



دانشگاه خلیج فارس

دانشکده مهندسی

مهندسی عمران

عنوان پروژه :

معرفی و مقایسه روش های تراکم دینامیکی و پیش بارگذاری در بهسازی خاک

نام استاد :

دکتر فاضلی

نام نگارنده :

عالیه اسدی

سال تحصیلی :

1392

1	چکیده
4	مقدمه
6	بهسازی زمین
9	معرفی اجمالی روش های بهسازی
21	تراکم دینامیکی
24	اهداف عملیات تراکم دینامیکی
26	روش های تراکم دینامیکی
33	تجهیزات مورد استفاده برای تراکم دینامیکی
39	طبقه بندی خاک ها از لحاظ کارایی
	طراحی عملیات تراکم دینامیکی
47	ویژگی های فیزیکی کوبه
49	تعداد ضربات
50	عمق نفوذ کوبه منطقه تراکمی ناشی از سقوط کوبه
56	فضای بین شبکه
60	عمق بهبود خاک
66	ارتعاشات امواج ایجاد شده ناشی از برخورد کوبه به سطح زمین
72	محدودیت های کاربرد این روش
74	جمع بندی روش تراکم
80	پیش بارگذاری
78	اهداف

80	روش های اجرایی
81	پیش بارگذاری بوسیله خاکریز
83	پیش بارگذاری توسط خلا یا ایجاد مکش
85	اصول برقراری زهکش مناسب در پیش بارگذاری
91	فاکتورهای موثر در طراحی پیش بارگذاری بوسیله خاکریز
98	موارد کاربرد پیش بارگذاری
100	نکات استفاده از روش پیش بارگذاری
102	مزایای پیش بارگذاری
104	مقایسه روش تراکم دینامیکی و پیش بارگذاری
107	نتیجه گیری
109	منابع

چکیده :

تراکم دینامیکی یکی از روش های دینامیکی بهسازی خاکهای سست می باشد. در این روش با اعمال ضربات سنگین بر سطح خاک میزان تراکم و در نتیجه ظرفیت باربری آن افزایش می یابد. این امر از طریق انتقال انرژی بوسیله امواج صورت می پذیرد . انرژی ناشی از این برخورد از طریق امواج حجمی به اعماق خاک منتقل شده و با تغییر نحوه قرارگیری دانه ها نسبت به هم ، توده متراکم تری را ایجاد می کند . عوامل گوناگونی بر میزان تأثیرگذاری این روش در بهسازی خاک دخیل هستند . نوع خاک، وزن و ارتفاع سقوط کوبه، فواصل کوبش و سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد کوبش از جمله مهمترین عوامل تأثیر گذار هستند . (3)

در کل تراکم دینامیکی تکنیکی است که به وسیله آن مشخصات خاک مورد نظر بهبود می یابد و به خصوص این تکنیک در خاک های دانه ای سست و غیر اشباع موثر می باشد . همچنین این روش بر روی خاک های چسبنده با تخلخل بالا موفقیت آمیز می باشد ولی میرایی انرژی در اینجا زیاد و به پر کننده ها نیاز می باشد . در این روش با پرتاب وزنه هایی به وزن 5 تا 35 تن از ارتفاع 10 تا 40 متر بر روی یک سطح مشخص زمین ، مشخصات خاک بهبود را بهبود می دهند. که در این روند چگالی خاک با کاهش تخلخل ، افزایش می یابد و حجم سیال از منافذ خاک خارج می گردد.

تعدادی از وزنه ها وقتی با سطح خاک برخورد می کنند حجم زیادی از خاک تغییر شکل پیدا می کند . هرچند که بیشترین تأثیرات موثر در عمق خاک اتفاق می افتد که این به دلیل انرژی زیاد تولید در سطح به دلیل تراکم ایجاد می شود . انرژی تراکمی وقتی وزنه در راستای عمودی و محور تقارن برخورد کند به ماکزیمم مقدار خود می رسد و هرچه محل ضربه با محور تقارن زاویه

پیدا کند این انرژی کاهش می یابد . همچنین انرژی امواج تولید شده در عمق های زیاد محل برخورد کاهش می یابد . در حقیقت بهبود تابعی از ارتعاشات ذرات خاک می باشد که این به دلیل انتشار امواج در منطقه ای از خاک می باشد که متراکم شده است . محققین زیادی در زمینه تراکم دینامیکی خاک به صورت آزمایشگاهی کار انجام داده اند از جمله وست و پن می باشند که مطالعاتی این محققین انجام داده اند در محدوده خاک هایی می باشد که بیشترین تاثیر را دارند .

پیش بارگذاری، بارگذاری موقتی می باشد که در محل ساخت ساختمان ها و تأسیسات به منظور اصلاح خاکهای زیرسطحی بکار برده می شود و متداولترین روش برای آن انباشتن مصالح خاگریز است. (16)

از مزایای پیش بارگذاری، علاوه بر کاهش نشست می توان به انجام بهسازی و عدم ایجاد سروصدا اشاره نمود که استفاده از آن را در مناطق شهری و یا در مواردی که محدودیت های همسایگی مطرح است، ممکن می سازد . از معایب پیش بارگذاری می توان به طولانی شدن زمان وقوع نشست غیراقتصادی شدن برداشت و حمل مصالح پیش بار به جای دیگر اشاره نمود.

• برای سرعت بخشیدن به عمل پیش تراکمی از زهکش های ماسه ای استفاده می کنند . در استفاده از تکنیک پیش بار گذاری به همراه استفاده از زهکش های قائم ذکر این نکته ضروری است که میزان پیش بار باید بر اساس مقدار بارهای وارده از روسازه به خاک محل انتخاب شود . باید توجه داشت که در مورد خاک های پیش تحکیم ممکن است از اقدامات پیش بارگذاری به همراه زهکش های قائم عاید نگردد. (14)

مقایسه این دو روش :

روش تراکم دینامیکی برای بهسازی انواع خاک ها مناسب است و تا عمق 20 تا 15 متر را بهبود می بخشند و در این روش باید حفاظت از خطرات جراحت و صدمه به افراد تامین شود ، در اثر پرش گرد و غبار به بناها آسیب می رساند ، آب زیر زمینی باید بیش از 2متر پایین تر از سطح تراز زمین باشد این روش سریعتر از پیش بار گذاری هست ولی یکنواختی کمتری دارد . روش پیش بارگذاری که شامل بار مناسب جهت پیش فشردگی خاک و قبل از اجرا بکار گرفته می شود ، برای رس های نرم تحکیم عادی ، لس ها ، لای ها خاک های الی ، خاکریز ها مناسب است ، عمق قابل ملاحظه ای بهبود پیدا می کند و روش راحت ولی کند است که با استفاده از زهکش های ماسه ای یا فیتله ای تسریع پیدا می کنند . در روش خاکریز به عنوان سربار که شامل خاکریزی بیش از اندازه جهت دستیابی به نشست معین است . زمان کوتاهتر ، خاکریز اضافه برداشته می شود و برای رس های نرم تحکیم عادی لای ها نهشته های رسی ، خاکریز ها مورد استفاده می شود . سریعتر از پیش بارگذاری هست و با استفاده از زهکش های ماسه ای یا فیتله ای تسریع می یابد ، ولی نیاز به تجهیزات جهت گود برداری و عملیات خاکی دارد .(14)

بسیاری از سازه‌های مهندسی، بر روی بستری مناسب از خاک بنا نمی‌شوند. بعنوان مثال خاکریزهای اجرا شده بر روی خاک‌های نرم (رس‌های حساس)، دیوارهای حائل رودخانه‌ها که بر ماسه‌های بسیار سست بنا می‌شوند و یا سازه‌های دریایی که بر روی رسوبات سست واقع بر گسله‌های قاره‌ای بنا شده‌اند. عدم شناخت رفتار خاکهای روانگرا یا حساس، ممکن است یکپارچگی سازه‌های واقع شده بر آنها را مورد تهدید قرار دهد. در مواجهه با زمین‌های سست عموماً یکی از روش‌های زیرجهت حل مشکل برگزیده می‌شود:

- تغییر محل اجرای پروژه از محل با مصالح ضعیف به محلی به شرایط مناسب
- برداشت مصالح نامناسب و جایگزینی با مصالح مناسب
- تغییر طراحی پی در سازه و متناسب به شرایط ژئو تکنیکی زمین مورد نظر
- بهسازی خاک

روش‌های اول و دوم همیشه امکان‌پذیر نیست و در برخی موارد موجب غیر اقتصادی شدن طرح می‌گردد. بهسازی زمین و اصلاح شرایط خاک محل، روشی است که برتری آن به لحاظ اقتصادی و فنی با روش سوم قابل مقایسه است و در بسیاری پروژه‌ها هزینه اجرای فنداسیون عمیق، بسیار بیشتر از روش‌های بهسازی خاک است. هدف از بهسازی خاک افزایش ظرفیت باربری خاک – کاهش نشست پذیری زمین – کاهش تخلخل و افزایش چگالی خاک-یکنواخت سازی ویژگی‌های تغییر شکل پذیری مصالح-جلوگیری از بروز تغییرات فیزیکی یا شیمیایی نامناسب در خاک می‌باشد. (2)

در این تحقیق به بررسی دو مورد از روش‌های بهسازی زمین پرداخته شده است که عبارتند از تراکم دینامیکی و پیش بارگذاری و در نهایت این دو روش با هم مقایسه شده است. امروزه روش تراکم دینامیکی به طور وسیعی در نقاط مختلف جهان جهت بهسازی زمین‌های خشک، غیر اشباع و یا خاک‌های دانه‌ای سست زیر سطح آب زیرزمینی به کار می‌رود. در این روش ضربات متوالی کوبه‌ای به وزن 10 تا 30 تن که از ارتفاع 10 تا 40 متر بر روی نقاط یک شبکه رها میشوند، باعث تراکم خاک می‌شود. (1)

و اعمال پيش فشار توسط بارگذاري روي زمين زير بنا قبل از احداث سازه، پيش بارگذاري ناميده مي شود. مقدار فشار اعمال شده در پيش بارگذاري معمولاً بزرگ تر از ماكزيمم فشاري است كه توسط فونداسيون سازه مورد نظر به خاك اعمال مي شود. نتيجۀ عمل پيش فشردگي بستر قبل از عمليات اجرائي مي باشد.(14)

بهبودی زمین :

بازسازی کنترل شده خاک درجا برای استفاده مجدد در یک ساختار جدید ژئوتکنیکی است . بهسازی خاکهای سست برای افزایش ظرفیت باربری، رویکردی است که به ویژه در قرن اخیر به آن توجه زیادی شده است . در مهندسی پی روش های متعددی جهت بهسازی خاکهای ضعیف و سست وجود دارد.

ویژگیهای اصلی بهسازی زمین :

-زمین درجا اصلاح می شود.

-مشخصات فنی آن به سطح قابل قبول می رسد.

-زمین بخشی از سیستم خاک - سازه می گردد.

-روش های تأیید کار انجام شده موجود است.

مزایا :

-اصلاح عملکرد

-کاهش هزینه

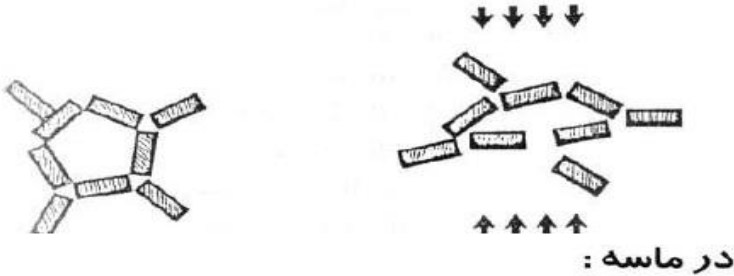
-صرفه جویی زمانی

- کاهش ریسک های ناشناخته

اثر بهسازی مکانیکی بر بافت خاک

درس :

ISOTROPIC COMPRESSION



SHEAR



شکل (1)

کاربرد روش های بهسازی زمین :

بهبود کیفی زمین :

- کاهش نشست های آتی ساختمان در اثر بارگذاری، زلزله و ...
- امکان ساخت و ساز در خاک های مسئله دار از جنس ماسه های پوک ، خاک های دستی و محل های دفن زباله ، ضایعات معدنی ، خاک های رمبنده و تورم زا

علاج بخشی پی :

- تقویت
- بازسازی

کنترل آلودگی

- محبوس و یا کنترل نمودن آلودگی ناشی از خاک ، آب و یا گازهای درون خاک
- جامد و یا پایدار سازی خاک آلوده
- تجزیه بیولوژیکی مواد مضر در محل

پایدارسازی گود

- نقش سازه نگهدار
- کنترل و محدود کردن نشست تونل ها و گود برداری

کنترل آب زیر زمینی

- محدود نمودن جریان آب زیر زمینی
- آب بند نمودن سازه های زیر زمینی (4)

معرفی اجمالی روش های بهسازی :

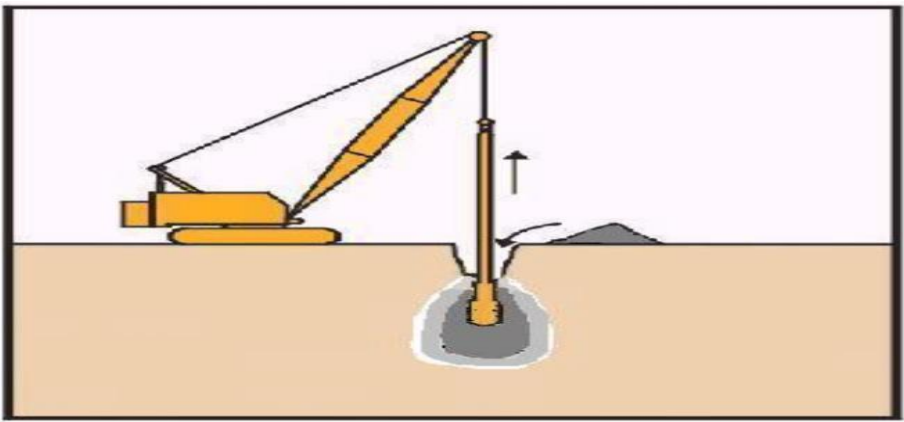
1- روش های ارتعاشی

در این روش با استفاده از کاوشگر لرزه ای (ویبراتورهای عمقی) ، خاک در محل متراکم و یا به وسیله شن یا قطعه های سنگ مسلح میگردد . در نتیجه بهسازی خاک با این روش ها می توان به رفع پتانسیل روانگرایی ، افزایش مقاومت مجاز خاک و کاهش نشست دست یافت.

تراکم ارتعاشی :

برای متراکم نمودن خاک غیرچسبنده تمیز (بدون ریزدانه) بکار می رود.

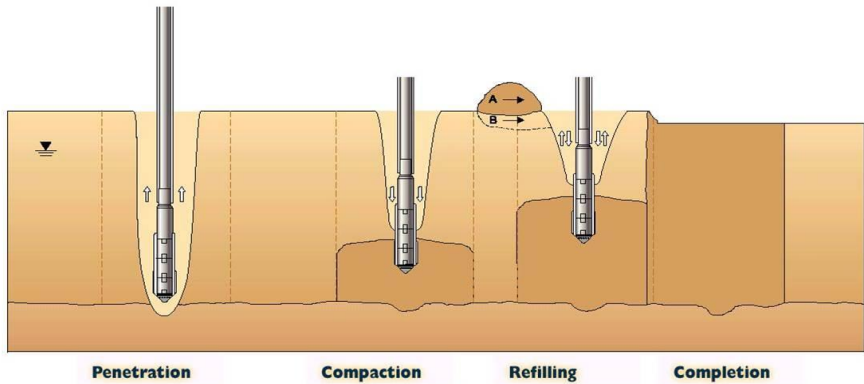
ارتعاش کاوشگر همراه با استفاده از آب نیروهای بین دانه ای خاک را کاهش داده باعث متراکم تر شدن ذرات خاک می گردد. در این روش تراکم نسبی خاک بین 70 الی 85 درصد بدست می آید. تراکم در بالا و پایین آب زیرزمینی مقدور است.



شکل (2)

مراحل تراکم :

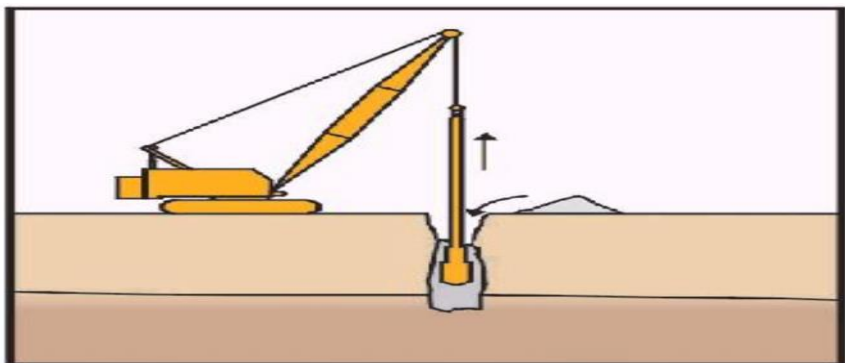
Vibro-Compaction Process



شکل (3)

جایگزینی لرزه ای

ستون های سنگی با جایگزینی ارتعاشی



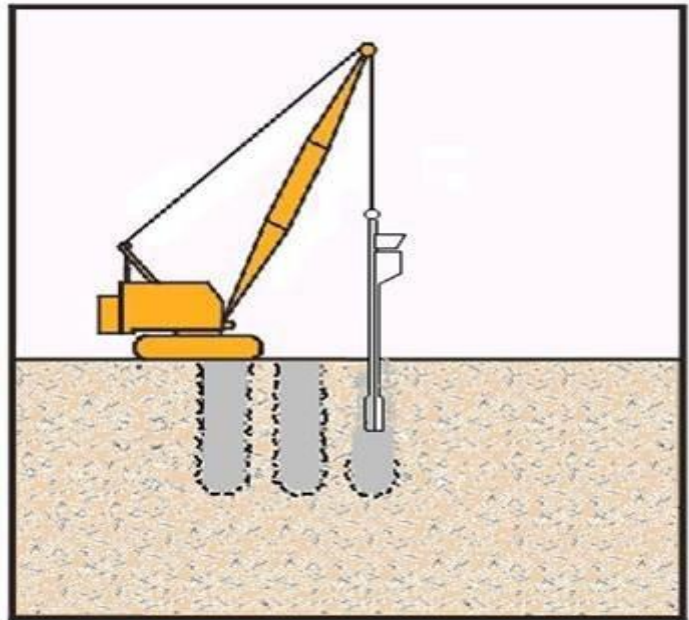
شکل (4)

این تکنیک کاربرد روش های ارتعاشی را در خاکهای چسبنده نیز میسازد .

متراکم نمودن و یا مسلح کردن خاک با ایجاد ستون های شنی و یا سنگی توسط ویبراتورهای تغذیه کننده از نوک و یا سر انجام می شود.

ستون های سنگی جابجایی

جابجایی ارتعاشی ، متراکم نمودن و یا مسلح کردن خاک با ایجاد ستونهای سنگی به روش خشک با تغذیه از پایین است. در این روش از آب استفاده نمی شود. (5)

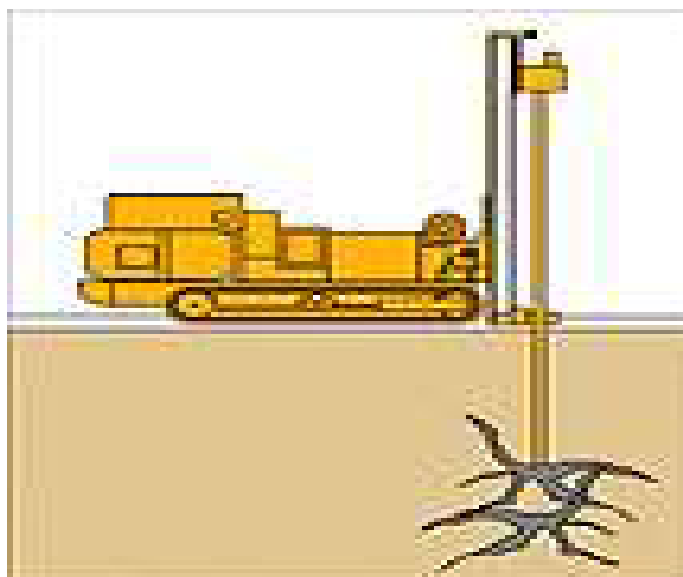


شکل (5) (ستون های سنگی به روش خشک با تغذیه از پایین)

2- انواع روش های تزریق:

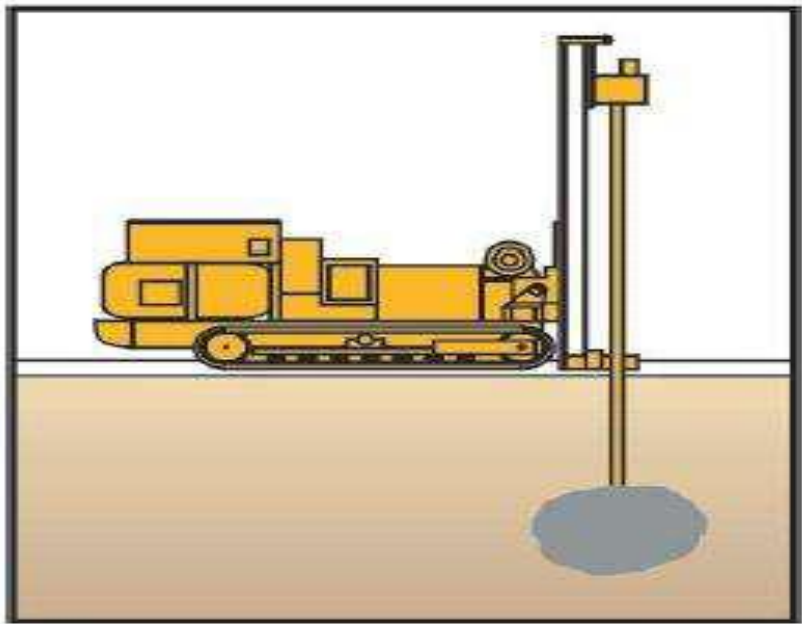
تزریق فرایندی است که در آن سیمان و یا ماده مناسبی با فشار به داخل یک سازند سنگی و از طریق گمانه های حفاری شده به منظور بهسازی ترک ها و شکستگی های موجود وارد میگردد .

2-1 نفوذی : تزریق نفوذی ورود دوغاب تحت فشار به حفره و درز و شکاف های خاک و سنگ است .



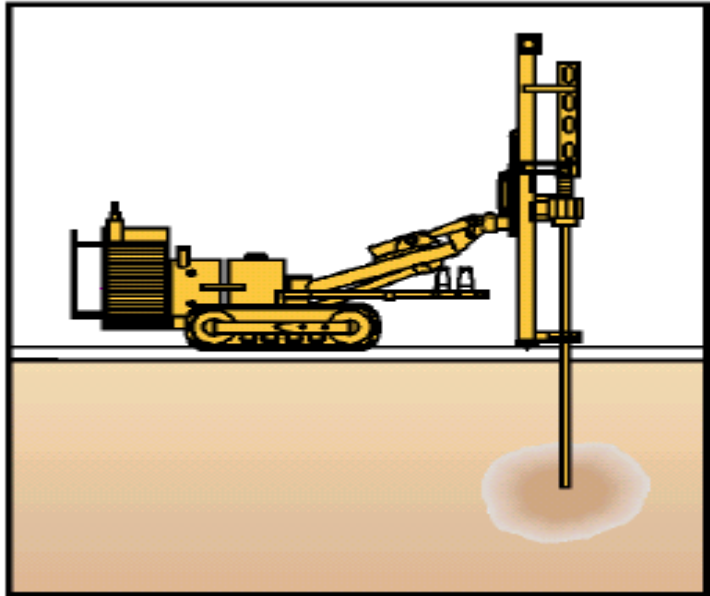
شکل(6)

3-1 شیمیایی : اگر اندازه منافذ کوچک باشد و سیمان معمولی نتواند در خلل و خرج نفوذ نماید از مواد شیمیایی در تزریق استفاده می شود . تزریق شیمیایی با دو هدف انجام می شود ، افزایش مقاومت به منظور تامین ظرفیت باربری بالاتر و یا کاهش نفوذپذیری برای آب بندی .



شکل (7)

4-1 تراکمی : تزریق تراکمی شرایط زمین را با جابجایی بهبود می بخشد . مایع غلیظ دوغاب با مصالح دانه ای در چند مرحله در خاک تزریق شده باعث تراکم خاک اطراف می شود . با انجام تزریق در مراحل اولیه ، ثانویه ، ثالثیه و ... مشخصات مهندسی مورد نظر خاک بدست می آید .



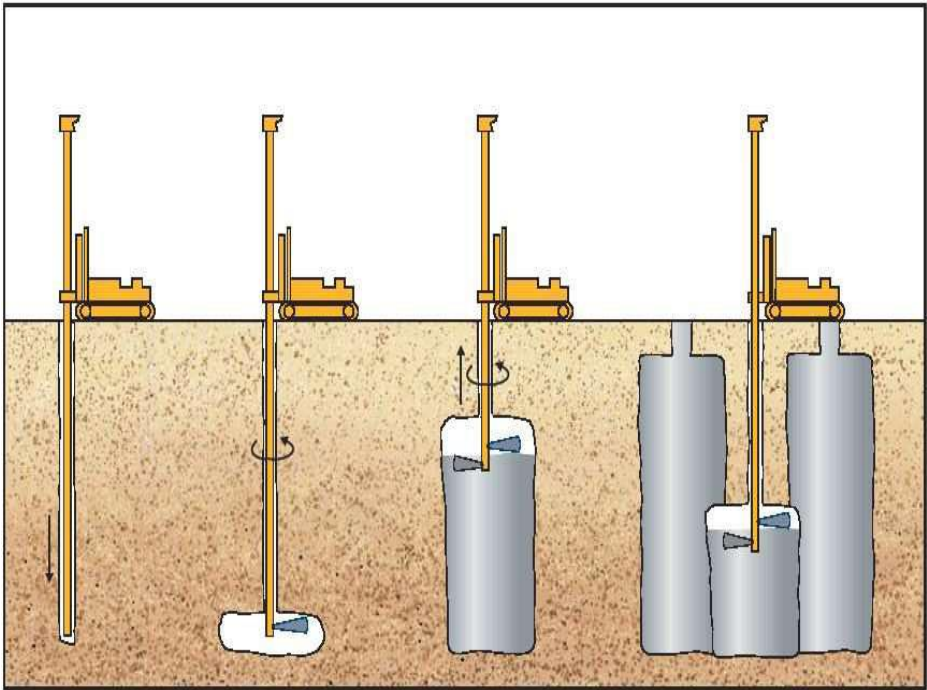
شکل(9)

5-1 شکافتنی :

در این روش با تزریق دوغاب در خاک و ایجاد شکست هیدرولیکی در آن نشست ساختمان ها کنترل می گردد . دوغاب کنترل شده با ورود در شکاف ها باعث برآمدگی خاک شده نشست ایجاد شده قبلی را جبران می نماید. تزریق در چند مرحله در سطوح مختلف زیر پی بعمل می آید و با انجام آن ، خاک مسلح و تقویت می گردد .

6-1 با فشار بالا (فرایند بکارگیری تخریب هیدرولیکی) :

روشی است که در آن بافت خاک بعد از تصادم با مایعی با سرعت زیاد متلاشی شده و با اختلاط و یا جایگزینی دوغاب سیمان با خاک متلاشی شده توده خاک – سیمان در محل می سازد . (4)



شکل (10)

تراکم دینامیکی :

• تراکم دینامیکی سقوط وزنه سنگینی از ارتفاع برای متراکم نمودن خاک در اعماق است.



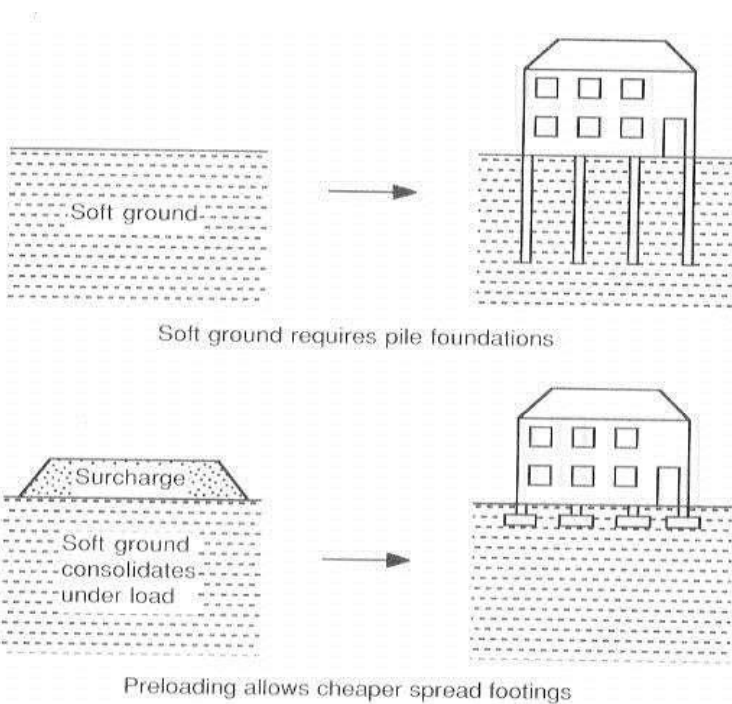
شکل (11)



شکل (12)

پیش بارگذاری :

از قدیمی ترین روش های بهسازی در زمین های نرم ریزدانه است. در این روش با اعمال بار موقت توسط خاکریز بمیزان حداقل بارسازه، خاک نشست پیدا کرده و مقاومت آن افزایش می یابد اگر زمان نشست خاک طولانی باشد با استفاده از زهکش های عمودی در پیش بارگذاری تسریع می شود.



b. Preloading may allow savings in foundation costs

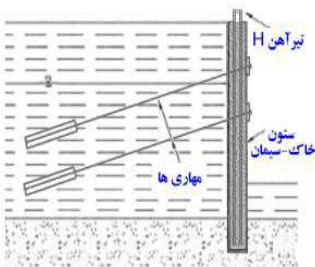
شکل(13)

اختلاط خاک

این روش مخلوط کردن مکانیکی خاک درجا با مواد افزودنی از قبیل سیمان آهک و ... توسط اوگرهای توخالی مخصوص است .

هدف از اختلاط خاک دست یابی به پارامترهای ژئوتکنیکی اصلاح شده از قبیل مقاومت فشاری ، مقاومت برشی و یا نفوذ پذیری است. اختلاط خاک برای محدود کردن و یا ثابت نمودن مواد شیمیایی مضر نیز در خاک کاربرد دارد .

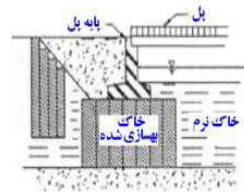
موارد استفاده اختلاط :



دیوار برای پایداری گود



سازه حائل موقت



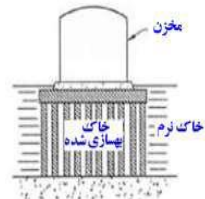
پی برای پایه پل



پی برای موج شکن



پی برای دیوار حائل

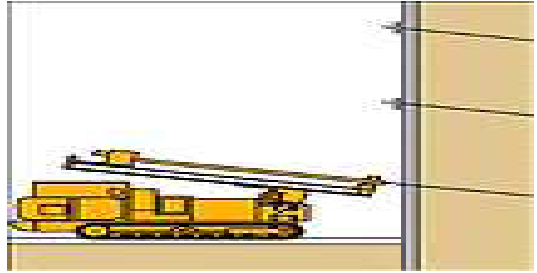


پی برای مخزن

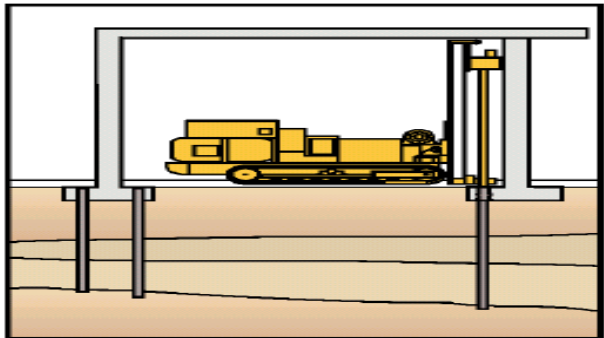
شکل (14)

میخ کوبی در خاک :

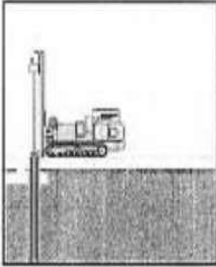
میخ کوبی روشی صحرائی برای تقویت ، پایدارسازی و نگهداری گودهای عمیق است . پروفیل یا میلگرد های فولادی نسبتاً کوچیکی در فواصل نزدیک به هم در خاک فرو برده می شوند . سطح بیرونی گود توسط بتن پاشی و یا دیواره های سبک به صورت موضعی تثبیت می شود و مجموعه خاک مسلح شده بصورت یکپارچه عمل می نماید.



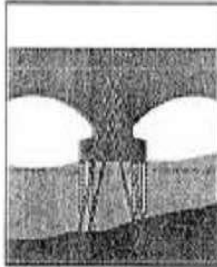
ریز شمع : ریز شمع ها، شمع های با قطر كوچك بین 5 تا 25 سانتی متر بوده كه قابلیت باربری زیاد تا 300 تن بار مجاز را دارند. ریز شمع ها تقریباً در تمامی انواع زمین ها برای انتقال بار به لایه های مقاوم زیرین اجرا می شوند. از مزایای عمده آنها قابلیت اجرا در مناطقی است كه دسترسی به آنها دشوار و یا بعلاّت ارتفاع كم اجرای شمع های متعارف غیر ممكن است .



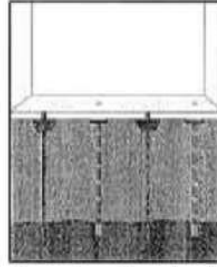
شکل (15)



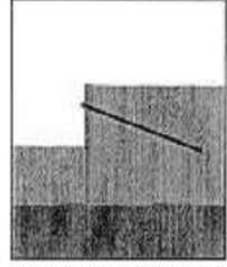
**Supporting New Loads
in Congested Area**



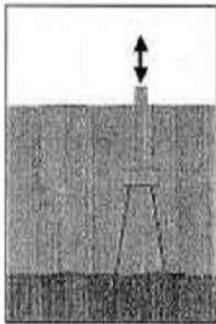
Seismic Retrofit



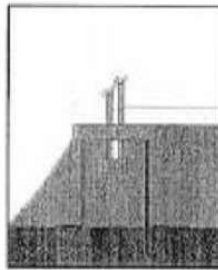
**Arresting Structural
Settlement**



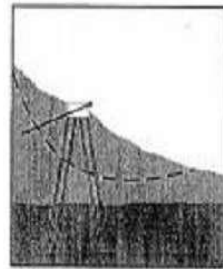
**Excavation Support
In Confined Area**



**Resisting Uplift/
Dynamic Loads**



Underpinning



Reticulated Pile Wall

شکل (16)

تراکم دینامیکی :

امروزه روش تراکم دینامیکی به طور وسیعی در نقاط مختلف جهان جهت بهسازی زمین های خشک، غیر اشباع و یا خاکهای دانه ای سست زیر سطح آب زیرزمینی به کار می رود. (1)

تراکم دینامیکی در حقیقت کوبش سطح یک توده سست خاک است که بر اثر آن دانسیته نسبی و تراکم خاک افزایش یافته و بر ظرفیت باربری آن افزوده می گردد. این امر از طریق سقوط آزاد یک وزنه سنگین از ارتفاع صورت می پذیرد.

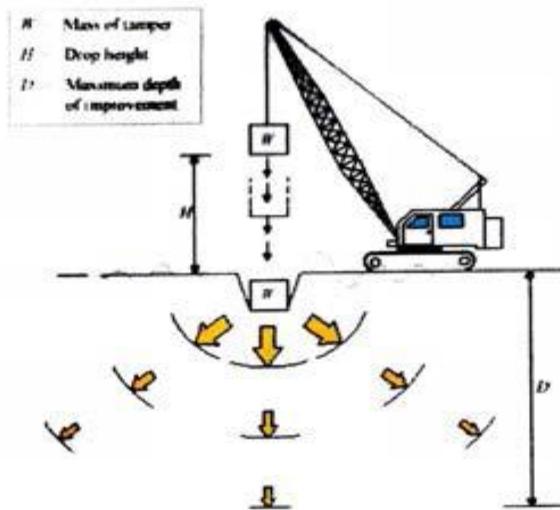
تراکم دینامیکی شامل استفاده از یک کوبه سنگین است که متناوباً توسط یک کابل در ارتفاعات متغیر بالا برده شده و برای ضربه زدن به زمین رها می شود. وزن کوبه معمولاً بین 5 تا 35 تن و ارتفاع سقوط بین 10 تا 30 متر متغیر می باشد. البته مقادیر فراتر از این بازه ها نیز در پروژه های مختلف مشاهده شده است. به عنوان نمونه Gambian در یکی از پروژه ها پرتاب کوبه به جرم 220 تن از ارتفاع 24 متر را گزارش کرد. کوبه هایی با وزن حدود 25 تن یا کمتر را می توان با یک جرثقیل سنگین شامل یک کابل بالا برنده که بصورت آزاد قابلیت حرکت دارد از ارتفاع معین پرتاب کرد. (2)

رها بودن قرقره کابل بدین منظور است که سقوطی آزاد برای کوبه ایجاد شود. برای وزنه های سنگین تر، تجهیزات موجود تقویت می شوند. جنس کوبه های که در این روش استفاده می شود عموماً شامل صفحات فلزی، پوسته های فولادی پر شده از بتن و یا بتن مسلح است. مقطع وزنه ها نیز عموماً مربعی، دایره ای و هشت ضلعی می باشد. (2)

انرژی ناشی از برخورد از طریق امواج حجمی به اعماق خاک منتقل شده و با تغییر نحوه قرارگیری دانه ها نسبت به هم، توده متراکم تری را ایجاد می کند. (3)

انرژی معمولاً در چند فاز و بر روی یک شبکه در کل منطقه در یک یا چند مرحله وارد می شود. بعد از هر مرحله و قبل از شروع مرحله بعد چاله های بوجود آمده توسط یک بلدوزر تسطیح شده و یا توسط مصالح دانه ای پر می شوند. درجه بهبود خواص خاک تابعی از انرژی وارد شده می باشد. عوامل گوناگونی بر میزان تأثیرگذاری این روش در بهسازی خاک دخیل هستند. نوع خاک، وزن و ارتفاع سقوط کوبه، فواصل کوبش و تعداد ضربات در هر نقطه از شبکه و سطح آب زیرزمینی در

منطقه مورد کوبش از جمله مهمترین عوامل تأثیر گذار هستند. (3) کوبه هاي سبکتر و ارتفاع سقوط هاي کمتر منجر به عمق تأثیر هايي در محدوده 3 تا 5 متر مي شوند. (16)



شکل (17)



شکل (18)

■ پیشینه

این روش از صدها سال پیش به طرق مختلف جهت بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک انجام می پذیرفت ، اما اصول این روش بصورت علمی اولین بار در سال 1971 توسط لویی منارد پایه ریزی شد. از آن سال تاکنون محققین و متخصصین بسیاری بر روی اجرای این روش مطالعه نموده (6)

در قرن بیستم و در حدود سال 1940 از این روش برای يك فرودگاهی در چین و ناحیه بندري در دوبرلین و در سال 1955 در يك مخزن نفت در آفریقای جنوبی استفاده گردید. به هر حال اختراع جرتقیل های چرخ زنجیری بزرگ در نیمه دوم قرن بیستم موجب گردید که روش تراکم دینامیکی به شکل فعلی آن در ابتدا در سال 1971 در فرانسه و سپس در سال 1973 در انگلستان و در سال 1975 در آمریکای شمالی مورد استفاده قرار بگیرد. به گفته لوکاس تا سال 1995 حدود 500 پروژه تراکم دینامیکی در آمریکا انجام گردیده که اغلب برای مقاصد تجاری بوده اند. تعداد واقعی

این پروژه ها ممکن است بسیار بیشتر از این مقدار باشد چرا که بسیاری از پروژه ها در مراجع گزارش نشده اند. (16)

اهداف عملیات تراکم دینامیکی :

اصولا کاربرد این روش در زمینه ایی است که لایه سست و نشست پذیر کلي خاك داراي عمق زيادي بوده و امکان جابجايي و تعويض خاك برآحتي مقدور نباشد و يا اينكه از لحاظ اقتصادي مقرون به صرفه نباشد . بر اساس گزارش لوکاس (1995) تراکم دینامیکی در انواع خاك هاي ضعيف و سست کارايي خوب و قابل قبولي از خود نشان داده است . این خاك ها را مي توان بصورت زیر دسته بندي کرد:

- 1-خاك هاي سست و طبيعي از قبيل خاكريزهاي هيدروليكي
- 2-توده هاي خاك قديمي و جديد مدفن هاي زباله
- 3-خاك هاي باقيمانده از معادن
- 4-رس هاي غير اشباع كه بالاتر از سطح آب زير زميني واقع هستند وساختار هاي زمين شناسي اي كه خلل و فرج در آنها به سطح زمين نزديك است.
- 5-ماسه هاي شل و اشباع و سيلت ها جهت کاهش احتمال روان گرايي (7)

تراکم دینامیکی در این خاک ها باعث :

افزایش دانسیته خاک به منظور افزایش ظرفیت باربری.

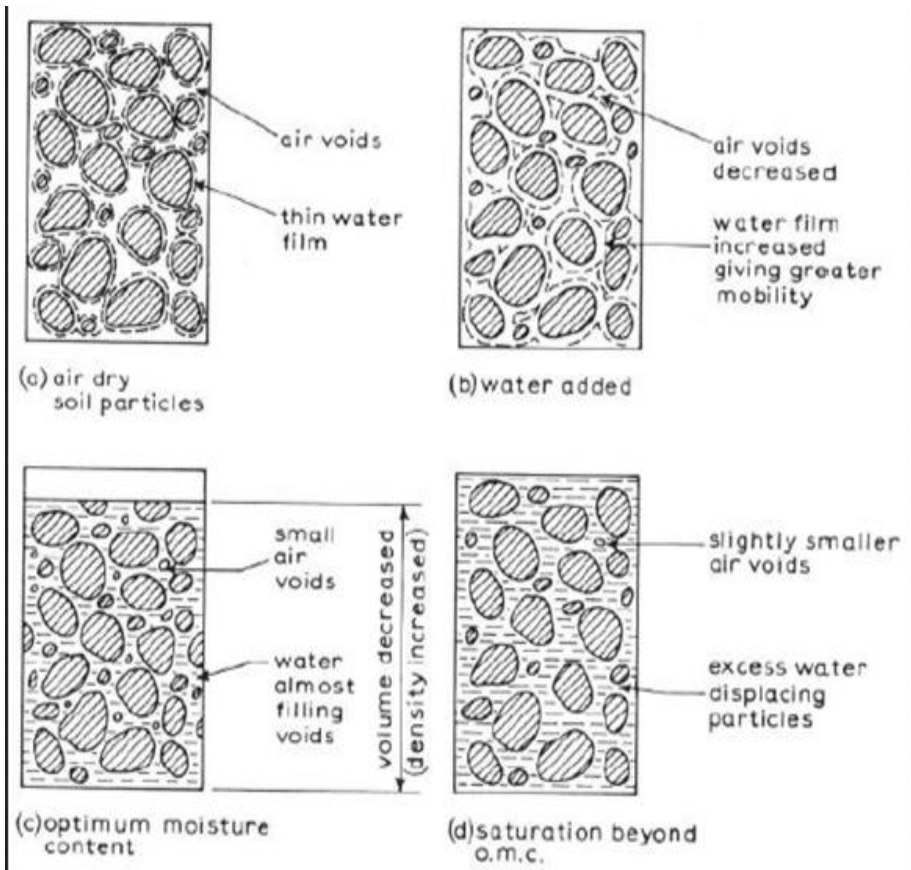
کاهش نشست در هنگام ارتعاش.

کاهش پتانسیل روانگرایی.

همگن نمودن دانسیته خاک به منظور جلوگیری از نشستهای ناهمگن.

بهبود خاکهای اشباع که در طبقه بندی ماسه های رس دارولای دارقرار دارند. (16)

اصول کلی تراکم خاک:



شکل (19)

روشهای تراکم دینامیکی :

تراکم شدید دینامیکی : روش کار عبارتست از رها کردن وزنه های سنگین بر سطح خاک سست و تراکم پذیری تا مشخصات مکانیکی خاک بهبود یابد در این روش عموماً از وزنه های 10 تا 25 تن که از ارتفاع 15 تا 25 متری رها می شوند، برای بهسازی خاک استفاده می شوند در ادبیات فنی عموماً از این روش با نام کلی تراکم دینامیکی مشخص می شود. (2)

تراکم دینامیکی سریع (Rapid Compaction) : همواره لازم نیست که خاک در اعماق زیادی بهبود یابد برای مثال وقتی که خاک شامل لایه ای از خاک سست به ضخامت چند متر است و یا وقتی که افزایش کوچکی در ظرفیت باربری بدون توجه نشست مورد نیاز است .

تراکم دینامیکی با انرژی کم یا تراکم تکراری روشی سریع ، اقتصادی و موثر در اصلاح ویژگی های مکانیک خاک سست است . RIC شامل یک چکش شمع کوب هیدرولیکی نصب شده بر روی دستگاه حفاری است که به یک صفحه دایره ای قرار گرفته بر روی خاک ضربه وارد می کند . چکش 7.5 تنی به صورت هیدرولیکی تا ارتفاع ماکزیم 1.2 متری بالا رفته و سپس به صورت سقوط آزاد می افتد که در نتیجه آن ایجاد ماکزیم انرژی به ازای هر ضربه به اندازه 30 ton-m می باشد . به طور متداول چکش در هر دقیقه حدود 30 الی 40 ضربه به صفحه وارد می کند و عموماً 10 الی 30 ضربه برای تراکم محل به کار گرفته می شود. (7)

این روش در متراکم کردن زمین تا اعماق 3 تا 4 متر موثر است.

بسته به شرایط خاص خاک ، امروزه از روش های دیگر تراکم دینامیکی استفاده می شوند :

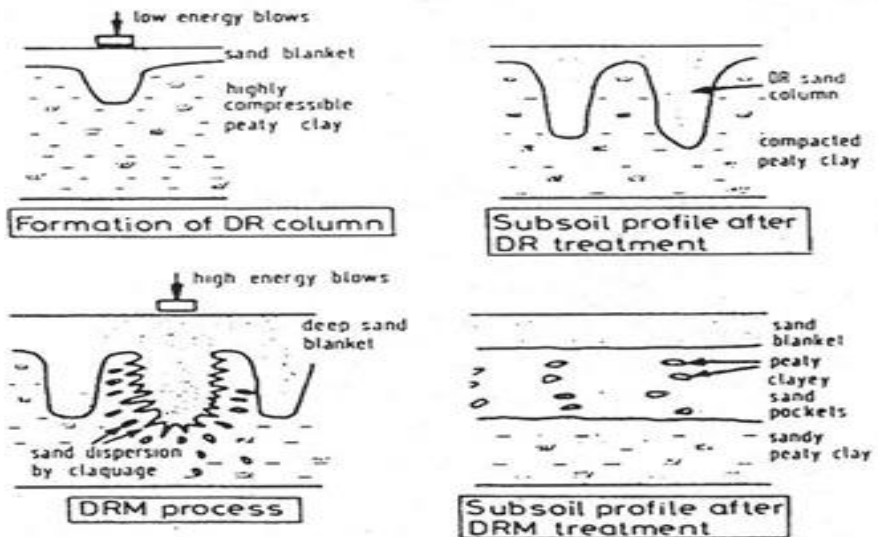
Dynamic Replacement (Dr): روش جایگزینی دینامیکی ، در این روش به کمک تکرار سقوط کوبه های سنگین ، ستون های شنی از مصالح دانه ای که قبلاً بر روی محوطه ریخته شد است به داخل خاک نرم رانده می شود . بوجود آمدن ستونهای شنی وضعیت زهکشی محل را اصلاح می نماید و این ستونها به مانند زهکش عمل می کنند و تحکیم خاکهای واقع در بین

ستونهای شنی سریعتر رخ داده و در نتیجه رفتار مکانیکی خاکها در بین ستونهای شنی سریعتر اصلاح می شوند . بخاطر مقاومت برشی زیاد ستون های شنی و نیز بخاطر رفتار ترکیبی ستونهای شنی و خاکهای بین آنها ، ظرفیت باربری خاک منطقه افزایش قابل توجهی پیدا می کند.

: Dynamic Replace and Mixing (Drm)

این روش مکمل روش Dr است و بعد از پایان آن انجام می پذیرد . این روش در خاک های رس بسیار سست و ریزدانه اشباع اجرا می شود . روش کار به این ترتیب است که بعد از روش Dr ضرباتی با سطح انرژی زیاد که به بالای ستونهای ماسه ای اعمال می گردد و باعث می شود تا ذرات ماسه همانند حالت انفجاری به داخل رس اطراف ستون رانده شوند . پس از اتمام عملیات ، خاکی با لایه بندی های متفاوت حاصل می گردد که عبارتست از لایه ماسه سطحی سپس یک لایه بصورت مخلوطی از ماسه رسی که در آن رس بصورت توده های کوچک وجود دارد و لایه سوم مخلوط همگنی از ماسه و رس می باشد، لایه بندی ایجاد شده در شکل زیر نشان داده شده است.

(8)



DRM و DR مکانسم تراکم خاک به روش (شکل 20)

روش های تراکم دینامیکی به صورت زیر خلاصه می شوند :

روش محدود :

در این روش یک جسم تا ارتفاع معینی بالابرده می شود و به سطح خاک ضربه میزند ، سطح مورد نظر توسط دیوارهایی محصور شده است ؛ معمولاً در این روش ضربه ها تمام سطح زمین را پوشش می دهد.



شکل (21)

نیمه محدود و نامحدود :

در این روش تنها در نقاط مشخصی که در الگو طراحی می شود ضربه زده می شود. البته در این روش به خاطر نوع دستگاهها از نظر ارتفاع سقوط وزنه و خود وزنه محدودیت کمتری وجود دارد .



شکل (22)

روش های ترکیبی و تکمیلی تراکم دینامیکی :

با توجه به هزینه نسبتاً " ناچیز اجرای روش ابرتراکم در بهسازی زمین میتوان با یاری گرفتن از برخی دیگر از روشهای بهسازی زمین میزان بازده عملیات ابرتراکم را باز هم افزایش داد . منظور از میزان بازده عملیات ، افزایش عمق تأثیر تنش های موثر، افزایش مقدار نشست تحمیل شده به سطح زمین، کاهش مدت زمان انجام مجموعه عملیات، و در نهایت افزایش ظرفیت باربری خاک می باشد که در زیر به این روش ها اشاره می شود.

زهکشی و پائین بردن سطح سفره آب زیر زمینی

با استفاده از روش زهکشی و پائین بردن سطح سفره آب زیر زمینی منطقه قبل از انجام عملیات تراکم می توان با هزینه ای بسیار ناچیز بهسازی خاک ناشی از انجام عملیات تراکم را به میزان قابل توجهی افزایش داد . این عمل با حفر چندین حلقه چاه، فیلترگذاری در درون آنها و پمپاژ همزمان از درون آنها صورت می گیرد.

استفاده از روش پمپاژ از درون لوله های مکنده بدلیل کوتاهتر شدن مسیر زهکشی و بهره گیری از خاصیت ناهمسانی در نفوذپذیری خاک در بسیاری از موارد نتایج مطلوب تری را به همراه دارد . در این روش لوله ها که دارای قطر تقریبی پنج سانتیمتر می باشند با فاصله ای در حدود پنج متر از یکدیگر با روش ضربه ای (کوبیدن) ، جاگذاری در محل های از پیش حفاری شده، یا با روش شستشویی و با بهره گیری از فشار آب در محل استقرار می یابند . چند متر پایینی این لوله ها سورخدار یا شیاردار است تا آب بتواند به درون لوله راه یابد ولی بخش فوقانی لوله ها بدون منفذ می باشد تا در هنگام انجام عمل پمپاژ از ورود هوا به داخل لوله ها و کاهش بازده عملیات پرهیز شود . هر یک از این لوله ها در انتهای فوقانی بوسیله اتصالات آب بند و مناسب به لوله های شبکه سطحی مرتبط می شوند که این لوله های سطحی خود به منبع پمپاژ متصل می گردند.

پائین رفتن سطح سفره آب زیر زمینی باعث حذف خاصیت غوطه وری و نیروی ارشمیدس شده و تنش مؤثر وارد بر خاک را افزایش می دهد و این افزایش تنش خطی می باشد . اثر آن در سطح اولیه سفره آب زیر زمینی صفر بوده و در رقوم های پائین تر بتدریج اثر افزایش می یابد و در پائین ترین رقوم یعنی سطح جدید سفره آب زیر زمینی میزان تأثیر به حداکثر مقدار می رسد . نقطه ضعف این روش در این است که کمترین میزان تأثیر آن در رقوم فوقانی و بیشترین میزان تأثیر آن در رقوم تحتانی است . مثلاً "اگر سطح سفره آب زیر زمینی به اندازه 5 متر پائین رود میزان افزایش تنش در سطح جدید سفره آب زیر زمینی حدوداً اینچاه کیلو پاسکال یا معادل با سربار 3 متر خاک خواهد بود . بدین ترتیب توزیع تنش در خاک مغایر با شکل توزیع تنش ناشی از وجود پی سازه هاست که در آنها بیشترین تنش وارد بر خاک در رقوم فوقانی و در سطح زیرین پی بوده و با افزایش عمق میزان تأثیر سربار پی کاهش می یابد.

با توجه به چگونگی توزیع تنش در خاک در نتیجه پایین بردن سطح سفره آب زیرزمینی و اجرای روش ابرتراکم ملاحظه می گردد که این دو روش مکمل یکدیگر بوده و چگونگی پخشایش تنش ها در اثر اجرای همزمان این دو روش (تراکم و پائین بردن سطح سفره آب زیر زمینی) بسیار مناسب بوده و تراکم مناسبی را به خاک تحمیل خواهد نمود . بدین ترتیب عمق تأثیر تنشهای مؤثر به مقادیر قابل توجهی افزایش می یابد.

مکش و ایجاد خلاء در خاکها

حد اکثر بازده هر شبکه از لوله های مکنده افت 6 متر در سطح سفره آب زیرزمینی می باشد و در صورت افزایش دبی پمپاژ به دلیل کاهش فشار در داخل شبکه، در عوض آب بخار آب از لوله ها خارج میشود . با افزایش دبی پمپاژ از لوله های مکنده و ایجاد مکش و خلاء نسبی و بوجود آمدن گرادیان هیدرولیکی، آب به میزان بیشتری جذب لوله ها شده و درجه اشباع خاک کاهش می یابد .

در صورتی که میزان مکش درون چاه ها به حدود نیم اتمسفر برسد فشار حاصل معادل با تنش ناشی از سه متر سربار خاک در سطح زمین می باشد و عمق تأثیر مکش نیز عملاً " برابر و یا بیش از طول لوله های مکنده خواهد بود . با صرف نظر کردن از یک متر لایه سطحی خاک منطقه، میزان تأثیر ایجاد مکش در خاکها نسبت به عمق تقریباً "ثابت می باشد.

نصب زهکشهای نواری مرکب(فتیله های زهکش)

فتیله های زهکش از جمله مصنوعاتی می باشند که از ترکیب لایه های ژئوتکستایل و ژئوگرید بوجود می آیند . تهیه و نصب زهکشهای نواری مرکب بسیار کم هزینه و سریع بوده و نصب آنها بدلیل کوتاه شدن مسیر زهکشی و بهره گیری از نفوذ پذیری افقی خاک کمک بسیار بزرگی به زهکشی خاک و تسریع پدیده تحکیم می نماید.

استفاده از فتیله های مکنده (نوار های مکنده مرکب)

نوارهای مکنده مرکب همانند زهکش های نواری مرکب می باشند ولی در بخش فوقانی ، نوار زهکش به طول حدوداً 3 " متر توسط لایه های عایقی پوشانیده شده و از محیط اطراف عایق گردیده است . وسیله نصب این نوار مکنده مرکب دستگاههای معمولی نصب نوار زهکش (VDIM) می باشند . در هنگام ساخت ، دو طرف زهکش بوسیله صفحه نواری عایقی پوشیده شده است و قبل از نصب، این صفحات عایق از بخش انتهائی نوار مرکب جدا می شوند . روش دیگر عبارت از نصب لایه عایق در طولی از نوار زهکش است که درنهایت در رقوم های سطحی قرار می گیرد . پس از نصب این نوارهای مکنده مرکب، انتهای هر یک از آنها در سطح زمین توسط واسطه هایی به شبکه لوله های مکنده مرتبط می گردند.

بدین ترتیب با ایجاد زهکش و خلاء نسبی در خاک درجه اشباع خاک کاهش یافته و در هنگام برخورد کوبه ها به سطح زمین نیز این زهکش ها نقش هدایت و جذب آب منفذی و میان زره ای را

ایفا می نمایند . فاصله نصب این فنتیله های مکنده از یکدیگر حدوداً "در شبکه ای مربعی به ابعاد 8 تا 12 متر می باشد.

جایگزینی دینامیکی

در روش جایگزینی دینامیکی با پر کردن حفرة های بوجود آمده در اثر کوبش ضربات توسط مصالح دانه ای مناسب و اعمال ضربات متعدد دیگر بر سطح زمین در آن نقاط ، مصالح دانه ای تا چندمتر در داخل خاک نفوذ کرده و با خاک اولیه منطقه مخلوط می شوند.

بدین ترتیب لایه سطحی زمین با ضخامتی چند متری بصورت یک دال از مصالح دانه ای بوجود می آید که استحکام قابل توجهی به زمین جهت تحمل بارهای ناشی از پی می دهد. (9)

تجهیزات مورد استفاده برای تراکم دینامیکی :

در مهندسی عمران دستگاه های بسیاری برای انجام این کار وجود دارد. خیلی از این دستگاه ها به علت فقدان مشخصات دینامیکی مطلوب ، زیاد برای تراکم خاک مطلوب نیستند . حتی غلتک های ارتعاشی معمولی یا پاچه بزی نیز برای ما مطلوب نیستند چرا که نوع تراکم آنها بسیار متفاوت با روش تراکم دینامیکی است . در بین سایر دستگاه هایی که در این زمینه استفاده میشوند دستگاهی برای حالت تراکم محدود وجود ندارد . مثلاً بر فرض تراکم با يك دستگاه پنوماتيك و پرتوان که در يك ترنچ کار می کند می تواند به عنوان يك دستگاه نیمه محدود طبقه بندی شود . پس عموماً این کار با روش نامحدود انجام می شود .

: tamper

این دستگاه حتماً باید به يك موتور جداگانه بسته شود که کوبه به طور متناوب روی سطح خاک بالا و پایین برود که محل آن توسط اپراتور کنترل می شود . حدود 50 تا 150 کیلوگرم جرم وزنه

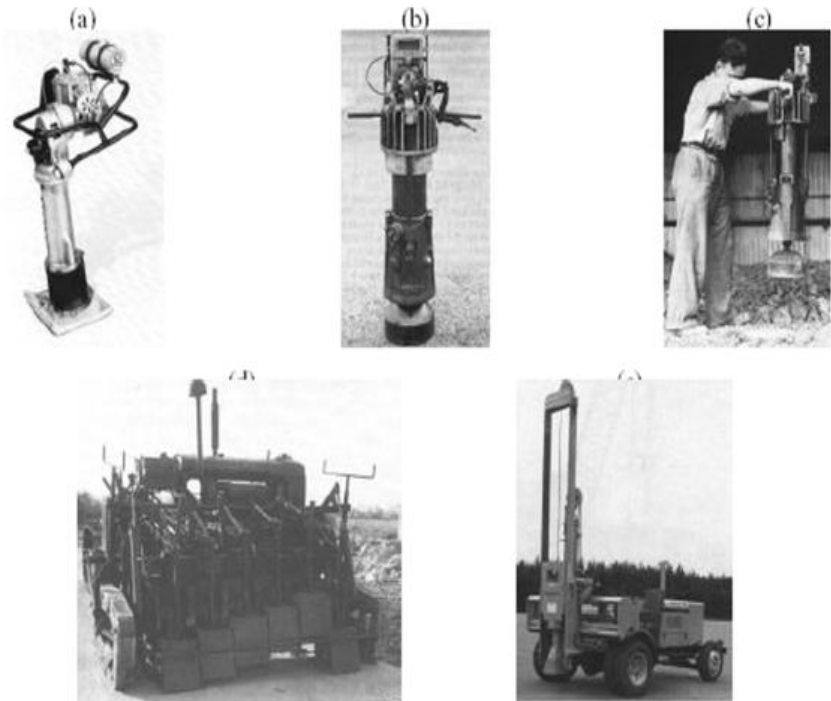
و 10 هرتز فرکانس ارتعاش است و دامنه ارتعاش با توجه به نوع ماشین می تواند بین 10 تا 80 میلیمتر متغیر باشد . شکل (23- a)

Power - rammer : در آن مخلوط کنترل شده ای از هوا و بنزین برای اعمال نیرو از سمت پیستون به زمین استفاده می شود . این باعث می شود که دستگاه پرس کند و خاک زیر خود را با پایین آمدن متراکم کند . در شکلهای (23-b,c) این دستگاه در حالات ثابت و حین کار نمایش داده شده است . به طور معمول جرمی در حدود 100 کیلوگرم با سطح مقطع دایره ای به قطر 250 میلیمتر دارد . این کوبه ها توسط انسان کنترل میشوند و معمولا حدود 300 تا 360 میلیمتر به هوا میپزند و هر ضربه تقریبا 315 تا 370 ژول بر ضربه به خاک وارد می کند . یعنی هر ضربه انرژی بر واحد سطح 6/3 تا 8/1 کیلوژول بر متر مربع وارد می کند . نوع بزرگتر این دستگاه **frog – rammer** نام دارد که حدود 600 کیلوگرم وزن دارد و قطر کف کوبه 750 میلیمتر است .

این ماشین در سطح جست و خیز می کند و خاک را با هر جهش متراکم می کند . نیز با هر جهش تا نیروی لازم که اپراتور باید به طور مستقیم وارد کند کم شود . اپراتور دستگاه را روشن کرده و در جهت مطلوب قرار میدهد و دستگاه در آن جهت جهش می کند . یک نوع جالب از این ماشین در هر ضربه 1835 ژول منتقل می کند و با 4/3 ژول انرژی مخصوص از سایر کوبه ها کوچکتر است .

Multi - dropping weight compactor : تصویر این ماشین در شکل (23-d) دیده می شود . این وسیله به کمک یک موتور دیگر یک کشیده می شود که خود آن برای تراکم ساده بوسیله عبور از روی سطح طراحی شده است . این دستگاه از 6 وزنه 200 کیلوگرمی چدنی تشکیل می شود که بالا و پایین میروند و به سطح خاک ضربه میزنند . هر وزنه 330 میلیمتر بلند می شود و در حدود 515 ژول در هر ضربه انرژی به خاک وارد میکند . سطح این کوبه ها 330*305 میلیمتر است و انرژی مخصوص آن در حدود 5/1 کیلوژول در متر مربع است .

Mobile dropping - weight compactor : این ماشین که به D500 نیز معروف است خود را به کمک ضربه زننده هیدرولیکی که در جلوی ماشین قرار دارد به جلو می برد . تصویر این ماشین در شکل e دیده می شود . این دستگاه می تواند impactor خود را در ارتفاعهای مختلف (حداکثر 2/2 متر) بالا ببرد . یک موتور دیزلی 36 کیلوواتی به کمک پمپ هیدرولیکی جرم 588 کیلوگرمی را تا ارتفاع مطلوب بالا میبرد که می تواند حداکثر انرژی 11167 ژول در هر ضربه را به خاک وارد کند و با سطح مقطع 305×305 میلیمتر می تواند انرژی مخصوص قابل ملاحظه ای در حدود 120 کیلوژول بر متر مربع داشته باشد که رقم بسیار بزرگی است .



شکل(23)

مراحل انجام عملیات تراکم دینامیکی :

عملیات تراکم دینامیکی در چندین فاز بر روی نقاطی که کل مساحت سایت را در بر می گیرد ، اجرا می شود.

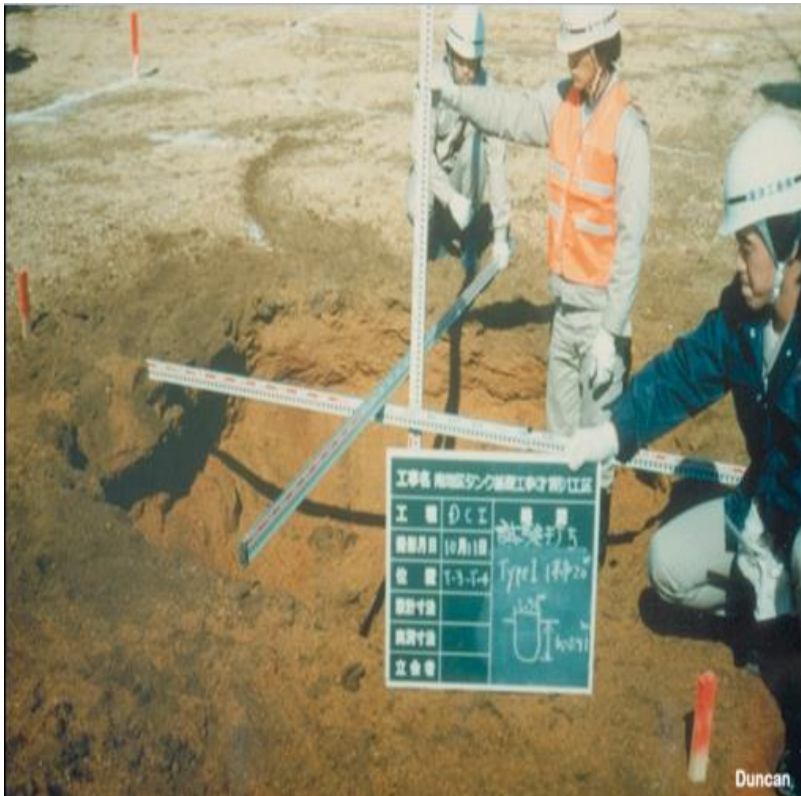
هر فاز، شامل چند مرحله می باشد. پس از انجام هر مرحله که شامل چند ضربه می باشد، چاله ایجاد شده در اثر سقوط وزنه با خاک دانه ای پر می شود.

این عملیات تا پایان فازهای تعیین شده ادامه می یابد.

در حین انجام عملیات کوبش ، عمق گودال های بوجود آمده را برداشت کرده و با بررسی آنها به پیشرفت عملیات کوبش و درستی طراحی پی می برند.



شکل (24)



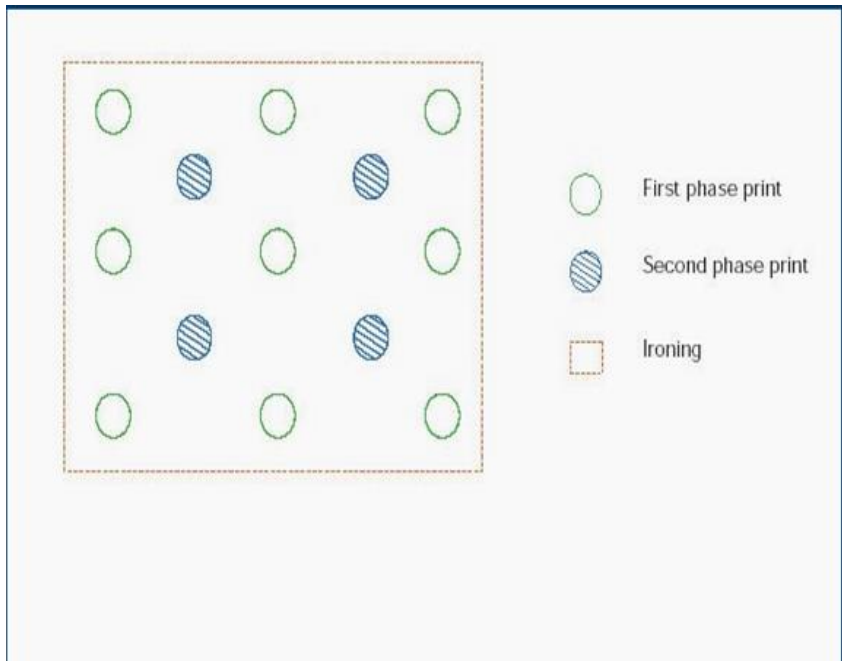
شکل (25)

فازهای عملیات تراکم دینامیکی :

قبل از شروع کار، یک لایه خاک دانه ای بر روی سایت ریخته می شود و وزنه محاسبه شده تا ارتفاع 30 متر بین 5 تا 10 بار انداخته می شود.

بعد از تکمیل مناطق مشخص شده در مرحله اول ، عمیق ترین لایه های خاک متراکم می شود.

در آخرین مرحله بعد از تکرار مداوم عملیات کوبش، لایه های سطحی نیز متراکم می شوند.



شکل (26)

پارامترهای مهم ژئوتکنیکی در تراکم دینامیکی :

مشخصات خاک

سطح آب زیرزمینی

دانسیته نسبی

درجه اشباع

نفوذ پذیری

طبقه بندی خاکها از لحاظ کارایی تراکم دینامیکی :

1- خاک های دانه ای : وقتی یک ضربه به خاک وارد می شود ، بطور ناگهانی توده سختی زیر جرم پرتابی تشکیل می شود هر چند اثر مفید اصلی در اعماق بیشتر و توسط امواج زمینی با انرژی زیاد حاصل می شود ، تراکم انرژی روی محور تقارن قائم بیشترین مقدار را دارد و با افزایش زاویه از این محور کم می شود. همچنین همینطور که موج نفوذ می کند، جبهه نیم کروی موج بزرگتر شده و تراکم انرژی بطور محسوسی کم می شود . در خاکهای دانه ای مانند ماسه ، شن و قلوه سنگ مکانیسم بهسازی خاک تحت این انرژی به سادگی قابل فهم می باشد. جابجایی ذرات نسبت به یکدیگر و تا حدی حرکات ارتعاش با فرکانس کوچک باعث کاهش نسبت تخلخل و بالا رفتن دانسیته نسبی خاک می شود که نتیجه آن افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست است.

میزان گسترش و میرایی موج فشاری ، ناحیه متراکم شده خاک را تعریف می کند . البته بخشی از انرژی امواج بوجود آمده در اثر ضربه در نتیجه فرایندهای غیر خطی در همسایگی نقطه برخورد هدر می رود و قسمتی نیز در روزنه که بر می گردد باقی می ماند هر چند تاکنون اطلاعاتی درباره سهم امواج فشاری برشی و ریلی تراکم دینامیکی موجود نیست ، ولی مطالعات Miller & purseley نشان دارند که برای پی های کم عمق با قاعده سطح در اثر ارتعاش پایدار دائمی سهم امواج ریلی ، فشاری و برشی در انتقال انرژی به ترتیب % 67 و % 27 و % 6 است.

2- خاک های چسبنده : تا پیش از اینکه پرتاب وزنه سنگین بر خاکهای رسی اشباع بطور موثر انجام شود، محققین تصور می کرد که تحکم رضایت بخش آن عملی نیست ولی مشاهدات نشان داده که این مواد بطور ناگهانی چندین سانتی متر نشست می کند . Menard برای اولین بار تئوری خود را درباره تحکیم دینامیکی مطرح کرد . وی آزمایشاتی با استفاده از دستگاه ادنومتر دینامیکی که خود مبدع آن بود، ترتیب داد . نتایج آزمایشات متعدد انجام شده باعث روشن شدن مکانیزم های درگیر در مساله تحکیم دینامیکی شد . Fournier نیز آزمایشاتی با ادنومتر دینامیکی انجام داد .

گزارش وي مکانیزم هاي درگیر را به این صورت خلاصه می کند. نشست آبی از بین رفتن سریع فشار آب حفره اي و بازپایی مقاومت تیکسوتروپی.

تحکیم دینامیکی نیز مانند تراکم دینامیکی با سقوط وزنه هاي سنگین از ارتفاع 15 تا 40 متر بر روی نقاط مشخص به دفعات معین صورت می گیرد. تفاوت آن با تراکم دینامیکی این است که در برنامه ریزی و طرح ارائه شده علاوه بر تعیین شبکه (فاصله نقاط کوبش) و تعداد فازها یا دفعات سقوط وزنه، فاصله زمانی بین فازها و سقوط هاي متوالی نیز باید بیان گردد این فاصله زمانی جهت از بین رفتن فشار آب منفذی ایجاد شده ناشی از ضربات قبلی و جلوگیری از افزایش بیش از حد آن در حین عملیات تحکیم لازم است Menard & Bruise برای درک هر چه بهتر مکانیزم هاي درگیر در تحکیم دینامیکی مطالعه فرایندهاي زیر ضروري دانسته اند.

-تراکم پذیری خاک هاي اشباع به سبب وجود حباب هاي ریز هوا:

معمولا خاکهاي ریز دانه اشباع وقتی در معرض بارگذاری سریع قرار می گیرند، غیر قابل تراکم در نظر گرفته می شوند مطابق تئوري ترزاقی تخلیه آب یک شرط لازم و کافی برای ایجاد نشست در تغییر حجم ها شمرده می شود ولی مشاهدات در طبیعت نشان می دهد که در لحظه برخورد کوبه با زمین همیشه در طبیعت نشست آبی بوجود می آید. تحقیقات بعدی نشان داد که در اکثر خاکهاي دوره کوارترنری مقداری گاز وجود دارد این گاز بصورت حباب هاي میکروسکوپی است و مقدار این حبابها بین 1 تا 4 درصد حجم خاک متغیر است به نظر می رسد که در اثر ضربه، حالت تعادل این حبابها از بین رفته و پس از رسیدن به حالت تعادل جدید باعث تراکم پذیری خاک می شوند بعنوان اولین تقریب می توان فرض کرد که تغییرات در حجم این حبابها گاز تحت قوانین Marriott & Henry عمل می کند.

گسترش تدریجی روانگرایی در اثر ضربات مکرر:

در اثر ضربات متوالی به توده خاک حبابهای موجود در خاک به تدریج فشرده می شود بطوری که درصد حجمی گاز موجود به سمت صفر میل می کند. در این حالت خاک بصورت یک توده تراکم ناپذیر واکنش نشان می دهد و پدیده روانگرایی رخ می دهد سطح انرژی لازم برای چنین شرایطی را سطح انرژی اشباع می گویند. در عمل اغلب پدیده روانگرایی در خاکها تدریجی است زیرا توده خاک از لایه هایی با خواص مختلف تشکیل شده است و قسمت های ماسه ای وسیلتی زودتر از لایه های رس دار به روانگرایی می رسند.

-تغییرات نفوذپذیری خاک بر اثر ایجاد شکافها:

در سایت هایی که توسط روش تحکیم دینامیکی ب هسازی شده غالباً کاهش اولیه و سریع فشار آب متقذی مشاهده می شود که با توجه به نفوذپذیری پایین اندازه گیری شده قبل از تحکیم دینامیکی ، توجیه پذیر نیم باشد هنگامی که خاکهای ماسه ای در معرض گرا دیان شدید هیدرولیکی قرار می گیرند ، نفوذپذیری خیلی بالایی از خود نشان می دهند این پدیده برای تمامی خاکها عمومیت دارد افزایش موضعی اندکی در فشار آب حفره ای باعث شکافتن و گسیختن بافت خاک در اطراف می شود و آب منفذی طریق ترکهای ایجاد شده جریان می یابد سقوط کوبه روی نقاط شبکه ای منظم باعث می شود این شکافها بصورت افقی و منظم در اطراف محل سقوط کوبه ایجاد شوند نظم موجود در نقاط کوبش باعث می شود که شکاف های محلی به کانال پیوسته در توده خاک تبدیل شوند . علاوه بر این به طور تجربی در آزمایشگاه مشاهده شده است که نفوذپذیری با کاهش تنش بین ذرات خاک افزایش می یابد ماکزیمم افزایش وقتی است که خاک روانگرا می شود در تحکیم دینامیکی نیز به علت بالا رفتن فشار حفره ای ، تنش موثر بین ذرات کاهش یافته و نفوذپذیری افزایش می یابد.

-بازیابی تیکسوتروپی:

به نظر می رسد که موجهای ناشی از ضربه آب جذب شده آزاد می سازد بنابراین سطح مقطع کانل های موئین گی افزایش می یابد پدیده عکس وقتی است که تیکسوتروپی رخ می دهد در حین عمل برخورد در دهله اول کاهش قابل ملاحظه ای در مقاومت برشی خاک ایجاد می شود کمترین مقاومت وقتی است که خاک روانگرا می شود یا به حالت روانگرایی نزدیک می شود وقتی فشار آب حفره ای زایل می شود، افزایش قابل توجه در مقاومت برشی و مدول تغییر شکل مشاهده می شود این به علت تماس نزدیک بین ذرات و بعلاوه و پایدار شدن لایه های جدید آب تشکیل شده داخل فاز به جامد است . این پدیده در تمامی خاکهایی ریز دانه بخصوص رس های حساس شناخته شده است.

3- خاک های محتوای ریز دانه با شرایط رطوبتی:

علی رغم مطالب عنوان شده در قسمت قبل ، بطور کلی هر چه یک توده خاک دانه ای حاوی مقدار بیشتری ریز دانه باشد از میزان بازدهی و کارایی تراکم دینامیکی در آن کاسته می شود . تجربیات نشان می دهد ، که افزایش ریز دانه بیش از 10 % میزان کارایی تراکم دینامیکی را کاهش می دهد . مطالعات Mitchell نشان می دهد که وقتی درصد رس بیشتر از 15 % است روش تراکم دینامیکی با پرتاب وزنه چندان موثر نیست زیرا نفوذپذیری برای مستهلک کردن فشار آب اضافی جفرا ای خیلی کم است. بعلاوه ساختار خاک به دلیل اندرکنش شدید ذرات آب و خاک به سختی قابل شکستن است . در انتخاب ویژگیهای تراکم دینامیکی برخی مشخصات خاک تاثیر عمده ای دارند از جمله می توان شرایط رطوبتی (درجه اشباع خاک) نفوذپذیری و طول مسیر زهکشی برای خاکهای اشباع را نام برد Lukas خاکها را بر اساس قابلیت بهسازی آنها به روش تراکم دینامیکی به سه گروه تقسیم کرده است که این تقسیم بندی براساس اندازه دانه ها صورت می گیرد: گروه 1- خاکهای نفوذ پذیر گروه 2- خاکهای نیمه نفوذ پذیر گروه 3- نفوذ ناپذیر

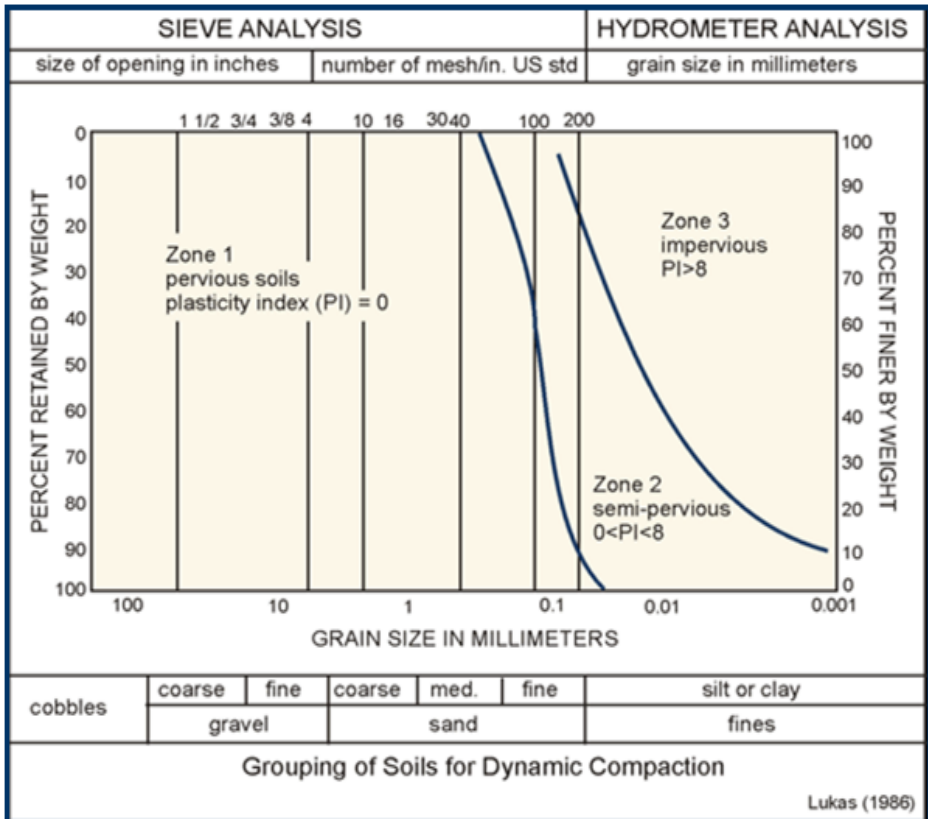
گروه 1: خاکها دارای نفوذپذیری زیاد و درجه اشباع بالا که شرایط زهکشی خوبی نیز دارند بهترین خاکها برای اجرای عملیات تراکم دینامیکی محسوب می شوند. وقتی انرژی ناشی از

برخورد کوبه با سطح به زمین منتقل می شود ، تراکم خاک با خروج هوا از خلل و فرج آغاز می شود . هوا بهتر از آب از خاک خارج می شود و این به دلیل لزجت کمتر آن است ، در صورت کم بودن درجه اشباع خاک (70 تا 95 درصد) یک جریان پیوسته هوا در میان خلل و فرج ایجاد می شود . در صورت بالاتر بودن درجه اشباع هوا بصورت حبابهایی درون آب قرار می گیرد که نتیجه آن رفتاري شبیه به خاک هاي اشباع است. در این گروه میزان نفوذپذيري (K) بزرگتر از $10e-3$ سانتیمتر بر ثانیه است . اندازه دانه ها از خرده سنگ تا ماسه تغییر می کند به عنوان مثال می توان براي این گروه از پسماندهاي جامد معدنی ، نخاله هاي ساختمانی ، برخی زباله هاي صنعتی مثل تفاله هاي و توده هاي تجزیه شده نام برد . تراکم دینامیکی براي تمام خاکهاي گروه 1 موثر است حتی در صورت اشباع بودن نیز به دلیل نفوذپذيري بالا و استهلاك سريع فشار آب حفره اي اضافی می توان از این روش براي تراکم خاکها بهره برد.

گروه 2: شامل خاکهایی با نفوذ پذيري بين $10e-6$ و $10e-3$ سانتی متر بر ثانیه است . این خاکها شامل سيلت ها و سيلت هاي ماسه دار و سيلت هاي رس دار با $PI < 8$ هستند . در این خاک ها در صورت نیمه اشباع بودن ، تراکم دینامیکی به آسانی انجام می شود البته استهلاك فشار آب حفره اي اضافی ممکن است چند روز به طول انجامد که مستلزم طراحی صحيح و دقيق برنامه تراکم دینامیکی است . به این معنا که بين فاز هاي تراکم دینامیکی فاصله زمانی در نظر گرفته می شود تا فرصت از بين رفتن فشار حفره اي به آن داده شود.

گروه 3: شامل خاکهایی تقریباً نفوذ ناپذیر هستند (با نفوذپذيري کمتر از $k=10e-6$) این خاک هاي رسی با خاک هاي داراي مقدار رس بیشتر از 25% هستند که شاخص خمیری (PI) در آنها از 8 بزرگتر است فشار آب اضافی ایجاد شده در این خاکها نیازمند زمان بسیار طولانی جهت استهلاك است که به شدت زمان پروژه را افزایش می دهد . این مدت با کوتاه شدن مسیر ها زهکشی کمتر می شود. در این خاکها فقط در صورت کمتر بودن درصد رطوبت از مقدار حد خميري تا حدودي می توان عملیات بهسازی با تراکم دینامیکی را انجام داد ، که این امر تا رسیدن توده خاک به حد اشباع در اثر تراکم دینامیکی پایانی دارد و در صورت رسیدن به این حالت حتی با افزایش انرژی هیچ تراکم اضافی در خاک ایجاد نمی شود.

طبق شکل زیر منطقه 1 بهترین ناحیه و منطقه 3 بدترین ناحیه برای این روش تراکم است. (2)



شکل (27)

همانطور که مشاهده می شود خاک به 3 دسته طبقه بندی شده است .

در بیشتر سایت هایی که خاک تحت تراکم قرار میگیرد، خاک مورد نظر از سطح اب زیر زمینی بالاتر است. از این رو خاکهایی برای ما مطلوبتر هستند که با داشتن نفوذ پذیری مناسب فشار آب حفره ای را مستهلک کنند.

ابرتراکم در خاک های رسی اشباع

در نخستین کاربرد های روش ابرتراکم تفکرات اولیه بر این استوار بود که در خاکهای رسی اشباع بدلیل نفوذ پذیری بسیار کم امکان زهکشی و تحکیم خاک در مدت زمان بسیار کوتاه وجود ندارد و بدیهیست روش ابرتراکم به ظاهر نمیتوانست نقش مؤثری در تحکیم و بهسازی اینگونه خاکها داشته باشد ولی بکارگیری این روش در خاکهای رسی و رس دار مرطوب که دارای نفوذ پذیری بسیار کمی بوده اند به خوبی نشان داد که در اینگونه خاکها نیز این روش بسیار مؤثرتر و مفیدتر از سایر روشهای بهسازی خاکهای سست می باشد. دلیل این پدیده به وجود همزمان مقادیر ناچیزی از حباب های ریز هوا و گازهای دیگر در بین مفاقد خاک به ظاهرا " اشباع و همچنین چسبندگی و اصطکاک خاک وابسته گردید. علاوه بر این در خاکهای اشباع تحت تأثیر قرار گرفتن حجم هایی بسیار بزرگ تر از توده خاک و همچنین وجود تنش های سه محوری ناشی از پدیده تشریح شده در قانون پاسکال بازده مهم و گسترده عملیات تحکیم خاک را موجب می شود.

برای شناخت بهتر چگونگی ایجاد پدیده تحکیم هنگام اجرای روش ابرتراکم در خاکهای رسی به ظاهر اشباع لازم است رفتار (رابطه تنش – کرنش) خاک در دو مقطع زمانی لحظه برخورد کوبه به سطح زمین، و زمان پس از برخورد کوبه به سطح زمین بررسی گردد.

لحظه برخورد کوبه به سطح زمین

منشاء تشکیل خاکهای رسی آبرفت، اعماق نسبتاً زیاد آبهای ساکن میباشد. خاک های درشت دانه در حین شسته شدن و حمل شدن توسط آب به دلیل سنگینی بیشتر در سرایشی های تند تر ته نشین شده و بجا می مانند ولی ذرات بسیار ریز خاک های رسی به علت شکل فیزیکی و سطح مخصوص ذرات در آب معلق و غوطه ور شده و تا اعماق بسیار زیاد آبهای ساکن بوسیله آب حمل می شوند و سپس ته نشین می شوند. به همین دلیل اینگونه خاک ها همیشه مرطوب و دارای

درصد رطوبت زیاد بود و علاوه بر این چون در زمان رسوب لایه ها، همواره مقادیری کم یا زیاد از مواد آلی موجود در آب با خاک مخلوط می شوند اینگونه خاک ها حاوی مقادیری از آهک و مواد آلی می باشند. وجود این ذرات و مواد آلی و پوسیدن تدریجی آنها موجب می شود که مقادیری هرچند ناچیز از حباب های ریز از گازهای متان و غیره... در داخل خاک محبوس باشد که این حبابهای ریز نمیتوانند تحت تنشهای ثقیلی از درون خاک خارج شوند. حجم این حبابهای گاز معمولاً کمتر از 2 درصد حجم خاک می باشد.

در هنگام برخورد کوبه به سطح زمین بدلیل افزایش بسیار زیاد تنش کل وارد شده بر خاک و افزایش فشار منفذی ناشی از آن، این حباب ها متراکم میشوند. حجم این حبابها بر اساس رابطه ماریوت (ثابت بودن حاصلضرب فشار در حجم یک گاز) کاهش می یابد و بدین ترتیب توده خاک متراکم می شود. حل شدن بخش کوچکی از گازها در داخل سیال منفذی در اثر افزایش فشار با توجه به قانون هانری (قانون حل شدن گازها در مایعات) موجب کاهش حجم حبابها شده و تراکم خاک را تسهیل می نماید.

زمان پس از برخورد کوبه به سطح زمین

مدت زمان بسیار کوتاهی پس از برخورد کوبه به سطح زمین کوبه متوقف شده و انرژی سرعتی و جنبشی کوبه از میان می رود. در چنین شرایطی بدلیل کاهش فشار منفذی، خاک متراکم شده باید مجدداً متورم شود و حجم حبابهای گاز بر اساس رابطه ماریوت و هانری مجدداً به حجم اولیه بازگردد ولی بدلیل تراکم موجود در خاک و چسبندگی تراکمی بوجود آمده و همچنین بدلیل وجود اصطکاک بین ذرات، تمامی کرنش تحمیل شده به خاک بازگشت پذیر نبوده و بخشی از این کرنش خمیری (پلاستیک) در توده خاک باقیمانده و وجود مقداری فشار منفذی در توده خاک را موجب می شود.

نکته قابل اهمیت در اینجا است که به دلیل درجه اشباع بالای خاک و با توجه به قانون پاسکال حجمی از خاک که تحت تاثیر انرژی حاصل از سقوط کوبه قرار می گیرد بسیار زیاده از هنگامی است که خاک نسبتاً خشک و درجه اشباع خاک بسیار پایین می باشد.

مجموعه عوامل یاد شده، تراکم و حرکت آب در درون توده ای عظیم از خاک را موجب می شوند که باگذشت زمان و زایل شدن فشار منفذی خروج آب از درون خاک و تحکیم خاک حاصل میگردد. (9)

طراحی عملیات تراکم دینامیکی :

ویژگی های فیزیکی کوبه :

وزن کوبه :

وزن کوبه معمولاً بین 5 تا 35 تن متغییر است . تأثیر افزایش وزن کوبه بر افزایش میزان بهبود خاک را می توان با تشریح تأثیر افزایش ممنوم بر افزایش کارایی انرژی انتقال یافته به زمین بیان کرد . برای یک انرژی مشخص در هر ضربه ، استفاده از وزنه سنگین تر و ارتفاع سقوط کمتر باعث افزایش ممنوم می شود . نتایج تجربی Takada & Oshima نشان داد که عمق ناحیه بهبود یافته معمولاً بین 10 تا 12 متر و شعاع این ناحیه عموماً بین 5 تا 7 متر است . بر پایه این اعداد ، جرم ناحیه متراکم شده از مرتبه 100 تن است که بزرگتر از اغلب کوبه هایی است که در پروژه های تراکم دینامیکی بکار می رود . حتی اگر قسمتی از این جرم در پروسه ضربه در هر لحظه شرکت کند . جرم معادل خاک با جرم کوبه قابل مقایسه است با ایده آل در نظر گرفتن جرم خاک معادل به عنوان جسمی که کوبه به آن برخورد می کند به آسانی مشخص می شود که اگر ممنوم ضربه بیشتر باشد، انرژی بیشتری به زمین منتقل می شود . بنابراین در یک سطح انرژی در هر ضربه مشخص ، افزایش ممنوم و در نتیجه بیشتر شدن کارایی عملیات خواهد شد.

تأثیر شکل کوبه:

به اعتقاد Vanimpe شکل (شعاع هیدرولیکی) کوبه نقش مهمی در تراکم دینامیکی خاک ایفا می کند، این عامل تاکنون بطور مشخصی بررسی نشده است . شکل عمومی کوبه در اکثر پروژه های تراکم دینامیکی استوانه ای با قاعده مسطح است Feng & Chen یک ایده جدید برای شکل وزنه ارائه دادند و این ایده نو را با کمک آزمایش های مدل متعددی بر روی دو نوع ماسه در حالت های خشک و اشباع مورد بررسی قرار دادند . در این آزمایش ها یک کوبه با قاعده مسطح و یک کوبه با قاعده مخروطی مورد استفاده قرار گرفت برش در سطح زمین می تواند با ضربه زدن به یک سطح شیب دار در سطح خاک بوجود آید . بنابراین با استفاده از کوبه مخروطی شکل می توان سهم

امواج برشی از انرژی کل اعمالی را افزایش داد. آزمایش های صورت گرفته با دو کوبه نشان داد که اگر چه بهتر شدن نتایج تراکم با کوبه مخروطی شکل بستگی به خصوصیات دانه بندی و رفتار تغییر حجم ماسه دارد ولی استفاده از این نوع کوبه ها بازده بهتر و یا حداقل برابر با استفاده از کوبه با قاعده مسطح دارد.

مساحت قاعده کوبه:

مشاهدات نشان می دهد که افزایش مساحت قاعده کوبه، شعاع ناحیه متراکم شده را افزایش می دهد. Yong با استفاده مدل یک بعدی خود، گزارش داد که عمق چاله ناحیه بهبود با افزایش مساحت قاعده کوبه کاهش می یابد و این موضوع را به توزیع بار ضربه به ناحیه با وسعت بیشتر نسبت داده بود اما مدل اجزاء محدود دو بعدی Gu & Lee حاکی از وجود مقدار بهینه برای مساحت قاعده کوبه با وزن مشخص بود که با آنچه Yong گزارش داد متناقض است در حقیقت اگر شعاع وزنه خیلی کوچک باشد، محصور شدگی افقی ستون خاک زیر محل برخورد کوبه فقط برای دوره نسبتاً کوتاهی باقی می ماند. بنابراین عمقی که انتشار موج یک بعدی در آن رخ می دهد محدود می شود آنچه مشخص گردید، که شعاع بهینه برای قاعده کوبه با افزایش انرژی و منتوم در ره ضربه افزایش می یابد همچنین تاثیر شعاع قاعده کوبه در نواحی که به محل نزدیک تر است، بیشتر می باشد زیرا این نواحی بیشترین تاثیر را از شرایط فشار یک بعدی داراست.

ارتفاع سقوط کوبه:

باید توجه داشت که مساله اهمیت منتوم با تجربیات گذشته که روابطی بین انرژی در هر مرتبه با عمق و درجه بهبود بیان می کند، تناقضی ندارد و انرژی اعمالی در عملیات تراکم دینامیکی همچنان کلیدی ترین پارامتر در تعیین میزان بهبود خواص خاک با این روش است بنابراین با افزایش ارتفاع سقوط کوبه و نتیجتاً افزایش سرعت ضربه و انرژی جنبشی اعمالی می توان میزان و عمق بهبود خاک را افزایش داد. بعلاوه در خاکها اشباع اگر سرعت ضربه بیشتر از سرعت موج انتقالی در خاک روانگر شده باشد، بازده انرژی افزایش می یابد از طرفی به علل گوناگون از

جمله اقتصادی و تکنیکی امروزه تمایل پیمانکاران به سمت افزایش ارتفاع سقوط کوبه است برای دانستیه اولیه یکسان ، می توان گفت هر چه ارتفاع سقوط بیشتر باشد، عمق گودال ایجاد شده بیشتر است و برای سقوط یکسان هر چه دانستیه اولیه افزایش یابد (تراکم پذیری کمتر شود) عمق گودال کمتر خواهد بود.

تعداد ضربات:

با افزایش تعداد ضربات سطح تنش در نقاط مختلف بزرگتر می شود و این به خاطر افزایش سختی خاک است سطح تنش در موج تنش تابعی از سرعت موج است که آن نیز خود تابعی از سختی خاک می باشد بنابراین با جلو رفتن پروسه تراکم ، سختی خاک افزایش می یابد و بنابراین افزایش در سطح تنش در یک مکان خاص با تعداد ضربات دیده می شود. ماکزیمم شتاب تاثیر ذرات خاک برای اولین ضربه خیلی کمتر از ضربات بعدی است زیرا در ابتدا خاک بسیار نرم تر است و بنابراین ضربه اول طولانی تر و با نیروی ماکزیمم کمتری همراه است شتاب ماکزیمم در ضربات دوم و سوم تقریباً مشابه است عمق اضافی عملیات بهبود خاک در ضربات متوالی بعدی به این علت است که زمان تماس کوتاهتر شده و انرژی کمتری در لایه های بالایی جذب می گردد هر چند تاثیر تعداد ضربات بر افزایش عمق تاثیر تدریجاً کمتر می شود . نتایج تحقیقات Mayneetal و Taakada & shima نشان می دهد که بیشتر نشست های ایجاد قبل از اولین بیست ضربه اتفاق می افتد باید دانست عملیات بهبود در خاکهای رسی در مقایسه با خاکهای دانه ای همیشه به تعداد ضربات بیشتری نیاز دارد .

عمق نفوذ کوبه:

عمق نفوذ کوبه تابعی از انرژی در واحد سطح و پروفیل مقاومت برشی خاک در عمق می باشد .
در روشی که توسط Gray Mullins (2000) ارائه گردیده انرژی ویژه ضربه ابر تراکم
(انرژی ضربه در واحد سطح) با مجموع سطح زیر منحنی CPT بین سطح و عمق موثر نفوذ
(Zp) مساوی قرار داده شده و سپس مقدار عمق نفوذ محاسبه می گردد .
-انرژی ویژه ضربه E بصورت انرژی ضربه در واحد سطح تعریف شده و توسط رابطه زیر
مشخص می گردد .

$$E = \eta * WH/A \quad (1)$$

در این رابطه :

$$\begin{aligned} E &= \text{انرژی ویژه ضربه} & \eta &= \text{ضریب کاهش انرژی پرتاب کوبه} & A &= \text{سطح تماس} \\ W &= \text{وزن کوبه} & H &= \text{ارتفاع سقوط کوبه} \end{aligned}$$

ضریب کاهش انرژی پرتاب کوبه برای به حساب آوردن مقدار انرژی از دست رفته در قلاب ،
طناب و قرقره اعمال می گردد. اگر انرژی ویژه ضربه مساوی کار انجام شده جهت غلبه کردن بر
مقاومت برشی خاک در حین نفوذ واحد سطح کوبه قرار داده شود ، مقدار عمق موثر نفوذ Zp و
عمق نفوذ کوبه محاسبه گردد .

انرژی لازم برای نفوذ کوبه باید بر مقاومت برشی خاک در ناحیه نفوذ کوبه در درون خاک و ناحیه گوه خاک فعال در زیر کوبه غلبه کند. با فرض اینکه مقاومت مخروط q_c در هر عمق نشان دهنده مقاومت برشی خاک در آن تراز باشد و همچنین با توجه به متغییر بود سطح مقطع عرضی گوه خاک فعال و امکان تغییر مقاومت مخروط در عمق گوه می توان انرژی و ویژه ضربه را بصورت انرژی های لازم برای غلبه بر مقاومت برشی خاک در دو ناحیه زیر قرار داد:

1- ناحیه نفوذ بوسیله سطح کامل کوبه A_p

2- ناحیه متاثر شده بوسیله سطح متغییر گوه گسیختگی A_z

با توجه به مطالب ذکر شده انرژی ویژه ضربه بصورت زیر می باشد.

$$E = \sum_0^{z_c} q_c dz + \sum_{z_c}^{z_{c+h}} q_c A_z / A_p dz + \epsilon \quad (۲)$$

در این رابطه:

Z_c = عمق نفوذ کوبه در درون خاک (شکل 28) ϵ = میزان خطا

اولین انتگرال انرژی مورد نیاز برای غلبه بر مقاومت برشی گودی به ازاء واحد سطح کوبه و دومین انتگرال مقدار انرژی مورد نیاز برای بسیج کردن مقاومت برشی در گوه خرابی به ازاء واحد سطح کوبه می باشد.

با فرض q_c ثابت در طول ارتفاع گوه مقدار Z_p توسط رابطه زیر تعیین می شود.

$$h = B/2 \operatorname{tg}(\psi + \phi/2) \quad (3)$$

$$Z_p = Z_c + h/2 \quad (4)$$

در این رابطه :

$$h = \text{ارتفاع گوه خاک (شکل ۲)} \quad B = \text{عرض پی} \quad \phi = \text{زاویه اصطکاک داخلی}$$

(8)

منطقه تراکمی ناشی از سقوط کوبه

این ناحیه بشکل دوکی شکل می باشد (شکل 28) که هر چقدر در عمق و در شعاع از محل ضربه دور می شود از مقدار درصد تراکم آن کاسته می شود.

ضربه کوبه نه تنها خواص خاک را مستقیماً در زیر کوبه بهبود می بخشد بلکه فضای اطراف آنرا نیز با یک مقدار کمتر بهبود می بخشد و این تاثیر با دور شدن از نقطه ضربه کاهش می یابد . بنابراین منطقی می باشد که بعد از یک فاصله معین از نقطه کوبش تاثیر بهبود خاک در نظر گرفته نشود .

شعاع فوقانی این منطقه دوکی شکل در حدود $3/5 D$ می باشد .

همانطور که بحث گردید تا شعاع $0/5 D$ از محل برخورد خواص بهبود یافته تراکمی خاک حداکثر بوده و از میزان تراکم تا شعاع $3/5 D$ کاسته می شود .

ضربات متوالی و بیش از حد در یک نقطه یا محل میزان تراکم در همان ناحیه تاثیر را افزایش می دهد و تاثیری در افزایش عمق موثر تراکم ندارد.

ماکزیم بهبود خاک تا ضخامتی بین یک تا دو سوم عمق موثر انجام می پذیرد ، بخصوص اگر یک توده محکمی مانند بستر سنگی در زیر لایه های خاک قرار گرفته باشد ، عمل بهبود بیشتر در نیمه پایینی رخ می دهد و دلیل آن عمدتاً بازگشت امواج انعکاسی از برخورد کوبه با زمین از روی همین لایه محکم می باشد.

ضربه کوبه نه تنها خواص خاک را مستقیماً در زیر کوبه بهبود می بخشد ، بلکه فضای اطراف آنرا با یک شدت کمتر نیز بهبود می بخشد و این تاثیر با دور شدن از نقطه ضربه کاهش می یابد . بنابراین منطقی می باشد که بعد از یک فاصله معین از نقطه کوبش تاثیر بهبود خاک در نظر گرفته نشود ، لذا با توجه به این موضوع اگر فواصل بین نقاط کوبش با شبکه کوبش بسیار گسترده در نظر گرفته شود ، فواصل ما بین نقاط کوبش همچنان غیر متراکم باقی خواهند ماند.

در تحقیقی که توسط Chow(1994) بر روی خاکهای دانه ای سست انجام پذیرفته است ، اثر ضربه در افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک در اطراف ضربه و نیز تاثیر فواصل نقاط کوبش در افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک در اطراف ضربه بویژه در مرکز و وسط کناره های یک شبکه مربعی با فواصل (S) مورد بررسی قرار گرفته . با استفاده از آزمایش نفوذ مخروط و با دانستن مقادیر qc و با استفاده از روابط تقریبی مایر هوف Meyerhof(1976) می توان زاویه اصطکاک داخلی خاک را تعیین نمود.

$$\phi = 29 + 2.5 * q_c^{-0.5} \quad (V)$$

در این رابطه واحد qc به مگاپاسکال (Mpa) می باشد . با استفاده از این موضوع افزایش زوایای داخلی خاک ($\Phi\Delta$) در فواصل مختلف ارزیابی می شود . در صورتیکه $\Phi\Delta_b$ افزایش اصطکاک داخلی در خاک زیر کوبه باشد نسبت $\Phi\Delta / \Phi\Delta_b$ تا فاصله $0.5 * D$ ثابت و پس از آن تا $3/5 * D$ به شدت کاهش می یابد و این بدین معناست که پس از این فاصله عمل تراکم صورت نمی گیرد .

با فرض اینکه این روش مستقل از عمق می باشد روابط زیر نسبت $\Phi\Delta / \Phi\Delta_b$ را بر حسب X/D بیان کرده است .

$$X/D < 0.5 \rightarrow \Delta\phi / \Delta\phi_0 = 1.0 \quad (8)$$

$$0.5 < X/D < 3.5 \rightarrow \Delta\phi / \Delta\phi_0 = 0.642 - 1.18 * \text{Log}(X/D) \quad (9)$$

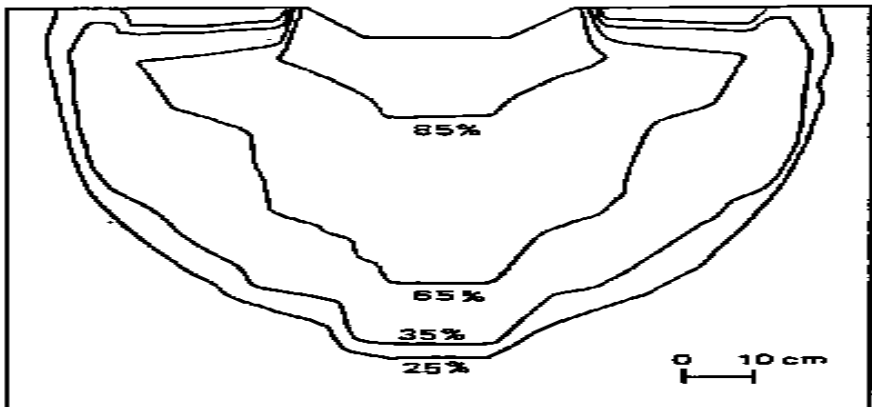
$$X/D > 3.5 \rightarrow \Delta\phi / \Delta\phi_0 = 0.0 \quad (10)$$

$\Phi\Delta$ = افزایش زاویه اصطکاک داخلی در نقطه ای یا فاصله X از محل برخورد ضربه

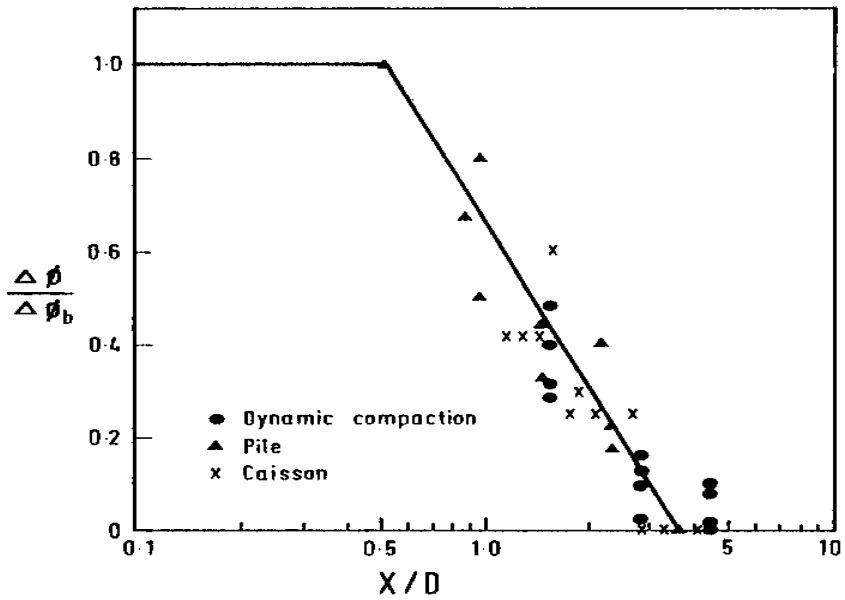
$\Phi\Delta_b$ = افزایش زاویه اصطکاک داخلی در محل برخورد ضربه

X = فاصله از محل برخورد ضربه

D = قطر کوبه یا قطر معادل آن



شکل (28) حجم دوکی شکل و منحنی های تراکم نسبی حاصل از برخورد کوبه با زمین



شکل - (29) بهبود خاک در اطراف محل برخورد کوبه با زمین

فضای بین شبکه :

فضای بین شبکه و یا به عبارتی فاصله بین نقاط کوبش در شبکه تراکم ، انرژی کل در یک سایت را تحت تاثیر قرار می دهد امروزه پارامتر های عملی تراکم دینامیکی مانند مشخصات کوبه ، ارتفاع سقوط تعداد ضربات در هر پاس و فضای بین شبکه بر پایه تجربیات طراح به همراه آزمایشات کمی صحرایی تعیین می گردد . فاصله بین نقاط کوبش در شبکه اولیه معمولاً حداقل برابر ضخامت لایه تراکم پذیر است و انتخاب انرژی و فاصله نادرست باعث بوجود آمدن محدوده ای از خاک متراکم در لایه های میانی می شود و متراکم کردن بین 3 تا 8 متر انتخاب می شود (2).

در تحقیقی که توسط Chow(1994) بر روی یک شبکه مربعی با فواصل S صورت گرفته مشخص شده است که برای مقاصد طراحی لازم است دو نقطه بحرانی بیشتر مورد توجه قرار گیرند ، نقطه مرکزی بین هر چهار نقطه کوبش (مرکز شبکه) و نقطه میانی بین دو نقطه کوبش ، تاثیر فواصل نقاط کوبش جهت بهبود خاک در این دو نقطه بحرانی به صورت نسبت $\Delta\phi/\Delta\phi_b$ در شکل (32) شده است . بایستی توجه کرد که در این تحلیل فرض شده است نسبت افزایش زاویه اصطکاک مستقل از عمق می باشد . دیگر آنکه وقتی فواصل نقاط کوبش خیلی بهم نزدیک باشد تاثیر ضربات در نقاط کوبش هموار بسیار روشن و واضح است و بایستی در نظر گرفته شود.

برای مقاصد طراحی تاثیر فواصل نقاط کوبش در نقطه مرکزی بین هر چهار نقطه کوبش (مرکز شبکه) بوسیله روابط زیر دیده شده است.

$$S/D < 2.1 \rightarrow \Delta\phi_c/\Delta\phi_b = 1.0 \quad (11)$$

$$2.1 < S/D < 5.5 \rightarrow \Delta\phi_c/\Delta\phi_b = 1.6 - 0.29 * (S/D) \quad (12)$$

$\Delta\phi_c$ = افزایش زاویه اصطکاک داخلی در نقطه مرکزی چهار نقطه کوبش ،

$\Delta\phi_b$ = افزایش زاویه اصطکاک داخلی در محل برخورد ضربه ،

S = فاصله مرکز به مرکز دو ضربه مجاور ،

$D =$ قطر کوبه یا قطر معادل آن ،

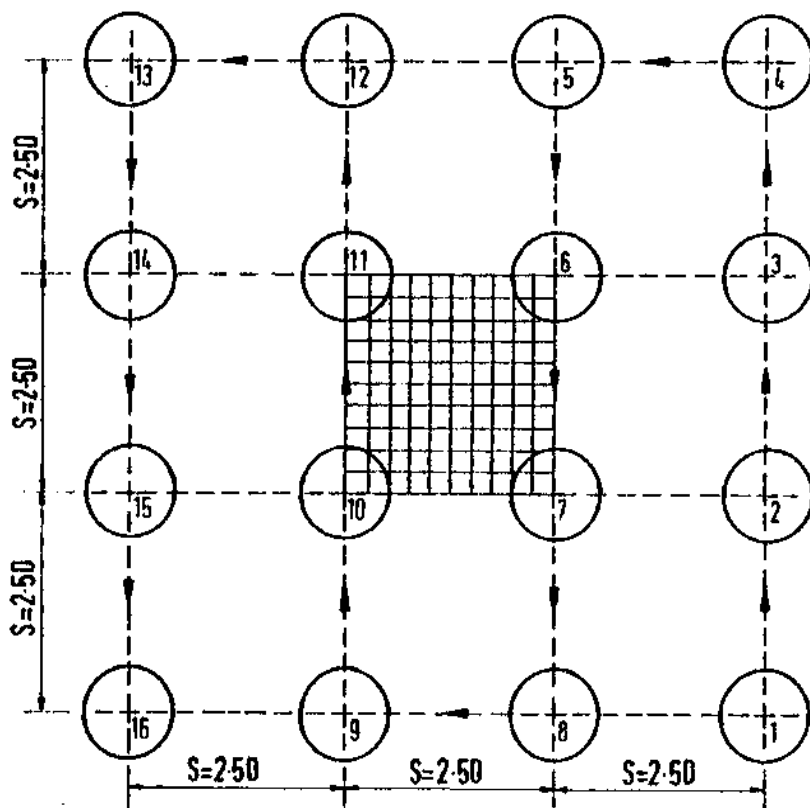
همچنین تاثیر فواصل نقاط کوبش در نقطه میانی بین هر دو نقطه کوبش توسط روابط زیر دیده شده است:

$$S/D < 2,1 \rightarrow \Delta\phi_m / \Delta\phi_b = 1,0 \quad (13)$$

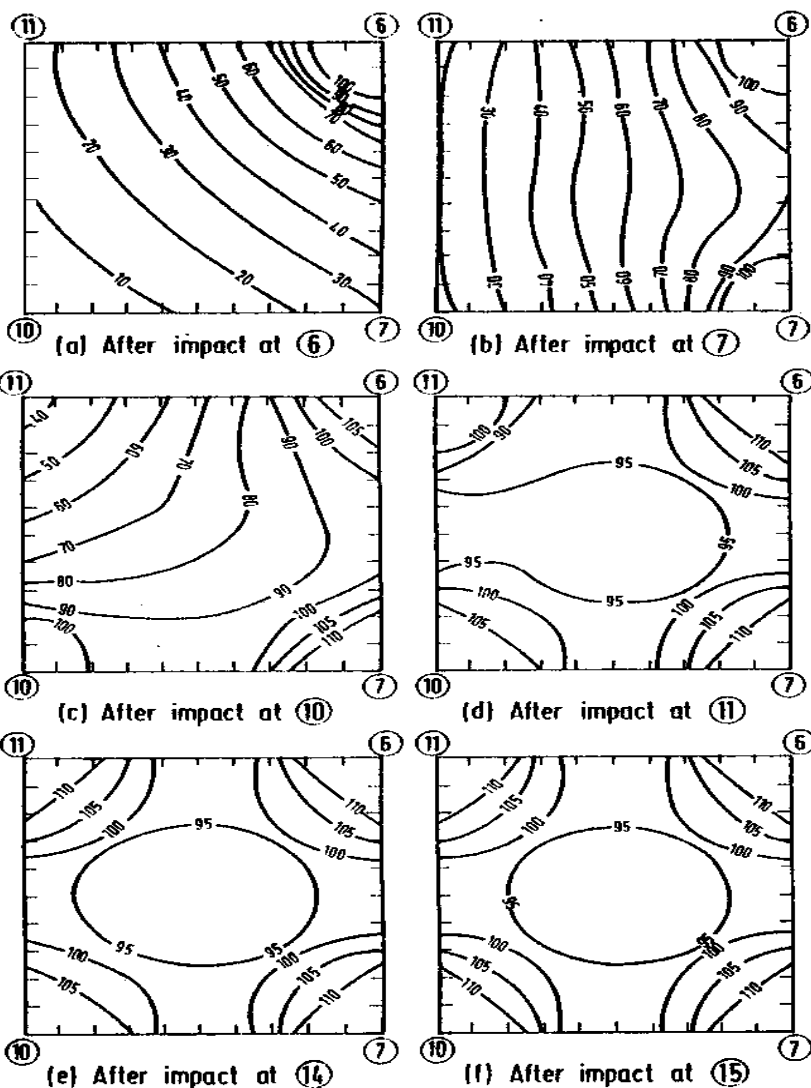
$$2,1 < S/D < 6,5 \rightarrow \Delta\phi_m / \Delta\phi_b = 1,49 - 0,23 * (S/D) \quad (14)$$

$\Delta\phi_m =$ افزایش زاویه اصطکاک داخلی در نقطه میانی بین هر دو نقطه کوبش

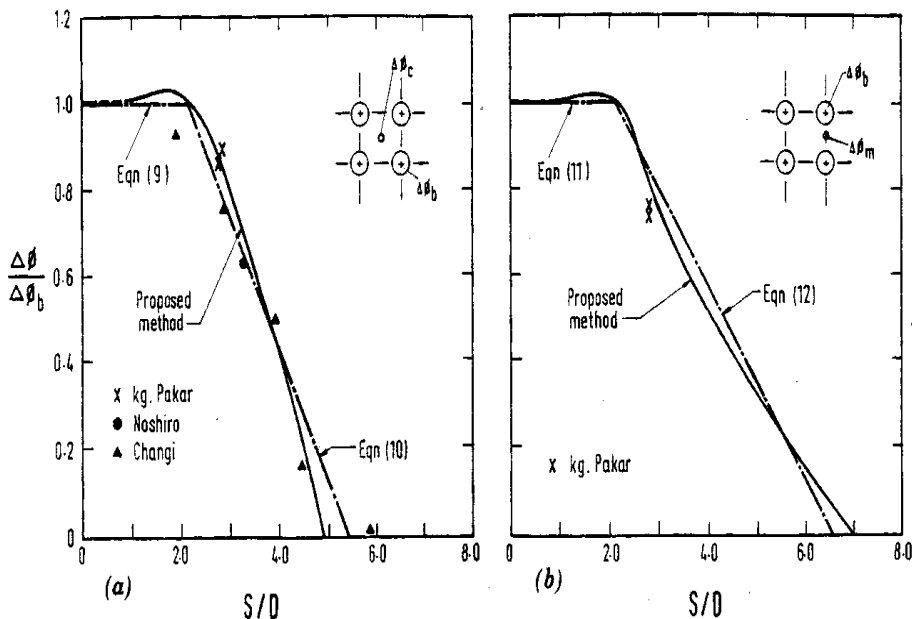
روابط ارائه شده فوق جهت مقاصد طراحی به صورت نمودار در شکل (33) نشان داده شده است. بهینه فاصله نقاط کوبش یعنی حالتی که هم $\Delta\phi_m / \Delta\phi_b$ و هم $\Delta\phi_c / \Delta\phi_b$ برابر 100% باشد وقتی است که نسبت به S/D برابر 2.1 باشد. در حالی که فواصل S چهار برابر قطر کوبه در نظر گرفته شود هر یک از نقاط شبکه تاثیری در بهبود نقاط همجوار خود نخواهد داشت. (چون نسبت S/D بزرگتر از 3.5 می باشد.) ولی در این حالت نقاط مرکز شبکه و میان کناره های شبکه شدیداً متاثر از ضربات در نقاط همجوار بوده و حداکثر نسبت زاویه اصطکاک داخلی $\Delta\phi_b / \Delta\phi$ در این نقاط بین 40 تا 50 درصد تغییر می کند. حال اگر فرض شود که فواصل کوبش 2.5 برابر قطر قطر کوبه می باشد تاثیر هر نقطه کوبش تا نقاط مجاور نیز می رسد و حداکثر نسبت زاویه اصطکاک داخلی در نقاط شبکه تا 110 درصد تغییر می کند. (شکل های 30 و 31)



شکل (30) شبکه کوبش با فواصل 2.5D



شکل (31) - خطوط تراز مقادیر $\Delta\phi$ / $\Delta\phi_0$ (%) برای شبکه $S/D = 2.5$



شکل (32) منحنی های طراحی برای تعیین فواصل نقاط کوبش

عمق بهبود خاک :

گزارش هایی مبنی بر موفقیت عملیات تراکم دینامیکی در بسیاری از پروژه ها موجود است برای نمونه می توان به گزارش های (Chow (1994)، Leonard (1981)، Broise and Menard اشاره کرد . کارایی تراکم دینامیکی می تواند بر حسب گسترش ناحیه تاثیر در جهت افق و یا قائم مطرح شود یکی از مهمترین پارامتر هایی که در پروژه های تراکم دینامیکی برای بیان میزان بهبود زمین مطرح می شود ، عمق تاثیر (DI) تراکم دینامیکی می باشد این عمق به بیانی حداکثر ضخامت لایه ای است که با این روش متراکم می گردد از آنجایی که بهبود خاک تابعی از لرزش ذرات آن است ، پخش و میرا شدن امواج فشاری ، ناحیه خاک متراکم شده را مشخص می کند .

Berment & Selby : عمقی از زمین را که لرزش در آن نفوذ می کند تا وقتی که ماکزیمم شتاب قائم ذره از 2g تجاوز کند، معرف ناحیه بهبود خاک نامیده اند .

Oshima & Takada: عمق بهبود را عمقی از زمین دانسته اند که در آن افزایش تراکم نسبی از 5% تجاوز کند . از آنجا که انرژی اعمال یکی از عوامل مهم در طراحی عملیات می باشد ، مطالعات تجربی فراوانی توسط محققین مختلف برای تخمین عمق تاثیر با توجه به میزان انرژی اعمالی انجام گرفته است.

برای مثال (1975) Menard برای عمق تاثیر رابطه زیر را پیشنهاد کرده است : $DI = \sqrt{WH}$ که در رابطه فوق W وزن کوبه بر حسب تن و H ارتفاع سقوط کوبه بر حسب متر می باشد . Loonards پیشنهاد کرد که از یک ضریب 0.5 در طرف راست معادله استفاده شود تا نتایج تطابق بیشتری با اندازه گیری ها داشته باشد .

Mayneetal گزارش داد که این ضریب می توان بین 0.3 و 0.8 باشد سپس Lu kas اعلام کرد که این ضریب می تواند برای لایه های دانه ای نفوذ پذیر بین 0.5 تا 0.6 باشد بازه ضرایب پیشنهادی نشان می دهد که علاوه بر انرژی در هر ضربه عوامل دیگری نیز در عمق تاثیر موثر هستند بعضی از این عوامل عبارتند از :

1- مکانیسم سقوط کوبه از جرتقلیل

2- بزرگی انرژی کل بکار رفته

3- نوع خاک و نحوه لایه بندی خاک تحت تراکم

4- حضور لایه های جذب کننده انرژی بین لایه های خاک

5- حضور لایه های سخت زیر یا روی لایه های سست تحت تراکم

6- فشار تماس بین کوبه و سطح زمین بنابراین معادله بصورت زیر اصلاح گردید:

Mayneetal نشان داد که برای بعضی سایت ها ضریب n می تواند به بزرگی

واحد باشد . (1986) Lu kas همچنین اشاره کرد که کوبش در چند ضربه در یک مکان نامیزان تراکم این ناحیه را بهبودمی بخشد ، ولی عمق تاثیر افزایش نخواهد داد. او همچنین مقادیر پیشنهادی خود برای ضریب n را در جدولی خلاصه کرد .

با بهره گیری از مقادیر این جدول تخمین قابل قبولی از عمق تراکم (عمق تاثیر) بدست می آید، اما برخی عوامل مانند آنچه که در ادامه تشریح می شود ممکن است این اولیه را تحت تاثیر قرار دهند. کوبه باید سطح صاف و صیقلی داشته باشد چرا که فشار تمامی برابر نیرو تقسیم بر سطح کوبه است. برای بهره گیری از این جداول، میزان این وارد / فشار باید بین 800 تا 1550 پوند بر فوت مبلغ (40 تا 77.5 کیلو پاسکال) متغیر باشد که در صورت تجاوز از این مقدار، کوبه بصورت برش سوراخ شده وارد خاک می شود و تراکم کمتری در لایه های زیرین ایجاد می کند بطور کلی فشار تمامی کم برای تراکم لایه های فوقانی مناسب تر است. لایه های رس اشباع تمایل به جذب انرژی دارند بنابراین در صورت وجود لایه های رس ضخیم و سست در زیر محل کوبش و یا نزدیک آن، امکان تراکم بهینه لایه های زیر کمتر می شود. در مقابل لایه های سخت یا سیمانته شده نیز تمایل به توزیع انرژی برخورد در یک سطح وسیعتر دارند این امر منجر به از بین رفتن مقداری از انرژی ناشی از برخورد می گردد همچنین وجود یک لایه سخت درست زیر لایه های سست قابل تراکم، باعث برگشت دوباره مقداری انرژی در تراکم بهتر لایه ها می شود Luongo یک سری روابط خطی تجربی برای بدست آوردن عمق تاثیر بر پایه اطلاعات موجود از 30 سایت مختلف ارائه نمود:

$$DI = K_1 + K_2(W.H)$$

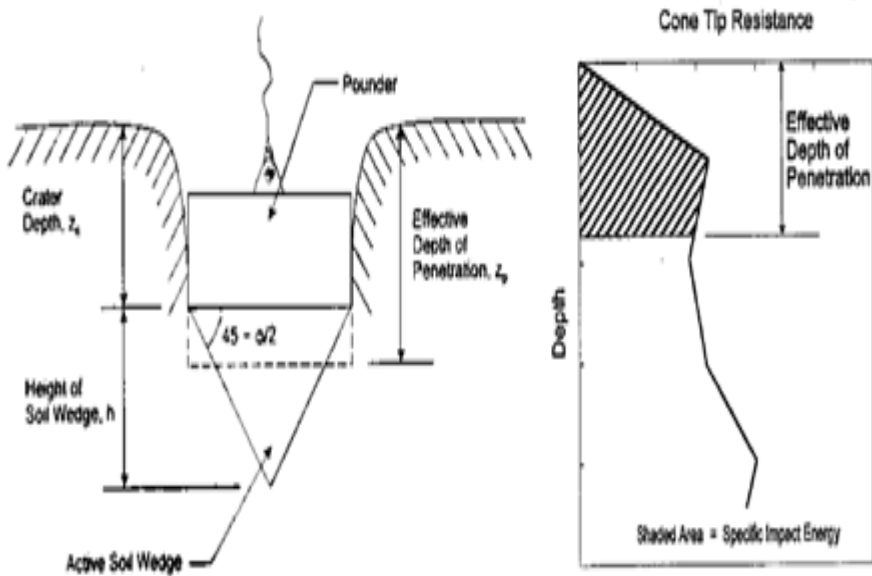
که K_1 و K_2 به ترتیب ثابت عمق و ثابت انرژی نام دارد برای معادلات عمومی، او بازه K_2 را بین 0.009 و 0.016 تعیین کرد آنها همچنین درجه بهبود خاک را بصورت زیر تعریف نمودند.

$$\eta_{EM} = \frac{E_m(\text{after treatment})}{E_m(\text{before treatment})}$$

$$\eta_{pl} = \frac{E_l(\text{after treatment})}{E_l(\text{before treatment})}$$

که E_m مدول پرسیمتر و PL فشار حدی پرسیمتر است .

روش دیگری Van & Derouck برای بیان درجه بهبود خاک در تراکم دینامیکی با پرتاب وزنه ارائه کردند، بیان درجه بهبود خاک بر حسب نسبت مساحت‌های زیر منحنی های CPT برای مقاومت مخروطی به عنوان یک خاصیت متغییر خاک در عمق است باید دانست درجه بهبود خاک در عمقی از زمین به تام عمق بحرانی به ماکزیمم خود می رسد و سپس با افزایش عمق کم می شود تا در عمق تاثیر خواص خاک بدون تغییر باقی بماند یک مرور کلی برای داده های قابل دسترس نشان می دهد که عمق بحرانی نصف عمق تاثیر ماکزیمم است.



شکل (33) انرژی ویژه ضربه ، عمق موثر نفوذ

در حالت کلی ضریب تجربی به موارد زیر بستگی دارد :

- بازده سیستم پرتاب وزنه

- انرژی بکار رفته جهت بهسازی

- نوع خاک تحت بهسازی

- فشار ضربه کوبه در هنگام برخورد به سطح خاک

- درجه اشباع بالا و یا سطح آب زیر زمینی میزان n را در حدود 0/1 کاهش می دهد .
- کمترین عمق موثر در مورد خاکهای نفوذ نا پذیر مانند خاکهای رسی و بیشترین عمق در مورد خاکهای نفوذ پذیر می باشد

- هر چقدر خاک ضعیفتر و مقاومت برشی آن کمتر باشد عمق موثر بزرگتر می باشد.
- هر چقدر وزن کوبه و ارتفاع زیاد شود عمق موثر افزایش می یابد ، به تعبیری عمق موثر با انرژی وارده بر خاک نسبت مستقیم دارد.

- یکی از فاکتورهای مهمی که در مقدار عمق موثر مهم می باشد ولی در فرمول فوق مورد توجه قرار نگرفته است قطر کوبه می باشد . در رابطه دیگری که برای تعیین میزان عمق بهبود یافته در خاک های رس دار توسط چارلز و همکارانش (CHARLS ET AL (1981) ارائه شده است است ریشه دوم قطر کوبه با عمق موثر نسبت مستقیم دارد .

در این رابطه :

$$D=0.4\sqrt{(E_d B / A_p C_u)}$$

که در این رابطه :

B: قطر کوبه

E_d/A_p : انرژی کل ضربه در واحد سطح

C_u : مقاومت زهکشی نشده

همانطور که در فرمول ارائه شده دیده می شود عمق موثر در خاکهای رس دار با ریشه دوم مقاومت زهکشی نشده خاک نسبت عکس دارد. (8)

مقادیر پیشنهادی محققین مختلف برای ضریب تجربی α بر حسب نوع مصالح

نام محققین	ضریب α	مصالح
Bjølgerud & Haug (1983)	۱/۰	توده سنگریز
Smoltczyk (1983)	۰/۵	خاکها با ساختار ناپایدار
	۰/۶۷	ماسه سیلت دار
	۱/۰	ماسه
Qian (1985)	۰/۶۵	ماسه ریز
	۰/۶۰	رس نرم
	۰/۵۰	لس
Lutengeer (1986)	۰/۴	لس
Van Impe (1989)	۰/۶۵	ماسه سیلت دار
	۰/۵۰	ماسه رس دار
	۰/۳۵	زیاله شهری
Rollins & Kim (1994)	۰/۴	خاک رَمینده
Faisal et al. (1997)	۰/۳۳-۰/۳۹	زیاله شهری
Yee et al. (1998)	۰/۵	ماسه آهکی / ماسه مرجانی

ارتعاشات امواج ایجاد شده ناشی از برخوردکوبه به سطح زمین هنگام برخورد کوبه باسطح زمین ارتعاشات از طریق زمین درتمام جهات منتشر می شوند . ارتعاشات انتقالی درنزدیکی سطح زمین ودرامتدادآن ممکن است تا فواصل زیادی انتقال یابند وسازه های مجاورناحیه عملیاتی راتحت تاثیربرخورد قراردهند .بزرگی ارتعاشات وفاصله ای که آنها طی می کنند با افزایش انرژی برخورد افزایش می یابد.تحقیقات زیادی روی این ارتعاشات انجام شده وثابت شده است که خرابی سازه های مجاوروآسیب های وارده به ساکنان آنها به سرعت ذرات خاک وتغییرمکان وشتاب آنها بستگی دارد .

بنابراین سرعت بیشینه ذرات (PPV) پارامتری است که برای بیان وبررسی بزرگی وکمیت اثرات ایجادشده توسط ارتعاشات استفاده می گردد . موردانتظار PPV ناشی ازتراکم دینامیکی بادیپیش ازانجام عملیات درموقعیتهایی که احتمال خرابی سازه های مجاور و یا ناراحتی ساکنین آنها وجود دارد تخمین زده شود .معادله تجربی زیرجهت ارائه تخمینی محافظه کارانه ازاین سرعت بیشینه می تواند مورد استفاده قرارگیرد (ماین وهمکاران 1984)

$$PPV \leq 70 \left(\frac{\sqrt{WH}}{d} \right)^{1.4} \quad (1)$$

که در آن W وزن کوبه برحسب تن ، H ارتفاع سقوط برحسب متر و d فاصله افقی تا محل ضربه به متر می باشد.با افزایش تعداد ضربات سرعت ذرات در مجاورت ناحیه مورد تراکم افزایش می یابد که ناشی از افزایش دانسیته مصالح می باشد. (7)

بر اثر برخورد کوبه به زمین انرژی جنبشی کوبه تبدیل به امواج طولی و عرضی می گردد.بخشی از این انرژی بصورت امواج حجمی به داخل خاک نفوذ کرده و بقیه آن تبدیل به امواج سطحی می گردد که در فصل مشترک هوا و خاک منتشر می گردد . امواج سطحی به دو دسته امواج ریله (Reileigh) و امواج لاولو (Love) تقسیم می شوند سرعت این امواج از امواج حجمی کمتر بوده وتغییر مکان ناشی از این امواج با نفوذ به داخل خاک کاهش می پذیرد.(6)

1. امواج حجمی شامل موجهای S و P می باشند .

موج P: یک موج منبسط شونده و در فاز مایع خاک منتقل می شود ، تولید امواج فشاری می نماید که موجب افزایش و سپس کاهش فشار آب حفره ای شده و نتیجتاً جابجائی و لغزش ذرات خاک را به همراه دارد.

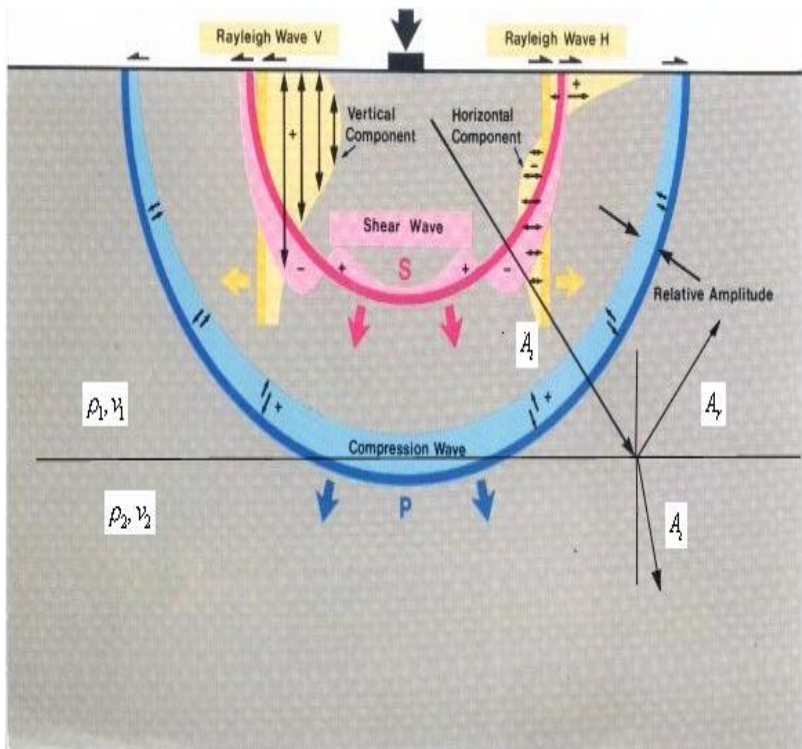
موج S : که بنام موج ثانویه نیز معروف است این موج از موج P آهسته تر حرکت کرده و از میان اسکلت جامد خاک عبور می کند با جابجائی ذرات اسکلت خاک را با نظمی جدید فشرده تر می نماید.

2. امواج سطحی یا ریلی : این امواج موازی با سطح زمین حرکت نموده و اثری شبیه به امواج S را دارند ، اصولاً موج های S و P در عمل تراکم نقش اساسی دارند و امواج ریلی که از سطح زمین عبور میکنند از اهمیت کمتری برخوردارند. (2)

از آنجا که آب درون خاک دارای تلاش برشی صفر می باشد امواج برشی که بخش اعظم انرژی موج حجمی را تشکیل می دهند نمیتوانند در داخل آب نفوذ نمایند و تنها از طریق ذرات جامد خاک منتقل می شوند . در صورتیکه فشار آب حفره ای در نتیجه عملیات ابر تراکم بحدی افزایش یابد که تنش موثر بین دانه ای معادل صفر گردد و پدیده روان گرایی بوجود آید خاک بصورت مایع در آمده و توانایی انتقال امواج برشی را از دست می دهد در این حالت امواج برشی نمیتوانند به داخل حجم خاک نفوذ کرده و بازده روش ابر تراکم بشدت پایین می آید در صورت بروز این پدیده لازم است تا محو آثار روانگرایی و کاهش فشار آب حفره ای عملیات متوقف گردد.

اکنون به بررسی نحوه انتشار امواج به درون خاک می پردازیم . در صورتیکه لایه خاک سست بر روی لایه ای از سنگ بستر و یا خاک متراکم قرار گیرد امواج حجمی منتشره ناشی از برخورد کوبه به زمین با نفوذ به درون خاک به سنگ بستر برخورد می کنند بخشی از انرژی این امواج به داخل لایه نفوذ کرده و بخشی دیگر منعکس شده و مجدداً " صرف تراکم لایه سست می گردند .

حین برگشت امواج در صورت بروز پدیده تداخل در نقاطی از لایه سست انرژی جذب شده افزایش پیدا کرده و موجب تراکم بیشتر لایه می گردد . شکل شماره (34) نحوه انتشار این امواج را نشان می دهد.



شکل شماره: (34) انتشار امواج در درون خاک

اگر A_t , A_r , A_i به ترتیب به ترتیب دامنه امواج اولیه ، منعکسه و منتشره بوده و v_1 , v , ρ_1 , ρ_2 و k به ترتیب وزن مخصوص و سرعت موج در لایه سست و سنگ بستر باشند در این صورت نسبت امپدانس موج به صورت رابطه (1) تعریف می شود

با تعریف نسبت امپدانس می توان رابطه بین دامنه امواج را بشرح زیر بدست آورد..

$$\alpha = \frac{\rho_1 \cdot v_1}{\rho_2 \cdot v_2} \quad (1)$$

با تعریف نسبت امپدانس می توان رابطه بین دامنه امواج را بشرح زیر بدست آورد..

$$A_i = \frac{2}{1+\alpha} A_r \quad (3) \quad A_r = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} A_i \quad (2)$$

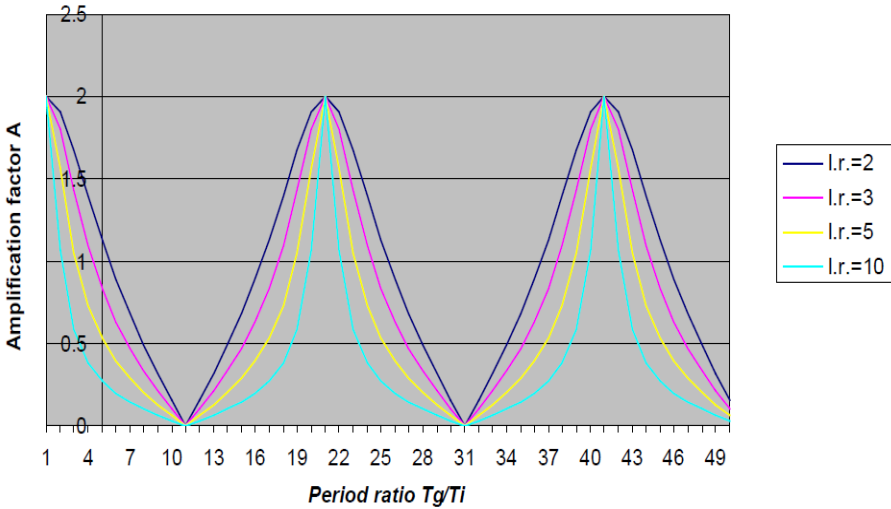
حال اگر Ti پریود موج ناشی از برخورد کوبه به زمین و Tg پریود طبیعی خاک سست باشد دامنه موج در عمق Z از رابطه زیر بدست می آید:

$$A_{(z)} = \frac{2.A_i \cdot \cos \left[\frac{\pi T_g}{2 T_i} \left(1 - \frac{z'}{h} \right) \right]}{\sqrt{\cos^2 \left(\frac{\pi T_g}{2 T_i} \right) + \alpha^2 \sin^2 \left(\frac{\pi T_g}{2 T_i} \right)}} \quad (4)$$

شکل شماره (35) تغییرات افزایش دامنه $\frac{A}{A_i}$ را نسبت به $\frac{T_g}{T_i}$ در روی سنگ بستر نشان می دهد .

ملاحظه می شود کد در این عمق میتوان افزایش دامنه ارتعاش به میزان دو برابر دامنه موج اولیه را شاهد بود.

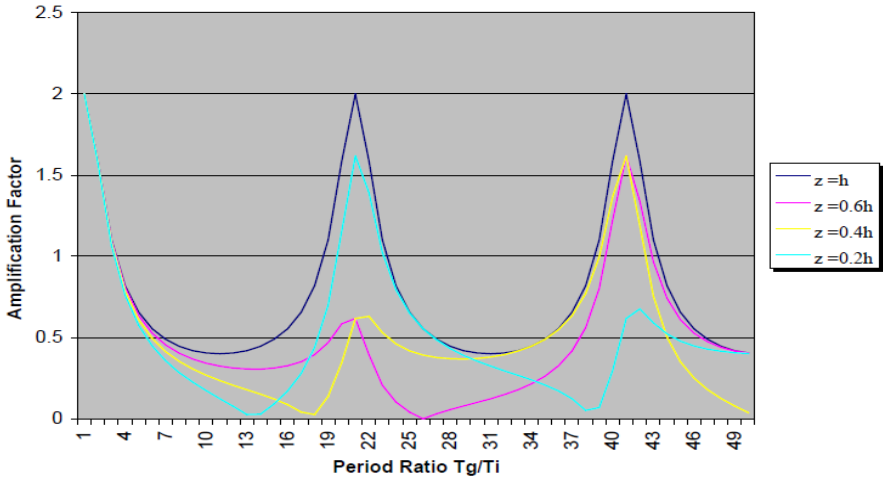
Effect of Impedance ratio



شکل شماره (35) تغییرات دامنه امواج نسبت به پریود موج منتشره

اکنون اگر مقدار نسبت امپدانس را برابر 5 فرض کنیم و مجدداً " تغییرات نسبت دامنه $\frac{A}{A_i}$ را نسبت به $\frac{T_g}{T_i}$ و برای اعماق مختلف خاک ر سم نماییم منحنی های شکل شماره 36 بدست می آید بررسی این منحنی ها نشان میدهد در نتیجه بروز پدیده تشدید (رزونانس) دامنه امواج ارتعاشی می تواند با ارائه یک برنامه صحیح اجرای عملیات ابر تراکم تا حد 70 الی 80 درصد افزایش یابد.

Resonance Phenomenon



شماره : (36) تغییرات دامنه امواج نسبت به عمق برای یک نسبت امپدانس مشخص از این پدیده می توان با ایجاد تشدید (رزونانس) در امواج به نحو احسن در افزایش تراکم بیشتر در عمق مشخصی از لایه سست استفاده نمود. (6)

مدل های کامپیوتری تراکم دینامیکی

بر اساس تحقیقات بعمل آمده از سوی (Poran and rodriguez (1991) ضربات تکراری ابر تراکم را می توان به دو طریق مدل نمود .

روش اول این است که با بکارگیری اطلاعات ثبت شده از شتاب (از اطلاعات تجربی) به عنوان تاریخچه بار وارده بر ترکیب پیوسته خاک و کوبه موضوع حل شود و در روش دوم با استفاده از فرمولاسیون عددی برای محاسبه اندرکنش ضربه کوبه به سطح خاک با سرعت اولیه ای که معین است این کار صورت می پذیرد.

در ظاهر هر دو روش می توانند به عنوان روشی برای مدل کردن مطلوب و مناسب باشند ، اما بکارگیری اطلاعات ثبت شده شتاب یا بار مشکل محاسبات را به مراتب ساده تر و کمتر از وقتی

می کند که اندرکنش واقعی در نظر باشد. از طرف دیگر، اطلاعات شتاب ثبت شده عموماً در دسترس نمی باشد و این خود به عنوان یک محدودیت بزرگ برای این روش محسوب می شود. این روش وقتی خوب نتیجه می دهد که روابط بین شتاب زمانی ضربه و انرژی جنبشی ضربه و مشخصات خاک بر اساس اطلاعات تجربی موجود باشد.

به همین جهت برای اغلب مسائل ضربه که در آن اطلاعات ثبت شده ای برای شتاب موجود نمی باشد، ناچاراً بایست از روش تحلیلی برای محاسبات اندرکنش ضربه استفاده کرد. نتایج این روش کاملاً بستگی به سختی خاک دارد که می بایست دقیقاً با روابط اساسی و ضروری مدل شود و واضح است که تکیه این روش فقط متمرکز بر محاسبات می باشد.

محدودیت های کاربرد روش ابرتراکم با توجه به مشخصات خاک ها:

در کاربرد روش ابر تراکم عوامل گوناگونی موجب محدودیت می شوند که از جمله آنها می توان موارد زیر را نام برد:

1- محدودیتهای ژئوتکنیکی،

2- عوامل اقتصادی،

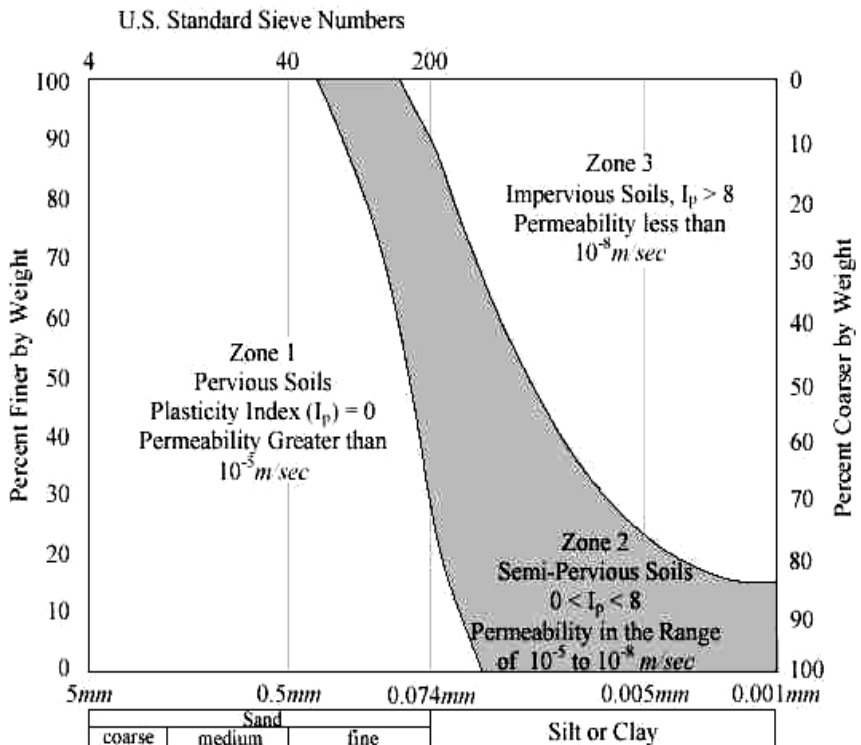
3- عوامل سازه ای،

4- عوامل زیست محیطی،

1- محدودیتهای ژئوتکنیکی: روش ابرتراکم برای خاکهایی که از نظر دانه بندی در رده ماسه، سیلت و رسها قرار دارند مناسب می باشد، بویژه این روش در مورد ماسه های سست کارایی بسیار مناسبی از خود نشان می دهد. در مواجه با تراز سفره آب زیر زمینی و نفوذ پذیری خاک هر چه سطح سفره آب زیر زمینی پایینتر و نفوذ پذیری خاک بالاتر باشد کارایی این روش بیشتر و سرعت بهبود مشخصات مکانیکی سریعتر می باشد. یکی دیگر از پارامترهایی که در تعیین محدودیت کاربرد روش ابر تراکم در خاکهای ریزدانه از اهمیت ویژه ای برخوردار است، نشان خمیری (PI) می باشد. در مواردی که خاک ریز دانه $PI < 8$ می باشد روش ابر تراکم در هر دو حالت اشباع و غیر اشباع مناسب است ولی در مواردی که $PI < 20$ و $PI > 8$ می باشد و در شرایطی

که درصد رطوبت مصالح خاک ریز دانه بیش از حد خمیری آن باشد اجرای روش ابر تراکم به صورت ساده و بدون تمهیدات خاص توصیه نمی گردد . همچنین در مورد خاکهای ریزدانه ای که $PI < 20$ دارند این روش اجبارا باید با تمهیدات خاص و بکار گیری از روشهای تکمیلی انجام پذیرد.

هنگامی که نفوذ پذیری خاک از 10^{-6} cm/sec کمتر بوده و خاک اشباع باشد و همچنین عمق لایه نفوذ پذیر زیاد باشد بازده روش ابر تراکم به صورت ساده کم می باشد . در شکل (37) محدوده های دانه بندی قابل استفاده برای ابر تراکم نشان داده شده است . در این شکلها خاکها به سه ناحیه 1، 2 و 3 تقسیم شده اند ، خاکهای ناحیه (1) مناسبترین و خاکهای ناحیه (2) نا مناسبترین مناطق برای روش ابر تراکم می باشند.



شکل - (37) گروه بندی خاکها برای انتخاب روش ابر تراکم

2- محدودیت سازه ای : در مواردی که سازه حساس بوده و حتی به نشستهای بسیار کوچک حساسیت نشان دهد.

3- محدودیت اقتصادی : چنانچه مساحت پروژه از حدود 2000 متر مربع کمتر باشد بنا به دلایل زیر این روش غیر اقتصادی خواهد بود.

الف - مخارج ثابت اولیه جهت تجهیز کارگاه

ب - مساحت نوار محیطی محل پروژه از حدود 50 درصد کل مساحتی که باید تراکم یابد بیشتر می باشد . اگر منطقه ای به مساحت ($L*W$) به روش ابر تراکم کوبیده شود پیرامون آن نوار محیطی بوجود می آید که خواص مکانیکی خاک آن بینابین خواص طبیعی خاک قبل از تراکم و خاک متراکم شده است . عرض این نوار متغییر است اما تقریباً با یک دوم عمق خاک تراکم یافته قابل مقایسه است . بنابراین برای منطقه ای به مساحت ($L*W$) دارای ابعاد $(L-H/2) * (W-H/2)$ خواهد بود .

4- محدودیت زیست محیطی : بدلیل ماهیت روش ابر تراکم که باعث ارتعاشات و صداهای ناراحت کننده می شود استفاده از آن روش در مناطق مسکونی و در مجاورت سازه های حساس با محدودیت هایی توأم می باشد . برای سازه های معمولی حداقل فاصله ممکن 30 متر برای سازه های حساس 50 متر است . اگر رعایت چنین فاصله ای امکان پذیر نباشد حفر ترانشه ای به عمق 1/5 تا 2/5 متر سبب کاهش اثر ضربه بر روی سازه های مجاور می شود.

جمع بندی روش تراکم :

- با استفاده از تراکم دینامیکی خصوصیات فیزیکی خاک بهبود می یابد . بازده این روش برای خاکهای سست که بر روی سنگ بستر و یا لایه های با تراکم مناسب قرار داشته باشند می تواند با تغییر الگوی کوبش و بهینه کردن نحوه اجرا افزایش یابد ، بدین جهت پیشنهاد می گردد پیش از آغاز عملیات تراکم دینامیکی در سه منطقه مجزا با حفظ انرژی کوبش بر واحد حجم خاک و نیز ثابت نگهداشتن فواصل کوبش (print) 3 الگوی مختلف

عملیات تراکم دینامیکی اجرا گردد و بازده عملیات بویژه در اعماق پائین مورد بررسی قرار گرفته و مناسب ترین روش اجرایی انتخاب گردد.

- به منظور دستیابی به نتایج بهتر از اجرای روش ابرتراکم می توان از روش های ترکیبی دیگر نیز استفاده کرد که به طور همزمان با روش ابرتراکم انجام شده و بازدهی عملیات را افزایش می دهند.

- هدف از روش های ترکیبی ابرتراکم کاهش و حذف فشار منفذی به منظور افزایش تراکم پذیری و تحکیم پذیری خاک، افزایش شدت تنش های وارده بر خاک و همچنین افزایش ظرفیت باربری نهایی خاک می باشد.

- برای جلوگیری از انتقال ارتعاش به سازه های مجاور دو راه حل اساسی وجود دارد :

1- قرار دادن بالشتک های فنری در حد فاصل ماشین و شالوده منبع تولید ارتعاش

2- جلوگیری از انتقال ارتعاش به سازه های مجاور با ایجاد خندق یا حفر ترانشه یا چاه در اطراف شالوده ارتعاش کننده

در روش اول با استفاده از بالشتک های لاستیکی، فنری، هوای فشرده و ترکیب فنر و کمک فنر از انتقال مستقیم ارتعاش ماشین به شالوده اش جلوگیری می نماید. در روش دوم ترانشه با عرض و عمق مناسب در اطراف منبع تولید کننده ارتعاش ایجاد شده و با گل بنتونیت پر میشود. (2)

- باید انرژی لازم برای بهسازی خاک به حدی باشد که از انرژی اشباع خاک تجاوز نکند زیرا باعث روانگرایی در خاک می شود.

- تیکسوتروپی عبارت است از آزاد شدن آب جذب دانه های خاک در اثر موج های ناشی از ضربه که باعث کاهش مقاومت برشی خاک می شود.

عمق بهبود خاک تابعی از وزن کوبه و ارتفاع سقوط آن می باشد. مساحت قاعده کوبه بیشترین نقش در شعاع بهینه تراکم خاک را دارد که از عوامل مربوط به تجهیزات کار می باشد.

- ترکهای ناشی از ضربه عموماً عمود بر امتداد کمترین تنش های اصلی هستند . تراکم نامنظم و بی قاعده جریان دائمی این کانالهای طبیعی را منقطع می سازد و در نتیجه باعث کند شدن روند اصلاح خاک و در مواردی ایجاد مشکل در مراحل بعدی تراکم می نماید.
- عمق نفوذ کوبه تابعی از انرژی در واحد سطح و پروفیل مقاومت برشی خاک در عمق می باشد.
- عواملی چون ، درجه اشباع ، نفوذپذیری خاک ، انرژی اعمال شده و قطر کوبه در میزان عمق بهبود خاک موثر می باشد.
- منطقه تراکمی ناشی از سقوط کوبه بشکل دوکی شکل می باشد . شعاع فوقانی این منطقه دوکی شکل در حدود $3/5$ برابر قطر کوبه است . در زیر محل برخورد کوبه خواص بهبود یافته تراکمی خاک حداکثر می باشد و از میزان تراکم از زیر کوبه تا شعاع $3/5$ قطر کوبه کاسته می شود.
- در صورتی که جزء یا کل منطقه تراکمی حاصل از برخورد یک کوبه با مناطق مشابه ناشی از ضربات دیگر همپوشانی کند ، تراکم این منطقه افزایش می یابد.
- در اثر برخورد کوبه با زمین امواج حجمی شامل موجهای P,S و امواج سطحی یا ریلی ایجاد می گردند. امواج حجمی نقش اصلی را در تراکم ایفا می کنند و امواج ریلی تأثیر چندانی در ایجاد تراکم ندارند. (15)

پیش بارگذاری :

پیش بارگذاری بعنوان یکی از کلاسیکی ترین و رایج ترین روش در بهسازی زمین ثبت شده است .

اعمال پیش فشار توسط بارگذاری موقتی روی زمین زیر بنا قبل از احداث سازه و در محل ساخت ساختمان ها و تأسیسات به منظور اصلاح خاکهای زیرسطحی ، پیش بارگذاری نامیده می شود . مقدار فشار اعمال شده در پیش بارگذاری معمولاً بزرگ تر از ماکزیمم فشاری است که توسط فونداسیون سازه مورد نظر به خاک اعمال می شود. (14 و 16)

معمولاً جهت تقویت و تحکیم لایه های خاک ریزدانه شامل رس، لای و ماسه ریزدانه انجام می شود . تحکیم زمین به معنای خروج آب از بین ذرات تحت فشارهای اعمال شده است.

شروع اولین پیش بارگذاری در دنیا بدرستی مشخص نیست . ولی اولین ثبت رسمی استفاده زهکش های ماسه ای در روش پیش بارگذاری توسط دانیل موران آمریکایی در سال ۱۹۲۶ میلادی بوده است . پس از آن والتر جلمان در سال ۱۹۴۴ زهکش های پیش ساخته را پیشنهاد کرد . با آشنایی محققان با روش پیش بارگذاری در سایر نقاط دنیا مانند ژاپن، سوئد، هلند، کانادا و ... نسل های جدیدی از زهکش ها ساخته و بکار برده شدند . آخرین نسل از زهکش ها به نام زهکش های فنری در ایران توسط ایزدی طراحی و به طور گسترده در نواحی جنوب غرب برده شد.

(12)

این روش اکثراً همراه زهکش های قائم استفاده می شود . و متداولترین روش آن انباشتن مصالح خاگریز است . پیش بارگذاری کاربرد سربار (خاگریز) روی محل پروژه قبل از ساخت سازه دائمی می باشد تا وقتی که بیشتر نشست اولیه اتفاق افتد . چون خاک هایی با قابلیت تراکم بالا دارای تراوایی پایینی می باشند پس زمان مورد نیاز برای تحکیم مناسب و مطلوب ، ممکن است خیلی طولانی شود . بنابراین استفاده از پیش بارگذاری به تنهایی شاید عملی نباشد . پس برای تسریع در

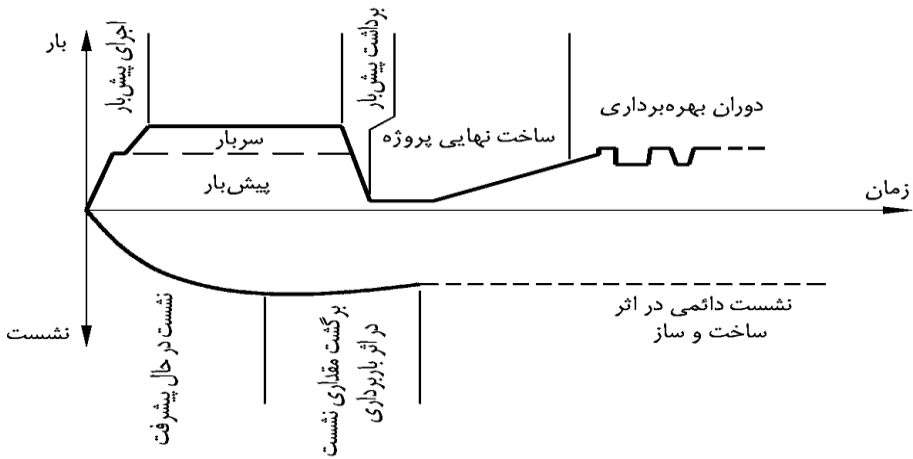
سرعت زهکشی (زهکشی شعاعی) از زهکش های قائم استفاده می شود که باعث افزایش در سرعت تحکیم بوسیله کاهش طول قسمت زهکشی شده می شوند. (10)

روش پیش بارگذاری به عنوان یک روش اصلاح و بهبود خاک در پروژه هایی مناسب می باشد که هدف بهبود لایه های عمقی نباشد. به عبارت دیگر با توجه به این امر که مکانیزم این روش مبتنی بر ایجاد یک لایه سخت و مقاوم فوقانی می باشد، این امر باعث می شود شکل توزیع تنش بگونه ای تغییر کند که مقدار افزایش تنش ناشی از وجود خاکریز در لایه های تحتانی کاهش یابد و در نتیجه خصوصیات و پارامترهای مقاومتی این لایه ها افزایش قابل توجهی نخواهند یافت. لذا در پروژه هایی که بهبود و اصلاح خاک نرم در عمق نیز مدنظر می باشد (نظیر کاهش نفوذ پذیری) می بایست از روشهای دیگر نظیر تزریق مواد شیمیایی استفاده شود همچنین به منظور محاسبه و طراحی روش پیش بارگذاری می بایست اثر لایه سخت فوقانی در شکل توزیع تنش در طول دوره تحکیم خاک و به هنگام برآورد نشست و همچنین دوره انتظار مد نظر قرار گیرد.

(16)

اهداف عمده تکنیک پیش بارگذاری :

- 1- اعمال بارهای موقت برای حذف و یا کاهش نشست هایی که احتمالاً بعد از ساخت بنا قرار است اتفاق بیفتد.
- 2- بهبود مقاومت برشی خاک بستر با افزایش وزن مخصوص، کاهش تخلخل و درصد رطوبت آن.
- 3- افزایش سختی خاک و کم کردن رطوبت موجود در خاک



شکل 38 - چگونگی عملکرد تکنیک پیش بارگذاری

از مزایای پیش بارگذاری، علاوه بر کاهش نشست می توان به انجام بهسازی و عدم ایجاد سروصدا اشاره نمود که استفاده از آن را در مناطق شهری و یا در مواردی که محدودیت های همسایگی مطرح است، ممکن می سازد. از معایب پیش بارگذاری می توان به طولانی شدن زمان وقوع نشست غیر اقتصادی شدن برداشت و حمل مصالح پیش بار به جای دیگر اشاره نمود.

در استفاده از تکنیک پیش بار گذاری به همراه استفاده از زهکش های قائم ذکر این نکته ضروری است که میزان پیش بار باید بر اساس مقدار بارهای وارده از روسازه به خاک محل انتخاب شود. باید توجه داشت که در مورد خاک های پیش تحکیم ممکن است از اقدامات پیش بارگذاری به همراه زهکش های قائم عاید نگردد. (14)

بزرگترین مزیت این روش در مقایسه با سایر روشهای اصلاح خاک هزینه بسیار کم آن است بخصوص اگر از زهکشهای قائم استفاده شود.

مزیت دیگر آن این است که اثرات این روش را می توان فوراً و مستقیماً ارزیابی نمود. (16)

روش های اجرایی آن :

متداولترین روش پیش بارگذاری انباشتن مصالح خاکریز است . پس از اتمام پیش بارگذاری این مصالح جابه جا شده و گاهی در همان پروژه در ساخت پیش باری دیگر یا ساخت خاکریز به کار می روند . در روشی دیگر به جای جابه جایی خاک ، تمام یا بخشی از آن در محل باقی می گذارند وزن مورد نیاز برای پیش بار گذاری را می توان با ساخت خاکریز پیرامونی و پر کردن سطح محصور با آب نیز تامین نمود .

روش دیگر پیش بارگذاری استفاده از سازه نهایی برای اعمال فشار است. این روش که بهتر است به آن پس بارگذاری گفته شود به میزان وسیع در ساخت مخازن نفت به کار رفته است ، قبل از هر افزایش زمانی برای تثبیت زمین تحت وزن بار قبلی در نظر گرفته می شود . بعد از پر شدن کامل مخازن و کاهش سرعت نشست تا حد کافی محتویات آن تخلیه شده و با استفاده از جک زدن سطح سازه تراز می شود این روش برای مخازن ذخیره مایعات مناسب است .

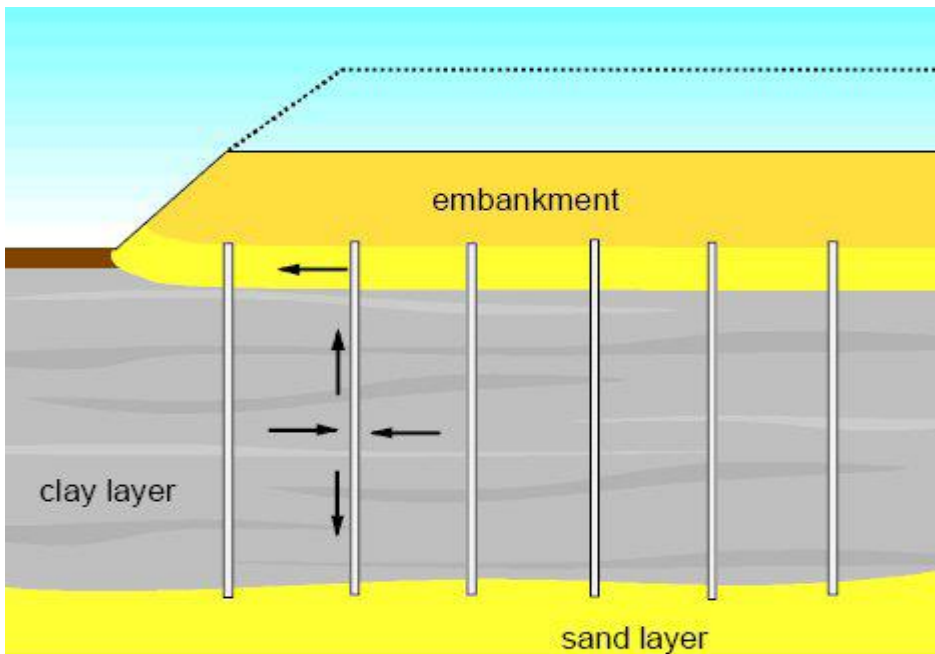
روش دیگر اعمال پیش بار، پایین بردن سطح آب است . این کار را می توان با استفاده از چاه های نقطه ای ترانشه یا پمپاژ خلا در چاه های نسبتا عمیق (حدود 20 متر) انجام داد . با کاهش سطح آب ، خاک شناوری خود را از دست می دهد و وزن مخصوص آن 10 کیلو نیوتن بر متر مکعب افزایش می باید . هر متر کاهش سطح آب، باری معادل تقریبا نصف بار یک متر خاکریز اعمال نماید در پاره ای موارد همزمان با انباشتن خاکریز از کاهش سطح آب استفاده می شود با کاهش سطح آب خطر گسیختگی عمیق از بین می رود . با این حال ، انباشتن مصالح به دلیل آنکه عموما کم خرج تر است ترجیح بیشتری دارد. (11)

شرح پیش بارگذاری بوسیله ایجاد مکش و خاکریز :

1-پیش بارگذاری بوسیله خاکریز

ساده ترین روش برای پیش بارگذاری، بارگذاری بوسیله خاکریز می باشد . وقتی بار روی خاک نرم قرار داده می شود این بار ابتدا به آب منفذی وارد می شود . وقتی تراوایی خاک خیلی پایین باشد

معمولا این مشکل روبرو خواهد آمد که فشار آب منفذی بتدریج کاهش می یابد. این بخاطر آب منفذی است که فقط قادر است با سرعت کم در جهت عمودی جریان پیدا کند. برای جلوگیری از مشکلات پایدار (مثل ایجاد لغزش صفحه ای) بار باید در چند مرحله در محل قرار داده شود. این بار وقتی نشست به مقدار نهایی مورد نیاز رسید می تواند برداشته شود. خاکریزهای مورد استفاده در این روش بطور متوسط دارای 3-10 متر ارتفاع هستند و معمولا یک تا سه متر نشست ایجاد می کنند.



شکل-39 پیش بارگذاری بوسیله خاکریز با زهکش های قائم

شناسایی مصالح خاکریزی

مصالح خاکریز را می توان در بستر رودخانه ها ،گودهای قرضه ،مصالح پوششی با دور ریز معادن دیواره ای سنگ وباطله های معدنی و روباره های صنایع متالوژی یافت.در مناطق شهری ،

این مصالح را میتوان از نخاله های حاصل از تخریب ساختمان های قدیمی و مصالح خاکبرداری ساختمان های جدید نیز بدست آورد. همچنین این مصالح را میتوان از لایروبی کف دریا ، دریاچه یا حتی خاکبرداری محوطه های باز بدست آورد. برای هر منبع مورد نظر قرضه ،باید نمونه گیرهایی انجام شده و برای تعیین ویژگی های طبقه بندی و تراکم آنها آزمایش هایی انجام شوند .

آزمایش آزمایشگاهی نمونه های بدست آمده از گمانه ها ،مرحله مهمی در فرآیند تصمیم گیری است. این آزمایش ها عمدتاً شامل توصیف و طبقه بندی خاک ،آزمایش تراکم پذیری و تحکیم پذیری ومقاومت خاک است.

علاوه بر توصیف ویژگی های کیفی نظیر رنگ ،بو،بافت و شکل دانه ها باید آزمایش های ساده انجام شوند که نتایج آنها ویژگی های توصیفی را به طور عدد بیان نمایند. این آزمایشها شامل تعیین درصد رطوبت طبیعی،حدود روانی و خمیری ، نسبت های اجزا شن ،ماسه سیلت و رس در خاک ،مقدار اجزا آلی خاک ،وزن مخصوص دانه ها و احتمالاً تحت شرایط ویژه ،بعضی دیگر از خصوصیات خاک می باشند. این نتایج همراه با یافته های بدست آمده در بررسی های صحرایی در تقسیم نیمرخ زیرسطحی به تشکیلات مختلف که توده های بزرگ پیوسته خاک با ویژگی های تقریباً یکنواخت هستند ،کمک می نمایند.

تعداد حداقل آزمایش های آزمایشگاهی

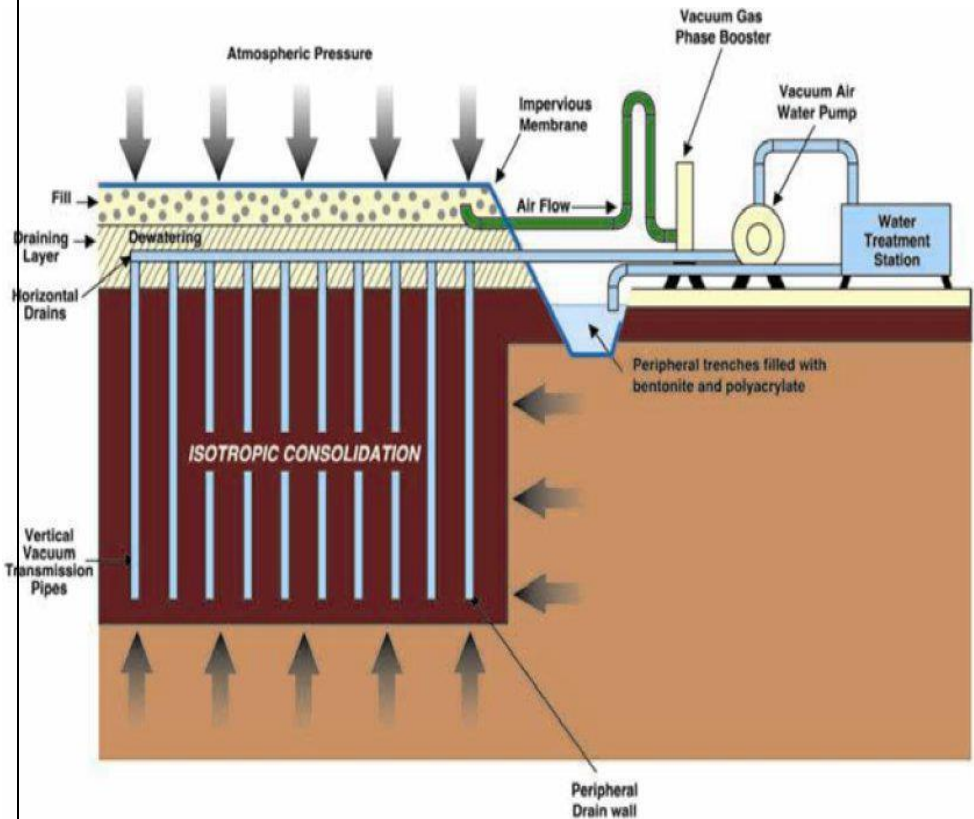
موضع مهم در آزمایش های آزمایشگاهی ،تعداد حداقل آزمایش هاست. بعضی مهندسين با انتخاب تعداد کمی نمونه واقعا معرف،آزمایش های زیادی بر روی آنها انجام میدهند. استدلال آنها این است که این نمونه ها ویژگی های واقعی خاک را در آزمایش ها به بهترین وجه معرفی می کنند . این روش به نوعی برنامه آزمایش های آزمایشگاهی ، منجر می شود که اقتصادی است اما بستگی زیادی به قضاوت فردی دارد .روش عینی تر آن است که نسبت بسیار کوچکی بین حجم نمونه گیری و حجم مورد بررسی در نظر گرفته شود .مثلاً چنانچه 500 متر مربع سطح مورد بررسی یک گمانه حفر و در دو سوم طول آن نمونه هایی با قطر 70 میلیمتر گرفته شوند . آنگاه نسبت حجم نمونه گیری شده به حجم مورد بررسی 1:200000 می باشد.

کنترل نتایج پیش بینی شده با استفاده از خاکریز های آزمایشی

آهنگ زمانی و بزرگی نشست ها در پروژه های بزرگ پیش بارگذاری را می توان با احداث خاکریز آزمایشی به طور مطمئن تعیین نمود. خاکریز آزمایشی باید از عرض کافی برخوردار باشد تا بتواند بر عمیق ترین نهشته های خاکی با تراکم پذیری قابل توجه ، تنش های قائم اعمال نماید و یا حداقل عرض آن معادل عرض مورد نظر برای خاکریز پیش بارگذاری موجب ایجاد گسیختگی عمیق یا خزش زیاد نشود. در طول زمان در آن نشست هایی ایجاد خواهد شد که نظیر آنها قبلا در خاکریز آزمایشی به وجود خواهد آمد . بعد از اجرای کامل پیش بارگذاری ، مقدار نشست آن در هر زمان می توان با تعیین مقدار نشست خاکریز آزمایشی در زمان مساوی و ضرب آن در نسبت فشار پیش بارگذاری به فشار خاکریز آزمایشی تعیین نمود .(18)

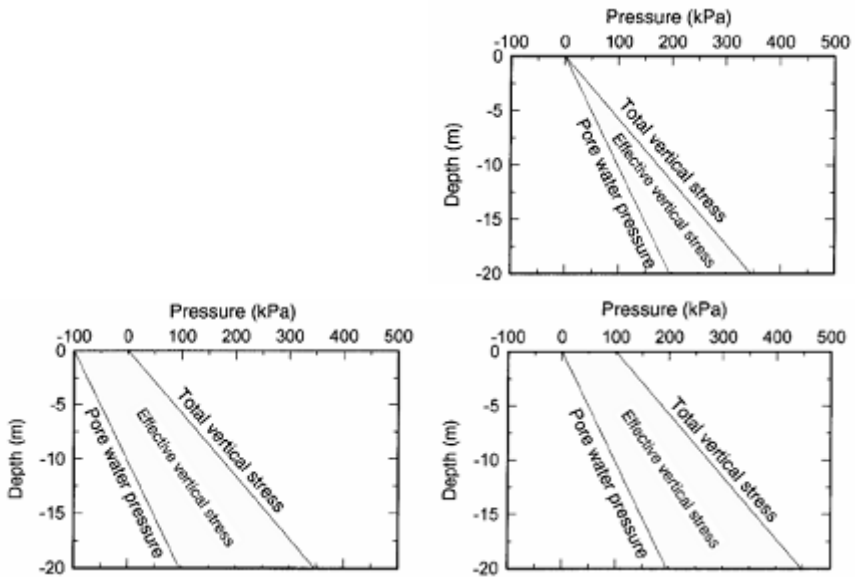
2-پیش بارگذاری توسط خلاء یا ایجاد مکش

در مواقعی که فراهم کردن خاکی برای احداث خاکریز ممکن نیست یا منوط به صرف هزینه بسیار بالایی می باشد و همچنین در جاهایی که خاک بستر آنقدر نرم باشد که حتی قرار دادن خاکریزی به ارتفاع 1.5 متر باعث ایجاد مسائل پایداری شود، استفاده از روش خلاء در این مواقع مناسب و عملی می باشد .در روش تحکیم بوسیله خلاء سربار یا بار مورد نیاز برای تحکیم با فشار اتمسفریک جایگزین می شود .در ساده ترین نوع تحکیم خلاء زهکش های قائم نیز استفاده می شوند و یک لایه زهکش ماسه ای در بالایی سطح خاک وجود دارد .فشار منفی یا مکش مورد نیاز توسط پمپ خلاء ایجاد می شود که در شکل 40 پمپ و تجهیزات دیگر نشان داده شده است .فشار منفی بکار برده شده یک فشار آب منفذی ایجاد می کند که باعث افزایش تنش موثر در خاک می شود و این افزایش تنش موثر باعث افزایش سرعت تحکیم یا تسریع در فرآیند تحکیم می شود.



شکل 40- سیستم خلاء در روش پیش بارگذاری توسط ایجاد مکش

در روش بارگذاری توسط خاکریز تنش کل قائم بخاطر اضافه کردن بار زیاد شده و تنش موثر طبق رابطه بالا افزایش می یابد، در حالی که فشار آب منفذی بدون تغییر باقی می ماند. در مورد روش خلاء تنش کل قائم بدون تغییر می ماند و افزایش تنش موثر بخاطر کاهش در فشار آب منفذی است که در اینجا فشار منفی بکار برده می شود.



شکل 41 پروفیل تنش قائم (الف) حالت اولیه درجا ، ب) پیش بارگذاری بوسیله خاکریز، ج) پیش بارگذاری بوسیله خلاء

اصول برقراری زهکشی مناسب در پیش بارگذاری

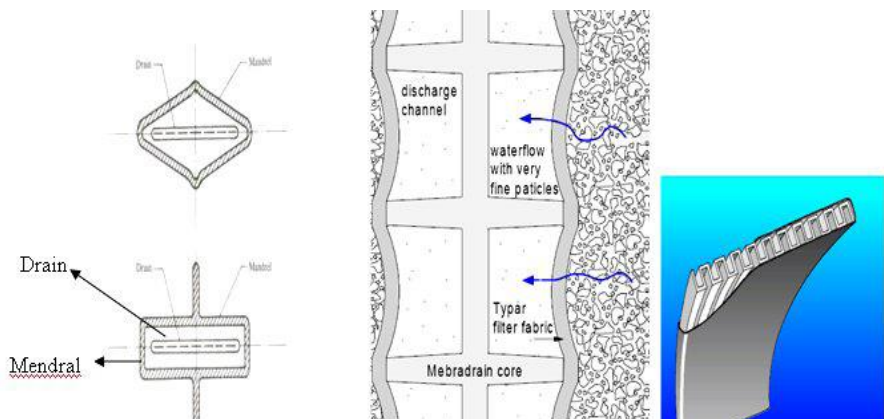
الف) کاربرد زهکش های عمودی در پیش بار گذاری

بطور کلی خاک های رسی نرم بعلت تراوایی کم به زمان زیادی برای نشست تحکیمی نیاز دارد . برای افزایش سرعت تحکیم در این خاک ها زهکش های قائم به همراه خاکریز یا روش خلاء در خاک نصب می شود. این زهکش ها بطور مصنوعی مسیر زهکشی در زیر خاکهای رسی ایجاد می کنند. بخاطر وارد شدن فشار توسط خاکریز به آب منفذی، این آب تحت گرادیان هیدرولیکی ایجاد شده توسط پیش بارگذاری بصورت افقی به سمت زهکش ها جریان پیدا می کند. دلیل آن این است که تراوایی خاک های رسی در جهت افقی بیشتر از جهت عمودی می باشد. این آب به راحتی می

تواند در طول زهکش های قائم به سمت لایه زهکش افقی یا لایه تراوا حرکت کند. پس می توان گفت زهکش های عمودی با کوتاه کردن مسیر زهکشی باعث افزایش سرعت فرایند تحکیم می شوند و

این عمل به نوبه خود باعث افزایش مقاومت خاک رس بصورت خیلی سریع شده و باعث می شود که خاک توانایی پذیرش بار جدید را داشته باشد. همچنین استفاده از این زهکش ها خطر شکست خاک را در طی قرار دادن خاکریز در محل را حذف می کند.

یکی از انواع زهکش های قائم، زهکش های پیش ساخته می باشد که دارای یک هسته پلاستیکی با یک کانال طولی فیتیله ای به عنوان زهکش و یک آستر کاغذی از مواد لیفی که مثل یک فیلتر از هسته محافظت می کند، هستند. برای قرار دادن این زهکش ها در داخل زمین، یک **Close mandrel** به داخل زمین هول داده شده یا کوبیده می شود. موقع نصب این زهکش ها بوسیله ی، یک مندرال، بعلت ابعاد کوچکی که این زهکش ها دارند، بهم خوردگی خاک اطراف در مدت نصب زهکش ها توسط مندرال خیلی کمتر است. پس این زهکش ها نسبت به زهکش های ماسه ای، که باعث بهم خوردگی زیاد خاک در موقع نصب و در نتیجه کاهش مقاومت آن می شود، ترجیح داده می شوند.



شکل-42 الف) نوعی زهکش پیش ساخته، ب) عملکرد زهکش، ج) شکل مندرال (از چپ به راست)

(ب) خصوصیات زهکش های پیش ساخته قائم

1) ظرفیت دبی مناسب : وظیفه و هدف استفاده از زهکش های پیش ساخته خارج کردن فشار آب اضافی از خاک و انتقال آن به محلی دیگر است. پس ظرفیت بالای زهکش قائم در بهتر شدن عملکرد آن موثر است. وقتی آب وارد زهکش می شود به دلایل مختلفی ممکن است جریان کاهش پیدا کند. ظرفیت دبی به فاکتورهای زیر بستگی دارد:

-تنش تحکیمی : با افزایش مقدار تنش وارده به خاک (تنش تحکیمی) فیلتر به داخل شیارها یا شبکه زهکشی وارد شده و باعث کاهش سطح مقطع جریان ورودی به زهکش شده و این کاهش سطح به نوبه خود ظرفیت زهکشی را کاهش می دهد.

-تغییر شکل زهکش :تحکیم خاک اطراف زهکش ممکن است باعث تغییر شکل زهکش(خمیدگی و شکست) داخل خاک شود و ظرفیت زهکشی را پایین آورد.

-فشار جانبی خاک : بعلت فشار جانبی خاک ممکن است فیلتر به داخل زهکش فرو رفته و در اثر کاهش سطح در دسترس جریان،ظرفیت یا دبی زهکشی کاهش یابد.

-زمان : با گذشت زمان به علت فعالیت های شیمیایی و بیولوژیکی در خاک (بعد از نصب زهکش ها) ظرفیت دبی زهکش ها کاهش می یابد.

-گرفتگی زهکش : در فرایند فیلتراسیون، اگر منافذ فیلتر به اندازه ای بزرگ باشند، ممکن است همراه جریان ذرات ریز خاک نیز منتقل شود. این ذرات اگر در هسته نشست کنند باعث گرفتگی زهکش و کاهش دبی زهکشی می شوند.

-گرادیان هیدرولیکی : دبی یا ظرفیت زهکشی با گرادیان هیدرولیکی مختلف تغییر می کند . وقتی گرادیان هیدرولیکی زیاد باشد بعلت کاهش انرژی در جریان متلاطم ایجاد شده در این شرایط ظرفیت زهکشی کم می شود.

-دما : با افزایش درجه حرارت جریان آب سریع تر شده و ظرفیت زهکشی افزایش می یابد. اگر ظرفیت زهکشی کمتر از ظرفیت مورد نیاز برای خارج کردن آب منقذی از محیط باشد در این حالت مقاومت در برابر حرکت آب ایجاد می شود . یعنی آب در نزدیکی زهکش جمع می شود و مانع عبور جریان می شود . اگر میزان دبی یا ظرفیت زهکشی زهکش های قائم بالا باشد می توان در طراحی از مقاومت جداره صرف نظر کرد . طبق تحقیقات Xie و Wang & Chen رابطه زیر باید برقرار باشد تا مقاومت جدار در یک سطح پایین نگه داشته شود:

$$\frac{\pi}{4} \times \frac{K_h}{q_w} \times l_m^2 < 0.1$$

که در رابطه بالا K_h ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در جهت افقی (m/sec) ، l_m طول زهکش (m) و q_w ظرفیت زهکشی عمودی یا قائم (m^3/sec) می باشد .

2) خصوصیات فیلتر موجود در زهکش ها : بطور کلی مواد زهکش در زهکش های ماسه ای و پتویی فیلتر در زهکش های پیش ساخته باید دو عمل اصلی ولی متفاوت را انجام دهند، یکی ذرات خاک را نگه دارند و دیگری اینکه آب منقذی را از میان خود عبور دهند . برای انجام وظایف بالا، اصول زیر در طراحی فیلترها باید رعایت شود:

-توانایی نگهداری خاک : این پارامتر باید آنقدر کوچک باشد تا از حرکت ذرات رس از میان فیلتر به داخل زهکش جلوگیری کند.

- نفوذپذیری یا تراوایی: این مقدار باید حداقل برابر مقدار تراوایی خاک اطراف فیلتر باشد.

$$K_f \leq 10K_s$$

که در آن K_f ضریب آبگذری فیلتر و K_s ضریب آبگذری خاک می باشد .

-مقاومت به گرفتگی:

وقتی که نرات خاک به داخل فیلتر نفوذ می کنند گرفتگی اتفاق می افتد . برای جلوگیری از گرفتگی Wang & Chen شرایط زیر را پیشنهاد کردند:

$$n \geq 30 \%$$

$$O_{95} \geq 3D_{15}$$

$$O_{15} \geq (2 - 3)D_{10}$$

(3) نصب زهکش:

نصب با فشار : ماشین های زیادی با هول دادن مندرال به داخل خاک زهکش را در خاک نصب می کنند . این ماشین ها با استفاده از یک کابل فولادی مندرال را داخل خاک فشار می دهند که توسط جرتقیل یا یک چکش حرکت می کند .

نصب بوسیله لرزش : ویبراتورهای مختلف می تواند در مرکز مندرال یا در جای دیگر آن نصب شود . مندرال های هیدرولیکی و الکتریکی بطور گسترده در این روش نصب استفاده می شوند . یکی از ضعف های مندرال های الکتریکی روشن و خاموش شدن های مکرر مندرال می باشد . یکی از مزیت های استفاده از ویبراتور قابلیت نفوذ آن در لایه های سخت می باشد .

4) تست هاي آزمایشگاهی: بطور کلی خصوصیات سیستم فیلتر زهکش و عملکرد ممبراها (زهکش هاي از پیش ساخته شده) باید در آزمایش هاي زیر جداگانه بررسی شود:

-آزمایش تحکیم: برای رسیدن به یک دانش عملی در مورد ممبراها در خاک هاي نرم، تست هاي آزمایشگاهی زیادی بر روی انواع مختلف زهکش ها انجام شد. آزمایش به این صورت انجام می گیرد که زهکش را در مرکز 6 استوانه فولادی با ارتفاع 500 تا 1200 میلیمتر که از خاک نرم پر است قرار می دهیم. بالای نمونه خاک یک لایه فیلتر شنی کار گذاشته شده است. ته نمونه خاک در کف استوانه مهار می شود. فشاری معادل 70 کیلو نیوتن توسط یک میله هیدرولیکی به بالای نمونه خاک وارد می شود.

مخزن هاي هوا در بالا و پایین استوانه آزمایش برای اندازه گیری هد، نرخ جریان و مقاومت در برابر جریان زهکش می باشد.

آزمایش ها روی چند نمونه زهکش و یک نمونه زهکش ماسه اي با قطر 50 میلیمتر انجام گرفت. بسته به نوع خاک استفاده شده که در اینجا رس، خاک هاي تورب دار (داراي مواد آلی) می باشد 20 تا 50 درصد تحکیم صورت پذیرفت. دلیل نشست کند نمونه را می توان به خم شدن زهکش در خاک دانست که باعث کاهش ظرفیت زهکشی می شود.

-ظرفیت زهکشی: در این روش از نمونه هاي زهکش با طول 300 میلیمتر برای اندازه گیری ظرفیت زهکشی در دو حالت عادي و خمیده شده استفاده می شود. به اینصورت که زهکش را درون یک پلاستیک می پیچند و در زیر یک تانک فشار قرار می دهند.

شرایط طبیعی یا عملی را می توان با تغییر دادن فشار تانک و نرخ جریان اعمال کرد. برای اعمال و اندازه گیری اثر بار در دراز 250 و 350 کیلو، 150، مدت آزمایش را برای 20 روز انجام می دهیم. بار را در این مدت بصورت پلکانی و با اندازه هاي 50 پاسکال اعمال می کنیم. تمام این آزمایش ها باید در دمای 20 درجه سانتیگراد انجام شود.

اندازه منافذ فیلتر (O90): برای محاسبه اندازه منافذ فیلتر از ماسه های ریز خشک شده استفاده می شود. این ماسه را از میان فیلتر الک می کنیم. سپس درصد ذرات مانده روی فیلتر را اندازه گرفته و آن را در مقابل اندازه منافذ فیلتر رسم می کنیم.

-قابلیت نفوذ فیلتر: این پارامتر به ضخامت فیلتر بستگی ندارد و به نفوذپذیری مواد بستگی دارد. مقدار آن از تقسیم ضریب نفوذپذیری بر ضخامت فیلتر بدست می آید. فیلتر را در جهت جریان با دمای محیط 10 قرار می دهیم. دبی خروجی را اندازه گرفته و از روی آن می توان ضریب نفوذپذیری فیلتر را اندازه گرفت.

فاکتورهای موثر در طراحی پیش بار گذاری بوسیله ی خاکریز

متغیرهای اصلی در طراحی منطقه پیش بینی شده به صورت زیر می باشند:

- 1-ارتفاع سربار -2 فاصله زهکش های قائم -3 مدت بارگذاری -4 درجه تحکیم
- 5-ضریب تحکیم به خاطر جریان افقی

پیش بینی مقدار و نرخ زمانی نشست به همراه زهکش های قائم نقش بسیار مهمی در طراحی پروژه های بهبود خاک توسط بارگذاری توسط خاکریز همراه زهکش های قائم دارد. صحت پیش بینی مقدار نشست و نرخ زمانی آن به انتخاب پارامترهای خاک و قضاوت مهندسی بستگی دارد. مقدار نشست پیش بینی شده بیشتر از میزان نشست اندازه گیری شده در عمل یا نشست واقعی می باشد و این بخاطر ناحیه آلوده شده (بخاطر بهم خوردگی خاک در موقع نصب زهکش) ، تغییرات خاک در طبیعت و فاکتورهای دیگر است. پیش بینی مقدار تحکیم اولیه به پارامترهای ژئوتکنیکی مختلفی بستگی دارد که از در این میان می توان نسبت تخلخل (e_0) ، ضریب پیش تحکیمی (P_c) ضریب دوباره فشردگی (C_r) ، ضریب فشردگی (C_c) را نام برد. برای محاسبه نسبت تخلخل برای هر لایه می توان از روی اندازه گیری میزان رطوبت خاک وزن مخصوص خشک و نسبت تخلخل اولیه خاک را اندازه گیری کرد.

ضریب فشردگی و ضریب دوباره فشردگی نیز با بارگذاری 24 ساعته در تست Odeometer و با نسبت افزایش بار یک اندازه گیری می شوند. برای پیش بینی دقیق مقدار نشست نسبت به زمان مقادیر ضریب تحکیم برای جریان افقی (C_h) و جریان قائم (C_v) از اهمیت زیادی برخوردارند. روش های مرسوم مثل Terzaghi (1925) و Barron (1948) برای پیش بینی مقدار نشست استفاده می شود.

- طراحی ارتفاع خاکریز:

استفاده از سربار به منظور پیش بارگذاری خاک پی برای رسیدن به حدی از تنش موثر است که باعث افزایش فشار شود. منظور از بار طراحی، مجموع بارهای مرده و زنده ای است که در آینده به سازه روی خاک وارد خواهد شد.

محاسبه C_h و فاصله زهکش ها :

در رس های دریایی بدلیل اینکه به آرامی رسوب می کنند و تجمع می یابند، می توان این نوع خاک ها را همگن در نظر گرفت یا اینکه ضریب تحکیم در جهت افقی را برابر قائم در نظر گرفت. در عمل ضریب تحکیم افقی را حداقل سه برابر جریان قائم در نظر می گیرند در زیر روش بارون برای محاسبه فاصله زهکش ها و مقدار Ch آورده شده است :

$$\ln(1 - U)^{-1} C_h = D^2 / 8t (\ln D/d - 3/4)$$

t: زمان تحکیم (s)

C_h : ضریب ضریب تحکیم برای جریان افقی (m^2 / s)

d: قطر زهکش (m)

D: قطر ناحیه اثر زهکش (m)

U: متوسط درجه تحکیم در جریان افقی

معمولا ز هکس ها در یک الگوي سه گوشه يا مثلثی نصب می شوند. ناحیه اثر ز هکس (D) به استوانه ایجاد شده در اطراف ز هکس مربوط می باشد که در الگوي مثلثی 5 درصد و در الگوي مربعی 13 درصد بزرگتر از فاصله ز هکس ها می باشد. قطر ز هکس در ز هکس هاي دایروي مطرح است و در ز هکس هاي پیش ساخته يا باید از اصطلاح قطر معادل استفاده شود که بطور نظري برابر محیط ز هکس تقسیم بر عدد پی می باشد (π) .

$$D = (\pi / \text{محیط ز هکس})$$

ضریب تحکیم را هم می توان از تست هاي آزمایش روي نمونه دست خورده خاك و هم آزمایش هاي انجام شده در محل با استفاده از یک میله فشاري بدست آورد که این روش عملی توسط تورستنسون در سال 1978 معرفی شد. این روش به این صورت است که میله با یک نرخ و سرعت ثابت به داخل خاك فشار داده می شود. افزایش فشار منفي در اطراف میله بطور مرتب اندازه گیری می شود. با قطع عمل نفوذ و ثبت کردن سرعت کاهش آب منفي می توان ضریب تحکیم يا

C_h را اندازه گیری کرد. پیشنهاد می شود که مقدار C_h در یک نرخ کاهش آب منفي در حدود 50 درصد اندازه گیری شود. یعنی $D_u/D_{u0} = 0.5$ که D_u فشار آب منفي باقی مانده در لحظه t و D_{u0} افزایش فشار منفي کل می باشد. اگر زمان مربوط به 50 درصد کاهش فشار آب منفي را t_{50} در نظر بگیریم ضریب تحکیم از رابطه زیر بدست می آید:

$$C_h = r^2_{50} / t_{50}$$

که در این فرمول r_0 همان شعاع نوك میله نفوذ کننده می باشد. در قسمت هاي بعدي نحوه ي بدست آوردن درجه تحکیم گفته خواهد شد.

نشست تحکیمی:

روابط نشست تحکیمی توسط ترزاقی برای تحکیم یک بعدی ارائه شده است . روابط برای محاسبه نشست خاک زیر سربار استفاده می شود . میزان نشست تحکیمی برای هر لایه محاسبه می شود و بعد از آن مجموع نشست کل لایه ها را بعنوان نشست کل در نظر می گیرند .

نشست کل (S_{ult}):

اگر σ_f بزرگتر از σ_c باشد :

$$S_{ult} = Cc \frac{H_o}{1 + e_o} \log \frac{\sigma_f}{\sigma_c} + Cr \frac{H_o}{1 + e_o} \log \frac{\sigma_c}{\sigma_o}$$

اگر σ_f کوچکتر از σ_c باشد :

$$S_{ult} = Cr \frac{H_o}{1 + e_o} \log \frac{\sigma_f}{\sigma_o}$$

در خاک های رسی دریایی چند لایه برای محاسبه ضریب تحکیم و مقدار نشست نیاز به محاسبه ضخامت معادل هر لایه ، ضخامت معادل کل ، ضخامت معادل زهکشی هر لایه و ضریب تحکیم هر لایه می باشد.

ضخامت معادل برای لایه اول :

$$H1' = H1(c_{vi} / c_{v1})^{0.5}$$

که c_{vi} مقدار فرضی اولیه می باشد . ضخامت معادل کل لایه ها (HTi) برابر است با :

نرخ زمانی نشست کلی با زهکش های قائم در هر زمانی و برای هر سربار با هر ارتفاعی توسط رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$H_{Ti}' = H1' + H2' + H3' \dots Hn'$$

ضخامت زهکشی معادل (H_{dri}):

$$H_{dri} = H_{i'} / 2$$

ضریب تحکیم قائم معادل (c_{vi}):

$$c_{vi} = H_{Ti}'^2 / (c_{vi} H_{Ti}')$$

-تعیین درجه تحکیم با جریان قائم:

محاسبه فاکتور زمان برای تحکیم توسط زهکش های قائم (T_v):

$$T_v = c_{vi} t / H_{dri}^2$$

درجه تحکیم متوسط با جریان قائم (U_v):

$$U_v = (4T_v / \pi)^{0.5} / [1 + (4T_v / \pi)^{2.8}]^{0.179} \quad (\%)$$

-تعیین درجه تحکیم با جریان شعاعی:

رابطه زیر را برای نسبت فاصله زهکش می توان بکار برد:

$$n = d_e / d_w$$

که در آن d_e قطر معادل استوانه خاك و d_w قطر معادل زهکش قائم می باشد .

روابط زیر برای محاسبه درجه تحکیم متوسط جریان شعاعی توسط Onoue ارائه شده است :

$$U_r = 1 - \exp \frac{-8 T_r}{F(n) + 0.8L}$$

$$F(n) = \frac{n^2}{(n^2 - 1)} \log_e(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

که در رابطه بالا n نسبت فاصله زهکش می باشد .

-تحکیم مربوط به ترکیب جریان شعاعی و قائم:

Carrillo رابطه زیر را برای محاسبه درجه تحکیم متوسط شعاعی و قائم پیشنهاد کرد:

$$(1 - U_{vr}) = (1 - U_v) (1 - U_r)$$

$$U_{vr} = 1 - [(1 - U_v) (1 - U_r)]$$

نرخ زمانی نشست کلی با زهکش های قائم در هر زمانی و برای هر سربار با هر ارتفاعی توسط رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$S_t = S_{ult} (U_{vr})$$

-تخمین درجه تحکیم (به روش های تجربی) :

روش ترسیمی اساوکو را می توان به صورت زیر توصیف کرد :

از منحنی نشست-زمان یک سری از مقادیر S_n را بدست می آوریم.

S_n را در مقابل S_{n-1} در محور مختصات دکارتی یا معمولی رسم می کنیم .

بعد از طی مراحل قبلی برای محاسبه نشست نهایی، از روی نمودار پارامترهای مربوطه را بدست می آوریم و از روی این پارامترها یا روش ترسیمی مقدار نشست نهایی را محاسبه می کنیم.

اساوکا نشان داد که نشست تحکیم یک بعدی در فاصله زمانی معین بصورت چند جمله ای مرتبه اول و

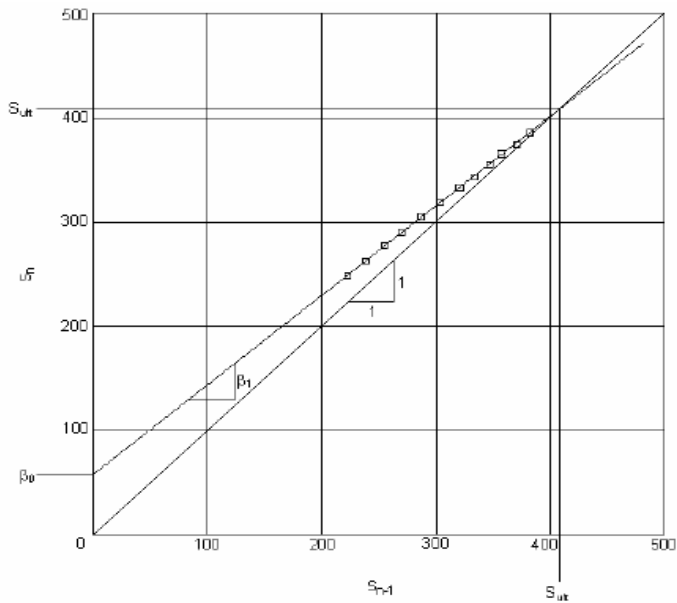
بصورت زیر بیان می شود:

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_{n-1}$$

که S_1 ، S_2 تا S_n نشست های مشاهده ای می باشند S_n نشست در زمان t_n است. رابطه یا تخمین درجه یک بعنوان خط مستقیمی در مختصات معمولی که رابطه S_n و S_{n-1} را نشان می دهد معرفی می شود . β_0 عرض از مبدا و شیب خط می باشد. نشست کلی به صورت زیر محاسبه می شود

$$S_{ult} = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1}$$

جایی که خط به خط 45 درجه تبدیل می شود یا $S_n = S_{n-1}$ این نقطه نشست نهایی را نشان می دهد. درجه تحکیم از تقسیم نشست در هر مرحله بر نشست نهایی بدست می آید.



شکل (43)

موارد کاربرد روش پیش بارگذاری

■ ساختمانهای بلند

■ نیروگاه های هسته ای

■ خاکریز راه

■ تکیه گاههای کناری پلها و آبروهای جاده ها

■ انبارها و منازل یک طبقه

■ تکیه گاههای کناری سازه های آبی

■ اسکله های وزنی

■ توسعه اراضی برای خانه سازی، فروشگاه، پارکینگ و غیره

■ باند فرودگاهها

■ مخازن ذخیره نفت و فراورده های نفتی

■ کانالها

مشکلات این روش :

■ فضا

■ تهیه مصالح

■ حمل مصالح

■ زمان

■ ایجاد گرد و خاک

■ سر و صدا

■ فشار ایجاد کننده روی ترافیک

نکات استفاده از روش پیش بارگذاری :

زمین حاصله یکنواخت بوده و عدم تجانس موضعی در آن وجود نداشته باشد.

در هنگام اجرای این روش خسارتی به ساختمانهای مجاور وارد نشود.

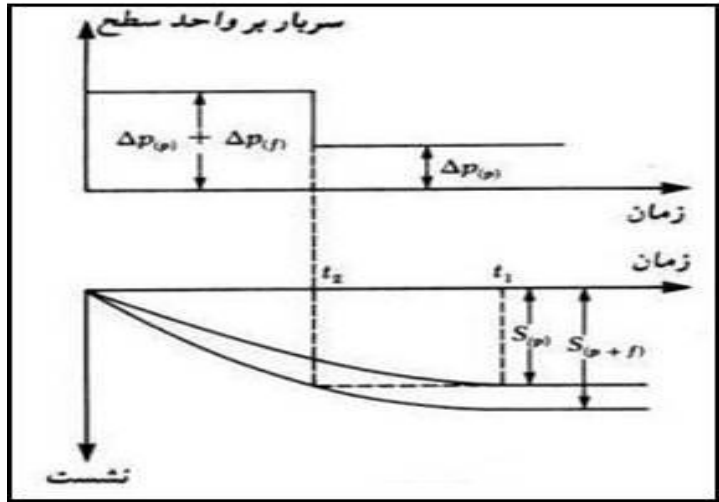
نشستها در محدوده قابل قبولی باشد.

هزینه اجرای این روش بیشتر از روشهای دیگر نباشد. (14)

در هنگام اجرا و وجود پیش بار یا هنگام بهره برداری از سازه نهایی گسیختگی قاعده ای روی ندهد.

زمان اجرای پیش بار در چارچوب برنامه زمانی در نظر گرفته شده برای اجرای کل پروژه باشد یا طولانی تر از روش های دیگر نباشد.

هیچگونه تاثیر نامطلوبی از نظر گرد و غبار ، سر و صدا و غیره بر محلهای اطراف نداشته و یا مزاحمت های آن بیش از مزاحمت های سایر روش های نباشند .



سطح تحت اشغال عملیات پیش بارگذاری عموماً بیش از ده متر از اطراف محیط سازه مورد نظر فراتر می رود.

روش پیش بارگذاری بیشتر برای خاکهای با تراکم پذیری بالا و اشباع بکار می رود.

عملیات پیش بارگذاری را می توان با وزن آب و یا پایین آوردن سطح آب نیز انجام داد.

نشست های بعد از ساخت در محدوده قابل قبول باشند.

هزینه ی واقعی مطابق برآورد بوده و یا بیش از هزینه سایر روشها نباشد.

قبل از انباشتن مصالح خاکریز، می بایست محل از نباتات سطحی پاک و با یک لایه از مصالح قابل زهکشی با دانه بندی مناسب پوشیده گردد.

سرعت اجرای لایه های خاکریز می بایست به گونه ای باشد که با توجه به مقاومت برشی لایه نرم زیرین گسیختگی های موضعی در آن ایجاد نشود.

در حین اجرای لایه های خاکریز مدام وزن مخصوص آنها بصورت درجا تعیین شود تا با مقدار طراحی شده کنترل گردد.

آب خارج شده از زهکشها در طول عملیات پیش بارگذاری و تحکیم به فاصله دوری از محل منتقل شود تا در عمل تحکیم خلل ایجاد نشود.

پس از پایان دوره انتظار و قبل از برداشتن خاکریز با انجام پاره ای بررسیها و آزمایشات ژئوتکنیکی ، کافی بودن مقدار سربار و دوره انتظار آن مورد بررسی قرار گیرد.(13)

مزایای روش پیش بارگذاری نسبت به سایر روش های مترکم سازی

بزرگترین مزیت روش پیش بارگذاری در مقایسه به سایر روشهای اصلاح باربری زمین ،هزینه بسیار کمتر آن است.اگر این روش بدون استفاده از زهکش قائم به کار بسته شود هزینه آن تنها 10 تا 20 درصد روش های دیگر است و در صورت استفاده از زهکش قائم این نسبت حدود 20 تا 40 درصد خواهد بود.در مواردی که زهکش های قائم مطرح نباشد.

مزیت دیگر آن است که ماشین آلات ساختمانی مورد نیاز همان ماشین آلاتی هستند که برای عملیات خاکی مورد نیازند.در بیشتر محل ها این تجهیزات را به سادگی میتوان به خدمت گرفت وبنابراین در مراحل اولیه عملیات ،صرفه جویی زمان قابل ملاحظه ای میشود .

مزیت دیگر آن است که اثرات این روش را فوراً و مستقیماً ارزیابی نمود.با اندازه گیری حرکات زمین و در بعضی موارد فشارهای منفذی،می توان فرایند بهبود خاک را به کمی تعقیب و رفتار آتی را پیشبینی کرد.این جنبه در روش های دیگر اصلاح خاک وجود ندارد.در مواردی که این روش با موفقیت اجرا شود زمین حاصله یکنواخت بوده و عدم تجانس موضعی در آن وجود نخواهد داشت.همچنین با اصلاح ماسه های سست ،خطر وقوع روانگرایی حین زلزله کاهش می یابد

مقایسه روش تراکم دینامیکی و پیش بارگذاری:

بنابر اهمیت پروژه ، هدف از بهسازی ، گستره ساخت و ساز در ارتفاع ، پلان و یا در عمق ، نوع خاک ، مشخصات اولیه و تنوع آن در سایت ، وسعت منطقه مورد نظر تثبیت در پلان و پروفیل ، در دسترس بودن مصالح ، تجهیزات و نیروهای متخصص مورد نیاز ، فاکتورهای زیست محیطی ، دفع فاضلاب ، فرسایش ، آلودگی آب ، تأثیر روش بهسازی بر سازه ها و تأسیسات مجاور ، تجارب و سلايق محلي ، زمان در اختيار جهت بهسازی و اقتصاد پروژه و هزینه های انجام شده روش بهسازی مناسب تعیین می شود .



همانطور که ذکر شد روش تراکم دینامیکی برای بهسازی انواع خاک ها مناسب است و تا عمق 20 تا 15 متر را بهبود می بخشند .

جدول ۱. مناسب بودن مصالح برای کاربرد تراکم دینامیکی با توجه به اندازه ذرات، نفوذ پذیری؛ شاخص خمیری، خشک و یا اشباع بودن خاک [۷]

نوع خاک	نفوذ پذیری	درجه اشباع	مناسب بودن تراکم دینامیکی
خاک‌های نفوذ پذیر، اندازه ذرات بین قلوه سنگ تا ماسه بدون مصالح ریز دانه، منطقه ۱	$1.0 \times 10^{-4} >$	پالا	عالی
		پائین	عالی
خاک‌های نفوذ پذیر شامل، حداکثر ۳۵ درصد لای، بخش ریز دانه منطقه ۱	$1.0 \times 10^{-4} >$	پالا	خوب
		پائین	عالی
خاک‌های نیمه نفوذ پذیر، لای یا مقدار ماسه و کمتر از ۲۵ درصد رس، $PI > ۸$ منطقه ۲	1.0×10^{-4} تا 1.0×10^{-6}	پالا	مناسب
		پائین	خوب
خاک‌های نفوذ نا پذیر، رس یا $PI > ۸$ منطقه ۳	$1.0 \times 10^{-6} \leq$	پالا	توصیه نمی‌شود
		پائین	مناسب - اگر درصد رطوبت کمتر از حد خمیری

به دلیل ماهیت روش تراکم دینامیکی که باعث ارتعاشات و صداهای ناراحت کننده می شود استفاده از این روش در مناطق مسکونی و در مجاورت سازه های حساس با محدودیت هایی توام می باشد. برای سازه های معمولی حداقل فاصله ممکن 30 متر برای سازه های حساس 50 متر است. اگر رعایت چنین فاصله ای امکان پذیر نباشد حفر ترانشه ای به عمق 1/5 تا 2/5 متر سبب کاهش اثر ضربه بر روی سازه های مجاور می شود.

در این روش باید حفاظت از خطرات جراحات و صدمه به افراد تامین شود، در اثر پرش گرد و غبار به بناها آسیب می رساند، آب زیر زمینی باید بیش از 2 متر پایین تر از سطح تراز زمین باشد این روش سریعتر از پیش بار گذاری هست ولی یکنواختی کمتری دارد در مواردی که سازه حساس بوده و حتی به نشست های بسیار کوچک حساسیت نشان دهد.

ولی روش پیش بار گذاری که شامل بار مناسب جهت پیش فشردگی خاک است، برای رس های نرم تحکیم عادی، لس ها، لای ها خاک های الی، خاکریز ها مناسب است و عمق قابل ملاحظه

ای بهبود پیدا می کند . روش راحتی ولی کند است که با استفاده از زهکش های ماسه ایی یا فیتله ای تسریع پیدا میکنند . دانستن شرایط ژئوتکنیکی لایه های زمین همراه با ارزیابی زمین شناسی از ملزومات این روش است . از مزیت پیش بارگذاری نسبت به تراکم دینامیکی عدم ایجاد سروصدا است که استفاده از آن را در مناطق شهری و یا در مواردی که محدودیت های همسایگی مطرح است، ممکن می سازد. از دیگر مزیت های آن کم هزینه تر بودن و ارزیابی مستقیم و فوری اثر این روش در اصلاح خاک است . ولی از معایب پیش بارگذاری می توان به طولانی شدن زمان وقوع نشست غیر اقتصادی شدن برداشت و حمل مصالح پیش بار به جای دیگر اشاره نمود.

در روش خاکریز به عنوان سربار که شامل خاکریزی بیش از اندازه جهت دستیابی به نشست معین است ، زمان کوتاهتر است و خاکریز اضافه برداشته می شود و برای رس های نرم تحکیم عادی لای ها نهشته های رسی ، خاکریز ها مورد استفاده می شود . سریعتر از پیش بارگذاری هست و با استفاده از زهکش های ماسه ای یا فیتله ای تسریع می یابد ، ولی نیاز به تجهیزات جهت گود برداری و عملیات خاکی دارد .

جمع بندی و نتیجه گیری کلی :

تراکم دینامیکی به عنوان روشی مناسب در بهسازی عمیق خاک های سست مطرح است. در این روش با اعمال ضربات سنگین بر سطح خاک، خصوصیات مهندسی خاک بهبود می یابد. که برای بازده بیشتر با روش های ترکیبی دیگر استفاده می شود. هدف از روش های ترکیبی تراکم دینامیکی کاهش و حذف فشار منفذی بمنظور افزایش تراکم پذیری و تحکیم پذیری خاک، افزایش شدت تنش های وارده بر خاک و همچنین افزایش ظرفیت باربری نهایی خاک می باشد. اگر چه بهره گیری از این روش در بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک های دانه ای بسیار موثر است در مورد خاک های رسی اشباع که دارای نفوذپذیری کمی می باشند نیز می تواند بخوبی مورد استفاده قرار گیرد و در صورتی که به درستی از آن استفاده شود نتایج مناسب و مطلوبی را به همراه خواهد داشت.

ترکهای ناشی از ضربه عموماً عمود بر امتداد کمترین تنش های اصلی هستند. تراکم نامنظم و بی قاعده جریان دائمی این کانالهای طبیعی را منقطع می سازد و در نتیجه باعث کند شدن روند اصلاح خاک و در مواردی ایجاد مشکل در مراحل بعدی تراکم می نماید.

در انرژی های کم با افزایش قطر کوبه، عمق و شعاع کانتور جابجایی افزایش می یابد. در یک آزمایش تراکم دینامیکی با انرژی و اندازه حرکت ثابت، عامل موثر در میزان بهسازی خاک قطر کوبه می باشد. عواملی چون، درجه اشباع، نفوذپذیری خاک، انرژی اعمال شده و قطر کوبه در میزان عمق بهبود خاک موثر می باشد.

پیش بارگذاری یکی از روش های اصلاح زمین است که معمولاً جهت تقویت و تحکیم لایه های خاک ریزدانه شامل رس، لای و ماسه ریزدانه انجام می شود. در این روش قبل از ساخت سازه اصلی و به منظور جلوگیری از نشست های غیرمجاز یا شکست، زمین بوسیله اعمال بار تحت فشار قرار می گیرد.

پیش بارگذاری بوسیله خاکریز فقط باعث نشست خاک زیر سطحی نمی شود، بلکه باعث جابجایی و تغییر مکان جانبی بسمت بیرون می شود. این تغییر مکان جانبی اصولاً بخاطر تنش های برشی ایجاد شده توسط بار خاکریز است و اگر این تنش های برشی آنقدر بزرگ باشند باعث شکست برشی خاک زیرین می شود. در مقابل این روش، تکنیک و روش خلاء فشار و تحکیم همگن را روی خاک زیرین اعمال می کند. این تحکیم همگن موجب نشست شده و تغییر مکان جانبی به سمت داخل را موجب می شود. این نوع تغییر مکان باعث ایجاد ترك هایی در اطراف سطح بهبود یافته شده اما معمولاً منجر به شکست نمی شود. (10)

در مواقعی که فراهم کردن خاک برای احداث خاکریز ممکن نیست یا منوط به صرف هزینه بسیار بالایی می باشد و همچنین در جاهایی که خاک بستر آنقدر نرم باشد که حتی قرار دادن خاکریز به ارتفاع 1.5 متر باعث ایجاد مسائل پایداری شود، استفاده از روش خلاء در این مواقع مناسب و عملی می باشد. در روش تحکیم بوسیله خلاء سربار یا بار مورد نیاز برای تحکیم با فشار اتمسفریک جایگزین می شود.

وقتی تراوایی خاک خیلی پایین باشد به علت سرعت کم آب در جهت عمودی مشکل کاهش تدریجی فشار آب منفذی ایجاد می شود. برای جلوگیری از مشکلات پایداری باید خاکریز در چند مرحله در محل قرار داده شود. این بار وقتی نشست به مقدار نهایی مورد نیاز رسید می تواند برداشته شود.

در زمین هایی که بدلیل ریزدانه بودن خروج آب تحت فشار زمان مند است، استفاده از زهکش های عمودی در فواصل و الگوی مناسب معمول است. زهکش های عمودی با کوتاه کردن مسیر زهکشی باعث افزایش سرعت فرایند تحکیم می شوند و این عمل به نوبه خود باعث افزایش مقاومت خاک رس بصورت خیلی سریع شده و باعث می شود که خاک توانایی پذیرش بار جدید را داشته باشد. همچنین استفاده از این زهکش ها خطر شکست خاک را در طی قرار دادن خاکریز در محل را حذف می کند. پیش بینی مقدار و نرخ زمانی نشست به همراه زهکش های قائم نقش بسیار مهمی در طراحی پروژه های بهبود خاک توسط بارگذاری توسط خاکریز همراه زهکش های قائم دارد.

طی بررسی که به عمل آمد هر کدام از روش های بهسازی ذکر شده مزیت ها و معایبی دارند که بسته به نظر متخصص و با در نظر گرفتن شرایط می توانند بر دیگری ارجحیت داشته باشند . روش تراکم دینامیکی از روش پیش بارگذاری پر سر و صدا تر است و باعث آزار ساکنین مناطق مسکونی می شود این روش بیشتر برای استحصال زمین از دریا استفاده می شود. از دیگر معایب آن نسب به بارگذاری احتمال آسیب رساندن به سازه های حساس مجاور به دلیل وارد کردن انرژی زیاد به زمین است . ولی به دلیل اینکه خیلی سریع و کم هزینه هست مورد استفاده قرار می گیرد .

منابع :

- 1- هوشمندان ، رضا .، 1383 تحلیل عددی تراکم دینامیکی خاک های دانه ای ، اولین کنگره ملی مهندسی عمران
- 2- عطرچیان ، محمدرضا .، 1390 بهسازی زمین به روش ابر تراکم، انواع آن و عوامل مؤثر در طراحی روش ابر تراکم ، اولین کنفرانس ملی توسعه عمران و توسعه ، زیبا کنار
- 3- جعفرزاده ، فردین.، 1383 مدلسازی تراکم دینامیکی به روش فیزیکی و بررسی پارامترهای مؤثر بر آن ، اولین کنگره ملی مهندسی عمران
- 4- شکوهی ، سیاوش.، 1389 روش های نوین بهسازی زمین همراه با مطالعات موردی در ایران ، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی ژئو تکنیک و مکانیک خاک در ایران
- 5- امینی ، بهرام . 1390 امینی ، بهرام . 1390 اصلاح خاک به روش تراکم / جایگزینی لرزه ای
- 6- شاهنگیان ، رضا .، 1380 رفتار خاک های دو لایه ای تحت اثر ابر تراکم (تراکم دینامیکی) ، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین
- 7- زهدی علیایی ، روح الله .، 1388 ارزیابی استفاده از روش دینامیکی جهت بهسازی بزرگراه شمالی تبریز هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران

- 8- عابد نمینی ، جواد .، 1380 اثرات ضربه در روش ابر تراکم مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین
- 9- شاهنگیان ، شاهکار .، 1380 بهسازی خاک های رسی اشباع با بکارگیری روش ابر تراکم مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین
- 10- همایون ، سید رحمان .، 1388 اصلاح خاک به روش پیش بارگذاری ، همایش ملی مدیریت بحران آب ، مردودشت
- 11- فاطمی ، سید امیر اسعد .، پیش بارگذاری و تحکیم خاک به وسیله خاکریز ، دومین همایش منطقه ای معدن و علوم وابسته
- 12- پردازی ، مسعود .، 1380 پیش بارگذاری همراه با نصب زهکش های فنری ، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین
- 13- خداپرست ، مهدی .، 1380 مطالعه موردی پیش بارگذاری با زهکش قائم در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین
- 14- دکتر اسلامی ، جزوه بهسازی و تثبیت خاک
- 15- www.khosrovani.blogfa.com
- 16- www.soil-improvement.ir