تشخیص سطح سرویس به کار روند.

تعیین سرعت جریان آزادراه

مرحله ۱:

می‌توان سرعت جریان آزاد تسهیلات را با استفاده از معادله ۱۲-۵ بدست آورد:

$$FFs = Bffs - f_{lw} - f_{Lc} - f_N - f_{ID}$$

که:

$$Bff = 115 \text{ km/h (آزادراه شهری)}$$

$$f_{lw} = 0.0 \text{ km/h (جدول شماره ۱۲-۶ عرض خط ۳/۶۶ متر)}$$

$$f_{Lc} = 0.0 \text{ km/h (جدول شماره ۱۲-۶ فاصله ایمن ۱/۸۳ متر)}$$

$$f_N = 5 \text{ km/h (جدول شماره ۱۲-۷ خط عبور)}$$

$$f_{ID} = 1/4 \text{ km/h (شکل جدول شماره ۱۲-۸ تبدیل در کیلومتر)}$$

$$FFs = 115 - 0 - 0 - 5 - 1/4 = 105/4 \text{ Km/h}$$

مرحله ۲:

تعیین بالاترین نرخ‌های جریان سرویس برای هر سطح سرویس

بالاترین نرخ‌های جریان سرویس براساس جدول شماره ۱۲-۳ رسم می‌شوند. این مقادیر

برای آزادراه با سرعت‌های جریان آزاد، $106/6 \text{ km/h}$ و $98/4 \text{ km/h}$ بدست می‌آیند.

درون‌یابی خطی برای بدست آوردن حداکثر نرخ‌های جریان سرویس در سرعت $105/9 \text{ km/h}$

به کار می‌رود. این موضوع در جدول شماره ۱۲-۱۷ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۲-۱۷: مقادیر MSF برای مثال ۱۲-۶

سرعت جریان آزاد			سطح سرویس
۱۰۶/۶	۱۰۵/۹	۹۸/۴	
۷۱۰	۷۰۵	۶۶۰	A
۱۱۷۰	۱۱۶۱	۱۰۸۰	B
۱۶۸۰	۱۶۶۸	۱۵۶۰	C
۲۰۹۰	۲۰۸۳	۲۰۲۰	D
۲۳۵۰	۲۳۴۵	۲۳۰۰	E

مرحله ۳:

تعیین عامل وسیله نقلیه سنگین

عامل وسیله نقلیه سنگین مطابق روند زیر محاسبه می شود:

$$F_{HV} = \frac{1}{1 + \rho_T (E_T - 1) + \rho_R (E_R - 1)}$$

$$P_T = 0.08 \text{ (داده شده)}$$

$$P_R = 0.00 \text{ (داده شده)}$$

$$E_T = 2.5 \text{ (شکل شماره ۱۲-۱۸، منطقه مسطح)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.08(2.5 - 1)} = \frac{1}{1.12} = 0.893 \text{ در نتیجه:}$$

مرحله ۴:

تعیین نرخ‌های جریان سرویس و حجم‌های سرویس در هر سطح سرویس

نرخ‌های جریان سرویس و حجم‌های سرویس با استفاده از رابطه های ۱۲-۲ و ۱۲-۳

مطابق روند زیر بدست می آید.

$$SF_i = MSF_i * N * f_{HV} * f_p$$

$$Sv_i = SF_i * PHF$$

همانند مرحله ۲ محاسبه شد MSF_i

$$N = ۳ \text{ (داده شده)}$$

$$f_{HV} = ۰/۸۹۳ \text{ همانطور که در مرحله سوم محاسبه شد.}$$

$$f_p = ۱/۰۰ \text{ (راننده‌های آشنا)}$$

$$PHF = ۰/۹۲ \text{ (داده شده)}$$

این محاسبات در جدول شماره ۱۲-۱۸ در صفحه بعد آمده است.

نرخ‌های جریان سرویس (SF) برگرفته از اوج در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای. به‌عنوان

حجم سرویس در کاربرد اوج حجم ساعتی به‌کار می‌رود.

مرحله ۵:

تعیین حجم‌های اوج تقاضا در سال مورد نظر.

شرایط ذکر شده، نشان می‌دهد که تقاضای موجود برابر با ۳۶۰۰ veh/h می‌باشد و این

حجم از یک رشد ۶ درصدی در هر سال در آینده نزدیک برخوردار است. حجم تقاضای آینده

مطابق روند زیر محاسبه می‌شود:

$$V_j = V_0 * (۱/۰۶^n)$$

$$V_j = \text{حجم تقاضای ساعت اوج در سال مورد نظر}$$

$$V_0 = ۳۶۰۰ \text{ veh/h} = \text{حجم تقاضای ساعت اوج در سال}$$

$$N = \text{تعداد سال‌ها تا سال مورد نظر}$$

که

$$V_1 = 3600 \text{ Veh/h}$$

$$V_5 = 3600 (1/0.6^5) = 4818 \text{ veh/h}$$

$$V_{10} = 3600 (1/0.6^{10}) = 6447 \text{ veh/h}$$

$$V_{15} = 3600 (1/0.6^{15}) = 8628 \text{ veh/h}$$

$$V_{20} = 3600 (1/0.6^{20}) = 11546 \text{ Veh/h}$$

مرحله ۶:

تعیین سطوح سرویس سال مورد نظر

حجم‌های تقاضای سال مورد نظر به عنوان حجم‌های کل در ساعت اوج در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین آنها با حجم‌های سرویس در جدول شماره ۱۲-۱۸ برای تعیین سطح سرویس مقایسه می‌شوند. نتایج در جدول شماره ۱۲-۱۹ در صفحه بعد نشان داده شده است.

همانطور که در جدول شماره ۱۲-۱۹ نشان داده شده است سطح سرویس سال‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ به طور معمول F می‌باشد و در هر کدام از این سال‌ها تقاضا، از ظرفیت فزونی می‌گیرد. مشخص است که نقطه‌ای که تقاضا برابر با ظرفیت خواهد شد بین سالهای ۵ و ۱۰ اتفاق خواهد افتاد.

جدول شماره ۱۲-۱۸ محاسبه نرخ‌های جریان سرویس و حجم‌های سرویس

SV (veh/h)	pHF	SF (veh/h)	f_p	f_{HV}	N	MSF (pc/h/ln)	سطح سرویس
1738	0/92	۱۸۸۹	۱	0/893	۳	۷۰۵	A
2861	0/92	3110	۱	0/893	۳	1161	B
4111	0/92	4469	۱	0/893	۳	1668	C
5134	0/92	5580	۱	0/893	۳	2083	D
5780	0/92	6282	۱	0/893	۳	2354	E

جدول شماره ۱۲-۱۹ سطوح سرویس برای مثال ۱۲-۶

سال مورد نظر	حجم تقاضا Veh/h	سطح سرویس
۰	۳۶۰۰	C
۶۴۴۷	۸۶۲۸	D
۱۰	۴۸۱۸	F
۱۵	۸۶۲۸	F
۲۰	۱۱۵۴۶	F

ظرفیت کل در ساعت اوج به میزان ۵۷۸۰ veh/h در (جدول ۱۲-۱۸) تعیین شده است.

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که پس از ۷/۵ سال میزان تقاضا به ظرفیت آزادراه خواهد رسید و اگر هیچ کاری انجام نگیرد رانندگان می‌توانند انتظار یک توقف کامل در طی ساعت اوج ترافیک در این قسمت از آزادراه را داشته باشند. برای اجتناب از این موقعیت، باید یا تقاضا را کاهش داد و یا ظرفیت این قسمت را افزایش داد و افزایش ظرفیت به مفهوم اضافه کردن خط عبور می‌باشد.

محاسبات می‌تواند با استفاده از چهار خط عبور در این قسمت دوباره انجام شود تا

بفهمیم که آیا ظرفیت کافی برای کنترل تقاضای بیست سال آینده اخذ خواهد شد یا نه؟

کاهش تقاضا بسیار دشوار است و باعث مطالعات فشرده درباره طبیعت تقاضا در آزادراه مورد بحث می‌شود. کاهش تقاضا دربرگیرنده تشویق کاربران به استفاده از مسیرها و یا مودهای دیگر حمل و نقل و همچنین تردد در ساعات‌های غیر اوج و استفاده از ماشین‌های باسرنشین بیشتر (کار پول) می‌باشد. با توجه به این که ظرفیت در این قسمت محدود است بعید به نظر می‌رسد که تقاضا در سال‌های بعد به‌خاطر ایجاد صف و تراکم زیاد به سطح ذکر شده برسد. توجه داشته باشید که تقاضا 11546 veh/h در ۲۰ سال آینده بیش از دو برابر ظرفیت این قسمت می‌باشد.

به‌عنوان یک مورد مناسب تحلیل فوق درک و تشخیص خوبی را به کاربر می‌دهد. این روند حل واضحی را بیان نمی‌کند ولی مهندسين برای دو برابر کردن یا افزایش ظرفیت یک تسهیلات یا اصلاح یک بزرگراه برای ظرفیت اضافه مورد نظر آماده می‌شوند. این مورد شامل قضاوت مهندس نیز هست. تحلیل سطح سرویس موارد مختلف، اطلاعات خوبی را در اختیار مهندسين قرار می‌دهد که براساس آن بتوان قضاوت کرد ولی طرح خاصی را دقیقاً مشخص نمی‌کند.

در یک روند کلی برای پیدا کردن روش اصلاح برای یک مسأله موضوعات اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست باید کاملاً مورد توجه قرار گیرد.

مثال ۷-۱۲ کاربرد طرح

در یک منطقه بین‌شهری آزادراه جدیدی در دست طراحی می‌باشد. حجم ساعتی طراحی در یک جهت (DDHV) 2700 veh/h در طی ساعت اوج، فاکتور اوج ساعتی (pHf) برابر 0.85 و 15 درصد کامیون در جریان ترافیک پیش‌بینی شده است. یک قسمت طولانی از تسهیلات، مشخصات منطقه مسطح را خواهد داشت اما یک قسمت $3/3$ کیلومتری شامل شیب ثابت 4 درصد می‌شود. اگر هدف تامین سطح سرویس C و در بدترین حالت سطح سرویس D باشد تعداد خطوط عبور چقدر است؟

راه حل: مساله شامل تعیین تعداد خطوط عبور در سه مقطع مختلف آزادراه است

(۱) قسمت مسطح

(۲) قسمت سربالایی با شیب ثابت 4 درصد به طول $3/3$ کیلومتر

(۳) سرازیری با شیب ثابت 4 درصد به طول $3/3$ کیلومتر.

مرحله ۱ تعیین سرعت جریان آزاد در آزادراه

این مساله یک حالت طراحی است و در صورتی که اطلاعات خاصی پیشنهاد نشده باشد فرض می‌شود که پهنای خط عبور $3/36$ متر و فاصله ایمن بزرگ‌تر از $1/83$ متر بوده و با آخرین استاندارد مطابقت دارد (مطابق شرایط پایه). هیچ تراکم تبدلی نیز ذکر نشده است اما گفته شده که این یک قسمت بین‌شهری از آزادراه است پس یک تراکم تبدل کمتر از $0/35$ در کیلومتر مطابق با شرایط پایه در اینجا فرض می‌شود.

دستیابی به سرعت جریان آزاد وابسته به تعداد خطوط عبور است. این موضوعی

می‌باشد که این تحلیل برای تعیین آن تلاش می‌کند.

در پایین جدول شماره ۷-۱۲ ذکر شده است که برای آزادراه‌های شهری هیچ عامل تطبیقی برای تعداد خط‌عبور وجود ندارد. بنابراین ضریب خاصی در این حالت برای سرعت پایه آزادراه بین‌شهری وجود ندارد و سرعت نهایی جریان آزاد 123km/h مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مرحله ۲: تعیین حداکثر نرخ جریان سرویس (MSF) برای سطوح سرویس C, D
هدف تامین سطح سرویس C و در بدترین حالت سرویس D می‌باشد. بنابراین لازم است بالاترین نرخ جریان سرویس آنها تعیین گردد.
در مورد یک سرعت جریان آزاد برابر با ۱۲۳ km/h از جدول شماره ۱۲-۳ موارد زیر بدست آمده است.

$$MSF_c = 1830 \text{ pc/h/ln}$$

$$MSF_D = 2170 \text{ pc/h/ln}$$

مرحله ۳: تعیین خطوط عبوری مورد نیاز برای قسمت‌های مسطح، سربالایی و سرازیری آزادراه.

تعداد خطوط مورد نیاز با استفاده از رابطه ۱۲-۴ بدست می‌آید:

$$N_i = \frac{DDHV}{PHF * MSF_i * f_{HV} * f_p}$$

$$DDHV = 2800 \text{ veh/h (داده شده)}$$

$$PHF = 0.85 \text{ (داده شده)}$$

$$MSF_c = 1830 \text{ pc/h/ln (همانطور که در مرحله ۲ بدست آمد)}$$

$$F_p = 1 \text{ (راننده‌ها آشنا فرض شده‌اند)}$$

سه عامل مختلف وسیله نقلیه (f_{HV}) برای مناطق مسطح، سربالایی و سرازیری در نظر

گرفته شده که با توجه به عدم وجود وسایل نقلیه تفریحی به شرح زیر محاسبه می‌شوند.

$$F_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1)}$$

$$P_T = 0.15 \text{ (داده شده)}$$

$$E_T \text{ (مسطح)} = 1/5 \text{ (منطقه مسطح، جدول شماره ۱۲-۱۳)}$$

$$E_T \text{ (سربالایی)} = 2/5 \text{ (جدول شماره ۱۲-۱۴ سربالایی با شیب ۴٪ و طول ۳/۳ کیلومتر)}$$

$$E_T \text{ (سرازیری)} = 1/5 \text{ (جدول شماره ۱۲-۱۶ سرازیری با شیب ۴٪ و طول ۳/۳ کیلومتر)}$$

$$F_{HV} \text{ (سرازیری و مسطح)} = \frac{1}{1 + 0.15(1/5 - 1)} = \frac{1}{1/0.75} = 0.93$$

$$f_{HV} \text{ سربالایی} = \frac{1}{1 + 0.15(2/5 - 1)} = \frac{1}{1/2.25} = 0.816$$

$$N \text{ (سرازیری و مسطح)} = \frac{2700}{0.85 * 1830 * 0.93 * 1/0.0} = 1/87 \text{ خط عبور}$$

$$N \text{ (سربالایی)} = \frac{2700}{0.85 * 1830 * 0.816 * 1/0.0} = 1/13 \text{ خط عبور}$$

بدین ترتیب مناطق مسطح و سرازیری ۲ خط عبور و منطقه سربالایی به ۳ خط عبور

در هر جهت احتیاج دارد. اعداد ذکر شده حداقل تعداد خطوط عبور برای تامین سطح

سرویس مورد نظر است. پیشنهاد می‌شود که این تسهیلات با چهار خط عبور در هر جهت

و یک خط عبور خزش برای کامیون‌ها در سربالایی ساخته شود.

تحلیل:

نتایج آنالیزهایی مانند آنالیز فوق منجر به اخذ خطوط عبور اعشاری و مختلف

خواهد شد. در اینجا می‌توان با توجه به داده‌های DDHF و تعداد چهار خط عبور سطح

سرویس را برای قسمت‌های مختلف آزادراه تعیین نمود و مطمئناً این سطح سرویس مساوی یا بهتر از میزان درخواست شده می‌باشد.

در صورتی که تحلیل در یک منطقه شهری یا حومه شهر انجام شود تضاد تعداد خطوط عبور در سرعت جریان آزاد، تحلیل را دشوار می‌کند. تعداد خطوط عبور برای تعیین FFS و MSF_C باید فرض گرفته شود و سپس تعداد خطوط عبور همان‌طور که نشان داده شد، محاسبه گردد و وقتی تعداد خطوط عبور مفروض با محاسبه شده، یکی شد فرض ما صحیح می‌باشد. شاید مجبور باشیم یک یا دوبار این روند را تکرار کنیم.

سطح سرویس D حداقل قابل قبول در این مسأله بود. هم‌اکنون بررسی می‌کنیم که در صورتی که دو خط عبور داشته باشیم چه سطح سرویس ایجاد می‌شود. در نتیجه:

$$V_p = \frac{V}{PHF * N * F_{HV} * F_p} = \frac{2700}{.85 * 2 * .816 * 1.00} = 1946 \text{ pc/h/ln}$$

همان‌طور که دیدیم در مرحله دوم MSF_D برابر 2170 pc/h/ln تعیین شد بنابراین مقدار فوق از MSF_D کمتر می‌باشد. سپس تأمین دو خط عبور در سربالایی، سطح سرویس D را فراهم می‌کند.

بنابراین ما یک انتخاب داریم که برای بدست آوردن سطح سرویس C، در سربالایی یک آزادراه با سه خط عبور و یک خط عبور خزش بسازیم یا اینکه به دو خط عبور با سطح سرویس D اکتفا کنیم.

یک راه حل محافظه کارانه ساخت آزادراه با دو خط عبور و مهیا کردن امکانات مورد نیاز برای تعریض مسیر در آینده برای ایجاد خط عبور خزش کامیون‌ها در سربالایی می‌باشد.

باید توجه داشت که تحلیل این مقطع در سربالایی اگر یکی از خطوط عبور، خط عبور خزش کامیون باشد، تقریبی بوده و خط عبور خزش تقریباً می‌تواند کامیون‌های سنگین را از خودروهای سواری تفکیک نماید.

در قسمت متدولوژی آزادراه‌ها در HCM برای تحلیل مقطع فوق از ترکیبی از وسایل نقلیه بین همه خطوط عبور استفاده شده است.

دوباره باید تأکید کنیم اگر چه نتایج تحلیل برای دستیابی به تصمیم‌گیری نهایی در قسمت سربالایی، اطلاعات مهندسی را فراهم می‌کند اما الزامی در اجرای آن وجود ندارد و باید مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست در نظر گرفته شود.

۱۲-۵ روش‌های کالیبراسیون

روش‌های تحلیل HCM برای قسمت‌های مهم آزادراه و بزرگراه‌های چندخطه براساس منحنی‌های سرعت-جریان برای شرایط پایه تعریف شده و همراه با عامل‌های اصلاحی مختلف در تعیین سرعت جریان آزاد و نرخ تقاضا بر حسب هم‌ارز خودرو سواری به‌کار می‌رود.

درک مناسب از بعضی موضوعات که اساس کالیبراسیون روابط پایه می‌باشند بسیار مهم است چون HCM به مهندسين ترافیک اجازه استفاده از روابط و مقادیر اصلی کالیبره شده را می‌دهد.

مراجع ۸ و ۹ برای خوانندگان علاقه‌مند نتایج تحقیقی را ارائه می‌کند که مبنا روندهای موجود در HCM۲۰۰۰ و پایه و اساس تغییرات احتمالی در آینده می‌باشد. قسمت‌های بعدی در ارتباط با بعضی از این موضوعات کالیبراسیون بوده که در روش‌های مختلف به‌کار می‌رود.

۱۲-۵-۱۱ اساس کالیبراسیون منحنی‌های جریان - سرعت

قسمت مهمی از شکل‌های مربوط به روش‌های به‌کار رفته در تحلیل آزادراه‌های و بزرگراه‌ها براساس منحنی‌های جریان - سرعت بوده که در تعیین و تعریف سطح سرویس و سرعت مورد انتظار، به‌کار می‌رود. منحنی‌های جریان سرعت بخش مهمی از ارتباط بین سرعت، جریان و تراکم می‌باشند (به فصل ۵ مراجعه شود). این سه متغیر مهم به صورت زیر به هم مربوط می‌شوند.

$$V = S \times D$$

رابطه (۱۰-۱۲)

V = نرخ جریان ، veh/h یا veh/h/ln

S = سرعت متوسط مکانی، km/h

D = تراکم ، veh/km یا veh/km/ln

بنابراین با کالیبره نمودن روابط بین هر دو تا از این متغیرها رابطه بین آنها بدست می‌آید و چون سرعت و جریان برای ارزیابی، متغیرهای ساده‌تری هستند. رابطه جریان-سرعت اغلب کالیبره می‌شود.

پاره‌ای از مطالعات تاریخی

شکل منحنی‌ها طی سالیان متمادی بدست آمده است. یکی از قدیمی‌ترین مطالعات توسط بوریس گرین شیلدز^۱ انجام شد که نشان داد رابطه بین سرعت و تراکم، خطی است. این روابط منحنی‌های سهمی پیوسته را برای سرعت - جریان و جریان - تراکم بوجود می‌آورد.

^۱ Greensheilds

بعد از آن الیس^۱ منحنی‌های خطی دوقطعه‌ای و سه‌قطعه‌ای، دارای ناپیوستگی را مورد بررسی قرار داد. گرین‌برگ^۲ نظریه منحنی لگاریتمی را برای سرعت-تراکم مطرح کرد در حالی که آندروود^۳ فرم نمایی آن را به کار برد ایدی^۴ برای قسمت‌های کم تراکم و پرتراکم منحنی به ترتیب منحنی‌های لگاریتمی را پیشنهاد می‌دهد و همانند الیس ناپیوستگی را نیز در منحنی لحاظ می‌کند در نهایت مای^۵ یک منحنی زنگوله‌ای شکل را برای سرعت - تراکم پیشنهاد می‌دهد. مرجع (۱۵) یک مطالعه جالب را که برای هماهنگ نمودن موارد فوق و دیگر روابط ریاضی برای یک مجموعه اطلاعات جامع که در بزرگراه آیرنهور در شیکاگو در اوایل سال ۱۹۶۰ انجام نشد، دربر می‌گیرد. از لحاظ تاریخی، این مطالعات جالب بوده و توجه فرد را به دو نکته زیر جلب می‌کند.

- در ابتدا فعالیت‌های کالیبراسیون بر رابطه سرعت-تراکم تمرکز داشته است.

- موردی که به عنوان یک ناپیوستگی در روابط سرعت-جریان-تراکم وجود دارد.

مورد اول این مفهوم را دربر دارد که این رابطه سرعت-تراکم است که به طور مستقیم رفتار راننده را نشان می‌دهد.

در ابتدا تقاضای ترافیک به صورت تراکم بروز می‌کند و این به خاطر اینست که کاربری‌های مختلف زمین، سفرهایی را ایجاد می‌کند که تعدادی وسایل نقلیه را در فضای محدودی قرار می‌دهد. رانندگان وسایل نقلیه سرعت‌شان را براساس برخی شرایط خاص از قبیل فاصله از دیگر وسایل نقلیه و برداشت‌شان از عملکرد ایمن تعیین می‌کنند.

¹ Ellis

² Greenberg

³ Underwood

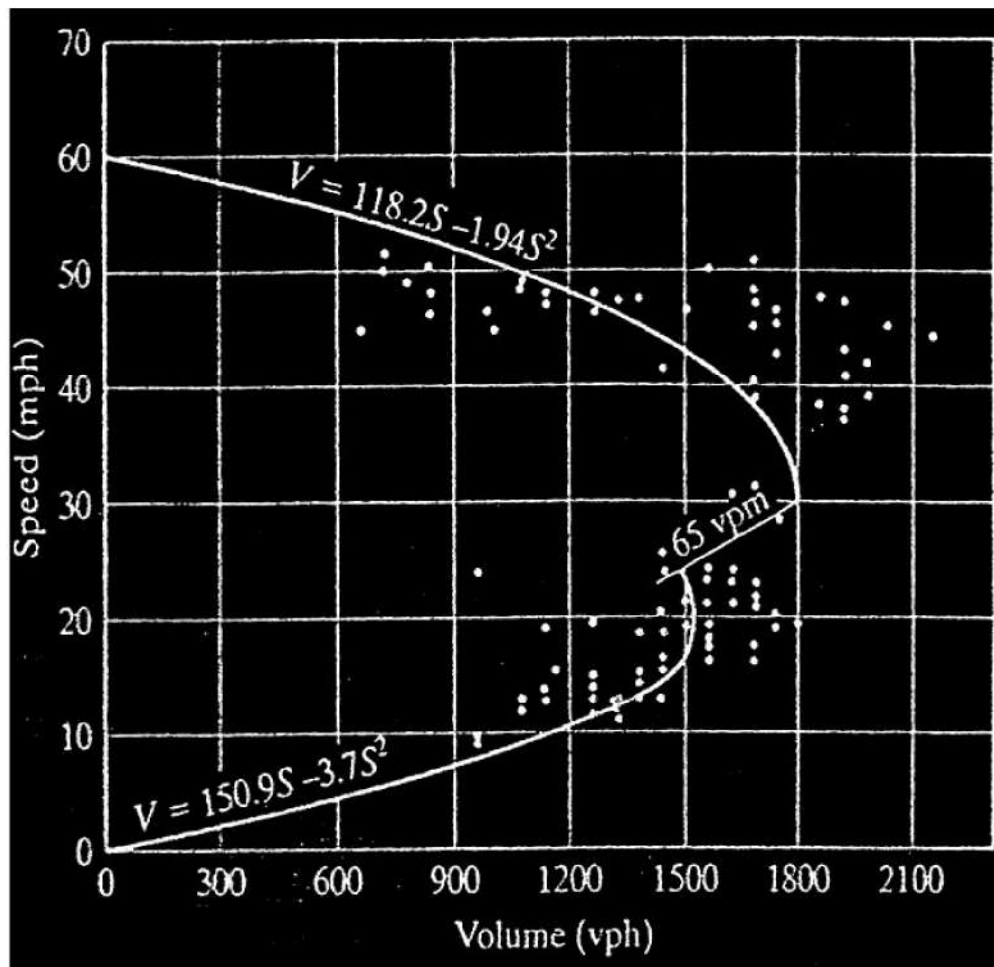
⁴ Edie

⁵ May

چگالی، توسط تولید سفر و سرعت انتخابی رانندگان در واکنش به تراکم موجود ایجاد می شود و نرخ جریان از آن منتج می گردد. به ندرت تراکم مستقیماً اندازه گیری شده و اغلب از طریق اندازه گیری سرعت و جریان محاسبه می شود. بنابراین تلاش های بعدی در اینجا در راستای برقراری ارتباط بین سرعت و تراکمی که مستقیماً اندازه گیری شده است می باشد. مورد دوم مسأله ای را مطرح می کند که هم اکنون نیز حل نشده باقی مانده است. ناپیوستگی در رابطه بین سرعت-جریان-تراکم تقریباً همیشه هنگامی رخ می دهد که جریان به ظرفیت نزدیک می شود. در منحنی نشان داده شده در شکل شماره ۱۲-۱۱ از مرجع شماره ۱۶ این خصوصیت به وضوح قابل تشخیص است. این شکل ظرفیت را نشان می دهد که وقتی از طرف یک جریان پایدار به آن نزدیک می شویم بزرگتر از وقتی است که از طرف یک جریان ناپایدار به آن نزدیک می شویم.

در عمل، ظرفیت یک قطعه بعد از یک وقفه ممکن است پایین تر از ظرفیت آن در هنگام جریان پایدار باشد. همانطور که در ادامه بیان خواهد شد این خصوصیت دارای یک حالت شوک بحرانی بوده و س از هر وقفه یا صف مدت زمانی نیاز است تا به حالت عادی خودش برگردد.

بعضی از مشکلات در ارتباط با این ناپیوستگی در مطالعات قدیمی از نداشتن اطلاعات دقیق از چگونگی و جای جمع آوری داده ها ناشی می شود. این موضوع در قسمت بعد با استفاده از مطالعه کاملاً جدید بررسی خواهد شد.



شکل شماره ۱۱-۱۲ منحنی سرعت- جریان با ناپیوستگی در نزدیکی ظرفیت

خصوصیات جدید آزادراه و بزرگراه‌های چندخطه

شکل شماره ۱۲-۱۲ قالب کلی منحنی سرعت-جریان یک آزادراه یا بزرگراه چندخطه را نشان می‌دهد. که در مورد رفتار رانندگان در یک تسهیلات با جریان بدون وقفه است. در نظر داشته باشید که همه منحنی‌های موجود در اشکال ۱۲-۳ و ۱۲-۴ به جز قسمت‌هایی که با نوشتن ناحیه ۱ و ناحیه ۲ مشخص شده‌اند در همین قالب هستند. ناحیه ۱ و ناحیه ۲ قسمت‌هایی با جریان پایدار منحنی هستند.

چهار منطقه منحنی سرعت-جریان در شکل شماره ۱۲-۱۲ به صورت زیر قابل شرح هستند.

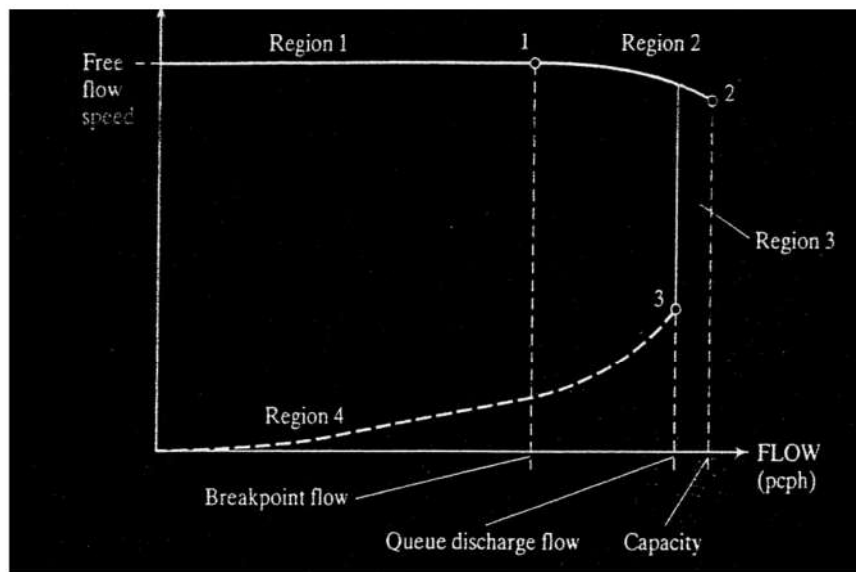
منطقه ۱: قسمتی را نشان می‌دهد که در آن با مقادیر زیاد جریان رانندگان هنوز می‌توانند سرعت خود را حفظ کنند این قسمت مسطح از منحنی برابر با سرعت جریان آزاد است.

منطقه ۲: در این قسمت از منحنی که هنوز جریان در آن حالت پایدار خودش را حفظ کرده است سرعت در اندر کنش با افزایش جریان شروع به کاهش می‌کند ولی کل این کاهش نسبت به سرعت جریان آزاد تا رسیدن به ظرفیت (نقطه ۲) معمولاً 8 km/h یا کمتر است. نقطه ۱ نرخ جریانی را نشان می‌دهد که در آن قسمت سرعت شروع به کاهش کرده این میزان در محدوده $1500 - 1700 \text{ pc/h/ln}$ قرار دارد. بنابراین فاصله بین سرعت جریان آزاد و ظرفیت (ایجاد وقفه) با افزایش جزئی در نرخ جریان بوجود می‌آید.

منطقه ۳: این قسمت از منحنی، خروج از صف^۱ (queue discharge) نامیده می‌شود. بطور ناگهانی وقتی تقاضا بیشتر از ظرفیت شد، یک وقفه رخ داده و یک صف، بالادست نقطه وقفه ایجاد می‌شود و جریان به چیزی که از جلو صف خارج می‌شود، محدود گشته که میزان آن تقریباً ثابت است. سرعت متغیر منطقه ۳ بیان‌کننده سرعت در منطقه بدون ازدحام موجود در پایین‌دست صف است. در نقطه پایین دست صف، میزان جریان تقریباً ثابت خواهد بود و رانندگان بعد از ترک صف، شتاب خواهند گرفت.

منطقه ۴: این قسمت از منحنی شرایط ناپایداری که در محدوده صف و در پایین‌دست منحنی حین یک وقفه ایجاد شده را نشان می‌دهد.

^۱ Queue discharge



شکل شماره ۱۲-۱۲ یک شکل تیپ از یک رابطه سرعت-تراکم مدرن

شکل این منحنی نشان دهنده خصوصیات رانندگان ماهر در یک تسهیلات مدرن چندخطه با جریان بدون وقفه است و بیانگر این حقیقت است که رانندگان آمریکایی با ۴ دهه تجربه حرکت در چنین تسهیلاتی حتی در نرخ‌های بالای جریان بی‌مهابا با سرعت بالا حرکت می‌کنند.

موضوع: اندازه‌گیری در محل، کجا باید انجام شود؟

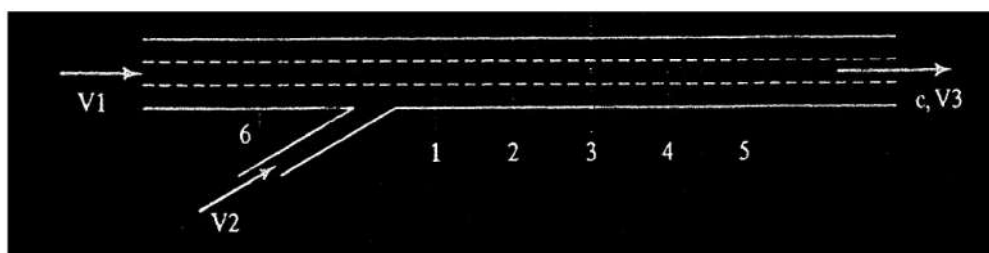
توجه داشته باشید که هنگام کالیبره کردن منحنی سرعت-جریان برای یک تسهیلات خاص جمع‌آوری اطلاعات برای هر چهار منطقه منحنی شکل شماره ۱۲-۱۲ از یک نقطه میسر نیست. به علاوه برای کالیبره کردن کامل منحنی، ظرفیت تا جایی که انتقال از جریان ناپایدار اتفاق می‌افتد باید اندازه‌گیری شود.

مورد فوق تنها در حالتی قابل انجام است که تقاضا به حد کافی برای رسیدن به ظرفیت و ایجاد وقفه وجود داشته باشد.

قسمت پایین دست محل مورد مطالعه نباید تحت تأثیر صفی که ناشی از وقفه‌ای دیگر در پایین دست است، باشد و باید به راحتی تخلیه شود. تقریباً یک منطقه مناسب برای ایجاد شرایط فوق یک ناحیه همگرا (یا روی رمپ) بوده که تعداد خطوط عبوری ورودی بیش از تعداد خطوط خروجی می‌باشد. شکل شماره ۱۲-۱۳ این نوع مقطع را نشان می‌دهد. چون چهار خط عبور ترافیک را به این نقطه می‌رساند و فقط سه خط عبور ترافیک را خارج می‌کند. می‌توان فرض کرد که ورود ترافیک زیاد و عدم امکان خروج آن از این مقطع یک امر امکان پذیر است. مشاهدات کلی باید این اطمینان را بوجود آورد که این رویداد منظم است و امکان دستیابی به یک انتقال از جریان پایدار به یک جریان ناپایدار و ایجاد وقفه وجود دارد.

منطقه ۱ و ۲ منحنی سرعت-جریان، اندازگیری‌های انجام شده براساس جریان پایدار را قبل از بوجود آمدن هر وقفه نشان می‌دهند.

پایین دست تقاطع (نقطه ۱) به این صورت انتخاب شده است که وسایل نقلیه می‌توانند شتاب گرفته و به سرعت‌های دلخواه‌شان برسند. هنگامی که وقفه رخ می‌دهد، جمع‌آوری اطلاعات در نقاط مختلف انجام شده و می‌تواند جریان خروج از صف را در نقاط ۱ تا ۵ در پایین دست (یا هر نقطه مورد نظر) مشاهده کرد. مشاهده‌گرهای میزان جریان باید تقریباً در این نقاط ثابت باشند. سرعت در نقاط پایین دست بعدی به‌طور دلخواه افزایش می‌یابد. برای برداشت داده‌های مربوط به منطقه‌ها، باید مشاهدات در محدوده بالادست صف (یعنی در مکان ۶ یا شاید در نقاط بالادست گوناگون در محدوده صف) انجام شود.



شکل شماره ۱۲-۱۳- یک موقعیت نوعی برای کالیبراسیون در مطالعات سرعت-جریان

موضوع: اخذ شرایط پایه

شرایط پایه برای رابطه‌های سرعت-جریان شامل دو مورد است. یکی عدم حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک و دیگر تعداد رانندگان آشنا به مسیر بین کاربران تسهیلات. در حالی که عرض خطوط عبور ۳/۶۶ متر و حداقل فاصله آزاد ۱/۸۳ متر که سرعت جریان آزاد را تحت تأثیر قرار می‌دهد چون در مطالعه در نظر گرفته شده لازم نیست لحاظ شوند. تعداد خطوط عبور و تراکم تبادل‌ها که بر روی سرعت جریان آزاد تأثیر می‌گذارد نیز باید به عنوان بخشی از اطلاعات مربوط به قسمت ثبت شوند.

وجود وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک، آزاددهنده‌ترین مسله در ارزیابی شرایط پایه است. اگر چه مکان‌های کالیبراسیون باید در حد امکان از ماشین سنگین کمی برخوردار باشند، پیدا کردن مکانی که عاری از هرگونه وسیله نقلیه سنگین باشد، بسیار دشوار است. بنابراین استخراج داده‌های جریان ترافیک که فقط شامل خودروسواری است از داخل ترافیک یکی از مشکلات اصلی می‌باشد. این کار از طریق مشاهده و کاربرد اطلاعات جریان ترافیک در مقیاس خرد به خصوص سرفاصله وسایل نقلیه انجام می‌شود. اگر وسایل نقلیه به عنوان خودروهای سواری (P) یا وسایل نقلیه سنگین (HV) طبقه‌بندی شده‌اند ۴ نوع سرفاصله وسایل نقلیه در جریان ترافیک مشاهده می‌شود.

p-p: خودرو سواری، خودرو سواری دیگری را دنبال می‌کند.

p-H: خودرو سواری یک وسیله نقلیه سنگین را دنبال می‌کند.

H-p: وسیله نقلیه سنگین یک خودرو سواری را دنبال می‌کند.

H-H: وسیله نقلیه سنگین، وسیله نقلیه سنگین دیگری را دنبال می‌کند.

وقتی جریان ترافیک انواع مختلفی از وسایل نقلیه سنگین را دربر می‌گیرد سرفاصله

وسایل نقلیه فقط با استفاده از وسیله نقلیه عقبی بترتیب زیر طبقه‌بندی می‌شود.

P: خودرو سواری

T: کامیون

B: اتوبوس

R: وسایل نقلیه تفریحی

در هر دوره برداشت (معمولاً فواصل ۱۵ یا ۵ دقیقه‌ای) سرفاصله وسایل نقلیه همان

طور که ذکر شد اندازه‌گیری و طبقه‌بندی می‌شود و سپس متوسط سرفاصله وسایل نقلیه برای

هر دوره برداشت و هر نوع سرفاصله محاسبه خواهد شد. در ضمن سرعت‌های متوسط هر

نوع از وسایل نقلیه در هر دوره برداشت محاسبه می‌گردد.

با فرض اینکه عملکرد خودرو سواری تحت تأثیر وسایل نقلیه سنگین موجود در

خط عبور مجاور نیست نرخ جریان پایه و سرعت در هر دوره برداشت می‌تواند رفتار

خودروهای سواری را با استفاده از رابطه متوسط سرفاصله‌های وسایل نقلیه و نرخ‌های جریان

مشخص سازد.

رابطه ۱۱-۱۲

$$V_{pc} = \frac{3600}{happ} \text{ یا } \frac{3600}{hap}$$

که

 V_{pc} = نرخ جریان برای خودروهای سواری، pc/h

 $Happ$ = متوسط سرفاصله وسیله نقلیه برای خودرو سواری که خودرو سواری دیگری

را دنبال می‌کند، S

 Hap = متوسط همه سرفاصله‌های وسایل نقلیه برای یک جفت وسیله نقلیه در جایی که

یک خودرو سواری وسیله نقلیه دیگر را دنبال می‌کند و یا توسط آن دنبال می‌شود، S

تراکم جریان ترافیک بر حسب خودرو سواری برای هر دوره آمارگیری که از رابطه زیر

بدست می‌آید.

$$D_{pc} = \frac{V_{pc}}{S_{ap}}$$

رابطه ۱۲-۱۲

که

 D_{pc} = تراکم ، pc/km

 S_{ap} = متوسط سرعت خودروهای سواری، km/h

برازش منحنی

وقتی داده‌ها جمع‌آوری و گزارش گردید. لازم است منحنی‌ای که تطابق بیشتر با این

داده دارد بر آنها برازش شود. روش رگرسیون خطی و غیرخطی برای تعیین بهترین رابطه

موجود بین داده‌ها در اینجا به کار می‌رود. مطالعات اخیر نشان داده که پراکندگی داده‌ها گسترده

بوده و منحنی‌های گرافیکی خاصی را می‌تواند، تشکیل دهد (به عنوان مثال تخمین چشمی شکل

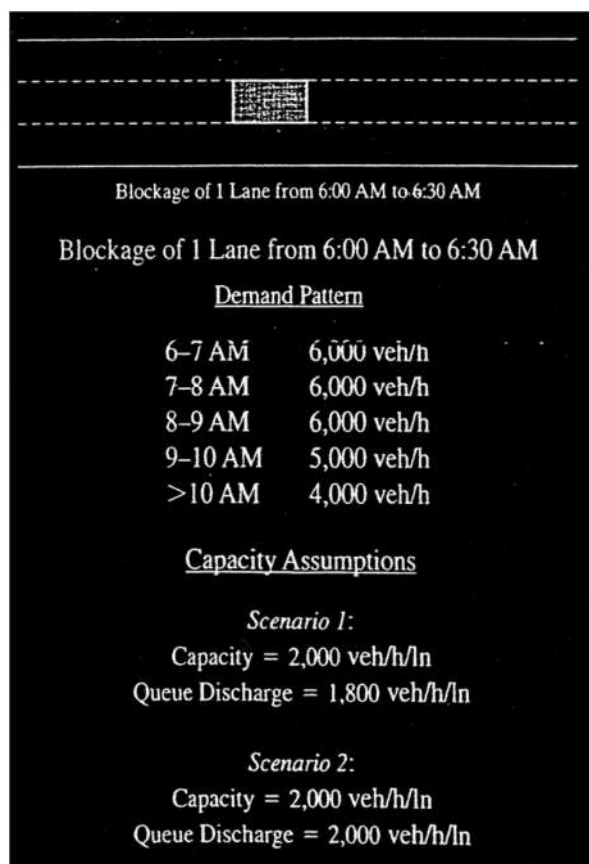
و موقعیت منحنی) که کاربرد هماهنگ اطلاعات و قضاوت حرفه‌ای را برای رسیدن به یک شکل منحنی مناسب می‌طلبد. این روند بیان می‌دارد که به چه ترتیب اشکال شماره ۱۲-۳ و ۱۲-۴ کالیبره شده‌اند. در تدوین HCM ۲۰۰۰ معادلاتی که منحنی گرافیکی را توضیح می‌دهند به کار رفته‌اند و بدین ترتیب الگوریتم‌های رایانه‌ای به راحتی قابل گسترش و جایگزینی هستند.

یک اوج یا دوتا

قابل ذکر است که تعدادی از مطالعات سرعت-جریان-تراکم انجام شده روابطی با ناپیوستگی‌های تند را در نزدیکی ظرفیت نشان می‌دهد. مطابق روابط سرعت-جریان مدرن، وقتی ظرفیت قسمت پایدار منحنی با جریان خروج از صف مقایسه شود موضوعات مشابهی بروز می‌کند. در این حالات، سؤال اینست وقتی یک گره و پیابند آن یک صف ایجاد می‌شود. آیا برای وسایل نقلیه این امکان وجود دارد که صف را با نرخ جریان ثابتی در حد ظرفیت ترک کنند؟

ولی متأسفانه جواب دقیقی برای این سؤال وجود ندارد. در بسیاری از موارد جریان خروج از صف کمی پایین تر از جریان پایدار ظرفیت در مقطع مورد نظر است.

ممکن است دو جریان در بعضی از موارد معادل یکدیگر بوده و حتی مواردی نیز مشاهده شده است که جریان خروج از صف از ظرفیت تسهیلات نیز بیشتر بوده است. اهمیت این موضوع هنگام تحلیل دقیق و جامع زمانی و مکانی تراکم مشخص می‌شود. شکل شماره ۱۲-۱۴ یک حالت خاص را نشان می‌دهد نقص وسیله در یک مقطع با ۳ خط عبور نیم ساعت به طول می‌انجامد. مقادیر ظرفیت و تقاضاهای تخمین زده شده در شکل به تفصیل آمده است



شکل شماره ۱۲-۱۴ تاثیر گلوگاه نشان داده شده

دو فرضیه در نظر گرفته شده که برای هر فرضیه دو سؤال باید پاسخ داده شود.

۱- طول صف به چه میزان می شود؟ ۲- چه مدت برای از بین رفتن صف لازم است؟

انجام تحلیل صف برای پاسخ به این سؤالات به کار می رود و در هر دوره زمانی تعداد

وسیله نقلیه ورودی با تعداد وسایل نقلیه در حال خارج شدن از صف مقایسه می گردد. تحلیل

فرضیه ۱ استنباطی از اختلاف 200 veh/h/ln بین ظرفیت و جریان خروج از صف می باشد که

در جدول شماره ۱۲-۲۰ نشان داده شده است.

در فرضیه ۲ فرض می‌شود که اختلافی بین ظرفیت و جریان خروج از صف وجود ندارد این موضوع در جدول شماره ۱۲-۲۱ نشان داده شده است. در فرضیه ۱ صف تا ساعت ۱۱ و ۳۸ دقیقه صبح به طول می‌انجامد نکته اساسی در اینجا اینست که جریان خروج از صف که کمتر از ظرفیت است تا از بین رفتن صف یعنی ساعت ۱ و ۳۸ دقیقه به همین منوال ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که طول صف در ساعت ۹ به بیشترین حد یعنی ۲۷۰۰ وسیله نقلیه می‌رسد. ولی در فرضیه ۲ صف هرگز به بیش از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه نرسیده و در ساعت ۱۰ نیز از بین می‌رود. پس این موضوع که جریان خروج از صف کمتر از ظرفیت است یا نه فراتر از یک فرضیه تئوری یا فلسفی می‌باشد و تأثیرش می‌تواند بسیار زیاد باشد. اگر فرض کنیم ۳ خط عبور بالادست این گلوگاه باشد و هر وسیله نقلیه ۷/۶ متر را اشغال کند می‌توان طول صف ایجاد شده در هر دو فرضیه را تعیین کرد.

$$\text{کیلومتر } 6/84 = \text{متر } (6840) = 7/6 * (\frac{2700}{3}) = \text{LQ}(1) = \text{طول صف (فرضیه ۱)}$$

$$\text{کیلومتر } 2/533 = \text{متر } 2533 = 6/7 * (\frac{1000}{3}) = \text{LQ}(2) = \text{طول صف (فرضیه ۲)}$$

فرضیه ۱:

یک افت ده درصدی را برای جریان خروج از صف در نظر می‌گیرد گرچه این موضوع شاید کوچک به نظر برسد اما منجر به یک صف طولانی، بیش از دو برابر حالتی که افت وجود ندارد، شده و این صف بیش از دو ساعت نیز از نظر زمانی بیشتر طول می‌کشد. این نمونه نشان می‌دهد چگونه یک اتفاق می‌تواند برای رانندگان رخ دهد. در مورد فوق یک راننده گزارشی را در ارتباط با وقفه‌ای در جریان ترافیک در ساعت ۶ صبح می‌شنود و در ساعت ۶

و ۳۰ دقیقه صبح گزارش دیگری، که حاکی از برطرف شدن وقفه است و هنگامی که راننده در ساعت ۹ صبح به محل می‌رسد یک صف طولانی مواجه شده و زمانی که به محل وقفه می‌رسد وارد یک شرایط آزاد ترافیکی در پایین دست می‌شود. راننده دچار تعجب شده که چرا صف هنوز وجود دارد در حالی که علت آن ساعاتی قبل برطرف شده است. نتیجه اخلاقی این داستان اینست که یک وقفه باعث ایجاد تراکم چه در بازه مکانی و چه زمانی شده که ممکن است مدت زیادی پس از رفع شدن علت آن نیز به طول انجامد و این هدف که از وقفه حتی الامکان جلوگیری شود و برنامه‌ای برای رفع سریع آن تدوین شود (هنگام رخ دادن هر سانحه یا تصادفی) می‌تواند تأثیر عمده‌ای در کیفیت ترافیک ایجاد نماید.

جدول شماره ۱۲-۲۰- تحلیل صف برای فرضیه ۱

زمان	وسایل نقلیه ورودی (veh/h)	ظرفیت (veh/h)	اندازه صف (veh)
۶ تا ۶:۳۰ صبح	$6000 \div 3 = 2000$	$2 \times 1800 \div 2 = 1800$	$3000 - 1800 = 1200$
۶:۳۰ تا ۷ صبح	$6000 \div 3 = 2000$	$3 \times 1800 \div 2 = 2700$	$1200 + 3000 - 2700 = 1500$
۷ تا ۸ صبح	۶۰۰۰	$3 \times 1800 = 5400$	$1500 + 6000 - 5400 = 2100$
۸ تا ۹ صبح	۶۰۰۰	۵۴۰۰	$2100 + 6000 - 5400 = 2700$
۹ تا ۱۰ صبح	۵۰۰۰	۵۴۰۰	$2700 + 5000 - 5400 = 2300$
بعد از ۱۰ صبح	۴۰۰۰	۵۴۰۰	خروج از صف با نرخ (veh/h) ۱۴۰۰

جدول شماره ۱۲-۲۱- تحلیل صف برای فرضیه ۱

زمان	وسایل نقلیه ورودی (veh/h)	ظرفیت (veh/h)	اندازه صف (veh)
۶ تا ۶:۳۰ صبح	$6000 \div 3 = 2000$	$2 \times 2000 \div 2 = 1800$	$3000 - 2000 = 1000$
۶:۳۰ تا ۷ صبح	$6000 \div 3 = 2000$	$3 \times 2000 \div 2 = 2700$	$1000 + 3000 - 2700 = 1000$
۷ تا ۸ صبح	۶۰۰۰	$3 \times 2000 = 6000$	$1000 + 6000 - 6000 = 1000$
۸ تا ۹ صبح	۶۰۰۰	۶۰۰۰	$1000 + 6000 - 6000 = 1000$
۹ تا ۱۰ صبح	۵۰۰۰	۵۴۰۰	$1000 + 5000 - 6000 = 0$

۱۲-۵-۲ کالبره کردن هم‌ارزهای خودروهای سواری

مهمترین عامل تبدیل حجم تقاضا در شرایط موجود به نرخ جریان بر حسب هم‌ارز خودرو سواری عامل اصلاحی وسایل نقلیه سنگین است. و همان طور که ذکر شد اصلاح جریان ترافیک بر پایه هم‌ارزهای خودرو سواری برای کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی در شرایط مختلف منطقه انجام می‌شود. کالبراسیون این مقادیر می‌تواند جالب باشد.

برای ساده‌شدن موضوع فرض کنید یک نوع وسیله نقلیه سنگین و بالطبع مقدار هم‌ارز خودرو سواری (E_H) به کار می‌رود. چند رابطه قبلی بدین شرح است.

$$f_{HV} = \frac{V_{Vph}}{V_{pce}}$$

$$f_{Hv} = \frac{1}{1 + p_H (E_H - 1)}$$

با استفاده از این روابط E_H را می‌توان مطابق با رابطه زیر بدست آورد.

$$E_H = \left[\frac{\left(\frac{V_{pce}}{V_{Vph}} \right) - 1}{P_H} \right] + 1 \quad \text{رابطه (۱۲-۱۳)}$$

مقادیر V_{Vph} و V_{pce} را می‌توان به اندازه‌های سرفاصله در هر جریان ترافیکی مربوط دانست اگر برای مثال سرفاصله‌ها در یک جریان ترافیک بر حسب وسیله نقلیه جلویی و عقبی طبقه‌بندی شود و فقط دو نوع وسیله نقلیه در جریان ترافیک وجود داشته باشد همان طور که قبلاً ذکر شد دارای گروه‌های H-P, P-H, P-P و H-H هستیم در این حالت رابطه ۱۲-۱۱ به کار می‌رود.

$$V_{pce} = \frac{3600}{h_{app}}$$

نرخ جریان ترافیک مختلط V_{vph} با تقسیم ۳۶۰۰ بر متوسط کل سرفاصله‌ها بدست می‌آید و میانگین همه سرفاصله‌ها از متوسط سرفاصله‌های طبقات ذکر شده بدست می‌آید.

$$V_{vph} = \frac{3600}{h_{ap}} \quad \text{رابطه (۱۲-۱۴)}$$

$$h_a = P_H^v h_{aHH} + P_H (1 - P_H) h_{aHP} + (1 - P_H)^v h_{app} \quad \text{که}$$

P_H = نسبت وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک

h_{aHH} = متوسط سرفاصله برای خودروهای سواری که وسیله نقلیه دیگری را دنبال

می‌کند، S

H_{aHP} = متوسط سرفاصله خودروهای سواری که وسیله‌های نقلیه سنگین را دنبال

می‌کند، S

h_{aHP} = متوسط سرفاصله خودرو سواری که توسط وسایل نقلیه سنگین دنبال می‌شود، S

h_{app} = متوسط سرفاصله خودرو سواری که خودرو سواری دیگری را دنبال می‌کند، S

با قرار دادن همه این اطلاعات در معادله ۱۲-۱۳ نتیجه می‌شود.

$$E_H = \frac{(1 - P_H)^* (h_{aPH} + h_{aHP} - h_{aPP}) + P_H h_{aHH}}{h_{aPP}} \quad \text{رابطه (۱۲-۱۵)}$$

وقتی کلیه مقادیر بدین ترتیب تعیین می‌شوند.

و در حالی که سرفاصله نوع وسایل نقلیه عقبی و جلویی طبقه‌بندی می‌شود فرض‌های

زیر وجود دارد.

فرض‌های زیر مطلق می‌باشد.

$$h_{app} = h_{aph} = h_{ap}$$

$$h_{aHH} = h_{aHp} = h_{aH}$$

هنگامی که این فرض‌ها در رابطه ۱۲-۱۵ جایگزین شوند رابطه به‌صورت زیر ساده

می‌گردد:

$$E_H = \frac{h_{aH}}{h_{ap}} \quad (12-16)$$

جایی که تعدادی از طبقه‌بندی‌های مختلف وسایل نقلیه سنگین وجود دارد این رابطه

دارای شکل مناسبی می‌باشد.

اساس کلی این محاسبات مشخص کردن این نکته است که جریان یک ترافیک مخلوط

را می‌توان بر حسب ترافیک خودرو سواری تنها طبقه‌بندی کرد با تعریف چنین هم‌ارزی

می‌توان برای محاسبه و کالیبره کردن E_H از سرفاصله استفاده کرد. یکی از موضوعات مهم

تعریف شرایط هم‌ارز برای کالیبره کردن است. قسمت‌های بعدی در ارتباط با روش‌های

گوناگون دیگری بحث می‌کند.

تعیین هم‌ارزی توسط رانندگان

کراماس^۱ و کرولی^۲ در مرجع ۱۶ روش قابل فهمی را برای ایجاد مفهوم هم‌ارزی به‌کار

بردند یک جریان ترافیک معین شرایط متعادل را بیان می‌کند که در آن یک راننده، وسیله نقلیه

خود را با استفاده از استنباط شخصی به‌کار می‌گیرد. کراماس و کرولی پیشنهاد کردند که

^۱ Krammas

^۲ Crowley

سرفاصله‌های وسایل نقلیه در یک جریان ترافیک دیدگاه رانندگان را در ارتباط با کیفیت عملکرد راه و سطح سرویس آن را نشان می‌دهد.

این یک مفهوم مهم است. همان طور که نرخ جریان سرویس برای یک سطح سرویس معین تعریف می‌شود، به کاربردن مفهوم سطح سرویس به عنوان بنیان مفهوم هم‌ارزی در راه منطقی می‌باشد. با استفاده از این روش در طی یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه از مشاهدات، سرفاصله‌های وسایل نقلیه از نظر نوع طبقه‌بندی شده و هم‌ارزی‌ها با استفاده از رابطه‌های ۱۲-۱۵ یا ۱۲-۱۶ محاسبه می‌گردد.

به مثال زیر توجه کنید. داده‌های نشان داده شده در جدول ۱۲-۲۲ طی یک فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در یک آزادراه بدست آمده است. جریان ترافیک در این بازه زمانی شامل ۱۰ درصد کامیون و ۹۰ درصد خودرو سواری می‌باشد.

جدول شماره ۱۲-۲۲ داده‌های مساله در تعیین هم‌ارزی توسط رانندگان

نوع سرفاصله	تعداد مشاهدات	میانگین سرفاصله‌ها (s)
P-P	۴۰۰	۳
P-T	۴۰	۳/۴
T-P	۴۰	۴/۲
T-T	۹	۴/۶

توجه داشته باشید که توزیع نوع سرفاصله با توزیع کامیون‌ها (۱۰٪) و خودروهای سواری (۹۰٪) در جریان ترافیک سازگار است. کل وسایل نقلیه عقبی شامل ۴۴۰ خودرو سواری و ۴۹ کامیون در جریان ترافیک است. وسایل نقلیه جلوی هم به همین منوال توزیع شده‌اند.

با طبقه‌بندی سرفاصله‌ها براساس دو نوع وسیله نقلیه جلویی و عقبی رابطه ۱۲-۱۵ برای

محاسبه هم‌ارز وسایل نقلیه سنگین (E_T) به کار می‌رود.

$$E_T = \frac{(1-0/10) * (3/4 + 4/2 - 3) + (0/10 * 4/6)}{3} = 1/53$$

براساس فرضیه هم‌ارزی کراماس وکرولی، هر کامیون به اندازه ۱/۵۳ خودرو سواری

فضا اشغال می‌کند مشاهده نتایج رابطه ساده شده ۱۲-۱۶ در اینجا می‌تواند، جالب باشد چون

سرفاصله‌ها تنها با استفاده از وسیله نقلیه عقبی طبقه‌بندی می‌شود. برای این کار متوسط وزنی

سرفاصله‌ها برای حالتی که خودرو سواری وسیله نقلیه عقبی بوده و یا کامیون وسیله نقلیه عقبی

بوده با استفاده از داده‌های جدول شماره ۱۲-۲۲ محاسبه می‌شوند سرفاصله‌های متوسط وزنی

عبارتند از:

$$h_{at} = \frac{(40 * 4/2) + (19 * 4/6)}{(40 + 40)} = 4/27s$$

$$h_{ap} = \frac{(40 * 3) + (40 * 3/4)}{(40 + 40)} = 3/44s$$

$$E_t = \frac{4/27}{3/44} = 1/40 \quad \text{پس رابطه ۱۲-۱۶ را به کار می‌بریم}$$

این رابطه براساس این فرض است که سرفاصله‌ها تنها به نوع وسیله نقلیه عقبی بستگی

دارد. مطابق داده‌های جدول شماره ۱۲-۲۲ ظاهراً پیش فرض $h_{app} = h_{apt}$ و $h_{att} \neq h_{ap}$ کاملاً

درست نیست ولی باید در نظر داشت که رابطه ۱۲-۱۶ دارای میزان تخمین زیادی می‌باشد.

مشاهده می‌شود که نتایج فقط ۰/۱۳ با هم تفاوت داشته و این اختلاف مبین این موضوع است

که کاربرد رابطه ۱۲-۱۶ و طبقه‌بندی وسایل نقلیه از روی وسایل نقلیه عقبی یک روش منطقی

است این مثال روش کالیبره کردن مقدار (E_T) را نشان می‌دهد. در HCM۲۰۰۰ مقدار E_T

متغیری وابسته به نوع منطقه، درصد کامیون‌ها در جریان ترافیک و طول وسختی شیب است بعضی از مطالعات این مقادیر را به‌خوبی قابل بیان با استفاده از سطوح جریان و سطوح سرویس می‌دانند.

کالیبره کردن مجموعه کاملی از مقادیر E_T و E_R به مقدار زیادی از داده‌های پایه نیاز دارد که دامنه وسیعی از شرایط فوق‌الذکر را در برداشته باشند که بالطبع هم وقت‌گیر و هم گران است. به‌خاطر دلایل تجربی، اکثر مطالعات در زمینه هم‌ارز وسیله نقلیه سنگین حداقل به‌صورت جزئی هم که شده به شبیه‌سازی برای دسترسی به یک مجموعه داده دلخواه متکی است.

سپس مطالعه در محل برای تایید انتخاب درست داده‌ها در فضا چند متغیره انجام می‌شود. نتایج معتبر اخذ شده می‌توانند برای اصلاح هم‌ارزها در انعکاس اختلاف بین نتایج سایتی و مقادیر مربوط به شبیه‌سازی به‌کار رود.

هم‌ارز براساس فاصله‌بندی ثابت

انتخاب سرفاصله وسایل نقلیه گوناگون به‌صورتی که دارای فواصل ثابتی باشند راه دیگری برای رسیدن به ضریب هم‌ارزی است. این کار با رسم سرفاصله انواع وسایل نقلیه در برابر فاصله مکانی آنها در نقطه مشخص شده انجام می‌شود (ملاک سرفاصله، وسیله نقلیه عقبی می‌باشد). این روش جالب توجه در شکل شماره ۱۲-۱۵ نشان داده شده است.

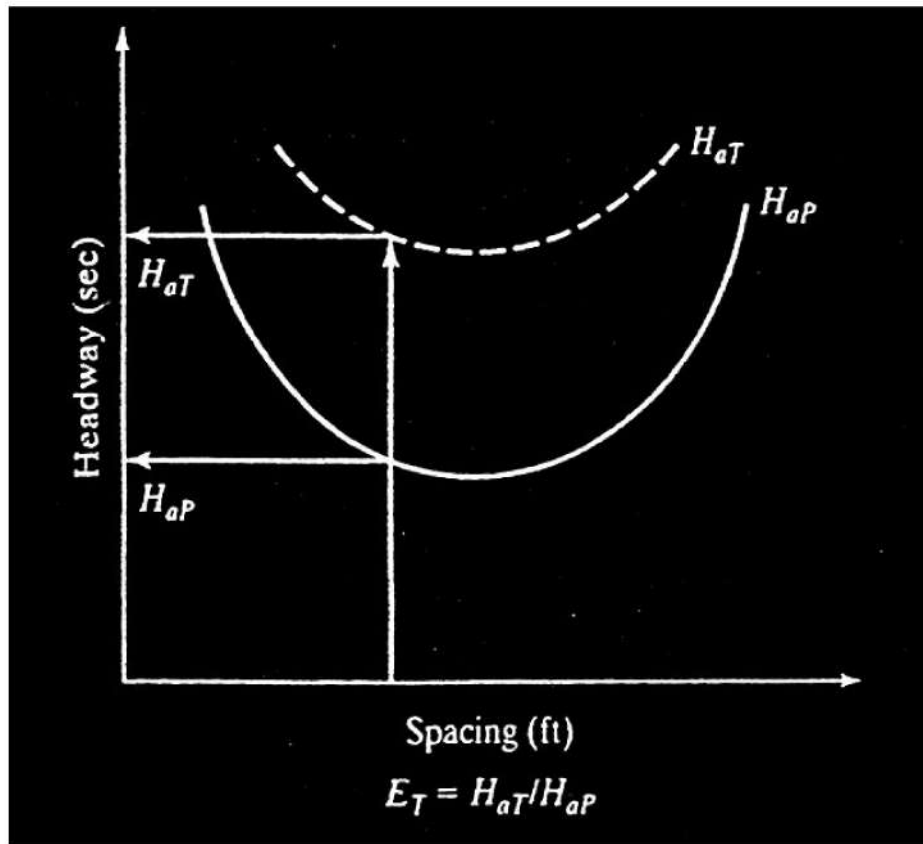
فاصله‌بندی به تراکم ($D = 1000 / Sa$) مربوط است و تراکم معیاری می‌باشد، که سطح سرویس آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه بوسیله آن مشخص می‌گردد. بنابراین روند فوق

منجر به تعیین هم‌ارز خودرو سواری شده که جریان ترافیک در یک تراکم مشخص را توضیح داده و سطح سرویس مربوط به آن را بیان می‌دارد.

رسم سرفاصله در برابر فاصله‌بندی با استفاده از داده‌هایی انجام می‌شود که دوره‌های زمانی کافی را برای رابطه مورد نظر پوشش می‌دهند. ترسیم‌های انجام شده برای مکان مورد بحث صحیح بوده و به اندازه تسهیلات (تعداد خطوط عبور) نوع منطقه، اندازه و نوع شیب مربوط است. هم‌ارزهای خودرو سواری ممکن است در چند مجموعه رسم شده، تغییراتی را در برابر فاصله‌بندی (تراکم) از خود نشان دهند. ولی این موضوع تغییری را در E_T براساس درصد کامیون‌ها در جریان ترافیک P_T نشان نمی‌دهد و در اینجا فرض بر اینست که چنین تغییراتی وجود ندارد.

همچنین توجه داشته باشید سرفاصله‌های هم‌ارز انتخاب شده و به کار رفته در این روند نباید در همان دوره اتفاق بیفتد. بنابراین نمودارها با استفاده از مجموعه‌ای از نقاط در دوره‌های مختلف ۱۵ دقیقه‌ای کالیبره می‌شود.

این روش اساساً نسبت به روش‌های کراماس و کرولی متفاوت است. هم‌ارزها بر حسب جریان ترافیک که دارای میانگین سرفاصله مکانی برابر باشد، تعریف می‌شود.



شکل شماره ۱۲-۱۵ سرفاصله‌های هم‌ارز براساس فاصله‌بندی ثابت

هم‌ارز براساس سرعت یکنواخت:

همچنین این امکان وجود دارد که یک نمودار از میانگین سرفاصله‌ها در برابر سرعت متوسط مکانی برای هر بازه ۱۵ دقیقه‌ای تهیه شود. مشابه روش ذکر شده در شکل شماره ۱۲-۱۵ هم‌ارزها ممکن است. در جریان ترافیک دارای سرعت متوسط مکانی برابر باشند. اگر سرعت یک معیار برای تعریف سطح سرویس باشد این موضوع یک جایگزین قابل توجه است.

اگر چه این روش برای کالیبره کردن هم‌ارز خودرو سواری در بزرگراه‌های روستایی با دو خط‌عبور در HCM۱۹۸۵ به کار رفته است اما برای کالیبره کردن آزادراه‌ها یا بزرگراه‌های چندخطه مناسب نیست. در HCM۱۹۸۵ سرعت یک معیار تعیین سرویس ثانویه برای بزرگراه‌های دوخطه است [۱۸].

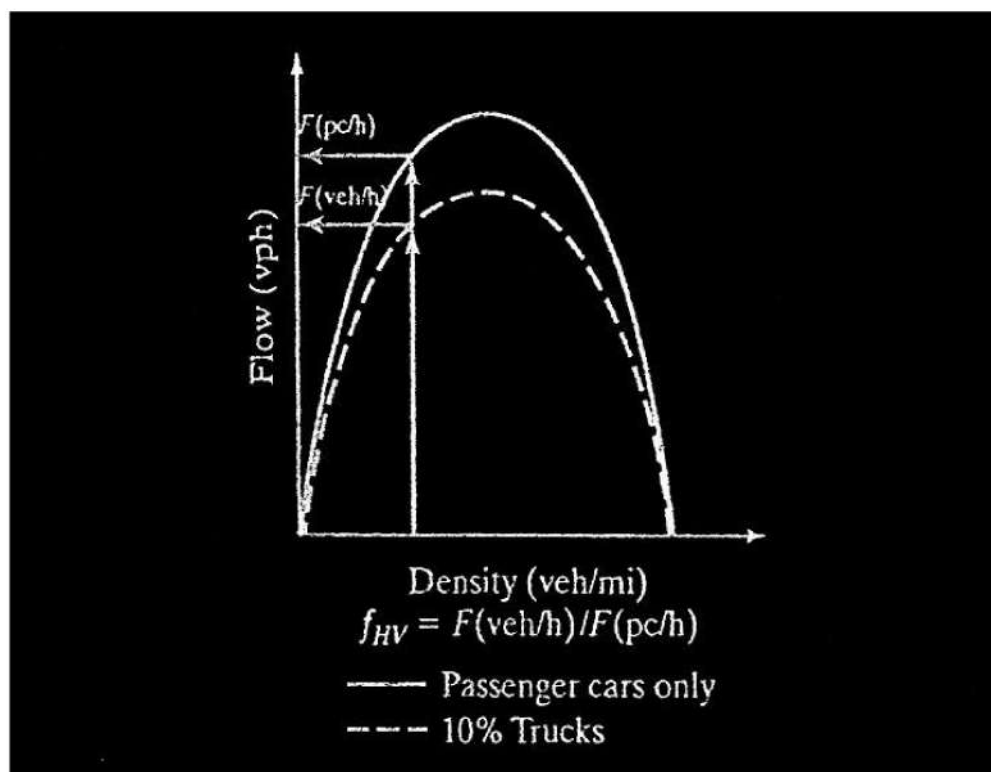
کالیبره کردن عامل وسیله نقلیه سنگین در مقیاس کلان:

از آنجایی که f_{HV} به عنوان ضریبی از جریان‌های هم‌ارز در حالتی که واحد برحسب pc/h , veh/h است، تعریف می‌شود به نظر می‌رسد که این روش ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری این معیار به‌طور مستقیم و کالیبره کردن عامل نسبت به استفاده از هم‌ارز خودرو سواری است.

شکل شماره ۱۲-۱۶ نموداری از جریان در برابر تراکم را برای مکان‌های هندسی و دوره‌های زمانی مشابه نشان می‌دهد که درصد کامیون‌ها در آن متغیر است. منحنی‌ها در حالت پایه یعنی صفر درصد کامیون و حالت ۱۰ درصد کامیون را شامل می‌شود.

در نظر داشته باشید سطح سرویس در بزرگراه‌های چندخطه بدون وقفه با استفاده از معیار تراکم تعریف می‌شود پس هم‌ارز در سطح سرویس مورد نظر نیز با ثابت نگه داشتن تراکم مانند آنچه در شکل نشان داده شده، انجام می‌شود. نسبت این دو جریان مقدار f_{HV} را مستقیماً به ما می‌دهد.

جمع‌آوری داده برای چنین کالیبره کردنی، دشوار است. یک سری از منحنی‌ها که درصد‌های مختلف کامیون را نشان می‌دهند، مورد نیاز است و محل داده‌برداری نیز باید انواع مناطق و شیب‌ها را دربر داشته باشد.



شکل شماره ۱۲-۱۶- کالیبراسیون مستقیم عامل تطبیق وسایل نقلیه سنگین با استفاده از روابط جریان-تراکم

پیدا کردن محل مناسب برای در اختیار داشتن درصدهای مختلف کامیون از صفر تا ۳۰ درصد بزرگترین چالشی است که باعث غیرعملی‌تر شدن این روش نسبت به روش‌های قبلی می‌شود.

روش مشابهی نیز با استفاده از منحنی‌های جریان-سرعت قابل استفاده بوده که این روش با فلسفه موضوع چندان سازگار نیست، زیرا سرعت معیار کیفیت سرویس در HCM نیست.

دیگر مراجع

نوشته‌های موجود (مراجع ۱۷ تا ۲۰) تعداد زیادی روش‌های عملی و تئوری در زمینه هم‌ارز خودرو سواری و عامل وسیله نقلیه سنگین را شامل می‌شود ولی هیچ مفهوم عمومی در

ارتباط با هم‌ارزی در آنها وجود ندارد و محققین نیز بر روی روش کالیبراسیون خاصی توافق ندارند. مرجع شماره ۲۱ نیز در ارتباط با روشی در مورد هم‌ارز خودرو سواری در جریان‌های بدون وقفه بحث می‌کند که در تسهیلات چندخطه در HCM۲۰۰۰ به‌کار رفته است.

۱۲-۵-۳ کالیبراسیون عامل انسانی راننده

اگر مقداری غیر از یک (برای کاربران روزانه در جریان ترافیک یا رانندگان آشنا در یک تسهیلات) برای عامل انسانی مورد استفاده قرار گیرد این عامل نیاز به کالیبره کردن محلی دارد. این به‌خاطر اینست که تاثیر بالقوه عامل انسانی آشنایی راننده‌ها و اثر آن بر روی عملکرد تسهیلات، بسیار متغیر بوده و وابسته به موقعیت خاص موجود می‌باشد. غالباً جاده‌های تفریحی پذیرنده راننده‌های جدیدی می‌باشند که با خصوصیات مسیر آشنایی کافی ندارند البته آشنایی راننده‌ها به مسیر یک امر نسبی بوده و قابلیت تفکیک به‌صورت آشنا و غیرآشنا را ندارد.

به‌علاوه، مناطق تفریحی و دیگر مناطق ممکن است پذیرای رانندگانی با خصوصیات مختلف باشد. که تعدادی کاربر منظم و آشنا را دربر می‌گیرند. مساله دیگر، هندسه مسیر است. یک کاربر ناآشنا به هندسه سخت ناحیه کوهستانی بسیار با احتیاط‌تر نسبت به جاده مستقیم و هموار حرکت می‌کند.

یک تسهیلات خاص ممکن است در روزهای کاری و روزهای تعطیل هفته با توجه به نوع کاربری آن (کاری و یا تفریحی) عامل انسانی کاملاً متفاوتی داشته باشد.

کالیبراسیون عامل انسانی با ارزیابی عملکردی یک تسهیلات در ظرفیت آن در روزهای معمول و آخر هفته و یا با مقایسه ظرفیت یک جاده معین در مواقعی که خصوصیات راننده‌ها متفاوت است، انجام می‌شود.

این نوع کالیبراسیون معمولاً تقریبی بوده و بسط نتایج آن از یک تسهیلات (یا یک گروه از تسهیلات) به دیگر موارد دارای دقت کافی نیست. با این همه روش فوق بهترین شیوه موجود در حال حاضر و یک روش منطقی برای بدست آوردن تخمین محلی مناسب از عامل انسانی است که عاملی غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد.

۱۲-۵-۴ عامل‌های اصلاحی برای سرعت جریان آزاد

HCM۲۰۰۰ برخی اصلاحات را برای پیش‌بینی سرعت جریان آزاد به کار می‌برد. این اصلاحات (برای عرض خط عبور، فاصله جانبی از موانع، تعداد خطوط یا نوع میانه و یا تراکم تبادل‌ها و نقاط دسترسی) از نظر این که فقط جنبه کاهش‌ی داشته و فراوانی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهند با دو عامل اصلاحی انسانی و وسایل نقلیه سنگین تفاوت دارند و هنگامی که این عوامل اساس کار قرار می‌گیرند اطلاعات بسیار پراکنده است.

برای مثال عامل‌های اصلاحی عرض خط و فاصله جانبی از موانع با استفاده از اخذ داده از محل و بوسیله تصویر کردن عامل‌های اصلاحی قبلی برحسب نرخ جریان بر روی سرعت در منحنی‌های سرعت جریان قابل کالیبراسیون است. هنگامی که نرخ جریان پایین است سرعت جریان آزاد برای هر تسهیلاتی به آسانی با اندازه‌گیری سرعت متوسط خودروهای سواری که تحت تاثیر وسایل نقلیه سنگین نیستند، قابل محاسبه است. برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چندخطه اندازه‌گیری‌ها وقتی میزان جریان $veh/h/ln$ ۸۰۰-۱۰۰۰ کمتر است یک

نتیجه منطقی را دربر دارد. در اینجا کالیبراسیون نیاز به کنترل‌های عملی خاصی داشته و وقتی یک متغیر (به عنوان مثال عرض خط) تغییر می‌کند که باید بقیه متغیرها ثابت باشند.

پیدا کردن محلی با شرایط فوق قدری مشکل به نظر می‌رسد. روش دیگر اینست که داده‌ها در محل‌های مختلف با شرایط متنوع جمع‌آوری شده و تحلیل رگرسیون برای ایجاد رابطه‌ای که سرعت جریان آزاد را پیش‌بینی کند، انجام شود. ممکن است این رابطه بعداً برای بررسی تاثیر شرایط خاص بر نتایج به کار رود.

۱۲-۶- نرم افزار

دو بسته اصلی نرم افزاری وجود دارد که متدولوژی HCM^{۲۰۰۰} را توضیح می‌دهند. بسته نرم افزاری HCS^۱ که به وسیله مرکز مک‌ترانس^۲ در دانشگاه فلوریدا و جینزویل^۳ در حال تهیه و تدوین است و بسته نرم افزاری HiCap^{۲۰۰۰} که یک محصول جدید تهیه شده به وسیله گروه مهندسين کاتالینا^۴ در توکسن و آریزونا می‌باشد. مهندسين کاتالینا از اولین پیمانکاران NCHRP در تهیه محصولات نهایی HCM^{۲۰۰۰} هستند.

قابل ذکر است که کمیته کیفیت سرویس و ظرفیت راه‌های TRB هیچکدام از محصولات نرم افزاری را آزمایش و تصدیق نکرده است و این بیان که این پاکت‌های نرم‌افزاری بیان صادقانه‌ای از HCM است به‌طور کلی از سوی سازندگان آنهاست.

^۱ Highway capacity Software package

^۲ Mc trans

^۳ Gainesville

^۴ Catalina Engineering, Inc.

References

1. *Highway Capacity Manual*, Bureau of Public Roads, Washington DC, 1950.
2. *Highway Capacity Manual*, "Special Report 87" Transportation Research Board, Washington DC, 1965.
3. *Highway Capacity Manual*, "Special Report 209" Transportation Research Board, 1985.
4. *Highway Capacity Manual*, "Special Report 209" (as revised in 1994), Transportation Research Board, Washington DC, 1994.
5. *Highway Capacity Manual*, "Special Report 209" (as revised in 1997), Transportation Research Board, Washington DC, 1997.
6. *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, Washington DC, 2000 (Metric and Standard U.S. versions).
7. Kittelsohn, W., "Historical Overview of the committee on Highway Capacity and Quality of Service," *Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity*, Transportation Research Circular E CO18, Maui, Hawaii, June 27-July 1, 2000.
8. Reilly, W., Harwood, D., and Schoen, J., "Capacity and Quality of Flow of Multilane Highways," Final Report, JHK & Associates, Tucson AZ, 1988.
9. Schoen, J., May, A. Jr., Reilly, W., and Urbanik, T., "Speed – Flow Relationships for Basic Freeway Sections," Final Report, JHK & Associates, Tucson AZ, and Texas Transportation Institute, Texas A & M University, College Station TX, December 1994.
10. Greenshields, B., "A Study of Traffic Capacity," *Proceedings of the Highway Research Board*, Transportation Research Board, Washington DC, 1934.
11. Ellis, R., "Analysis of Linear Relationships in Speed – Density and Speed – Occupancy Curves," Final Report, Northwestern University, Evanston IL, December 1964.
12. Greenberg, H., "An Analysis of Traffic Flows, Operations Research, Vol. 7, Operations Research Society of America, Washington DC, 1959.

13. Underwood, R., "Speed, Volume, and Density Relationships," *Quality and Theory of Traffic Flow*, Yale Bureau of Highway Traffic, New Haven CT, 1961.
14. Edie, L., "Car – Following and Steady – State Theory for Non – Congested Traffic," *Operations Research*, Vol. 9, Operations Research Society of America, Washington DC, 1961.
15. Duke, J.; and May, A. Jr., "A Statistical Analysis of Speed – Density Hypotheses" *Highway Research Record* 154, Transportation Research Board, Washington DC, 1967.
16. Krammas, R. and Crowley, K., "Passenger Car Equivalents for Trucks on Level Freeway Segments," *Research Record* 1194, *Transportation Research Board*, Washington DC, 1988.
17. Linzer, E., Roess, R., and Mc Shane, W., "Effect of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles on Freeway Capacity and Service Volume," *Transportation Research Record* 699, Transportation Research Board, Washington DC, 1979.
18. Craus, J., Polus, A., and Grinberg, A. "A Revised Method for the Determination of Passenger Car Equivalents," *Transportation Research*, Vol. 14A, No. 4, Pergamon Press, London, England, 1980.
19. Cunagin, W. and Messer, C., "Passenger Car Equivalents for Rural Highways," *Transportation Research Record* 905, Transportation Research Board, Washington DC, 1983.
20. Roess, R. and Messer, C., "Passenger Car Equivalents for Uninterrupted Flow: Revision of the Circular 212 Values," *Transportation Research Record* 971, Transportation Research Board, Washington DC, 1984.
21. Webster, L. and Elefteriadou, A., "A Simulation Study of Truck Passenger Car Equivalents (PCE) on Basic Freeway Sections," *Transportation Research B*, Vol. 33, No. 5, Pergamon Press, London, England, 1999.

مسائل

۱۲-۱- سرعت جریان آزاد را در یک بزرگراه چهارخطه جدا شده با خصوصیات زیر

محاسبه کنید.

الف- سرعت جریان آزاد پایه $= 90 \text{ km/h}$

ب- میانگین عرض خطوط عبور $= 3/35 \text{ m}$

ج- فاصله جانبی از موانع $= 0/6$ متر در هر دو طرف جاده

د- تراکم نقاط دسترسی ۱۲ در کیلومتر در هر دو طرف راه

۱۲-۲- سرعت جریان آزاد یک آزادراه شش خطه واقع در حومه شهر با عرض خط $3/6$

متری فاصله از موانع جانبی $1/2$ متر و فاصله تبادل‌ها به‌طور متوسط $1/2$ کیلومتر را محاسبه

کنید؟

۱۲-۳- برای هر کدام از شیب‌های زیر یک شیب ترکیبی مناسب پیدا کنید.

الف) 300 متر شیب سه درصد و سپس 460 متر شیب ۲ درصد و سپس 230 متر شیب

۴ درصد

ب) 610 متر شیب ۴ درصد سپس 1520 متر شیب ۳ درصد و سپس 610 متر شیب ۵

درصد

ج) 1220 متر شیب ۵ درصد و سپس 910 متر شیب ۳ درصد

۱۲-۴- یک آزادراه که در منطقه مسطح قرار دارد دارای ترکیبی از ترافیک شامل ۱۰

درصد کامیون و ۵ درصد وسایل نقلیه تفریحی است. اگر حداکثر حجم اوج ساعتی گزارش

شده برابر با 3500 veh/h میزان معادل حجم وسایل نقلیه بر حسب pc/h چقدر است.

۱۲-۵- نرخ جریان سرویس و احجام سرویس را برای یک آزادراه شهری با

خصوصیات زیر بیابید؟

الف) عرض خطعبور برابر با $3/3$ متر

ب) فاصله جانبی از موانع $0/6$ متر

ج) تراکم تبادلها برابر $1/2$ در هر کیلومتر

د) وجود ۵ درصد کامیون در جریان ترافیک و عدم وجود وسایل نقلیه تفریحی

ه) رانندگان با جاده آشنا بوده و مقطع مورد بحث دارای یک شیب ممتد به طول $1/6$

کیلومتر و عامل اوج ساعتی (PHF) $0/85$ می باشد.

۱۲-۶- یک بزرگراه شش خطه جدا شده دارای سرعت جریان آزاد 75 km/h ، اوج حجم

ساعتی 4000 veh/h و ۱۵ درصد کامیون در جریان ترافیک بدون وسایل نقلیه تفریحی

می باشد. PHF مسیر $0/9$ و بزرگراه در منطقه مسطح قرار دارد. سطح سرویس این مقطع چقدر

می باشد؟

۱۲-۷- یک مقطع طولانی از یک آزادراه در حومه شهر در منطقه مسطح قرار دارد که

شامل $8/2$ کیلومتر مقطع با شیب صفر درصد و به دنبال آن $2/5$ کیلومتر مقطع با شیب ۵ درصد

است. اگر DDHV این آزادراه برابر 2500 veh/h با ۱۰ درصد کامیون و ۳ درصد وسایل نقلیه

تفریحی باشد تعداد خطوط عبور مورد نیاز برای قسمت های مسطح، سر بالایی و سرازیری در

صورتی که حداقل، سطح سرویس C مورد نظر باشد چقدر است؟ فرض می شود که شرایط پایه

و حداقل فاصله از موانع جانبی وجود داشته و تراکم تبادلها $0/3$ تبادل در کیلومتر و PHF

برابر با $0/92$ می باشد.

۱۲-۸- یک آزادراه قدیمی چهارخطه دارای خصوصیات زیر است:

الف) خطوط عبور به عرض ۳/۳ متر

ب) بدون فاصله جانبی

ج) تراکم تبادل ۱/۲ تبادل در کیلومتر

د) وجود ۵ درصد کامیون در جریان ترافیک بدون وسایل نقلیه تفریحی

ه) PHF برابر با ۰/۹

و) منطقه مسطح

تقاضا در ساعت اوج در حال حاضر ۲۲۰۰ veh/h و رشد سالانه ترافیک ۳ درصد پیش‌بینی می‌شود. سطح سرویس در حال حاضر چیست؟ سطح سرویس در ۵، ۱۰، ۲۰ سال آینده چقدر است؟ برای جلوگیری از توقف (سطح سرویس F) انجام تعریض و یا استفاده از جاده کمکی برای این تسهیلات کی لازم است؟

۱۲-۹- ظرفیت یک آزادراه با دو خط عبور در هر جهت در حالت پایدار ۲۰۰۰ veh/h/ln است. بامداد یک روز یکی از این خطوط عبور از ساعت ۷ صبح به مدت ۱۵ دقیقه بند می‌آید. الگوی ورود وسایل نقلیه به این آزادراه به شرح زیر است از ۷ تا ۸ صبح ۴۰۰۰ veh/h، از ۸ تا ۹ صبح ۳۹۰۰ veh/h از ۹-۱۰ صبح ۳۵۰۰ veh/h بعد از ساعت ۱۰ صبح ۲۸۰۰ veh/h.

الف) فرض کنید ظرفیت این مقطع در شرایط ناپایدار (پس از تشکیل صف) به

۱۸۰۰ veh/h برسد. در این حالت صف ایجاد شده چقدر طول می‌کشد؟

چه وقت صف به بیشترین اندازه خودش می‌رسد؟ از هنگام توقف چقدر طول می‌کشد

تا صف از بین رود؟

ب) اگر ظرفیت مقطع بعد از ایجاد صف 2000 veh/h/ln باشد جواب سوالات فوق

چيست؟

۱۰-۱۲- سرفاصله‌های زیر در یک دوره ۱۵ دقیقه‌ای در یک آزادراه شهری مشاهده شده

است.

نوع سرفاصله	تعداد مشاهدات	میانگین مقادیر (S)
P-P	۱۲۸	۳/۱
P-T	۳۲	۳/۸
T-P	۳۲	۴/۳
T-T	۸	۴/۹

هم‌ارز خودرو موثر (Pce) را برای کامیون‌ها وقتی که همه انواع سرفاصله‌ها متفاوت

است محاسبه کنید؟

محاسبه فوق را برای وقتی که سرفاصله‌ها فقط با در نظر گرفتن وسیله نقلیه عقبی است

انجام دهید. آیا نتیجه متفاوت است؟ چرا؟

هم‌ارز انتخاب شده رانندگان^۱ در حل این مساله به‌کار برید.

^۱ driver Selected equivalent

فصل ۱۴

راههای دو خطه دو طرفه برون شهری

۱۴-۱- مقدمه

سهم قابل توجهی از راههای آسفالتی در آمریکا که حدود چهار میلیون مایل می باشند، راههای برون شهری^۱ هستند. درصد زیادی از این راهها، جادههای دو خطه دو طرفه هستند. در اینگونه جادهها، در شرایطی که ترافیک مقابل اجازه دهد و نیز فاصله دید مناسب وجود داشته باشد، برای سبقت گرفتن بایستی از خط حرکت جهت مخالف استفاده کرد. در جادههای دو خطه دو طرفه جریان ترافیک جهات مختلف روی یکدیگر اثر می گذارند چرا که ماهیت سبقت گرفتن در این جاده ها به گونه ای است که نمی توان ترافیک دو جهت را مجزای از یکدیگر فرض کرد.

حجم ترافیک در این جادهها برای مسیرهای بین شهری، سنگین و برای نواحی خلوت و منفک شده^۲ از شبکه، سبک تر می باشد. این جادهها بخشهای وسیعی از شبکه را به هم متصل می کنند. حاشیه شهرها، نواحی کشاورزی، نواحی صنعتی و مناطق نظامی دوردست از قسمت هایی هستند که توسط اینگونه جادهها به هم متصل می شوند. بدلیل عملکرد گسترده جادههای دو طرفه دو خطه، این جادهها، بر اساس طیف وسیعی از استانداردها و مشخصات جغرافیایی مختلف، ساخته شده اند. جادههای برون شهری دو خطه، در شبکه جادهای ملی، دو نقش اساسی را ایفا می کنند:

- جابجایی^۳

- دسترسی^۴

راههای اصلی ایالتی و استانی، نقش جابجایی را ایفا می کنند. بیشتر کاربران جادهای، سفرهای زیادی را در طول قابل توجهی از جادههای دو خطه دو طرفه انجام می دهند. استانداردهای طراحی برای اینگونه جادهها، عموماً بر اساس حجم بالای ترافیک طرح شده اند. سرعت طراحی بالا برای این جادهها، معرف نقش اساسی جابجایی در آنهاست.

¹ Rural

² isolated area

³ Mobility

⁴ Accessibility

در عین حال، بخشی از جاده‌های دو خطه دو طرفه، بعضاً با ترافیک سبک و حدود صد وسیله نقلیه در روز هستند. عملکرد اصلی این جاده‌ها، فراهم کردن دسترسی بین مناطق توسعه یافته خلوت در هر شرایط آب و هوایی است. بدلیل حجم پایین‌تر در این موارد سرعت طراحی و مشخصات هندسی، نگرانی چندانی ایجاد نمی‌کنند.

بدلیل تنوع و گستردگی استفاده از این گونه جاده‌ها، کتاب ظرفیت بزرگراهها در ویرایش سال ۲۰۰۰ خود، جاده‌های دو خطه دو طرفه را به دو کلاس مجزا از هم تقسیم‌بندی کرده است:

- کلاس I. در این راهها، سفرهایی با سرعت‌های نسبتاً بالا انجام می‌شود که عبارتند از؛ مسیرهای بین شهری مهم، شریان‌های اصلی و مسیرهایی که سفرهایی تکراری و روزانه^۵ را به خود اختصاص داده‌اند.

- کلاس II. در این راهها سفرهایی انجام می‌شود که احتیاج به سرعت‌های بالا ندارند که عبارتند از؛ مسیرهای دسترسی، مسیرهای خوش منظر و تفریحی که جزء شریان‌های اصلی نیستند و مسیرهای واقع در نواحی ناهموار.

راههای دو خطه کلاس I، عمدتاً نقش جابجایی را ایفا می‌کنند در حالی که راههای دو خطه کلاس II، عمدتاً نقش دسترسی را ایفا می‌کنند.

این نوع طبقه بندی به طور کامل و چنانچه باید و شاید نمی‌تواند طیف گسترده این نوع جاده‌ها را معرفی کند. مسیرهای واقع در نواحی ناهموار، در طبقه‌بندی کلاس II قرار گرفتند چرا که در این نواحی عمدتاً بدلیل محدودیت‌های جغرافیایی، سرعت‌ها پایین و امکان سبقت وجود ندارد. در چنین شرایطی اگر سطح تقاضا به اندازه کافی بالا باشد، این جاده‌ها نقش جابجایی را ایفا خواهند کرد.

آشتو^۶ راههای دو خطه را به سه دسته تقسیم می‌کند؛ راههای شهری محلی (روستایی)^۷ راههای جمع کننده^۸ و راههای شریانی^۹.

^۵ daily commuter routes

^۶ AASHTO

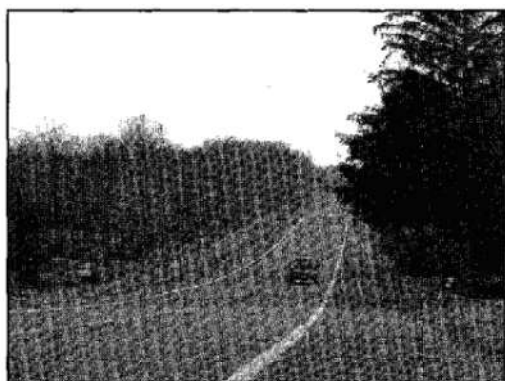
^۷ (rural local roads)

^۸ (rural collectors)

^۹ (rural arterials)

متاسفانه این طبقه‌بندی با طبقه‌بندی HCM در مواردی همپوشانی دارد. راههای شریانی که آشتو به آن اشاره کرده است، در کلاس I طبقه‌بندی HCM قرار می‌گیرد. جمع‌کننده‌ها بسته به شرایط جغرافیایی و عوارض زمین می‌توانند در هر یک از دو کلاس HCM قرار گیرند و نهایتاً راههای غیر شهری محلی در کلاس II قرار می‌گیرند.

شکل ۱-۱۴ چهار نوع راه دو خطه را بر اساس طبقه‌بندی‌های HCM و آشتو نمایش می‌دهد. شکل ۱-۱۴-الف و ۱-۱۴-ب راههای کلاس I را نمایش می‌دهد. این راهها برای سرعت‌های بالا طراحی می‌شوند و با شانه‌هایی آسفالتی و علایم و خط‌کشی‌های کامل هستند. شکل ۱-۱۴-ج راههای جمع‌کننده کلاس II را نشان می‌دهد. شکل ۱-۱۴-د راههای شهری محلی را نشان می‌دهد که واضح است که در طبقه‌بندی HCM، در کلاس II قرار می‌گیرد. فقدان خط‌کشی، وجود شانه‌های نامناسب و کیفیت پایین روسازی بوضوح در شکل نمایان است.



الف) یک نوع راه شریانی در کلاس I



ب) یک نوع راه جمع‌کننده در کلاس I



ج) یک نوع راه جمع‌کننده در کلاس II



د) یک نوع راه غیر شهری محلی در کلاس II

شکل ۱-۱۴: نمایش انواع راههای دوخطه

راههای دوخطه دو طرفه عملکردهای گسترده و مشخصات فیزیکی متنوعی دارند لذا استانداردهای طراحی و معیارهای سطح سرویس آنها باید به گونه‌ای باشد که طیف کاملی از این نوع راهها را پوشش دهد.

این فصل موضوعات زیر را در خصوص راههای دو خطه دو طرفه مطرح می‌کند:

- استانداردهای طراحی

- فاصله دید سبقت و اثرات نواحی سبقت ممنوع

- تحلیل ظرفیت و سطح سرویس راههای دو خطه

۱۴-۲- استانداردهای طراحی

استانداردهای طراحی راههای شهری، حومه شهری و بزرگراههای برون شهری در کتاب طرح هندسی راهها و خیابانهای آشتو^{۱۰} آمده است. این کتاب به خاطر رنگ جلد آن به «کتاب سبز»^{۱۱} معروف است. آخرین ویرایش آن، ویرایش چهارم است که در سال ۲۰۰۱ منتشر شده است. سرعت طرح، مهمترین فاکتور کنترل مشخصات هندسی است. بقیه موارد مثل مسیر قائم، مسیر افقی و مقطع عرضی بایستی به نحوی طرح گردند که شرایط ایمنی را برای سرعت طرح ایجاد کنند. مثلاً برای سرعت طرح ۹۵km/h تسهیلات جاده باید به گونه‌ای باشند که شرایط ایمنی را برای این سرعت فراهم کنند. در فصل ۳ در خصوص اثرات سرعت روی مسیرهای افقی و قائم، مفصلاً بحث شد.

جدول ۱-۱۴ برای راههای دو خطه برون شهری بر اساس عملکرد، طبقه بندی، نوع منطقه و تقاضای متوسط حجم ترافیک روزانه، سرعت‌های طرح پیشنهادی را نشان می‌دهد.

¹⁰ (A Policy of Geometric Design of Highways and street)

¹¹ (Green Book)

جدول ۱-۱۴: حداقل سرعت طرح پیشنهادی برای راههای دو خطه (km/h)

حداقل سرعت طرح			وسیله نقلیه در روز	نوع راه
کوهستانی	تپه ماهور	هموار		
۳۲	۳۲	۴۸	< 50	راه غیر شهری محلی
۳۲	۴۸	۴۸	۵۰-۲۴۹	
۳۲	۴۸	۶۴	۲۵۰-۳۹۹	
۴۸	۶۴	۸۰	۴۰۰-۱۴۹۹	
۴۸	۶۴	۸۰	۱۵۰۰-۱۹۹۹	
۴۸	۶۴	۸۰	≥ 2000	
۳۲	۴۸	۶۴	< 400	راه جمع کننده
۴۸	۶۴	۸۰	۴۰۰-۲۰۰۰	
۶۴	۸۰	۹۶	> 2000	
۶۴	۸۰	۹۶	همه	راه شریانی

شکل ۲-۱۴ مقادیر مناسب برای حداکثر شیب راههای دو خطه دو طرفه را نشان می‌دهد.

حداکثر شیب به عملکرد راه، سرعت طرح آن و نوع منطقه بستگی دارد.

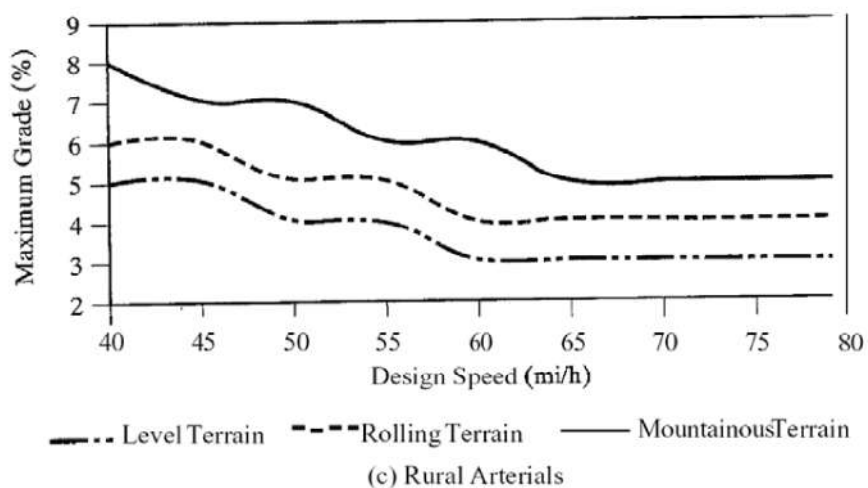
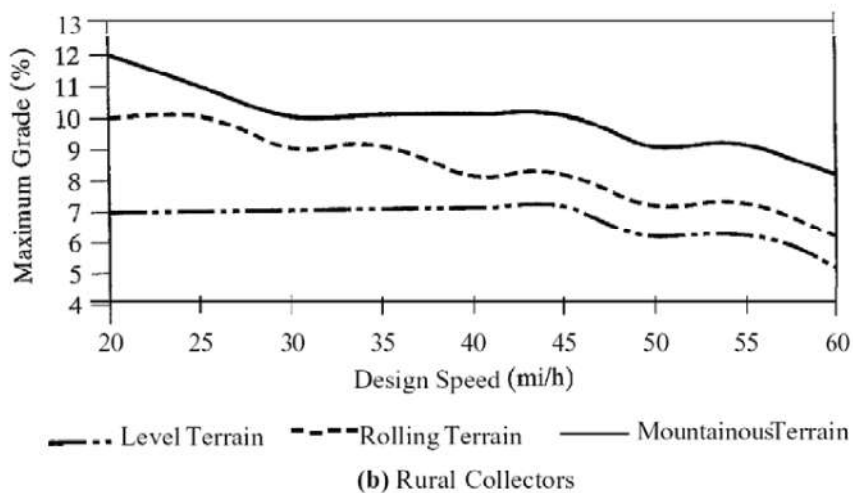
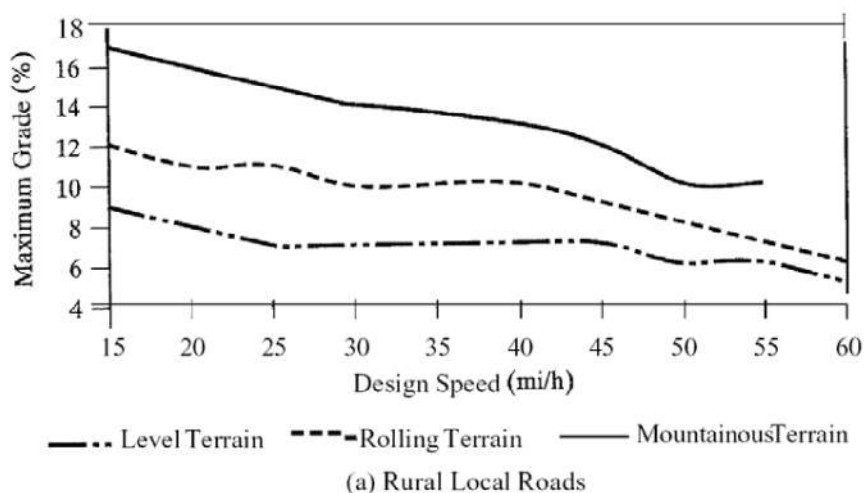
بعد از انتخاب سرعت طرح، محدودیت‌های مسیر افقی و قائم مشخص می‌شود. در فصل ۳

مفصلاً رابطه سرعت طرح با قوس‌های افقی و قائم بیان شده است.

باید توجه داشت که مقادیر ارائه شده در جدول ۱-۱۴ و شکل ۲-۱۴ حداقل مقادیر توصیه

شده برای سرعت طرح و حداکثر شیب پیشنهادی است. وقتی شرایط اجازه دهد، می‌توان از

سرعت بالاتر و شیب کمتر استفاده کرد.



شکل ۱۴-۲: معیارهای طراحی برای حداکثر شیب راههای دوخطه

۱۴-۳- فاصله دید سبقت در راههای دو خطه

در فصول ۲ و ۳، در خصوص اهمیت فاصله دید توقف ایمن بحث شد. به ازای هر سرعت طرح انتخابی، بایستی فاصله دید توقف ایمن در هر نقطه از راه، رعایت شود. هیچ راننده‌ای نباید در جاده با مانعی ناگهانی مواجه شود که فاصله (و زمان) کافی برای توقف قبل از آن را نداشته باشد.

در راههای دو خطه، معیار دیگری که از حیث ایمنی اهمیت دارد، فاصله دید سبقت است. در این راهها چون مانور سبقت با استفاده از خط حرکت مخالف انجام می‌شود، می‌تواند بسیار خطرناک باشد. حداقل فاصله دید لازم جهت شروع و کامل کردن ایمن مانور سبقت تحت شرایط مشخص، فاصله دید سبقت نام دارد.

نیازی نیست که در هر نقطه از مسیر در راههای دو خطه، فاصله دید سبقت تامین گردد. در جاهایی که امکان تامین فاصله دید سبقت وجود ندارد، اجازه سبقت گرفتن داده نمی‌شود. در جاهایی که طول کافی برای انجام مانور ایمن سبقت وجود ندارد، خط کشی جاده و تابلوهای نصب شده، ممنوعیت سبقت را نشان می‌دهند.

باید توجه داشت در راههای دو خطه‌ای که خط کشی ندارند، رانندگان نباید فرض کنند که فاصله دید سبقت در دسترس است. در جاهای خط کشی نشده، نظر راننده، تنها کنترل روی مانورهای سبقت است.

AASHTO، معیارهایی برای تعیین حداقل فاصله دید سبقت در نظر می‌گیرد که بر اساس یک سری مفروضات نسبت به رفتار رانندگان می‌باشد. این مفروضات در مورد اغلب رانندگان صادق است.

حداقل فاصله دید سبقت، برابر با مجموع چهار فاصله‌ای است که در شکل ۱۴-۳ نمایش داده شده است. این فواصل عبارتند از:

d_1 = فاصله طی شده در مدت زمان درک عکس العمل و در مدت افزایش شتاب اولیه به منظور اشغال خط چپ

d_2 = فاصله طی شده در حالی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده خط چپ را اشغال می‌کند.

d_3 = فاصله طی شده بین وسیله نقلیه سبقت گیرنده در مدت حرکت آن و وسیله نقلیه مقابل.

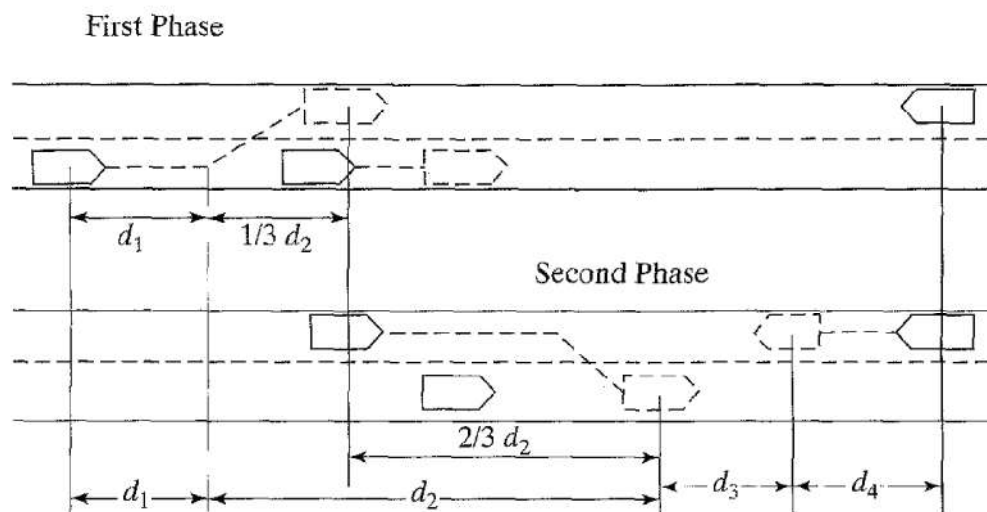
d_4 = فاصله طی شده توسط وسیله نقلیه مقابل برای دو سوم زمان طی شده توسط وسیله نقلیه

سبقت گیرنده که سمت چپ را اشغال می کند.

معیارهایی که برای فواصل و سبقت ها در نظر گرفته شد، از مرجع [۳] آمده است و مراجع [۴]

و [۵] صحت این مقادیر را تایید می کنند. فواصلی که در بالا به آنها اشاره شده طبق روابط زیر

محاسبه می گردند.



شکل ۱۴-۳: قسمت های مختلف فاصله دید سبقت

$$d_1 = 2.35t_1 \left(S - m + \frac{at_1}{2} \right) \quad (1-14)$$

که در آن:

t_1 = زمان عکس العمل، s

S = سرعت وسیله نقلیه سبقت گیرنده، km/h

m = تفاوت سرعت بین وسیله نقلیه سبقت گیرنده و وسیله نقلیه جلویی، km/h

a = شتاب متوسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده، km/h/s

$$d_2 = 2.35St_2 \quad (2-14)$$

که در آن:

t_2 = مدت زمانی که طول می کشد تا وسیله نقلیه سبقت گیرنده، باند چپ را اشغال کند، s

S = سرعت وسیله نقلیه سبقت گیرنده، km/h

$$d_3 = 30 - 100 \text{ m} \quad (3-14) \quad (\text{از سی متر تا صد متر انتخاب می شود})$$

$$d_4 = \left(\frac{2}{3}\right)d_2 \quad (4-14)$$

برای استفاده از این معادلات، AASHTO فرض کرده است که سرعت وسیله نقلیه سبقت گیرنده، 16 km/h (m)، بیشتر از سرعت وسیله نقلیه جلویی است. میزان شتاب بین $2/2$ تا $2/4 \text{ km/h/s}$ فرض شده است. زمان عکس العمل، بین $3/6$ تا $4/5$ ثانیه (t_1) است. زمانی که طول می کشد تا باند چپ اشغال شود، بر اساس پارامترهای سرعت است و بین $9/3$ تا $11/3$ ثانیه (t_2) می باشد. مقادیر فاصله مجاز بر اساس سرعت های پایین تر، محاسبه می شود.

در یک طراحی مناسب، بهتر است که فواصل دید سبقت ایمن در نظر گرفته شوند. به همین منظور باید از فواصل دید سبقتی استفاده کنیم که با سرعت طرح تسهیلات راه، مرتبط باشند. جدول ۲-۱۴ مقادیر فاصله دید سبقت را بر اساس سرعت طرح که توسط AASHTO پیشنهاد شده است، نشان می دهد. سرعت هایی که برای وسیله نقلیه سبقت گیرنده و وسیله نقلیه جلویی فرض شده اند، بر اساس آن چیزی است که در بخش وسیعی از مانورهای سبقت در راه های دو خطه برون شهری رخ می دهد.

حالت مطلوب این است که در تمام مقاطع راه، امکان سبقت وجود داشته باشد. نواحی «سبقت ممنوع» اثراتی را بر ظرفیت و سطح سرویس می گذارند که محاسبه آنها توسط مدل هایی که در قسمت بعدی ارائه می شود، انجام می گیرد. همچنین شرایط مطلوب این است که حداقل های جدول ۲-۱۴ در شرایط عملی، برای فاصله دید سبقت رعایت شوند.

معیارهای طراحی جدول ۲-۱۴ شبیه آن چیزی نیست که در آیین نامه MUTCD برای خط-کشی و تابلوگذاری نواحی «سبقت ممنوع» پیشنهاد شده است. مقادیری که در جدول ۳-۱۴ از

طرف MUTCD پیشنهاد شده است به مراتب کمتر از معیارهای طراحی است. فرضیاتی که برای مقادیر جدول ۱۴-۳ بکار گرفته شده است با استانداردهای طراحی که راجع به آن بحث شد، تفاوت دارد. وقتی فاصله دید کمتر از مقادیر جدول ۱۴-۳ باشد، بایستی به کمک خط کشی یا نصب تابلو، ممنوعیت سبقت اعلام شود. این مقادیر بسیار محافظه کارانه هستند اما ایمن‌تر می‌باشند. در جاهایی که مقادیر طراحی برای فاصله دید سبقت، وجود ندارند، بکارگیری این مقادیر برای اعمال ممنوعیت سبقت، توصیه می‌شود.

جدول ۱۴-۲ مقادیر طراحی برای فاصله دید سبقت در راههای دو خطه

سرعت طرح (km/h)	سرعت های مفروض		فاصله دید سبقت	
	وسيله نقلیه جلویی	وسيله نقلیه سبقت گیرنده	حقیقی	مقدار رُند شده برای طراحی
۳۲	۲۸/۸	۴۴/۸	۲۱۱/۸	۲۱۵
۴۰	۳۵/۲	۵۱/۲	۲۶۹/۱	۲۷۰
۴۸	۴۱/۶	۵۷/۶	۳۲۶/۴	۳۳۰
۵۶	۴۸	۶۴	۳۸۳/۷	۳۸۵
۶۴	۵۴/۴	۷۰/۴	۴۴۱	۴۴۵
۷۲	۵۹/۲	۷۵/۲	۴۸۷/۵	۴۹۰
۸۰	۶۵/۶	۸۱/۶	۵۴۹/۶	۵۵۰
۸۸	۷۰/۴	۸۶/۴	۵۹۵/۲	۶۰۰
۹۶	۷۵/۲	۹۱/۲	۶۳۹/۹	۶۴۰
۱۰۴	۸۰	۹۶	۶۸۴/۳	۶۸۵
۱۱۲	۸۶/۴	۱۰۲/۴	۷۴۳/۷	۷۴۵
۱۲۰	۸۹/۶	۱۰۵/۶	۷۷۳/۴	۷۷۵
۱۲۸	۹۲/۸	۱۰۸/۸	۸۰۳/۱	۸۰۵

جدول ۱۴-۳: مقادیر حداقل فاصله عبور برای قرار دادن

تابلوها و خط کشی های سبقت ممنوع

حداقل فاصله دید سبقت (m)	سرعت ۸۵ درصد یا حداکثر سرعت مقرر (km/h)
۱۳۵	۴۰
۱۵۰	۴۸
۱۶۵	۵۶
۱۸۰	۶۴
۲۱۰	۷۲
۲۴۰	۸۰
۲۷۰	۸۸
۳۰۰	۹۶
۳۳۰	۱۰۴
۳۶۰	۱۱۲

۱۴-۴- تحلیل ظرفیت و سطح سرویس راههای دو خطه

متدولوژی HCM 2000 برای تحلیل راههای دو خطه دو طرفه روش جدیدی است که بر مبنای تحقیقات وسیعی که در موسسه تحقیقاتی میدوست^{۱۲} صورت گرفته است، بنا شده است. این روش، بر مبنای متدولوژی بکار گرفته شده در سال ۱۹۸۵ می باشد اما اجزاء جدید زیادی هم به آن اضافه شده است.

یکی از مشکلات اساسی در مطالعات رفتار راههای دو خطه، زمانی است که عملکرد ضعیفی تحت شرایط نزدیک به ظرفیت خود دارند. بنابراین، تحقیقات مربوط به عملکرد این گونه راهها، تکیه زیادی به مدل های شبیه سازی، علاوه بر مشاهدات میدانی دارد. ویژگی منحصر به فردی که در

¹² (Midwest Research Institute)

این متدولوژی وجود دارد این است که برای تحلیل ظرفیت و سطح سرویس این راهها، از دو کلاسی که قبلاً برای آنها تعریف شد، استفاده می‌شود.

جدول ۱۴-۴: معیارهای سطح سرویس برای راههای دوخطه

سطح سرویس	تسهیلات کلاس I		تسهیلات کلاس II
	سرعت سفر متوسط (km/h)	درصد زمانی دنباله روی (%)	درصد زمانی دنباله روی (%)
A	> ۸۸	≤ ۳۵	≤ ۴۰
B	> ۸۰-۸۸	> ۳۵-۵۰	> ۴۰-۵۵
C	> ۷۲-۸۰	> ۵۰-۶۵	> ۵۵-۷۰
D	> ۶۴-۷۲	> ۶۵-۸۰	> ۷۰-۸۵
E	≤ ۶۴	> ۸۰	> ۸۵

۱۴-۴-۱- ظرفیت

ظرفیت راههای دو خطه در شرایط پایه برای هر دو جهت حرکت حدود ۳۲۰۰ pc/h با حداکثر ۱۷۰۰ pc/h برای هر جهت، محاسبه می‌شود. شرایط پایه عبارتند از:

- پهنای باندها ۳/۶m یا بیشتر
- پهنای مفید شانه‌ها ۱/۸m یا بیشتر
- منطقه مسطح و هموار
- نبود وسایل نقلیه سنگین
- ۱۰۰٪ طول جاده سبقت آزاد (بدون ناحیه سبقت ممنوع)
- حجم ترافیک در هر دو جهت یکسان
- نبود جریان ترافیک منقطع

این استانداردها، منعکس کننده شرایط معقول و قابل انتظار هستند بدین معنی که راههای دو خطه تحت شرایط پایه، باید قادر باشند که در اکثر زمانها به ظرفیت موردنظر برسند. مشاهداتی که در حجم‌های ترافیک بالا صورت می‌گیرد، نفی کننده استانداردها نخواهد بود. در روش جدید برای

تحلیل راههای دو خطه، سطح سرویس F، فقط زمانی وجود دارد که حجم تقاضا، از ظرفیت مقطع، تجاوز کند.

۱۴-۴-۲- سطح سرویس

سطح سرویس راههای دو خطه برون شهری با دو مقدار اثرگذار زیر مشخص می‌شود:

- متوسط سرعت سفر (ATS)

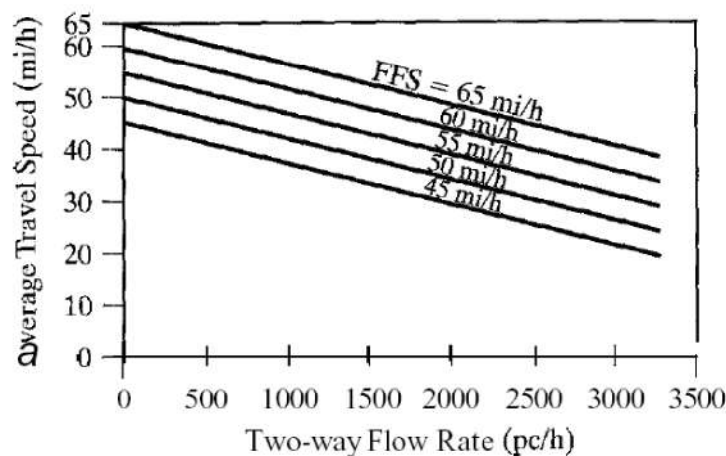
- درصد زمان دنباله روی (PTFS)

متوسط سرعت سفر؛ متوسط سرعت کلیه وسایل نقلیه‌ای است که در دوره زمانی خاصی و در قسمت مشخصی از راه که مورد تحلیل است، عبور می‌کنند. این دوره زمانی، معمولاً ۱۵ دقیقه اوج ساعت اوج است. وقتی تحلیل هر دو جهت حرکت مدنظر باشد، متوسط سرعت سفر، تمامی وسایل نقلیه هر دو جهت را شامل می‌شود و اگر تحلیل در یک جهت حرکت باشد، وسایل نقلیه عبوری در همان جهت، مورد مطالعه خواهند بود.

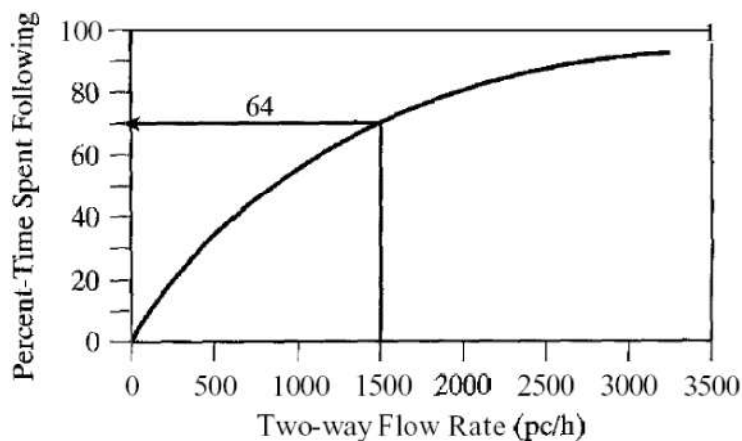
درصد زمان دنباله روی همان چیزی است که در HCM سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۷ به عنوان «درصد تاخیر زمانی» معرفی شده بود. این مقدار، درصد زمانی جمع شده‌ای است که کلیه رانندگان در صف‌هایی که امکان سبقت برای آنها وجود ندارد گذرانده‌اند. بدلیل سرعت پایین وسیله نقلیه جلویی، صف ایجاد شده و تعدادی از وسایل نقلیه در این صف‌ها مقید می‌شوند.

یک مقدار جایگزین برای PTSF، درصد وسایل نقلیه‌ای است که پشت سر هم با سرفاصله زمانی ۳ ثانیه یا کمتر هستند. معیارهای سطح سرویس، برای راههای دو خطه در جدول ۱۴-۴ نشان داده شده است. این معیارها برای راههای کلاس I و کلاس II، متفاوت است. از آنجا که در راههای کلاس II، نقش جابجایی به عنوان عملکرد اصلی محسوب نمی‌شود، لذا برای تعیین سطح سرویس، فقط از معیار PTSF استفاده می‌شود.

شکل ۱۴-۴ رابطه بین ATS و PTSF و نرخ جریان دو طرف راههای دو خطه دو طرفه را در شرایط پایه نشان می‌دهد.



(a) Average Travel Speed versus Two-way Flow



(b) Percent Time Spent Following versus Two-way Flow

شکل ۱۴-۴: رابطه نرخ جریان با متوسط سرعت سفر و درصد زمان دنباله روی

شکل (b) ۱۴-۴ به خوبی عملکرد راههای دو خطه دو طرفه را نشان می‌دهد. برای راههای چند خطه و آزادراهها، حتی در V/C های بالا، افت عملکرد رخ نمی‌دهد. بدین معنی که در چنین راههایی حتی در V/C های بالاتر از ۰/۷۵، رانندگان می‌توانند سرعت‌های بالایی در نزدیکی سرعت جریان آزاد داشته باشند. اما در راههای دو خطه دو طرفه بخاطر ملاحظه PTSF، حتی در V/C های پایین هم، نسبتاً افت عملکرد دیده می‌شود.

همانطور که در شکل (b) ۱۴-۴ نمایش داده شده است، در نرخ جریان 1500 pc/h (V/C) عبارت است از $0/47 = 1500/3200$ ، PTSF برابر ۶۴٪ می‌باشد. این مقدار برای شرایط پایه و نزدیک به ایده‌آل می‌باشد. برای شرایطی غیر از شرایط پایه، مقدار PTSF، بیشتر هم خواهد شد.

همین مشخصات، نشان می‌دهد که چرا قطعات کمی از راههای دو خط دو طرفه، نزدیک به ظرفیتشان عمل می‌کنند. حجم‌های نزدیک به ظرفیت، به شدت در عملکرد راه، افت ایجاد می‌کنند. همین موضوع باعث می‌شود که رانندگان در چنین راههایی به خاطر اجتناب از تاخیرهای بوجود آمده، دست به سبقت‌های غیر ایمن بزنند. به خاطر همین مسایل، اکثر راههای دو خطه دو طرفه، مورد واسازی مجدد قرار می‌گیرند تا بتوانند تا حدود بهتری پاسخگوی تقاضاهای نزدیک به ظرفیت باشند.

بر طبق متدولوژی تحلیل چنین راههایی، حتی در نرخ جریانهای کم، ممکن است شاهد سطح سرویس‌های پایینی باشیم. در مورد سایر تسهیلات ترافیکی، چنین وضعیتی وجود ندارد.

۱۴-۴-۳- انواع تحلیل‌ها

ویرایش قبلی HCM برای راههای دو خطه دو طرفه برون شهری، فقط محدود به تحلیل ترکیبی از هر دو جهت حرکت بود. در این تحلیل، اثر متقابل جریان ترافیک هر دو جهت لحاظ می‌شد. در بسیاری از مواقع، مشخصات عملکردی به گونه‌ای است که برای دو جهت حرکت متفاوت خواهد بود به خصوص زمانی که شیب‌های تندی وجود داشته باشد. به همین دلیل HCM۲۰۰۰ این امکان را فراهم کرده است که هم تحلیل برای دو جهت حرکت امکانپذیر باشد و هم برای یک جهت خاص. سه متدولوژی زیر این امکان را فراهم می‌کنند؛

- تحلیل دو جهت برای قطعه‌های با عوارض زمینی معمولی (هموار یا تپه ماهور) با طول بیش

از ۳/۲km

- تحلیل یک جهت برای قطعه‌های با عوارض زمینی معمولی (هموار یا تپه ماهور) با طول

بیش از ۳/۲km

- تحلیل یک جهت برای شیب‌های خاص

برای شیب‌های خاص در سراسیابی یا سربالایی فقط مجاز به تحلیل یک جهت هستیم. هر کجا

شیب ۳٪ یا بیشتر و طول آن حداقل ۰/۹۶km یا بیشتر بود بایستی از رویه تحلیل شیب‌های خاص استفاده کرد.

۱۴-۴-۴- سرعت جریان آزاد

سرعت جریان آزاد از متغیرهای مهمی است که در اندازه‌گیری شرایط عملکردی راه مورد استفاده قرار می‌گیرد. HCM۲۰۰۰ توصیه می‌کند که در جاهایی که عملی است، سرعت جریان آزاد به صورت میدانی، اندازه‌گیری شود، اما در عین حال برای مواردی که اندازه‌گیری آن عملی نباشد، روشی جهت تخمین آن پیشنهاد می‌دهد.

اندازه‌گیری میدانی سرعت جریان آزاد

ممکن است سرعت جریان آزاد برای راههای دو خطه دو طرفه، مستقیماً در محل اندازه‌گیری شود. مطالعه سرعت بایستی دقیقاً مربوط به همان محل مورد مطالعه باشد. سرعت جریان آزاد ممکن است مستقیماً با روشهای زیر اندازه‌گیری شود:

- یک نمونه ۱۰۰ تایی یا بیشتر از سرعت وسایل نقلیه بایستی بدست آید.
- مجموع جریان ترافیک دو طرف بایستی ۲۰۰ pc/h یا کمتر باشد.
- در طول دوره مطالعه، سرعت‌های همه وسایل نقلیه باید اندازه‌گیری شود، یا یک نمونه‌گیری سیستماتیک (مثل یک وسیله نقلیه از هر ده وسیله نقلیه) بایستی اجرا شود.
- وقتی که تحلیل دو جهت موردنظر باشد، نمونه‌گیری سرعت بایستی از جریان هر دو طرف انتخاب شود؛ وقتی که تحلیل یک جهت مدنظر باشد، بایستی نمونه‌گیری سرعت فقط از همان جهت تحت مطالعه انتخاب شود.
- اگر در اندازه‌گیری‌های میدانی کل جریان ترافیک بیشتر از ۲۰۰ pc/h بود، سرعت جریان آزاد به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$FFS = S_m + 0.0125 \left(\frac{V_f}{f_{HV}} \right) \quad (5-14)$$

که در آن:

FFS = سرعت جریان آزاد برای تسهیلات ، km/h

S_m = سرعت میانگین اندازه‌گیری شده از نمونه (در جایی که کل جریان بیشتر از ۲۰۰ pc/h است)

V_f = نرخ جریان مشاهده شده برای دوره نمونه‌گیری سرعت، veh/h

s = فاکتور تعدیل وسایل نقلیه سنگین

فصل ۹ جزئیات روند اندازه‌گیری سرعت را در محل ارائه می‌دهد.

تخمین سرعت جریان آزاد

اگر مشاهده میدانی سرعت جریان آزاد عملی نبود، می‌توان برای راههای دو خطه دو طرفه، این

سرعت را مطابق زیر تخمین زد:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (6-14)$$

که در آن:

FFS = سرعت جریان آزاد برای تسهیلات، km/h

$BFFS$ = سرعت جریان آزاد پایه برای تسهیلات، km/h

f_{LS} = تعدیل برای عرض شانه و باند حرکت، km/h

f_A = تعدیل برای تراکم دسترسی‌ها، km/h

متاسفانه، HCM۲۰۰۰ معیارهایی جزئی برای تعیین سرعت جریان آزاد پایه، ($BFFS$) فراهم نکرده است. مقدار آن به حدود ۷۰ تا ۱۰۵ km/h محدود می‌شود. برای راههای کلاس I، معمولاً در محدوده ۹۰ تا ۱۰۵ km/h و برای راههای کلاس II معمولاً ۷۰ تا ۸۰ km/h محدود می‌شود. سرعت طرح و سرعت‌های حداکثر مجاز می‌توانند به عنوان ورودی‌هایی برای تخمین مناسبی از $BFFS$ بکار برده شوند. سرعت طرح، که نمایانگر حداکثر سرعت ایمن برای مسیرهای افقی و قائم است، می‌تواند جانشین مناسبی برای $BFFS$ باشد. فاکتورهای تعدیل، اثر پهنای باند و شانه‌ها و نقاط دسترسی را شرح می‌دهند که هیچ یک از آنها برای سرعت طرح اولین تسهیلات، بکار گرفته نشده‌اند. حدود حداکثر سرعت مجاز راهنمای خوبی نیستند، چرا که کشورهای مختلف با سیاست‌ها و فلسفه‌های متفاوتی، محدوده‌های حداکثر سرعت مجاز را تعیین می‌کنند.

فاکتورهای تعدیل برای پهنای شانه‌ها و باندهای حرکت در جدول ۱۴-۵ و برای تراکم

دسترس‌ها در جدول ۱۴-۶ آمده است.

تراکم دسترسی‌ها، از تقسیم تعداد کل دسترسی‌ها و تقاطعات در هر دو طرف راه بر طول قطعه مورد مطالعه، بدست می‌آید.

یک مساله نمونه

سرعت جریان آزاد یک راه دو خطه دو طرفه برون شهری را که در منطقه‌ای تپه ماهور واقع شده است پیدا کنید. عرض باند حرکت ۳/۳m و عرض شانه‌ها ۰/۶m است. تراکم دسترسی‌ها ۱۸/۷۵ در هر کیلومتر است و سرعت جریان آزاد پایه، ۹۶km/h در نظر گرفته می‌شود. از تکنیک تخمین زدن استفاده کنید. سرعت جریان آزاد طبق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

که در آن

$$BFFS = 96 \text{ km/h} \text{ (داده شده است)}$$

$$f_{LS} = 4/8 \text{ km/h} \text{ (جدول ۵-۱۴)}$$

$$f_A = 12 \text{ km/h} \text{ (جدول ۶-۱۴)}$$

$$FFS = 96 - 4/8 - 12 = 79/2 \text{ Km/h}$$

جدول ۵-۱۴: تعدیل سرعت جریان آزاد برای پهنای شانه‌ها و باندهای حرکت

کاهش f_{LS} ، FFS (km/h) پهنای شانه (m)				پهنای باند (m)
$\geq 1/8$	$\geq 1/2 < 1/8$	$0 \geq 1/2 < 1/2$	$\geq 0 < 66$	
۳/۵	۵/۶	۷/۷	۱۰/۲۵	$\geq 2/7 < 3$
۱/۷۵	۳/۸۵	۶	۸/۵	$\geq 3 < 3/3$
۰/۶۵	۲/۷	۴/۸	۷/۵	$\geq 3/3 < 3/6$
۰	۲/۱	۴/۱۶	۶/۷	$\geq 3/6$

دقت شود که انتخاب تعدیل پهنای شانه و باند، f_{LS} ، در شرایط مرزی جدول ۵-۱۴ بوده است. پهنای باند، $3/3m$ بوده است که در دسته « $3/3 < 3/6$ » قرار می‌گیرد و عرض شانه هم $0/6m$ بوده است که در دسته « $0/6 < 1/2$ » قرار می‌گیرد.

جدول ۱۴-۶: تعدیل سرعت جریان آزاد برای تراکم دسترسی‌ها

تعداد دسترسی‌ها در هر کیلومتر	کاهش FFS (km/h) f_A
۰	۰/۰
۶/۲۵	۴
۱۲/۵	۸
۱۸/۷۵	۱۲
۲۵	۱۶

۱۴-۴-۵- تخمین نرخ جریان تقاضا

تعیین نرخ جریان تقاضا که منعکس کننده شرایط پایه برای تسهیلات مورد تجزیه و تحلیل است، یکی از گام‌های مهم در اکثر متدولوژی‌های HCM۲۰۰۰ می‌باشد. برای این موضوع، نیاز است تا یک حجم ساعتی که منعکس کننده شرایط غالب و متداول است در نظر گرفته شود. این حجم، تعدیل می‌شود تا منعکس کننده نرخ جریان اوج در طول یک ساعت و شرایط پایه باشد. برای راههای دو خطه برون شهری، این تعدیل، از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$v = \frac{V}{PHF \times f_{HV} \times f_G} \quad (7-14)$$

که در آن :

v = نرخ جریان تقاضا، pc/h

V = حجم ساعتی تقاضا تحت شرایط غالب و متداول، veh/h

PHF = ضریب ساعت اوج

f_{HV} = ضریب تعدیل برای وسایل نقلیه سنگین

f_G = ضریب تعدیل برای شیب

اما متدولوژی HCM2000 برای تعیین این پارامتر به ظاهر ساده، سطوح مختلف پیچیده‌ای را تعریف می‌کند:

۱- از آنجایی که دو مقدار موثر ATS و PTFS باید تعیین شوند، دو تبدیل بر پایه دو فاکتور مختلف تعدیل (f_{HV}, f_G) وجود دارد که برای هر یک از مقادیر ATS و PTFS بدست می‌آیند.

۲- وقتی که تحلیل دو جهت انجام می‌گیرد، حجم کل به نرخ جریان تقاضای کل، تبدیل می‌شود. وقتی که تحلیل یک جهت انجام می‌شود، حجم همان جهت و نیز جهت مخالف بایستی جداگانه تبدیل شوند.

۳- تعیین نرخ جریان تقاضا یک روال تکراری دارد چرا که فاکتورهای تعدیل f_{HV} و f_G با نرخ جریان تقاضا تغییر می‌کنند.

در اکثر موارد پیچیده برای تحلیل یک جهت، چهار اندازه‌گیری مختلف برای نرخ جریان تقاضا وجود دارد؛ دو مقدار نرخ جریان تقاضا برای هر جهت، یک مقدار برای تعیین ATS، و یک مقدار برای تعیین PTFS. هر یک از چهار اندازه‌گیری، یک روال تکراری دارد. خوشبختانه، همه تکرارها به تنها یک محاسبه محدود می‌شوند که بعداً ملاحظه خواهد شد.

تعیین فاکتورهای تعدیل شیب

برای هر محاسبه‌ای، نیاز به دو فاکتور تعدیل شیب داریم؛ یکی برای تعیین ATS و یکی برای تعیین PTFS. علاوه بر موارد فوق، انتخاب فاکتورهای تعدیل مناسب، بستگی به نوع تحلیل هم دارد. فاکتورهای تعدیل شیب طبق روشهای زیر شناخته می‌شوند:

- تحلیل دو جهت برای قطعه‌ای با عوارض زمینی معمولی (هموار یا تپه ماهور) برای تعیین ATS و PTSF از جدول ۷-۱۴.

- تحلیل یک جهت برای قطعه‌ای با عوارض زمینی معمولی (هموار یا تپه ماهور) برای تعیین ATS و PTSF از جدول ۷-۱۴.

- تحلیل یک جهت سربالایی‌های خاص برای تعیین ATS از جدول ۸-۱۴
- تحلیل یک جهت سربالایی‌های خاص برای تعیین PTFS از جدول ۹-۱۴
- تحلیل یک جهت سراسیبی‌های خاص برای تعیین ATS و PTFS از جدول ۷-۱۴

جدول ۷-۱۴ : ضریب تعدیل شیب (f_G) برای قطعاتی با عوارض زمینی معمولی و

سراسیبی‌های خاص (تعیین ATS و PTSF)

برای تعیین PTSF		برای تعیین ATS		مقادیر جریان	مقادیر جریان
منطقه	منطه	منطقه	منطقه	ترافیک در یک طرف (pc/h)	ترافیک در دو طرف (pc/h)
تپه ماهور	هموار	تپه ماهور	هموار		
۰/۷۷	۱	۰/۷۱	۱	۰-۳۰۰	۰-۶۰۰
۰/۹۴	۱	۰/۹۳	۱	> ۳۰۰-۶۰۰	> ۶۰۰-۱۲۰
۱	۱	۰/۹۹	۱	> ۶۰۰	> ۱۲۰۰

برای تعیین فاکتور تعدیل شیب، نیاز است که مقداری را برای نرخ جریان تقاضا فرض کنیم. پس از آن متقابلاً عددی برای فاکتور تعدیل شیب بدست می‌آید. مجدداً این عدد، ممکن است نرخ جریان دیگری را به ما بدهد. بدین معنی که ممکن است ابتدا فرض کنیم که نرخ جریان در دسته A قرار دارد ولی نتیجه بدهد که نرخ جریان در دسته B است. و یا فرض کنیم نرخ جریان در دسته B قرار دارد ولی نتیجه بدهد که نرخ جریان در دسته A است. در این موارد، از روش تکرار برای حل مساله کمک گرفته می‌شود. اگر نتیجه محاسبه برای نرخ جریان، کمتر از مقداری شد که قبلاً برای آن فرض کرده‌ایم، از همان عدد استفاده می‌کنیم.

برای تحلیل دو جهت، از مقادیر نرخ جریان در ستون اول استفاده می‌کنیم. برای آنالیز یک جهت از مقادیر ستون دوم استفاده می‌کنیم.

جدول ۸-۱۴: ضریب تعدیل شیب (f_G) برای سربالایی‌های خاص: تعیین ATS

مقادیر نرخ جریان جهت‌ی (pc/h)			طول شیب (km)	شیب (%)
>۶۰۰	>۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰		
۱	۱	۰/۸۱	۰/۴	$\geq 3 < 3/5$
۱	۱	۰/۷۹	۰/۸	
۱	۱	۰/۷۷	۱/۲	
۱	۱	۰/۷۵	۱/۶	
۱	۰/۹۹	۰/۷۵	۲/۴	
۱	۰/۹۷	۰/۷۵	۳/۲	
۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۷۵	۴/۸	
۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۷۵	$\geq 6/4$	
۱	۱	۰/۷۹	۰/۴	$\geq 3/5 < 4/5$
۱	۱	۰/۷۶	۰/۸	
۱	۱	۰/۷۲	۱/۲	
۱	۰/۹۳	۰/۶۹	۱/۶	
۱	۰/۹۲	۰/۶۸	۲/۴	
۱	۰/۹۱	۰/۶۶	۳/۲	
۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۶۵	۴/۸	
۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۶۵	$\geq 6/4$	

1	•/93	•/60	•/8	$\geq 2/0 < 0/0$
1	•/89	•/60	1/2	
1	•/89	•/09	1/6	
•/99	•/86	•/07	2/2	
•/98	•/80	•/06	3/2	
•/97	•/82	•/06	2/8	
•/93	•/82	•/06	$\geq 7/2$	
1	•/91	•/63	•/2	$\geq 0/0 < 6/0$
•/99	•/80	•/07	•/8	
•/79	•/83	•/02	1/2	
•/97	•/79	•/01	1/6	
•/90	•/78	•/29	2/2	
•/92	•/78	•/28	3/2	
•/93	•/76	•/26	2/8	
•/93	•/76	•/20	$\geq 7/2$	
•/98	•/86	•/09	•/2	$\geq 6/0$
•/92	•/76	•/28	•/8	
•/91	•/72	•/22	1/2	
•/91	•/70	•/21	1/6	
•/91	•/67	•/20	2/2	
•/89	•/67	•/39	3/2	
•/88	•/66	•/39	2/8	
•/87	•/66	•/38	$\geq 7/2$	

جدول ۹-۱۴ : ضریب تعدیل شیب (f_G) برای سربالایی‌های خاص : تعیین PTSF

مقادیر نرخ جریان جهتی (pc/h)			طول شیب (km)	شیب (%)
>۶۰۰	>۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰		
۰/۹۲	۰/۹۲	۱	۰/۴	$\geq 3 < 3.5$
۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۰/۸	
۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۱/۲	
۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۱/۶	
۰/۹۴	۰/۹۴	۱	۲/۴	
۰/۹۵	۰/۹۵	۱	۳/۲	
۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۴/۸	
۰/۹۷	۱	۱	$\geq 6/4$	
۰/۹۲	۰/۹۴	۱	۰/۴	$\geq 3.5 < 4.5$
۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۰/۸	
۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۱/۲	
۰/۹۷	۰/۹۷	۱	۱/۶	
۰/۹۷	۰/۹۷	۱	۲/۴	
۰/۹۸	۰/۹۸	۱	۳/۲	
۱	۱	۱	۴/۸	
۱	۱	۱	$\geq 6/4$	
۰/۹۷	۱	۱	۰/۴	$\geq 4.5 < 5.5$
۱	۱	۱	≥ 0.8	
۱	۱	۱	همه	$\geq 5.5 < 6.5$
۱	۱	۱	همه	≥ 6.5

روش تکرار با مثال زیر روشن تر می شود:

فرض کنید تحلیل دو جهت تحت مطالعه باشد. یک تخمین اولیه برای نرخ جریان تقاضا در دسته «۰-۶۰۰ pc/h» فرض می شود. ولی نتیجه تحلیل، نرخ جریان تقاضا را ۸۵۰ pc/h بدست می دهد که در دسته فرض شده اول قرار ندارد. تکرار بعدی برای حل، با فرض دسته «۰-۱۲۰۰ pc/h» انجام خواهد شد. اگر بعد از این تکرار، مقدار نرخ جریان ۵۵۰ pc/h بدست آمد می پذیریم چرا که از مقدار ماکزیممی که در دسته موردنظر وجود دارد یعنی نرخ جریان ۱۲۰۰ pc/h، کمتر است.

تخمین های متقابل برای نرخ جریان تقاضا معمولاً وقتی اتفاق می افتد که تحلیل، مربوط به مقاطع تپه ماهور باشد چرا که بین فاکتور تعدیل شیب در مقادیر «۰-۶۰۰» و «۶۰۰-۱۲۰۰» تفاوت وجود دارد. چنین حالاتی تقریباً هیچ وقت در تحلیل مقاطع تپه ماهور رخ نمی دهد و بندرت در مقاطع شیب های خاص رخ می دهد.

تعیین فاکتور تعدیل وسایل نقلیه سنگین

فاکتور تعدیل وسایل نقلیه سنگین برای تعیین ATS و PTFS جهت تبدیل به معادل سواری، از فرمول زیر بدست می آید:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (۸-۱۴)$$

که در آن:

f_{HV} = فاکتور تعدیل وسایل نقلیه سنگین

P_T = سهم کامیونها و اتوبوسها در جریان ترافیک

P_R = سهم وسایل تفریحی در جریان ترافیک

E_T = معادل وسیله نقلیه سواری برای کامیونها و اتوبوسها

E_R = معادل وسیله نقلیه سواری برای وسایل نقلیه تفریحی

مانند آنچه که برای جاده‌های چند خطه عنوان شد، وسیله نقلیه معادل سواری تعداد وسایل نقلیه‌ای است که می‌توان جایگزین یک کامیون یا وسیله نقلیه تفریحی کرد که البته بایستی شرایط غالب و متداول مقطعی را در نظر گرفت که مورد تحلیل است.

از آنجا که در تعیین فاکتور تعدیل شیب، مقادیر E_R و E_T بستگی به تخمین اولیه‌ای از نرخ جریان تقاضا دارند بنابراین با یک روال تکراری روبرو هستیم. روشهای تکرار شبیه آن چیزی است که برای فاکتور تعدیل شیب، شرح داده شد. وسیله نقلیه معادل سواری همچنین به پارامتر موثری که می‌خواهیم آن را اندازه بگیریم (یعنی ATS یا PTFS)، و نوع تحلیلی که بکار می‌بریم، بستگی دارد. وسیله نقلیه معادل سواری مطابق زیر از جداول مربوطه استخراج می‌شود:

تحلیل دوجهد برای زمینهایی با عوارض معمولی برای تعیین ATS و PTFS از جدول ۱۰-۱۴

- تحلیل یک جهت برای زمینهایی با عوارض معمولی برای تعیین ATS و PTFS از جدول

۱۰-۱۴

- تحلیل یک جهت در سربالایی‌های خاص برای تعیین ATS ؛ کامیونها از جدول ۱۱-۱۴ و

وسایل نقلیه تفریحی از جدول ۱۲-۱۴

- تحلیل یک جهت در سربالایی‌های خاص برای تعیین PTFS از جدول ۱۳-۱۴

- تحلیل یک جهت برای سراسیمه‌های خاص از جدول ۱۰-۱۴

جدول ۱۴-۱۰: وسیله نقلیه معادل سواری برای زمینهایی با عوارض معمولی: تعیین PTSF و ATS

برای تعیین PTSF		برای تعیین ATS		مقادیر جریان یکطرفه (pc/h)	مقادیر جریان دوطرفه (pc/h)	نوع وسیله نقلیه
منطقه تپه ماهور	منطقه هموار	منطقه تپه ماهور	منطقه هموار			
۱/۸	۱/۱	۲/۵	۱/۷	۰-۳۰۰	۰-۶۰۰	کامیون و اتوبوس
۱/۵	۱/۱	۱/۹	۱/۲	$\geq 300 < 600$	$\geq 600 < 1200$	E_T
۱	۱	۱/۵	۱/۱	≥ 600	≥ 1200	وسایل نقلیه تفریحی
۱	۱	۱/۱	۱	۰-۳۰۰	۰-۶۰۰	E_R
۱	۱	۱/۱	۱	$\geq 300 < 600$	$\geq 600 < 1200$	
۱	۱	۱/۱	۱	≥ 600	≥ 1200	

بعضی از سراسیمگی‌های خاص به قدری شیب‌دار هستند که کامیونها مجبورند برای اینکه کنترل از آنها خارج نشود با دنده سنگین و سرعت خیلی کم (سرعت خزش) حرکت کنند. در چنین مواقعی، اثر کامیونهایی که با سرعت خزش حرکت می‌کنند به جای فرمول ۱۴-۸ از رابطه زیر جهت محاسبه f_{HV} برای تعیین ATS استفاده می‌شود:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{TC} \times P_T (E_{TC} - 1) + (1 - P_{TC}) \times P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (۹-۱۴)$$

که در آن:

P_{TC} = سهم وسایل نقلیه سنگینی است که با سرعت خزش حرکت می‌کنند.

E_{TC} = وسیله نقلیه معادل سواری برای کامیونهایی که با سرعت خزش حرکت می‌کنند از

جدول ۱۴-۴

بقیه متغیرها، همانند قبل هستند.

در استفاده از فرمول ۹-۱۴ دقت شود که P_{TC} سهم کامیونهای موجود در جریان ترافیک نیست، بلکه سهم آن دسته از کامیونهایی است که در سراسیابی با سرعت خزش حرکت می‌کنند. یعنی اگر P_{TC} ، ۰/۵ باشد بدین معنی است که ۵۰٪ کامیونها در سراسیابی با سرعت خزش حرکت می‌کنند. دقت شود که در راههای دو خطه، برای تحلیل قطعه‌هایی که شیب‌های مرکبی دارند از شیب میانگین استفاده می‌شود. تغییر کل ارتفاع (m) تقسیم بر طول قطعه (m)، شیب میانگین برای قطعه موردنظر خواهد بود.

جدول ۱۱-۱۴: وسیله نقلیه معادل سواری کامیونها برای سربالایی‌های خاص: تعیین ATS

مقادیر نرخ جریان جهتی (pc/h)			طول شیب (km)	شیب (%)
>۶۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰		
۱/۵	۱/۹	۲/۵	۰/۴	$\geq 3 < 3/5$
۲/۳	۲/۸	۳/۵	۰/۸	
۲/۹	۳/۹	۴/۵	۱/۲	
۳/۵	۴/۶	۵/۱	۱/۶	
۱/۴	۵/۵	۶/۱	۲/۴	
۴/۷	۵/۹	۷/۱	۳/۲	
۵/۳	۶/۷	۸/۲	۴/۸	
۵/۷	۷/۵	۹/۱	$\geq 6/4$	
۱/۹	۲/۴	۳/۶	۰/۴	$\geq 3/5 < 4/5$
۳/۴	۴/۶	۵/۴	۰/۸	
۴/۶	۶/۶	۶/۴	۱/۲	
۵/۹	۶/۹	۷/۷	۱/۶	
۷/۱	۸/۳	۹/۴	۲/۴	
۸/۱	۹/۶	۱۰/۲	۳/۲	
۸/۹	۱۱	۱۱/۳	۴/۸	
۹/۷	۱۱/۹	۱۲/۳	$\geq 6/4$	

2/6	2/7	2/2	0/2	$\geq 2/0 < 0/0$
0/1	6	6	0/8	
7/0	7/0	7/0	1/2	
8/9	9	9/2	1/6	
10/3	10/0	10/6	2/2	
11/3	11/7	11/8	3/2	
12/2	13/0	13/7	2/8	
12/0	10	10/3	$\geq 6/2$	
3/0	1/4	2/7	0/2	$\geq 0/0 < 6/0$
7/2	7/2	7/2	0/8	
9/1	9/1	9/1	1/2	
10/2	10/3	10/3	1/6	
11/7	11/8	11/9	2/2	
12/6	12/7	12/8	3/2	
12/2	12/3	12/2	2/8	
10	10/2	10/2	6/2	
2/6	2/8	0/1	0/2	$\geq 6/0$
7/8	7/8	7/8	0/8	
9/8	9/8	9/8	1/2	
10/3	10/2	10/2	1/6	
11/8	11/9	12	2/2	
12/7	12/8	12/9	3/2	
12/3	12/2	12/0	2/8	
10/2	10/3	10/2	6/2	

جدول ۱۴-۱۲: وسیله نقلیه معادل سواری وسایل نقلیه تفریحی برای سربالایی‌های خاص: تعیین ATS

مقادیر نرخ جریان جهت‌ی (pc/h)			طول شیب (km)	شیب (%)
>۶۰۰	>۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰		
۱	۱	۱/۱	۰/۴	$\geq 3 < 3.5$
۱	۱	۱/۲	۰/۸	
۱	۱	۱/۲	۱/۲	
۱	۱	۱/۳	۱/۶	
۱	۱	۱/۴	۲/۴	
۱	۱	۱/۴	۳/۲	
۱	۱	۱/۵	۴/۸	
۱	۱	۱/۵	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱/۳	۰/۴-۰/۸	$\geq 3.5 < 4.5$
۱	۱	۱/۴	۱/۶-۴/۸	
۱	۱	۱/۵	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱/۵	۰/۴-۳/۲	$\geq 4.5 < 5.5$
۱	۱	۱/۶	$\geq 4/8$	
۱	۱	۱/۵	۰/۴-۰/۸	$\geq 5.5 < 6.5$
۱	۱	۱/۶	۱/۶-۳/۲	
۱	۱/۲	۱/۶	۴/۸	
۱/۲	۱/۵	۱/۶	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱/۶	۰/۴-۳/۲	≥ 6.5
۱/۳	۰/۳	۱/۶	۴/۸	
۱/۴	۱/۵	۱/۶	$\geq 6/4$	

جدول ۱۴-۱۳: وسیله نقلیه معادل سواری کامیونها و وسایل نقلیه تفریحی در سربالایی‌های

خاص: تعیین PTSF

وسیله نقلیه معادل سواری برای ER و RVS	وسیله نقلیه معادل سواری برای کامیونها ET مقادیر جریان جهتی (pc/h)			طول شیب (km)	شیب (%)
	>۶۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰		
۱	۱	۱	۱	۰/۴-۳/۲	$\geq 3 < 3/5$
۱	۱	۱	۱/۴	۴/۸	
۱	۱	۱	۱/۵	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱	۱	۰/۴-۱/۶	$\geq 3/5 < 4/5$
۱	۱	۱	۱/۱	۲/۴	
۱	۱	۱	۱/۶	۳/۲	
۱	۱/۲	۱/۱	۱/۷	۴/۸	
۱	۱/۴	۱/۵	۲	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱	۱	۰/۴-۱/۶	$\geq 4/5 < 5/5$
۱	۱/۲	۱/۲	۱/۱	۲/۴	
۱	۱/۵	۱/۳	۱/۶	۳/۲	
۱	۱/۷	۱/۹	۲/۳	۴/۸	
۱	۱/۸	۲/۱	۳/۳	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱	۱	۰/۴-۰/۸	$\geq 5/5 < 6/5$
۱	۱/۲	۱/۲	۱	۱/۶	
۱	۱/۶	۱/۶	۱/۵	۲/۴	
۱	۱/۸	۱/۹	۱/۹	۳/۲	
۱	۲	۲/۵	۳/۳	۴/۸	
۱	۲	۳/۱	۴/۳	$\geq 6/4$	
۱	۱	۱	۱	۰/۴-۰/۸	$\geq 6/5$
۱	۱/۳	۱	۱	۱/۲	
۱	۱/۶	۱/۴	۱/۳	۱/۶	
۱	۲	۲	۱/۲	۲/۴	
۱	۲/۱	۲/۵	۲/۸	۳/۲	
۱	۲/۲	۳/۱	۴	۴/۸	
۱	۲/۳	۳/۵	۴/۸	$\geq 6/4$	

جدول ۱۴-۱۴: وسیله نقلیه معادل سواری برای کامیونهای که با سرعت خزش در

سراشیبیهای خاص هستند: تعیین ATS

مقادیر جریان جهتی pc/h			تفاوت سرعت بین FFS و سرعت کامیون (km/h)
>۶۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۰-۳۰۰	
۱/۴	۲/۸	۴/۴	<۲۴
۵/۷	۹/۶	۱۴/۳	۴۰
۱۳	۲۳/۱	۳۴/۱	≥۶۴

جدول ۱۴-۱۵: تعدیل اثر نواحی سبقت ممنوع (f_{np}) روی ATS: قطعات دو طرفه

کاهش سرعت سفر متوسط (f_{np}) بر حسب km/h درصد نواحی سبقت ممنوع در هر قطعه						نرخ جریان تقاضا برای دو طرف (pc/h)
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۰	
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰
۵/۶	۴/۱۶	۳/۸۴	۲/۲۴	۰/۹۶	۰/۰	۲۰۰
۷/۲	۶/۲۴	۵/۶	۴/۳۲	۲/۷۲	۰/۰	۴۰۰
۶/۲۵	۵/۴۵	۴/۸	۳/۸۴	۲/۵۶	۰/۰	۶۰۰
۴/۸	۴/۳۲	۳/۸۴	۳	۲/۲۴	۰/۰	۸۰۰
۴/۱۶	۳/۵۲	۳/۲	۲/۵۶	۱/۷۶	۰/۰	۱۰۰۰
۳/۳۶	۳	۲/۵۶	۱/۵۲	۱/۲۸	۰/۰	۱۲۰۰
۲/۷۲	۲/۲۵	۱/۹۲	۱/۴۴	۰/۹۶	۰/۰	۱۴۰۰
۲/۴	۲/۱	۱/۷۶	۱/۲۸	۰/۹۶	۰/۰	۱۶۰۰
۲/۱	۱/۷۶	۱/۶	۱/۱۲	۰/۸	۰/۰	۱۸۰۰
۱/۷۶	۱/۶	۱/۴۴	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۲۰۰۰
۱/۷۶	۱/۴۲	۱/۴۴	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۲۲۰۰
۱/۷۶	۱/۴۴	۱/۲۸	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۲۴۰۰
۱/۶	۱/۴۴	۱/۲۸	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۲۶۰۰
۱/۴۴	۱/۲۸	۱/۱۲	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۲۸۰۰
۱/۲۸	۱/۱۲	۱/۱۲	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۳۰۰۰
۱/۱۲	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸	۰/۰	۳۲۰۰

جدول ۱۴-۱۶: تعدیل اثر نواحی سبقت ممنوع (f_{np}) روی ATS در قطعات یک جهته

درصد نواحی سبقت ممنوع					نرخ جریان تقاضای جهت مخالف v_0 (pc/h)
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	≤۲۰	
FFS = 110 km/h					
۵	۴/۸	۴/۵	۳/۵	۱/۷	≤۱۰۰
۶/۸	۶/۵	۶/۲	۵/۳	۳/۵	۲۰۰
۴/۷	۴/۵	۴/۴	۳/۷	۲/۶	۴۰۰
۳/۳	۳/۱	۲/۸	۲/۴	۲/۲	۶۰۰
۲/۴	۲/۲	۲	۱/۶	۱/۱	۸۰۰
۱/۹	۱/۸	۱/۷	۱/۳	۱	۱۰۰۰
۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۳	۰/۹	۱۲۰۰
۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۰/۹	۱۴۰۰
۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۱	۰/۹	≥۱۶۰۰
FFS = 100 km/h					
۴/۷	۴/۵	۴	۲/۷	۱/۲	≤۱۰۰
۶/۷	۶/۴	۵/۹	۴/۶	۳	۲۰۰
۴/۶	۴/۴	۴/۱	۳/۳	۲/۳	۴۰۰
۳/۲	۳	۲/۶	۲/۱	۱/۸	۶۰۰
۲/۳	۲/۱	۱/۸	۱/۴	۰/۹	۸۰۰
۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۱	۰/۹	۱۰۰۰
۱/۷	۱/۵	۱/۴	۱/۱	۰/۸	۱۲۰۰
۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱	۰/۸	۱۴۰۰
۱/۲	۱/۱	۱/۱	۱	۰/۸	≥۱۶۰۰
FFS = 90 km/h					
۴/۴	۴/۲	۳/۶	۱/۹	۰/۸	≤۱۰۰
۶/۶	۶/۳	۵/۶	۳/۹	۲/۴	۲۰۰
۴/۵	۴/۳	۳/۸	۳	۲/۱	۴۰۰
۳/۱	۲/۹	۲/۵	۱/۸	۱/۴	۶۰۰
۲/۲	۲	۱/۷	۱/۱	۰/۸	۸۰۰
۱/۸	۱/۵	۱/۳	۰/۹	۰/۸	۱۰۰۰
۱/۶	۱/۴	۱/۲	۰/۹	۰/۸	۱۲۰۰
۱/۴	۱/۲	۱/۱	۰/۹	۰/۸	۱۴۰۰
۱/۱	۰/۹	۱/۹	۰/۸	۰/۸	≥۱۶۰۰

FFS = 80km/h					
۴/۱	۳/۹	۳/۱	۱/۱	۰/۳	≤۱۰۰
۶/۵	۶/۲	۵/۳	۳/۲	۱/۹	۲۰۰
۴/۴	۴/۲	۳/۵	۲/۶	۱/۸	۴۰۰
۳	۲/۸	۲/۳	۱/۵	۱	۶۰۰
۲/۱	۱/۹	۱/۵	۰/۹	۰/۶	۸۰۰
۱/۸	۱/۴	۱/۱	۰/۷	۰/۶	۱۰۰۰
۱/۶	۱/۳	۱/۱	۰/۷	۰/۶	۱۲۰۰
۱/۳	۱/۱	۱	۰/۷	۰/۶	۱۴۰۰
۱	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۶	≥۱۶۰۰
FFS = 70 km/h					
۳/۸	۳/۶	۲/۷	۰/۶	۱	≤۱۰۰
۶/۴	۶/۱	۵	۲/۶	۱/۵	۲۰۰
۴/۳	۴/۱	۳/۲	۰/۸	۱/۵	۴۰۰
۲/۹	۲/۷	۲/۱	۰/۵	۰/۷	۶۰۰
۲	۱/۸	۱/۳	۰/۵	۰/۵	۸۰۰
۱/۸	۱/۳	۱	۰/۵	۰/۵	۱۰۰۰
۱/۶	۱/۲	۱	۰/۵	۰/۵	۱۲۰۰
۱/۲	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۱۴۰۰
۰/۹	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۵	≥۱۶۰۰

۱۴-۴-۶- تخمین سرعت جریان آزاد

با استفاده از نرخ جریان تقاضا که قبلاً محاسبه شد، متوسط سرعت سفر توسط معادلات ۱۴-۱۰ و ۱۴-۱۱ تخمین زده می‌شود. تحلیل دو جهت با معادله ۱۴-۱۰ و تحلیل یک جهت با معادله ۱۴-۱۱ انجام می‌گیرد.

$$ATS = FFS - 0.0125v - f_{np} \quad (۱۴-۱۰)$$

$$ATS_d = FFS_d - 0.0125(v_d + v_o) - f_{np} \quad (۱۴-۱۱)$$

که در آن:

ATS = متوسط سرعت سفر، هر دو جهت، km/h

ATS_d = متوسط سرعت سفر در جهت مورد تحلیل، km/h

FFS = سرعت جریان آزاد، هر دو جهت، km/h

FFS_d = سرعت جریان آزاد در یک جهت، km/h

v = نرخ جریان تقاضا، هر دو جهت، pc/h

v_d = نرخ جریان تقاضا، در جهت مورد تحلیل، pc/h

v_o = نرخ جریان تقاضا در جهت مقابل مورد تحلیل، pc/h

f_{np} = تعدیل برای نواحی «سبقت ممنوع» در قطعه مورد مطالعه

مقادیر فاکتور تعدیل f_{np} برای تحلیل دو جهت در جدول ۱۴-۱۵ و برای تحلیل یک جهت در جدول ۱۴-۱۶ آمده است. تعدیل بر پایه نرخ جریان و درصدی از قطعه که سبقت ممنوع است، محاسبه می‌شود. در تحلیل یک جهت، سرعت جریان آزاد هم دخیل است.

جدول ۱۴-۱۷: تعدیل ($f_{d|np}$) برای ترکیب اثر توزیع دو جهت جریان و نواحی سبقت

ممنوع روی PTSF در قطعات دو جهته

افزایش درصد زمان دنباله روی						نرخ جریان دو طرف (pc/h)
درصد نواحی سبقت ممنوع						
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۰	
تفکیک جهتی ترافیک=۵۰/۵۰						
۲۱/۸	۲۱	۲۰/۲	۱۷/۲	۱۰/۱	۰/۰	≤۲۰۰
۲۴/۸	۲۳/۸	۲۲/۷	۱۹	۱۲/۴	۰/۰	۴۰۰
۲۰/۵	۱۹/۷	۱۸/۷	۱۶	۱۱/۲	۰/۰	۶۰۰
۱۵/۴	۱۴/۵	۱۴/۱	۱۲/۳	۹	۰/۰	۸۰۰
۷/۹	۷/۳	۶/۷	۵/۵	۳/۶	۰/۰	۱۴۰۰
۴/۴	۴/۱	۳/۷	۲/۹	۱/۸	۰/۰	۲۰۰۰
۲/۴	۲/۳	۲	۱/۶	۱/۱	۰/۰	۲۶۰۰
۱/۴	۱/۲	۱/۱	۰/۹	۰/۷	۰/۰	۳۲۰۰
تفکیک جهتی ترافیک=۴۰/۶۰						
۲۳/۷	۲۳/۱	۲۲/۵	۱۷/۲	۱۱/۸	۱/۶	≤۲۰۰
۲۲/۲	۲۱/۵	۲۰/۷	۱۶/۲	۱۱/۷	۰/۵	۴۰۰
۲۰/۷	۱۹/۸	۱۸/۹	۱۵/۲	۱۱/۵	۰/۰	۶۰۰
۱۴/۴	۱۳/۷	۱۳	۱۰/۳	۷/۶	۰/۰	۸۰۰
۸/۱	۷/۶	۷/۱	۵/۴	۳/۷	۰/۰	۱۴۰۰
۴/۳	۴	۳/۶	۳/۴	۲/۳	۰/۰	۲۰۰۰
۲/۲	۲/۱	۱/۹	۱/۴	۰/۹	۰/۰	≥۲۶۰۰

تفکیک جهت‌ی ترافیک=۳۰/۷۰						
۲۵/۵	۲۵/۲	۲۴/۸	۱۹/۱	۱۳/۴	۲/۸	≤ 200
۲۳/۲	۲۲/۶	۲۲	۱۷/۳	۱۲/۵	۱/۱	۴۰۰
۲۰/۹	۲۰	۱۹/۱	۱۵/۴	۱۱/۶	۰/۰	۶۰۰
۱۴/۷	۱۴	۱۳/۳	۱۰/۵	۷/۷	۰/۰	۸۰۰
۸/۳	۷/۹	۷/۴	۵/۶	۳/۸	۰/۰	۱۴۰۰
۴/۲	۳/۹	۳/۵	۴/۹	۱/۴	۰/۰	≥ 2000
تفکیک جهت‌ی ترافیک=۲۰/۸۰						
۳۱/۶	۳۱/۳	۳۱	۲۴/۳	۱۷/۵	۵/۱	≤ 200
۲۸	۲۷/۶	۲۷/۱	۲۱/۵	۱۵/۸	۲/۵	۴۰۰
۲۴/۵	۲۳/۹	۲۳/۲	۱۸/۶	۱۴	۰/۰	۶۰۰
۱۷	۱۶/۵	۱۶	۱۲/۷	۹/۳	۰/۰	۸۰۰
۹/۵	۹/۱	۸/۷	۶/۷	۴/۶	۰/۰	۱۴۰۰
۴/۹	۴/۷	۴/۵	۳/۴	۲/۴	۰/۰	≥ 2000
تفکیک جهت‌ی ترافیک=۱۰/۹۰						
۳۷/۶	۳۷/۴	۳۷/۲	۲۹/۴	۲۱/۶	۵/۶	≤ 200
۳۲/۸	۳۲/۵	۳۲/۲	۲۵/۶	۱۹	۲/۴	۴۰۰
۲۸	۲۷/۶	۲۷/۲	۲۱/۸	۱۶/۳	۰/۰	۶۰۰
۱۹/۴	۱۹	۱۸/۶	۱۴/۸	۱۰/۹	۰/۰	۸۰۰
۱۰/۷	۱۰/۴	۱۰	۷/۸	۵/۵	۰/۰	≥ 1400

جدول ۱۴-۱۸: تعدیل $PTSF(f_{np})$ برای درصد نواحی سبقت ممنوع در قطعات یک جهته

درصد نواحی سبقت ممنوع (%)					نرخ جریان تقاضای جهت مخالف V_0 (pc/h)
۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	≤ 20	
FFS=۱۰۴Km/h					
۲۱/۸	۲۱	۲۰/۲	۱۷/۲	۱۰/۱	≤ 100
۲۴/۸	۲۳/۸	۲۲/۷	۱۹	۱۲/۴	۲۰۰
۱۵/۴	۱۴/۴	۱۴/۱	۱۲/۳	۹	۴۰۰
۱۰/۴	۹/۷	۹/۲	۷/۷	۵/۳	۶۰۰
۶/۷	۶/۲	۵/۷	۴/۶	۳	۸۰۰
۴/۴	۴/۱	۳/۷	۲/۹	۱/۸	۱۰۰۰
۳/۱	۲/۹	۲/۶	۲	۱/۳	۱۲۰۰
۲/۱	۱/۹	۱/۷	۱/۴	۰/۹	۱۴۰۰
۱/۴	۱/۲	۰/۹	۰/۹	۰/۷	≥ 1600

FFS=99Km/h					
26/6	22/8	20/9	18/9	8/8	≤100
29/7	26/2	28/1	18/2	11/0	200
18/1	10/9	18/8	12/1	8/6	800
12/1	10/6	9/6	7/0	0/1	600
7/7	6/7	0/9	8/0	2/8	800
8/9	8/3	3/7	2/8	1/6	1000
3/8	3	2/6	1/9	1/2	1200
2/3	2	1/7	1/3	0/8	1800
1/0	1/2	1/1	0/9	0/6	≥1600
FFS=88Km/h					
31/3	28/0	21/7	12/7	6/7	≤100
38/7	28/6	20/8	17/0	10/0	200
20/7	17/0	10/0	11/8	8/3	800
13/9	11/0	10	7/3	8/9	600
8/8	7/2	6/1	8/3	2/7	800
0/8	8/0	3/8	2/7	1/0	1000
3/8	3/1	2/6	1/8	1	1200
2/8	2	1/7	1/2	0/7	1800
1/0	1/3	1/2	0/9	0/6	≥1600
FFS=80Km/h					
36/1	26/3	22/2	10/8	0	≤100
39/6	31	26/8	16/7	9/6	200
23/8	19	16/2	11/6	7/9	800
10/6	12/8	10/8	7/1	8/7	600
9/8	7/7	6/3	8/2	2/0	800
0/9	8/7	3/8	2/6	1/3	1000
8/1	3/2	2/6	1/7	0/9	1200
2/6	2/1	1/7	1/1	0/6	1800
1/6	1/3	1/2	0/9	0/0	≥1600

FFS=۷۲Km/h					
۴۱/۶	۲۸/۲	۲۳/۲	۸/۵	۳/۷	≤۱۰۰
۴۵/۲	۳۳/۶	۲۸/۲	۱۶	۸/۷	۲۰۰
۲۶/۴	۲۰/۷	۱۶/۹	۱۱/۴	۷/۵	۴۰۰
۱۷/۶	۱۳/۴	۱۰/۸	۶/۹	۴/۵	۶۰۰
۱۱	۸/۲	۶/۵	۴/۱	۲/۳	۸۰۰
۶/۴	۴/۹	۳/۸	۲/۵	۱/۲	۱۰۰۰
۴/۵	۳/۳	۲/۶	۱/۶	۰/۸	۱۲۰۰
۲/۸	۲/۲	۱/۷	۱	۰/۵	۱۴۰۰
۱/۷	۱/۳	۱/۲	۰/۹	۰/۴	≥۱۶۰۰

۱۴-۴-۷- تعیین درصد زمان دنباله روی

درصد زمانی دنباله روی PTSF، برای تحلیل دو جهت از فرمول ۱۴-۱۲ و برای تحلیل یک جهت از فرمول ۱۴-۱۳ بدست می آید.

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} \quad (12-14)$$

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v})$$

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (13-14)$$

$$BPTSF_d = 100(1 - e^{av_d^b})$$

که در آن:

$PTSF$ = درصد زمانی دنباله روی ، دو جهت ، %

$PTSF_d$ = درصد زمانی دنباله روی ، یک جهت ، %

$BPTSF$ = درصد زمانی دنباله روی پایه، دو جهت ، %

v = نرخ جریان تقاضا، pc/h ، هر دو جهت

v_d = نرخ جریان تقاضا در جهت مورد تحلیل، pc/h

$f_{d/np}$ = تعدیل $PTSF$ برای اثر متقابل توزیع هر دو جهت و درصد نواحی «سبقت ممنوع» در

تحلیل قطعه‌های دو طرفه، %

f_{np} = تعدیل $PTSF$ برای اثر نواحی «سبقت ممنوع» در تحلیل یک جهت، %

a و b = ضرایب ثابت بر پایه نرخ جریان جهت مخالف در تحلیل های یک جهت

فاکتور تعدیل $f_{d/np}$ از جدول ۱۴-۱۷ و فاکتور تعدیل f_{np} از جدول ۱۴-۱۸ استخراج می شود. ضرایب a و b در جدول ۱۴-۱۹ هستند.

جدول ۱۴-۱۹: ضرایب ثابت « a و b » برای استفاده در فرمول ۱۴-۱۳

ضریب b	ضریب a	نرخ جریان تقاضای جهت مخالف pc/h
۰/۶۶۸	-۰/۰۱۳	≤ 200
۰/۴۷۹	-۰/۰۵۷	۴۰۰
۰/۴۱۳	-۰/۱۰۰	۶۰۰
۰/۳۴۹	-۰/۱۷۳	۸۰۰
۰/۲۷۶	-۰/۳۲۰	۱۰۰۰
۰/۲۴۲	-۰/۴۳۰	۱۲۰۰
۰/۲۲۵	-۰/۵۲۲	۱۴۰۰
۰/۱۹۹	-۰/۶۶۵	≥ 1600

مثال ۱۴-۱: تحلیل راه دو خطه در زمینهایی با عوارض معمولی

یک راه دو خطه کلاس I در منطقه ای تپه ماهور با حجم تقاضای اوج ۵۰۰ veh/h و با ۱۵٪ کامیون و ۵٪ وسیله نقلیه تفریحی، مفروض است. این راه، یک رابط مهم به منطقه ای تفریحی است. در طول دوره های اوج، تفکیک جهتی ترافیک ۶۰/۴۰ می باشد و ضریب ساعت اوج ۰/۸۸ است. مقطع مورد مطالعه، ۲۴ km می باشد که ۴۰٪ آن نواحی «سبقت ممنوع» هستند. سرعت جریان آزاد پایه، ۹۶ km/h داده شده است. پهنای باند حرکت ۳/۶ m و شانه ها ۰/۶ m هستند. ۶/۲۵ نقطه دسترسی در هر کیلومتر در طول این مقطع ۴/۸ کیلومتری وجود دارند.

حل:

گام ۱: تخمین سرعت جریان آزاد

سرعت جریان آزاد (FFS) بر اساس BFFS، f_{LS} (جدول ۵-۱۴) و f_A (جدول ۶-۱۴) تخمین زده می‌شود. پس:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$FFS = 96 - 4/16 - 4 = 87/84$$

که $f_{LS} = 4/16$ (برای باند حرکت ۳/۶m و شانه‌های ۰/۶m)

$f_A = 4$ (برای ۶/۲۵ نقطه دسترسی در هر کیلومتر)

گام ۲: تخمین نرخ جریان تقاضا برای تعیین ATS و PTSF

نرخ جریان تقاضا با معادله زیر بدست می‌آید:

$$v = \frac{V}{PHF \times f_G \times f_{HV}} \quad f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

که در آن:

$PHF = 0/88$ (داده شده)

$V = 500$ vph (داده شده)

$P_R = 0/05$ (داده شده)

$P_T = 0/15$ (داده شده)

بقیه مقادیر بایستی از جداول تعدیل مربوطه انتخاب شوند. برای ادامه حل به روش تکرار، تخمین اولیه‌ای از v نیاز است. می‌توان نوشت $v = 500 / 0/88 = 568$ veh/h. از آنجایی که این مقدار به عدد 600 veh/h در جداول ۷-۱۴ و ۱۰-۱۴ نزدیک است می‌توان فرض کرد که مقدار نهایی v در دسته $600-1200$ pc/h قرار گیرد. همه فاکتورهای تعدیل بر طبق همین انتخاب، انجام می‌گیرند. دو مقدار برای v تخمین زده می‌شوند. یکی برای تعیین ATS و دیگری برای تعیین PTSF.

برای تعیین متوسط سرعت سفر (ATS):

$f_G = 0/93$ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)

$E_T = 1/9$ (جدول ۱۰-۱۴، منطقه تپه ماهور)

$E_R = 1/1$ (جدول ۱۰-۱۴، منطقه تپه ماهور)

پس:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(1.9 - 1) + 0.05(1.1 - 1)} = 0.877$$

$$v = \frac{500}{0.88 \times 0.93 \times 0.877} = 697 \text{ pc/h}$$

چون عدد فوق در محدوده فرض شده ۶۰۰-۱۲۰۰ pc/h قرار دارد، این جواب کامل است.

برای تعیین درصد زمان دنباله روی (PTSF):

$$F_G = 0.94 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_T = 1/5 \text{ (جدول ۱۰-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_R = 1 \text{ (جدول ۱۰-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

پس:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(1.5 - 1) + 0.05(1 - 1)} = 0.93$$

$$v = \frac{500}{0.88 \times 0.94 \times 0.93} = 650 \text{ pc/h}$$

این مقدار هم در محدوده فرض شده ۶۰۰-۱۲۰۰ pc/h قرار دارد. پس محاسبه کامل است.

گام ۳: تعیین ATS

در تخمین متوسط سرعت سفر (ATS) از سرعت جریان آزاد (۸۷/۸۴ km/h)، مقدار محاسبه

شده برای v (۶۹۷ pc/h) و فاکتور تعدیل برای نواحی سبقت ممنوع استفاده می شود. از جدول ۱۴-

۱۵ برای ۴۰٪ ناحیه سبقت ممنوع و جریان تقاضای ۶۹۷ pc/h (که تقریباً می توان ۷۰۰ pc/h فرض

کرد)، مقدار ۳/۴۴ km/h برای f_{np} بدست می آید.

پس:

$$ATS = FFS - 0.0125 v - f_{np} = 87.84 - 0.0125 (697) - 3/44 = 75.745$$

که می توان گفت:

$$ATS = 75.74$$

گام ۴: تعیین PTSF

در تخمین درصد زمانی دنباله‌روی (PTSF) از مقدار محاسبه شده برای v (۶۵۰ pc/h) و فاکتور تعدیل برای توزیع جهتی و نواحی «سبقت ممنوع» $f_{d/np}$ استفاده می‌شود. از جدول ۱۴-۱۷ برای نواحی «سبقت ممنوع» ۴۰٪، تفکیک جهتی ترافیک ۶۰/۴۰ و نرخ تقاضای ۶۵۰ pc/h، این تعدیل، ۱۴٪ بدست می‌آید. پس:

$$PTSF = 100(1 - e^{-0/000879v}) + f_{d/np} = 100(1 - e^{-0/000879 \times 650}) + 14 = 57.5\%$$

گام ۵: تعیین سطح سرویس

از جدول ۱۴-۴ بر اساس $ATS = 75/6 \text{ km/h}$ ، سطح سرویس C بدست می‌آید و بر اساس $PTSF = 75/5\%$ هم سطح سرویس C بدست می‌آید. بنابراین سطح سرویس غالب و متداول همان C می‌باشد.

مثال ۱۴-۲: یک تحلیل جهتی در زمینهای با عوارض معمولی

مساله نمونه قبل را برای هر یک از جهات جریان، تحلیل کنید.

حل:

بایستی برای هر جهت حرکت، تحلیل جداگانه‌ای صورت گیرد. چون تفکیک جهتی جریان، ۶۰/۴۰ است و مقدار تقاضا، ۵۰۰ veh/h می‌باشد پس:

$$V_1 = 500 \times 0.6 = 300 \text{ veh/h} \quad V_2 = 500 \times 0.4 = 200 \text{ veh/h}$$

هر یک از مقادیر فوق باید به نرخ جریان وسیله نقلیه معادل سواری، تبدیل شوند. بقیه اطلاعات، مثل قبل است و سرعت جریان آزاد هم ۸۷/۸۴ km/h.

گام ۱: اندازه‌گیری نرخ جریان تقاضا برای تعیین ATS و PTFS

چهار تا نرخ جریان تقاضا محاسبه خواهد شد. دوتا برای هر جهت و دوتا هم برای جهت‌های مخالف که به صورت جداگانه برای ATS و PTFS تعیین خواهند شد. روال حل می‌تواند به صورت تکرار باشد. انتخاب اولیه برای فاکتورهای تعدیل بر اساس مقادیر زیر صورت می‌گیرد:

$$V_1 = 300 / 0.88 = 341 \text{ veh/h} \quad V_2 = 200 / 0.88 = 227 \text{ veh/h}$$

V_1 در محدوده ۳۰۰-۶۰۰ veh/h و V_2 در محدوده ۰-۳۰۰ veh/h قرار دارد. تعدیل‌ها مطابق زیر انتخاب می‌شوند:

برای حجم جهتی، V_1 :

$$f_G(ATS) = 0.93 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_T(ATS) = 1/9 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_R(ATS) = 1/1 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$f_G(PTSF) = 0.94 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_T(PTSF) = 1/5 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_R(PTSF) = 1 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

پس:

$$f_{HV}(ATS) = \frac{1}{1 + 0.15(1.9 - 1) + 0.05(1.1 - 1)} = 0.877$$

$$v_1(ATS) = \frac{300}{0.88 \times 0.93 \times 0.877} = 418 pc/h$$

$$f_{HV}(PTSF) = \frac{1}{1 + 0.15(1/5 - 1) + 0.05(1 - 1)} = 0.93$$

$$v_1(PTSF) = \frac{300}{0.88 \times 0.94 \times 0.93} = 390 pc/h$$

هر دو مقدار، در محدوده فرض شده قبلی (۳۰۰-۶۰۰ pc/h) قرار گرفتند که نیازی به تکرار مجدد نداریم.

برای حجم جهتی V_2 :

$$f_G(ATS) = 0.71 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_T(ATS) = 2/5 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_R(ATS) = 1/1 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$f_G(PTSF) = 0.77 \text{ (جدول ۷-۱۴، منطقه تپه ماهور)}$$

$$E_T(PTSF) = 1/8 \quad (\text{جدول ۱۴-۱۰، منطقه تپه ماهور})$$

$$E_R(PTSF) = 1 \quad (\text{جدول ۱۴-۱۰، منطقه تپه ماهور})$$

پس:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(2.5 - 1) + 0.05(1.1 - 1)} = 0.813$$

$$v_2(ATS) = \frac{200}{0.88 \times 0.71 \times 0.813} = 394 \text{ pc/h}$$

$$f_{HV}(PTSF) = \frac{1}{1 + 0.15(1.8 - 1) + 0.05(1 - 1)} = 0.893$$

$$v_2(PTSF) = \frac{200}{0.88 \times 0.77 \times 0.893} = 331 \text{ pc/h}$$

هر دو مقدار بدست آمده، خارج از محدوده فرض شده ($0-300 \text{ pc/h}$) قرار گرفتند. بنابراین به تکرار احتیاج است. محدوده $300-600 \text{ pc/h}$ را به عنوان محدوده پایه در نظر می گیریم. فاکتورهایی که برای V_1 بدست آمدند همان مقادیر قبلی خواهند بود.

پس:

$$v_2(ATS) = \frac{200}{0.88 \times 0.93 \times 0.877} = 297 \text{ pc/h}$$

$$v_2(PTSF) = \frac{200}{0.88 \times 0.94 \times 0.93} = 260 \text{ pc/h}$$

مقادیر فوق هم خارج از محدوده فرض شده ($300-600 \text{ pc/h}$) قرار گرفتند. بنابراین وقتی که محدوده $0-300 \text{ pc/h}$ فرض شد، نتایج حاصله، بیشتر از آن شدند و وقتی محدوده بالاتری در نظر گرفته شد، نتایج حاصله، کمتر از آن بدست آمدند. در چنین مواردی روال تکرار به این صورت است که اگر مقدار محاسبه شده برای v ، کمتر از محدوده بالایی قرار گرفت که f_G ، E_T و E_R بر مبنای آن تعیین شده‌اند، همان مقدار محاسبه شده برای v را مورد استفاده قرار می دهیم. [صفحه ۹-۲۰ و HCM ۲۰۰۰] از آنجا که نتایج حاصله کمتر از 600 pc/h (بالاتر از حد محدوده فرض شده)، هستند، آنها را مورد استفاده قرار می دهیم.

گام ۲: تعیین مقادیر ATS برای هر جهت

این مقادیر با رابطه زیر تخمین زده می شوند:

$$ATS_d = FFS_d - 0.0125(v_d + v_o) - f_{np}$$

که در آن :

$$87/84 \text{ km/h} = FFS_d \text{ (جهت های ۱ و ۲، قبلاً محاسبه شده است)}$$

$$418 \text{ pc/h} = v_1(ATS) \text{ (قبلاً محاسبه شده است)}$$

$$279 \text{ pc/h} = v_2(ATS) \text{ (قبلاً محاسبه شده است)}$$

$$3/52 \text{ km/h} = f_{np1} \text{ (جدول ۱۴-۱۶، } FFS = 88 \text{ km/h، } v_o = 279 \text{ pc/h، } 40\% \text{ نواحی سبقت)}$$

ممنوع، درون یابی شده)

$$2/93 \text{ km/h} = f_{np2} \text{ (جدول ۱۴-۱۶، } FFS = 88 \text{ km/h، } v_o = 418 \text{ pc/h، } 40\% \text{ نواحی سبقت)}$$

ممنوع، درون یابی شده)

پس:

$$ATS_1 = 87.84 - 0.0125(418 + 279) - 3.52 = 75.68 \text{ km/h}$$

$$ATS_2 = 87.84 - 0.0125(279 + 418) - 2.93 = 76.32 \text{ km/h}$$

گام ۳: تعیین مقادیر PTSF برای هر یک از جهات

این مقادیر طبق روابط زیر تعیین می شوند:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad BPTSF_d = 100(1 - e^{-av_d^d})$$

که در آن:

$$390 \text{ pc/h} = v_1 \text{ (قبلاً محاسبه شده است)}$$

$$260 \text{ pc/h} = v_2 \text{ (قبلاً محاسبه شده است)}$$

$$a_1 = 0.26 - \text{(جدول ۱۴-۱۹، } v_0 = 260 \text{ pc/h، درون یابی شده)}$$

$$a_2 = 0.55 - \text{(جدول ۱۴-۱۹، } v_0 = 390 \text{ pc/h، درون یابی شده)}$$

$$b_1 = 0.611 - \text{(جدول ۱۴-۱۹، } v_0 = 260 \text{ pc/h، درون یابی شده)}$$

$$b_2 = 0.488 - \text{(جدول ۱۴-۱۹، } v_0 = 390 \text{ pc/h، درون یابی شده)}$$

$$15/8 = f_{np1} \text{ (جدول ۱۴-۱۸، } FFS = 88 \text{ km/h، } 40\% \text{ نواحی سبقت ممنوع، } v_0 = 260 \text{ pc/h)}$$

$$f_{np2} = 12/1 \text{ (جدول ۱۴-۱۸)}, FFS = 88 \text{ km/h}, 40\% \text{ نواحی سبقت ممنوع}, v_0 = 390 \text{ pc/h}$$

پس:

$$BPTSF_1 = 100(1 - e^{-0.026 \times 390^{0.611}}) = 63.1\%$$

$$BPTSF_2 = 100(1 - e^{-0.055 \times 260^{0.488}}) = 56.4\%$$

$$PTSF_1 = 63.1 + 15.8 = 78.9\%$$

$$PTSF_2 = 56.4 + 12.1 = 68.5\%$$

گام ۴: تعیین سطح سرویس هر جهت

بر اساس جدول ۱۴-۴، در جهت ۱ چون $ATS = 75/7 \text{ km/s}$ ، سطح سرویس C حاصل می‌شود و چون $PTSF = 78/9\%$ است، سطح سرویس D را می‌دهد. بنابراین مقدار دومی یعنی سطح سرویس D، کنترل کننده خواهد بود. برای جهت ۲، $ATS = 76/32 \text{ km/h}$ که سطح سرویس C را می‌دهد و $PTSF = 68/5\%$ که سطح سرویس D را می‌دهد. در اینجا هم سطح سرویس D کنترل کننده خواهد بود.

جدول ۱۴-۲۰- مقایسه مثالهای ۱-۱۴ و ۲-۱۴

LOS	PTSF (%)	ATS (km/h)	قطعه مورد تحلیل
C	57/5	75/7	هر دو جهت
D	78/9	75/7	جهت ۱
D	68/5	76/32	جهت ۲

بحث راجع به مثالهای ۱-۱۴ و ۲-۱۴

نتایج حاصل از مثالهای ۱ و ۲ که در مورد یک قطعه خاص از تسهیلات یکسانی صورت گرفته بود، در متدولوژی‌های تحلیل HCM۲۰۰۰، برخی موارد غیر متعارف و خلاف قاعده را آشکار می‌کند. جدول ۲۰-۱۴ خلاصه نتایج تحلیل‌ها را نشان می‌دهد.

بدترین موارد تناقض، در نتایج PTSF، مشاهده می‌شود. در حالی که نتایج تحلیل هر جهت به صورت جداگانه مقادیر بالایی را برای PTSF ($0.78/9\%$ و $0.67/5\%$) ارائه می‌دهد، اما نتیجه تحلیل ترکیب هر دو جهت، مقدار $0.57/5\%$ را برای PTSF حاصل می‌کند. نتیجه منطقی این بود که مقدار PTSF برای ترکیب دو جهت، تقریباً برابر میانگین برای هر دو جهت (به صورت جداگانه) می‌بود. هم مشابه همین دلیل، تقریباً غیر منطقی است اما شدت آن به مراتب کمتر است. نتایج سطح سرویس‌ها هم غیر منطقی هستند. در حالیکه سطح سرویس تسهیلات در وضعیت C قرار دارد، چگونه ممکن است وقتی هر دو جهت را جداگانه تحت مطالعه قرار می‌دهیم، در سطح سرویس D عمل کند، به خصوص وقتی که معیارهایی که برای تعیین سطح سرویس بکار گرفته شده است در هر دو مورد مشابه هم هستند و از جدول ۱۴-۴ استخراج شده‌اند.

این ناهماهنگی‌ها مربوط به اعضاء کمیته سطح سرویس و ظرفیت بزرگراهها است که در موسسه TRB فعال هستند ولی در حال حاضر این موضوع بعد از بهار ۲۰۰۱ تحت بازبینی است. متدولوژی تحلیل جهتی برای شیب‌های خاص توسعه داده شده است و اخیراً با تحلیل قطعاتی که در زمینهای با عوارض معمولی هستند، وفق داده شده است. احتمالاً روال تحلیل دو طرف در قطعاتی که با عوارض معمولی هستند، نتایجی قابل اعتمادتر خواهند داد.

مثال ۱۴-۳: تحلیل یک جهت در شیب خاص

یک راه دو خطه کلاس II به طول $3/2\text{km}$ و با شیب 4% اتصال دهنده به منطقه‌ای تفریحی است. تقاضای اوج در شیب 250 veh/h و تفکیک جهتی جریان $70/30$ و $PHF = 0/82$ می‌باشد. 20% تقاضا را کامیونها تشکیل می‌دهند. در طول شیب 100% آن ناحیه «سبقت ممنوع» است. سرعت جریان آزاد در این تسهیلات، 72km/h است. راه در چه سطح سرویس کار می‌کند؟ فرض کنید که 70% ترافیک در سربالایی است؟

حل:

در این مورد بایستی سربالایی و سراشیبی هر دو تحلیل شوند. از آنجا که این مورد یکی از تسهیلات کلاس II است، تنها پارامتری که باید تخمین زده شود و درصد زمان دنباله روی یا

PTSF است. لازم است که حجم تقاضا به حجم سربالایی تقسیم شود، $175 \text{ veh/h} = 0.7 \times$
 $(250) V_u$ ، و برای سراسیمی، $(75 \text{ veh/h} = 0.3 \times 250) V_d$. تحلیل سربالایی و سراسیمی همان
 تحلیل حجم‌های جهتی و جهت مقابل آن می‌باشد.

گام ۱: تعیین نرخ جریان تقاضا

جریان تقاضای وسیله نقلیه معادل سواری طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{PHF \times f_G \times f_{HV}}$$

جدول ۱۴-۲۱ مقادیر انتخابی f_G ، E_T و E_R را برای تعیین PTSF نشان می‌دهد. دقت شود
 که برای سراسیمی، مقدار مناسبی برای E_{TC} جهت استفاده در معادله ۱۴-۹ انتخاب گردد. آنها
 تریلرهای هستند که در سراسیمی با سرعت خزش حرکت می‌کنند.

جدول ۱۴-۲۱: ضرایب استفاده شده در تعیین PTSF برای مثال ۱۴-۴

جهت	f_G	E_T	E_R
سربالایی	۱	۱/۶	۱
سراسیمی	۱	۱/۱	۱

پس:

$$f_{HV}(up) = \frac{1}{1 + 0.2(1.6 - 1) + 0 \times (1 - 1)} = 0.893$$

$$f_{HV}(down) = \frac{1}{1 + 0.2(1.1 - 1) + 0 \times (1 - 1)} = 0.98$$

$$v_u = \frac{175}{0.82 \times 1 \times 0.893} = 239 \text{ pc/h}$$

$$v_d = \frac{75}{0.82 \times 1 \times 0.98} = 93 \text{ pc/h}$$

چون هر دو مقدار بدست آمده در محدوده فرض شده $0-300 \text{ pc/h}$ قرار دارند، لذا نیاز به

تکرار برای حل مساله نیست.

گام ۲: تخمین PTSF برای سربالایی و سراشیبی خاص

درصد زمان دنباله‌روی طبق روابط زیر تخمین زده می‌شود:

$$PTSF_d = BPTSF + f_{np} \quad BPTSF_d = 100(1 - e^{-av_d^d})$$

که در آن:

f_{np} (سربالایی) = $41/6\%$ (جدول ۱۴-۱۸ ، $FFS = 72 \text{ km/h}$ ، 100% نواحی سبقت ممنوع، و

$$(V_0 = 93 \text{ pc/h})$$

a (سربالایی) = $-0/013$ (جدول ۱۴-۱۹ ، $V_0 < 200 \text{ pc/h}$)

b (سربالایی) = $0/668$ (جدول ۱۴-۱۹ ، $V_0 < 200 \text{ pc/h}$)

f_{np} (سریشی) = $41/5\%$ (جدول ۱۴-۱۸ ، $FFS = 72 \text{ km/h}$ ، 100% نواحی سبقت ممنوع،

$$V_0 = 239 \text{ pc/h} \text{ درون یابی شده})$$

a (سریشی) = $-0/022$ (جدول ۱۴-۱۹ ، $V_0 = 239 \text{ pc/h}$ ، درون یابی شده)

b (سریشی) = $0/631$ (جدول ۱۴-۱۹ ، $V_0 = 239 \text{ pc/h}$ ، درون یابی شده)

پس:

$$BPTSF_u = 100(1 - e^{-0.013 \times 239^{0.668}}) = 39.6\%$$

$$BPTSF_d = 100(1 - e^{-0.022 \times 123^{0.631}}) = 36.8\%$$

$$PTSF_u = 39.6 + 41.6 = 81.2\%$$

$$PTSF_d = 36.8 + 41.5 = 78.3\%$$

گام ۳: تعیین سطح سرویس

از جدول ۱۴-۴ ، چنین حاصل می‌شود که سریشی و سربالایی هر دو در سطح سرویس D

هستند. این مساله به خوبی نشان می‌دهد که چطور ممکن است در جاهایی که حجم تقاضا کم

است ولی، راه دو خطه در سطح سرویس پایینی عمل می‌کند، به خصوص در جاهایی که عوارض

زمین شدید هستند.

۱۴-۴-۸- اثرات باندهای عبور جانبی

در راههای دو خطه دو طرفه، برای سبقت گرفتن بایستی از باند حرکت مقابل استفاده کرد. همین موضوع سبب شده است که این یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد آنها همین باشد. وقتی که باندهای عبور جانبی به صورت تناوبی وجود داشته باشند، مقادیر ATS و PTSF تحت تاثیر قرار می‌گیرند. این باندها، باعث می‌شوند تا وسایل نقلیه‌ای که به صورت گروهی پشت سر وسیله نقلیه کنده در حرکت هستند، امکان سبقت پیدا کنند و در طول باند عبور جانبی، این رشته پیوسته وسایل نقلیه، شکسته می‌شود.

HCM ۲۰۰۰، متدولوژی مناسبی برای تخمین اثر باند عبور جانبی روی یک جهت قطعه در راههای دو خطه دو طرفه و مناطق هموار و تپه ماهور ارائه می‌دهد. طرز عمل به این صورت است که فقط یک باند عبور جانبی مناسب با توجه به معیارهای جدول ۱۴-۲۲ برای استفاده در قطعه موردنظر پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱۴-۲۲: طول بهینه برای باند عبور جانبی در راههای دو خطه

طول بهینه باند عبور جانبی (km)	نرخ جریان جهتی (pc/h)
≤ 0.8	۱۰۰
$> 0.8 - 1.2$	۲۰۰
$> 1.2 - 1.6$	۴۰۰
$> 1.6 - 3.2$	≥ 700

در گام اول بایستی تحلیل تنها یک جهت حرکت را برای محلی که باند عبور جانبی وجود ندارد (یعنی محلی که مقطع عرضی بودن باند عبور جانبی است) انجام داد. در این حالت مقادیر ATS_d و $PTSF_d$ برای قطعه بدون باند عبور جانبی، تخمین زده خواهند شد. پس از آن، قطعه مورد تحلیل به چهار قطعه دیگر به شرح زیر شکسته می‌شود:

- قطعه‌ای که جریان بالا دست باند عبور جانبی از آن می‌گذرد، طول L_u (km)

- باند عبور جانبی، شامل لچکی‌ها، طول L_{pl} (km)

- طولی از جریان پایین دست که تحت تاثیر باند عبور جانبی قرار گرفته است، طول L_{de} (km)

- قطعه‌ای که جریان پایین دست تحت تاثیر قرار گرفته، از آن می‌گذرد، طول L_d (km)

مجموع چهار طول فوق باید برابر با کل قطعه جفتی باشد. (یعنی طول قطعه مورد مطالعه)

L_{de} نشان می‌دهد که مقادیر ATS و PTSF بدلیل وجود باند عبور جانبی، بهبود داده می‌شوند.

طول فاصله تاثیر به نرخ جریان تقاضا بستگی دارد. طول تاثیر از بعد از لچکی محاسبه می‌شود و طول باند عبور جانبی را در بر نمی‌گیرد. مقادیر L_{de} در جدول ۱۴-۲۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱۴-۲۳: طول قطعه جریان پایین دست متاثر از باند عبور جانبی روی قطعات یک

جهته در مناطق تپه ماهور و هموار

طول قطعه جریان پایین دست L_{de} (km)		نرخ جریان جفتی، pc/h
PTSF	ATS	
۱۳	۲/۷	≤ 200
۸/۱	۲/۷	۴۰۰
۵/۷	۲/۷	۷۰۰
۳/۶	۲/۷	≥ 1000

L_u و L_{pl} از شرایط موجود یا طرح‌ها شناخته می‌شوند. L_{de} هم از جدول ۱۴-۲۳ بدست می‌آید. پس:

$$L_d = L - (L_u + L_{pl} + L_{de}) \quad (14-4)$$

که در آن:

L = طول کل قطعه مورد تحلیل در یک جهت، km

بقیه متغیرها قبلاً معرفی شده‌اند.

دقت شود که مقادیر L_d و L_{de} برحسب تعیین ATS و PTSF، متفاوت خواهند بود.

اثر باندهای عبور جانبی روی PTSF

اگر باند عبور جانبی وجود نداشته باشد، فرض می‌شود که PTSF برای قطعه بالادست، L_u و قطعه پایین دست، L_d یکسان است (یعنی $PTSF_d$). در طول باند عبور جانبی، L_{pl} ، PTSF معمولاً بین ۵۸٪ تا ۶۲٪ مقدار جریان بالا دست است. فرض می‌شود که در طول قطعه موثر، L_{de} ، مقدار PTSF به صورت خطی از مقداری که در محل باند عبور جانبی دارد تا مقداری که در محل جریان پایین دست دارد، افزایش پیدا می‌کند. بنابراین مقدار تعدیل یافته PTSF که متاثر از باند عبور جانبی شده است برای قطعه یک جهت طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PTSF_{pl} = \frac{PTSF_d \left[L_u + L_d + f_{pl} L_{pl} + \left(\frac{1 + f_{pl}}{2} \right) L_{de} \right]}{L} \quad (14-15)$$

که در آن:

$PTSF_{pl}$ = درصد زمان دنباله‌روی، تعدیل یافته برای اثر باند عبور جانبی روی قطعه جهتی (فقط مناطق همور یا تپه ماهور)، %

$PTSF_d$ = درصد زمان دنباله‌روی، با فرض عدم وجود باند عبور جانبی روی قطعه جهتی، %

f_{pl} = فاکتور تعدیل برای اثر باند عبور جانبی روی PTSF (جدول ۱۴-۲۴)

همه طولها، قبلاً تعریف شده‌اند.

اثر باند عبور جانبی روی ATS

اگر باند عبور جانبی وجود نداشته باشد، فرض می‌شود که ATS برای قطعه بالا دست، L_u و قطعه پایین دست، L_d یکسان است (یعنی ATS_d). در طول باند عبور جانبی، معمولاً سرعت‌ها ۸٪ تا ۱۱٪ بالاتر از مقادیر جریان بالا دست هستند. فرض می‌شود که در طول قطعه موثر، L_{de} ، مقدار ATS به صورت خطی از مقداری که در محل باند عبور جانبی دارد تا مقداری که در محل جریان پایین دست دارد، تغییر می‌کند. بنابراین مقدار تعدیل یافته برای ATS، طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ATS_{pl} = \frac{ATS_d * L}{L_u + L_d + \left(\frac{L_{pl}}{f_{pl}}\right) + \left(\frac{2L_{de}}{1 + f_{pl}}\right)} \quad (14-16)$$

که در آن:

ATS_{pl} = متوسط سرعت سفر، تعدیل یافته برای اثر باند عبور جانبی ، km/h

ATS_d = متوسط سرعت سفر برای قطعه جهتی بدون باند عبور جانبی ، km/h

f_{pl} = فاکتور تعدیل برای اثر باند عبور جانبی روی ATS (جدول ۱۴-۲۴)

همه طولها قبلاً تعریف شده‌اند.

فاکتورهای تعدیل برای استفاده در فرمولهای ۱۴-۱۵ و ۱۴-۱۶ در جدول ۱۴-۲۴ نشان داده شده‌اند.

یک مساله نمونه

یک قطعه ۲۴ کیلومتری از راه دو خطه دو طرفه برون شهری که در مثالهای ۱۴-۱ و ۱۴-۲ شرح داده شد، برای تحلیل در نظر بگیرید. نرخ جریان تقاضا برای ATS، ۴۱۸ pc/h و برای PTSF، ۳۹۰ pc/h بدست آمد. در جهت ترافیک سنگین تر، پارامترهای اصلی به قرار زیر بدست آمدند:

$$ATS_d = 75/68 \text{ Km/h} \quad PTSF_d = 78/9$$

مطابق شکل ۱۴-۵، یک باند سبقت به طول ۱/۲ km در جهت مورد نظر حادث شد. اثر باند سبقت را روی ATS و PTSF تعیین کنید.

از جدول ۱۴-۲۳، مقدار L_{de} برای ATS، ۲/۷۲ km و برای PTSF، ۱۳/۲۸ km بدست می‌آید. L_{de} با درون یابی برای PTSF محاسبه شد. (نرخ جریان ۳۹۰ pc/h از مثال ۱۴-۲ بدست آمد)

جدول ۱۴-۲۴: فاکتور تعدیل باندهای عبور جانبی در قطعات یک جهته راههای دو خطه

فاکتور تعدیل fpl روی PTSF	فاکتور تعدیل fpl روی ATS	نرخ جریان تقاضای جهتی (pc/h)
۰/۵۸	۱/۰۸	۰-۳۰۰
۰/۶۱	۱/۱۰	۳۰۰-۶۰۰
۰/۶۲	۱/۱۱	> ۶۰۰

از جدول ۱۴-۲۴، مقدار f_{pl} برای ATS، ۱/۱ و برای PTSF، ۰/۶۱ بدست می‌آید. پس:

$$L_{d,ATS} = 24 - (3.2 + 1.2 + 2.72) = 16.88 \text{ km}$$

$$L_{d,PTSF} = 24 - (3.2 + 1.2 + 13.28) = 6.32 \text{ km}$$

و:

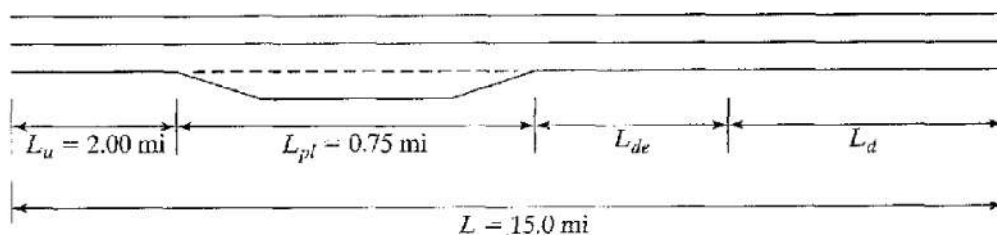
$$ATS_{pl} = \frac{47.3 * 15}{2 + 10.55 + \left(\frac{0.75}{1.10}\right) + \left(\frac{2 * 1.7}{1 + 1.10}\right)} = 47.8 \text{ mi/h}$$

$$PTSF_{pl} = \frac{78.9 \left[2 + 3.95 + 0.61 * 0.75 + \left(\frac{1 + 0.61}{2}\right) 8.3 \right]}{15} = 68.8\%$$

بنابراین با ایجاد یک باند سبقت به طول ۱/۲ km در یک قطعه ۲۴ کیلومتری، ATS کمی افزایش می‌یابد (از ۷۵/۶۸ km/h به ۷۶/۴۸ km/h) و PTSF به میزان ۱۰٪ یعنی از ۷۸/۹٪ به ۷۸/۸٪ کاهش می‌یابد.

باند عبور جانبی که در مورد آن توضیح داده شد، اثر کمی روی عملکرد قطعه داشت، اما افزایش طول باند عبور جانبی می‌تواند اثرات بیشتری روی قطعه داشته باشد.

جدول ۱۴-۲۵، اثرات طول باند عبور جانبی را به ازای هر ۰/۸ km افزایش تا ۶/۴ km روی ATS و PTSF نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۵: مثال مربوط به باند عبور جانبی

چهار برابر کردن طول باند عبور جانبی، تنها ۱/۶ km/h به ATS می‌افزاید و ۶/۶٪ از PTSF کاسته و به ۶۲/۲٪ تقلیل می‌دهد. در این مورد که PTSF کنترل کننده سطح سرویس است. طول باند عبور جانبی حداقل بایستی ۴/۸ km باشد تا PTSF را به ۶۵٪ که آستانه سطح سرویس C است، کاهش دهد.

این مثال به خوبی نشان می‌دهد که فقط وجود یک باند عبور جانبی در قطعه‌ای ۲۴ کیلومتری اثرش از طول آن مهمتر است. کما اینکه وجود باند عبور جانبی (با حداقل طول یعنی ۱/۲km)، PTSF را ۱۰٪ کاهش می‌دهد. افزایش طول آن به ۶/۴km، تنها کاهشی برابر ۶/۶٪ برای PTSF در پی خواهد داشت. در این مورد، ATS اثر قابل توجهی ندارد. باید به این نکته توجه داشت که این باند در محلی قرار گرفته است که ۴۰٪ آن نواحی سبقت ممنوع است، این موضوع نشان می‌دهد که فرصت‌های زیادی برای سبقت گرفتن در این قطعه وجود دارد بدون آنکه نیازی به باند عبور جانبی باشد. اگر باند عبور جانبی در محل‌هایی قرار گیرد که محدودیت‌های زیادی برای سبقت گرفتن وجود دارد، اثر آن روی قطعه خیلی بیشتر خواهد بود.

جدول ۱۴-۲۵: اثرات طول باند سبقت در مثال نمونه

Lpl	۱	۵۰/۱	۲	۵۰/۲	۳	۵۰/۳	۴
L	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
L _u	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
L _{de,ATS}	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰
L _{d,ATS}	۱۰/۳۰	۹/۸۰	۹/۳۰	۸/۸۰	۸/۳۰	۷/۸۰	۷/۳۰
L _{de,PTSF}	۸/۳۰	۸/۳۰	۸/۳۰	۸/۳۰	۸/۳۰	۸/۳۰	۸/۳۰
L _{d,PTSF}	۳/۷۰	۳/۲۰	۲/۷۰	۲/۲۰	۱/۷۰	۱/۲۰	۰/۷۰
f _{pl,ATS}	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰
f _{pl,PTSF}	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱
ATS _d	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰	۴۷/۳۰
PTSF _d	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰	۷۸/۹۰
ATS _{pl}	۴۷/۸۵	۴۸	۴۸/۱۴	۴۸/۲۹	۴۸/۴۴	۴۸/۵۹	۴۸/۷۴
PTSF _{pl}	۶۸/۳۴	۶۷/۳۱	۶۶/۲۸	۶۵/۲۶	۶۴/۲۳	۶۳/۲۱	۶۲/۱۸

HCM۲۰۰۰ روش اصلاح شده‌ای برای جاهایی که L_{de} از مرزهای قطعه مورد تحلیل تجاوز

می‌کند، ارائه می‌نماید. [به HCM ۲۰۰۰ رجوع کنید]

۱۴-۴-۹- اثر باندهای کندرو

در سربالایی‌های خاص، برای آنکه وسایل نقلیه سنگین به کندی حرکت می‌کنند و پست سر آنها صف ایجاد می‌شود، لذا باندهای کندرو را تعبیه می‌کنند تا از آنها استفاده شود. بر طبق معیارهای آشتو [مرجع ۲] باندهای کندرو بایستی در راههای دوخطه دو طرفه در مواقع زیر استفاده شود:

- نرخ جریان جهتی در سربالایی از 200 veh/h تجاوز کند.
- نرخ جریان جهتی در سربالایی برای کامیونها از 20 veh/h تجاوز کند.
- هر یک از شرایط زیر رخ دهد: ۱- کاهش سرعت 16 km/h برای کامیون سنگین تیپ ۲- روی سربالایی، سطح سرویس E یا F بوجود آید یا ۳- سطح سرویس روی سربالایی دو سطح یا بیشتر، پایین‌تر از جهت مقابل باشد.
- وقتی که از باند کندرو استفاده می‌شود مقادیر ATS و PTSF در سربالایی ممکن است نسبت به مقادیری که از معادلات ۱۴-۱۵ و ۱۴-۱۶ بدست می‌آید اصلاح شوند، به جز وقتی که:
- L_u ، L_{de} و L_d معادل 0 km هستند.
- فاکتور تعدیل f_{pl} به جای جدول ۱۴-۲۴ از جدول ۱۴-۲۶ انتخاب شود.

جدول ۱۴-۲۶: فاکتور تعدیل برای باندهای کندرو در قطعات یک جهته راههای دو خطه

فاکتور تعدیل f_{pl} روی ATS	فاکتور تعدیل f_{pl} روی ATSF	نرخ جریان جهتی
۱/۰۲	۰/۲۰	۰-۳۰۰
۱/۰۷	۰/۲۱	۳۰۰-۶۰۰
۱/۱۴	۰/۲۳	> ۶۰۰

۱۴-۱۵ خلاصه

راههای دو خطه دو طرفه بخش مهمی از شبکه جاده‌ای برون شهری و درون شهری را در بر می‌گیرند. مشخصات عملکردی منحصر به فرد آنها به رسیدگی و دقت نظر بیشتری احتیاج دارد، به خصوص در راههای کلاس I، عملکرد ضعیف این راهها مسائلی را از حیث ایمنی ایجاد می‌کند. باندهای سبقت و کندرو غالباً برای بهبود عملکرد این راهها استفاده می‌شوند باید توجه داشت که تصادفات شدید و مسایل عملکردی معمولاً راه حل‌های جامعی را طلب می‌کنند. بعضی راه‌حل‌ها عبارتند از: ایجاد باند پیوسته‌ای به عنوان باند سوم حرکت برای امکان سبقت در هر جهت، بازسازی مجدد راه و تبدیل به راه چند خطه یا محدود کردن دسترسی‌ها.

کیفیت عملکرد راههای کلاس II، مایه نگرانی جدی نیست به خصوص وقتی که عملکرد اصلی آنها سرویس دادن به مناطق محلی و دوردست باشد.

مسایل

۱۴-۱- یک راه برون شهری دو خطه به طول ۳۲km در منطقه‌ای تپه ماهور و با سرعت جریان آزاد پایه (BFFS) ۹۶km/h مفروض است. پهنای باندها ۳/۶m و شانه‌ها ۱/۲m در هر طرف هستند. به طور متوسط در هر کیلومتر، ۶/۲۵ نقطه دسترسی وجود دارد و ۵۰٪ قطعه، نواحی سبقت ممنوع هستند. ترافیک در جریان ۳۵۰veh/h (مجموع دو طرف) است که شامل ۱۲٪ کامیون و ۶٪ وسایل نقلیه تفریحی هستند. توزیع جهت‌ی ترافیک ۶۰/۴۰ و ضریب ساعت اوج ۰/۸۲ است.

الف) برای شرایط موجود، سطح سرویس راه چقدر است؟ از آنالیز دو جهت استفاده کنید.

ب) اگر نرخ رشد ترافیک سالیانه ۸٪ باشد، چند سال طول می‌کشد تا راه به ظرفیتش برسد؟

۱۴-۲- یک راه دو خطه کلاس I به طول ۱۶km در منطقه‌ای هموار و با سرعت پایه جریان آزاد (BFFS) ۱۰۴km/h موجود است. مقطع عرضی باندها، ۳/۶m و شانه‌ها ۱/۸m برای هر طرف می‌باشد. به طور متوسط در هر کیلومتر ۱۲/۵ دسترسی وجود دارد و ۲۰٪ قطعه، سبقت ممنوع است. ترافیک فعلی ۸۰۰veh/h با ۱۰٪ کامیون و فقدان وسیله نقلیه تفریحی است. توزیع جهت‌ی

جریان ۷۰/۳۰ و ضریب ساعت اوج ۰/۸۷ است. از تحلیل جهتی استفاده کنید و سطح سرویس هر جهت را در این مقطع بدست آورید.

۱۴-۳- یک راه دو خطه برون شهری کلاس I با شیب قابل توجه ۰/۴ و طول ۳/۲km مفروض است. سرعت جریان آزاد پایه (BFFS) ۸۸km/h و مقطع عرضی باندها ۳/۳m و شانه‌ها ۰/۶m هستند. در هر کیلومتر ۳/۱۲۵ دسترسی وجود دارد و ۸۰٪ قطعه، نواحی سبقت ممنوع هستند. ترافیک فعلی ۲۵۰veh/h با ۲۰٪ کامیون و ۱۰٪ وسایل نقلیه تفریحی هستند. توزیع جهتی جریان ۷۰/۳۰ (۷۰٪ در جهت سربالایی هستند) و PHF، ۰/۸۸ است. سراسیبی و سربالایی در چه سطح سرویسی عمل می‌کنند؟

۱۴-۴- یک راه دو خطه کلاس II در منطقه‌ای تپه مایور با سرعت جریان آزاد پایه BFFS، ۸۰km/h مفروض است. پهنای باندها ۳/۳m و شانه‌ها ۱/۲m هستند. در هر کیلومتر ۶/۲۵ دسترسی وجود دارد و ۷۰٪ قطعه، نواحی سبقت ممنوع هستند. ترافیک فعلی ۴۰۰veh/h با ۱۰٪ کامیون و ۳٪ وسایل نقلیه تفریحی هستند. ضریب ساعت اوج PHF، ۰/۸۱ می‌باشد. توزیع جهتی جریان ۶۰/۴۰ است. از تحلیل دو جهته استفاده کرده و سطح سرویس را بدست آورید؟

۱۴-۱۵- مساله ۱-۱۴ را با تحلیل تنها یک جهت حل کنید و ۶۰٪ جریان را در همان جهت فرض کنید.

LOS، ATS و PTSF چقدر هستند؟ اگر یک باند عبور جانبی به طول ۴/۸km به فاصله ۸km از شروع قطعه ایجاد کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

۱۴-۶- اگر یک باند کندرو برای کامیونها در سربالایی توضیح داده شده مساله ۱۴-۳ اضافه کنیم چه اثری خواهد داشت؟

References

1. *Highway Capacity Manual*, 4th Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 2000.
2. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 4th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2001.
3. Prisk, C.W., "Passing Practices on Two-Lane Highways," *Proceedings of the Highway Research Board*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 1941.
4. Weaver, G.D. and Glennon, J.C., *Passing Performance Measurements Related to Sight Distance Design*, Report No. 134-6, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station TX, July 1971.
5. Weaver, G.D. and Woods, D.L., *Passing and No-Passing Signs, Markings, and Warrants*, Report No. FHWA-RD-79-5, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, Sept 1978.
6. *Manual of Uniform Traffic Control Devices*, Millennium Edition, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, 2000.
7. Harwood, D.W. et al., *Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways*, Final Report, NCHRP Project 3-55(3), Midwest Research Institute, Kansas City MO, 2000.