

## مقدمه

بدون شک تا به حال پلی را دیده یا از روی آن عبور کرده اید، حتی اگر شما یک کننده درخت را روی مسیر آب قرار دهید. تا از روی آن عبور کنید، در واقع یک پل ساده ساخته اید. پلها یکی از سازه های مهم و شریانی در زیر ساختار آبادانی هر کشور و مهندسی پل یکی از شاخه های مهم در رشته عمران می باشد. این سازه ها بدلیل اهمیت ارتباطات در راهها بسیار مورد توجه بوده و همانند سایر سازه ها سابقه تحقیقاتی زیادی دارند. امروزه با پیشرفتهای که در زمینه تحلیل و طراحی کامپیوتری صورت گرفته، لزوم توانایی مهندسین عمران در مدلسازی پلها و طراحی آنها امری ضروری می باشد.

## انواع پل

پلها را از لحاظ مختلف می توان تقسیم بندی کرد. اگر معیار اصلی در تقسیم بندی را فاصله ی موجود میان طرفین مانع بدانیم. در اینصورت سه نوع پل اصلی، خواهیم داشت.

۱- پل تیری

۲- پل قوسی

۳- پل معلق

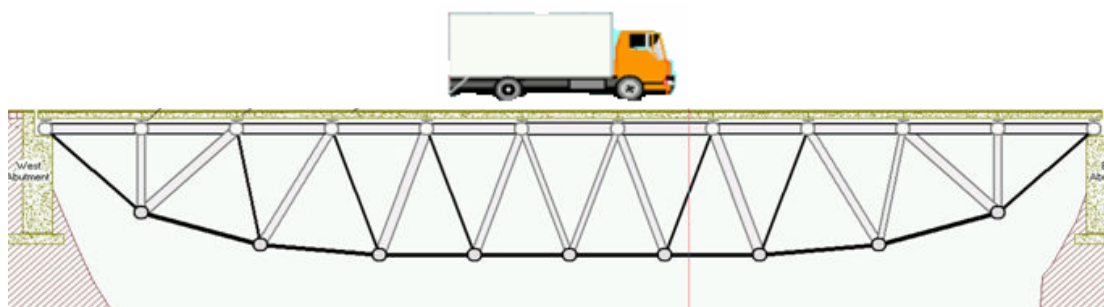
تفاوت عمده در این پلها فاصله دهانه ی پلها می باشد. طول پل تیری حدود ۶۰ متر و پل قوسی، طولی حدود ۳۰۰ متر و پلهای معلق به ۲۰۰۰ متر هم می رسند.

## نیروهای موثر در رفتار پل

نیروهای بسیاری در عملکرد رفتار پلها موثر هستند. اما دو نیروی فشاری و کششی در پلها خیلی مهم هستند. نیروی دیگری که در پلها بویژه پلهای معلق بسیار مهم می باشد. نیروی است که موجب ایجاد گشتاور می شود. شکل طبیعی پلهای قوسی یا تیری اثر این نیروها را بسیار کمتر می کند. اما پل معلق بدلیل معلق بودن، در برابر این نیروها بخصوص زمان وزش بادهای بسیار آسیب پذیر است. برای کاهش اثر این نیرو در پلهای معلق طراحان سعی می کنند. عرشه ی پل را از خرپا بسازند. تا همانند پلهای تیری اثرات نیروی موجب ایجاد گشتاور را کاهش دهند. در پلهایی با طول زیاد، خرپای عرشه ی پل به تنهایی جوابگوی این نیرو نیست. از آزمایش تونل باد برای ارزشیابی میزان مقاومت پلهای معلق در برابر نیروهای ایجاد گشتاور استفاده می کنند. نتایج آزمایشها نشان می دهد که شکل مناسب آیرودینامیک عرشه پل چه نوعی باشد. استفاده از آویزهای مایل در پلهای معلق

نقش بسیار مهمی در کاهش اثرات نیروهای جانبی ایجاد کننده ی گشتاور را دارند. اما این نوع آرایش آویزها در برابر نیروها، نسبت به آویزهای قائم زودتر به خستگی می رسند. عامل دیگر که در پلها مهم است. پدیده تشدید می باشد. یک نمونه از قدرت تخریب این نیرو، پل تاکوما ناروز می باشد. که در سال ۱۹۴۰ توسط بادی با سرعت ۶۴ کیلو متر در ساعت تخریب شد. این پل دارای عرشه ناکارآمدی بود. که در برابر نیروهای آیرودینامیکی مناسب طراحی نشده بود. با تغییر فرکانس می توانیم از ورود امواج مخرب به سازه جلوگیری کنیم. تغییر فرکانس اثر تشدید را از بین می برد.

## بارگذاری پل



بطور کلی پلها از لحاظ بارگذاری ترافیک به سه گروه تقسیم می شوند.

۱. پلهای با دهانه کوچک
۲. پلهای با دهانه متوسط
۳. پلهای با دهانه بزرگ

در پلهای با دهانه کوچک امکان قرارگیری چند وسیله نقلیه روی پل وجود ندارد. بنابراین عامل تعیین کننده در این گونه پلها سنگین ترین کامیون یا سنگین ترین محور کامیون است. اما در پلهای بزرگ قطاری از وسایل نقلیه سبک و سنگین با ترکیب های مختلف بار، روی پل قرار می گیرند. در حالت ازدحام ممکن است، ترافیک متوقف شده و وسایل نقلیه سپر به سپر دنبال هم قرار گیرند. در این حالت اثر دینامیکی آنها ناچیز است. در حالت دیگر ممکن است بواسطه فاصله زیاد وسایل نقلیه، سرعت قابل توجه، و ضریب ضربه بزرگ شود. بنابراین لازم است بحرانی ترین حالت بارگذاری ترافیک تعیین شود. در آئین نامه های بارگذاری دو نوع بارگذاری ترافیکی در نظر گرفته می شود.

۱. بارگذاری کامیون استاندارد

۲. بار معادل یکنواخت، که علاوه بر ساده نمودن محاسبات، اثر سنگین ترین کامیون و نیز حتی

قطار وسایل نقلیه بر روی پل را در نظر می گیرد.

ارقام پیشنهادی آئین نامه های مختلف اگر چه سنگین و شاید بیش از مقادیر موثر روزمره باشد ولی

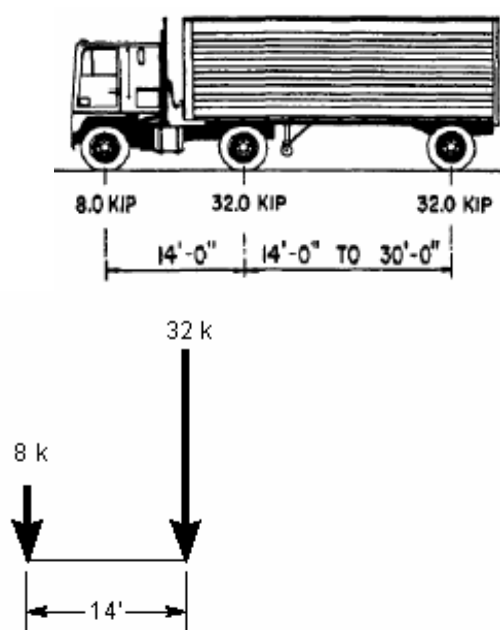
لازم است، در محاسبه پل ها مورد استفاده قرار گیرد. تا جوابگوی جلوگیری از صدمات وارد بر

پل ها در وضعیت فوق العاده باشد.

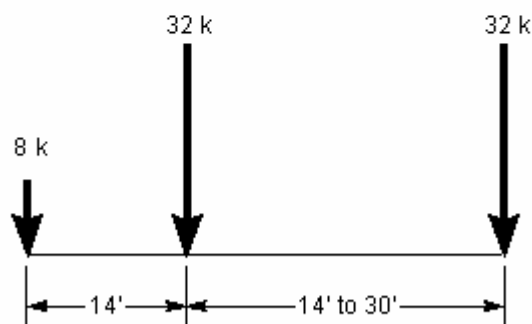
**آئین نامه بارگذاری پلهای راه آشتو (HS20)**

این آئین نامه، بار وارد بر پل را به دو قسمت کامیون استاندارد و بار معادل خطی تقسیم می کند.

الف) بارگذاری کامیون استاندارد

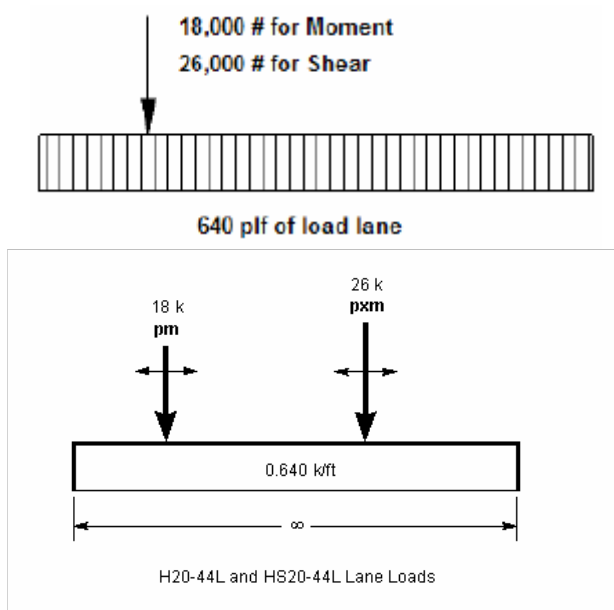


H20-44 Truck Load



HS20-44 Truck Load

(ب) بار معادل خطی



برای بار معادل خطی، یک بار متمرکز تیغه ای به عرض ۳ متر با مقدار ۱۸ کیلوپوند، یا ۸/۲ تن برای لنگر، و مقدار ۲۶ کیلو پوند یا ۱۱/۲ تن برای برش، همزمان با بار معادل بر پل اثر می کنند. همچنین ضریب ضربه برابر  $50/(L+125)$  در نظر گرفته می شود، که  $L$  برابر طول دهانه ی پل بر حسب فوت می باشد. اگر این ضریب ضربه را بر حسب متر بیان کنیم، به رابطه  $15.24/(L+38)$  می رسیم. که حداکثر ۳۰ درصد باید باشد. سیستم بارگذاری H یک کامیون دو محوره و سیستم HS یک تراکتور (اسب) دو محوره بعلاوه یک کفی یک محوره در پشت آن را معرفی می کند.

### بارگذاری پیشنهادی آیین نامه ی ایران

سه نوع بار در نظر گرفته می شود، که هر کدام از بارها تولید برش یا لنگر بیشتر کنند، ملاک طراحی می باشند.

### بار نوع اول

این بارگذاری که به بار عادی نیز معروف است. تحت اثر محورهای سنگین، و اثر قطار کامیون ها و وسایل نقلیه معمولی ایجاد می شود. بار عادی هر خط عبور شامل دو قسمت است.

الف) یک کامیون به وزن ۴۰۰ کیلو نیوتن و به طول ۱۰ متر که ۳ متر جلو و ۳ متر عقب آن خالی است. کامیون محاسباتی ایران دارای ۴۰۰ کیلو نیوتن وزن و سه محور می باشد. و وزن محور جلو ۸۰ کیلو نیوتن و دو محور عقب، هر یک ۱۶۰ کیلو نیوتن فرض می شود. فاصله قرارگیری مرکز چرخها از لبه ی پیاده رو و یا جدول برابر ۰/۵ متر و فاصله عرضی دو کامیون مساوی ۱ متر است.

ب) در بقیه طول خط عبور بار یکنواختی به میزان ۱۵ کیلو نیوتن بر متر که به طور پیوسته یا ناپیوسته و به طول های لازم که بحرانی ترین اثر را داشته باشد قرار داده می شود. در مورد پل های عریض در صورتی که به منظور حصول شرایط بحرانی، خطوط متعدد بار گذاری اعمال شود باید ضریب کاهش مربوط به احتمال همزمانی بارها را در نیروهای داخلی ایجاد شده اعمال نمود.

### بار نوع دوم

بار متمرکزی که معادل ۸۰ کیلو نیوتن بوده و سطح اثر آن مربعی به ابعاد ۳۰ سانتیمتر فرض می شود و موقعیت آن در محدوده ی سواره رو متغیر است.

### بار نوع سوم

در طرح پلهایی که امکان عبور تانک یا تریلی تانک بر وجود داشته باشد. باید اثر بار غیر عادی شامل دو نوع بار نظامی به شرح زیر در محاسبات منظور شود.

#### الف) بار تانک

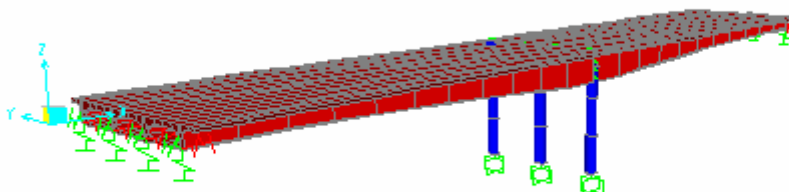
این بار به میزان ۷۰۰ کیلو نیوتن روی دو زنجیر به ابعاد  $۳/۵ * ۱$  متر در نظر گرفته می شود. در هر قسمت از عرض سواره رو پل تنها یک تانک قرار می گیرد. در امتداد طول پل، فاصله وسط تا وسط تانک های متوالی ۳۰ متر منظور می شود.

ب) این وسیله نقلیه که برای حمل تانک مورد استفاده قرار می گیرد دارای ۶ محور به وزن کل ۹۰۰ کیلونیوتن می باشد. و در عرض پل تنها یک تریلی و در طول پل حداکثر دو دستگاه تریلی تانک بر با حداقل فاصله متوالی بین چرخها برابر ۱۲ متر می باشد.

بخش ۱

# مدلسازی پل بتنی با عرشه ی پیش تنیده

## پل بتنی با عرشه ی تیرجعبه ای (پیش تنیده)




### مشخصات مدل

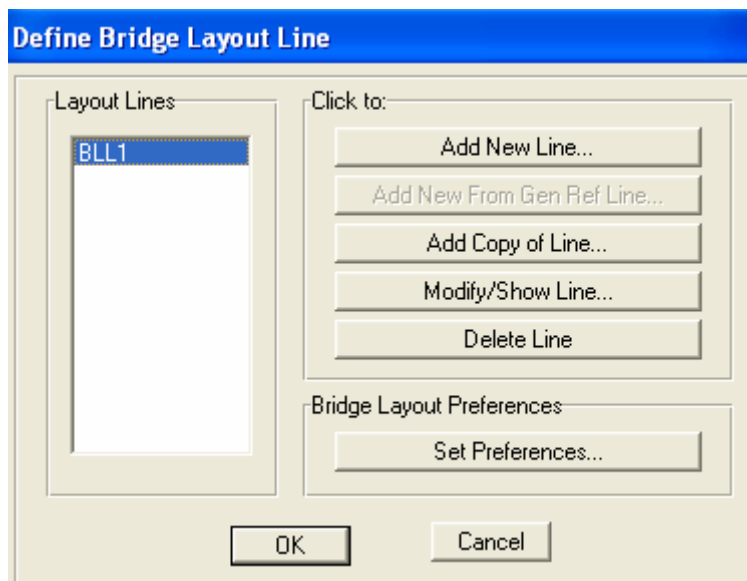
پل به صورت دو دهانه است، که طول کلی آن ۶۱ متر می باشد. حداکثر عمق عرشه بتنی درروی تکیه گاهها برابر ۳ متر می باشد. که این ضخامت به صورت سهمی در طول پل متغیر است. و به ۱/۲ متر می رسد. پهنای عرشه بتنی ۱۱ متر و پهنای عبور گاه پل ۸/۵ متر می باشد. سیستم عرشه بصورت مقطع بتنی جعبه ای با شاهتیرهای پیش تنیده است.

### انتخاب واحد

از نوار واحد ها Kgf, m, C را انتخاب نمائید.

### معرفی خط مرجع طولی پل

دستور **File > New model** را اجرا کنید. یا اینکه روی دکمه  تیک بزنید. از جعبه الگوهای آماده روی **Bridge Wizard** تیک بزنید. پنجره ای ظاهر می شود. آن پنجره را ببندید. با این کار شمایل های بالای پنجره **sap** فعال می شوند. که پنجره بسته شده را می توان از دستور **Bridge > Bridge Wizard** دوباره باز کرد. و از پنجره ی باز شده، مراحل مدلسازی را گام به گام پس از انتخاب هر گام، و با تیک زدن روی دکمه ..... **Define /Show** انجام داد. به جای انجام مراحل یاد شده، می توان از دستور **Bridge** نیز استفاده کرد. اولین گام **Layout Lines** است. که با انتخاب این گزینه پنجره ی ۱-۱ نمایان می شود.



پنجره ۱-۱

- Layout Lines نام خط مرجع در این قسمت دیده می شود.
- Add New Line با تیک زدن روی این دکمه خطوط مرجع مربوط مدلسازی پل را ایجاد می کنیم.
- Add New from Gen Ref Line با این گزینه خطوط مرجع افقی وقائم عمومی ایجاد می گردد.
- Add Copy of Line با این گزینه خطوط مرجع ازطریق کپی کردن به صورت سریع ایجاد می گردد.
- Modify/Show Line با این گزینه اطلاعات خطوط مرجع پل دیده می شود و اصلاحات لازم صورت می گیرد.
- Delete Line با این گزینه اطلاعات خطوط مرجع تعریف شده حذف می گردد.
- Set Preferences

۱. Angle in Degrees: زاویه بین علامت شمال ومحور X را در مختصات کلی تنظیم می کند در حالت پیش فرض این زاویه 90 درجه می باشد .

۲. Maximum Subtended Angle in Degrees: مقادیری بین ۰/۵ تا ۲۲/۵ را می توان برای تعیین همواری یا ناهمواری ترسیم خط مرجع منحنی شکل وارد کرد.



در این پنجره با تیک زدن روی دکمه Add New Line پنجره مشابه ۱-۲ نمایان می شود. که اطلاعات مربوط به خطوط شبکه را در این قسمت وارد می کنیم. در پنجره ۱-۲ و در قسمت Initial and End Station Data، در نوار مربوط به End Station طول خط شبکه را به ۶۷ متر تغییر می دهیم.

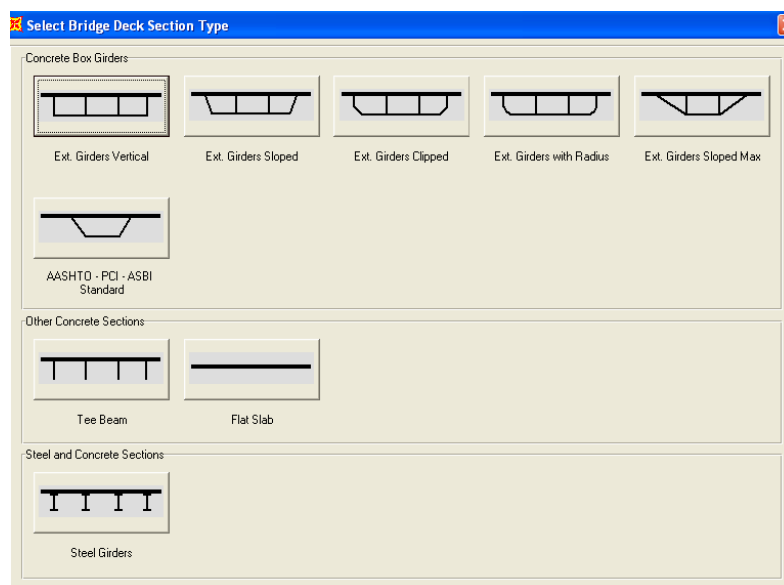
پنجره ۱-۲

با تیک زدن روی دستور Quick Start از قسمت Horizontal Layout Data پلان افقی پل را انتخاب می کنیم.

پنجره ۱-۳

## معرفی مقطع عرشه

در پنجره باز شده، از دستور Bridge > Bridge Deck Sections روی دکمه Add New Section تیک زده و مقطع پل را از بین مقاطع پیش فرض انتخاب می کنیم. (مطابق پنجره ۴-۱)



پنجره ۴-۱

به طور مثال اگر مقطع Ext.Girder Vertical را انتخاب کنیم. پنجره ۵-۱ را خواهیم دید و مقادیر لازم را می توان وارد کرد.

Item	Value
<b>General Data</b>	
Bridge Section Name	BSEC1
Material Property	CONC
Number of Interior Girders	2
Total Width	11.
Total Depth	1.5
<b>Slab and Girder Thickness</b>	
Top Slab Thickness (t1)	0.305
Bottom Slab Thickness (t2)	0.205
Exterior Girder Thickness (t3)	0.305
Interior Girder Thickness (t4)	0.305
<b>Fillet Horizontal Dimension Data</b>	
f1 Horizontal Dimension	0.46
f2 Horizontal Dimension	0.46
f3 Horizontal Dimension	0.15
f4 Horizontal Dimension	0.46
f5 Horizontal Dimension	0.46
f6 Horizontal Dimension	0.15

پنجره ۵-۱

معرفی اطلاعات مربوط به پایه های کناری

از دستور Bridge > Abutment > Modify/show Bridge Abutment پنجره ۱-۶ را  
ظاهر می کنیم.

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Parallel To Abutment (U1)	Fixed	
Translation Normal To Abutment (U2)	Free	
Translation Vertical (U3)	Fixed	
Rotation About Abutment (R1)	Free	
Rotation About Line Normal To Abutment (R2)	Fixed	
Rotation About Vertical Line (R3)	Free	

پنجره ۱-۶

نام مربوط به پایه کناری را وارد می کنیم. Bridge Abutment Name:

Bridge Abutment is Define By : مشخصات مربوط به پایه کناری پل را وارد می کنیم.

Link/Support Property : مشخصات مربوط به تکیه گاه پل را از گزینه  
Define > Link/Support Properties که مربوط به درجه آزادی پل است ، وارد می کنیم.

User Definition : با انتخاب این گزینه در پنجره ای که ظاهر می شود، مشخصات مربوط به  
درجه آزادی پایه های کناری را وارد می کنیم.

**User Abutment**: پارامترهای مورد نیاز برای تنظیم درجه آزادی پایه های کناری و یا مقدار سختی تکیه گاهها را وارد می کنیم.

**Horizontal Location of Abutment Supports**: محل تکیه گاههای عرشه روی تیر پایه های کناری را مشخص می کنیم.

**At Reference Line Location**: تکیه گاه در محل خطوط مرجع قرار داده می شود.

**At Each Girder Location**: تکیه گاه در محل هر شاهتیر عرشه قرار داده می شود.

**Equally Spaced Over Bridge With**: تعداد تکیه گاهها را بطور مساوی در عرض پایه های کناری قرار می دهد. در این حالت تعداد تکیه گاهها را وارد می کنیم، که فاصله آنها را بطور یکسان تنظیم می کند.

### معرفی اطلاعات مربوط به پایه های میانی

با دستور **Bridge > Bent > Add New Bridge Bent** پنجره ۷-۱ نمایان می شود.

**Bridge Bent Data**

**Bridge Bent Name**: BENT1

**Bent Data**

Cap Beam Length: 9

Number of Columns: 3

Cap Beam Section: FSEC1

**Reference Point Location**

Distance From Left End of Cap Beam: 4.5

Note: Ref Pt Is Located Vertically at Top of Cap Beam

**Vertical Diaphragm**

☒ Include Vertical Diaphragm

Diaph Property: BDIA1

**Column Data**

Modify/Show Column Data

**Units**: Kgf, m, C

**Bent Connects To**

☐ Girder Top

☐ Girder Bottom

☒ Girder Top and Bottom

**Bent To Girder Connection Properties Defined By:**

☐ Link/Support Property

☒ User Definition

**User Bent Support**

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Along Link (U1)	Fixed	
Translation in Plane of Cap and Link (U2)	Fixed	
Translation Normal To Plane of Cap/Link (U3)	Fixed	
Rotation About U1 (R1)	Fixed	
Rotation About U2 (R2)	Fixed	
Rotation About U3 (R3)	Fixed	

OK Cancel

پنجره ۷-۱

**Bridge Bent Name**: یک نام اختیاری را وارد کرده یا نام پیش فرض را قبول می کنیم.

**Cap Beam Length**: طول تیر اصلی واقع در بالا سری ستونها را وارد می کنیم.

Number of Columns: تعداد ستونهای موجود در هر کدام از پایه های میانی را وارد می کنیم.

Cap Beam Section: مقطع تیر اصلی را از لیست کرکره ای انتخاب می کنیم.

Distance From Left End Of Cap Beam: محل گذر خط مرجع طولی پل را از سمت چپ

تیر بالاسری ستونها وارد می کنیم.

Include Vertical Diaphragm: با انتخاب این گزینه، انتهای مقطع پل با دیافراگم عمودی بسته

می شود.

Bent Connects To: در این قسمت محل اتصال تیرهای واقع در مقطع عرشه ی پل به تیر اصلی

بالاسری ستونها مشخص می شود.

Link/Support Property: تنظیم درجات آزادی مربوط به محل اتصال تیرهای واقع در مقطع

عرشه ی پل به تیر اصلی بالای ستونها با این گزینه صورت می گیرد. اگر بخواهیم از قبل این تنظیمات

انجام شود، از گزینه Define > Link/Support Properties استفاده کرده و نام آن را انتخاب

می کنیم. در غیر این صورت گزینه User Definition را فعال کرده و از قسمت

User Bent Support درجات آزادی را تنظیم می کنیم. اگر نیاز به تعریف تکیه گاه با سختی

معلوم باشد، مثل نئوپرها، در این صورت از قسمت Release Type گزینه ی Partial Fixity را

انتخاب و سختی تکیه گاه را با در نظر داشتن واحد سختی وارد می کنیم.

برای تنظیم ارتفاع و محل قرارگیری ستونها و همچنین دوران و مشخص نمودن درجات آزادی هر

ستون، با تیک زدن روی دکمه Modify /Show Column Data پنجره ۱-۸ را نمایان می کنیم.

**Bridge Bent Column Data**

Bridge Bent Name: BENT1 Units: Kgf, m, C

Column Data

Column	Section	Distance	Height	Angle	Base Support
1	FSEC1	0.75	8.	0.	Fixed
2	FSEC1	4.5	8.	0.	Fixed
3	FSEC1	8.25	8.	0.	Fixed

**Notes:**

1. The distance is measured from the left end of the cap beam to the center of the column.
2. The column height is measured from the midheight of the cap beam to the bottom of the column.
3. The column angle is measured in degrees counterclockwise from a line parallel to the bent to the column local 2 axis.

Moment Releases at Top of Column

Column	R1 Release	R2 Release	R3 Release	R1 Stiffness	R2 Stiffness	R3 Stiffness
1	Fixed	Fixed	Fixed			
2	Fixed	Fixed	Fixed			
3	Fixed	Fixed	Fixed			

OK Cancel

پنجره ۱-۸

Column Data: اطلاعات مربوط به ستونها شامل:

مقطع، فواصل، ارتفاع، دوران ستون در پلان و درجات آزادی آنها، در این قسمت وارد می شود.  
Distance: موقعیت مربوط به ستونها از انتهای چپ تیر اصلی پایه های میانی، در این قسمت وارد می شود.

Height: ارتفاع ستون از پایین ترین نقطه شروع ستون تا قسمت بالای تیر متصل شونده به آنها اندازه گیری می شود.

Angle: زاویه دوران بین محور محلی شماره ۲ ستون و محور طولی پل، که در جهت عقربه های ساعت با علامت مثبت وارد می شود.

Base Support: مشخصات مربوط به درجه آزادی تکیه گاه هر ستون را وارد می کنیم.

معرفی مقطع متغیر شایسته جعبه ای

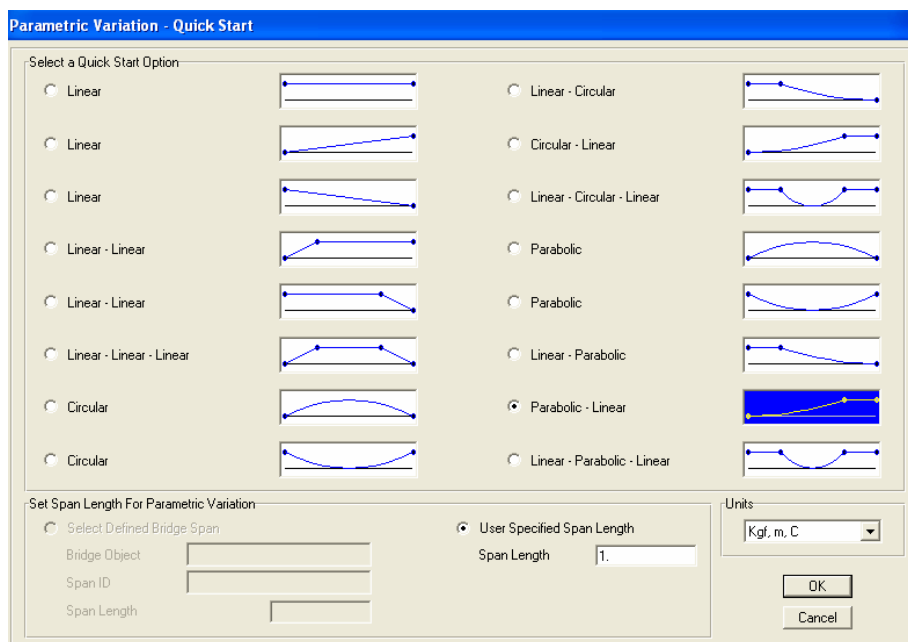
با دستور

Bridge > Parametric Variations > Add New Variation پنجره ۹-۱ نمایان

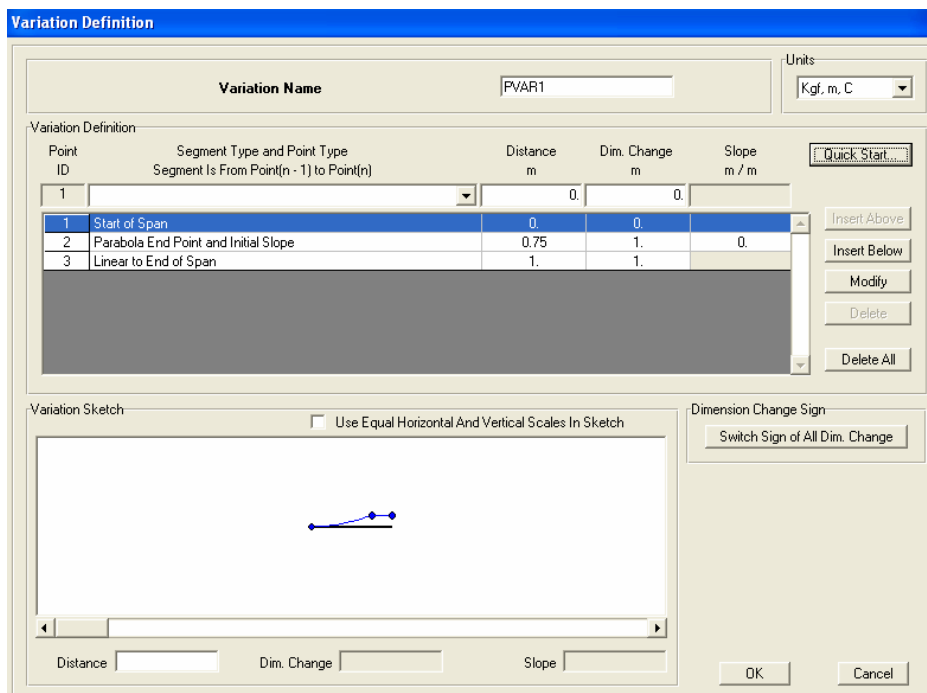
می شود.

پنجره ۹-۱

در این پنجره با تیک زدن روی دکمه Quick Start پنجره ۱-۱۰ را نمایان می کنیم. با انتخاب هر کدام از شکل های موجود و تیک زدن روی دکمه Ok، پنجره مربوط به وارد کردن مشخصات مربوط به آن مقطع را نمایان می کنیم. به طور مثال، با تیک زدن روی گزینه Parabolic-Linear پنجره ۱-۱۱ ظاهر می شود.



پنجره ۱-۱۰



پنجره ۱-۱۱

در این پنجره، طول کلی و ارتفاع مقاطع پیش فرض، مقدار واحد در نظر گرفته شده است. سایر مقادیر نسبتی از مقدار واحد می باشند. برای تغییر این اطلاعات می توان اعداد را با استفاده از گزینه Modify تعویض کرد.

اگر بخواهیم از مقاطع پیش فرض استفاده نکنیم به صورت زیر عمل می کنیم.

۱. یک نام دلخواه را برای مقطع وارد می کنیم.
۲. با تیک زدن روی لیست شماره های گره ها نوار گره اول را فعال می کنیم.
۳. در قسمت Segment Type and Point Type... نوع تغییرات مقطع را انتخاب می کنیم. در این مثال گزینه Parabola End point and initial slope می باشد.
۴. در قسمت Distance طول مقطع متغیر را وارد می کنیم. برای این مثال ۲۷/۵ متر می باشد
۵. در قسمت Dim Change ارتفاع مورد نظر را وارد می کنیم. برای این مثال ۱/۵ متر می باشد.
۶. بعد از اتمام این مراحل دکمه Insert Below را تیک می زنیم.
۷. با تیک زدن روی لیست شماره های گره ها نوار گره سوم را فعال می کنیم و در قسمت Distance طول نقطه بعدی را که در این مثال برابر ۳۰/۵ متر است وارد می کنیم.
- در قسمت Dim Change همان عدد ۱/۵ متر را وارد کرده و روی دکمه Modify تیک می زنیم. اگر مراحل ترسیم را درست انجام دهیم باید شکل پنجره ۱-۱۲ نمایان شود.
۸. با تیک زدن روی دکمه OK، پنجره قبلی را بسته و برای تعریف مقطع جدید روی دکمه Add New Variation تیک می زنیم.
۹. مانند حالت قبلی یک نام دلخواه را وارد کرده و در قسمت Dim Change ۱/۵ متر را وارد و روی دکمه Modify تیک می زنیم.
۱۰. در قسمت Segment Type and Point Type... نوع تغییرات یکنواخت مقطع را برای طول ۳ متری انتخاب می کنیم یعنی گزینه Linear و در قسمت Distance عدد ۳ متر و در Dim Change عدد ۱/۵ متر را وارد می کنیم.
۱۱. بعد از وارد کردن اطلاعات روی دکمه Insert Below تیک می زنیم.
۱۲. در قسمت Segment Type and Point Type... گزینه مربوط به نوع تغییرات مقطع یعنی Parabola End point and final slope را انتخاب می کنیم.
۱۳. در قسمت Distance ۳۰/۵ متر و در Dim Change عدد صفر را وارد می کنیم و روی دکمه Insert Below تیک می زنیم. اگر مراحل ترسیم درست باشد شکل پنجره ۱-۱۳ باید نمایان شود. دکمه های OK را تیک می زنیم.



**Variation Definition**

Variation Name: PVAR1 Units: Kgf, m, C

Variation Definition

Point ID	Segment Type and Point Type Segment Is From Point(n - 1) to Point(n)	Distance m	Dim. Change m	Slope m / m
3		30.5	1.5	
1	Start of Span	0.	0.	
2	Parabola End Point and Initial Slope	27.5	1.5	0.
3	Linear to End of Span	30.5	1.5	

Quick Start... Insert Above Insert Below Modify Delete Delete All

Variation Sketch ☐ Use Equal Horizontal And Vertical Scales In Sketch

Distance: Dim. Change: Slope:

Dimension Change Sign: Switch Sign of All Dim. Change

OK Cancel

پنجره ۱-۱۲

**Variation Definition**

Variation Name: PVAR2 Units: Kgf, m, C

Variation Definition

Point ID	Segment Type and Point Type Segment Is From Point(n - 1) to Point(n)	Distance m	Dim. Change m	Slope m / m
1		0.	1.5	
1	Start of Span	0.	1.5	
2	Linear	3.	1.5	
3	Parabola End Point and Final Slope	30.5	0.	0.
4	Linear to End of Span	30.5	0.	

Quick Start... Insert Above Insert Below Modify Delete Delete All

Variation Sketch ☐ Use Equal Horizontal And Vertical Scales In Sketch

Distance: Dim. Change: Slope:

Dimension Change Sign: Switch Sign of All Dim. Change

OK Cancel

پنجره ۱-۱۳

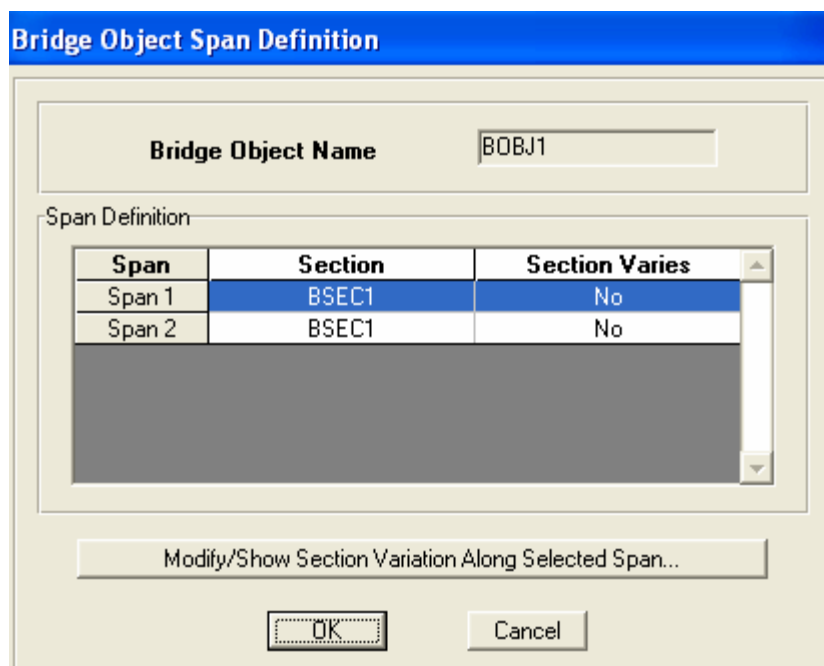
## Use Equal Horizontal and Vertical Scales in Sketch

با فعال کردن این گزینه مقیاس عمودی و افقی شکل ترسیم شده یکسان خواهد بود.

## اختصاص مقطع متغیر شاهیتر جعبه ای

از دستور: Bridge > Bridge Objects > Modify/Show Bridge Object

پنجره ای نمایان می شود، که با تیک زدن روی Modify /Show Spans پنجره ۱-۱۴ را نمایان می کنیم.



پنجره ۱-۱۴

با تیک زدن روی نوار هر دهانه آن را فعال کرده (به رنگ آبی نمایان می شود) و روی دکمه Modify/Show Section Variation Along Selected Span... تیک زده تا پنجره ۱-۱۵ نمایان شود. با توجه به اینکه فقط تغییرات ضخامت عرشه را داریم، از نوار مربوط به Total Depth نام مقطع را انتخاب و دکمه OK را تیک می زنیم. در این مثال، ابتدا دهانه Span1 را فعال کرده و با تیک زدن روی دکمه .... Modify/Show پنجره ۱-۱۵ را نمایان می کنیم. در این پنجره از قسمت Total Depth نام PVAR1 را انتخاب و روی دکمه OK تیک می زنیم. دوباره در پنجره ۱-۱۴ دهانه Span2 را فعال نموده و روی دکمه ... Modify/Show تیک زده و در پنجره نمایان شده نام PVAR2 را از قسمت Total Depth انتخاب می کنیم.

**Bridge Section Variation Definition**

Bridge Object Name:   
 Span Label:   
 Base Bridge Section Property:

Bridge Section Variation Is Defined By:  
☒ User Definition   
☐ Reference to Another Span

Display Section:

User Defined Variation For Concrete Box Girder - Vertical

Parameter	Variation
<b>General Data</b>	
Total Width	Constant
Total Depth	PVAR1
<b>Slab and Girder Thickness</b>	
Top Slab Thickness (t1)	Constant
Bottom Slab Thickness (t2)	Constant
Exterior Girder Thickness (t3)	Constant
Interior Girder Thickness (t4)	Constant
<b>Fillet Horizontal Dimension Data</b>	
f1 Horizontal Dimension	Constant
f2 Horizontal Dimension	Constant
f3 Horizontal Dimension	Constant
f4 Horizontal Dimension	Constant
f5 Horizontal Dimension	Constant
f6 Horizontal Dimension	Constant
f7 Horizontal Dimension	Constant

پنجره ۱-۱۵

### معرفی تعداد و مشخصات دهانه های پل

از دستور Bridge > Bridge Objects دکمه Add New Bridge Object را تیک بزیند تا پنجره ۱-۱۶ نمایان شود.

در قسمت Define Bridge Object Reference Line اطلاعات لازم را برای ترسیم خطوط شبکه مربوط به پایه های میانی و کناری پل وارد می کنیم.

Layout Line Name: در این گزینه نام خطوط شبکه را با پیش فرض معلوم قبول می کنیم.  
 Station: مختصات خطوط مرجع عرضی را وارد می کنیم.  
 Insert Above: با این گزینه مختصات خطوط مرجع جدید که محل پایه های میانی می باشند وارد می گردد.

Modify: تعویض و اصلاح مختصات پایه های پل با این گزینه صورت می گیرد.  
 Span Label: برچسب اولین پایه کناری پل از سمت چپ به نام span start و دهانه های میانی متصل به پایه های میانی ، به نامهای span1, span2, span3, ... و دهانه های متصل به آخرین پایه کناری به نام span to end معرفی می شوند.

Bridge Object Span Type : در لیست کرکره ای این نوار، گزینه های زیر موجود

می باشد:

**Start Abutment**: برای محل شروع اولین دهانه پل، این گزینه انتخاب می شود.

**Span to Bent**: برای هر دهانه ای که به پایه های میانی متصل شود، باید این گزینه انتخاب گردد.

**Span to Abutment**: هر دهانه ای که به پایه های کناری ختم شود، این گزینه انتخاب می شود.

**Bridge Object Data**

Bridge Object Name: BOBJ1

Coordinate System: GLOBAL

Units: Kgf, m, C

Define Bridge Object Reference Line

Span Label	Bridge Object Span Type	Layout Line Name	Station m	Item Label
span to end		BLL1	64.5	EndAbt
SpanStart	Start Abutment	BLL1	3.5	StartAbt
span1	Span to Bent	BLL1	34.	Bent2
span to end	Span to Abutment	BLL1	64.5	EndAbt

Notes: 1. Bridge object location is based on bridge section insertion point following specified layout line.

Bridge Object Plan View (X-Y Projection) (Double Click Sketch For Enlarged View)

North

Y

X

Layout Line

Station

Bearing

Radius

Grade

X

Y

Z

Snap To

☒ None

☐ Ref. Line

☐ Layout Line

☐ Abutment, Bent, Hinge, Diaph.

Show Bridge Object Assignments

Modify/Show Spans...

Modify/Show User Discretization Points...

Modify/Show Abutments...

Modify/Show Bents...

Modify/Show Hinges (Exp. Joints)...

Modify/Show Cross Diaphragms...

Modify/Show SuperElevation...

Modify/Show Bridge Prestress...

OK

Cancel

پنجره ۱-۱۶

**Show Bridge Object Assignments**: در این قسمت مشخصات مربوط به هندسه پل

(مقطع، میزان دوران تکیه گاههای پل در پلان، تنظیمات مربوط به پیش تنیده کردن و.....) را وارد

می کنیم.

مراحل وارد کردن اطلاعات این قسمت به صورت زیر می باشد.

۱. در قسمت Span Label نوار Span Start را با تیک زدن فعال می کنیم.
۲. در قسمت Station عدد ۳/۵ متر را وارد کرده و دکمه Modify را تیک می زنیم.
۳. از لیست کرکره ای Bridge Object Span Type، گزینه Span to Bent را انتخاب می کنیم.
۴. در قسمت Span Label عبارت Span1 و در قسمت Item Label عبارت Bent2 را وارد می کنیم.
۵. در قسمت Station عدد ۳۴ متر را وارد کرده و روی دکمه Insert Below تیک می زنیم.
۶. در قسمت Span Label نوار Span to End را با تیک زدن فعال می کنیم.
۷. در قسمت Station عدد ۶۴/۵ متر را وارد کرده و روی دکمه modify تیک می زنیم.

در این مثال پل مورد نظر دارای دو دهانه است. اولین پایه کناری از فاصله ۳/۵ متری از خط مرجع طولی شروع می شود و دهانه پل ۳۰/۵ متر از مرکز به مرکز پایه ها می باشد. لذا مختصات خط مرجع بعدی در فاصله  $(۳۰/۵ + ۳/۵ = ۳۴)$  متر وارد می شود که همان محور عبوری از تکیه گاه میانی می باشد. محل محور آخری پایه کناری را در مختصات  $۳۰/۵ + ۳۴$  وارد می کنیم.

### اعمال دوران پایه های پل

۱. پایه های کناری
- در صورتیکه محور عرضی پایه های کناری پل، عمود بر محور طولی پل نباشند. با تیک زدن روی دکمه Modify/Show Abutments .... از پنجره ۱-۱۶، پنجره ۱-۱۷ را ظاهر می کنیم. در این پنجره، میزان دوران پایه های کناری پل را به اندازه ۱۵ درجه در جهت عقربه های ساعت وارد می کنیم. به این صورت که در قسمت Bearing عبارت Default را به Default-15 تغییر می دهیم. توجه داشته باشید که میزان دوران در جهت عقربه های ساعت را با علامت منفی و در خلاف جهت عقربه های ساعت با علامت مثبت وارد می شود.

**Bridge Object Abutment Definition**

Bridge Object Name: BOBJ1

Abutment Definition:

Abutment	Property	Bearing
StartAbt	ABUT1	Default-15
EndAbt	ABUT1	Default-15

OK Cancel

پنجره ۱-۱۷

## ۲. پایه های میانی

برای اعمال دوران پایه های میانی، با تیک زدن روی دکمه... Modify/show Bent از پنجره ۱-۱۶، پنجره ۱-۱۸ را نمایان می کنیم. در قسمت Bearing از پنجره ی فوق زاویه ۱۵ درجه را با علامت منفی به عبارت Default اضافه می کنیم.

**Bridge Object Bent Definition**

Bridge Object Name: BOBJ1

Units: Kgf, m, C

Bent Definition:

Bent	Property	Bearing	Horiz. Offset	Vert. Offset	Mesh Deck At Bent
ben t	BENT1	Default-15	0.	0.	Yes

Notes: 1. Offsets are offset of bent reference point from bridge layout line.

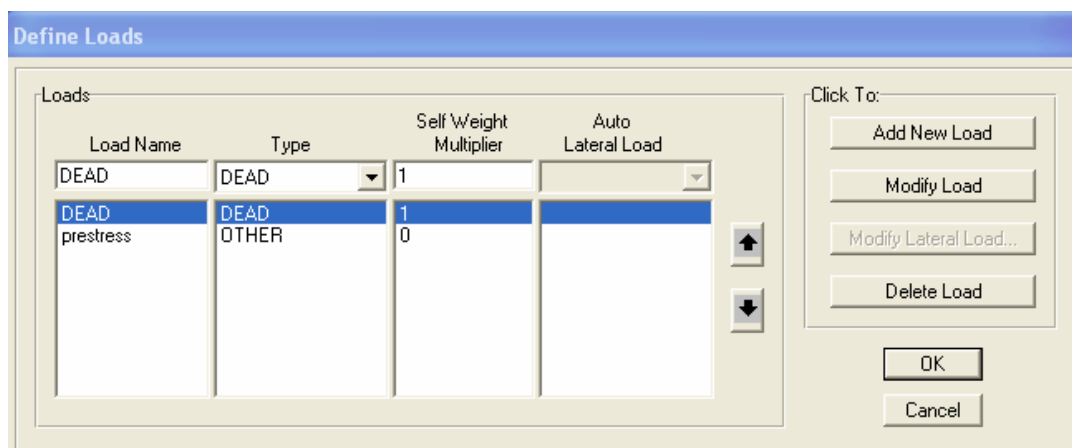
OK Cancel

پنجره ۱-۱۸

دکمه های OK را تیک می زنیم تا پنجره های ظاهر شده بسته شوند.

## معرفی حالت بارگذاری پیش تنیده

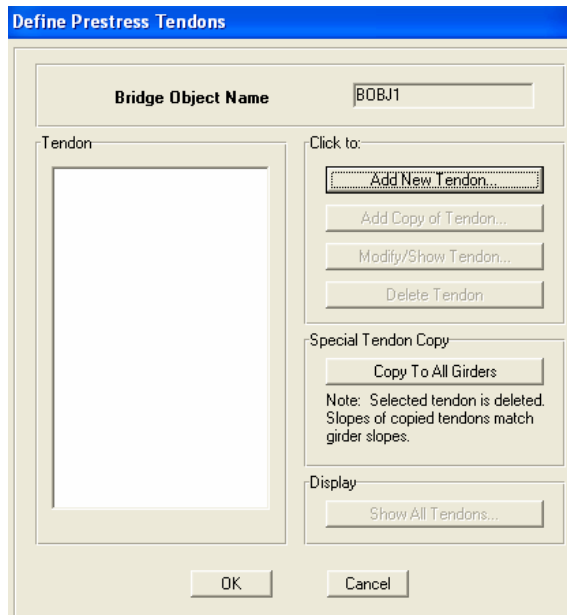
از دستور Define > Load Cases پنجره ۱-۱۹ را ظاهر می کنیم. در این پنجره، حالت بار مربوط به پیش تنیدگی را با نام Prestress اضافه می کنیم. به این صورت که در قسمت Type، گزینه Other را انتخاب و ضریب Self Weight Multiplier را صفر وارد کرده سپس روی دکمه Add New Load تیک می زنیم. اگر بخواهیم بار مرده سازه در تحلیل منظور شود. باید ضریب را عدد ۱ وارد کنیم.



پنجره ۱-۱۹

### معرفی پیش تنیدگی شاهتیرها

با دستور Bridge > Bridge Objects > Modify/Show Bridge Object پنجره ۱-۱۶ Modify/Show Bridge ..... را ظاهر می کنیم. در این پنجره با تیک زدن روی دکمه Add New Tendon پنجره Prestress ۱-۲۰ نمایان می شود که با تیک زدن روی دکمه Add New Tendon پنجره ۱-۲۱ را ظاهر می کنیم. در این پنجره مشخصات مربوط به پیش تنیده کردن شاهتیرها وارد می شود.



پنجره ۱-۲۰

پنجره ۱-۲۱

در قسمت Tendon Load Case حالت Prestress را انتخاب می کنیم.

### Tendon Start Location

Span: دهانه ی شروع کابل پیش تنیدگی انتخاب می شود.

Start Location: محل شروع کابل پیش تنیدگی را انتخاب می کنیم. در لیست کرکره ای این عبارت دو گزینه موجود است.

- Start of Span: با انتخاب این گزینه محل پیش تنیدگی، در ابتدای دهانه ی مورد نظر قرار می گیرد.

- User Definition: با انتخاب این گزینه محل پیش تنیدگی توسط کاربر تعیین می شود. اگر این گزینه انتخاب شود نوار Distance Along Span روشن می شود. در این نوار فاصله محل شروع پیش تنیدگی از سمت چپ دهانه وارد می کنیم.



## Tendon End Location

Span: دهانه ی پایان کابل پیش تنیدگی انتخاب می شود.

Start Location: محل قطع کابل پیش تنیدگی را انتخاب می کنیم. در لیست کرکره ای این

عبارت دوگزینه موجود است.

- End of Span: با انتخاب این گزینه، محل پیش تنیدگی در انتهای دهانه ی مورد

نظر قرار می گیرد.

- User Definition: با انتخاب این گزینه، محل قطع کابل پیش تنیده توسط کاربر

تعیین می شود. اگر این گزینه انتخاب شود نوار Distance Along Span روشن

می شود. در این نوار، فاصله قطع کابل از سمت راست دهانه وارد می شود.

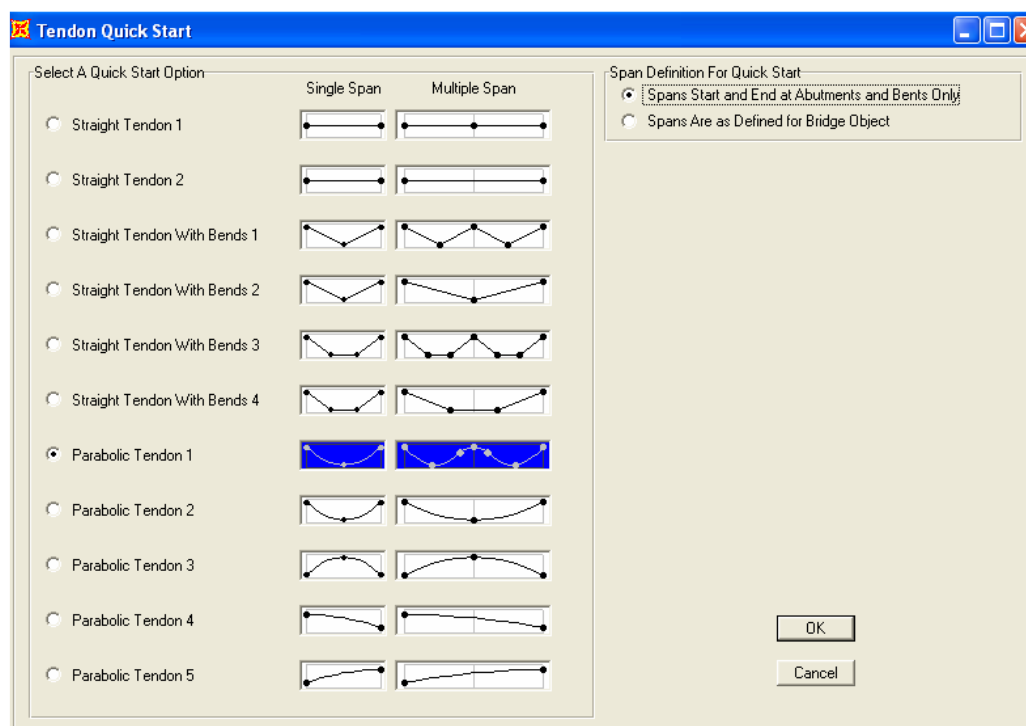
## Vertical Layout

Edit Vertical Layout: با این دکمه تغییرات مربوط به مسیر عمودی کابل را می توان تنظیم

نمود.

Quick Start: با تیک زدن روی این دکمه، پنجره ۱-۲۲ نمایان می شود که مسیرهای پیش فرض

کابل پیش تنیده در نمای جانبی از مقطع طولی عرشه ی پل را نشان می دهد.



پنجره ۱-۲۲

برای انتخاب هر کدام از مسیرهای پیش فرض، روی آن تیک می زنیم. با تیک زدن روی دکمه OK پنجره ۲۳-۱ نمایان می شود که در صورت نیاز، تغییرات لازم برای محل گذر کابل را می توان در این پنجره انجام داد.

**Define Parabolic Tendon Vertical Layout By Points**

Edit

Tendon Name:  Number of Control Points:  Template:

Tendon Layout Data

Point	Tendon Dist m	Offset Type	Vert Offset m	Slope Type	Slope m / m
1	0.	Specified	-0.2	Prog Calc	-0.2332
2	13.725	Specified	-1.8	Specified	0.
3	25.925	Prog Calc	-0.6364	Prog Calc	0.1908
4	30.5	Specified	-0.2	Specified	0.
5	35.075	Prog Calc	-0.6364	Prog Calc	-0.1908
6	47.275	Specified	-1.8	Specified	0.
7	61.	Specified	-0.2	Prog Calc	0.2332

Notes: 1. Tendon distance is measured along the bridge object reference line.  
2. Offset is offset of the tendon from bridge object reference line.

Units:

Tend Dist:   
Offset:   
Slope:   
S:   
Z:

☐ No Snap  
☐ Snap to Ref Line  
☐ Snap to Tendon  
☒ Snap to Points

☒ Use Calculated Results for This Tendon

پنجره ۲۳-۱

روی دکمه Done تیک بزیند تا این پنجره بسته شود.

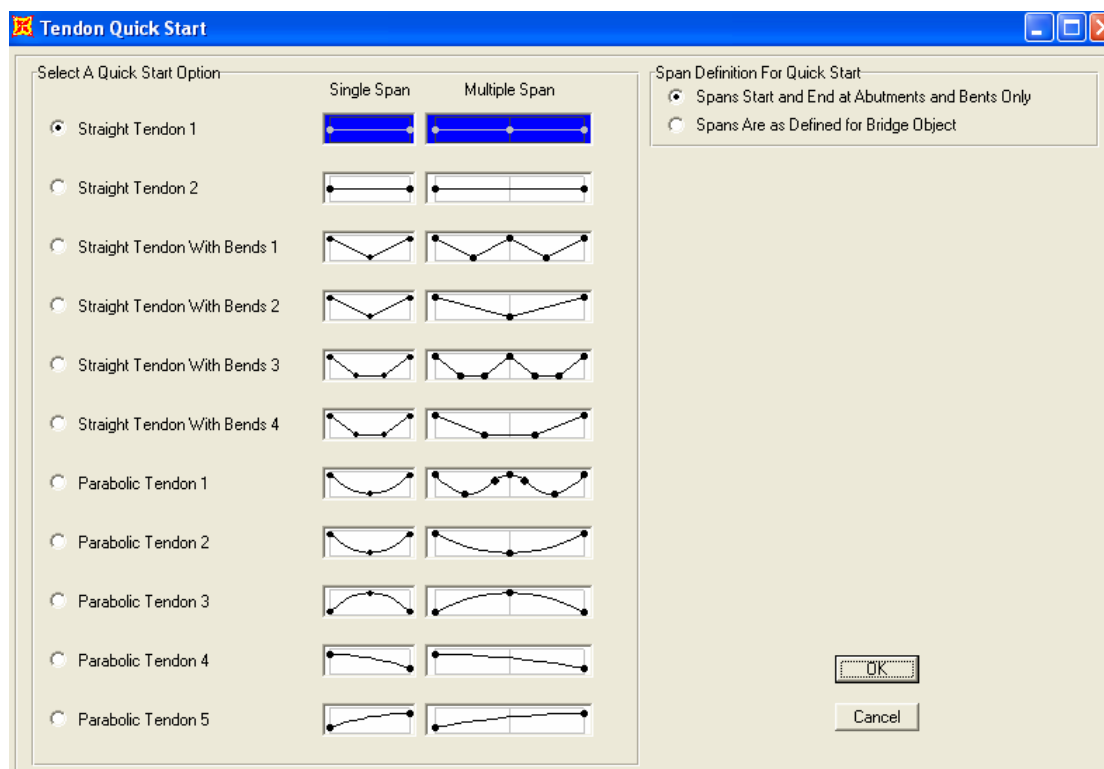
## Horizontal Layout

Edit Horizontal Layout: با این دکمه تغییرات مربوط به مسیر افقی کابل واقع در پلان پل

تنظیم می شود.

Quick Start: با تیک زدن روی این دکمه مسیرهای پیش فرض کابل در پلان پل نشان داده

می شود. (مطابق پنجره ۲۴-۱)



پنجره ۱-۲۴

## Tendon Parameters

- Jack From : موقعیت قرارگیری جک را انتخاب می کنیم .
- Material Property : تنها گزینه فولاد را برای مصالح کابل بصورت پیش فرض قبول می کنیم
- Tendon Area : مساحت کابل پیش تنیده را وارد می کنیم
- Tendon Loss Parameters : در این قسمت اطلاعات مربوط به تنشهای خزشی بتن و تنشهای ناشی از وارفتگی بتن و تنش تسلیم فولاد و... را وارد می کنیم.
- Move Tendon : در صورت نیاز به جابجایی کابل از این گزینه استفاده می کنیم.
- Show Tabular Data : در این قسمت اطلاعات مربوط به تغییرات مسیر کابل موجود می باشد.
- Tendon Load Force/Stress : تنش یا نیروی داخلی موجود در کابل پیش تنیده را وارد می کنیم.
- Model as Load : با این گزینه اطلاعاتی که در قسمت Tendon Loss Parameters اختصاص دادیم در مرحله تحلیل مورد استفاده قرار می گیرند.

**Model as Elements** : زمانی که این گزینه انتخاب گردد. برنامه بصورت خودکار اطلاعاتی را که در قسمت **Define > materials > material property** تعریف شده است، مورد استفاده قرار می دهد.

### Tendon Layout Display Option

با انتخاب گزینه های این قسمت مسیر کابل را از نما های مختلف مشاهده می کنیم.

#### Span To This Span Location

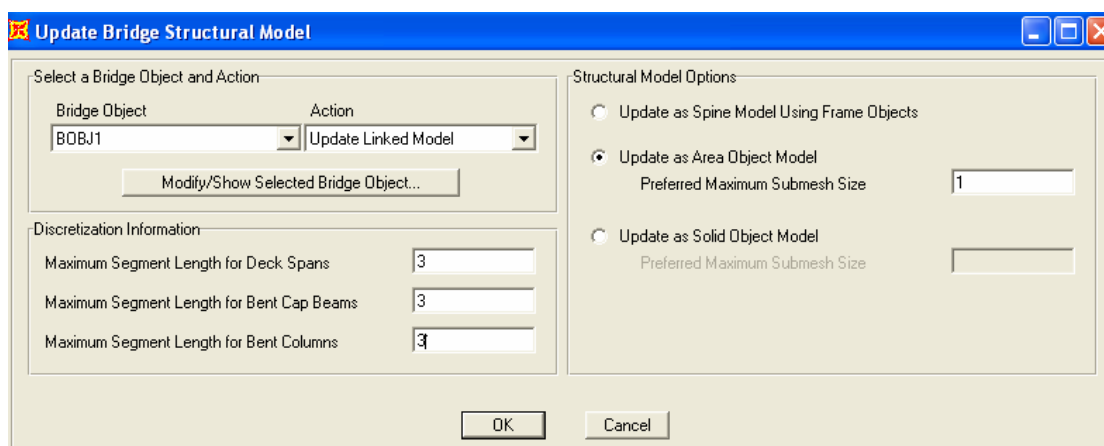
اگر در قسمت **Snap To This Item** گزینه های به غیر از **None** روشن باشند در اینصورت با انتخاب **Anywhere Along Span** یک حرکت پیوسته را در طول خطوط مرجع یا مسیر کابل خواهیم داشت. و اگر بخواهیم بصورت جهشی مکان نمای قرمز رنگ حرکت کند طول پرش را که نسبتی از دهانه است وارد می کنیم.

در صورت یکسان بودن مشخصات کابلها بعد از تیک زدن روی دکمه های **Ok** به پنجره ۱-۲۰ می رسیم. در این پنجره روی دکمه **Copy To All Girders** تیک می زنیم. با تیک زدن روی دکمه **OK** از این پنجره خارج می شویم.

برای دیدن مسیر کابلها از دستور **View > Set Display Option** استفاده می کنیم. در پنجره نمایان شده گزینه **Not in View** را از لیست **Areas** فعال می کنیم.

### تقسیم بندی عضو های پل به اجزاء محدود

برای تقسیم بندی عضو های پل از دستور **Bridge > Update Linked Bridge Model** استفاده می کنیم. با دستور فوق پنجره ۱-۲۵ نمایان می شود.



پنجره ۱-۲۵

### • Discretization Information

#### :Maximum Segment Length for Deck Spans

در نوار مربوط به این گزینه، بیشترین ابعاد اجزاء، برای تقسیم بندی عرشه پل، در جهت طول دهانه را وارد می کنیم.

#### :Maximum Segment Length for Bent Cap Beams

در نوار مربوط به این گزینه، بیشترین ابعاد اجزاء، برای تقسیم بندی تیر واقع در سر ستون پایه های میانی، وارد می شود.

#### :Maximum Segment Length for Bent Columns

در نوار مربوط به این گزینه، بیشترین طول اجزاء، برای تقسیم بندی ستونهای پایه های میانی، وارد می شود.

### • Structural Model Options

#### Update as Spine Model Using Frame Objects

با انتخاب این گزینه، تقسیم بندی عناصر به صورت یک بعدی (میله ای) انجام می شود.

#### Update as Area Object Model .....

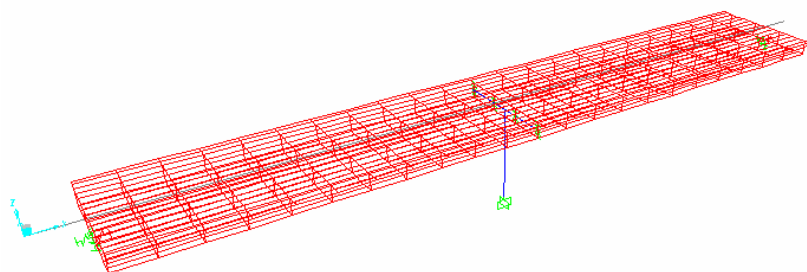
با این گزینه، تقسیم بندی عناصر به صورت دو بعدی (سطحی) انجام می شود.

#### Update as Solid Object Model

با این گزینه، تقسیم بندی به صورت حجمی (آجری) انجام می شود.

اعدادی که در نوار مربوط به این گزینه ها وارد می شود. حداکثر ابعاد اجزاء در جهت عرض عبورگاه پل می باشد.

اگر اطلاعات پنجره ۱-۲۵ را تأیید کنیم. مدل پل به صورت پنجره ۱-۲۶ نمایان می شود.



پنجره ۱-۲۶

## معرفی مسیرهای عبور

## Bridge &gt; Lanes &gt; Add New Lane Defined From Layout Line

با دستور فوق پنجره ۱-۲۷ ظاهر می شود. در این پنجره اطلاعات مربوط به خطوط رفت و برگشت پل، وارد می شود.

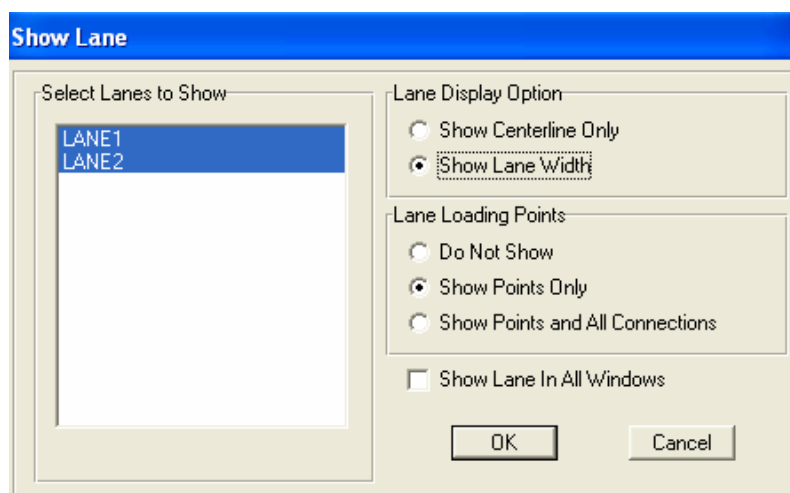
Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
BLL1	67.	2.75	4.25
BLL1	0.	2.75	4.25
BLL1	67.	2.75	4.25

پنجره ۱-۲۷

در قسمت Station عدد صفر را به عنوان شروع باند عبوری از مختصات صفر خط مرجع طولی پل وارد می کنیم. درنوار ویرایشی Centerline Offset خروج از مرکزیت محور باند عبوری پل را نسبت به محور طولی پل وارد می کنیم. در این مثال ۲/۷۵ متر می باشد. درنوار ویرایشی Lane Width عرض باند را که ۴/۲۵ متر می باشد وارد می کنیم. با تیک زدن روی دکمه Add، این مسیر را اضافه می کنیم. همین مراحل را برای تعریف قسمت پایانی خط عبور انجام می دهیم. چون عرض خط عبور ثابت است لذا کافی است در قسمت Station عدد ۶۷ متر را وارد کنیم. برای مشخص کردن رنگ مسیرهای عبوری از قسمت Display Color رنگ دلخواه را انتخاب کرده و بعد روی دکمه OK تیک می زنیم.

برای تعریف خط عبور جدید روی دکمه Add New Lane Defined Form Layout Line تیک زده و پنجره باز شده را مشابه پنجره قبلی تکمیل می کنیم.

برای مشاهده خطوط رفت و برگشت پل، با دستور Display > Show Lanes پنجره ۲۸-۱ را نمایان ساخته و از قسمت Lane Display Option گزینه Show Lane Width را فعال می کنیم.

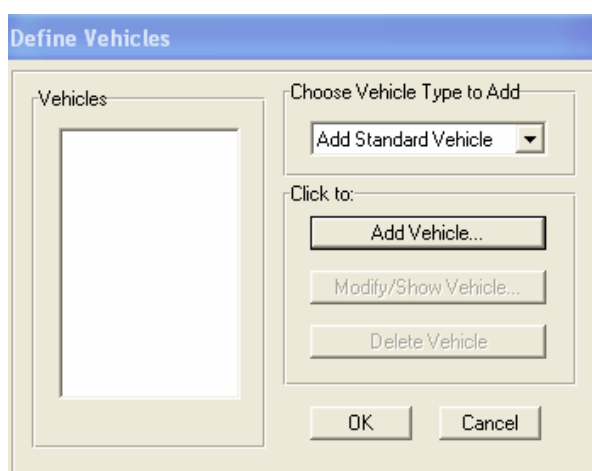


پنجره ۲۸-۱

برای مشاهده نکردن خطوط عبوری پل، روی گزینه Show Centerline Only تیک زده که با این کار تنها محور مرکزی خطوط پل دیده خواهد شد.

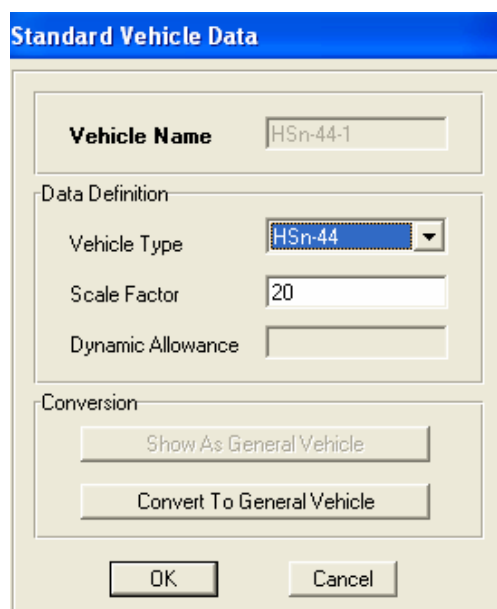
### معرفی بارگذاری متحرک

با دستور Bridge > Vehicles > Add Vehicle پنجره ۲۹-۱ نمایان می شود.



پنجره ۲۹-۱

با تیک زدن روی دکمه Add Vehicle .... پنجره ۱-۳۰ را نمایان می کنیم. در این پنجره از قسمت Data Definition واز نوار روبروی گزینه Vehicle Type نوع بارگذاری متحرک را انتخاب می کنیم. برای این مثال ،گزینه Hsn-44 انتخاب می گردد.

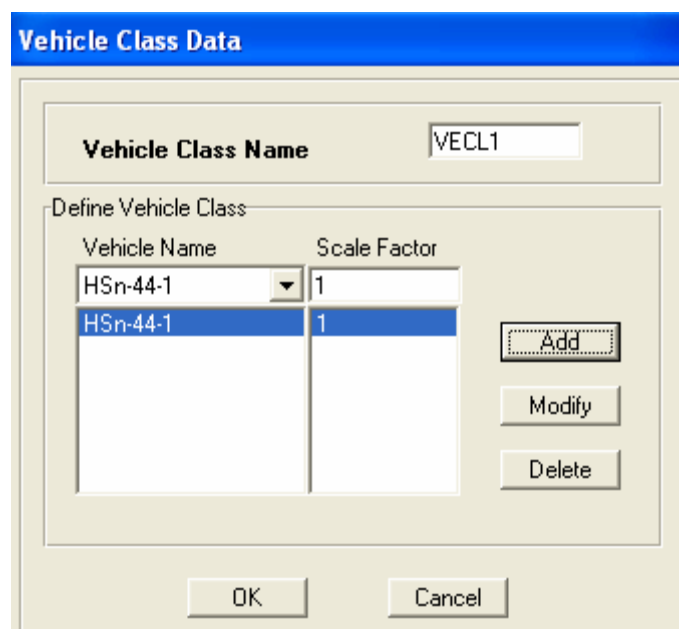


The dialog box titled "Standard Vehicle Data" contains the following fields and buttons:

- Vehicle Name:** A text box containing "Hsn-44-1".
- Data Definition:**
  - Vehicle Type:** A dropdown menu showing "Hsn-44".
  - Scale Factor:** A text box containing "20".
  - Dynamic Allowance:** An empty text box.
- Conversion:**
  - Buttons: "Show As General Vehicle" and "Convert To General Vehicle".
- Buttons:** "OK" and "Cancel" at the bottom.

پنجره ۱-۳۰

با تیک زدن روی دکمه های OK این پنجره ها را می بندیم. از دستور Bridge > Vehicle Classes > Add New Class پنجره ۱-۳۱ را نمایان می کنیم. در قسمت scale Factor ضریب یک را وارد کرده و دکمه Add را تیک می زنیم.



The dialog box titled "Vehicle Class Data" contains the following fields and buttons:

- Vehicle Class Name:** A text box containing "VECL1".
- Define Vehicle Class:**
  - Vehicle Name:** A dropdown menu showing "Hsn-44-1".
  - Scale Factor:** A text box containing "1".
  - Table:** A table with two columns: "Vehicle Name" and "Scale Factor". It contains one row with "Hsn-44-1" and "1".
  - Buttons:** "Add", "Modify", and "Delete" to the right of the table.
- Buttons:** "OK" and "Cancel" at the bottom.

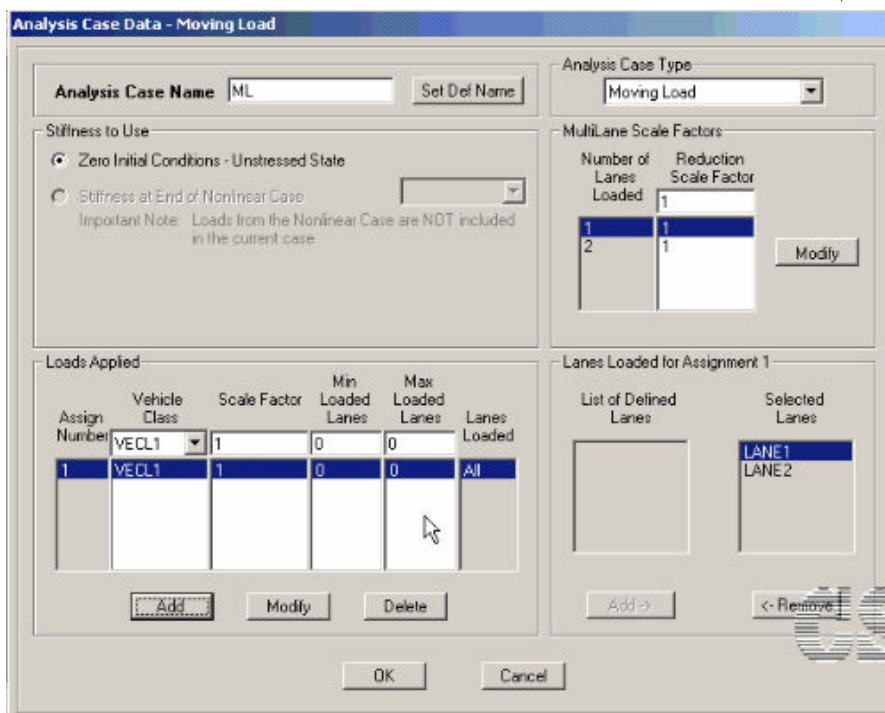
پنجره ۱-۳۱



## معرفی تحلیل بارگذاری متحرک

از دستور Define > Analysis Cases... > Add New Case... پنجره ۱-۳۲ را

نمایان می کنیم.



پنجره ۱-۳۲

از لیست کرکره ای قسمت Analysis Case Type، گزینه Moving Load را به حالت های تحلیل مسئله اضافه می کنیم. در این مرحله یک نام اختیاری را در قسمت Analysis Case Name وارد می کنیم.

## تحلیل مدل و مشاهده نتایج خروجی

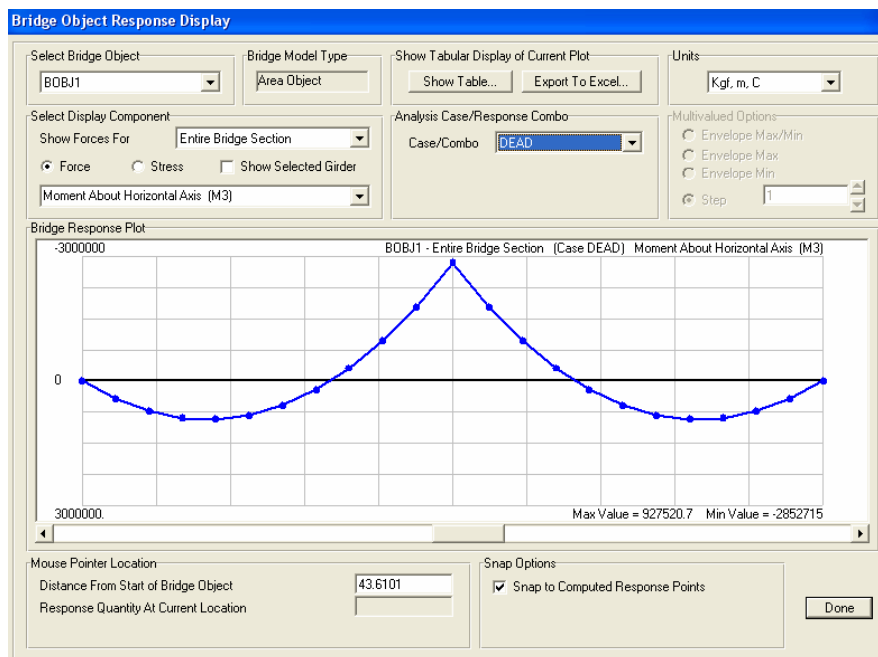
در این مرحله با دستور Analyze > Run Analysis > Run Now مدل را تحلیل می کنیم. برای مشاهده تغییر شکل پل ناشی از تحلیل بارهای مختلف از دستور

Display > Show Deformed Shape

استفاده کرده و در پنجره باز شده، از قسمت Case/Combo تغییر شکل مربوط به نوع بار مورد نظر را انتخاب می کنیم. برای مشاهده دیاگرام مربوط به نیروهای داخلی از دستور

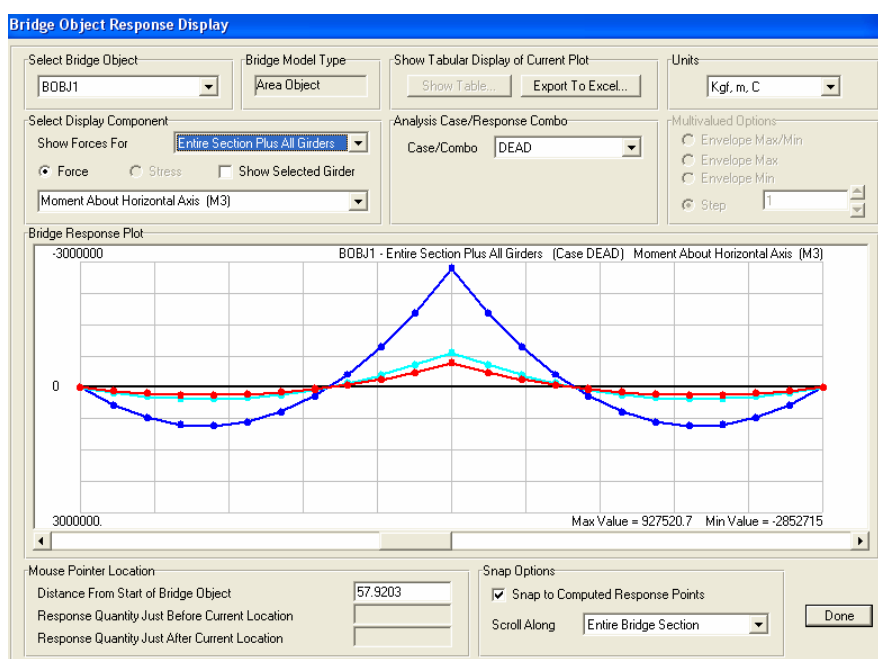
Display > Show Bridge force/Stresses

استفاده می کنیم که پنجره ۱-۳۳ نمایان می شود.

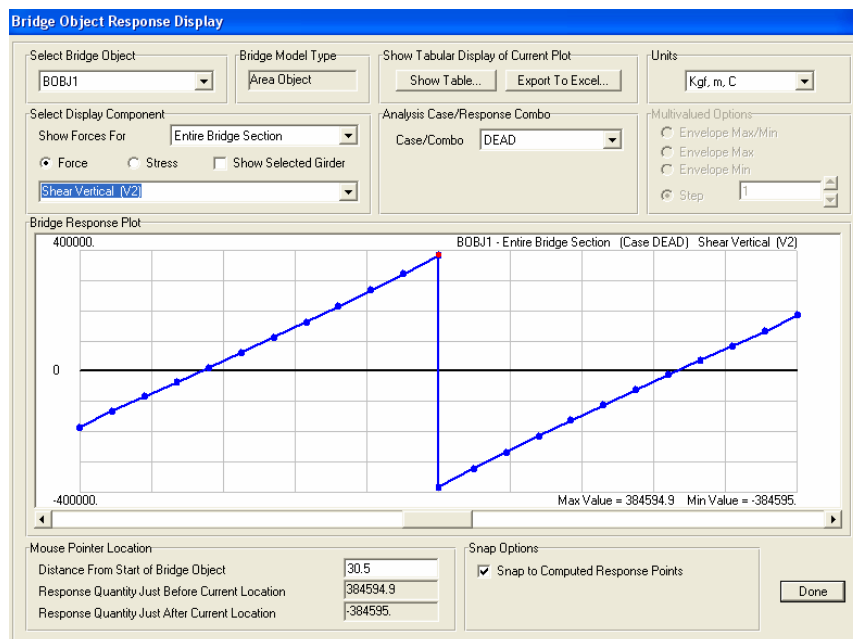


پنجره ۱-۳۳

در قسمت Select Display Component تنظیمات نمودارهای پل را انجام می دهیم. ازلیست کرکره ای این قسمت نمودارهای مختلف را می توان مشاهده نمود. به طور مثال نمودار لنگر خمشی ناشی از بار مرده تمام شاهتیرها مطابق پنجره ۱-۳۴ و نمودار برش یک شاهتیر داخلی تحت اثر بار مرده مطابق پنجره ۱-۳۵ می باشد.




پنجره ۱-۳۴



پنجره ۱-۳۵

### مشاهده تصاویر گرافیکی حرکت کامیون روی پل

برای معرفی مشخصات کامیونهای متحرک، با تیک زدن روی دکمه  مدل را از حالت قفل خارج کرده و از دستور Define > Load Case پنجره ۱-۳۶ را نمایان می کنیم. در قسمت Load Name نام TRUCKS را وارد کرده و از لیست کرکره ای Type حالت بار متحرک یعنی Moving load را انتخاب می کنیم. ضریب مربوط به بار را صفر وارد کرده و روی دکمه Add New Load تیک می زنیم.

Define Loads

Click To: Add New Load Modify Load Modify Moving Load... Delete Load OK Cancel

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
TRUCKS	MOVING LOAD	0	
DEAD	DEAD	1	
pr	OTHER	0	
TRUCKS	MOVING LOAD	0	

پنجره ۱-۳۶

در همین پنجره با تیک زدن روی دکمه Modify Moving Load تنظیمات مربوط به تصاویر گرافیکی حرکت وسائل نقلیه روی پل را انجام می دهیم. به طور مثال در خط عبور مسیررفت،

دو کامیون سه محوره با سرعت ۱۴ متر بر ثانیه، که با اختلاف زمانی ۱/۵ ثانیه از هم حرکت می کنند و در خط عبور مسیر برگشت، یک کامیون مشابه را که از انتهای پل در حال برگشت است، معرفی می کنیم. (مطابق پنجره ۱-۳۷)

Vehicle	Lane	Start Dist	Start Time	Direction	Speed
HSn-44-1	LANE1	0.	0.	Forward	14.
HSn-44-1	LANE1	0.	1.5	Forward	14.
HSn-44-1	LANE2	67.	0.	Backward	14.


Note: Vehicles that are defined using a uniform load will not be included in the program generated multi-step analysis case. Click this note to see a list of vehicles defined using uniform loads.

Load Discretization Information:  
 Duration of Loading is: 6.5 seconds  
 Discretize Load every: 0.3 seconds

Units: Kgf, m, C

OK Cancel

پنجره ۱-۳۷

برای مشاهده تصاویر گرافیکی حرکت کامیون روی پل، با دستور **View > Creat OpenGL View** و با تیک زدن روی دکمه  از پنجره باز شده وارد تنظیمات مربوط به تصاویر گرافیکی می شویم. در این قسمت، با ذخیره کردن مدل، پنجره ۱-۳۸ ظاهر می شود. در این پنجره تنظیمات پیش فرض را قبول کرده و در قسمت **Magnification Factor** عدد ۲۰۰۰ را که مربوط به بزرگنمایی مقادیر خروجی تحلیل می باشد، وارد می کنیم.

Multi-step Video File Creation

Avi File Name: Browse...  
 C:\Program Files\Noavaran\agdam2.avi

Plot Type:  
☒ Analysis Results ☐ Multi-step Load

Analysis Case Data:  
 Case Name: TRUCKS  
 Start Step: 1  
 End Step: 23  
 Step Increment: 1

Graph:  
☐ Show Graph  
 Named Set: [ ]

Display Options:  
☐ Wire Frame ☐ Cubic Curve ☐ Absolute Displacements  
 Magnification Factor: 2000  
☒ Show Vehicles ☐ Switch Vehicle Draw Order

Avi Options:  
 Frames per Second: 4  
 Frame Size (pixels): 640 by 480

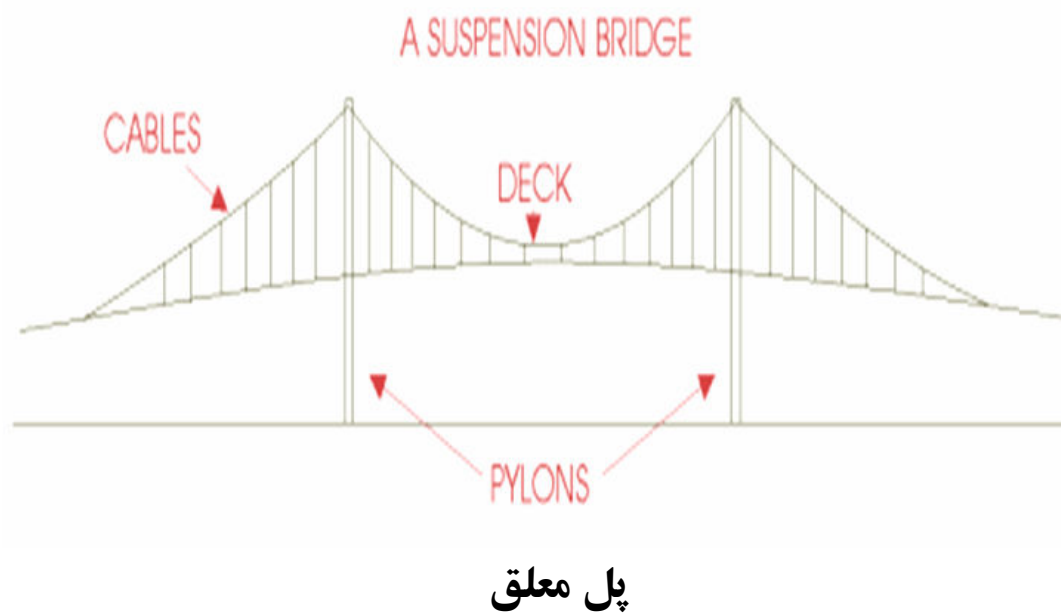
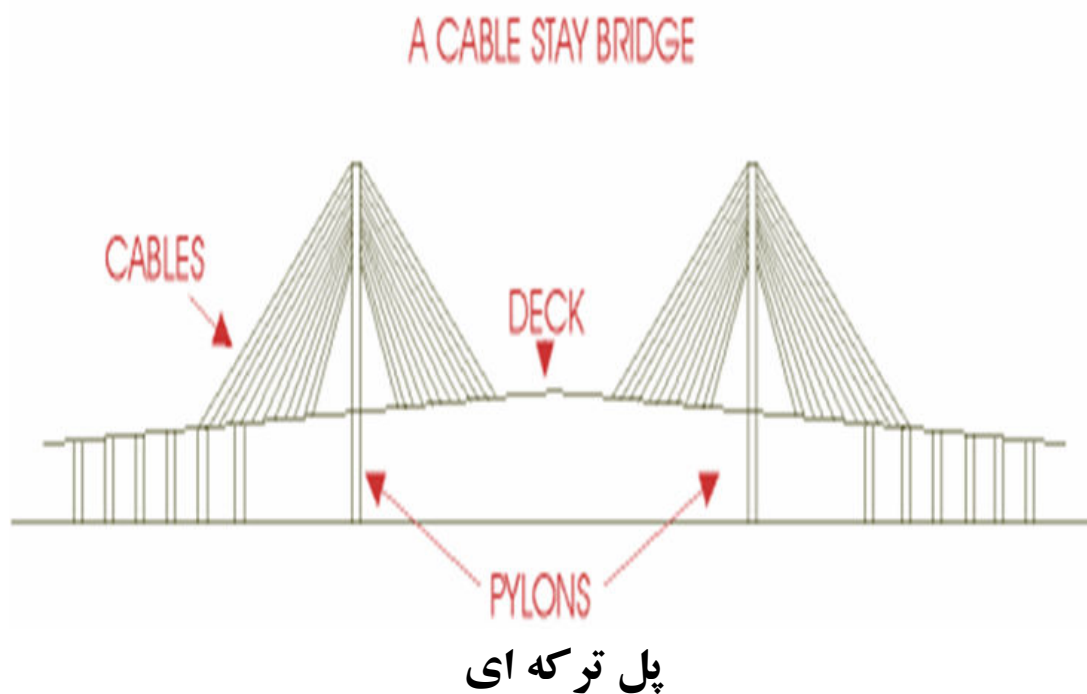
OK Cancel

پنجره ۱-۳۸

بخش ۲

# مدلسازی پل کابلی (ترکه ای)

## نگاهی به پل‌های کابلی (Cable Bridges)



## مقدمه

از نمونه های قدیمی کابل های دست ساز بشر، یک کابل مسی کوتاه است که مربوط به ۶۸۵ سال قبل از میلاد می باشد. همچنین رومیان قدیم کابل های از جنس ریسمن و سیم را می ساختند که نمونه های آن در موزه ناپل ایتالیا نگهداری می شود. در حال حاضر پلهای کابلی از سازه های ارزشمند در هر کشور می باشند. با گسترش صنعت پیش تنیدگی در سالهای اخیر، ساخت این نوع پلهای که دهانه های بزرگتری را می پوشانند رونق بسیار زیادی گرفته است. پلهای کابلی برای دهانه بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ متر مناسبترین گزینه هستند. اما برای دهانه های کمتر از ۳۰۰ متر اقتصادی نیستند. در پل معلق، کابل به شکل زنجیره ای (Catenary) دو قسمت از عرشه را نگهداری می کند. و در نهایت به زمین مهار می شود. کار مهار شدن توسط پی های حجیم صورت می گیرد که به آنها بلوک مهارگاه (Anchorage block) نیز می گویند. البته در پلهای ترکه ای نیازی به این بلوک مهارگاه نیست. همچنین ساخت یک پل معلق نسبت به پلهای دیگر زمان بر می باشد. کابل های اصلی برای دهانه های اصلی به صورت زنجیره ای شکل و کابل های اصلی کناری به صورت مستقیم می باشند. سازه های کابلی به خاطر سختی کم در برابر بارهای وارده تغییر مکانهای بزرگی از خود نشان می دهند که رفتار آنها همواره غیر خطی می باشد. یک رابطه غیر خطی بین نیرو و تغییر شکل وجود خواهد داشت که در مورد کابلها این رفتار از هندسه مدل سرچشمه می گیرد. سختی هندسی ناشی از بارهای اعمالی است یعنی عضو کابلی تحت نیروهای محوری پیش تنیده مقداری سختی هندسی در مقابل سختی الاستیک از خود نشان می دهد که بسیار مهم می باشد.

## مزایای سازه های کابلی

۱. امکان استفاده از فولادهای با مقاومت بالا
۲. سبکی وزن، نسبت به سایر سازه ها و سهولت اجرا
۳. هزینه های کم نصب و جمع آوری و امکان استقرار مجدد در مکانهای جدید
۴. تحمل بار بوسیله تنش مستقیم و بدون خمش

## انواع پلهای کابلی از لحاظ ساختار

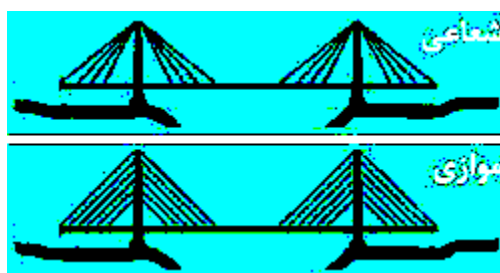
دو سبک عمده در ساخت پلهای کابل وجود دارد. پلهای کابلی معلق و پلهای کابل نگهدار یا ترکه ای، در هر دو نوع پل، وجود برج و کابل مشترک است. اما در چگونگی اتصال کابل به برجها متفاوت می باشند.

### ۱- پلهای معلق با سیستم آویزهای مایل و قائم

در نوع معلق، یک کابل قوی از نوک برجها عبور می کند و به طرفین پل متصل می شود. در طول مسیر این کابل قوی، یک سری کابلهای ضعیفتر متصل می شوند که با سطح عرشه را به کابل قوی انتقال می دهند.

### ۲- پلهای ترکیبی

در نوع کابل نگهدار یا ترکیبی، کابلها مستقیماً نقاطی از سطح پل را به برجها متصل می کنند. در این نوع پل، کابلها می توانند به شیوه های مختلفی سطح پل را به برجها متصل کنند. در سبک شعاعی، کابلها از نقاط متعددی از سطح پل به یک نقطه از برج متصل می شوند. در نوع موازی، کابلها در نقاطی با ارتفاع های متفاوت از هم روی برج نصب می شوند بگونه ای که کابلها تقریباً به موازات یکدیگر قرار می گیرند.



دو نوع پل کابل نگهدار - با آرایش کابل شعاعی و موازی

حالت های دیگری هم از ترکیب دو نوع فوق می توان ایجاد کرد که به صورت زیر می باشند.

	تک	دوتایی	سه تایی	چندتایی	متغیر
مقارب					
موازی					
بادبزی					
ستاره ای					



اولین نقشه شناخته شده از پل کابلی، در کتابی تحت عنوان *Machinae Novae* (سال ۱۹۵۹) پیدا شده است. پس از جنگ جهانی دوم که آهن کمیاب شد، برای بازسازی پل‌های بمباران شده ای که هنوز پی آنها پابرجا بود طرح پل‌های کابلی کامل شد. احداث پل‌های کابلی از آمریکا آغاز شده و بخوبی جواب داده است. در مقایسه با نوع کابلی معلق، نوع کابل نگهدار به کابل کمتری احتیاج دارد و می تواند در بیرون با قطعات بتون پیش ساخته تهیه شده و سریعتر ساخته شوند.

### بخشهای تشکیل دهنده یک پل معلق

۱- عرشه

۲- سیستم کابلی که نیروهای عرشه را به کابل اصلی انتقال می دهد.

۳- کابل اصلی که نیروها را به تکیه گاه بلوکی و یا برجها منتقل می کند.

۴- برج که تکیه گاه کابل‌های اصلی است.

۵- تکیه گاه بلوکی

با توسعه صنعت پیش تنیدگی در کابلها مهندسین طراح توانسته اند دهانه های بلندتری را پوشش دهند.

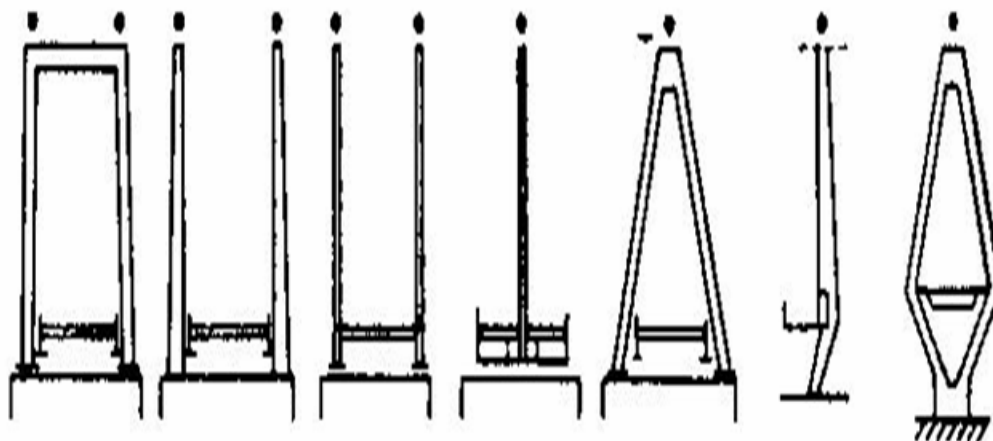
### اجزای اصلی یک پل کابلی

۱- برج

۲- عرشه

۳- کابل

برج پل‌های کابلی می تواند به یکی از شکلهای زیر باشد.



برج قاب A شکل در برابر لرزش و ارتعاشات بهتر از برج قاب پرتال عمل می کند. اما اجرای برج A شکل مشکل است. در پلهای طویل از برج A شکل بخاطر مسئله ارتعاشات استفاده می کنند. برجها را باید به گونه ای طراحی کرد که به تنهایی در برابر نیروهای وارد شده از باد مقاومت داشته باشند، تا اینکه کابلها به آنها متصل شوند. استفاده از کابلهای ترکه ای ارتفاع عرشه را کاهش می دهد. این کاهش ارتفاع بخاطر ایجاد نیروی فشاری در داخل مقطع عرشه، ناشی از مولفه ی افقی نیروی کابل است که به نوعی رفتار پس تنیده را ایجاد می کند. آزمایشهای تونل باد نشان می دهد که مناسبترین عرشه در برابر بادهای شدید، استفاده از مقاطع جعبه ای با لبه های شیبدار است.

کابلهای مورد استفاده در پلها به صورت رشته های فولادی با مقاومت کششی بالا می باشند. این کابلها به صورت موازی، کنار هم قرار داده شده و به هم فشرده می شوند. در نهایت با بست های به هم بسته می شوند. آویزهای (Hangers) عرشه از طنابهای سیمی (برای بارهای زیاد) و یا از میلگردهای فولادی با مقطع دایروی (برای بارهای کم مانند پل عابر پیاده) می باشند. که از یک طرف به کابلهای اصلی و از طرف دیگر به عرشه متصل می شوند و با فاصله مساوی در طول عرشه قرار داده می شوند. (به فاصله ۱ متر تا ۲۰ متر) این آویزها به صورت موازی (قائم) و یا مایل ساخته می شوند.

### سختی پل معلق

پل ها اکثر سختی خود را از نیروی کششی موجود در کابلهای اصلی بدست می آورند. این نیروها به وزن کابل و بارهای احتمالی و نیز به هندسه کابل در قالب نسبت عمق به دهانه بستگی دارد. نکات دیگری که در طراحی این پلها باید مورد توجه قرار گیرد تنش موضعی و خستگی آویزها و عرشه و همچنین شل شدگی کابلها می باشد.

### شل شدگی (Slackening)

آویزها تحت شرایط خاصی از ترکیب بارگذاری عرشه و یا در اثر کم شدن نیروی پیش تنیدگی و یا جابجای نسبی طولی میان کابلهای اصلی و عرشه و یا حرکت جانبی عرشه در بارگذاری باد، باعث افزایش تنش در کابلها و شل شدن کابلها را به دنبال خواهند داشت. در یک پل معلق بیشترین شل شدگی کابلها تحت بار زنده وقتی ایجاد می گردد که دو دهانه کناری شامل بار زنده و دهانه وسطی خالی از بار باشد. بنابراین توصیه می شود این حالت در طراحی در نظر گرفته شود.

### خستگی آویزها و عرشه

بار آویزها می تواند نسبت به سرعت باد و بارگذاری ترافیک متغیرگشته و با شل کردن و سپس کشیده نمودن کابلها، زمینه ی خرابی آنها را در اثر خستگی فراهم کند.

رشد ترک تحت بارگذاری پیوسته، سطح غیر قابل بهره برداری را در مقابل تغییر شکل های ناشی از بار وجود می آورد که دانستن نرخ رشد ترک برای تعیین عمر مفید عرشه بسیار ضروری است. در آویزهای مایل، مسئله خستگی بیشتر از آویزهای قائم مطرح است. علت استفاده از این آویزها افزایش میرایی پل معلق می باشد.

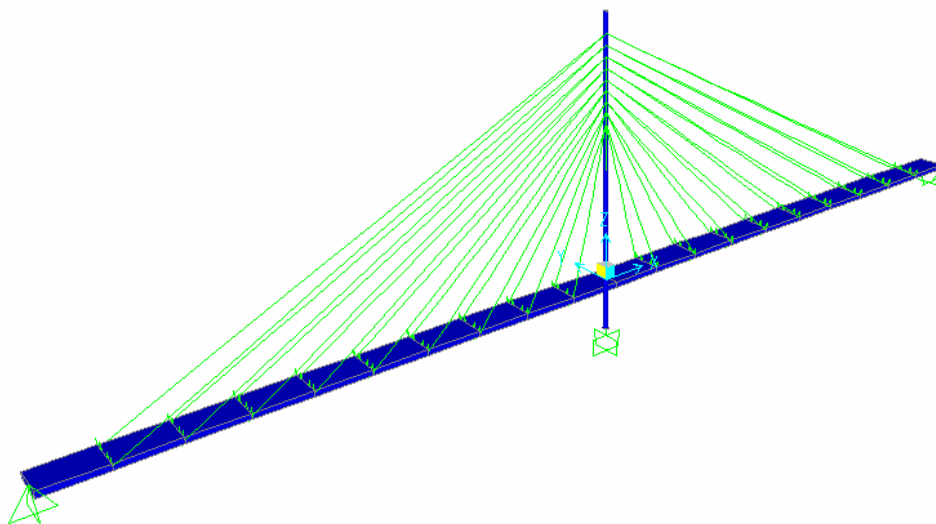
### **پیچش برج**

وجود بارهای ترافیک در یک وجه عبورگاه و همچنین نیروهای آئرودینامیکی باعث پیچش عبورگاه پل می شود که باید مورد توجه قرار گیرد.

### **تکیه گاه برج**

تکیه گاه برجهای نیز ممکن است گیردار یا مفصلی باشد. که حالت گیردار بخاطر راحتی اجرا توصیه می شود. مفصلی بودن تکیه گاه برج، باعث کاهش لنگرهای خمشی در پایه پل می شود.

## مدلسازی پل ترکه ای




پنجره ۱-۲

### مشخصات پل کابلی

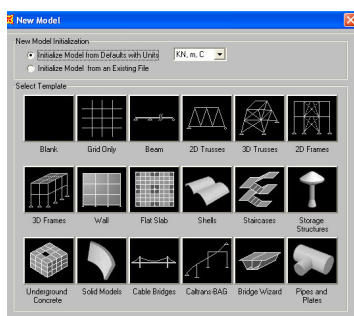
در این مثال پل مورد نظر دارای دو دهانه است. هر دهانه آن ۱۰۰ متر و عبورگاه پل ۶ متر می باشد. بار عرشه پل در هر دهانه با ۱۸ عدد کابل، به برج میانی پل منتقل می شود. ارتفاع برج میانی پل ۶۰ متر می باشد. هندسه پل در پنجره ۱-۲ دیده می شود.

### ترسیم هندسه مدل

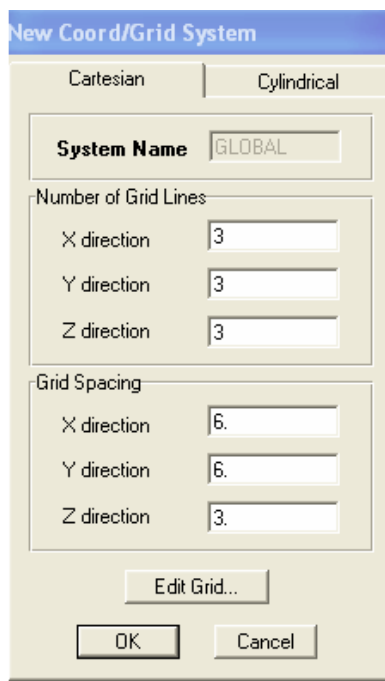
دستور `File > New Model From Template` را اجرا کنید. یا روی دکمه نظیر آن  کلیک کنید. پنجره ۲-۲ ظاهر می گردد. در پنجره ظاهر شده روی دکمه `Grid Only` کلیک کرده و در این پنجره، مشخصات خطوط شبکه را وارد می کنیم. مطابق پنجره ۳-۲ که در هر جهت سه خط مرجع با فواصل مختلف معرفی می شوند.

تعداد خطوط شبکه در جهت X	Xdirection
تعداد خطوط شبکه در جهت Y	Ydirection
تعداد خطوط شبکه در جهت Z	Zdirection

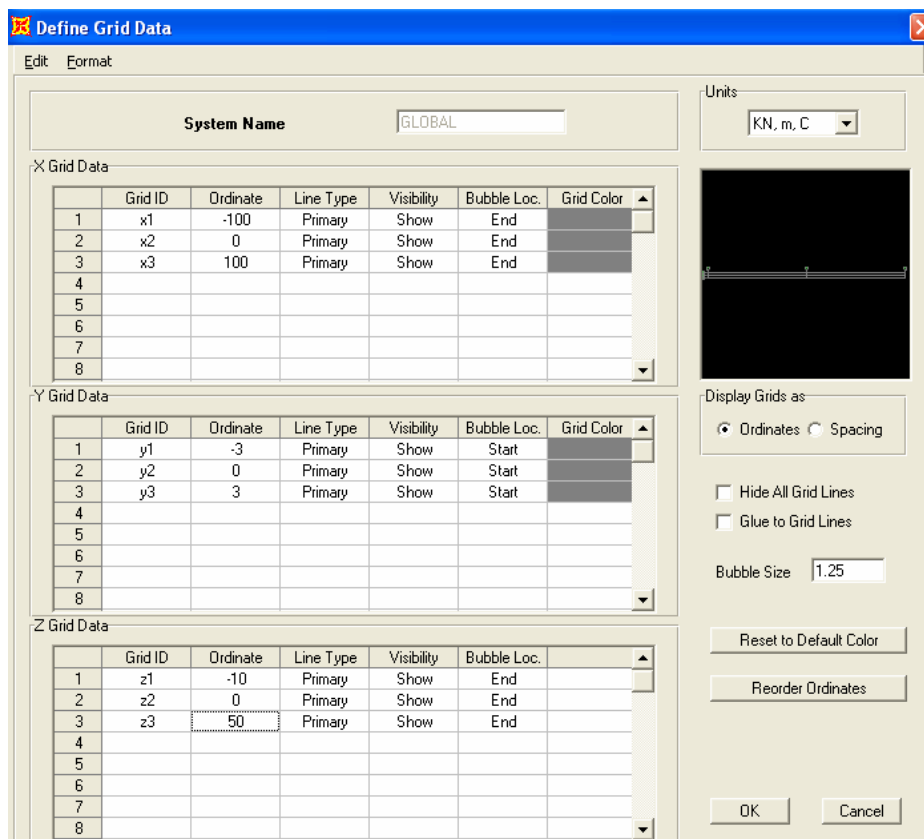
اگر فواصل خطوط شبکه یکسان نبود با تیک زدن روی دکمه Edit Grid فواصل را تغییر می دهیم.



پنجره ۲-۲



پنجره ۳-۲




پنجره ۴-۲

## ترسیم برج میانی پل

بر روی علامت ترسیم عناصر خطی  تیک زده و یا با استفاده از عبارت دستوری

### Drow>Drow Frame/Cable/Tendon

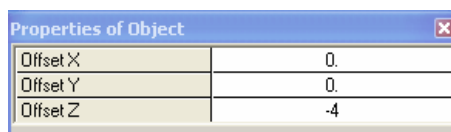
عناصر خطی را ترسیم می کنیم. از دکه ترسیم سریع عناصر خطی  نیز می توان عضو های خطی را ترسیم کرد. کافی است روی خط شبکه که عضو خطی واقع می شود، تیک بزنیم.

## معرفی گره اتصال کابلها بر روی برج میانی

برای تعریف محل اتصال کابلها به برج میانی باید در روی برج، گره تعریف کنیم. در این مثال کابلها در ۹ گره واقع در برج، بارعرشه را به برج پل انتقال می دهند. چون این گره ها فواصل یکسانی از هم دارند. لذا بهتر است برای ترسیم از دستور Replicate استفاده کنیم. اولین گره اتصال کابلها از بالای برج به اندازه ۴ متر فاصله دارد. لذا برای ایجاد اولین گره از دستور

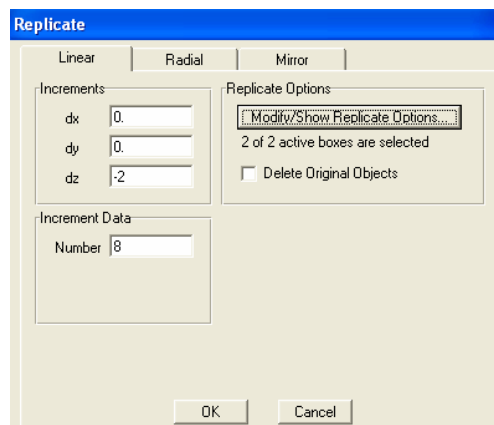
### Drow>Drow Special joint

استفاده می کنیم که پنجره ۲-۵ ظاهر می شود. در این پنجره در قسمت Offset Z عدد ۴- را وارد می کنیم.



### پنجره ۲-۵

با ظاهر شدن این پنجره، یک گره قرمز رنگ متحرک در پنجره نمایش نمایان می شود. این گره نقطه ی مبنا برای اندازه گیری است که با تیک زدن در نقطه دلخواه، نقطه ی مبنا تعیین می گردد. در این مثال این نقطه رأس برج می باشد. بعد از اینکه گره مورد نظر ایجاد شد آن را انتخاب کرده و با دستور Replicate به تعداد لازم و به فاصله معلوم از هم کپی می کنیم. از دستور Edit > Replicate پنجره ۲-۶ نمایان می شود.



### پنجره ۲-۶

آرایش خطی	Linear	۱.
تعداد دفعات تکرار	Number	
فواصل جابجا سازی در امتداد محورها	dx-dy-dz	

آرایش شعاعی	Radial	۲.
انتخاب محور دوران	Rotate About	
تعداد دفعات تکرار	Number	
زاویه تکرار	Angle	

آرایش آینه ای	Mirror	۳.
یکی از پلانها برای دوران انتخاب می شود.	Mirror About	

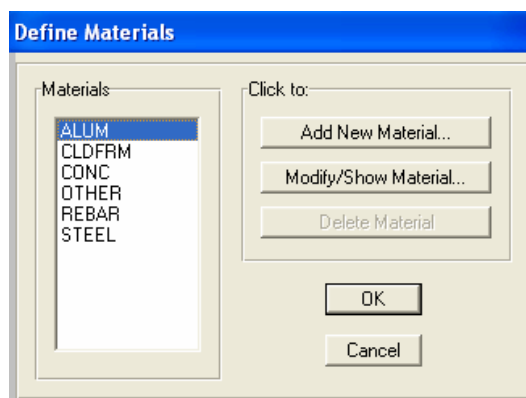
### Intersection Of Plane With XY Plane

مختصات صفحه تقارن وارد می شود.

در پنجره فوق دیده می شود که گره انتخاب شده به تعداد ۸ مورد و به فواصل ۲ متر از هم در جهت مخالف محور Z کپی می شوند. برای عدم مشاهده خطوط شبکه می توان روی دکمه Show از منوی View تیک زد.

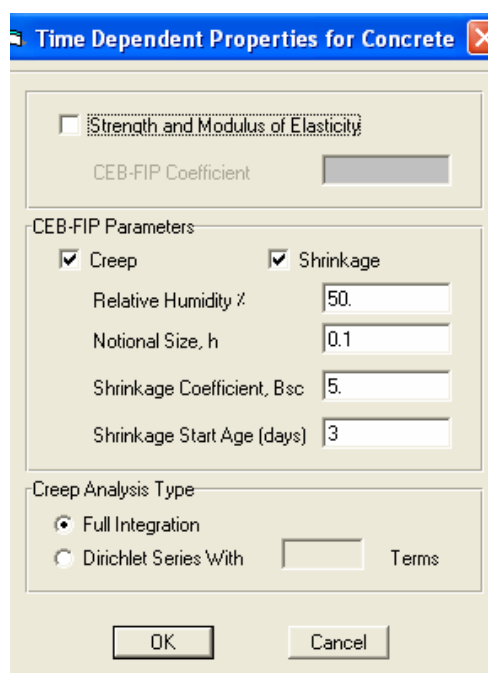
### معرفی مشخصات مصالح

با اجرای دستور Define > Materials پنجره ۲-۷ نمایان می شود. از قسمت Materials مصالح بتنی یعنی عبارت Conc را فعال کرده و با تیک زدن روی دکمه Modify/Show Material وارد پنجره تنظیمات می شویم. در این قسمت ضرایب مربوط به اثر خزش و وارفنگی بتن را با تیک زدن روی دکمه Time Dependent Properties و در پنجره ظاهر شده انجام می دهیم. در پنجره Material Data Property می توان مشخصات مورد نظرا تغییر داد و یا بصورت پیش فرض قبول نمود.



پنجره ۷-۲

در پنجره ۸-۲ اثرخزش و وارفتگی بتن وارد شده است.



پنجره ۸-۲

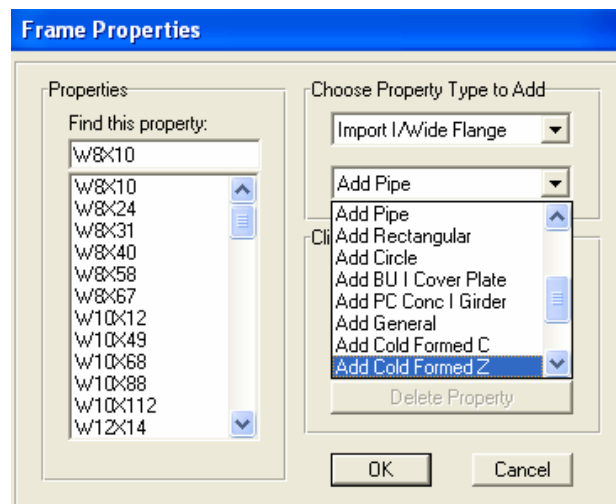
درصد رطوبت مربوط به اثرخزش	Relative Humidity
بعد فرضی مربوط به اثرخزش	Notional Size, h
ضریب تأثیر وارفتگی بتن	Shrinkage Coefficient, Bsc
سن شروع وارفتگی بتن برحسب روز	Shrinkage Start Age (days)

ساخت مقطع متغیر برج میانی پل

Define >Frame Section

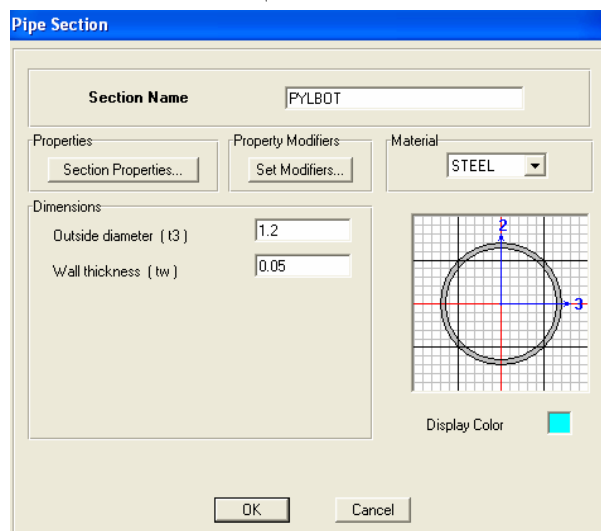
با دستور فوق پنجره ۲-۹ ظاهر می شود. در پنجره ی باز شده، از لیست کرکره ای پائینی گزینه Add Pipe را برای ساخت مقطع لوله ای انتخاب می کنیم.





پنجره ۲-۹

سپس روی دکمه Add New Property کلیک می‌زنیم که پنجره ۲-۱۰ نمایان خواهد شد.



پنجره ۲-۱۰

قطر خارجی مقطع لوله ای

ضخامت مقطع لوله ای

نام مقطع لوله ای

Outside diameter

Wall thickness

Section Name

بعد از تکمیل نمودن پنجره، روی دکمه OK کلیک می‌زنیم. برای تعریف مقطع جدید مراحل قبلی را طی می‌کنیم. نام مقطع جدید را PYLTOP و قطر خارجی آن را ۰/۶ متر و ضخامت مقطع را ۵ سانتی متر وارد می‌کنیم. با توجه به این که مقطع برج به صورت تدریجی تغییر می‌کند لذا برای تعریف این نوع مقطع، از مقاطع تعریف شده بالا در ابتدا و انتهای عضو، استفاده می‌کنیم. بعد از معرفی کامل دو مقطع، در پنجره ۲-۱۱ از لیست کرکره ای پائینی گزینه Add Nonprismatic را

انتخاب کرده و روی دکمه Add New Property تیک می زنیم تا پنجره ۲-۱۱ نمایان شود که آن را به صورت زیر تکمیل می کنیم .

پنجره ۲-۱۱

مقطع ابتدای قطعه	Start Section
مقطع انتهای قطعه	End Section
طول قطعه	Length
نوع طول قطعه ( نسبی یا مطلق )	Length type
درجه تغییرات سختی (EI) حول محور محلی ۳	EI33 Variation
درجه تغییرات سختی (EI) حول محور محلی ۲	EI22 Variation

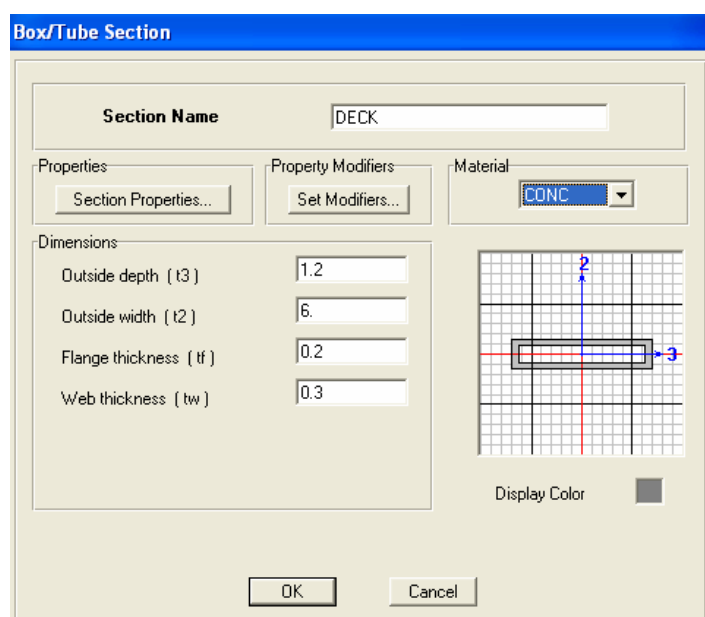
دکمه Add : با تیک زدن روی دکمه Add ، مشخصات این قطعه اضافه می شود.  
 دکمه Insert : با تیک زدن روی این دکمه ، مشخصات این قطعه قبل از قطعه فعال قرار می گیرد .  
 دکمه Modify : با تیک زدن روی این دکمه ، محتویات نوارهای فوقانی جانشین مشخصات قطعه فعال می شود.  
 دکمه Delete : با تیک زدن روی این دکمه قطعه انتخاب شده پاک می گردد.

تابع تغییرات سختی یک قطعه بر حسب ابعاد مقطع به یکی از حالت‌های زیر صورت می‌گیرد.

Linear M: درجه اول	یعنی $EI=f(a)$	که a بعد مقطع است
Parabolic M: درجه دوم	یعنی $EI=f(a^2)$	که a بعد مقطع است.
Cubic M: درجه سوم	یعنی $EI=f(a^3)$	که a بعد مقطع است.

### ساخت مقطع عرشه پل

با دستور Define > Frame Section پنجره ۲-۹ ظاهر می‌شود. در پنجره نمایان شده از لیست کرکره ای پائینی، گزینه Add Box/Tube را برای ساخت مقطع جعبه ای انتخاب می‌کنیم. بعد از انتخاب این گزینه روی دکمه Add New Property تیک می‌زنیم که پنجره ۲-۱۲ نمایان خواهد شد. در این پنجره، مشخصات مقطع مورد نظر را وارد می‌کنیم.



پنجره ۲-۱۲


عمق خارجی مقطع	Outside depth
پهنای خارجی مقطع	Outside Width
ضخامت بالهای مقطع	: Flange thickness
ضخامت جانهای مقطع	: Web thickness

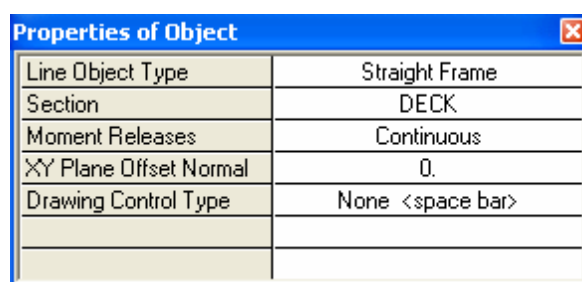
**Set Modifiers:** با این دکمه مشخصات مقطع را برای تحلیل تغییر می دهیم.  
**Section Properties:** این گزینه مشخصات مقطع تعریف شده را نشان می دهد.

### ترسیم عرشه پل

بعد از ساخته شدن مقطع عرشه پل، می توانیم آن را به عرشه اختصاص دهیم. برای این کار از دستور

**Drow>Drow Frame/Cable/Tendon**

و یا از شمایل  استفاده می کنیم. از خاصیت تقارن پل استفاده کرده و تنها یک دهانه را ترسیم می کنیم. با تیک زدن روی این دکمه، پنجره ۲-۱۳ ظاهر می گردد. از قسمت **Section**، مقطع **Deck** را انتخاب و مراحل ترسیم را انجام می دهیم.



پنجره ۲-۱۳

### اختصاص مقطع برج پل

با تیک زدن روی عضو خطی برج، آن را فعال کرده و از دستور زیر مقطع را اختصاص می دهیم.

**Assign >Frame /Cable/Tendon >Frame section**

با این دستور پنجره ۲-۹ ظاهر می شود. از قسمت **Find this Property** مقطع **PYLON** را انتخاب و دکمه **OK** را تیک می زنیم.

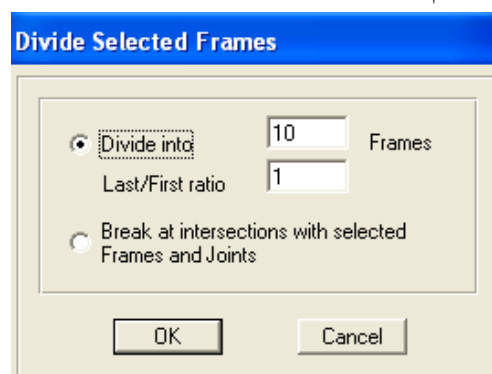
### معرفی گره در عرشه پل

با توجه به اینکه در محل اتصال کابلها به عرشه پل، باید گره تعریف شوند. لذا ابتدا عضو مورد نظر را

**Edit >Divide Frames**

انتخاب کرده و با دستور

آن را به ۱۰ قسمت تقسیم می کنیم. مطابق پنجره ۲-۱۴



پنجره ۲-۱۴

## Divide into

با فعال شدن این گزینه، تعداد اجزایی که عضو انتخاب شده باید تقسیم شود. وارد می کنیم. در این مثال عضویه 10 قسمت مساوی تقسیم می شود.

## Last/First Ratio

اگر تقسیمات اجزاء، طول یکسانی نداشته باشد. نسبت طول جزء ابتدایی به انتهای عضو را وارد می کنیم.

وارد کردن مشخصات عضو های رابط به گره های میانی واقع در محور طولی عرشه پل

Define > Link/Support Properties > Add New Property

از دستور

پنجره ۲-۱۵ نمایان می شود.

پنجره ۲-۱۵

در این پنجره، از لیست کرکره ای Link/Support Type گزینه Linear را انتخاب می کنیم. در قسمت Property Name یک نام دلخواه را وارد کرده و روی دکمه Fix All، سپس روی

دکمه های OK تیک می زنیم. برای ترسیم عضو رابط متصل شونده به گره های تعریف شده عرشه پل، از دستور زیر استفاده می کنیم.

### Draw > Draw 2 joint Link

با دستور فوق پنجره ای باز می شود که در قسمت Property نام مربوط را انتخاب و با تیک زدن در گره اولی در عرشه پل، عضو را ترسیم می کنیم. در هنگام ترسیم باید از قسمت Drawing Control Type گزینه Vertical را انتخاب کنیم. برای ترسیم عضوهای دیگر، از دستور Replicate استفاده می کنیم. بعد از ترسیم عضوهای متصل به عرشه، مدل نصف عرشه پل بصورت پنجره ۲-۱۶ خواهد شد.




پنجره ۲-۱۶

### تعریف عضو کابل و ترسیم آن

#### Define > Cable Section > Add New Section

با دستور فوق پنجره ۲-۱۷ نمایان می شود.

### پنجره ۲-۱۷

در این پنجره قطر کابل را برابر ۴ سانتیمتر وارد کرده و برای ترسیم، از پنجره فوق خارج شده سپس روی علامت ترسیم عناصر خطی  تیک زده و آن را ترسیم می کنیم. روش ترسیم، تیک زدن از ابتدای عضو به انتهای عضو می باشد. برای پایان دادن به عملیات ترسیم باید روی دکمه راست موشواره تیک زده و عملیات ترسیم را از نقطه جدید آغاز کنیم. در پنجره Properties Of Object نوع عضو و مقطع آن را انتخاب کرده و بعد از ترسیم کابلهای یکطرف پل، با دستور Mirror، مدل پل را تکمیل می کنیم. قبل از این کار اثر نیروی P-Delta را باید اعمال کنیم. با دستور Assign >Frame/Cable/Tendon >P-Delta Force پنجره ۲-۱۸ نمایان می شود.

**Frame Initial P-Delta Forces**

Coordinate System for Projected Forces

Coordinate System: GLOBAL

Initial Force

☒ Force: 10

☐ X Global Projection

☐ Y Global Projection

☐ Z Global Projection

Options

☒ Add to existing force

☐ Replace existing force

☐ Delete existing force

OK Cancel

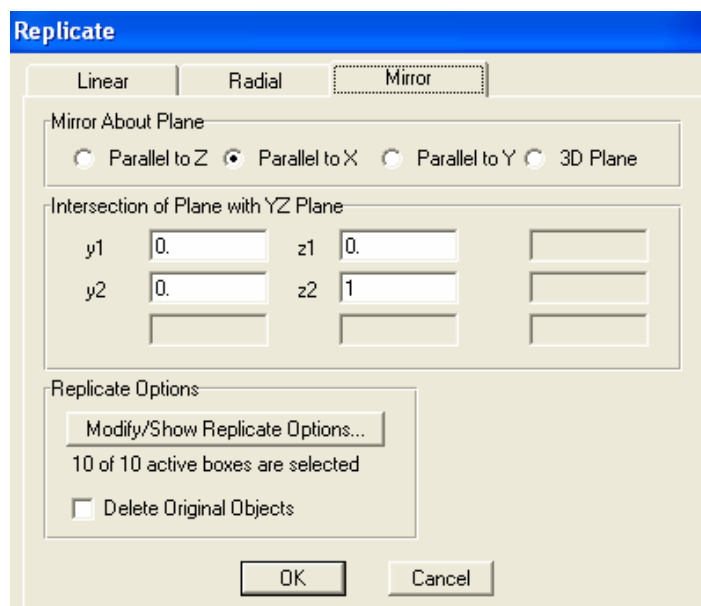
پنجره ۲-۱۸

از قسمت Initial Force در مقابل عبارت Force، مقدار نیروی اولیه را 10 کیلو نیوتن وارد می کنیم. با تیک زدن روی دکمه OK از پنجره فوق خارج می شویم. تمام کابلها را انتخاب دوباره نموده و ازدستور زیرمدل را تکمیل می کنیم.

Edit > Replicate > Mirror

در این پنجره چون صفحه تقارن موازی محور X است. لذا این محور را فعال کرده و مختصات این صفحه را پیش فرض قبول می کنیم. (مطابق پنجره ۲-۱۹)





پنجره ۲-۱۹

تا اینجا نصف مدل پل را مدلسازی کردیم. برای ترسیم کامل مدل پل، تمام قسمتهای ترسیم شده، به جز برج پل را انتخاب کرده و از دستور **Edit > Replicate > Mirror** مدل را تکمیل می کنیم. در پنجره نمایان شده محور **Y** را انتخاب می کنیم. برای مشاهده نمودن عضو ها به صورت واقعی از دستور **View > Set Display Options** استفاده کرده و در پنجره نمایان شده گزینه **Extrude view** را فعال کنیم. برای حذف نمایش خطوط شبکه از دستور **View > Show Grid** استفاده می کنیم. با این دستور، تنها مدل پل نمایان می شود.

### اختصاص شرایط تکیه گاهی برج پل

با ترسیم یک کادر، گره های تکیه گاه را انتخاب می کنیم. و از دستور

**Assign > Joint/Point > Restraints (Supports)**

پنجره ای باز می شود که روی تکیه گاه مورد نظرتیک می زنیم. با تیک زدن روی دکمه **Ok** پنجره را می بندیم.

### اختصاص تکیه گاههای پایه های کناری

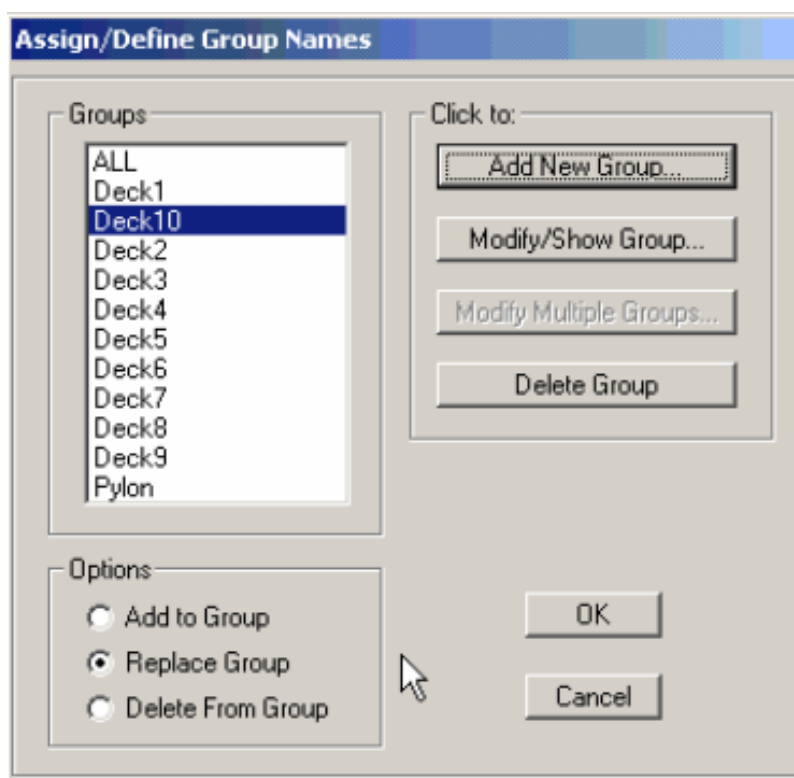
برای خارج شدن از حالت نمایش توپر مدل، گزینه **Extrude view** را غیر فعال می کنیم. تا تمام گره های پل معلوم شوند. در این هنگام گره های کناری مربوط به تکیه گاههای کناری را انتخاب و مثل حالت قبل تکیه گاه مورد نظر را اختصاص می دهیم.

### گروه بندی عضو ها

عضو مورد نظر را انتخاب کرده و از دستور

**Assign > Assign to Group > Add New Group**

پنجره ۲-۲۰ را نمایان می کنیم. در این مورد، برج پل را در یک گروه، بنام PYLON معرفی می کنیم. بطور مثال می توان هر چهار کابل و دو تیر عرشه را در یک گروه معرفی کرد. در نهایت تعداد گروهها در پنجره ۲-۲۰ مشاهده خواهد شد.



پنجره ۲-۲۰

### معرفی حالت تحلیل

با دستور Define > Analysis Cases > Add New Case پنجره ۲-۲۱ نمایان می شود. در قسمت Analysis Case Name یک نام دلخواه بطور مثال StagedCon را وارد می کنیم. در قسمت Analysis Type نوع تحلیل استاتیکی را مشخص می کنیم. برای پل ترکیه ای با توجه به وابستگی تحلیل به زمان ساخت و بارگذاری تدریجی ناشی از آن این اثر را در گزینه سوم تحلیل یعنی Nonlinear Staged Construction منظور می کنیم. از قسمت Analysis Case Type گزینه Static را انتخاب می کنیم.

### پنجره ۲-۲۱

در قسمت Stage Definition مراحل بارگذاری ناشی از ساخت تدریجی را وارد می کنیم که بصورت زیر می باشد.

مراحل	زمان بر حسب روز	نوع گروه
1	3	Pylon
2	3	Deck1
3	3	Deck2
4	3	Deck3
5	3	Deck4
6	3	Deck5
7	3	Deck6
8	3	Deck7
9	3	Deck8
10	3	Deck9
11	3	Deck10
12	3	—
13	10	—
14	30	—
15	100	—

در پنجره ۲-۲۱ نمایان شده روی دکمه Add تیک می زنیم و در قسمت Duration (Day) مدت زمان لازم برای ساخت برج پل ، بر حسب روز وارد می کنیم. برای این منظور در قسمت User Comments نام مربوط به برج پل را Pylon وارد می کنیم. سپس روی دکمه Modify تیک می زنیم.

برای وارد کردن اطلاعات مربوط به مرحله اول، در قسمت Data for Stage... و از لیست کرکره ای Operation گزینه Add Structure را انتخاب و از قسمت Group نام گروه مورد نظر، یعنی PYLON را انتخاب و در قسمت Age At Add عدد ۳ را وارد می کنیم. سپس روی دکمه Add تیک زده و دوباره از لیست Operation گزینه Load All in Group را انتخاب و در قسمت Scale Factor یک ضریب دلخواهی برای بزرگنمایی دیگرام های خروجی تحلیل وارد می کنیم. به طور مثال، این ضریب عدد ۲ می باشد. این مراحل را به تعداد گروههای تعریف شده انجام می دهیم. پس از اتمام این مراحل در قسمت Stage Definition، مراحل بعد از مرحله شماره ۱۱ را معرفی می کنیم. البته بدون وارد کردن اطلاعات این مراحل در قسمت Data for Stage...، پس از وارد کردن این اطلاعات در پنجره ۲-۲۱، پنجره تکمیل شده به صورت پنجره ۲-۲۲ ظاهر می شود.

**Analysis Case Data - Nonlinear Static**

Analysis Case Name: stagedcon [Set Def Name]

Analysis Case Type: Static

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear ☒ Nonlinear Staged Construction

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case [ ]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Stage Definition:

Stage No.	Duration (Days)	User Comments
18	3000	
13	10	
14	30	
15	100	
16	300	
17	1000	
18	3000	

Geometry Option: ☐ Structural geometry specified is the geometry at the end of the final stage. Iterate to obtain the initial geometry.

Show Stages: [Show Stages In Tree View...]

Data For Stage 18:

Operation	Group	Age At Add	Load Type	Load Name	Scale Factor
Add Structure	ALL	0			

Other Parameters:

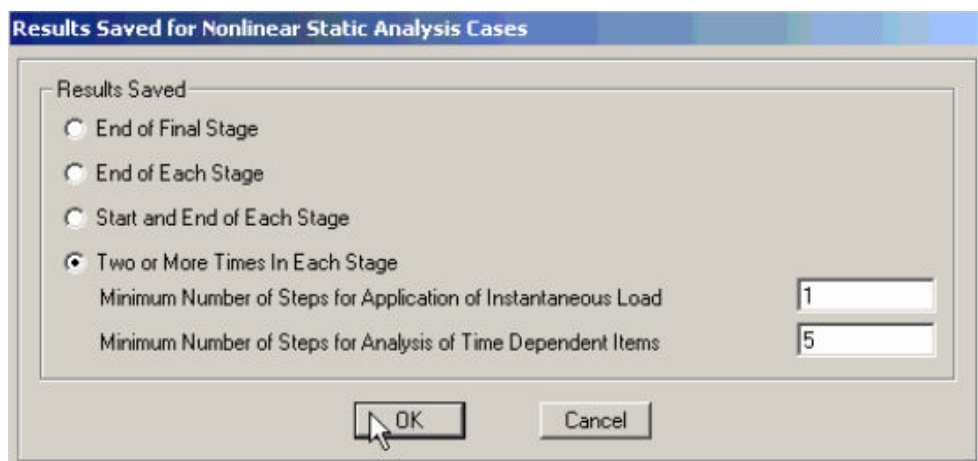
Results Saved: 1 Instant, 5 Time Dep [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

#### پنجره ۲-۲۲

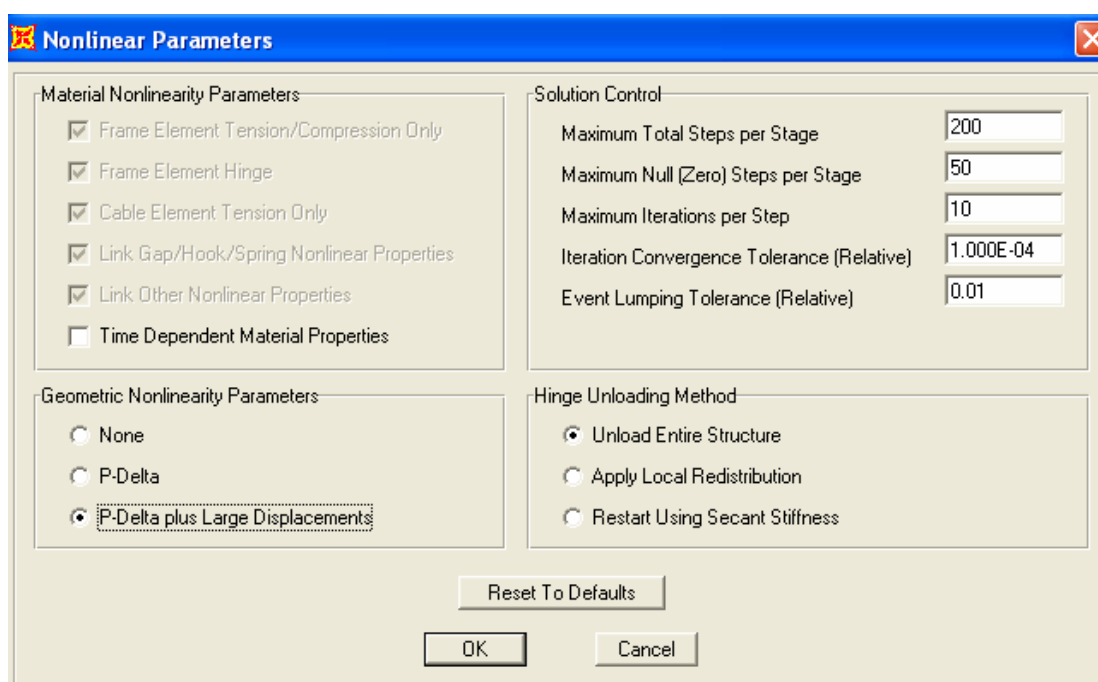
در همان پنجره، از قسمت Other Parameters روی دکمه Modify/ Show که روبروی گزینه Results Saved قرار دارد، تیک می زنیم تا پنجره ۲-۲۳ نمایان شود. این پنجره را به صورت زیر تکمیل می کنیم.



پنجره ۲-۲۳

در پنجره ۲-۲۲، روی دکمه Modify/ Show مربوط به گزینه Nonlinear Parameters تیک می زنیم تا پنجره ۲-۲۴ نمایان شود.

در این پنجره از قسمت Geometric Nonlinearity Parameters گزینه P-Delta Plus Large Displacements را فعال می کنیم.



پنجره ۲-۲۴

### تحلیل مدل

با دستور Analyze > Run Analysis پنجره ای نمایان می شود که پل را برای حالت بارهای Load و StagedCon تحلیل می کنیم. حالت تحلیل MODAL را غیر فعال می کنیم.

برای این منظور با فعال نمودن این حالت تحلیل، که به رنگ آبی تبدیل می شود. روی دکمه Run/Do Not Case تیک زده و سپس روی دکمه Run Now تیک می زنیم تا مدل تحلیل شود.

**مشاهده منحنی های نیرو و تنش در عضو ها**

با دستور Display > Show Forces /Stresses

پنجره Member Force Diagram for Frames نمایان می شود که در این پنجره با تیک زدن روی دکمه drop down ، حالت بار مورد نظر را انتخاب می کنیم.

**Component**

یکی از گزینه های موجود که مربوط به مشخص نمودن لنگرهای خمشی و پیچشی و برشی و نیروی محوری در امتداد محورهای مختلف می باشد را انتخاب می کنیم.

**Scaling**

از مقیاس برنامه یا مقیاس مورد نظر استفاده می کنیم.

**Option**

در این قسمت با فعال شدن گزینه Fill Diagram منحنی درخواستی به صورت رنگی نمایش داده می شود. برای نمایش مقادیر عددی تنشها، گزینه Show Values on Diagram را فعال می کنیم.

**نمایش خروجی تاریخچه زمانی گره ها**

Display > Show Plot Functions

با دستور فوق پنجره ای نمایان می شود که با تیک زدن روی دکمه Define Plot Function پنجره دیگر را نمایان می کنیم. در قسمت Choose Function Type to Add و از لیست کرکره ای آن ، گزینه Add Joint Disps/Forces را انتخاب می کنیم. سپس در همان پنجره روی دکمه Add Plot Function تیک می زنیم. تا پنجره ۲-۲۵ نمایان شود.

شماره گره مورد نظر را وارد می کنیم.

**Joint ID**

یکی از گزینه های زیر را انتخاب می کنیم.	Vector Type
تغییر مکان مطلق	Abs Displ
تغییر مکان	Displ
سرعت مطلق	Abs Vel
سرعت	Vel
شتاب مطلق	Abs Accel
شتاب	Accel
عکس العمل	Reaction

پنجره ۲-۲۵

Component  
راستای بردار (U انتقال - R دوران)  
دکمه های OK را تیک می زنیم تا به پنجره

### Plot Function Trace Display Definition

برسیم. در این پنجره از قسمت List of Functions گره مورد نظر را انتخاب کرده و روی دکمه Add تیک می زنیم.

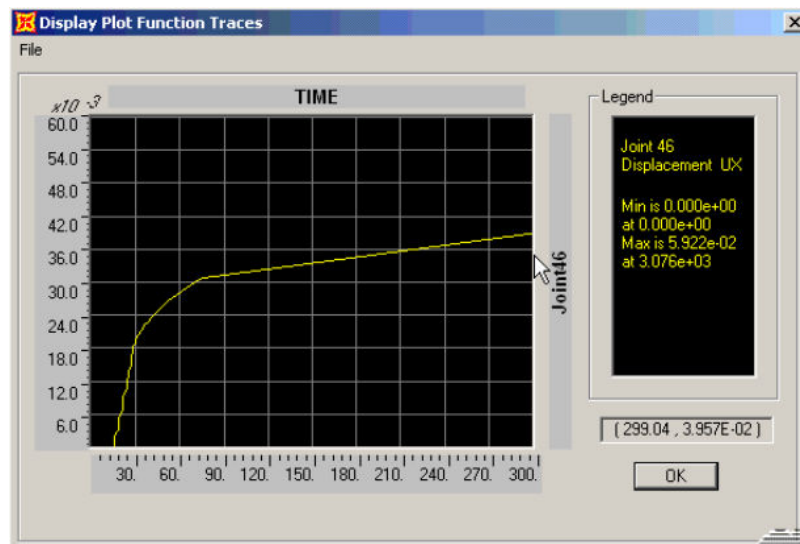
## Horizontal Plot Function

گزینه Time را انتخاب می کنیم.

## Axis Range Override

محدوده زمانی تعریف منحنی را انتخاب می کنیم.

سایر تنظیمات مناسب بوده و روی دکمه Display تیک می زنیم. با این کار پنجره ۲-۲۶ نمایان می شود.



پنجره ۲-۲۶

نمایش خروجی تاریخچه زمانی عضو کابل

## Display &gt; Show Plot Functions

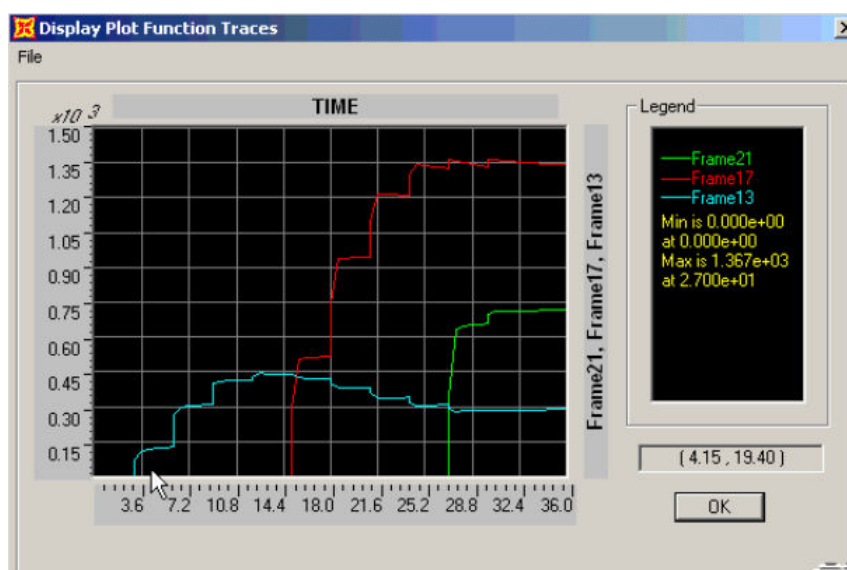
با دستور فوق پنجره ای نمایان می شود که از قسمت Vertical Function سایر انتخابها را حذف می کنیم. برای این منظور، گزینه مورد نظر را انتخاب و روی دکمه Remove تیک می زنیم تا حذف شوند. سپس روی دکمه Define Plot Function تیک می زنیم. با نمایان شدن پنجره دیگر از قسمت Choose Function Type to Add، از لیست آبخاری آن گزینه Add Frame Forces را انتخاب می کنیم. روی دکمه Add Plot Function تیک می زنیم تا پنجره ۲-۲۳ نمایان شود. در این پنجره، شماره عضو کابل را وارد و روی دکمه OK تیک زده و برای معرفی عضوهای دیگر روی دکمه Add Plot Function تیک می زنیم. دکمه های OK را تیک می زنیم تا به پنجره Definition Plot Function Trace Display



برسیم. در این پنجره از قسمت List of Functions عضو های مورد نظر را انتخاب و روی دکمه Add تیک می زنیم.

Horizontal Plot Function  
گزینه Time را انتخاب می کنیم.  
Axis Range Override  
محدوده زمانی تعریف منحنی را انتخاب می کنیم.

سایر تنظیمات مناسب بوده و روی دکمه Display تیک می زنیم تا پنجره ۲-۲۷ نمایان شود.



پنجره ۲-۲۷

نمایش خروجی تاریخچه زمانی عضو های خمشی

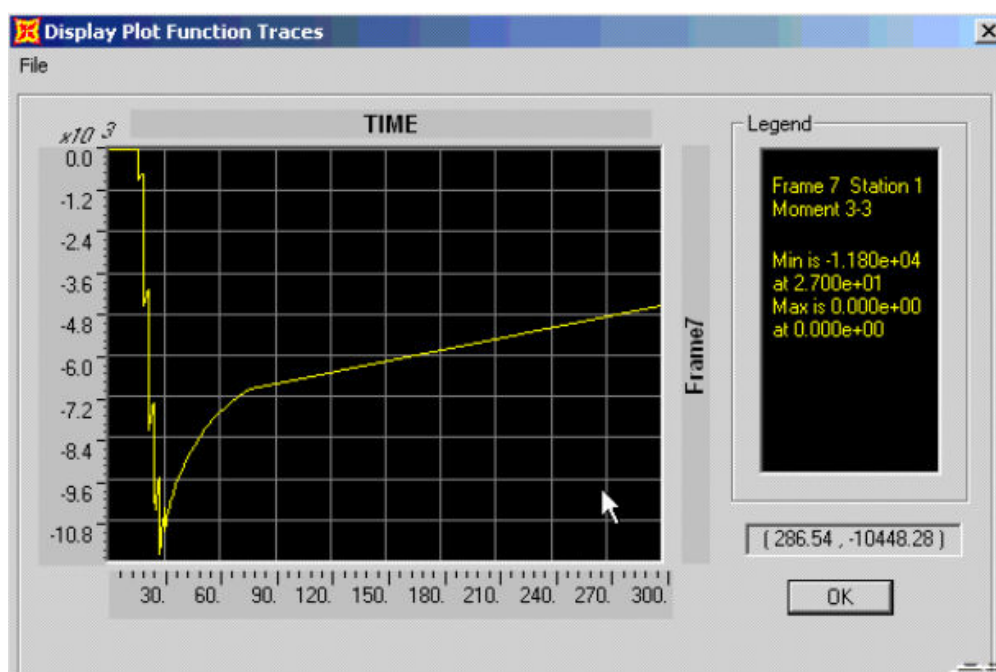
Display > Show Plot Functions

با دستور فوق پنجره ای نمایان می شود که از قسمت Vertical Function سایر انتخابها را حذف می کنیم. برای این منظور، گزینه مورد نظر را انتخاب و روی دکمه Remove تیک می زنیم. تا حذف شوند. سپس روی دکمه Define Plot Function تیک زده و با نمایان شدن پنجره دیگر از قسمت Choose Function Type to Add و از لیست کرکره ای آن، گزینه Add Frame Forces را انتخاب می کنیم. روی دکمه Add Plot Function تیک می زنیم. در پنجره نمایان شده، شماره عضو عرشه پل را وارد می کنیم. از قسمت Component، Moment 3-3 را فعال می کنیم. روی دکمه OK تیک می زنیم. برای تعریف عضو دیگر، روی دکمه Add Plot

Function تیک زده و به همین ترتیب برای هر تعداد عضو، این مراحل را انجام می دهیم. پنجره Plot Function Trace Display Definition ظاهر می شود. در این پنجره، از قسمت List of Functions عضوهای مورد نظر را انتخاب کرده و روی دکمه Add تیک می زنیم.

Horizontal Plot Function  
Axis Range Override  
گزینه Time را انتخاب می کنیم.  
محدوده زمانی تعریف منحنی را انتخاب می کنیم.

سایر تنظیمات مناسب بوده و روی دکمه Display تیک می زنیم تا پنجره ۲-۲۸ نمایان شود.



پنجره ۲-۲۸

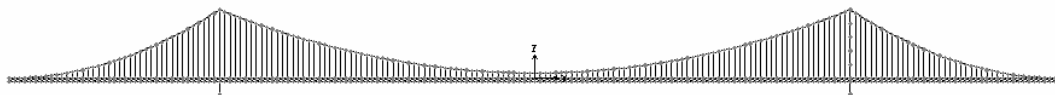
برای خارج شدن از این پنجره، روی دکمه OK و در پنجره نمایان شده روی دکمه Done تیک می زنیم.

برای تحلیل پل در برابر بارهای متحرک، و مشاهده تصاویر گرافیکی حرکت کامیون روی پل، مراحل مربوط به پل بتنی پیش تنیده را تکرار می کنیم.


بخش ۳

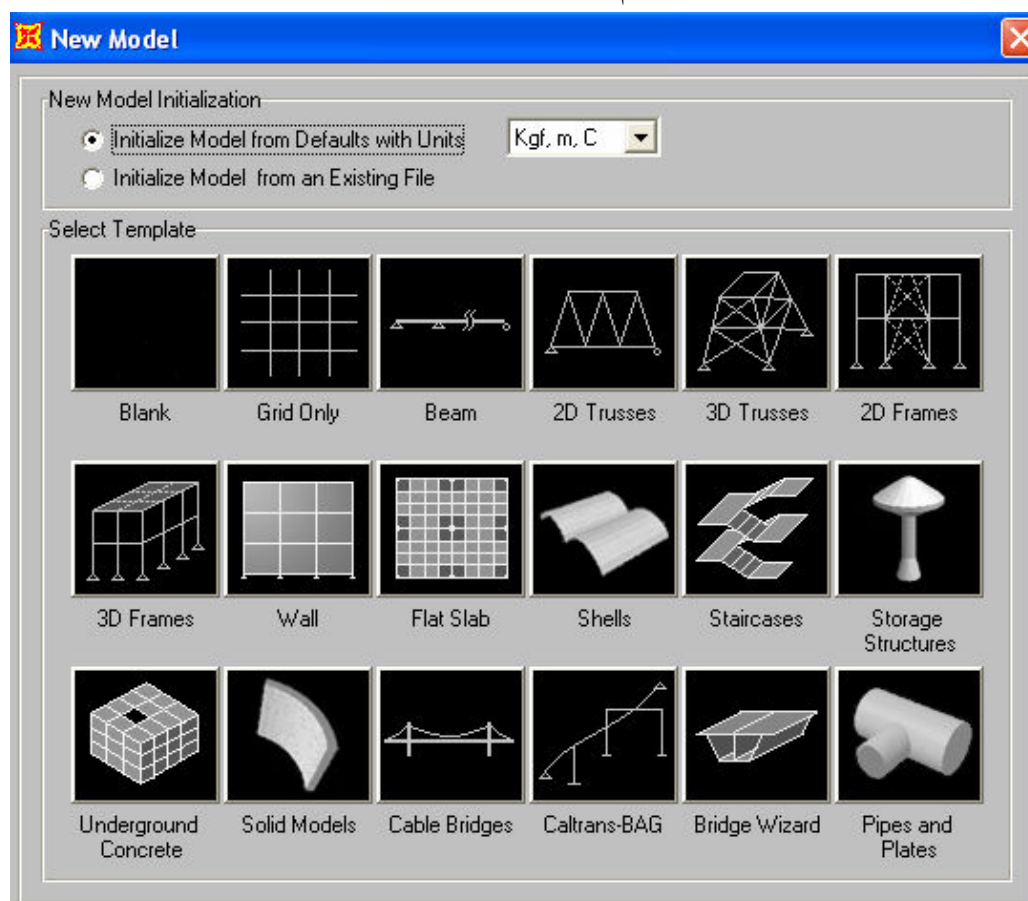
# مدلسازی پل معلق

## مدلسازی پل معلق



### مشخصات پل معلق


در این مثال پل مورد نظر دارای سه دهانه است. دو دهانه کناری آن ۲۰۰ متر و دهانه میانی آن ۶۰۰ متر می باشد. عبورگاه پل ۶ متر و ارتفاع کل برج میانی، ۷۰ متری باشد. برای ایجاد هندسه پل، مراحل زیر را انجام می دهیم. دستور **File > New Model From Template** را اجرا کرده یا روی دکمه نظیر آن یعنی  کلیک می زنیم تا پنجره ۱-۳ ظاهر گردد.



پنجره ۱-۳

در پنجره ظاهر شده روی شمایل **Cable Bridges** کلیک بزنید. تا پنجره ۲-۳ نمایان شود.

### Suspension Bridge



Parametric Definition

**Suspension Bridge Dimensions**

Left Span Length, L1	<input type="text" value="200"/>	Number of Divisions, N1	<input type="text" value="40"/>
Middle Span Length, L2	<input type="text" value="600"/>	Number of Divisions, N2	<input type="text" value="120"/>
Right Span Length, L3	<input type="text" value="200"/>	Number of Divisions, N3	<input type="text" value="40"/>
Deck Width, W	<input type="text" value="6"/>	Minimum Middle Sag, S	<input type="text" value="5"/>
Column Height, H1	<input type="text" value="15"/>	Column Height, H2	<input type="text" value="65"/>

**Section Properties**

Beams

Columns

Cables

Areas

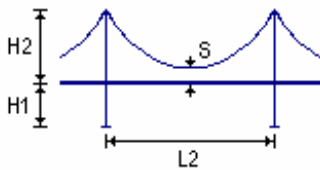
☒ Restraints  
☒ Gridlines

پنجره ۲-۳

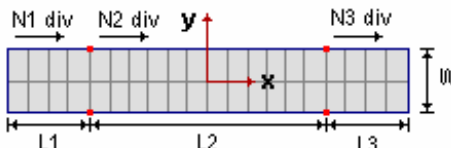
با تیک زدن روی دکمه Parametric Definition، پنجره ۳-۳ را نمایان می کنیم.

### Parameters

**W:** Deck Width  
**S:** Minimum Middle Sag  
**N1:** Number of Divisions, Left Span  
**N2:** Number of Divisions, Middle Span  
**N3:** Number of Divisions, Right Span



**Elevation**

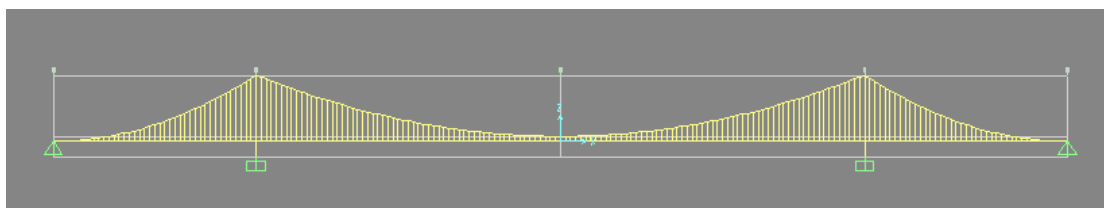


**Plan**

پنجره ۳-۳

- L1 ..... طول دهانه سمت چپ
- L2 ..... طول دهانه میانی پل
- L3 ..... طول دهانه سمت راست
- S ..... کمترین فاصله بین عرشه و کابل اصلی در مرکز دهانه ی میانی پل
- W ..... عرض عرشه پل
- H1 ..... ارتفاع برج از پی تا عرشه
- H2 ..... ارتفاع برج از عرشه تا محل قرار گیری کابل اصلی
- N1 ..... تعداد تقسیمات دهانه سمت چپ برای قرار گیری آویزها
- N2 ..... تعداد تقسیمات دهانه وسطی برای قرار گیری آویزها
- N3 ..... تعداد تقسیمات دهانه سمت راست برای قرار گیری آویزها

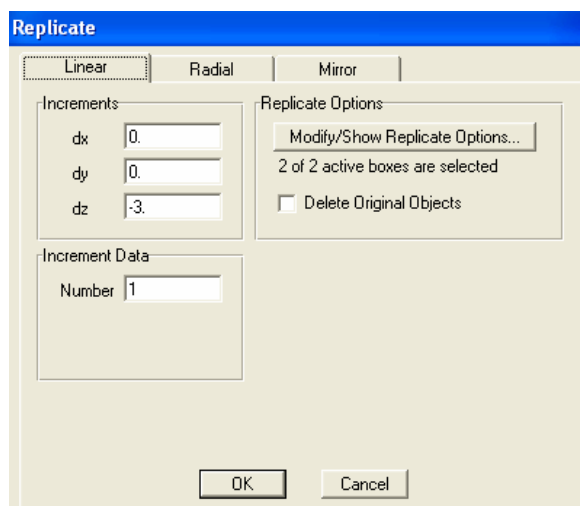
این اطلاعات را برای پل مورد نظر، مطابق پنجره ۳-۳ وارد می کنیم. با تیک زدن روی دکمه OK، مدل پل مطابق پنجره ۳-۴ نمایان می شود. در قسمت Section Properties برای هر عضو یک مقطع متفاوت را معرفی می کنیم. تا در انتخاب مقاطع و تغییر مقاطع آنها، مشکل نداشته باشیم.




پنجره ۳-۴

در مدل پیش فرض، مقطع عرشه را یک تیر به مقطع W18\*35 معرفی کردیم. با توجه به دهانه زیاد پل، عرشه را به صورت خرپا مدل می کنیم. ایجاد این خرپا، با کپی کردن تیر عرشه به اندازه ارتفاع خرپا و ترسیم اعضای قائم و مایل، صورت می گیرد. البته با ترسیم خرپا در پنجره دیگری از Sap و کپی کردن آن به پنجره مورد نظر، مدلسازی عرشه خرپایی را می توان انجام داد.

تیر افقی عرشه را با دستور Select > Frame Sections انتخاب کرده و از لیست موجود مقاطع، مقطع عرشه را انتخاب می کنیم. با دستور Edit > Replicate پنجره ای ظاهر می شود. که مطابق پنجره ۳-۵ آن را تکمیل می کنیم. در این پنجره، ارتفاع خرپا را برابر ۳ متر در نظر گرفته که در قسمت dz این فاصله وارد می شود.

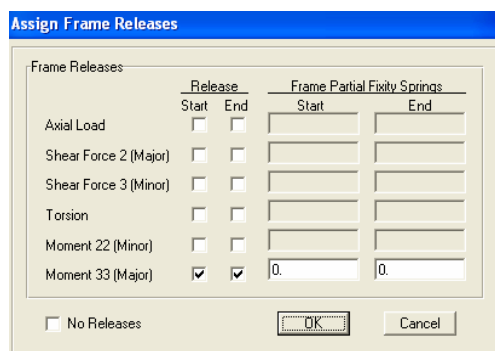


پنجره ۳-۵

برای ترسیم عضو قائم خریا، یک عضو را رسم کرده و سپس با دستور Replicate آن را به تعداد لازم و با فواصل ۵ متر از هم تکرار می کنیم. توجه کنید در مرحله تکرار، دو عضو در راستای برج پل، بر هم منطبق نشوند. همچنین عضو برج، در محل اتصال به عضوهای خریا باید تقسیم شود. برای این مقاطع، از لیست مقاطع موجود، مقطع مورد نظر را هنگام ترسیم اختصاص می دهیم و یا می توان یک مقطع دلخواهی را انتخاب کرده و در مراحل بعدی، مقطع جدید را برای این اعضا جایگزین نمود. برای ترسیم عضوهای قطری، از شمایل  و یا از عبارت دستوری Draw>Draw Frame/Cable/Tendon یک عضو قطری را ترسیم و بقیه را از دستور Replicate به تعداد لازم و به فواصل ۵ متر از هم تکرار می کنیم. با توجه به اینکه اعضای خریا فقط نیروهای فشاری و کششی را تحمل می کنند. لذا برای حذف انتقال لنگر در محل اتصال این اعضا، تمامی عضوهای مایل و قائم را انتخاب کرده و از دستور

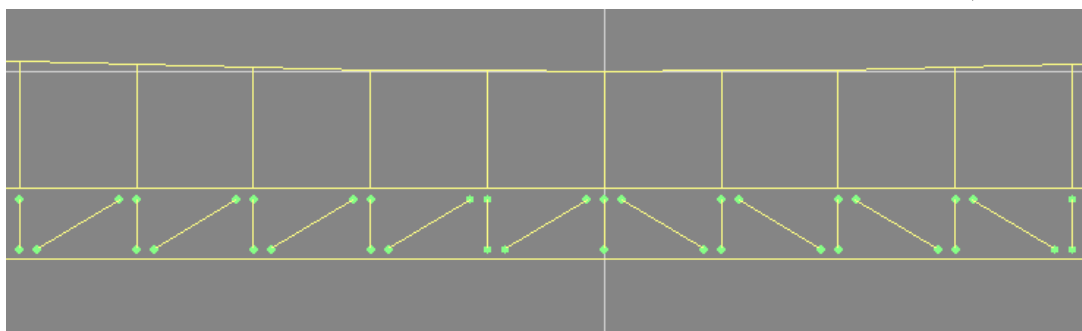
Assign > Frame /Cable/Tendon >Releases /partial Fixity...

پنجره ۳-۶ را نمایان و تکمیل می کنیم. برای انتخاب آنها بهتر است از قسمت Select استفاده کنیم. برای آگاهی از نام مقطع عضوهای مایل و قائم، روی آنها موشواره را قرار داده و با تیک زدن روی دکمه راست موشواره، پنجره مشخصات آنها را ظاهر می کنیم. در این پنجره، گزینه Assignment را انتخاب کرده و در پنجره نمایان شده، مشخصات مقطع را مشاهده می کنیم.



پنجره ۳-۶

بعد از انجام این مراحل، مدل پل به صورت پنجره ۳-۷ نشان داده می شود.



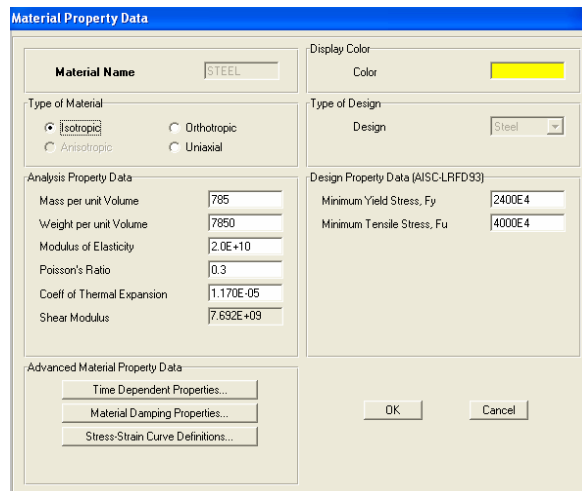
پنجره ۳-۷

تمام عضوهای مایل و قائم خرپا را انتخاب کرده و آنها را به تعداد لازم در جهت عرض پل، کپی می کنیم. با توجه به عرض عبورگاه ۶ متری، در جهت عرض پل، از ۳ خرپا استفاده می کنیم. البته این فقط به لحاظ مدلسازی است و جنبه ی محاسباتی ندارد. در ایجاد مدل های بزرگ از مدل کوچک، استفاده از دستور Replicate بسیار موثر است. در ایجاد مدل خرپا به اتصالات مفصلی آنها توجه کنید. اگر نیاز به تقسیم بندی دال کف در محل اتصالات باشد. تمام عضوهای خطی و دال های کف را انتخاب و با دستور Edit > Divide Areas گزینه Divide Area Using Cookie cut Based On Selected Point Objects را در آن پنجره فعال کرده و بعد دکمه OK را تیک می زنیم. با این دستور دال کف عرشه در محل تقاطع تیرها تقسیم می شود.

### معرفی مشخصات مصالح

برای معرفی مشخصات مصالح فولادی، دستور Define > Material را اجرا کرده و در پنجره نمایان شده گزینه Steel را انتخاب و روی دکمه Modify/Show Material تیک زده و پنجره نمایان شده را تکمیل می کنیم. (مطابق پنجره ۳-۸)





**Material Property Data**

**Material Name:** STEEL

**Display Color:** Color [Yellow]

**Type of Material:** ☒ Isotropic ☐ Orthotropic ☐ Anisotropic ☐ Uniaxial

**Type of Design:** Design [Steel]

**Analysis Property Data:**

Mass per unit Volume	785
Weight per unit Volume	7850
Modulus of Elasticity	2.0E+10
Poisson's Ratio	0.3
Coeff of Thermal Expansion	1.170E-05
Shear Modulus	7.692E+09

**Design Property Data (AISC-LRFD93):**

Minimum Yield Stress, Fy	2400E4
Minimum Tensile Stress, Fu	4000E4

**Advanced Material Property Data:**

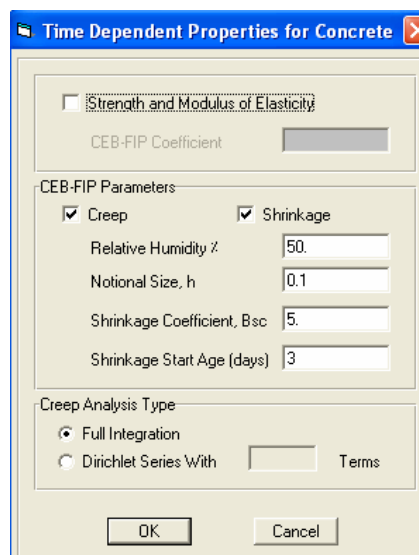
Time Dependent Properties...  
Material Damping Properties...  
Stress-Strain Curve Definitions...

OK Cancel

پنجره ۳-۸

### Define > Materials

با اجرای دستور فوق، پنجره ای نمایان می شود که از قسمت Materials، مصالح بتنی، یعنی عبارت Conc را فعال و با تیک زدن روی دکمه Modify/Show Material وارد پنجره تنظیمات می شویم. در این قسمت، ضرایب مربوط به اثرخزش و وارفتگی بتن را با تیک زدن روی دکمه Time Dependent Properties از پنجره ظاهر شده، انجام می دهیم. در پنجره Material Property Data می توان مشخصات مورد نظر را تغییر داد و یا بصورت پیش فرض قبول نمود.



**Time Dependent Properties for Concrete**

☐ Strength and Modulus of Elasticity

CEB-FIP Coefficient [ ]

**CEB-FIP Parameters:**

☒ Creep ☒ Shrinkage

Relative Humidity % [50]

Notional Size, h [0.1]

Shrinkage Coefficient, Bsc [5]

Shrinkage Start Age (days) [3]

**Creep Analysis Type:**

☒ Full Integration ☐ Dirichlet Series With [ ] Terms

OK Cancel

پنجره ۳-۹

در پنجره ۳-۹ اثرخزش و وارفتگی بتن وارد می شود.

درصد رطوبت نسبی مربوط به اثر خزش	Relative Humidity
بعد فرضی مربوط به اثر خزش	Notional Size, h
ضریب تأثیر وارفتگی بتن	Shrinkage Coefficient, Bsc
سن شروع وارفتگی بتن بر حسب روز	Shrinkage Start Age (days)

### معرفی مشخصات عناصر سطحی

#### Define > Area Sections > Add New Section

با دستور فوق پنجره ای نمایان می شود که در قسمت Bending، ضخامت رفتار خمشی و در قسمت Membrane ضخامت رفتار غشایی را وارد می کنیم.

### معرفی مقاطع عناصر خطی

عناصر اختصاصی برای عضوهای مدل، به صورت جفت نبشی معرفی می شوند. برای این منظور می توان از CD مقاطع ایرانی و یا از مقاطع آیین نامه های دیگر استفاده کرد. با دستور Define > Frame Section پنجره ای نمایان می شود که از لیست کرکره ای بالایی، روی گزینه Import Double Angle تیک می زنیم. CD مقاطع را انتخاب کرده و در پنجره نمایان شده، لیست مقاطع مختلف مورد نظر را انتخاب می کنیم. برای انتخاب مقاطع، دکمه Ctrl را نگه داشته و روی نام مقاطع تیک می زنیم. پس از انتخاب مقاطع، روی دکمه OK تیک زده تا پنجره بسته شود. برای اضافه کردن لیست انتخاب خودکار در نوار کشویی پایینی، روی گزینه Add Auto Select List تیک می زنیم. در پنجره نمایان شده با کشیدن موشواره روی مقاطع مورد نظر، یعنی 2LB که در لیست List of Sections قرار دارند. مقاطع را انتخاب کرده و با تیک زدن روی دکمه Add، این مقاطع، به لیست انتخاب خودکار (Auto Section) اضافه می شوند. در نوار ویرایشی Auto Section Name، نام Truss را وارد کرده و سپس روی دکمه OK تیک می زنیم. مقاطع نبشی دابل به صورت 2LB10-E3.0 نشان داده می شوند. عدد جلوی LB نشان دهنده شماره نبشی بر حسب سانتیمتر می باشد. عدد روبروی حرف E نشان دهنده فاصله پشت تا پشت نبشی است و در حالتی که دو نبشی به هم بچسبند. این عدد صفر می باشد. برای انتخاب عضوهای فوقانی و تحتانی خرپا، از قسمت select، نوع مقطع را انتخاب کرده و از قسمت مقاطع ایرانی، جفت نبشی شماره ۱۵ به فاصله ۱/۲ سانتیمتر از هم را انتخاب می کنیم. برای عضوهای قطری و قائم، جفت نبشی به شماره ۱۲ و به فاصله پشت تا پشت ۱/۲ سانتیمتر، اختصاص می دهیم. برای سایر اعضا نیز این مراحل را انجام می دهیم.

## اختصاص مشخصات عناصر نقطه ای

### اختصاص تکیه گاه ها

برای این منظور، عناصر نقطه ای واقع در ابتدا و انتهای مدل خرابایی را انتخاب و از دستور Assign > Joint Restraints پنجره ای را ظاهر می کنیم که نوع تکیه گاه را انتخاب کرده و روی دکمه OK تیک می زنیم.

### اختصاص مشخصات عناصر سطحی

با تیک زدن روی عضوهای سطحی و یا از دستور Select > Select > Area Section آنها را انتخاب و از دستور Assign > Area > Section پنجره ای را نمایان می کنیم که از قسمت Sections نام مربوط به عضو سطحی را انتخاب و دکمه OK را تیک می زنیم.

## معرفی مقطع متغیر برج میانی پل

### Define > Frame Section

معرفی مقطع برج، همانند قسمت پل کابلی انجام می شود. مراحل معرفی این مقطع در بخش پل کابلی آمده است.

## تعریف عضو کابل و ترسیم آن

### Define > Cable Section > Add New Section

با دستور فوق پنجره ۳-۱۰ نمایان می شود.

پنجره ۳-۱۰

در این پنجره، قطر کابل آویزان را ۶ سانتیمتر و قطر کابل اصلی را ۴۰ سانتیمتر معرفی می کنیم. اثر نیروی P-Delta که در کابلها اعمال می شود، با دستور زیر اعمال می گردد.

Assign > Frame/Cable/Tendon > P-Delta Force

با این دستور، پنجره ای نمایان می شود که در بخش Initial Force، در مقابل عبارت Force مقدار نیروی اولیه را که در این مثال ۵ تن است، وارد می کنیم.

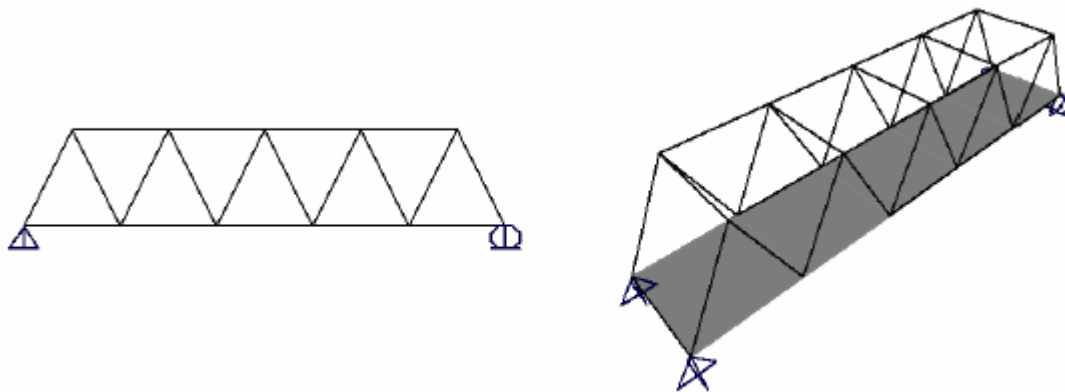
### معرفی حالت تحلیل

با دستور Define > Analysis Cases > Add New Case پنجره ای نمایان می شود که در قسمت Analysis Case Name یک نام دلخواه، بطور مثال StagedCon را وارد می کنیم. در قسمت Analysis Type، تحلیل استاتیکی را انتخاب می کنیم. برای پل معلق، با توجه به وابستگی تحلیل به زمان ساخت و بارگذاری تدریجی ناشی از آن، گزینه سوم تحلیل یعنی Nonlinear Staged Construction را انتخاب کرده و از قسمت Analysis Case Type گزینه Static را انتخاب می کنیم. مراحل معرفی مشخصات چنین تحلیلی، مطابق قسمت پل ترکه ای انجام می شود. تنها تفاوت این است که در پل ترکه ای از طرفین پایه های میانی پل، عملیات ساخت شروع شده و ادامه می یابد. اما در پل معلق، مراحل ساخت از وسط دهانه پل شروع شده و به پایه های کناری ختم می شود. این مسئله در گروه بندی عضو ها برای تحلیل، باید لحاظ شود. مراحل مربوط به تحلیل و مشاهده نیروها و طراحی عضو ها، مطابق پل ترکه ای می باشد. توجه کنید که برای این پل، حالت تحلیل بارگذاری متحرک را انجام ندادیم. برای تحلیل پل در برابر بارهای متحرک، و مشاهده تصاویر گرافیکی حرکت کامیون روی پل، مراحل مربوط به پل بتنی را تکرار می کنیم.

بخش ۴

# مدلسازی پل خریایی فولادی


## پل خربایی فولادی



### مشخصات مدل

پل به صورت یک دهانه است، که طول آن  $18/3$  متر می باشد.  
 عرض عبورگاه پل،  $3/6$  متر می باشد.  
 ارتفاع خربایی پل،  $3/6$  متر می باشد.  
 تکیه گاه پل در یکطرف غلطکی و در طرف دیگر مفصلی می باشد.  
 مقاطع عضوهای پل، از نوع جفت نبشی می باشد.  
 ضخامت دال بتنی عبورگاه برابر  $12$  سانتی متر می باشد.  
 مقادیر بارهای وارده بر دال کف پل برای بار زنده  $500\text{Kg} / \text{m}^2$  و برای بار مرده  $100\text{Kg} / \text{m}^2$  می باشد.

### ترسیم هندسه مدل

۱- دستور `File > New model` را اجرا کنید. یا اینکه روی دکمه  کلیک بزنید.  
 در این پنجره می توانیم برای ساخت مدل از قسمت `2D Trusses` یا `3D Trusses` یا `Grid` only استفاده کنیم.  
 برای مدلسازی پل از قسمت `Grid only` استفاده می کنیم. با تیک زدن روی این گزینه پنجره ای نمایان می شود. که مشخصات مربوط به خطوط شبکه را در این قسمت وارد می کنیم. برای مثال مورد نظر، اطلاعات بصورت زیر وارد می گردد.

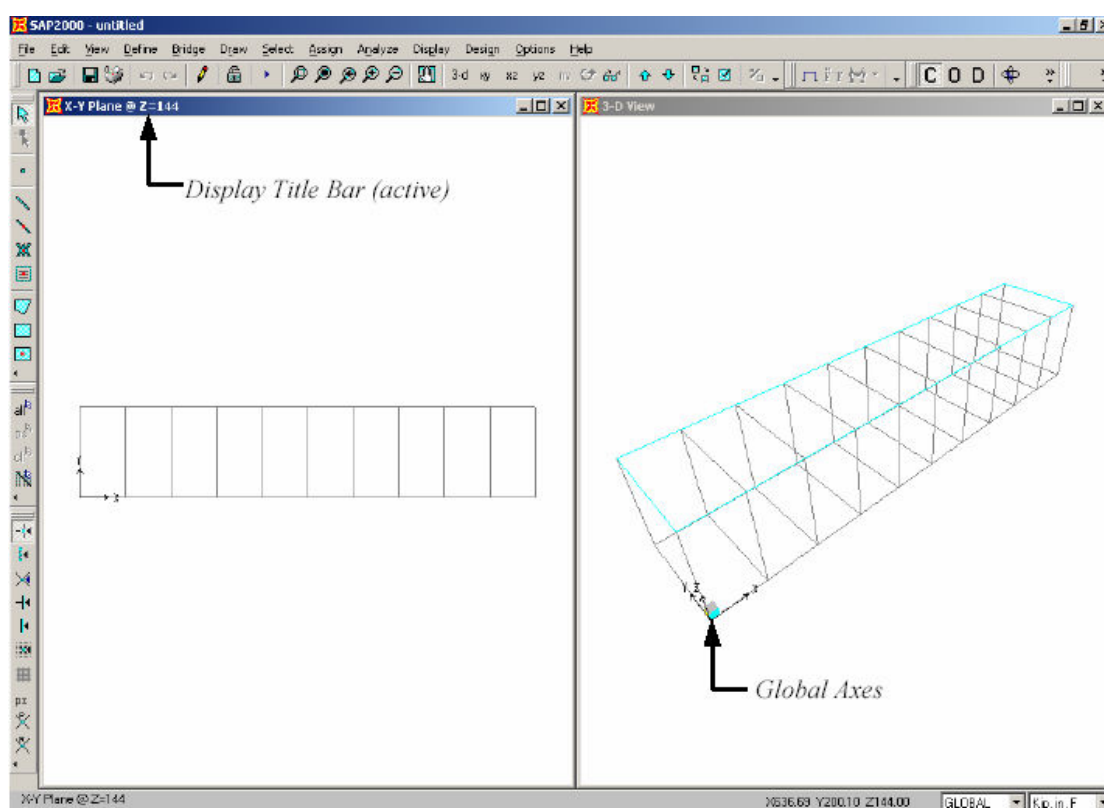
## • Number of Grid Lines

۱. X direction تعداد خطوط شبکه در جهت X (11) را وارد می کنیم.
۲. Y direction تعداد خطوط شبکه در جهت Y (2) را وارد می کنیم.
۳. Z direction تعداد خطوط شبکه در جهت Z (2) را وارد می کنیم.


## • Grid Spacing

در این قسمت فواصل یکسان خطوط شبکه را برای هر سه محور وارد می کنیم. در جهت X،  $1/8$  متر و در جهت Y،  $3/8$  متر و در جهت Z،  $3/8$  متر را وارد می کنیم. در صورت نیاز به خطوط شبکه با فواصل نامساوی، روی گزینه Edit grid تیک می زنیم. در پنجره نمایان شده اطلاعات مورد نظر را وارد می کنیم.

برای مثال حاضر بعد از وارد کردن این اطلاعات، با تیک زدن روی دکمه OK، خطوط شبکه بصورت پنجره ۴-۱ نمایان می شود.




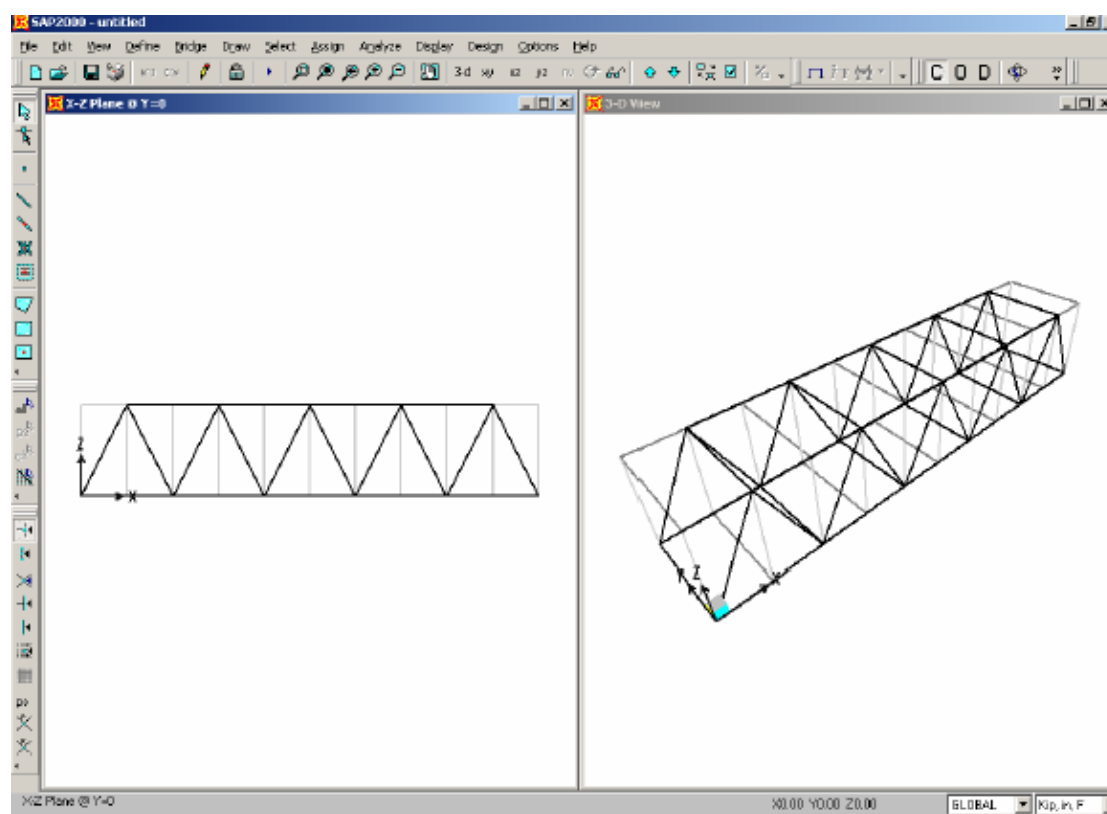
پنجره ۴-۱

بر روی علامت ترسیم عناصر خطی  تیک زده و یا با استفاده از عبارت دستوری زیر حالت ترسیم را انتخاب می کنیم.

Draw > Draw Frame/Cable/Tendon

روش ترسیم، تیک زدن از ابتدای عضو به انتهای عضو می باشد. برای پایان دادن به عملیات ترسیم روی دکمه راست موشواره تیک زده و عملیات ترسیم را از نقطه جدیدی آغاز کنیم.

ابتدا دو عضو تحتانی خرپا را در جهت محور X، و اولین عضو در امتداد عرض پل، در جهت محور Y را ترسیم می کنیم. با استفاده از دستور Replicate عضو ترسیم شده را انتخاب و به تعداد ۵ مورد و با فاصله ۳/۶ متر از هم، تکرار می کنیم. همین عضوهای تحتانی را انتخاب و این بار در جهت محور Z تکرار می کنیم. عضوهای قائم خرپا را به همین ترتیب ترسیم می کنیم. برای خارج شدن از حالت Draw روی دکمه Pointer  تیک می زنیم. اگر مراحل ترسیم عضوها را درست انجام دهیم، در نهایت پنجره ۲-۴ نمایان می شود. رسیدن به این شکل یا اشکال مشابه از یک روند خاص پیروی نمی کند. بلکه بیشتر وابسته به خلاقیت کاربر برای ترسیم سریع و دقیق مدل دارد.



پنجره ۲-۴

عضوهای طولی تحتانی و فوقانی خرپا را انتخاب می کنیم. بعد از اینکه به حالت فعال درآمدند. با دستور زیر:

Assign > Frame/Cable/Tendon > Automatic Frame Mesh.

پنجره ای را نمایان می کنیم که در آن پنجره، گزینه at Intersection with Other Frames را فعال کرده، سپس دکمه OK را تیک می زنیم.

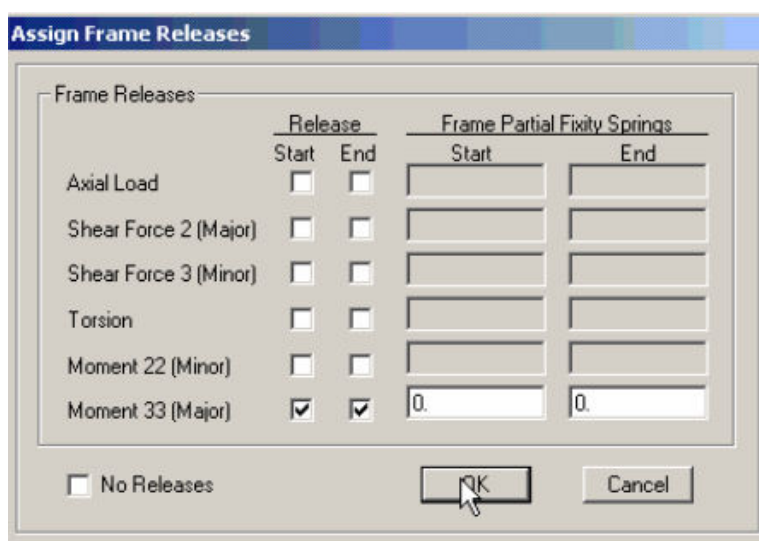


نسبت دادن درجه آزادی به عضوهای خرپا

برای این منظور، عضوهای مایل درپلان  $x-z@Y=0$  و  $x-z@Y=3.6$  را انتخاب کرده و از دستور



Assign > Frame/Cable/Tendon > Releases/Partial Fixity

پنجره مشابه ۳-۴ را نمایان می کنیم. با توجه به اتصال مفصلی عضوهای خرپا، گزینه مربوط به حذف لنگر خمشی حول محور قوی مقطع، در ابتدا و انتهای عضو را فعال می کنیم. با این کار در محل اتصال عضو ها هیچ لنگر خمشی انتقال نمی یابد.



پنجره ۳-۴


### ترسیم عناصر سطحی


بر روی دکمه ترسیم عناصر سطحی  تیک زده و با تیک زدن روی گوشه های عناصر سطحی، این عناصر را ترسیم می کنیم. برای ترسیم عناصر سطحی باید در یک جهت معین روی تمام نقاط گوشه ی عناصر سطحی تیک بزنیم. با تیک زدن روی دکمه  از حالت ترسیم خارج می شویم. این مراحل ترسیم، به صورت زیر می باشد.

۱. بر روی دکمه ترسیم عناصر سطحی  تیک بزنید.

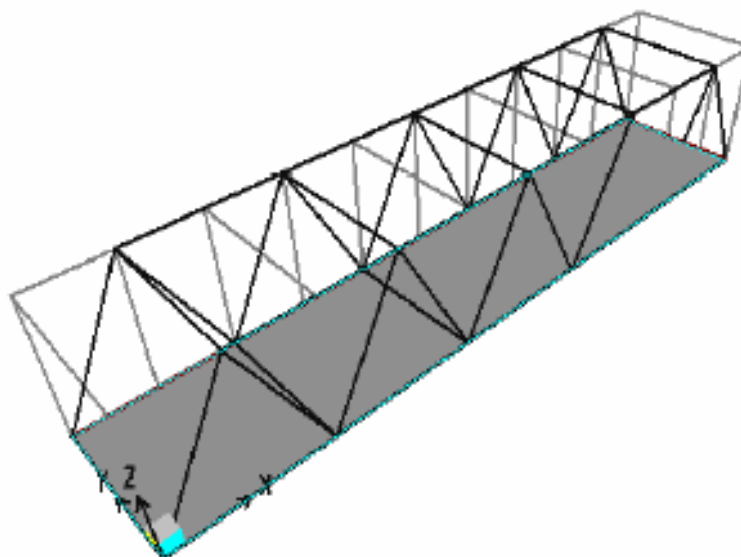
۲. دستور Snap to points and Grids Intersections را فعال کنید.

۳. در نقطه  $(x=0, y=0)$  تیک زنید. و سپس با حرکت در جهت عقربه های ساعت در نقاط  $(x=0, y=3.6)$  و  $(x=18.3, y=3.6)$  و  $(x=18.3, y=0)$  تیک بزنید.

۴. برای خارج شدن از حالت ترسیم، روی دکمه Pointer  تیک زنید.

۵. برای مشاهده بهتر عناصر سطحی بر روی دکمه  Set Display Option تیک زده و در پنجره نمایان شده، گزینه Fill object را فعال کنید. مدل به صورت پنجره ۴-۴ نمایان خواهد شد.

چون دال کف، بصورت یکپارچه ترسیم شد. برای تقسیم بندی، تمام عضوهای خطی و دالهای کف را انتخاب و با دستور Edit > Divide Areas گزینه Divide Area Using Cookie cut Based On Selected Point Objects را فعال کرده و دکمه OK را تیک می زنیم. با این دستور، عضو سطحی یکپارچه، در محل تقاطع عضوهای خرپا، تقسیم می شود.



پنجره ۴-۴

### معرفی مشخصات مصالح

برای معرفی مشخصات مصالح فولادی، دستور Define > Material را اجرا کرده و در پنجره نمایان شده، گزینه Steel را انتخاب و روی دکمه Modify/Show Material تیک زده و پنجره نمایان شده را تکمیل می کنیم. (مطابق پنجره ۵-۴)

پنجره ۴-۵

### معرفی مشخصات عناصر سطحی

Define >Area Sections >Add New Section

با دستور فوق پنجره ۴-۶ نمایان می شود.

- |  |            |
|--|------------|
| نام دلخواه عضو را وارد می کنیم.                | • Section  |
| نوع رفتار عضو تحت بارها را انتخاب می کنیم.     | • Type     |
| نوع مصالح را انتخاب می کنیم.                   | • Material |
| ضخامت رفتار خمشی یا غشایی عضو را وارد می کنیم. | • Tickness |

درقسمت Bending ، ضخامت رفتارخمشی و درقسمت Membrane ، ضخامت رفتار غشایی را وارد می کنیم.

پنجره ۴-۶

### معرفی مقاطع عناصر خطی

مانند قسمت پل معلق، مقاطع را اختصاص می دهیم.

### اختصاص مشخصات عناصر نقطه ای

اختصاص تکیه گاه ها مانند مثالهای قبلی می باشد.

### اختصاص مقاطع عناصر خطی

عضو های خطی را انتخاب کرده و از دستور **Assign>Frame/Line >Frame Section** قسمت **Find this Property**، نام **TRUSS** را انتخاب و سپس دکمه **OK** را تیک می زنیم. می توانیم عضو های مختلف را در یک گروه قرار داده و به هر گروه، مقاطع مورد نظر را اختصاص دهیم.

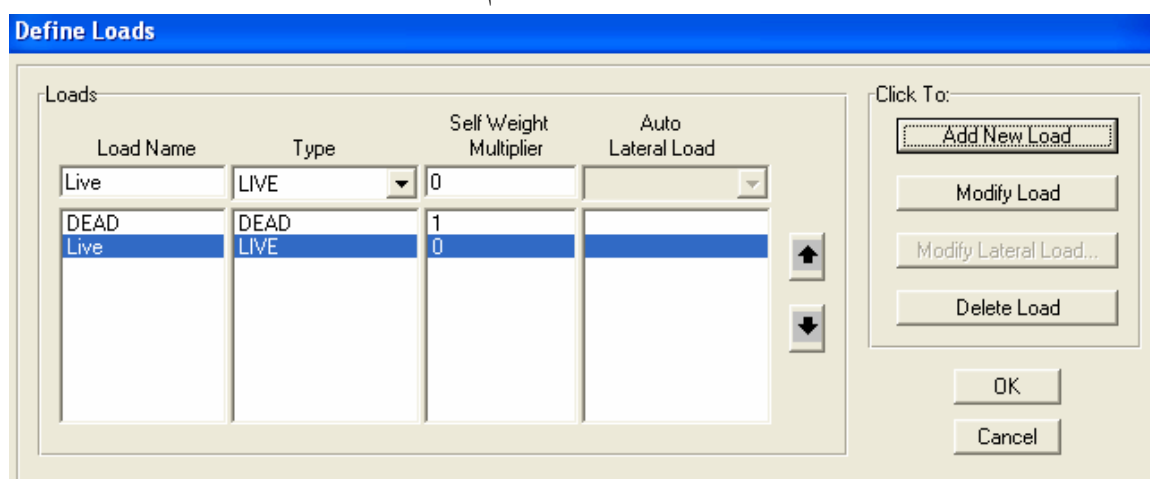
### اختصاص مشخصات عناصر سطحی

با تیک زدن روی عضو های سطحی و یا از دستور **Select > Select > Area Section** آنها را انتخاب و از دستور **Assign > Area > Section** پنجره ای را نمایان می کنیم که از قسمت

Sections نام مربوط به عضوهای سطحی را که از قبل به نام Deck معرفی کرده بودیم، انتخاب و دکمه OK را تیک می زنیم.

### معرفی حالت بار استاتیکی

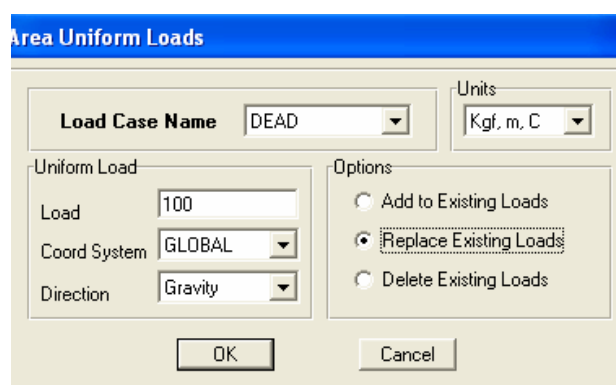
با دستور Define > Load Case پنجره ۴-۷ را نمایان می کنیم. در قسمت Load Name بار زنده را با نام Live وارد کرده و از لیست کرکره ای Type عبارت Live را انتخاب و ضریب بار را در قسمت Self Weight Multiplier، صفر وارد می کنیم.




پنجره ۴-۷

### اختصاص بارهای عناصر سطحی

با تیک زدن روی عضوهای سطحی و یا از دستور Select > Select > Area Section آنها را انتخاب کرده و از دستور Assign > Area loads > Uniform (Shell) پنجره ۴-۸ را نمایان می کنیم. از قسمت Load Case Name، گزینه مربوط به بار مرده، یعنی Dead Load را انتخاب و در قسمت Uniform Load مقدار  $100\text{Kg/m}^2$  را وارد می کنیم. در قسمت Direction گزینه Gravity را انتخاب می کنیم.

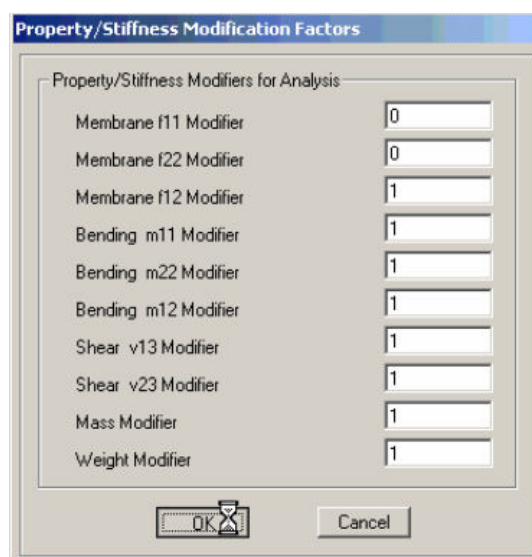


پنجره ۴-۸


برای اعمال بارگذاری زنده، با استفاده از دکمه ، عضوهای سطحی قبلی را انتخاب، و همانند قسمت بارگذاری بار مرده، از قسمت Load Case Name عنوان بارزنده را انتخاب و در قسمت Load از نوار Uniform Load مقدار بار  $500\text{Kg/m}^2$  را وارد می کنیم. در این قسمت از بارگذاری گسترده یکنواخت برای اثر بار زنده استفاده کردیم. اثر نیروهای درون صفحه ای F11 و F22 را که مربوط به رفتار غشایی عضو است. با دستور

Assign > Area > Area Stiffness Modifiers

و با اعمال ضریب صفر در قسمت مربوط به F11 و F22، حذف می کنیم. (مطابق پنجره ۹-۴)




پنجره ۹-۴

روی گزینه  تیک زده تا پنجره مربوط به Display Option For Active Window نمایان گردد. از قسمت General گزینه Fill Objects را فعال کنید.

### تحلیل سازه

پس از کنترل مشخصات و پارامترهای ورودی، سازه را تحلیل می کنیم. برای تحلیل از دستور Analyze > Set Analysis Option...

شکل خرابا تیک می زنیم. با تیک زدن روی دکمه OK از پنجره فوق خارج می شویم. برای تحلیل مدل، روی دکمه  تیک می زنیم. در قسمت Case Name گزینه مربوط به حالت تحلیل Modal را انتخاب، و از قسمت Click to دکمه Run/Do Not Run را فعال می کنیم. تا مدل برای حالت Modal تحلیل نشود. سپس روی دکمه Run Now تیک می زنیم تا عملیات تحلیل آغاز شود. پس از پایان عملیات تحلیل، در صورتیکه مراحل مدلسازی بدرستی صورت گرفته

باشد. دستور ANALYSIS COMPLETE ظاهر می شود. در غیر اینصورت خطا ها یا هشدارهای احتمالی موجود در پنجره تحلیل، باید بررسی شده و اصلاح گردند.

### مرور نتایج حاصل از تحلیل مدل

خروجی های برنامه به دو گروه تقسیم می شوند.

۱. خروجی های گرافیکی

۲. خروجی های متنی

خروجی های گرافیکی را می توان، روی هندسه مدل نمایش داد و خروجی های متنی را از دستور

File > Show Input /Output Text Files

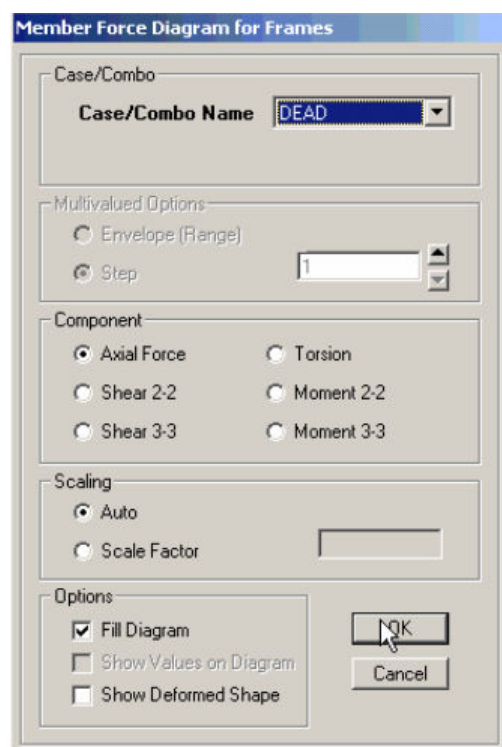
مشاهده نمود. برای مشاهده دیاگرام نیروها تحت اثر نوع بارهای مختلف، از دستور

Display > Show Forces/Stresses > Frames /Cable

۴-۱۰ نمایان می شود. از قسمت Case/Combo Name گزینه Dead یا Live را انتخاب کرده

و از قسمت Component گزینه Axial Force را برای مشاهده نیروهای محوری عضو های

خرپا فعال می کنیم.



پنجره ۴-۱۰

برای مشاهده مدل تغییر شکل سازه از دستور **Display > Show Deformed Shape** تغییر شکل ناشی از نوع بار را انتخاب و دکمه **OK** را تیک می زنیم. برای انتخاب نوع آیین نامه طراحی، از دستور

### Option > Preferences > Steel Frame Design

استفاده می کنیم. در پنجره نمایان شده، نوع آیین نامه طراحی را انتخاب می کنیم. به طور مثال

**AISC-LRFD99** را برای طراحی انتخاب می کنیم. مطابق پنجره ۴-۱۱

	Item	Value
1	Design Code	AISC-LRFD99
2	Time History Design	Envelopes
3	Framing Type	OMF
4	Seismic Design Category	D
5	Phi (Bending)	0.9
6	Phi (Compression)	0.85
7	Phi (Tension-Yielding)	0.9
8	Phi (Tension-Fracture)	0.75
9	Phi (Shear)	0.9
10	Phi (Shear-Torsion)	0.75
11	Phi (Compression, Angle)	0.9
12	Ignore Seismic Code?	No
13	Ignore Special Seismic Load?	No
14	Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes
15	Consider Deflection?	No
16	DL Limit, L /	120.
17	Super DL+LL Limit, L /	120.
18	Live Load Limit, L /	360.
19	Total Limit, L /	240.
20	Total-Camber Limit, L /	240.
21	Pattern Live Load Factor	0.75
22	Stress Ratio Limit	0.95
23	Max Number of Auto Iterations	1

Set To Default Values

Reset To Previous Values

پنجره ۴-۱۱

در پنجره فوق، مشخصات مربوط به ضریبهای طراحی و کنترل نسبت خیز عضو ها تحت بار و انتخاب محدودی نسبت تنش مجاز و.... صورت می گیرد. پس از معرفی پارامترهای طراحی، اکنون سازه را می توان طراحی نمود. قبل از اجرای عملیات طراحی در صورتیکه بخواهیم در طراحی عضو ها از خاصیت تیپ بندی استفاده کنیم. باید آنها را گروه بندی کنیم. برای گروه بندی، ابتدا عضو های مورد نظر را انتخاب، و از دستور **Assign > Assign to Group** و در پنجره نمایان شده، روی گزینه **Add New Group** تیک می زنیم. نام دلخواهی را برای هر گروه انتخاب کرده و روی دکمه **OK** تیک می زنیم.

با دستور **Design > Steel Frame Design > Select Design Groups** پنجره ای نمایان می شود. که از قسمت **List of Groups** نام گروه بار مورد نظر را انتخاب و با تیک زدن روی دکمه



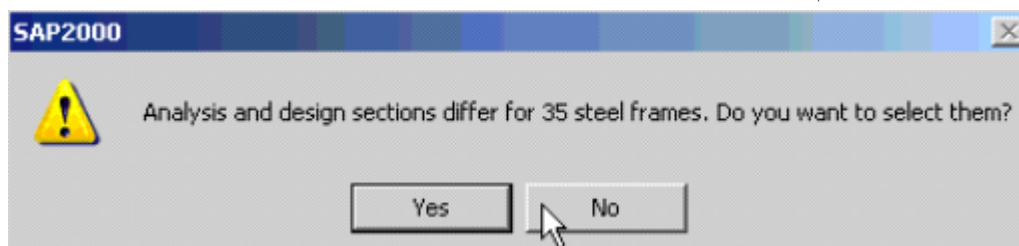
Add آن را به گروه طراحی اضافه می کنیم. به این ترتیب هر گروه از عضو ها، پس از عملیات طراحی مقطع یکسانی را خواهند داشت. ازدستور

#### Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure


برای شروع عملیات طراحی استفاده کرده و بلافاصله پس از پایان عملیات طراحی، در پنجره فعال شده، نام مقطع طراحی و کد رنگی نسبت تنش اعضاء، ظاهر می شود. اعضای که دارای رنگ قرمز باشند. مقطع طراحی آنها برای نیروهای وارده مقاومت لازم را دارا نمی باشد. به عبارت دیگر لیست موجود مقاطع کافی نیست. و باید مقاطع جدیدی را اضافه کنیم. برای آنکه از درست بودن پارامترهای طراحی مطمئن شویم. روی یک عضو دلخواه تیک زده و در پنجره ظاهر شده روی دکمه Details تیک می زنیم. ممکن است مقطعی را که برای عملیات تحلیل بکار رفته برای مراحل طراحی استفاده نشده باشد. به عبارت دیگر مقطع تحلیل و طراحی متفاوت از هم باشند. برای آگاه شدن از وجود چنین اعضاء از دستور

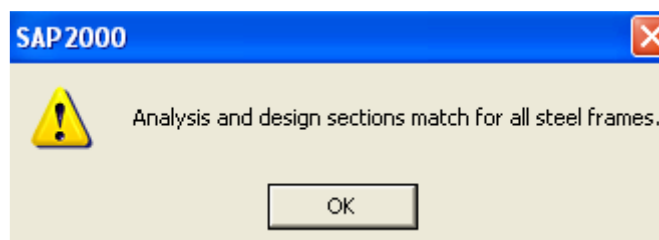
#### Design > Steel Frame Design > Verify Analysis vs Design Section....

استفاده می کنیم. در صورت وجود چنین عضوهای پیغامی مشابه پنجره ۴-۱۲ نمایان می شود. که تعداد این عضو ها را اعلام می کند.



پنجره ۴-۱۲

بر روی دکمه Yes تیک زده و قفل تحلیل برنامه را با تیک زدن روی  باز می کنیم. عملیات تحلیل را دوباره انجام داده و در صورتیکه پیغام مربوط به عدم یکسان بودن مقطع تحلیل و طراحی، مشاهده شود. مجدداً عملیات تحلیل و طراحی را انجام می دهیم. تا زمانیکه پیغام پنجره ۴-۱۳ نمایان گردد.



پنجره ۴-۱۳

توجه داشته باشید که شدت تنش یا ظرفیت مجاز عضوها بر مبنای ترکیبات بار معرفی شده نمایان می شود. برای معرفی تحلیل بارگذاری متحرک، مراحل مربوط به مدل پل بتنی را انجام می دهیم.

# فهرست منابع

- [1] استفاده از Help نرم افزار Sap و جزوه ی درسی آموزش Sap آقای دکتر برقیان
- [2] [ 2] امینی شاد باد، حمیده " بررسی اثر شل شدگی در رفتار پل معلق بصورت موردی " پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۴، دانشگاه تبریز
- [3] [3] پاکنهاد، مسعود " تحلیل استاتیکی سازه های کابلی " پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۰، دانشگاه تبریز
- [4] AASHTO-Standard Specificaion for Highway bridge .6\ed.the American Association of State Highway and Transpotation Official Inc.,Washington,D.C.

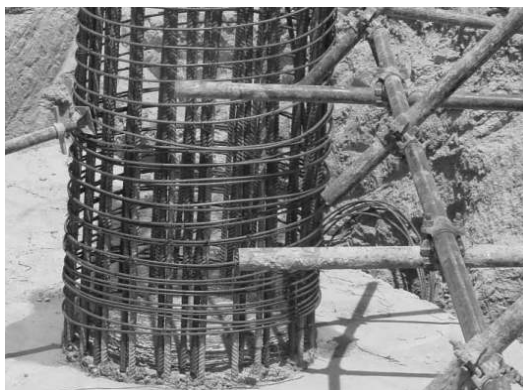
پیوست

## مشکلات اجرایی پلهای بتنی

### مقدمه

در سال‌های اخیر شناخت از رفتار سازه‌ها و برآورد نیروهای وارد بر آنها به خصوص در هنگام زلزله از پیشرفت قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و جامعه مهندسی کشور ما نیز در بخش مشاوره (طراحی سازه‌ها) به مدد حضور آیین‌نامه‌های طراحی به روز و ابزارهای قدرتمند نرم‌افزاری وارداتی، بهره‌مند شده است. این موضوع در مراحل اول و دوم مطالعات طراحی به خوبی نمایان شده اما در اجرا متأسفانه فاصله قابل توجهی میان دانش نیروهای بخش طراحی با دانش نیروهای فنی دستگاه‌های نظارتی و پیمانکاران به وجود آمده که خود عامل مهمی در برآورده نشدن کیفیت مناسب در هنگام اجرای سازه‌ها شده است. البته این نکته نیز دور از ذهن نماند که گاهی اوقات نیز فاصله مذکور به طور معکوس و به دلیل عدم آگاهی بخش طراحی از روش‌ها و ظرفیت‌های موجود در صنعت ساخت و ساز به طرح‌هایی با قابلیت‌های اجرایی پایین ختم گردیده است. در زیر اشاره‌ای مختصر به مشکلات اجرایی پلهای بتنی می‌شود.

#### ۱- قطع پیوستگی آرماتور دورپیچ در ناحیه تشکیل مفصل خمیری در پای ستون‌های پل



برای استهلاک انرژی زلزله آیین‌نامه‌ها اجازه می‌دهند نواحی از پیش تعیین شده‌ای در سازه‌ها دچار تغییر شکل‌های خمیری با حفظ سختی، مقاومت و شکل‌پذیری در چرخه‌های رفت و برگشتی امواج زلزله گردند. در پل‌ها این نواحی بطور معمول در زیر سازه (پایه‌ها) انتخاب می‌گردند. بطور خاص در ستون‌های بتنی پایه‌ها این تغییر شکل‌ها در پای ستون‌ها و در طول ناحیه تشکیل مفصل خمیری اتفاق

می افتند. به منظور تامین شکل پذیری لازم در مناطق با خطر لرزه‌ای زیاد، آیین نامه‌ها همپوشانی overlap آرماتورهای دور پیچ در ناحیه تشکیل مفصل خمیری در پای ستون را ممنوع کرده‌اند. اما در شکل ذیل مشاهده می گردد که جدا از مساله همپوشانی، پیمانکار برای سهولت اجرا و به دلیل عدم آگاهی از این نکته اصولی، حتی آرماتورهای دور پیچ را هنگام اجرای فونداسیون درست در پای ستون قطع نموده است. انقطاع ایجاد شده باعث کاهش تنش‌های محصور کننده در پای ستون شده و عامل بسیار مهمی در کاهش قابل توجه شکل پذیری و ناپایداری پایه پل در هنگام زلزله خواهد بود.

## ۲- وصله آرماتور طولی در ناحیه تشکیل مفصل خمیری در پای ستون‌های پل



بر اساس فلسفه مورد اشاره در قسمت قبل و مطابق مقررات آیین نامه‌ها وصله آرماتور طولی ستون فقط در ناحیه نیمه میانی ارتفاع ستون مجاز می باشد. لازم به توضیح است که حداقل طول وصله ۶۰ برابر قطر آرماتور طولی بوده و باید ضوابط دورپیچی ویژه برای آن اعمال گردد. متأسفانه در شکل فوق مشاهده می گردد که وصله آرماتور دقیقاً در ناحیه غیر مجاز ستون قرار گرفته و آرماتورهای دورپیچ نیز در فونداسیون قطع شده‌اند. موضوع اخیر از مهمترین عوامل خرابی‌های مشاهده شده در زلزله‌ها در اکثر نقاط دنیا می باشد.

## ۳- عدم تامین طول لازم برای نشیمن تیرهای بتن مسلح پیش ساخته عرشه پل



در پل‌های متشکل از عرشه با تیرهای بتن مسلح پیش ساخته در کشورمان استفاده از تکیه گاه نئوپرن الاستومری برای نشیمن تیرها در محل کوله‌ها و پایه‌ها بسیار رایج می‌باشد. انتظار می‌رود در هنگام زلزله، تغییر مکان طولی پل به دلیل عدم وجود میرایی در این نوع نشیمنگاه‌ها قابل توجه باشد. لذا آیین نامه‌ها مقرر می‌دارند که طول نشیمن عرشه بر روی کوله و پایه پل از حداقل میزانی برخوردار باشد. این مهم به دلیل جلوگیری از سقوط عرشه از روی کوله و پایه به داخل دهانه می‌باشد. متأسفانه در شکل زیر مشاهده می‌گردد که طول مذکور رعایت نشده است. در حالی که این موضوع در هنگام تهیه نقشه‌های اجرایی و زمان اجرای کوله به راحتی و با تامین براکت در دیواره کوله امکان پذیر بوده است.

#### ۴- جانمایی نادرست نئوپرن در زیر تیرهای پیش ساخته عرشه



#### ۵- اجرای نامناسب درزهای انبساط



یکی از مساله سازترین قسمت های پل‌ها در زمان بهره‌برداری، درزهای انبساط پل می‌باشد. هر یک از ما روزانه چندین بار ضربه وارد بر اتومبیل خود را در هنگام عبور از همین درزها تجربه می‌نماییم. در شکل زیر یک نمونه درز انبساط در حال اجرا نشان داده شده است. زمان اجرای درزهای انبساط بطور معمول همزمان با بتن ریزی دال می‌باشد، در این هنگام با توجه به دقت کم لحاظ شده در اجرای درز انبساط و همچنین عدم وجود آسفالت پوششی، رویه درز و بتن اطراف آن دارای پستی بلندی هایی

خواهد شد که در هنگام اجرای آسفالت امکان اصلاح آنها وجود نخواهد داشت. لذا توصیه می گردد محدوده درز انبساط تا زمان اجرای آسفالت پل، بتن ریزی نشده و در هنگام اجرای آسفالت با تنظیم مناسب درز و آنگاه ریختن بتن مرحله دوم از هم تراز بودن سطح درز و آسفالت اطمینان حاصل گردد. به علاوه از اجرای درزهای فولادی با پروفیل و ورق پوششی به دلیل شکست جوش های اتصال و ایجاد مشکلات فراوان احتراز شده و به جای آنها از درزهای لاستیکی مسلح استفاده شود.

## ۶- ترک در پلهای بتن مسلح



عوامل متعددی در خرابی پلهای بتن آرمه دخیل هستند که از جمله آنها عبور بار غیر مجاز، عدم توجه و رسیدگی و مرمت به موقع پل، مشکلات اجرایی و غیره میتوان اشاره نمود در این بین تخصیص عمر باقیمانده پل که سالها در معرض چنین مسائل و مشکلات قرار داشته اند بحث مهمی می باشد شکستگی در پلهای بتن آرمه به دنبال ایجاد ترک و انتشار آن و در صورتی که به موقع نسبت به درست کردن آن اقدام نگردد بوقوع خواهد پیوست بدلیل تنوع پلهای بتنی، طبیعی است که شکل ترکهای ایجاد شده متنوع خواهد بود شایعترین خرابیهای مشاهده شده در این پلها به قرار زیر است.

### ۶-۱ ترکهای شکاف خوردگی

این ترکها ناشی از بارها متمرکز بزرگ هستند به عنوان نمونه در محل تکیه گاهها و در نواحی مهار گذاری شده در کابلهای پیش تنیدگی این ترکها ممکن است ایجاد شود این ترکهای یک شبکه میلگرد گذاری قابل پیشگیری است

### ۶-۲ ترکهای ناشی از انقباض پلاستیک

یکی از شایعترین ترکهای موجود در سازه های بتنی و بخصوص بتن مسلح، ترکهای ناشی از انقباض پلاستیک بتن است این ترک پس از حدود یک ساعت پس از قرار گرفتن بتن در محل خود ایجاد

میگردد. اگرچه این ترکها ممکن است اغلب تا مدت زیادی ناشناخته و مخفی باشند این ترکها از سطوح واقع در نما شروع میشوند این ترکها معمولاً در دالها که مراقبت کافی از بتن آنها بعمل نیامده باشد ایجاد خواهد شد عمده ترین دلیل این ترکها تبخیر سریع آب از سطح بتن است پارامترهای که نرخ تبخیر را مشخص میکنند عبارتند از: درجه حرارت بتن، درجه حرارت هوا، نسبت رطوبت و سرعت باد در نزدیکی سطح بتن. این ترکها را نباید با ترکهای طولانی مدت انقباض اشتباه کرد. این ترکها معمولاً به فرمهای زیر رخ می دهد.

(الف) ترکهای قطری ۴۵ درجه در گوشه های دال (به طور مجزا از ۰/۲ تا ۲ متر)

(ب) ترکهای بسار زیاد با طرح تصادفی

(ج) ترکهای که فرم قرار گیری آرماتورهای شبکه را دنبال می کنند.

این ترکها به ندرت به لبه های آزاد دال می رسند زیرا این لبه ها قابلیت حرکت انقباض پلاستیک را دارند و این یکی از راههای متمایز ساختن آنها از ترکهای طولانی مدت است اگر ترکها فرم قرار گیری میلگرد فوقانی دال را دنبال کنند ممکن است ابتدا تشخیص آنها از دو حالت ترکهای نشست پلاستیک و یا ترکهای انقباض مشکل باشد اگر بتوان نشان داد که این ترکها از داخل دال عبور می کنند و از فرم قرار گیری فولاد تبعیت می کنند. بنابراین این ترکها ناشی از انقباض پلاستیک هستند که توسط فولاد جهت یابی می شوند.

### ۳-۶- ترکهای نشست پلاستیک

این ترکها در هنگامیکه شیره جمع شده بتن از بالا به یک مانعی مثل آرماتور و از پائین به مواد ته نشین و جامد بتن برخورد کند رخ خواهد داد ان ترکها در موقعیتهای زیر رخ خواهند داد.

(الف) ترکهای روی مهارهای کششی قالب یا روی آرماتورهای بالای مقطع هستند

(ب) در ستونها و دیوارهای باریک

(ج) در محل تغییر عمق یک مقطع



برای کاهش این ترکها می توان از بتن های حباب هوا برای کاهش آب بتن و کاهش عرق کردن آن استفاده نمود .

#### ۴-۶- ترکهای نشست تکیه گاهی

نشستهای متفاوت در پایه تکیه گاهها در حالیکه بتن ریخته شده هنوز مقاومت لازم را کسب نکرده است ، میتواند باعث تغییر شکل و ترکهای در بتن شود.

#### ۵-۶- ترکهای ناشی از مقید بودن قسمتی از سازه در برابر حرکتهای ناشی از تغییر درجه حرارت

واکنش سیمان با آب یک واکنش شیمیایی است که در آن گرما تولید میشود . اگر یک عضو بتنی به اندازه کافی بزرگ باشد و توسط قالب احاطه شده باشد ، نرخ رشد گرما در ۲۴ ساعت اول بتن ریزی احتمالاً از نرخ کاهش گرما در اتمسفر تجاوز میکند . و دمای بتن بالا میرود . بعد از چند این نرخ سقوط کرده و بتن خنک میشود . در نتیجه ، در تمامی عضو ها ، که در تماس با این خنک شدن هستند . اندرکنشی ایجاد می گردد . بطور فرضی اگر هیچ قیدی برای این اندر کنشها موجود نباشد ، ترکی ایجاد نخواهد شد . این قیود شامل قیود خارجی و قیود داخلی هستند . بعنوان مثال سطوح مرزی یک عضو بتنی سریعتر از مرکز آن خنک میشود و همچنین اختلاف درجه حرارت روزانه آن بیشتر از مرکز آن خواهد بود بنابراین کرنشهای حرارت متفاوتی در عرض مقطع ایجاد خواهد شد و در مقاطع ضخیم بتنی ترکها در روی سطح بتن گسترش خواهند داشت . استفاده از بتنهای سنگ آهک و مصالح سنگی گرانت نسبت به بتنهای با مصالح متراکم تر بدلیل پائین بودن ضریب انبساط حرارتی ، ترکهای کوچکتری را باعث میشوند . استفاده از میلگردهای با قطر کمتر و کاهش پوشش بتن در حد مجاز و استفاده از میلگرد آجدار باعث کاهش این ترکها خواهند شد .

#### ۶-۶- ترکهای ناشی از اضافه بار ، طراحی دست پائین ، عدم دقت کافی در ساخت

اضافه بار یا طراحی دست پائین بطور واضح تنشهای بیش از اندازه تحمل بتن ایجاد خواهند کرد در نتیجه ترکهای متناظر با هر یک رخ خواهد داد . همچنین عدم دقت کافی در ساخت (درزهای انبساط و تراکم و ..... ) و یا عدم توجه به جزئیات (طول پوشش آرماتورها ، محل قطع و خم ..... ) بطور مشابه میتواند باعث ایجاد ترکهای زیاد و ترک خوردگی و گسیختگی پیش از موعد گردد .

#### ۷-۶- ترکهای ناشی از خوردگی بتن و آرماتور

عوامل بسیار زیادی مطرح هستند که به صورت زیر می باشند .

۱- ترکهای ناشی از اثر سولفات روی سیمان در بتن

۲- ترکهای ناشی از زنگ زدگی آرماتور ناشی از اثر کلرید

۳- ترکهای ناشی از پوسیدگی میلگردها بدلیل پدیده کربو نا سیون در بتن

۴- ترکهای پوسیدگی میلگرد ناشی از قرار گرفتن در معرض رطوبت و اتمسفر

۵- ترکهای ناشی از واکنش قلیائی ها در سیمان با دسته مخصوصی از سنگدانه ها

۶-۸- ترکهای ناشی از ساخت، حمل و نصب قطعات پیش ساخته

وجود خطا در ساخت با ترکیب تنشها در حین حمل و نصب، یک از مهمترین دلایل ترک خوردگی در اعضای بتن پیش ساخته است.

## ۷- اجرای نامناسب نرده های پل

نرده های پل ها به طور معمول دارای پایه های فولادی جعبه ای شکل در فواصل معین می باشند که توسط صفحه ستون به بتن پیاده رو اتصال می یابند. در شکل زیر مشاهده می گردد که به دلیل عدم پیش بینی فاصله مناسب بین سطح بتن نهایی و صفحه ستون به منظور گروت ریزی و تنظیم آن، نصب پایه دچار مشکل شده و پیمانکار مجبور شده است از صفحات پوششی پرکننده برای تامین فاصله استفاده نماید. این موضوع باعث کاهش مقاومت پایه فولادی در هنگام ضربه وسایل نقلیه می گردد.

## آسیب پذیری لرزه ای پلها ی بتنی

مشکلات اجرایی اشاره شده به همراه طراحی نادرست میتواند باعث ایجاد آسیبهای زیر به پلها گردد..

۱- فرو ریزش دهانه های پل از تکیه گاهها

در زمان زلزله قابهای پل بصورت غیر هم فاز مرتعش شده و باعث کوبیده شدن قابها در درزها میشود اگر جابجایی قابها زیاد باشد دهانه های مجاور فرو خواهند ریخت.

۲- ضعف لرزه ای ستونهای پل

این ضعفها یا ناشی از مقاومت برشی کم یا ضعف دور گیری بتن و یا ناشی از وصله های پوششی نا کافی و در محل نامناسب

۳- ضعف لرزه ای دیوار پایه ها

ناشی از شکست برشی که به صورت کشش قطری یا فشار قطری یا لغزش در امتداد درزهای اجرایی و یا شکست وصله ها و کمانش آرماتورهای فشاری و یا ناپایداری دیوار لاغرمی باشد



۴- ضعف های ناشی از محل اتصالات تیر به ستون

ناشی از ناکافی بودن ظرفیت برشی محل اتصال و محل قطع نامناسب آرماتورهای تیر می باشند

۵- ضعف لرزه ای کوله ها

برای زلزله های مهم در جهت طولی پل غالباً " کلیه نیروهای جانبی به کوله ها منتقل می شود ( میزان و شدت نیروهای جانبی منتقل شده به درجه اتصال بین انتهای پل با کوله و روش پر کردن پشت آن بستگی دارد ) . مهمترین علل آسیب دیدن کوله ها در هنگام زلزله عبارتند از :

الف ) جابجایی بیش از حد روسازه در راستاهای طولی و عرضی و تصادم با دیوار محافظ عرشه

ب ) اثرات خاک مثل نشست یا روانگرایی یا اضافه رانش خاک که باعث افزایش نیروهای وارده بر سازه می شود .

۶- ضعف های لرزه ای شالوده ها

الف ) فقدان یک سفره آرماتور در قسمت بالایی شالوده

ب ) فقدان آرماتور برشی پی

ج ) فقدان آرماتور برشی اضافی در اتصال ستون به پی و داخل اتصال

د ) خم آرماتور طولی اصلی ستون به سمت بیرون به جای داخل در پایه که مسائل مقاومت برشی را در اتصال تشدید می کند .

۷- آسیب پذیری ناشی از گسترش جانبی در اثر روانگرایی خاک

الف ) جابجایی جانبی کوله و پایه ها ناشی از گسترش جانبی خاک که می تواند منجر به ضربه زدن و فرو افتادن روسازه در دهانه های ساده گردد .

ب) چرخش های متفاوت در پایه های مجاور که می تواند منجر به فرو افتادگی دهانه ها گردد .