

دفترچه محاسبات پل بتنی

«پشتنیده»

استفاده از این فایل کاملاً رایگان است.

فهرست

۳	..... فصل اول : مقدمه	
۳	..... ضعف بتن در کشش	✓
۳	..... تئوری پیش تنیدگی	✓
۴	..... انواع روش های پیش تنیدگی	✓
۶	..... مشخصات کلی پروژه	•
۷	..... مقطع تیر استفاده شده	✓
۷	..... مشخصات هندسی تیر در حالات مختلف	✓
۸	..... فصل دوم : بار گذاری	
۸	..... بار گذاری شاهتیر	•
۸	..... مرده	✓
۸	..... تیر داخلی	○
۸	..... تیر خارجی	○
۹	..... زنده	✓
۱۱	..... نتایج و خروجی ها	○
۱۳	..... خروجی نهایی	○
۱۳	..... ترکیبات بار گذاری	✓
۱۴	..... بار گذاری دال	•
۱۴	..... بارهای همیشگی	✓
۱۴	..... بارهای گذرا	✓
۱۶	..... نتایج نهایی	✓
۱۶	..... ترکیبات بار	✓
۱۷	..... بار گذاری ستون	•
۱۷	..... مقطع عرضی پایه های میانی	✓
۱۷	..... مرده	✓
۱۷	..... زنده	✓
۱۸	..... نتایج نهایی	✓
۱۸	..... ترکیبات بار	✓
۱۸	..... بارهای زلزله	✓
۲۰	..... بار گذاری پایه کناری (کوله)	•

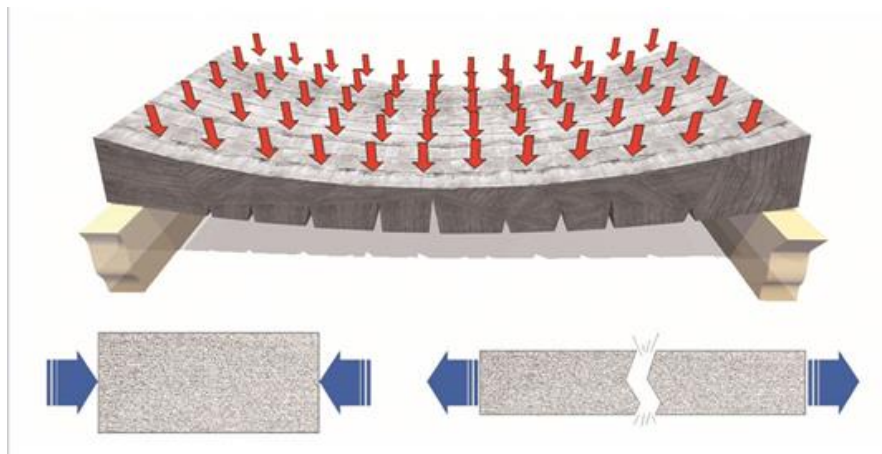
۲۰	مقطع عرضی پایه کناری	✓
۲۰	بارهای مرده و زنده-ثقلی	✓
۲۰	عرشه	○
۲۰	دیوار کوله	○
۲۱	بارهای زلزله-جانبی	✓
۲۱	زلزله عرشه	○
۲۱	زلزله دیوار کوله	○
۲۱	بارهای ناشی از خاک	✓
۲۱	فشار جانبی خاک (استاتیکی)	○
۲۱	فشار جانبی خاک (دینامیکی)	○
۲۳	فصل سوم : طراحی دال	
۲۳	طراحی میلگرد خمشی دال	✓
۲۳	سفره پایین (مثبت)	○
۲۴	سفره بالا (منفی)	○
۲۶	طراحی میلگرد توزیع دال	✓
۲۶	طراحی میلگرد حرارتی دال	✓
۲۷	فصل چهارم : طراحی شاهتیر	
۲۷	نیروی پیش تنیدگی و کابل مورد نیاز به روش پس کشیده	✓
۲۸	آرایش کابل ها	✓
۲۹	محاسبه افت های پیش تنیدگی	✓
۳۲	محاسبه نیرو های پیش تنیدگی	✓
۳۲	کنترل تنش ها	✓
۳۲	کابل ها	○
۳۲	تیر	○
۳۴	فصل پنجم : طراحی ستون	
۳۴	مراحل تحلیل نرم افزاری	✓
۳۷	طراحی آرماتور ستون	✓
۳۸	فصل ششم : طراحی پایه کناری(کوله)	
۳۸	مراحل تحلیل نرم افزاری	✓
۴۰	طراحی آرماتور کوله	✓

فصل اول : مقدمه

گرچه بتن در گذشته مدت های مدیدی به عنوان مصالح ساختمانی به کار می رفت، اما به هیچ عنوان مصالح سازه ای مناسبی محسوب نشده و قابل رقابت با فولاد، سنگ و چوب نبود. چرا که بر خلاف مقاومت فشاری بالا، در برابر تنش های کششی، بسیار ضعیف عمل می کند. به همین علت از بتن صرفاً به عنوان مصالح بنایی استفاده می شد.

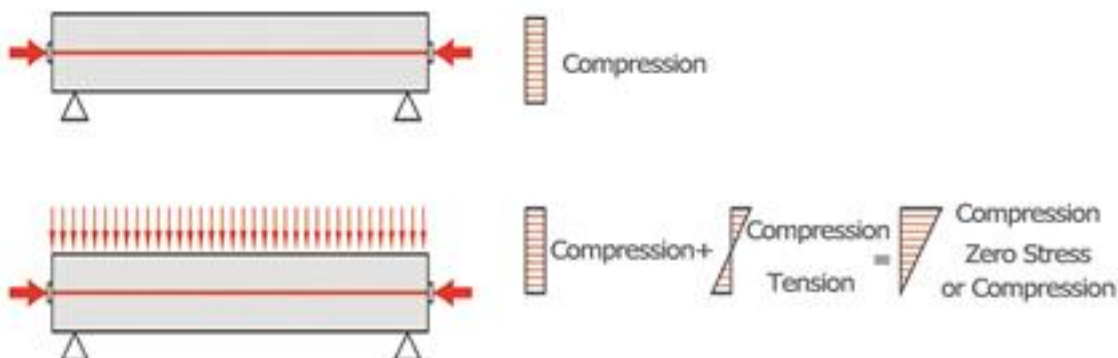
✓ ضعف بتن در کشش

بعدها مهندسين برای غلبه بر این ضعف، ترکیبی از فولاد مسلح کننده و بتن که امکان مقاومت در برابر نیروهای کششی و فشاری را ایجاد می نماید، به کار گرفتند. در آغاز، برای مسلح کردن بتن از آرماتور استفاده شد (بتن آرمه). ولی در ادامه، استفاده از تکنولوژی پیش تنیدگی، بتن را به یکی از کاراترین مصالح سازه ای تبدیل نمود. ایده پیش تنیدگی در دهه اول قرن بیستم مطرح گردید و تحقیقات مختلفی بین سال های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰ روی آن انجام گرفت. این روش عملاً از سال ۱۹۵۵ تا کنون در زمینه های مختلف سازه ای مورد استفاده بوده است.



✓ تئوری پیش تنیدگی

پیش تنیده کردن عبارت است از اعمال تنش فشاری دائمی، قبل از اعمال بارهای بهره برداری، به منظور کاهش و یا از بین بردن تنش های کششی. قرار دادن کابل کشیده شده فولادی و مهار کردن آن در دو طرف عضو، باعث ایجاد تنش فشاری دائمی در



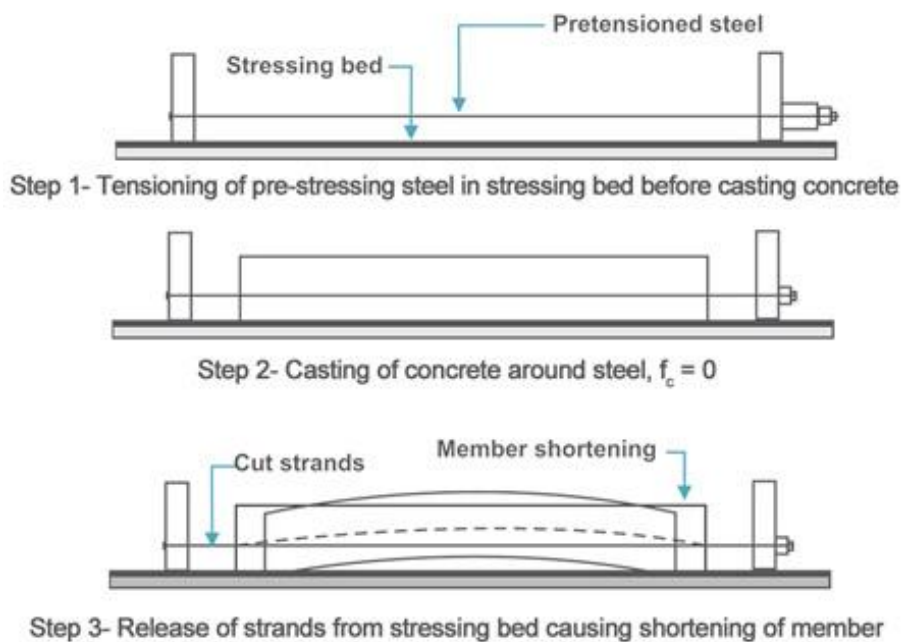
مقطع بتنی خواهد شد. در طول اعضای خمشی، هم تار تحتانی در کشش قرار می گیرد (وسط دهانه) و هم تار فوقانی (روی تکیه گاه). در مقاطع پیش تنیده، با جابجا کردن موقعیت کابل، مقدار و توزیع تنش فشاری قابل کنترل است.

✓ انواع روش های پیش تنیدگی

✓ پیش تنیدگی به روش پیش کشیده

در روش پیش کشیده ابتدا کابل ها روی بسترهای پیش ساخته در حد فاصل دو انتها کشیده می شوند. بعد از بتن ریزی و کسب مقاومت لازم، با بریدن آنها، نیروی کششی موجود به صورت فشاری به بتن منتقل می گردد.

این روش در کارگاه ها یا کارخانه های تولید قطعات بتنی مورد استفاده است و معمولاً محصولات تولید شده به صورت پیش ساخته می باشند.



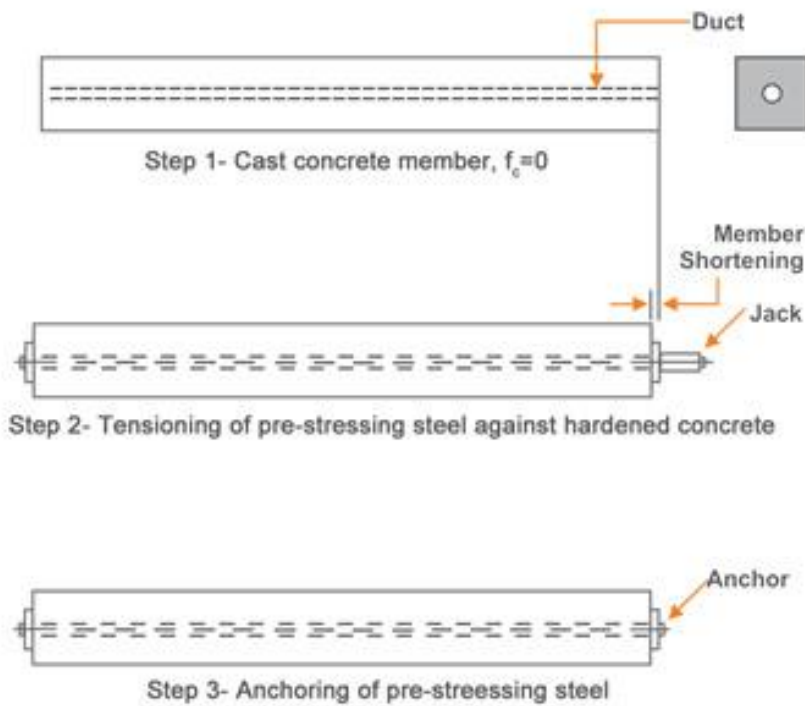
استفاده از این فایل کاملاً رایگان است.

✓ پیش تنیدگی به روش پس کشیده

در روش پس کشیده کابل ها (که داخل غلاف های محافظی هستند) در قطعه مورد نظر قرار می گیرند. سپس عملیات بتن ریزی انجام شده و پس از این که بتن به مقاومت فشاری مورد نیاز رسید، کشیده و مهار می شوند.

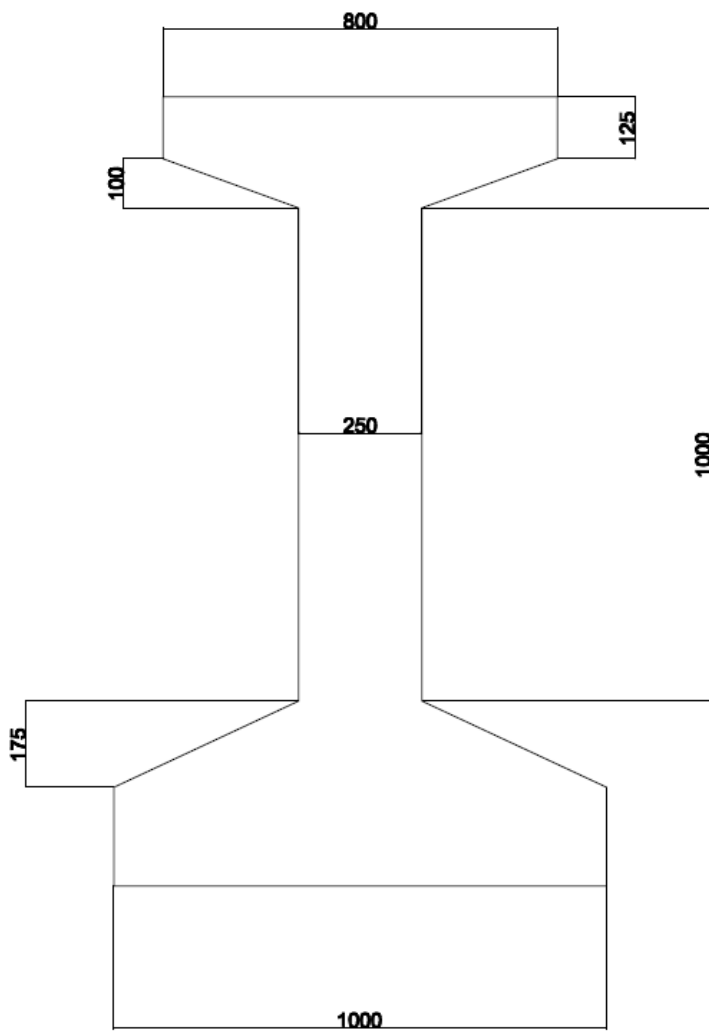
از این روش هم در ساخت قطعات پیش ساخته استفاده می شود و هم امکان اجرای آن به صورت درجا و در محل وجود دارد.

کابل ها داخل قطعات پس کشیده به دو صورت چسبیده به غلاف و یا نجسبیده قرار می گیرند.



• مشخصات کلی پروژه

۱۸۶۰	تنش نهایی کابل های پیش تنیده (مگاپاسکال)	۴۵	مقاومت مشخصه بتن تیر (مگاپاسکال)	راه	نوع پل
۱۹۷۰۰۰	مدول الاستیسیته کابل های پیش تنیده (مگاپاسکال)	۳۳,۷۵	مقاومت مشخصه بتن تیر در زمان انتقال (مگاپاسکال)	۳۰	دهانه پل (متر)
۹۸,۷	مساحت هر رشته کابل های پیش تنیده (میلیمتر مربع) LR۰,۵ + اینچی	۳۲	مقاومت مشخصه بتن دال (مگاپاسکال)	۳	تعداد خطوط
		۲۲۵	ضخامت دال (میلیمتر)	۱۱,۶	عرض کل (متر)
		۱۰۰	ضخامت آسفالت (میلیمتر)	۵	تعداد تیرها
		۴۰۰	عرض موثر جانپناه (نرده) (میلیمتر)	۲,۲۵	فاصله تیرها (متر)
		۴۵۰	وزن واحد طول جانپناه ($\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر}}$)	۱,۳	عرض کنسول (متر)
		۱,۵	ارتفاع سر ستون (متر)	۸	ارتفاع پایه (متر)
		۱,۸	عرض سر ستون (متر)	۱,۵	قطر ستون (متر)



✓ مقطع تیر استفاده شده

✓ مشخصات هندسی تیر در حالات مختلف

	مقطع غیر مرکب	مقطع مرکب (n=1.185)
Height (mm)	1,600	1,825
Area (mm^2)	711,875	1,153,010
I_x (mm^4)	220,198,370,529	502,053,603,531
Y_t (mm)	901	738
Y_b (mm)	699	1,087
S_t (mm^3)	244,279,607	679,829,171
S_b (mm^3)	315,208,241	462,083,241

فصل دوم : بار گذاری

• بار گذاری شاهتیر

✓ مرده

○ تیر داخلی

ابتدا به محاسبه عرض بال موثر تیر داخلی می پردازیم:

$$b_{eI} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{2.25 + 2.25}{2} = 2.25 \text{ m}$$

$$\text{بار ناشی از دال} \quad q_1 = 2.25 \times 0.225 \times 24 = 12.15 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$\text{بار ناشی از تیر} \quad q_2 = 711875 \times 10^{-6} \times 24 = 17.085 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$\text{بار ناشی از جانپناه} \quad q_3 = \frac{4.5 \times 2}{5} = 1.8 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$\text{بار ناشی از آسفالت} \quad q_{DW} = 2.25 \times 0.1 \times 22 = 4.95 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

نتایج لنگر و برش ناشی از بار های مرده تیر داخلی

نوع بار	لنگر (KN.m)	برش (KN)
دال	۱۳۶۶,۸۷۵	۱۸۲,۲۵
تیر	۱۹۲۲,۰۶۲۵	۲۵۶,۲۷۵
جانپناه	۲۰۲,۵	۲۷
آسفالت	۵۵۶,۸۷۵	۷۴,۲۵

○ تیر خارجی

ابتدا به محاسبه عرض بال موثر تیر خارجی می پردازیم:

$$b_{eE} = \frac{b_{eI}}{2} + \text{عرض کنسول} = \frac{2.25}{2} + 1.3 = 2.425 \text{ m}$$

بار ناشی از دال $q_1 = 2.425 \times 0.225 \times 24 = 13.095 \frac{KN}{m}$

بار ناشی از تیر $q_2 = 711875 \times 10^{-6} \times 24 = 17.085 \frac{KN}{m}$

بار ناشی از جانپناه $q_3 = \frac{4.5 \times 2}{5} = 1.8 \frac{KN}{m}$

بار ناشی از آسفالت $q_{DW} = (2.425 - 0.4) \times 0.1 \times 22 = 4.455 \frac{KN}{m}$

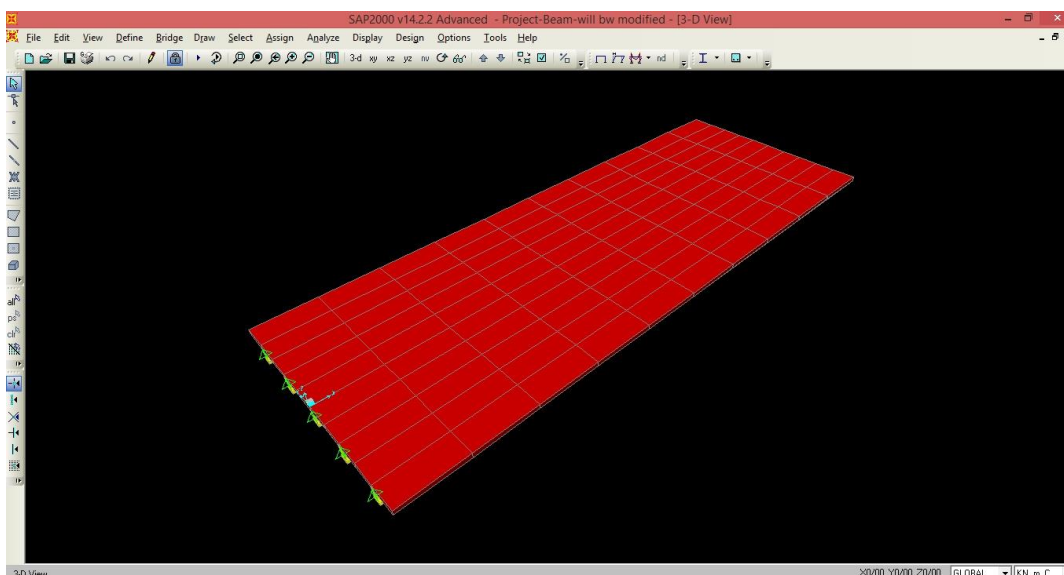
نتایج لنگر و برش ناشی از بارهای مرده تیر خارجی

نوع بار	لنگر (KN.m)	برش (KN)
دال	۱۴۷۳,۱۸۷۵	۱۹۶,۴۲۵
تیر	۱۹۲۲,۰۶۲۵	۲۵۶,۲۷۵
جانپناه	۲۰۲,۵	۲۷
آسفالت	۵۰۱,۱۸۷۵	۶۶,۶۷۵

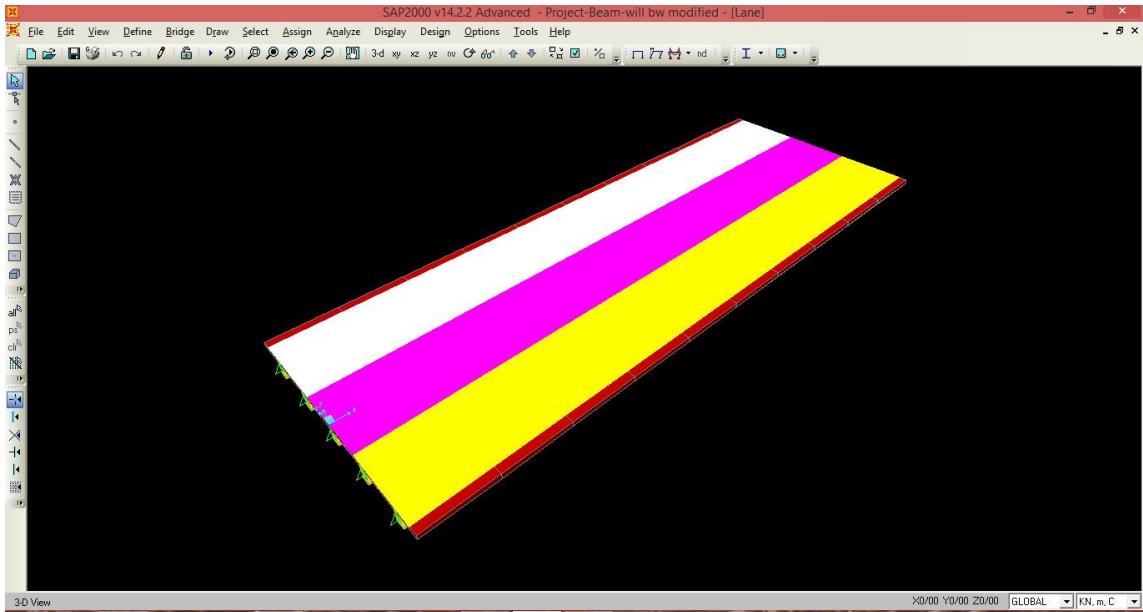
✓ زنده

در این پروژه با استفاده از بارگذاری عادی نشریه ۱۳۹ و جزئیات پل، مدلسازی در نرم افزار SAP2000 v14.2.2 صورت گرفت و نتایج زیر بدست آمد.

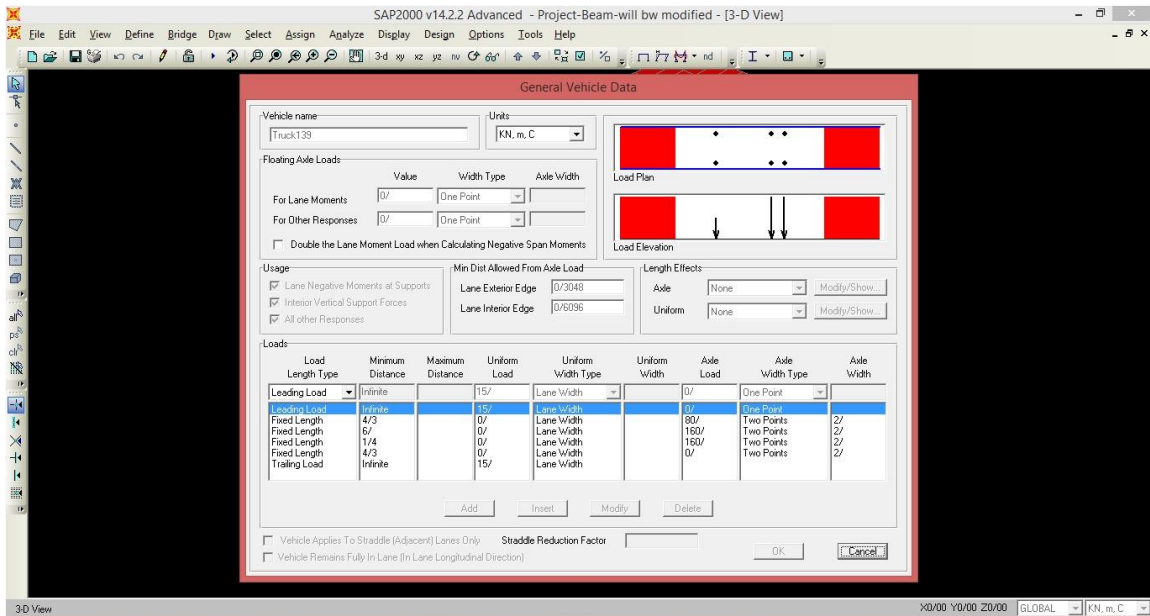
مراحل مدلسازی به طور خلاصه:



تعريف مسير



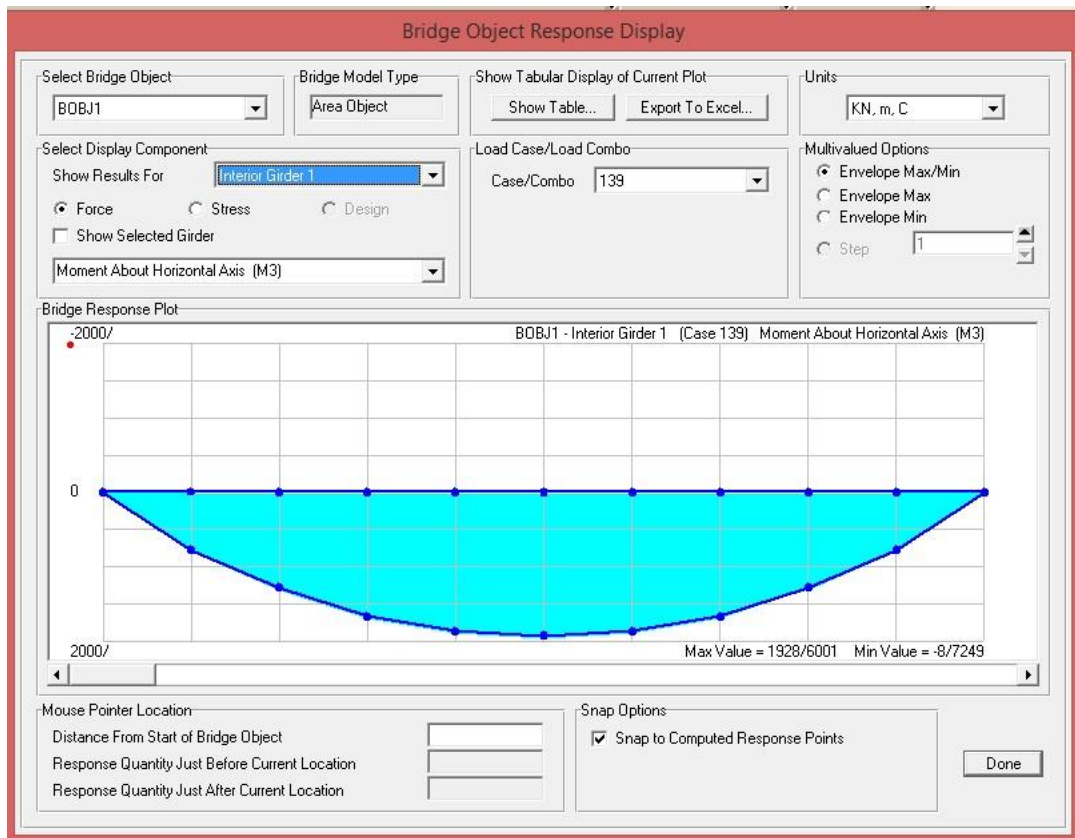
تعريف وسيله نقليه



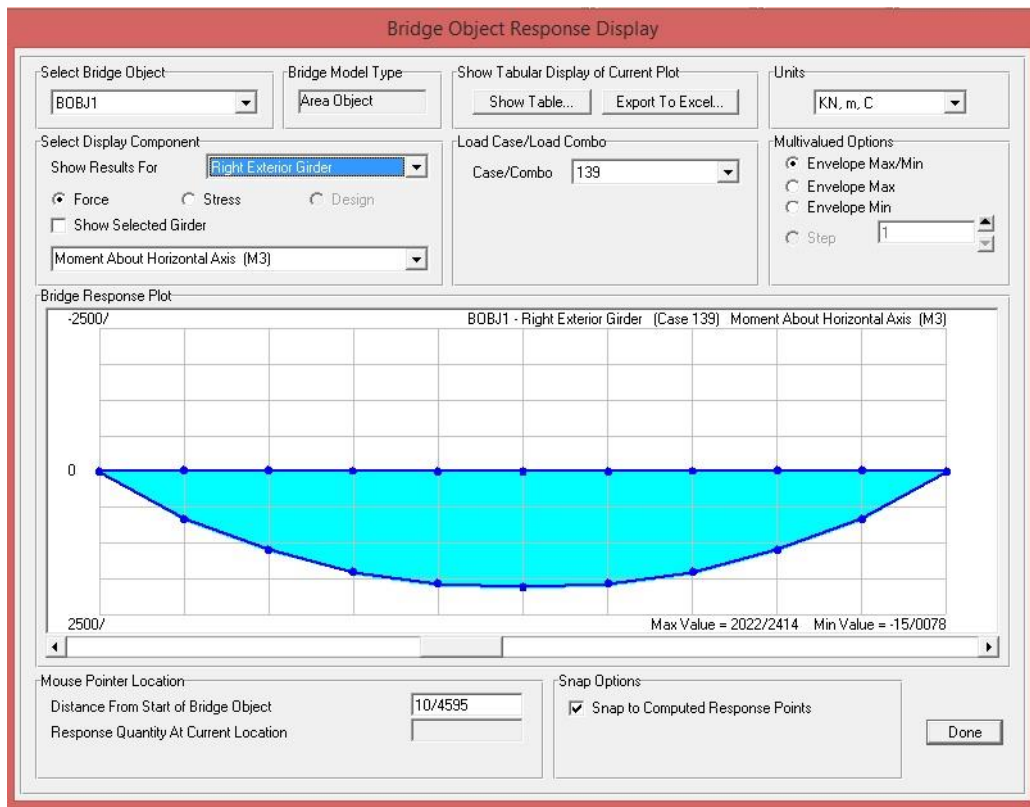
استفاده از این فایل کاملا رایگان است.

نتایج و خروجی ها

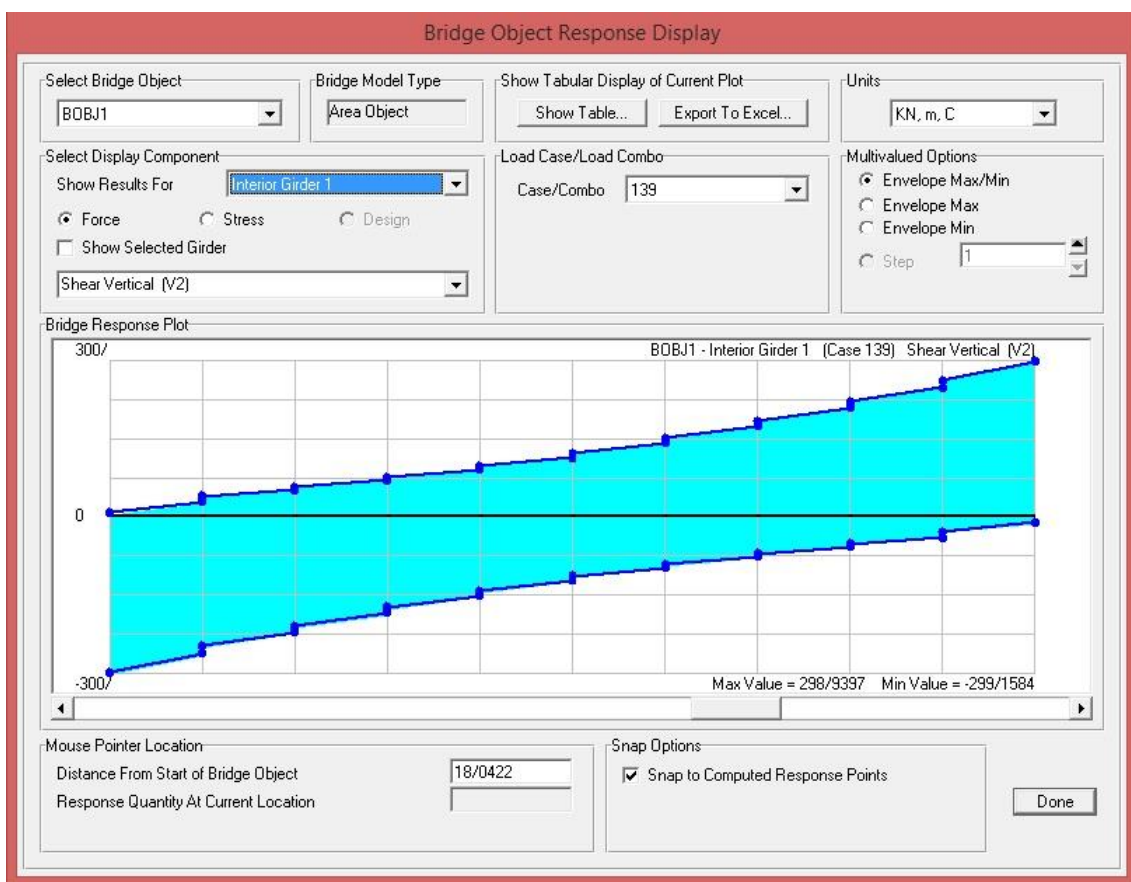
لنگر تیر داخلی



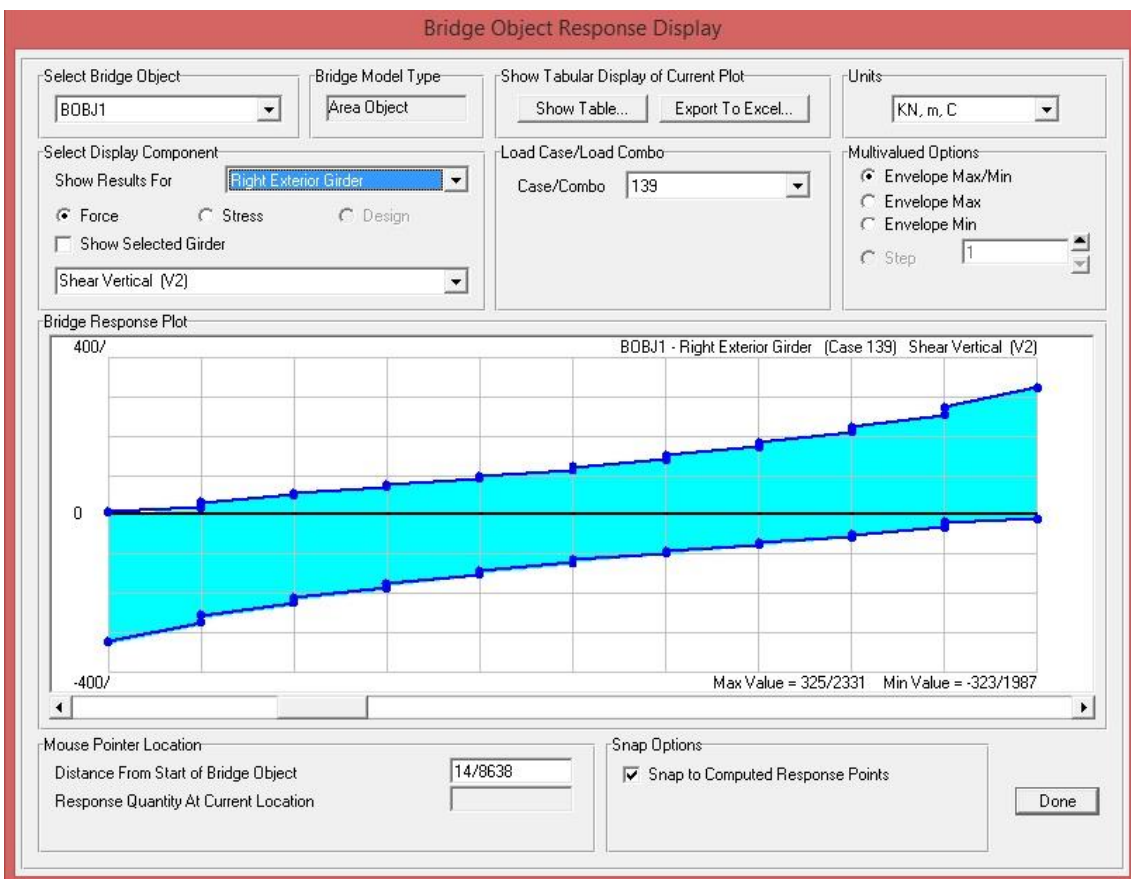
لنگر تیر خارجی



برش تیر داخلی



برش تیر خارجی



○ خروجی نهایی

نتایج بارهای زنده		
	لنگر (Kn.m)	برش (Kn)
تیر داخلی	۱۹۲۸,۶	۲۹۹,۲
تیر خارجی	۲۰۲۲,۲۴	۳۲۵

✓ ترکیبات بارگذاری

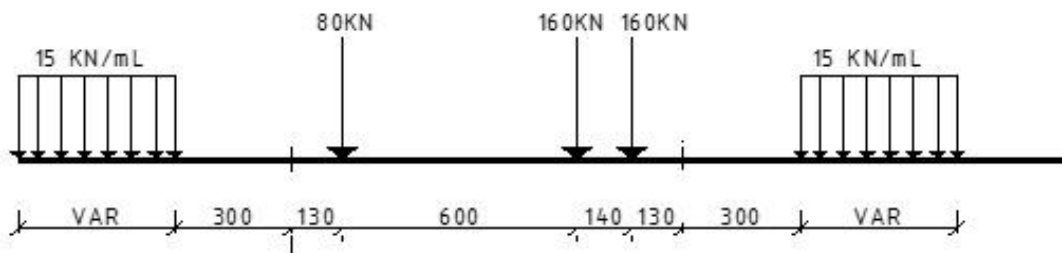
در این پروژه سعی شده است از ترکیبات حالت حدی آیین نامه AASHTO استفاده شود.

$$F_u = 1.25F_{DC} + 1.5F_{DW} + 1.75F_{IM+LL}$$

	لنگر (Kn.m)	برش (Kn)
تیر داخلی	۸۵۷۴,۶	۱۲۱۶,۹
تیر خارجی	۸۷۸۷,۹	۱۲۶۸,۴

نتیجه بر آن شد که تیر خارجی رو مورد تحلیل و طراحی قرار دهیم.

تذکر: بارگذاری عادی نشریه ۱۳۹ از قرار زیر است.



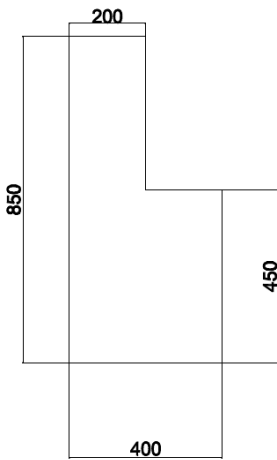
• بارگذاری دال

✓ بارهای همیشگی

بار ناشی از دال برای عرض واحد $q_1 = 1 \times 0.225 \times 24 = 5.4 \frac{KN}{m}$

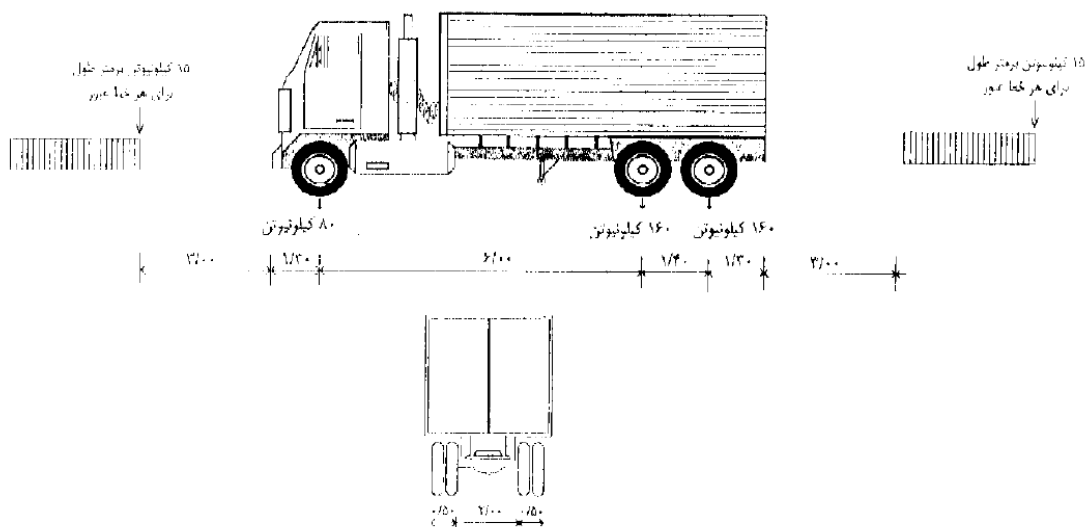
بار ناشی از جانپناه $q_2 = \frac{4.5 \times 2}{5} = 1.8 \frac{KN}{m}$

بار ناشی از آسفالت برای عرض واحد $q_{DW} = 1 \times 0.1 \times 22 = 2.2 \frac{KN}{m}$

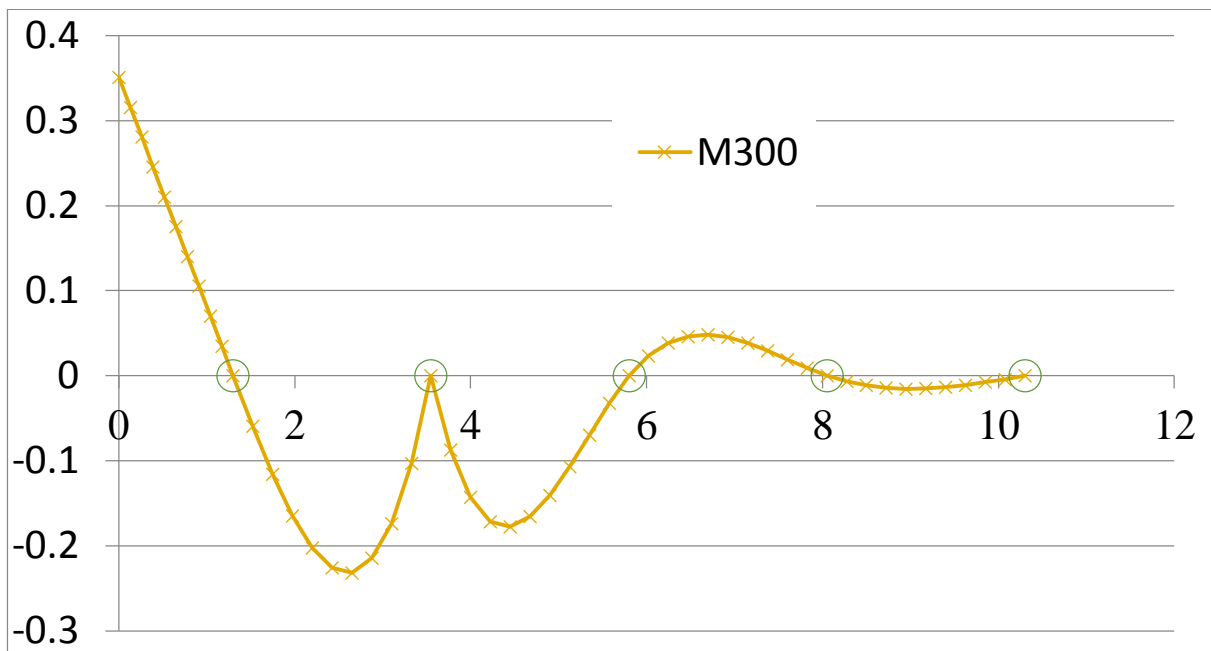
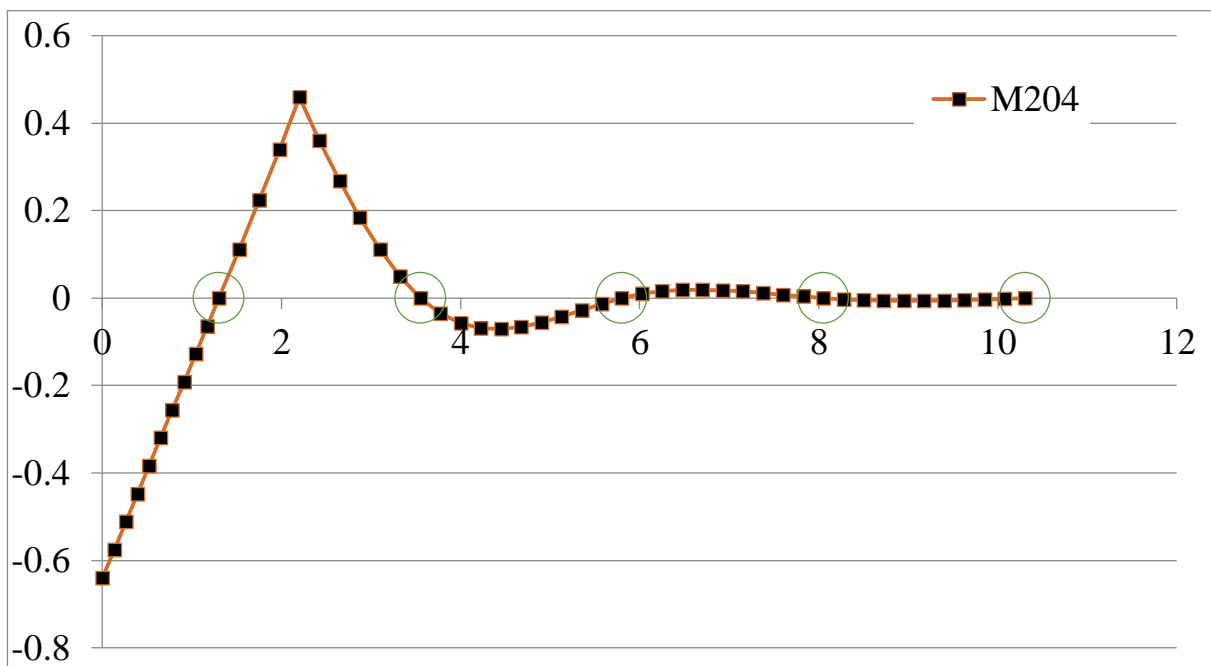


محل اثر بار جان پناه ۱۶۹ میلیمتر از دیواره انتهایی جانپناه می باشد.

✓ بارهای گذرا



با کمک خط تاثیر لنگر در وسط دهانه و تکیه گاه (مقاطع ۲۰۴ و ۳۰۰) میزان لنگر ناشی از بارهای همیشگی و گذرا را بدست می آوریم.



✓ نتایج نهایی

نوع بار		لنگر مثبت (M204)	لنگر منفی (M300)
$\frac{Kn.m}{m}$ دال	بخش پیوسته	۲,۱۱۰۴	-۲,۹۲۷
	بخش کنسول	-۲,۲۴۴	۱,۲۳۱
$\frac{Kn.m}{m}$ جانپناه		-۰,۹۳۶	۰,۵۳۷
$\frac{Kn.m}{m}$ آسفالت		۰,۴۴۴	-۰,۹۶۰
$(Kn.m)$ بار زنده		۴۲,۰۷۶	-۴۱,۱۱
(m) عرض موثر بار زنده		۱,۸۳۷۵	۱,۷۸۲۵
$\frac{Kn.m}{m}$ بار زنده		۲۲,۸۹	-۲۳,۰۶

عرض موثر بار زنده برای دال درجا :

• لنگر مثبت

$$E=660+0.55S=660+0.55 \times 2250=1837.5 \text{ mm} = 1.8375 \text{ m}$$

• لنگر منفی

$$E=1220+0.25S=1220+0.25 \times 2250=1782.5 \text{ mm} = 1.7825 \text{ m}$$

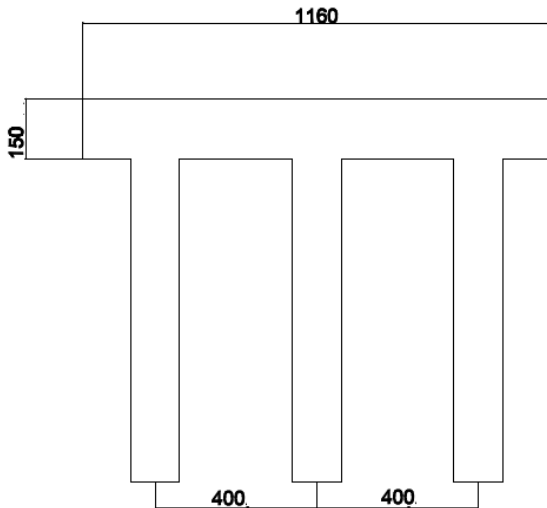
✓ ترکیبات بار

در این پروژه سعی شده است از ترکیبات حالت حدی آیین نامه AASHTO استفاده شود.

$$F_u = 1.25F_{DC} + 1.5F_{Dw} + 1.75F_{IM+LL}$$

نوع بار	لنگر مثبت (M204) $\left(\frac{KN.m}{m}\right)$	لنگر منفی (M300) $\left(\frac{KN.m}{m}\right)$
M_u	۴۰,۴۹۸	-۴۳,۸۶

• بارگذاری ستون
✓ مقطع عرضی پایه های میانی



✓ مرده

بار ناشی از دال $P = 11.6 \times 0.225 \times 24 \times \frac{30}{3} = 626.4 \text{ KN}$

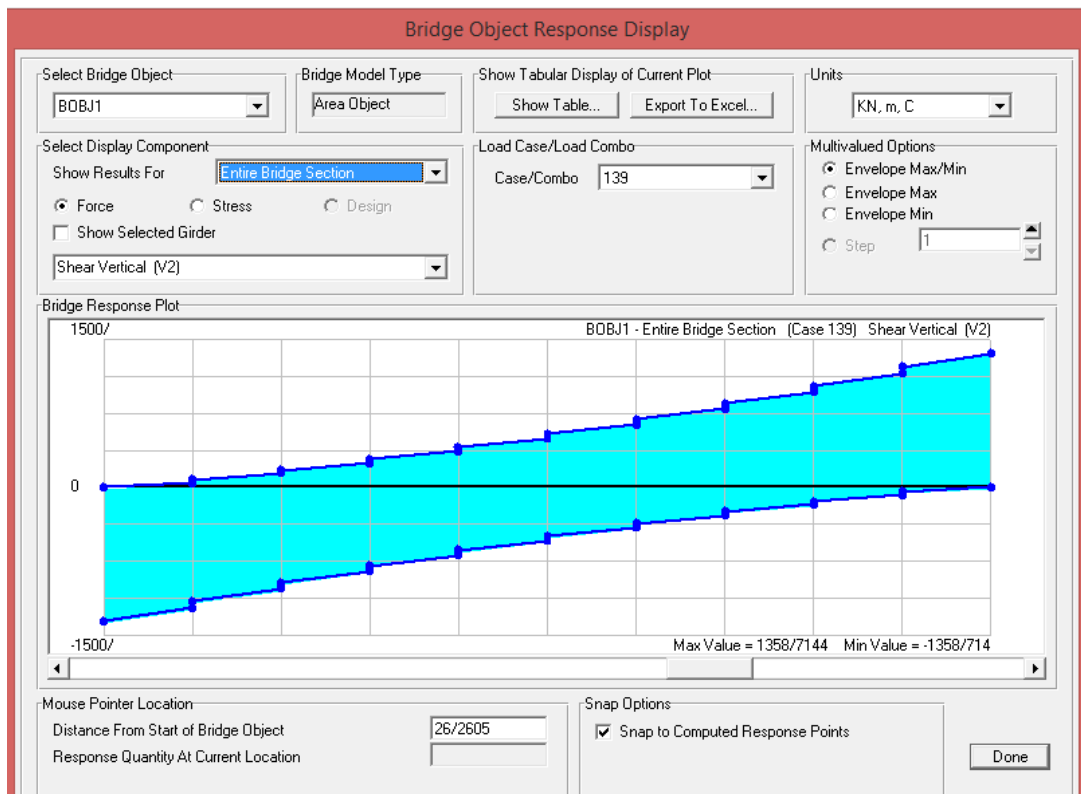
بار ناشی از تیر $q_2 = 711875 \times 10^{-6} \times 24 \times 5 \times \frac{30}{3} = 237.6 \text{ KN}$

بار ناشی از جانپناه $q_3 = \frac{4.5 \times 2 \times 30}{3} = 90 \text{ KN}$

بار ناشی از آسفالت $q_{DW} = (11.6 - 2 * 0.4) \times 0.1 \times 22 \times \frac{30}{3} = 854.25 \text{ KN}$

✓ زنده

برش کل وارده بر پل را در حالت قبل از نرم افزار استخراج کرده و به عنوان بار زنده استفاده میکنیم.



✓ نتایج نهایی

مجموع بار زنده (KN)	مجموع بار مرده (KN)
۱۳۵۸,۷	۱۸۰۸,۲۵

✓ ترکیبات بار

برای محاسبه وزن ستون جهت محاسبه نیروی برش پایه از دو سوم بار های مرده و زنده بهره میگیریم.

$$W = \frac{2}{3}(D + L) = \frac{2}{3}(1808.25 + 1358.7) = 2111.3 \text{ KN}$$

برای طراحی ستون در حالت حدی و لرزه ای از دو ترکیب بار زیر بهره گرفته شد.

1. D+EQ
2. 1.25DL+1.75LL

✓ بارهای زلزله

در این قسمت ابتدا ضرایب زلزله را محاسبه می نماییم.

$$C = \frac{ABI}{R}$$

شتاب مبنای طرح ۰,۲۵ لحاظ شده است. (A=0.25)

با توجه به تیپ خاک || مقدار ضریب بازتاب پیل را ۲,۵ در نظر میگیریم. (B=2.5)

ضریب اهمیت با توجه نوع سازه ۱,۲ در نظر گرفته می شود. (I=1.2)

ستون در جهت طولی رفتاری تک ستونه دارد و در جهت عرضی رفتاری چند ستونه ، لذا (R_l = 3) و (R_t = 5)

$$C_l = \frac{0.25 \times 2.5 \times 1.2}{3} = 0.25$$

$$C_t = \frac{0.25 \times 2.5 \times 1.2}{5} = 0.15$$

$$V_l = 0.25 \times 2111.3 = 527.825 \text{ KN} \text{ نیروی برشی طولی}$$

$$V_t = 0.15 \times 2111.3 = 316.695 \text{ KN} \text{ نیروی برشی عرضی}$$

۱. بارهای وارد بر تیر
✓ بارهای ثقلی

$$D = \frac{1808.25}{5} = 361.65 \text{ KN}$$

$$L = \frac{1358.7}{5} = 271.74 \text{ KN}$$

✓ بارهای جانبی

$$V_l = \frac{527.825}{5} = 105.565 \text{ KN}$$

$$V_t = \frac{316.695}{5} = 63.34 \text{ KN}$$

۲. بارهای جانبی وارد بر سرستون

$$W = 1.8 \times 1.5 \times 24 = 64.8 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_l = 0.25 \times 64.8 = 16.2 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_t = 0.15 \times 64.8 = 9.72 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

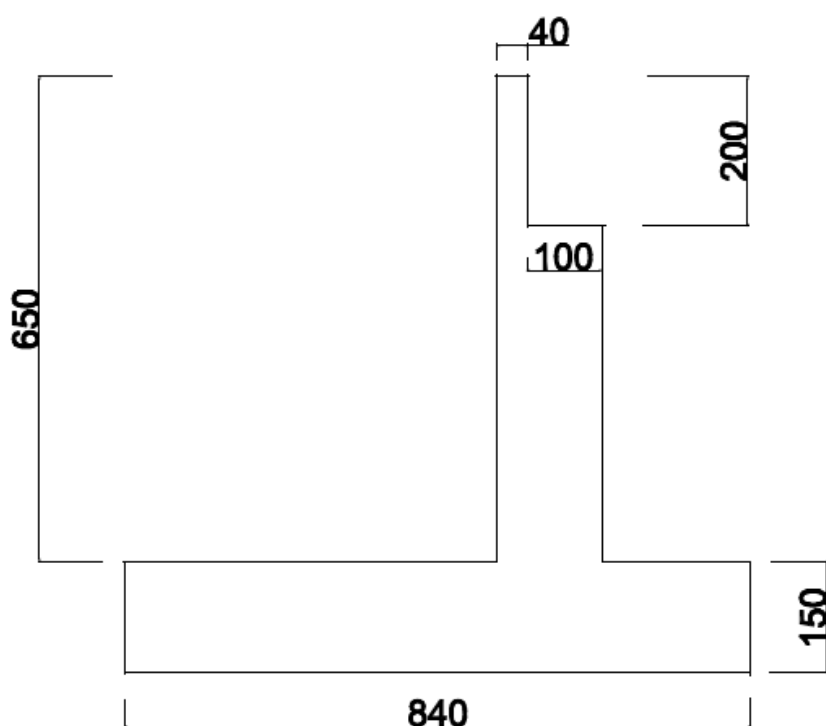
۳. بارهای جانبی وارد بر ستون

$$W = \pi \times \frac{1.5^2}{4} \times 24 = 42.4 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_l = 0.25 \times 42.4 = 10.6 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_t = 0.15 \times 42.4 = 6.36 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

• بارگذاری پایه کناری (کوله)



✓ مقطع عرضی پایه کناری

✓ بارهای مرده و زنده-ثقلی

○ عرشه

$$D = \frac{1808.25}{11.6} = 155.9 \frac{KN}{m}$$

بارهای مرده وارد بر کوله

$$L = \frac{1358.7}{11.6} = 113.13 \frac{KN}{m}$$

بارهای زنده وارد بر کوله

$$W = \frac{2}{3}(D + L) = \frac{2}{3}(155.9 + 113.13) = 179.35 KN$$

○ دیوار کوله

$$D = 1.4 \times 1 \times 24 = 33.6 \frac{KN}{m}$$

✓ بارهای زلزله-جانبی

در این قسمت ابتدا ضرایب زلزله را در جهت ضعیف کوله محاسبه می نمایم.

$$C = \frac{ABI}{R}$$

شتاب مبنای طرح ۰,۲۵ لحاظ شده است. (A=0.25)

با توجه به تیپ خاک || مقدار ضریب بازتاب پل را ۲,۵ در نظر میگیریم. (B=2.5)

ضریب اهمیت با توجه نوع سازه ۱,۲ در نظر گرفته می شود. (I=1.2)

از آنجایی که کوله در جهت ضعیف (طولی) قرار است تحلیل شود لذا رفتار کوله رفتاری دیواری دارد لذا ضریب رفتار ۲ لحاظ می شود. (R=2)

$$C_l = \frac{0.25 \times 2.5 \times 1.2}{2} = 0.375$$

○ زلزله عرشه

$$F_{l-Deck} = 0.375 \times 179.35 = 67.25 \text{ KN}$$

○ زلزله دیوار کوله

$$q_{l-Wall} = 0.375 \times 33.6 = 12.6 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

این بار به صورت یک بار گسترده یکنواخت در سرتاسر دیوار اعمال می شود.

✓ بارهای ناشی از خاک

○ فشار جانبی خاک (استاتیکی)

$$q_s = K_a \times \gamma \times H$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 0.33$$

$$q_s = 0.33 \times 19 \times 8 \times 1 = 50.16 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

○ فشار جانبی خاک (دینامیکی)

$$q_s = 0.8 \times (K_{ae} - K_a) \times \gamma \times H \text{ در بالای دیوار}$$

$$q_s = 0.2 \times (K_{ae} - K_a) \times \gamma \times H \text{ در پایین دیوار}$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi - \beta - \theta)}{\psi \cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta)}$$

$$\psi = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2$$

$$\theta = \text{Arctan}\left(\frac{K_h}{1 - K_v}\right)$$

ضریب شتاب افقی زلزله $K_h = 0.5A = 0.5 \times 0.25 = 0.125$

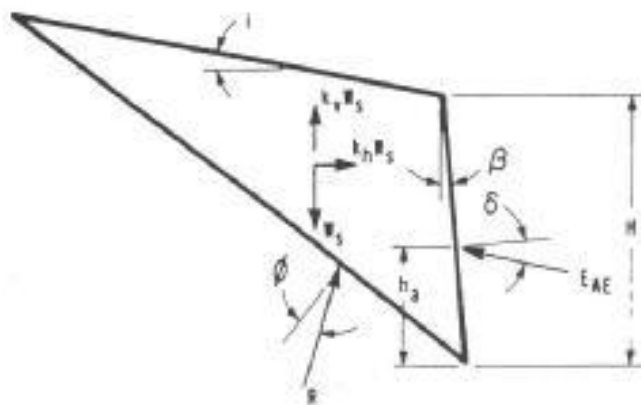
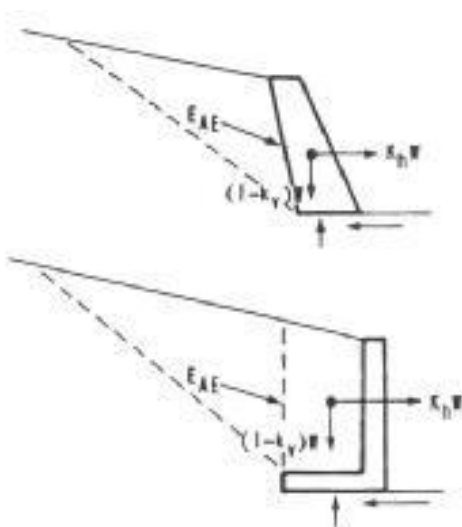
ضریب شتاب افقی زلزله $K_v = 0$

فرضیات			
φ	30	δ	29
β	0	i	0
θ	7.12		

نتیجه	
K_{ae}	0.39

در بالای دیوار $q_s = 0.8 \times (0.39 - 0.33) \times 19 \times 8 = 7.296 \frac{KN}{m}$

در پایین دیوار $q_s = 0.2 \times (0.39 - 0.33) \times 19 \times 8 = 1.824 \frac{KN}{m}$



فصل سوم : طراحی دال

✓ طراحی میلگرد خمشی دال

○ سفره پایین (مثبت)

برای طراحی میلگرد خمشی مثبت دال نیاز به لنگر طراحی داریم که طبق روابط زیر داریم:

$$M_{\text{طراحی}} = \text{Max}(M_{\text{min}}, M_u)$$

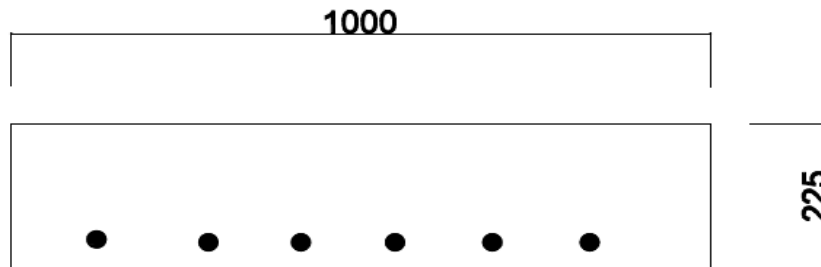
$$M_u = 40.498 \left(\frac{\text{KN.m}}{\text{m}}\right) \leftarrow \text{از فصل ۲ - بارگذاری دال}$$

$$M_{\text{min}} = 1.33M_{\text{cr}}$$

$$M_{\text{cr}} = \gamma_1 \gamma_3 S_c f_r = 1.6 \times 0.75 \times \frac{1000 \times 225^2}{6} \times 0.97 \sqrt{32} = 55.56 \left(\frac{\text{KN.m}}{\text{m}}\right)$$

$$M_{\text{min}} = 1.33 \times 55.56 = 73.9 \left(\frac{\text{KN.m}}{\text{m}}\right)$$

$$M_{\text{طراحی}} = \text{Max}(73.9, 40.498) = 73.9 \left(\frac{\text{KN.m}}{\text{m}}\right)$$



با فرض استفاده از میلگرد به قطر ۲۰ داریم:

$$d_e = 225 - 25(\text{cover}) - \frac{20}{2} = 190 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_{\text{طراحی}}}{\varphi f_y \left(d_e - \frac{a}{2}\right)} \approx \frac{M_{\text{طراحی}}}{\varphi f_y (0.9 d_e)} = \frac{73.9 \times 10^6}{0.9 \times 400 (0.9 \times 190)} = 1200.45 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\varphi 20) = 314.15 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{1000}{1200.45} \times 314.5 = 261.69 \text{ mm} \quad \text{محافظة کارانه} \quad S=250 \text{ mm}$$

$$A_{s(\text{new})} = \frac{1000}{250} \times 314.5 = 1256.6 \text{ mm}^2$$

الزامات فاصله میلگرد ها :

$$S \geq \text{Max}(1.5\phi, 37.5 \text{ mm}) \quad o.k$$

$$S \leq \text{Min}(1.5t_{deck}, 450 \text{ mm})$$

$$S=250 \leq \text{Min}(1.5 \times 225, 450) \quad o.k$$

کنترل لنگر خرابی :

$$T=C \implies A_s f_y = 0.85 f_c a b \implies a = \frac{1256.6 \times 400}{0.85 \times 32 \times 1000} = 18.48 \text{ mm}$$

$$M_r = 0.9 \times 1256.6 \times 400 \left(190 - \frac{18.48}{2}\right) \times 10^{-6} = 81.73 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 40.498 \leq M_r = 81.73 \text{ KN.m}$$

USE $\phi 20@250$

○ سفره بالا (منفی)

برای طراحی میلگرد خمشی منفی دال نیز نیاز به لنگر طراحی داریم که طبق روابط زیر داریم:

$$M_{\text{طراحی}} = \text{Max}(M_{\text{min}}, M_u)$$

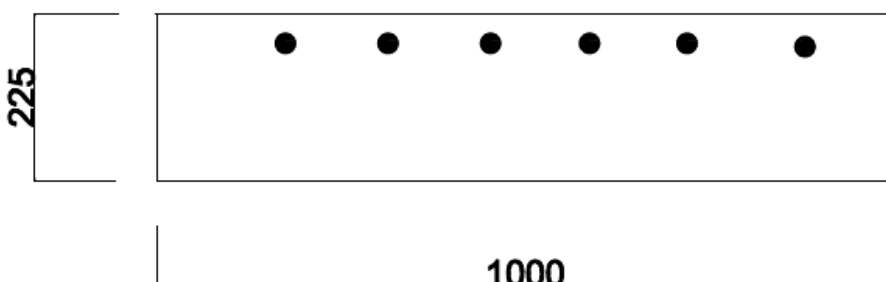
$$M_u = -43.86 \left(\frac{\text{KN.m}}{m}\right) \leftarrow \text{از فصل ۲ - بارگذاری دال}$$

$$M_{\text{min}} = 1.33 M_{cr}$$

$$M_{cr} = \gamma_1 \gamma_3 S_c f_r = 1.6 \times 0.75 \times \frac{1000 \times 225^2}{6} \times 0.97 \sqrt{32} = 55.56 \left(\frac{\text{KN.m}}{m}\right)$$

$$M_{\text{min}} = 1.33 \times 55.56 = 73.9 \left(\frac{\text{KN.m}}{m}\right)$$

$$M_{\text{طراحی}} = \text{Max}(73.9, 43.86) = 73.9 \left(\frac{\text{KN.m}}{m}\right)$$



با فرض استفاده از میلگرد به قطر ۲۰ داریم:

$$d_e = 225 - 35(\text{cover}) - \frac{20}{2} = 180 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_{\text{طراحی}}}{\phi f_y (d_e - \frac{a}{2})} \approx \frac{M_{\text{طراحی}}}{\phi f_y (0.9 d_e)} = \frac{73.9 \times 10^6}{0.9 \times 400 (0.9 \times 180)} = 1267.14 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\phi 20) = 314.15 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{1000}{1267.14} \times 314.5 = 247.9 \text{ mm} \quad \text{محافظة کارانه} \rightarrow S=225 \text{ mm}$$

$$A_{s(\text{new})} = \frac{1000}{225} \times 314.5 = 1397.78 \text{ mm}^2$$

الزامات فاصله میلگرد ها :

$$S \geq \text{Max}(1.5\phi, 37.5 \text{ mm}) \quad o.k$$

$$S \leq \text{Min}(1.5t_{\text{deck}}, 450 \text{ mm})$$

$$S=225 \leq \text{Min}(1.5 \times 225, 450) \quad o.k$$

کنترل لنگر خرابی :

$$T=C \implies A_s f_y = 0.85 f_c' a b \implies a = \frac{1397.78 \times 400}{0.85 \times 32 \times 1000} = 20.55 \text{ mm}$$

$$M_r = 0.9 \times 1397.78 \times 400 \left(180 - \frac{20.55}{2}\right) \times 10^{-6} = 85.4 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 43.86 \leq M_r = 85.4 \text{ KN.m}$$

USE $\phi 20 @ 225$

✓ طراحی میلگرد توزیع دال

میلگرد توزیع دال درصدی از میلگرد طولی مثبت طرح شده می باشد، از آنجایی که میلگرد های طولی ، عمود بر محور ترافیک هستند داریم :

$$\frac{3840}{\sqrt{s}} \leq 67\%[A_s(long)]$$

$$S=1450+400=1850 \text{ mm}$$

این فاصله برابر است با فاصله لبه بال فشاری تیر داخلی تا لبه بال فشاری تیر خارجی به اضافه ی نصف بال فشاری

$$\frac{3840}{\sqrt{1850}} = 89\% \leq 67\%[A_s(long)] \quad \text{Not ok}$$

$$A_{S_{\text{توزیع}}} = 0.67(A_s(long)) = 0.67(1256.6) = 841.992 \text{ mm}^2$$

با فرض استفاده از میلگردی با قطر ۱۶ داریم:

USE $\phi 16@225$

✓ طراحی میلگرد حرارتی دال

طرح میلگرد حرارتی و جمع شدگی از طریق دو ضابطه زیر صورت می پذیرد:

$$1) A_s \geq \frac{0.75bh}{2(b+h)f_y} = \frac{0.75 \times 1000 \times 225}{2(1000+225) \times 400} = 0.172 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

$$2) 0.233 \leq A_s \leq 1.27$$

$$A_s = 0.233 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

USE $\phi 16@450$

فصل چهارم : طراحی شاهتیر

✓ نیروی پیش تنیدگی و کابل مورد نیاز به روش پس کشیده

در این حالت با فرض مقدار خروج از محوریت کابل های پیش تنیدگی و کنترل تنش موجود در بتن بعد از کلیه افت ها میزان نیروی پیش تنیدگی و سپس تعداد کابل ها را محاسبه می نمایم.

$$e = y_b - 0.1h = 699 - 0.1 \times 1600 = 539 \text{ mm}$$

$$f_b \leq 0.5\sqrt{f_c} = 0.5\sqrt{45} = 3.35 \text{ Mpa}$$

$$f_b = -\frac{F_f}{A_g} - \frac{F_f e}{S_{bg}} + \frac{M_{\text{دال}} + M_{\text{تیر}}}{S_{bg}} + \frac{M_{\text{جانپناه}} + M_{\text{آسفالت}} + 0.8M_{LL+IM}}{S_{bc}}$$

$$f_b = -\frac{F_f}{711875} - \frac{F_f(539)}{315208241} + \frac{(1473.1875 + 1922.0625) \times 10^6}{315208241} + \frac{(202.5 + 501.1875 + 0.8 \times 2022.24) \times 10^6}{462083241} \leq 3.35$$

$$F_f \geq 4001.6 \text{ KN}$$

از طرفی تنش درون خود کابل ها باید از $0.6f_{pu}$ کمتر باشد، لذا:

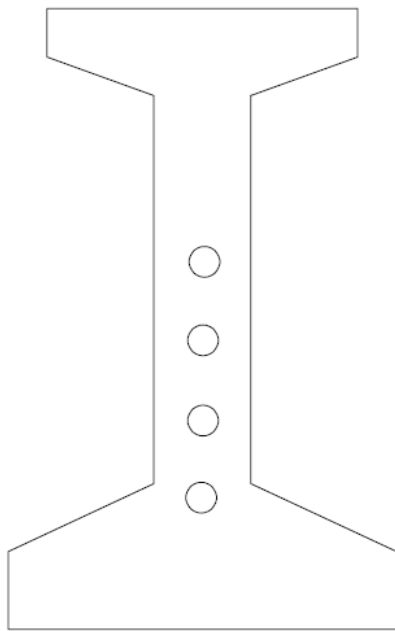
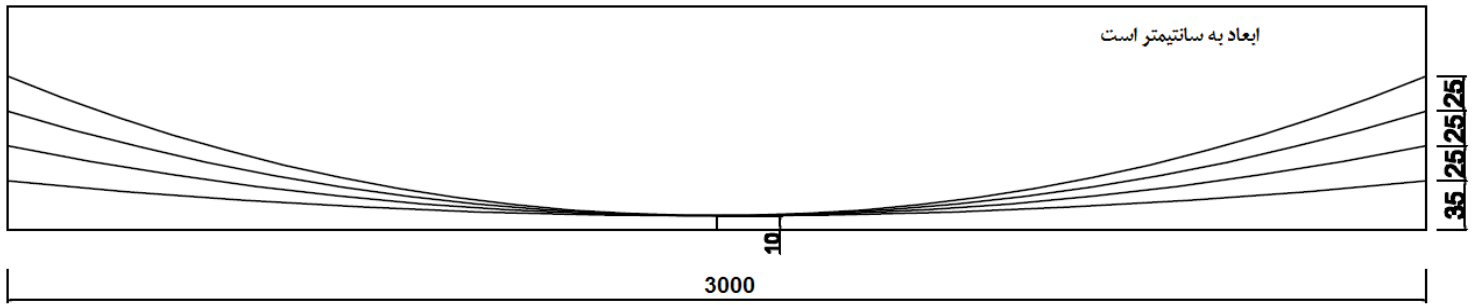
$$\frac{F_f}{A_{ps}} \leq 0.6f_{pu} = 0.6 \times 1860 = 1116 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} \geq \frac{4001.6 \times 10^3}{1116} = 3485.6 \text{ mm}^2$$

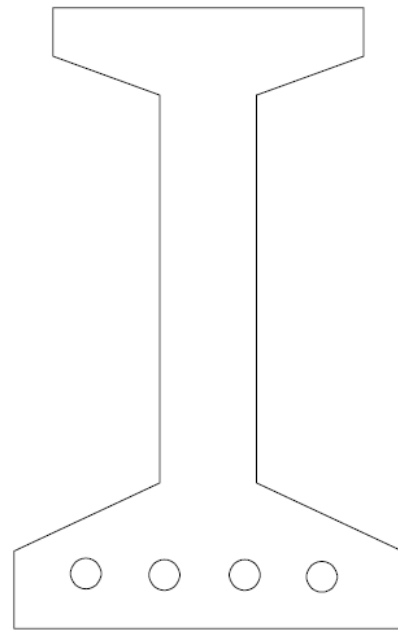
$$n = \frac{3485.6}{98.7} = 36.3 \approx 40$$

بنابراین از ۴ غلاف که درون هر غلاف ۱۰ کابل وجود دارد استفاده میکنیم.

✓ آرایش کابل ها



End Span



Mid Span

✓ محاسبه افت های پیش تنیدگی

$$\Delta F_{PT} = \Delta F_{PF} + \Delta F_{PA} + \Delta F_{PES} + \Delta F_{PLT}$$

$\Delta F_{PF}(Mpa)$ افت ناشی از اصطکاک

$\Delta F_{PA}(Mpa)$ افت ناشی از جاخوردگی مهار

$\Delta F_{PES}(Mpa)$ افت ناشی از تغییر شکل های الاستیک

$\Delta F_{PLT}(Mpa)$ افت درازمدت ناشی از جمع شدگی و خزش

○ افت ناشی از اصطکاک

$$\Delta F_{PF} = f_{pj}(kx + \mu\alpha)$$

$$f_{pj} = 0.9f_{py} = 0.81 \times 1860 = 1507 \text{ Mpa}$$

$$k = 6.6 \times 10^{-7} \frac{1}{mm}$$

$$\mu = 0.2$$

$$\alpha = \frac{8xdr}{L^2}$$

شماره دسته	محل بررسی	$dr(mm)$	$x(mm)$	$\alpha(rad)$	$\Delta F_{PF}(Mpa)$
1	$\frac{L}{2}$	350-100=250	15000	0.0333	24.95
	L		30000	0.0666	49.91
2	$\frac{L}{2}$	600-100=500	15000	0.0666	35
	L		30000	0.1333	70.01
3	$\frac{L}{2}$	850-100=750	15000	0.1	45.06
	L		30000	0.2	90.19
4	$\frac{L}{2}$	1100-100=1000	15000	0.1466	59.1
	L		30000	0.2933	118.24

○ افت ناشی از جاخوردگی مهار

$$\Delta F_{PA} = \frac{\Delta}{L} \times E_p$$

$$\Delta = 3 - 6 \text{ mm}$$

$$m = \frac{\Delta F_{PF}(L/2)}{L/2}$$

$$x = \sqrt{\frac{\Delta}{m}} \times E_p$$

شماره دسته	$\Delta F_{PF}(L/2)(Mpa)$	m	$x(m)$	طول مفید	$\Delta F_{PA}(Mpa)$
1	24.95	0.00166	18.86	18.86	31.33
2	35	0.00233	15.92	15.92	37.12
3	45.06	0.00300	14.035	14.035	42.1
4	59.1	0.00394	12.25	12.25	48.25

○ افت ناشی از کوتاه شدگی الاستیک

$$\Delta F_{PES} = \frac{N-1}{2N} \times \frac{A_{ps} f_{pbt} (I_g + e_m^2 A_g) - e_m M_g A_g}{A_{ps} (I_g + e_m^2 A_g) + \frac{A_g I_g E_{ci}}{E_p}}$$

$$\Delta F_{PES} = \frac{4-1}{2 \times 4} \times$$

$$\frac{40 \times 98.71 \times 1507 (220198370529 + 599^2 \times 711875) - 599 \times 1922.0625 \times 10^3 \times 711875}{40 \times 98.71 (220198370529 + 599^2 \times 711875) + \frac{711875 \times 220198370529 \times 4800 \sqrt{33.75}}{197000}}$$

$$\Delta F_{PES} = 31.32 \text{ Mpa}$$

○ افت درازمدت ناشی از جمع شدگی و خزش

$$\Delta F_{PLT} = 10 \frac{f_{pj} A_{ps}}{A_g} \gamma_h \gamma_{st} + 83 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{PR}$$

$$\gamma_h = 1.7 - 0.01H = 1.7 - 0.01 \times 70 = 1$$

$$\gamma_{st} = \frac{35}{7+f_{cu}} = \frac{35}{7+33.75} = 0.86$$

$$\Delta F_{PLT} = 10 \frac{1507 \times 40 \times 98.71}{711875} \times 1 \times 0.86 + 83 \times 1 \times 0.86 + 17 = 160.26 \text{ Mpa}$$

○ بررسی نهایی

با فرض اینکه دسته کابل های ۲ و ۴ از سمت چپ کشیده شوند و دسته کابل های ۱ و ۳ از سمت راست داریم:

شماره دسته	سمت چپ-انتهای دهانه				وسط دهانه				سمت راست-انتهای دهانه			
	ΔF_{PF}	ΔF_{PA}	ΔF_{PES}	ΔF_{PLT}	ΔF_{PF}	ΔF_{PA}	ΔF_{PES}	ΔF_{PLT}	ΔF_{PF}	ΔF_{PA}	ΔF_{PES}	ΔF_{PLT}
۱	49.91	0	31.32	160.26	24.95	31.33	31.32	160.26	0	2*31.32=62.64	31.32	160.26
۲	0	2*37.12=74.24	31.32	160.26	35	37.12	31.32	160.26	70.01	0	31.32	160.26
۳	90.19	0	31.32	160.26	45.06	42.1	31.32	160.26	0	2*42.1=84.2	31.32	160.26
۴	0	2*48.25=96.5	31.32	160.26	59.1	48.25	31.32	160.26	118.24	0	31.32	160.26
میانگین	70.05	85.37	31.32	160.26	41.02	39.7	31.32	160.26	94.25	73.42	31.32	160.26

با مقایسه افت ها در دو محل در نظر گرفته شده در انتهای دهانه مشخص می شود که میزان افت ها در انتهای سمت راست بیشتر است لذا از افت های بحرانی تری برخوردار است و شرایط بر اساس آن طرح می شود.

✓ محاسبه نیروهای پیش تنیدگی

○ مقطع وسط دهانه

$$F_i = [1507 - (41.02 + 39.7 + 31.32)] \times 40 \times 98.71 \times 10^{-3} = 5507.9 \text{ KN}$$

$$F_e = [1507 - (41.02 + 39.7 + 31.32 + 160.26)] \times 40 \times 98.71 \times 10^{-3} = 4875.2 \text{ KN}$$

○ مقطع تکیه گاه

$$F_i = [1507 - (94.25 + 73.42 + 31.32)] \times 40 \times 98.71 \times 10^{-3} = 5128.5 \text{ KN}$$

$$F_e = [1507 - (94.25 + 73.42 + 31.32 + 160.26)] \times 40 \times 98.71 \times 10^{-3} = 4531.8 \text{ KN}$$

✓ کنترل تنش ها

○ کابل ها

۱. قبل از جا خوردن

$$f_{pj} \leq 0.9f_{py} = 1507 \text{ Mpa}$$

$$\frac{5507.9 \times 10^3}{40 \times 98.71} = 1394.97 \leq 0.9f_{py} = 1507 \text{ Mpa} \quad o.k$$

۲. بعد از تمام افت ها

$$f_{pe} \leq 0.72f_{pu} = 1339.2 \text{ Mpa}$$

$$\frac{4875.2 \times 10^3}{40 \times 98.71} = 1234.7 \leq 0.72f_{pu} = 1339.2 \text{ Mpa} \quad o.k$$

○ تیر

۱. تنش در وسط دهانه - پایین تیر (فشاری) - بعد از کشیدن و رها کردن

$$f_{bg} = -\frac{F_i}{A_g} - \frac{F_i e}{S_{bg}} + \frac{M}{S_{bg}} \leq 0.6f_{ci} = 0.6 \times 33.75 = 20.25$$

$$f_{bg} = -\frac{5507.9 \times 10^3}{711875} - \frac{5507.9 \times 10^3 \times 599}{315208241} + \frac{1922.0625 \times 10^6}{315208241} = -12.1 \geq -20.25 \quad o.k$$

۲. تنش در وسط دهانه- پایین تیر (کششی) - بعد از کلیه افت ها

$$f_b \leq 0.5\sqrt{f_c} = 0.5\sqrt{45} = 3.35 \text{ Mpa}$$

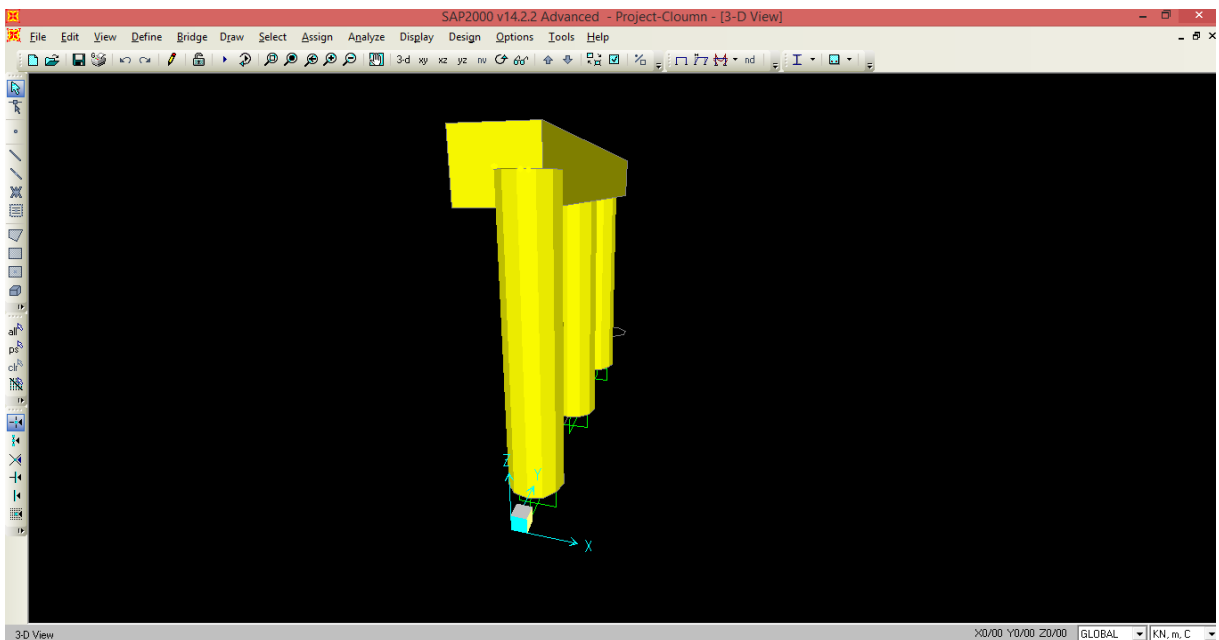
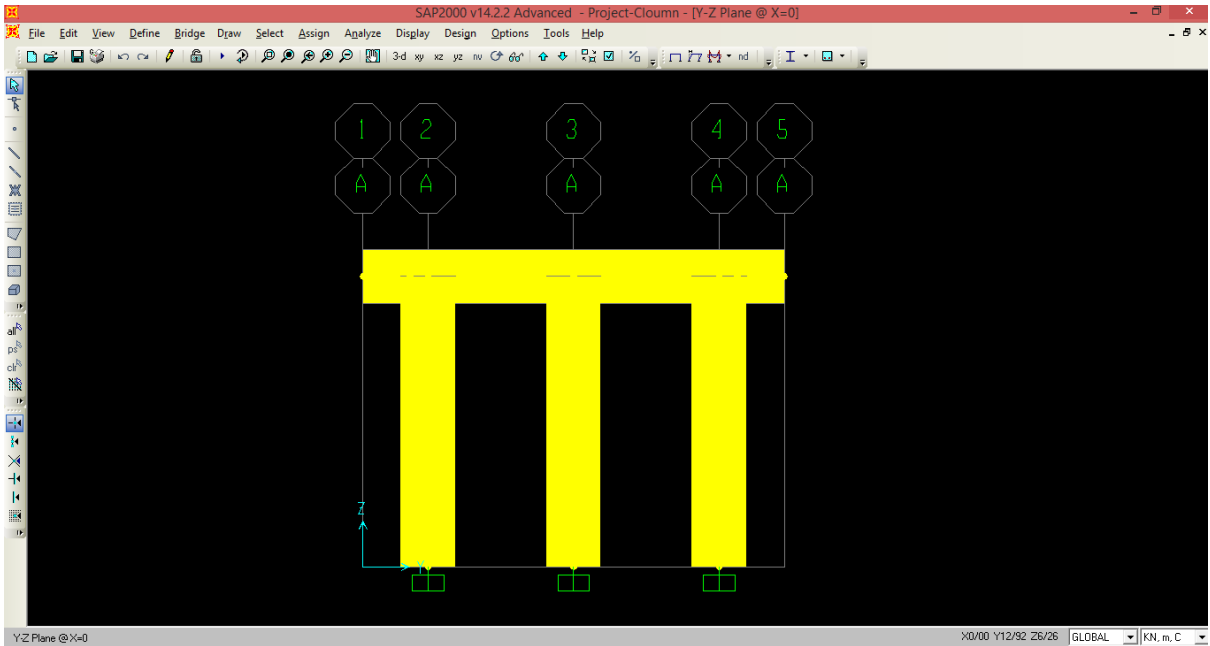
$$f_b = -\frac{F_f}{A_g} - \frac{F_f e}{S_{bg}} + \frac{M_{\text{دال}} + M_{\text{تیر}}}{S_{bg}} + \frac{M_{\text{جانپناه}} + M_{\text{آسفالت}} + 0.8M_{LL+IM}}{S_{bc}}$$

$$f_b = -\frac{4875.2 \times 10^3}{711875} - \frac{4875.2 \times 10^3 \times (599)}{315208241} + \frac{(1473.1875 + 1922.0625) \times 10^6}{315208241} + \frac{(202.5 + 501.1875 + 0.8 \times 2022.24) \times 10^6}{462083241} = -0.31 \leq 3.35 \text{ o.k}$$

فصل پنجم : طراحی ستون

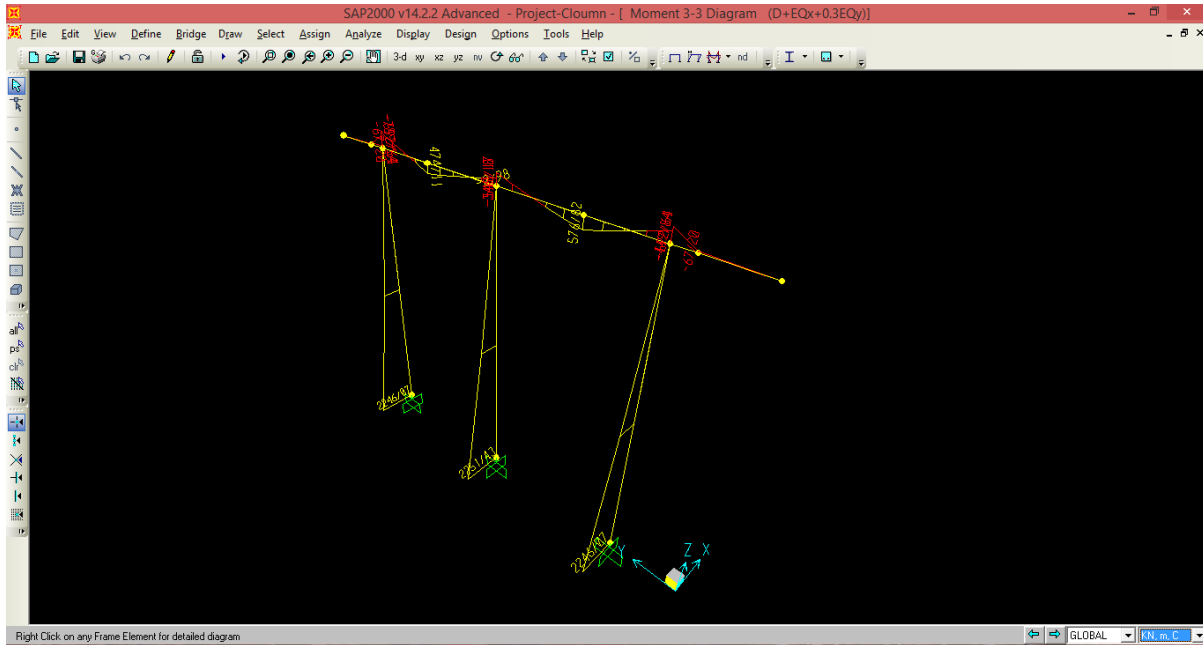
✓ مراحل تحلیل نرم افزاری

ابتدا در نرم افزار قابی دارای سه ستون را مدل سازی نموده و سپس بارهای محاسبه شده در فصل دوم را اضافه می نماییم.

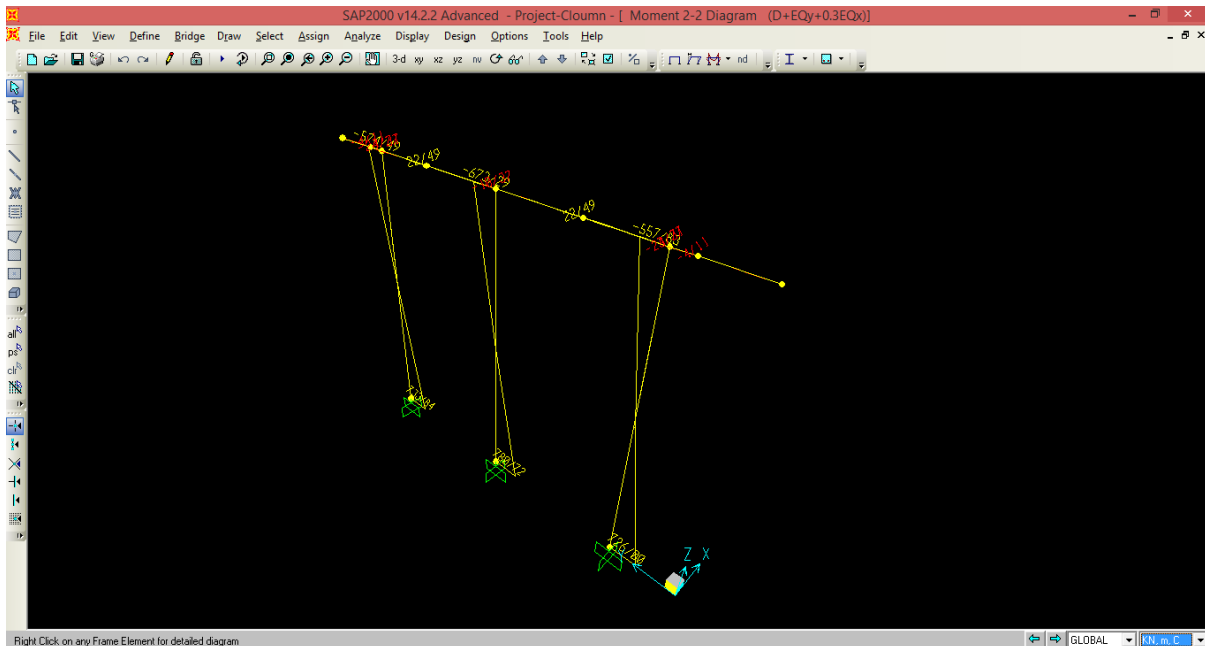


پس از تحلیل و بررسی میزان لنگر و بار محوری حداکثر و بحرانی به شرح زیر استخراج شد

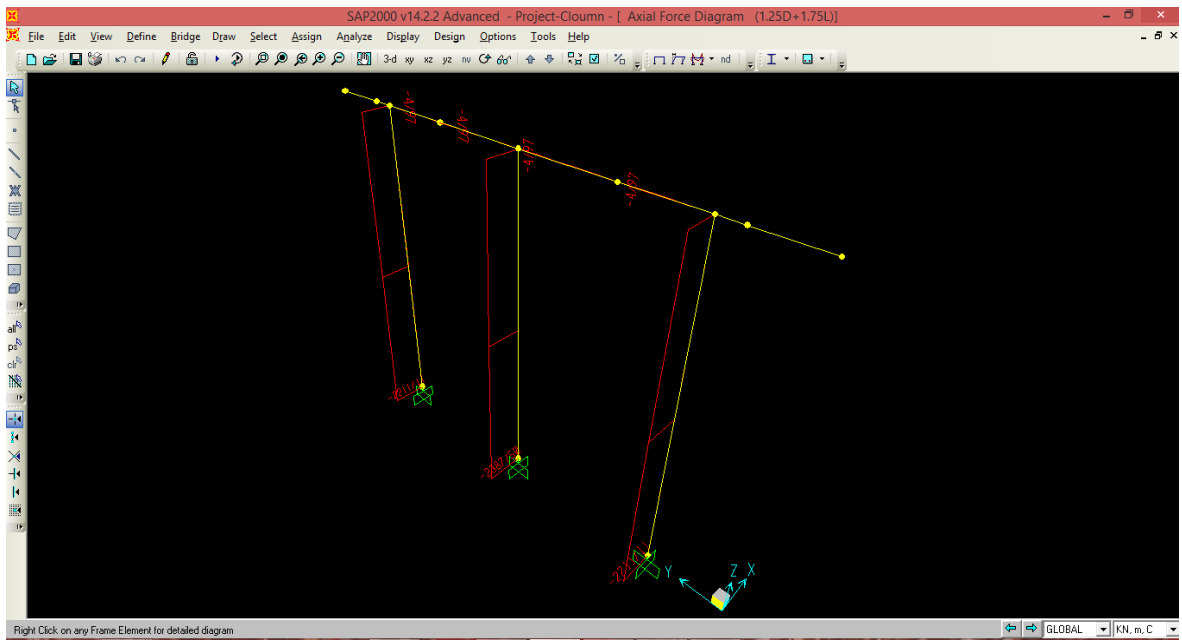
$P(KN)$	$M_x(KN.m)$	$M_y(KN.m)$
۲۳۸۷,۵	۲۲۵۱	۷۸۰,۸



میزان لنگر در جهت x



میزان لنگر در جهت y



میزان بار محوری در جهت z

✓ طراحی آرماتور ستون

با توجه به اینکه قطر ستون ۱,۵ متر می باشد و کاور میلگرد مصرفی (φ32) ۷۵ میلیمتر در نظر گرفته شد لذا:

$$\gamma_h = \frac{1500 - 2 * 75}{1500} = 0.9$$

لذا از نمودار اندرکنش ستون زیر میزان میلگرد مورد نیاز طرح می شود.

$$M_r = \sqrt{2251^2 + 780.8^2} = 2382.6 \text{ KN.m}$$

$$N_r = 2387 \text{ KN}$$

$$\frac{M_r}{A_g h} = \frac{2382.6 \times 10^6}{\pi \times \frac{1500^2}{4} \times 1500} = 0.898$$

$$\frac{N_r}{A_g} = \frac{2387 \times 10^3}{\pi \times \frac{1500^2}{4}} = 1.35$$

با استفاده از این دو مقدار میزان $\rho = 0.01$ استخراج می شود.

$$A_s = \rho A_g = 0.01 \times \pi \times \frac{1500^2}{4} = 17671.45 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\phi 32) = 804.247 \text{ mm}^2$$

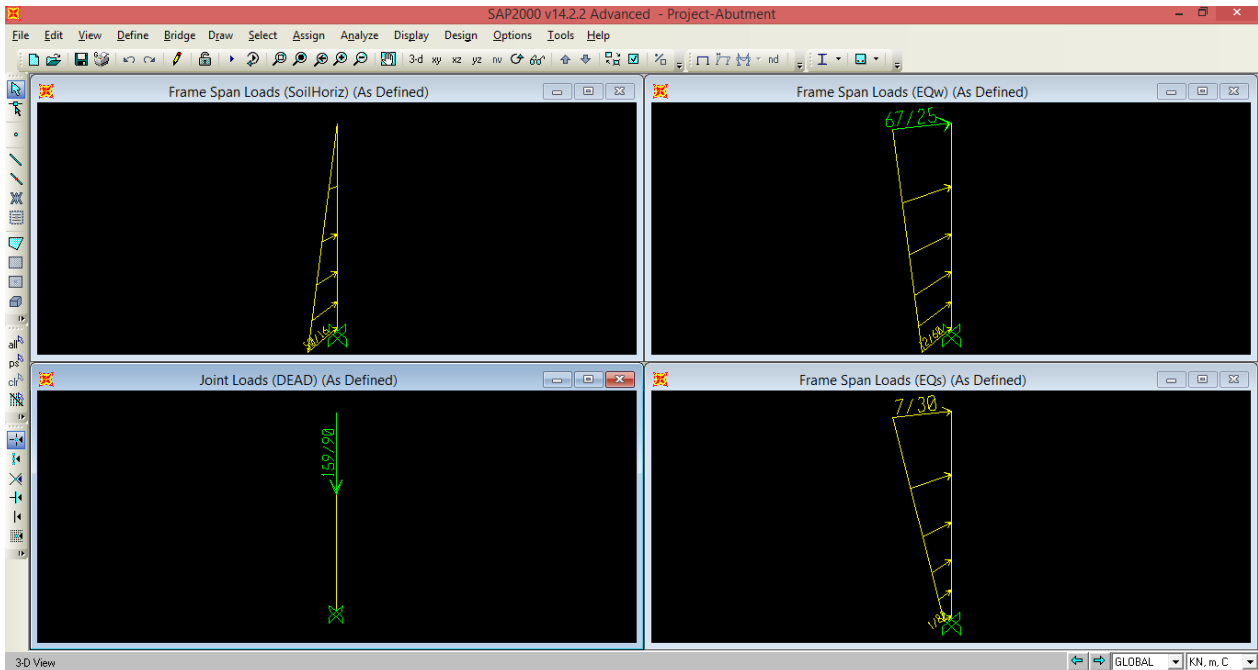
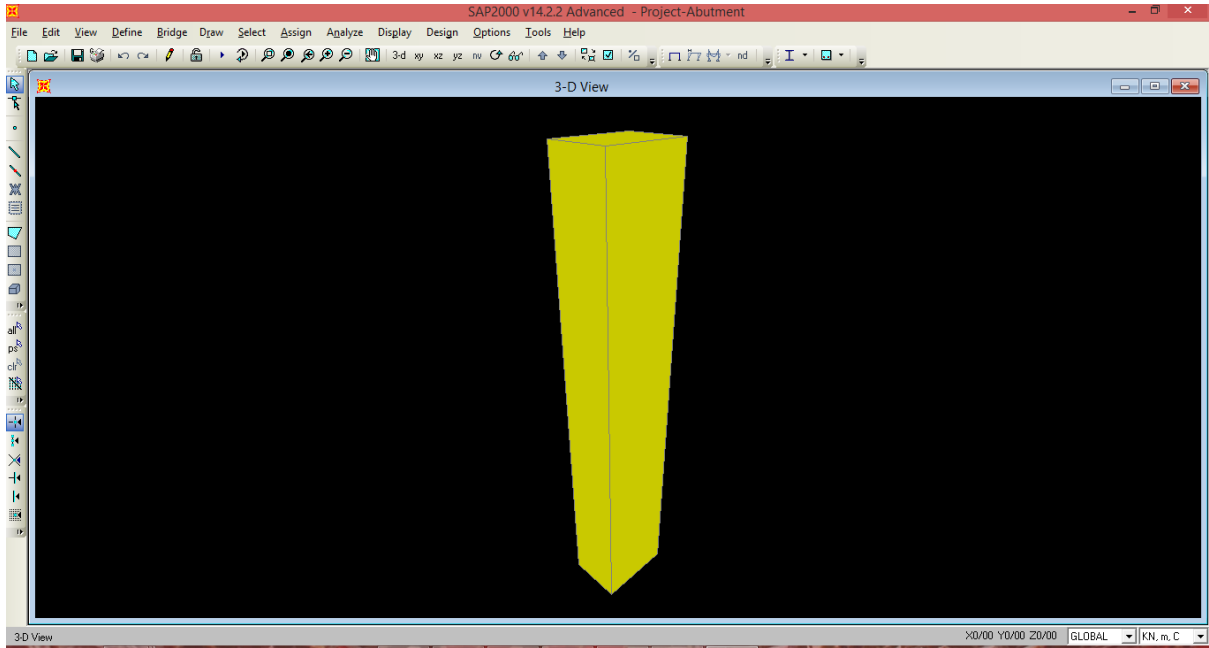
$$N = \frac{17671.45}{804.247} = 21.97 \approx 24$$

USE 24φ32

فصل ششم : طراحی پایه کناری (کوله)

✓ مراحل تحلیل نرم افزاری

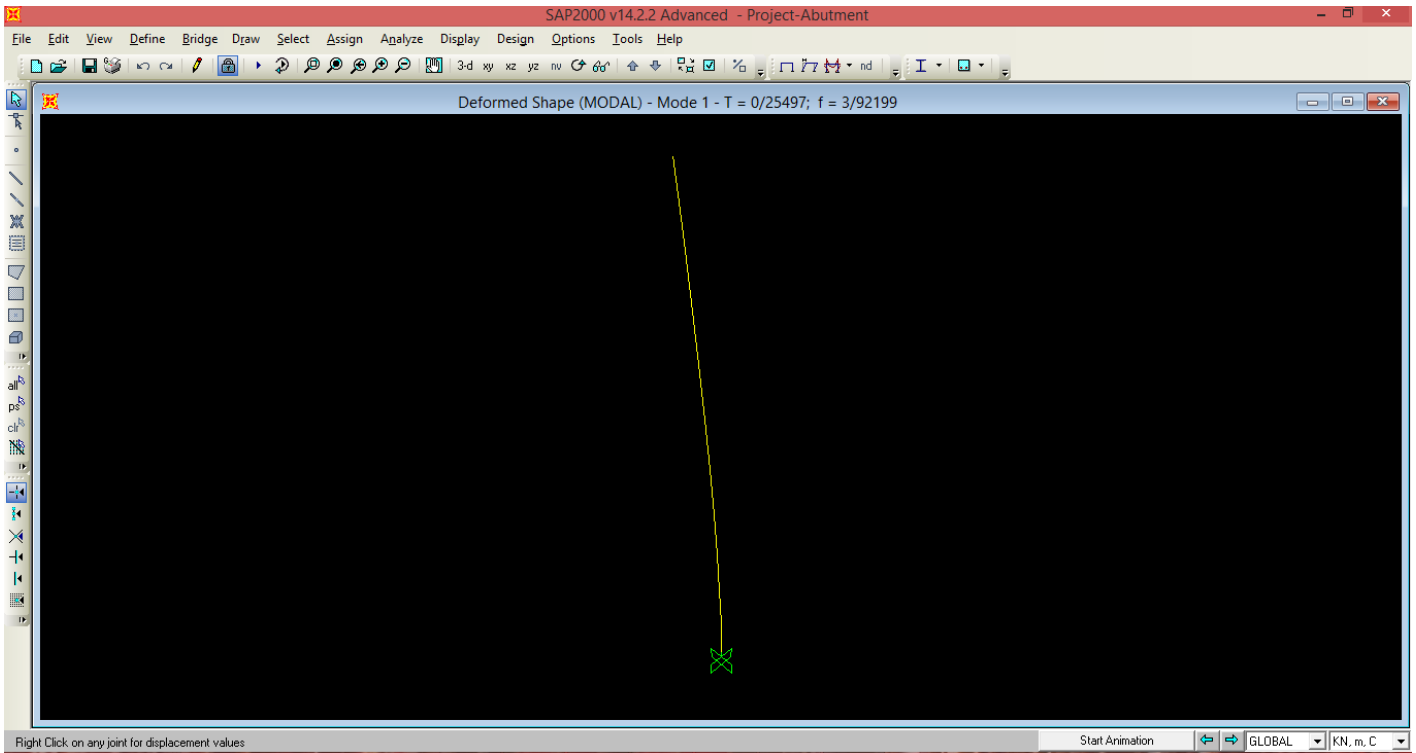
کوله را همانند یک تیر طره مدل می نماییم و سپس بار های محاسبه شده در فصل دوم را به آن اعمال می نماییم.



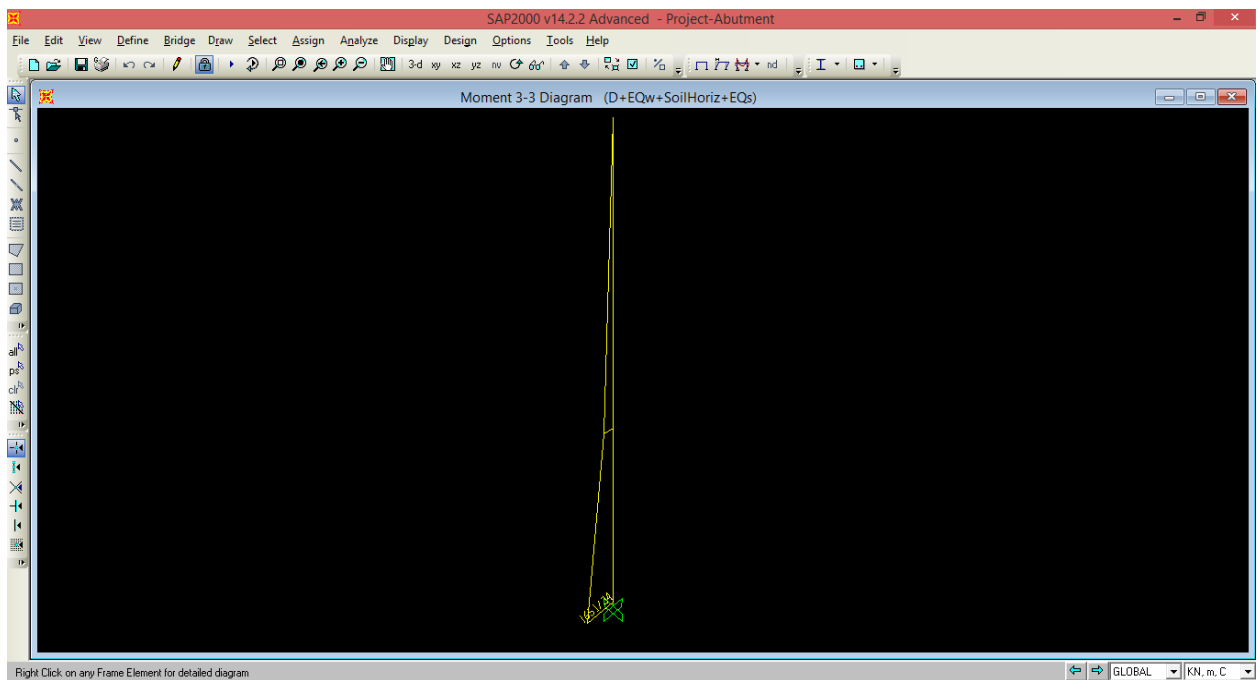
نمایی از بار های وارده به کوله

پس از آنالیز خروجی های زیر بدست آمد.

۱. بدست آوردن پریود سازه : $T=0.25497 \text{ sec}$



۲. بدست آوردن حداکثر لنگر وارده به کوله $M=1651.34 \text{ KN.m}$



✓ طراحی آرماتور کوله

آرماتور کوله را برای عرض واحد طرح می‌نماییم، لذا در نظر می‌گیریم که تیری مستطیلی به عرض ۱۰۰۰ میلیمتر و عمق ۱۴۰۰ میلیمتر مورد نظر می‌باشد، لذا داریم:

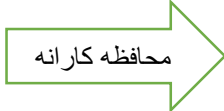
با فرض استفاده از میلگرد به قطر ۳۲ داریم:

$$d_e = 1400 - 75(\text{cover}) - \frac{36}{2} = 1307 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_{\text{طراحی}}}{\phi f_y (d_e - \frac{a}{2})} \approx \frac{M_{\text{طراحی}}}{\phi f_y (0.9 d_e)} = \frac{1651.34 \times 10^6}{0.9 \times 400 (0.9 \times 1307)} = 3899.6 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\phi 36) = 1017.876 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{1000}{3899.6} \times 1017.876 = 261.02 \text{ mm}$$

محافظة کارانه 

$$S = 250 \text{ mm}$$

$$A_{s(\text{new})} = \frac{1000}{250} \times 1017.876 = 4071.5 \text{ mm}^2$$

USE $\phi 36 @ 250$

1. LRFD Design Example for Steel Girder Superstructure Bridge ,
FHWA /National Highway Institute Washington, DC
2. AASHTO LRFD Bridge – Design Specifications – Customary U.s
Units - 2012
3. Bridge Engineering – Design ,Rehabilitation and Maintenance of
Modern Highway Bridges – Demetrios E.Tonias.