دفترچه محاسبات طراحی پل فولادی

سیدالیاس هاشمیان

S.elyas_hashemian@yahoo.com

سال تحصیلی ۱۳۹٤-۱۳۹۳

- **تعریف مسئله**

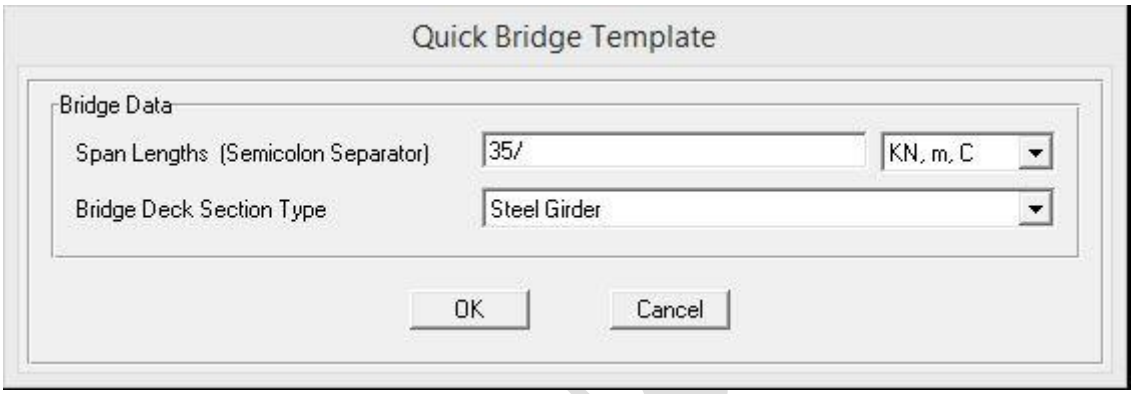
- ✓ در این پروژه سعی بر این شده است عرشه یک پل یک خطه راه به دهانه ساده ۳۵ متر و عرض کل ۶,۴ متر، شامل۲ تیر به فاصله محور به محور ۳ متر را مورد تحلیل و بررسی قرار دهیم.
- ✓ تیرورق فولادی ST37 با fy=250 Mpa و جان ۲۰*۱۵۰۰ و بال فشاری ۲۵*۴۵۰ و بال کششی ۵۰*۵۰۰ و بتن دال به ضخامت ۲۰۰ میلیمتر با مقاومت ۲۸ مگاپاسکال و پوشش ثانوی آسفالت ۱۰۰ میلی متر و هانچ ۷۵ میلیمتر می باشد.
- ✓ پایه کناری این پل از نوع باز بوده و دارای ارتفاع ۸ متر می باشد.
- ✓ جهت طراحی لرزه ای عناصر پل ، تیپ خاک منطقه ۳ در نظر گرفته و شتاب مبنای طرح ۰,۲ فرض شده است.
- ✓ عرض کنسول ۱,۷ متر در نظر گرفته شده است.
- ✓ این پل دارای جان پناه هایی به عرض موثر ۴۰۰ میلیمتر و وزن ۴۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.
- ✓ همچنین قسمت پیاده رو این پل در یک سمت این پل به اندازه عرض موثر ۱ متر به وزن ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.
- ✓ عرض سواره رو مسیر نیز ۳,۶ متر طبق نشریه ۱۳۹ برنامه و بودجه درنظر گرفته شده است.
- ✓ بار های زنده لحاظ شده در طراحی بار عادی نشریه ۱۳۹ می باشد.
- ✓ ستون به کار برده شده دایره ای و با قطر ۱,۲ متر می باشد.
- ✓ قاب ۲ ستونی لحاظ شده است که فاصله ستون ها ۴ متر می باشد.
- ✓ تیر سرستون ، تیری مستطیلی به عرض ۲ متر و ارتفاع ۱,۵ متر در نظر گرفته شده است.

- **طراحی شاهتیر فولادی**

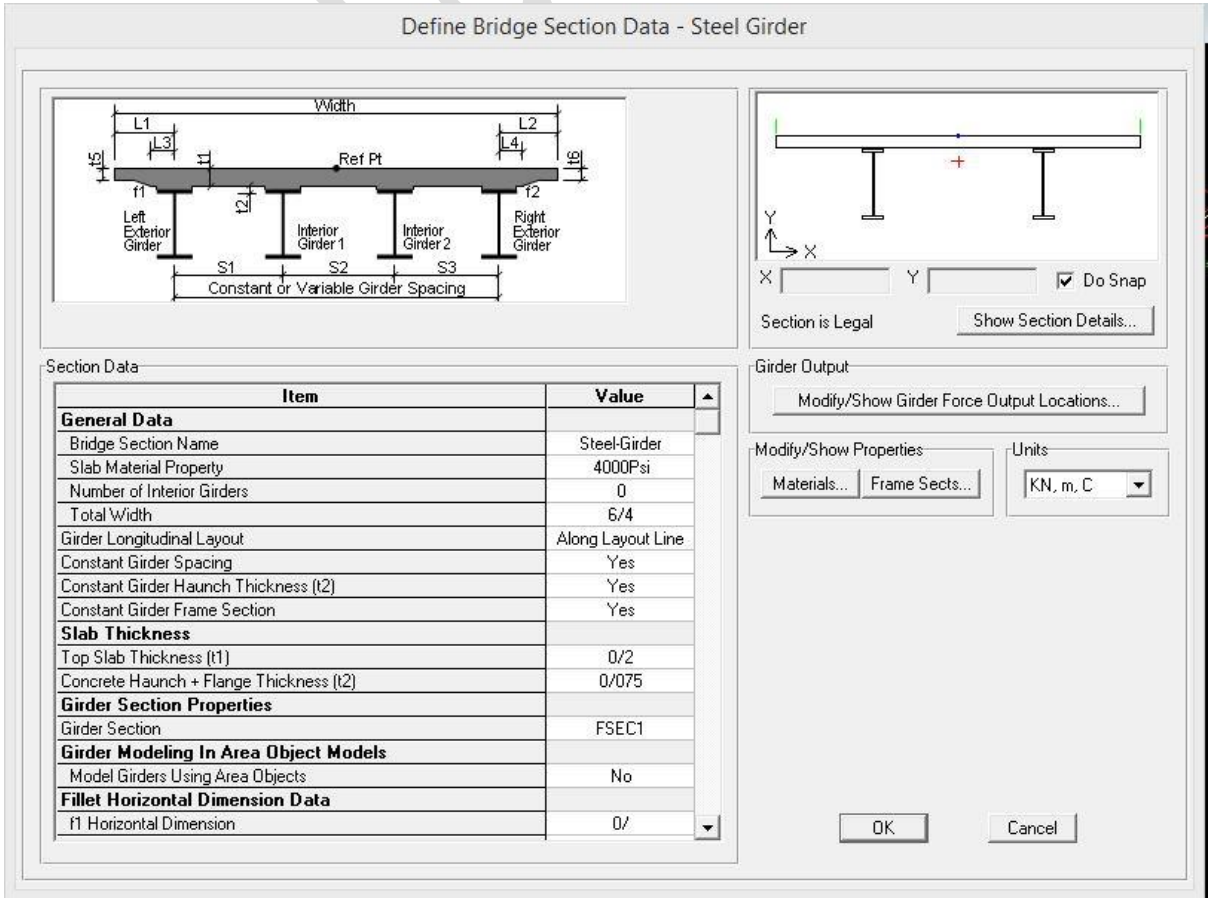
در ابتدا با مدلسازی مسئله معرفی شده در نرم افزار SAP2000 نتایج بارگذاری از نوع moving load را استخراج می نماییم، سپس با محاسبه بارگذاری بار های مرده طراحی را در حالات مدنظر پیش میگیریم.

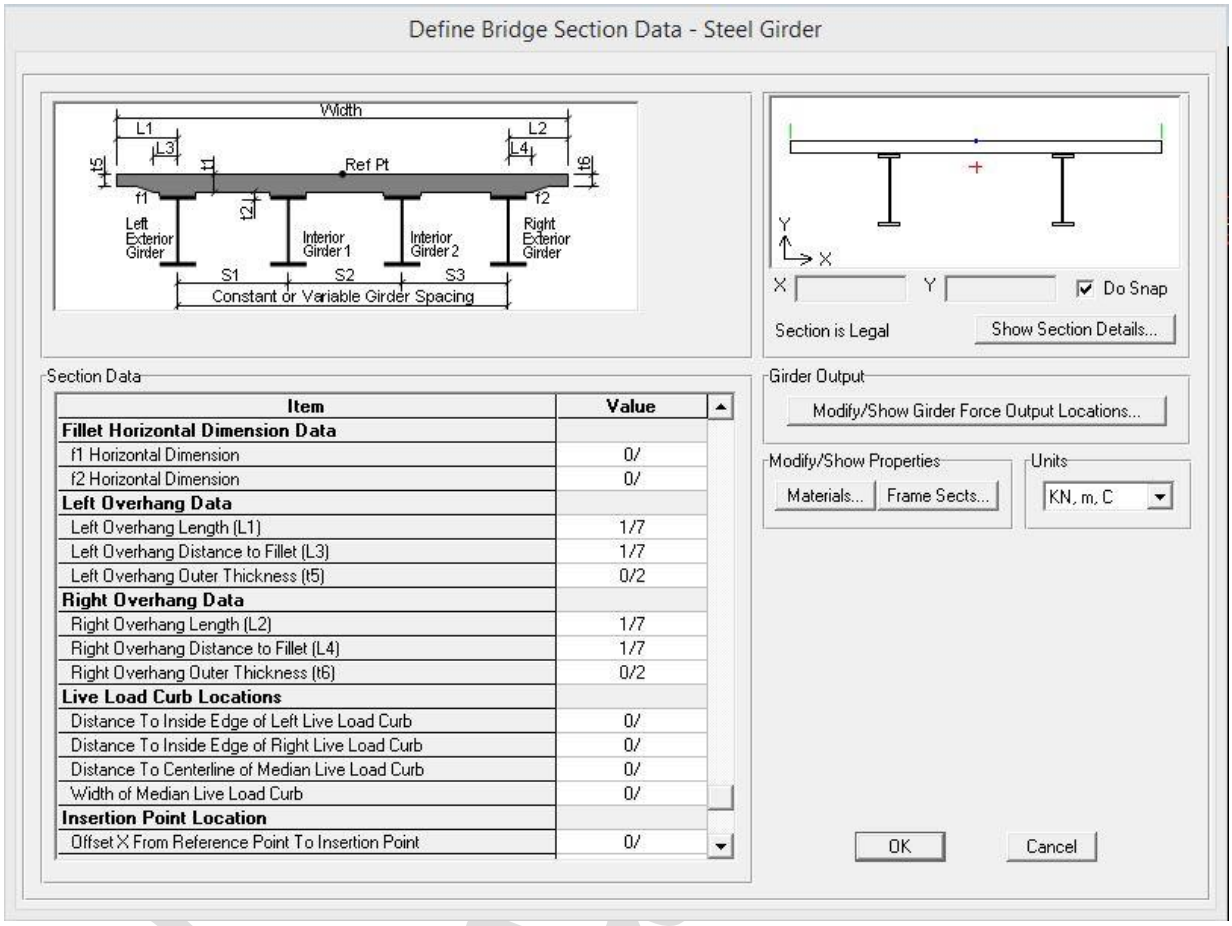
- **بارگذاری زنده**

۱. تعریف پل

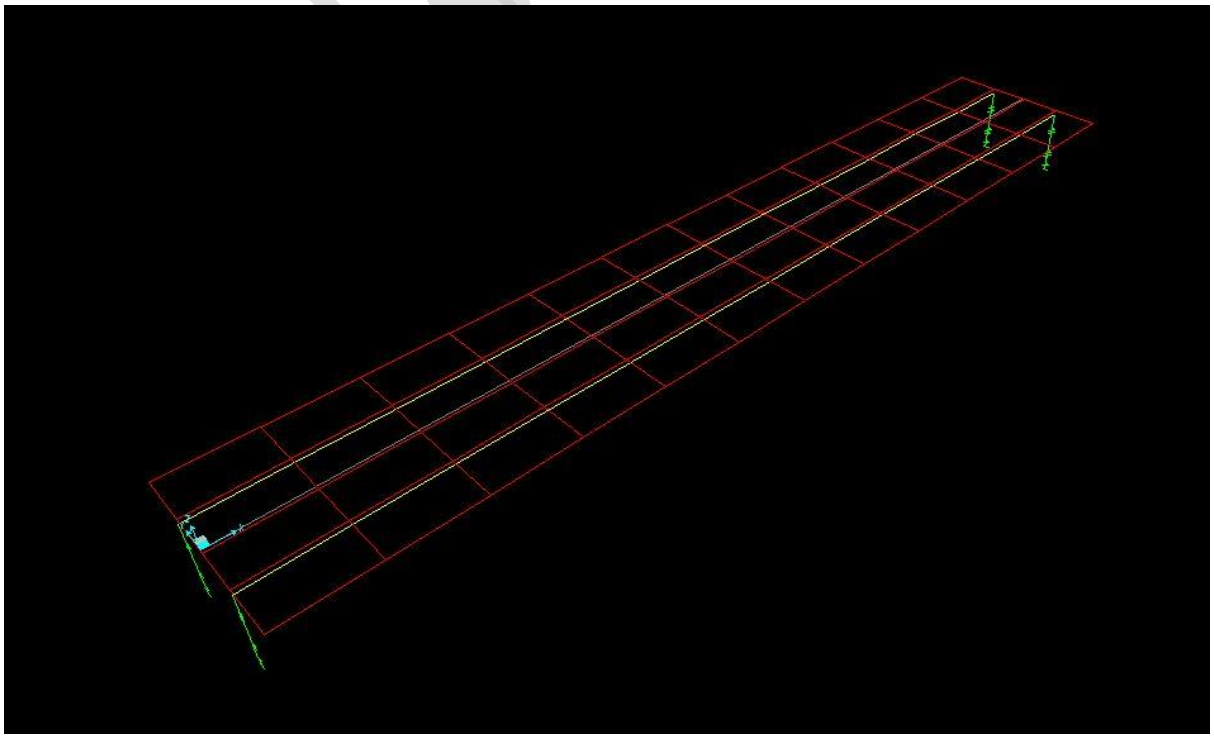


۲. ویرایش عرشه پل

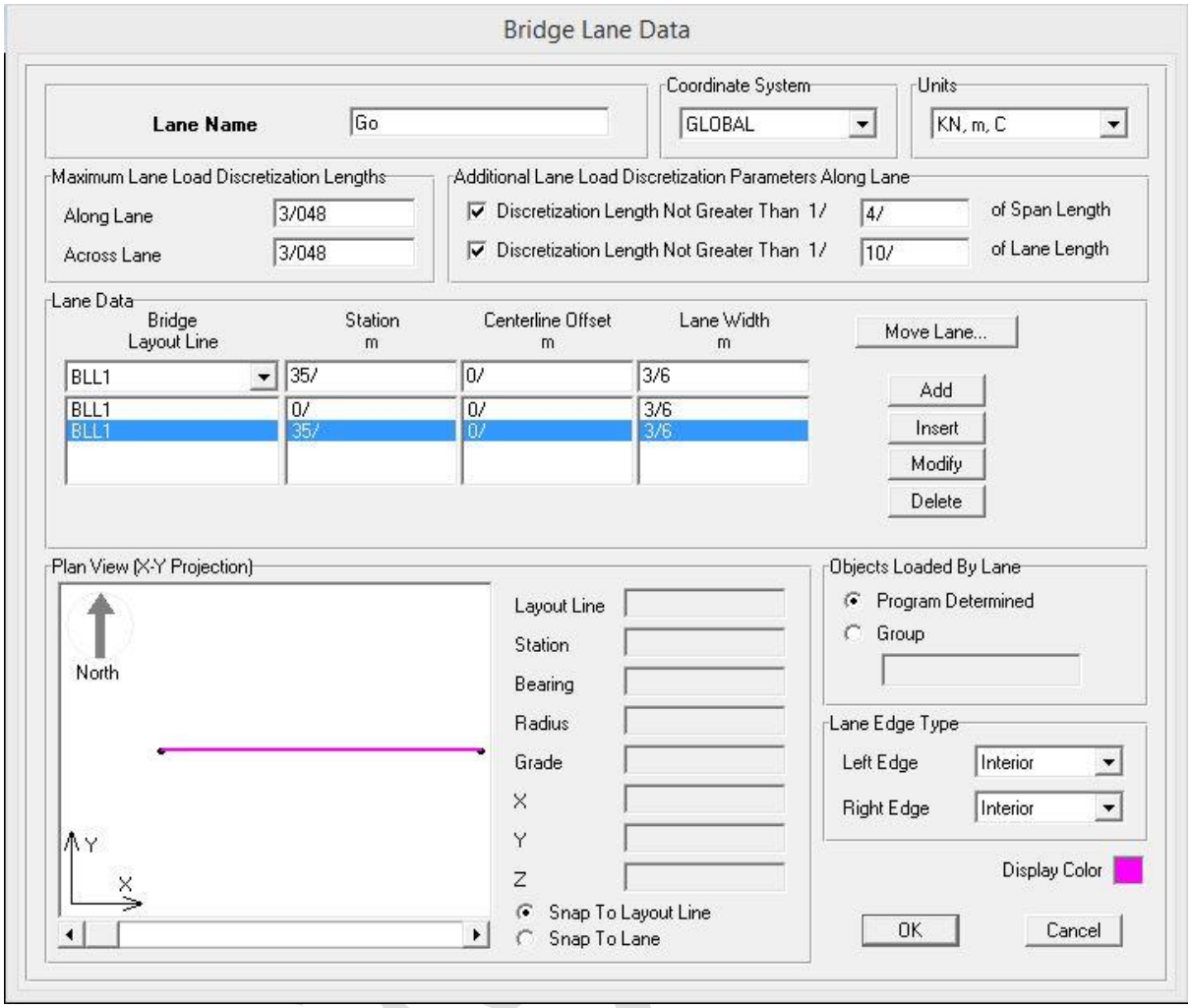



Define Bridge Section Data - Steel Girder
Width
L1
L2
L3
L4
t5
t6
t1
t2
Ref Pt
f1
f2
Left Exterior Girder
Interior Girder 1
Interior Girder 2
Right Exterior Girder
S1
S2
S3
Constant or Variable Girder Spacing
Y
X
X
Y
Do Snap
Section is Legal
Show Section Details...
Section Data
Item
Value
Fillet Horizontal Dimension Data
f1 Horizontal Dimension
0/
f2 Horizontal Dimension
0/
Left Overhang Data
Left Overhang Length (L1)
1/7
Left Overhang Distance to Fillet (L3)
1/7
Left Overhang Outer Thickness (t5)
0/2
Right Overhang Data
Right Overhang Length (L2)
1/7
Right Overhang Distance to Fillet (L4)
1/7
Right Overhang Outer Thickness (t6)
0/2
Live Load Curb Locations
Distance To Inside Edge of Left Live Load Curb
0/
Distance To Inside Edge of Right Live Load Curb
0/
Distance To Centerline of Median Live Load Curb
0/
Width of Median Live Load Curb
0/
Insertion Point Location
Offset X From Reference Point To Insertion Point
0/
Girder Output
Modify/Show Girder Force Output Locations...
Modify/Show Properties
Materials...
Frame Sects...
Units
KN, m, C
OK
Cancel

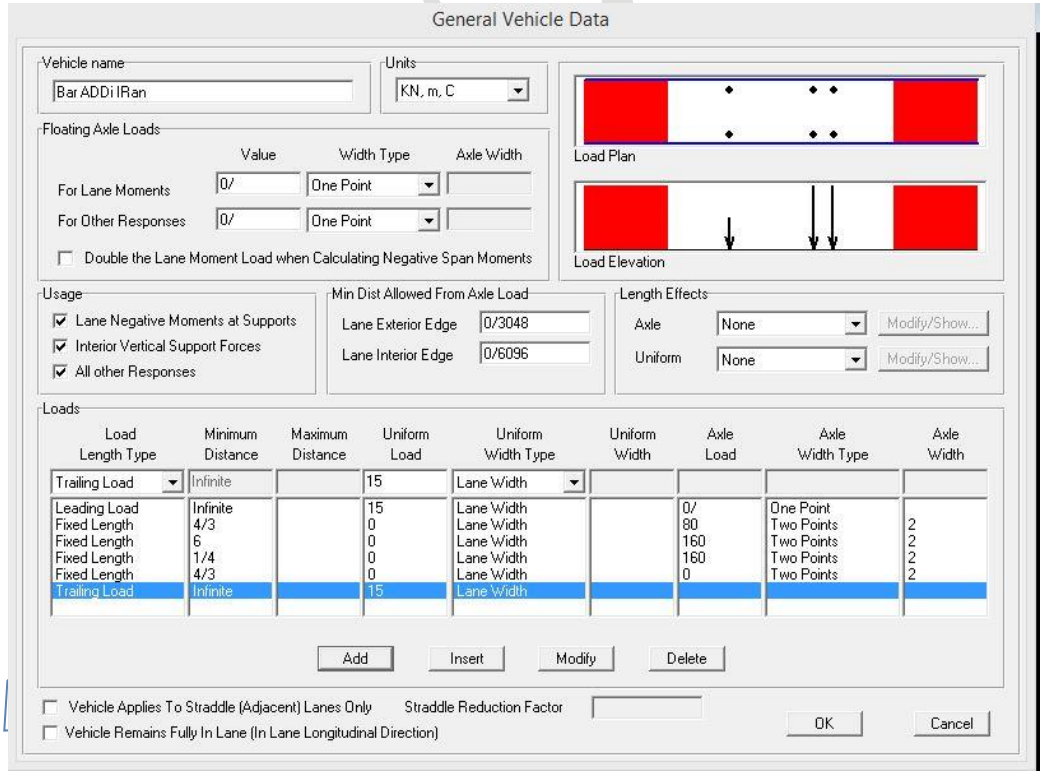
۳. مدل مسئله



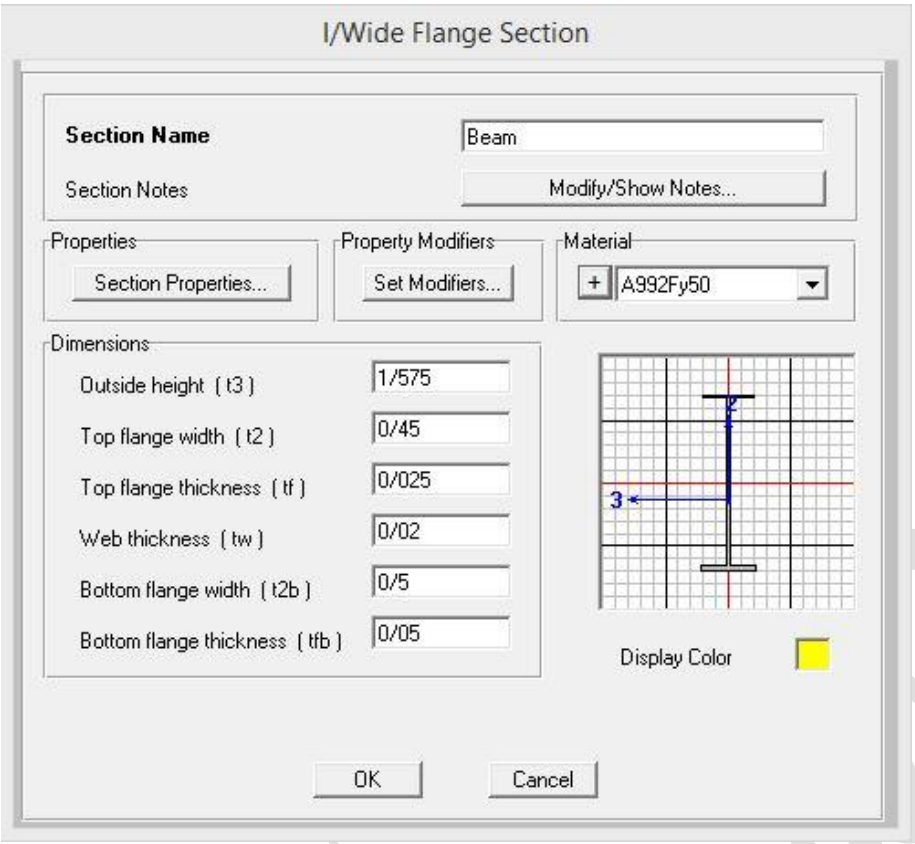
٤. تعریف مسیر



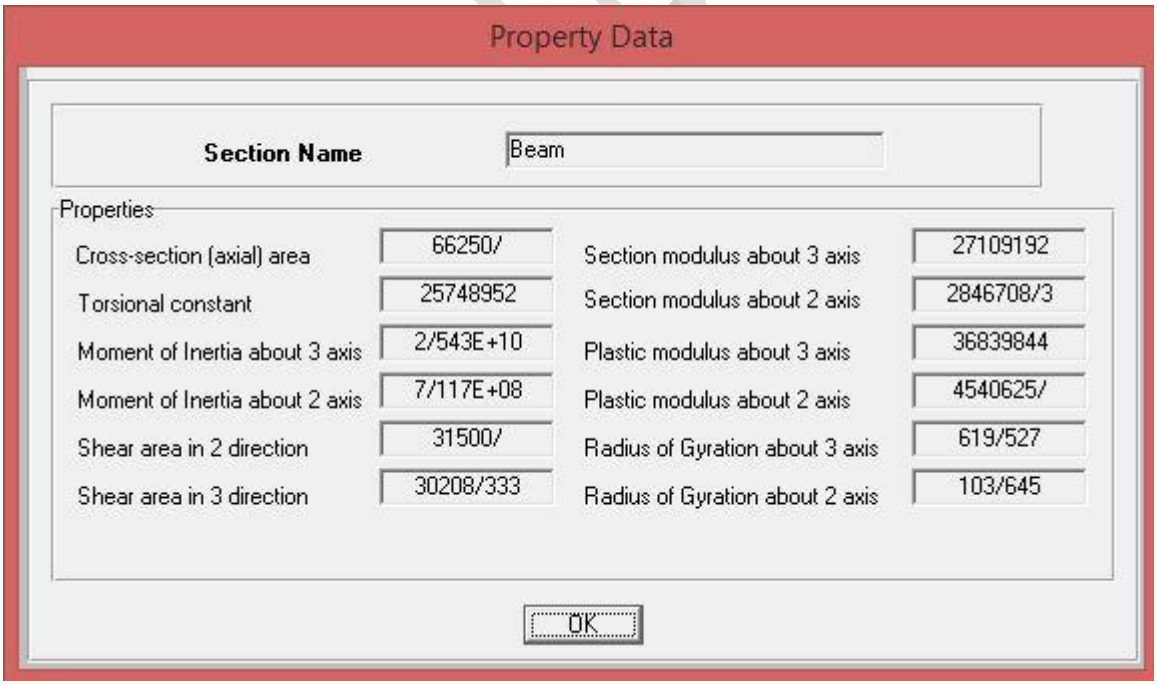
٥. تعریف وسیله نقلیه



۶. تعریف تیر فرض شده

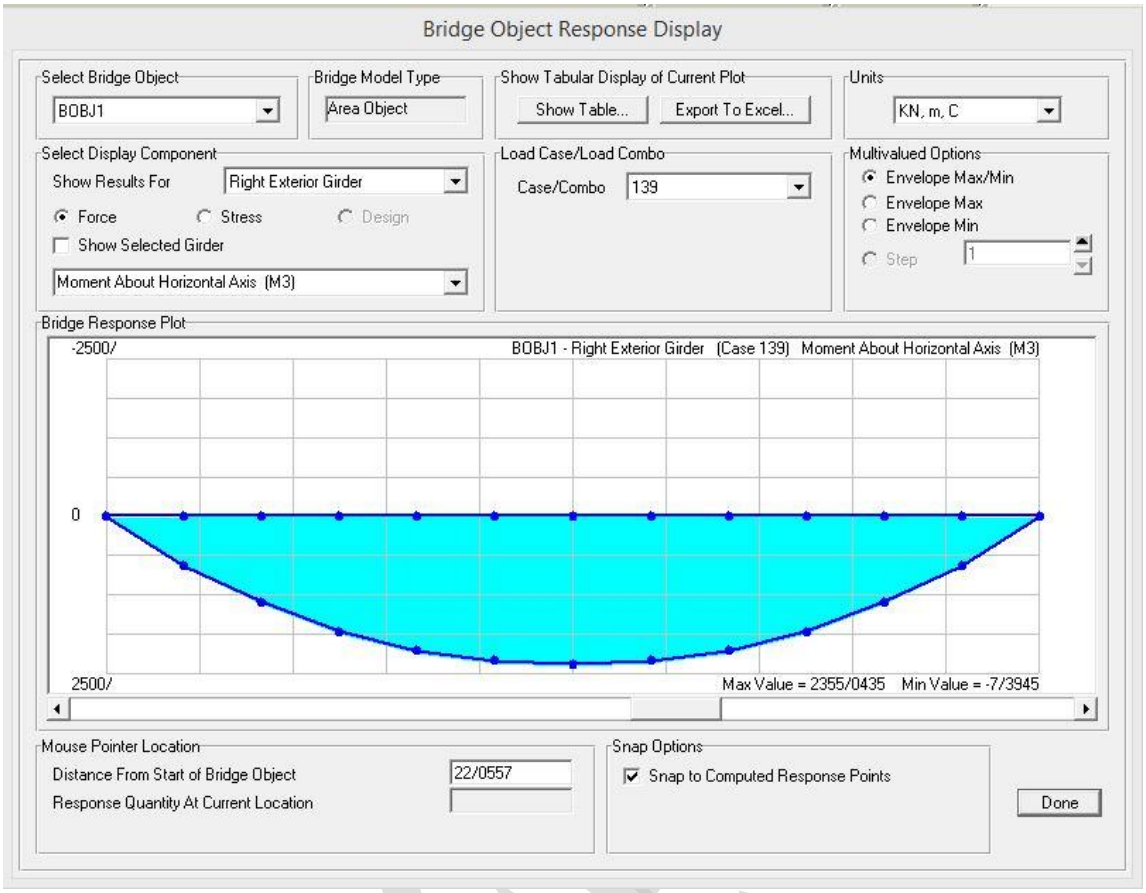


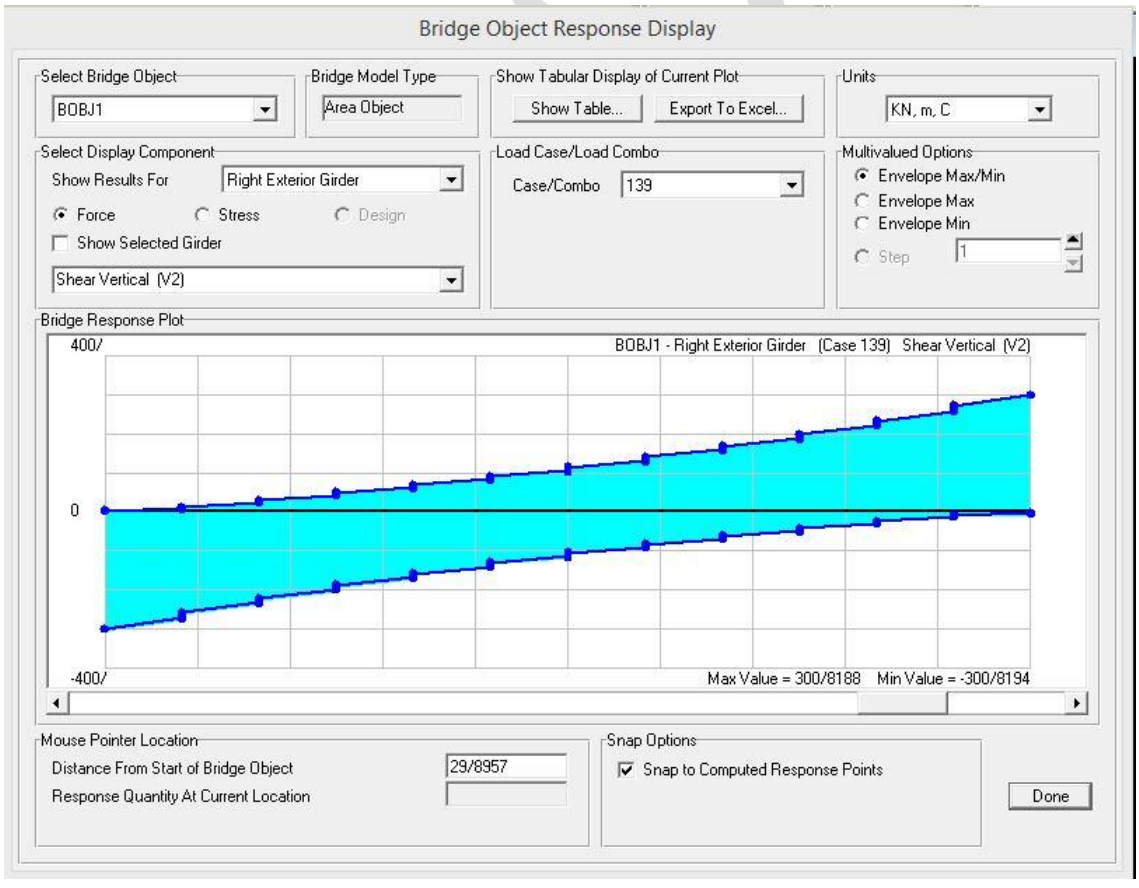
مشخصات هندسی تیر مسئله



۷. نتایج و خروجی ها

میزان لنگر حداکثر ناشی از بار زنده در تیر با اعمال ضریب ضربه در نرم افزار ۲۳۵۵,۱ کیلونیوتن در متر و میزان برش حداکثر ناشی از بار زنده در تیر با اعمال ضریب ضربه در نرم افزار ۳۰۰ کیلو نیوتن می باشد.





- بارگذاری مرده

Deck $q = 3.2 * 0.2 * 25 = 16\ {}^{KN}/_{m}$

Haunch $q = 0.45 * 0.075 * 25 = 0.815\ {}^{KN}/_{m}$

Beam $q = 66250 * 10^{-6} * 78.1 = 5.17\ {}^{KN}/_{m}$

Mall & Gard $q = \frac{(2*4.2+6)}{2} = 7.2\ {}^{KN}/_{m}$

Asphalt $q = (3.2 - 0.4) * 0.1 * 22 = 6.16\ {}^{KN}/_{m}$

$M_{DC} = M_{(Deck+Haunch+Beam+mall)} = \frac{29.185*35^2}{8} = 4469\ KN.m$

$M_{DW} = M_{(Asphalt)} = \frac{6.16*35^2}{8} = 943.25\ KN.m$

$V_{DC} = V_{(Deck+Haunch+Beam+mall)} = \frac{29.185*35}{2} = 510.75\ KN$

$M_{DW} = M_{(Asphalt)} = \frac{6.16*35}{2} = 107.8\ KN$

در آخر از ترکیب بار LRFD استفاده می نماییم.

$M_u = 1.25M_{DC} + 1.5M_{DW} + 1.75M_{LL+IM} = 1.25 * 4469 + 1.5 * 943.25 + 1.75 * 2355.1 = 9357.975\ KN.m$

$V_u = 1.25V_{DC} + 1.5V_{DW} + 1.75V_{LL+IM} = 1.25 * 510.75 + 1.5 * 107.8 + 1.75 * 300 = 1325.1375\ KN$

- **طراحی خمشی در حالت حدی مقاومت**

برای این منظور سه شرط زیر باید برقرار باشد:

1. $f_y \leq 485\ Mpa \qquad f_y = 250\ Mpa \qquad ok$
2. $b_f \leq \frac{D}{6} \quad 450 \geq \frac{1500}{6} = 250 \qquad ok$
3. $\frac{2D_{Cp}}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

دو شرط اول برقرار است ، برای برقراری شرط سوم نیاز است تار خنثی پلاستیک در ابتدا پیدا شود و سپس شرط شوم را چک نمود. ضمنا در همین حین لنگر پلاستیک مقطع نیز محاسبه می شود.

فرض اول : محل قرار گیری تار خنثی پلاستیک در دال قرار گیرد.

$$C_1 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$$

$$0.85 * 3200 * 28x = 0.85 * 3200 * 28 * (200 - x) + 450 * 25 * 250 + 1500 * 20 * 250 + 500 * 50 * 250$$

$$x = 209\ \text{mm} \geq 200 \quad \text{Not Ok}$$

فرض دوم : محل قرار گیری تار خنثی پلاستیک در بال فشاری قرار گیرد.

$$0.85 * 3200 * 28 * 200 + 450 * 250 * x = 450 * (25 - x) * 240 + 1500 * 20 * 250 + 500 * 50 * 250$$

$$x = 5.52\ \text{mm} \leq 25 \quad \text{Ok}$$

$$M_P = \left[0.85 * 28 * 3200 * 200 * \left(205.52 - \frac{200}{2}\right) + 450 * 5.52 * 250 * \left(\frac{5.52}{2}\right) + 450 * (25 - 5.52) * 250 * \left(\frac{25-5.52}{2}\right) + 1500 * 20 * 250 * (750 + 19.48) + 500 * 50 * 250 * \left(19.48 + 1500 + \frac{50}{2}\right)\right] * 10^{-6} = 17054\ KN.m$$

بنابراین عمقی از جان که در فشار قرار می گیرید یا همان D_{Cp} مساوی صفر است لذا شرط سوم برقرار است. و لذا مقطع فشرده است و روابط زیر جهت کنترل تیر برقرار است.

$$M_u \leq \varphi M_n = \varphi \begin{Bmatrix} M_P & if & D_p \leq 0.1D_t \\ M_P(1.07 - 0.7\frac{D_p}{D_t}) & & \end{Bmatrix}$$

فاصله بالای عرشه تا تار خنثی پلاستیک یا همان D_p ، ۲۰۵,۵۲ میلی متر می شود.

عمق کلی مقطع نیز ۱۷۷۰ میلیمتر می باشد.

لذا شرط اول برقرار نیست و از رابطه دوم داریم:

$$M_u = \mathbf{9357.975} \leq \varphi M_n = 1 * M_n = 17054\left(1.07 - 0.7\frac{205.52}{1770}\right) = 16861.6\ KN.m \quad ok$$

- **طراحی برشی در حالت حدی مقاومت**

$$V_u \leq V_r = \varphi V_n$$

$$V_n = CV_p = C * 0.58 * 240 * 1500 * 20 = 4176000C \quad N$$

برای محاسبه C نیاز داریم که فاصله سخت کننده های عرضی مورد نیاز را طرح نماییم. لذا داریم:

1.One Assume $d_0 = 1500\ mm$

$$K=5+\frac{5}{(\frac{1500}{1500})^2} = 10 \qquad \frac{D}{t_w} = \frac{1500}{20} = 75$$

$$\left\{\begin{matrix} 1.12\sqrt{\frac{200000*10}{250}} = 100.1 \\ 1.4\sqrt{\frac{200000*10}{250}} = 125.21 \end{matrix}\right\}$$

$$100.1 \leq 75 \leq 125.21 \qquad C = \frac{1.12}{75}\sqrt{\frac{20000*10}{250}} = 0.422$$

$$V_n = CV_p = 0.422 * 4176 = 1762.27\ KN$$

$$V_u = 1325.1375\ KN \leq 1762.27 \quad ok$$

- **طراحی دال بتنی**

در این قسمت ابتدا بارهای وارده به دال را محاسبه نموده سپس آرماتور های طولی و عرضی را طرح می‌نماییم.

Deck $q = 1 * 0.2 * 25 = 5\ KN/m$

Mall & Gard $q = \frac{(2*4.2+6)}{2} = 7.2\ KN/m$

Asphalt $q = 1 * 0.1 * 22 = 2.2\ KN/m$

با مدلسازی در نرم افزار و یا به بهره گیری از خط تاثیر لنگر می توان لنگر ناشی از بارهای مرده و زنده را برای عرض واحد حساب نمود.

حداکثر لنگر مثبت وارد به دال در عرض واحد ۲۲,۸ کیلونیوتن در متر و حداکثر لنگر منفی وارد به دال در عرض واحد ۲۵,۷ کیلو نیوتن در متر بدست آمد.

- **میلگرد طولی**

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

$$M_u = 22.8\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{min} = 1.2M_{cr}$$

$$M_{cr} = S_c f_r = \frac{1000\times200^2}{6} \times 0.97\sqrt{28} = 34.2\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{min} = 1.2 \times 34.2 = 41.04\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{\text{طراحی}} = Max(41.04,22.8) = 41.04\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$A_s = \frac{0.85(\varphi_c f_c)bd}{\varphi_s f_y}(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85((\varphi_c f_c)bd^2}})$$

$$A_s = \frac{0.85(0.6*28)1000*170}{0.85*400}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2*41.04*10^6}{0.85((0.6*28)1000*170^2}}\right) = 749.35\ mm^2$$

با فرض استفاده از میلگردی با قطر ۲۰ ، میزان میلگرد طولی مثبت زیر برای کافی خواهد بود.

$$use\ \ \varphi20@400$$

$$M_u = 25.7\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{min} = 1.2M_{cr}$$

$$M_{cr} = S_c f_r = \frac{1000\times200^2}{6} \times 0.97\sqrt{28} = 34.2\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{min} = 1.2 \times 34.2 = 41.04\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$M_{\text{طراحی}} = Max(41.04,22.8) = 41.04\ (\frac{KN.m}{m})$$

$$A_s = \frac{0.85(\varphi_c f_c)bd}{\varphi_s f_y}(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85((\varphi_c f_c)bd^2}})$$

$$A_s = \frac{0.85(0.6*28)1000*165}{0.85*400}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2*41.04*10^6}{0.85((0.6*28)1000*165^2}}\right) = 774.48\ mm^2$$

با فرض استفاده از میلگردی با قطر ۲۰ ، میزان میلگرد طولی مثبت زیر برای کافی خواهد بود.

$$use\ \ \varphi20@400$$

- **میلگرد عرضی**

✓ آرماتورهای توزیع که درصدی از آرماتور مثبت دال می باشد که طبق آیین نامه معمولا ۶۷ درصد آرماتور طولی دال فرض می شود.

$0.67(749.35)=502.1\ mm^2$

درصورت استفاده از میلگردی با قطر ۱۴ ، میزان میلگرد طولی زیر کافی خواهد بود.

$$use\ \ \varphi14@300$$

✓ آرماتور های حرارتی هم با کنترل شروطی حداقل میزان ۲۳۳ میلیمتر مربع در متر را داراست که در اینجا به همین مقدار حداقل اکتفا می کنیم.

درصورت استفاده از میلگردی با قطر ۱۴ ، میزان میلگرد طولی زیر کافی خواهد بود

$$use\ \ \varphi14@450$$

- **طراحی ستون**

در این قسمت نیز ابتدا بارهای وارده به ستون را محاسبه کرده و سپس با مدل سازی یک قاب دارای دو ستون در نرم افزار SAP2000 حداکثر لنگر و بار محوری وارده به ستون را استخراج میکنیم و سپس به کمک نمودار های اندرکنش موجود و یا با تحلیل نرم افزار SAP2000 میزان آرماتور طولی ستون را طرح می نماییم.

Deck $q = 6.4 * 0.2 * 25 * \frac{35}{2} = 560\ KN$

Haunch $q = 2 * 0.45 * 0.075 * 25 * \frac{35}{2} = 29.53\ KN$

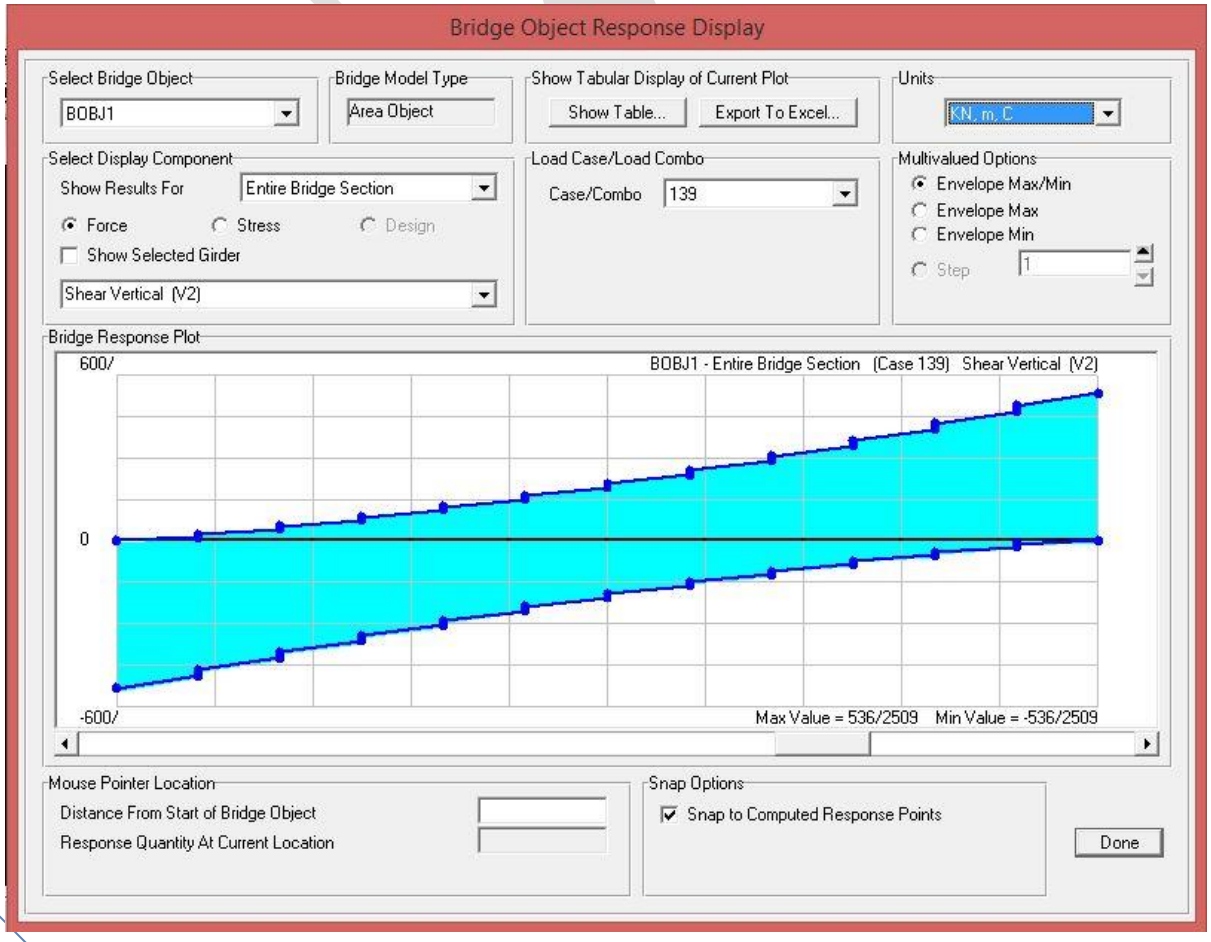
Beam $q = 66250 * 10^{-6} * 78.1 * 2 * \frac{35}{2} = 181.1\ KN$

Mall & Gard $q = \frac{(2*4.2+6)*35}{3} = 168\ KN$

Asphalt $q = (6.4 - 2 * 0.4) * 0.1 * 22 * \frac{35}{2} = 215.6\ KN$

مجموع بار های مرده وارد به یک ستون D=560+29.53+181.1+168+215.6=1154.23 KN

بار زنده وارد به ستون را همان برش کل وارد به پل در نظر میگیریم.



L=536.25 KN

$W=\frac{2}{3}(D+L)=\frac{2}{3}(1154.23+536.25)=1127\ KN$

برای طراحی لرزه ای و بار های ناشی از زلزله ابتدا لازم است ضریب زلزله را در ۲ جهت طولی و عرضی محاسبه نماییم.

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

$C_l=\frac{0.2*2.75*1.2}{3}=0.22$

$V_l=0.25*1127=281.75\ KN$

$C_t=\frac{0.2*2.75*1.2}{5}=0.132$

$V_t=0.132*1127=148.764\ KN$

بار هایی که به تیر وارد می شوند:

$D=\frac{1154.23}{2}=577.115\ KN$

$L=\frac{536.25}{2}=268.125\ KN$

$V_l=\frac{281.75}{2}=140.875\ KN$

$V_t=\frac{148.764}{2}=74.382\ KN$

بارهایی که به سر ستون وارد می شوند:

$\boldsymbol{V_l=0.22*2*1.5*25=16.5\ \frac{KN}{m}}$

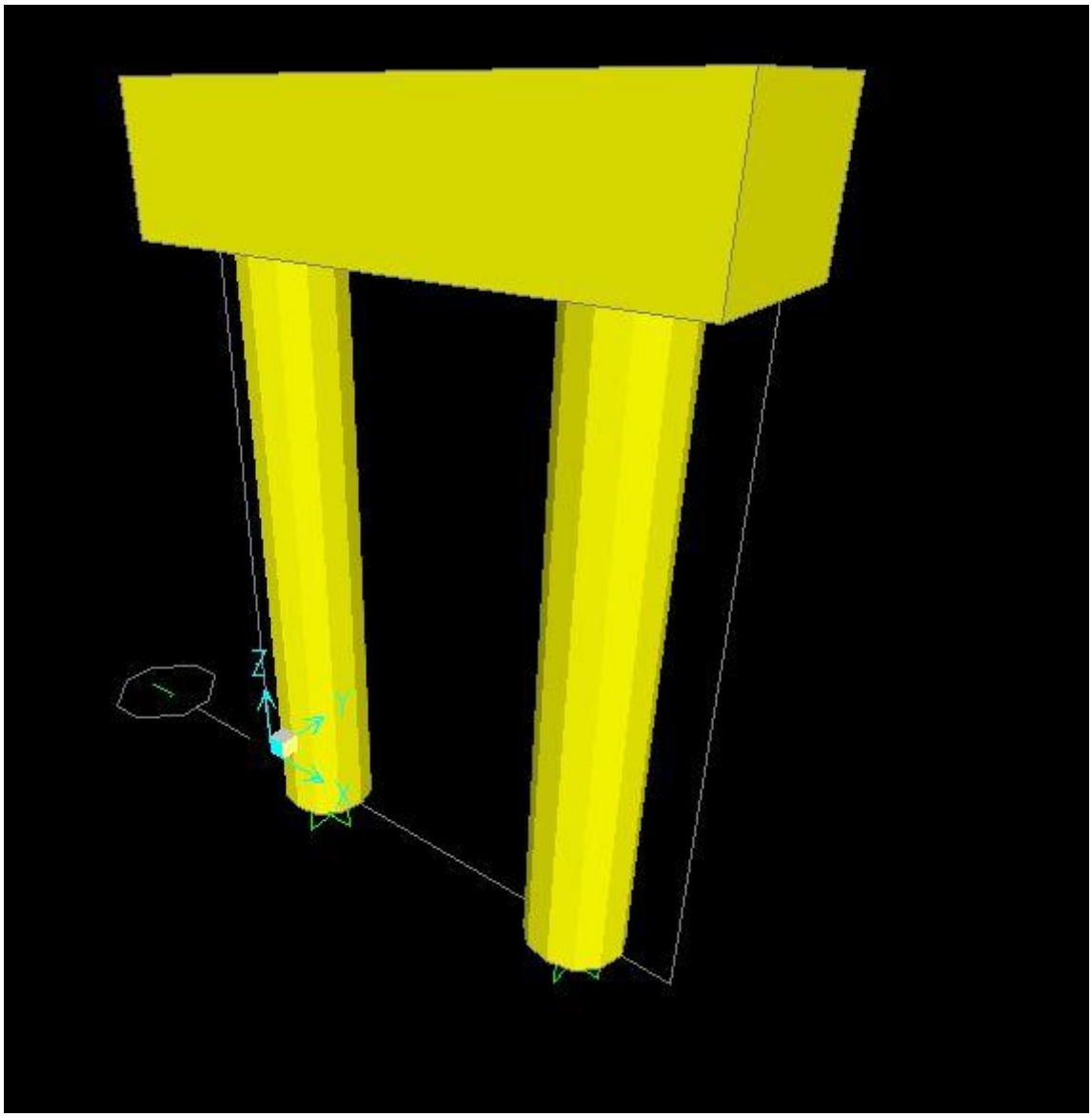
$\boldsymbol{V_t=0.132*2*1.5*25=9.9\ \frac{KN}{m}}$

بارهایی که به سر ستون وارد می شوند:

$$\boldsymbol{V_l} = 0.22 * \boldsymbol{\pi} * \frac{\mathbf{1.2^2}}{\mathbf{4}} * 25 = \mathbf{6.22}\ \frac{\boldsymbol{KN}}{\boldsymbol{m}}$$

$$\boldsymbol{V_t} = 0.132 * \boldsymbol{\pi} * \frac{\mathbf{1.2^2}}{\mathbf{4}} * 25 = \mathbf{3.732}\ \frac{\boldsymbol{KN}}{\boldsymbol{m}}$$

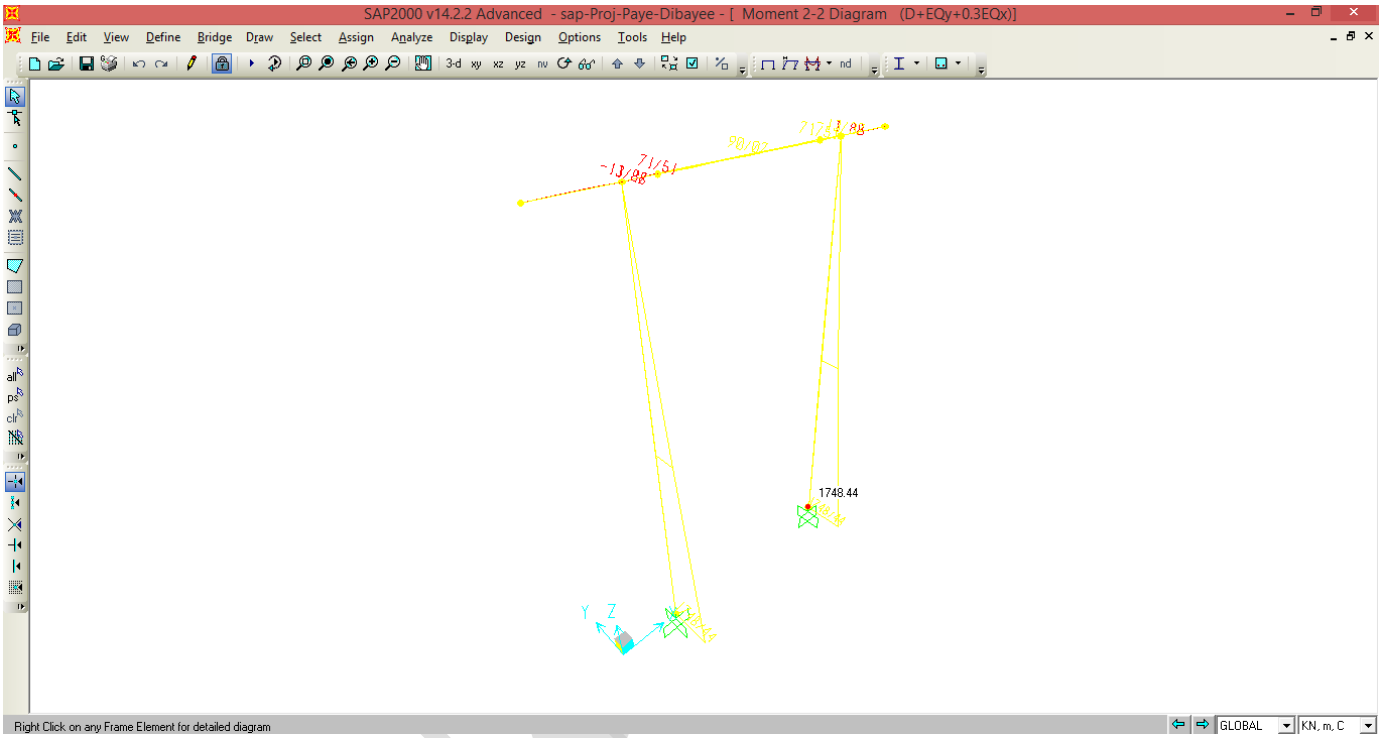
آنالیز مدل :

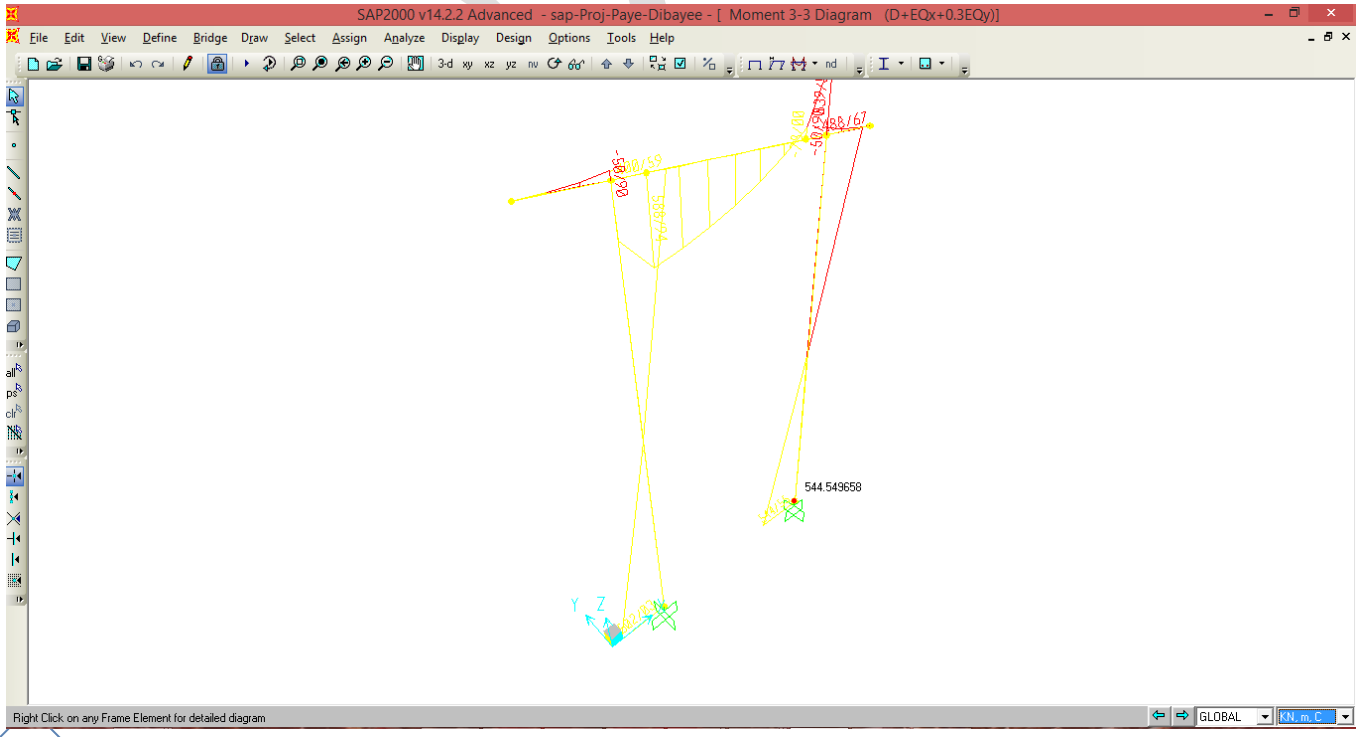


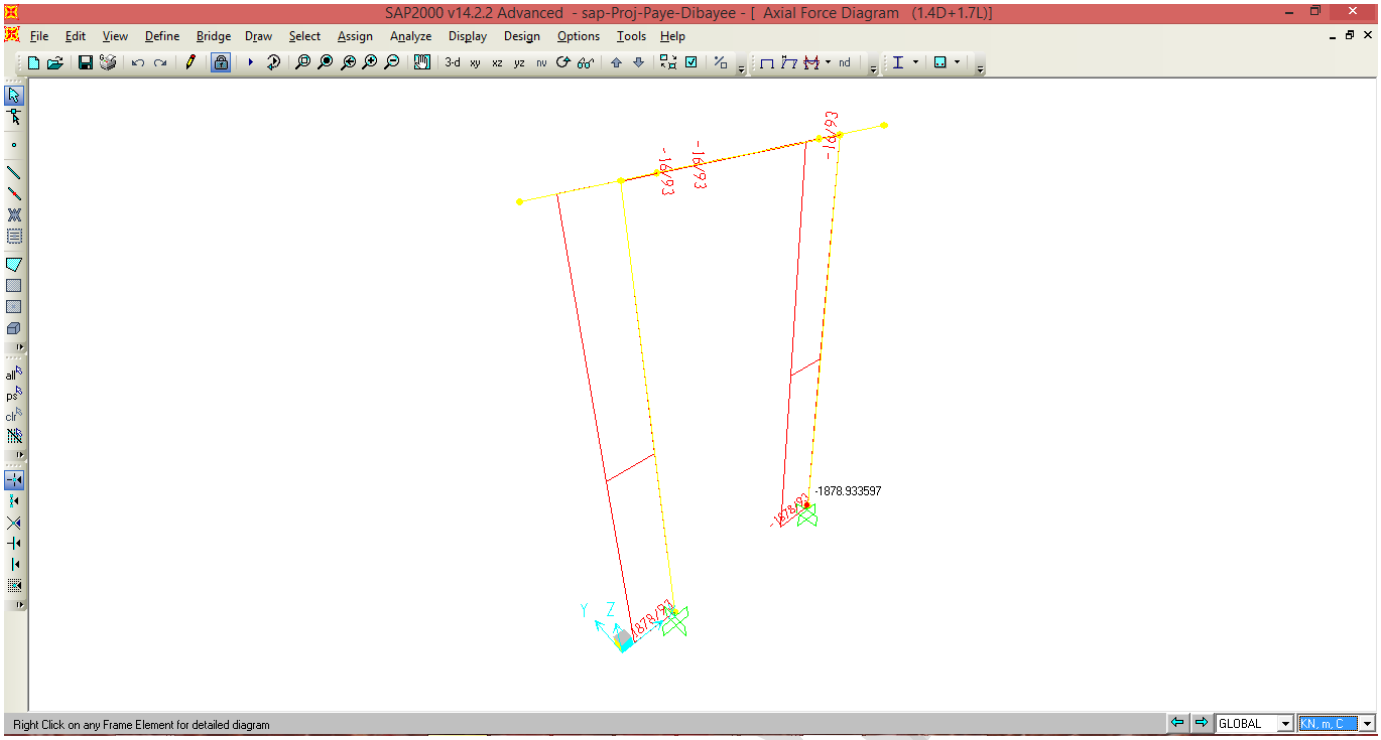
پس از اعمال بار های محاسبه شده به ستون، نتایج زیر حاصل شد.

حداکثر لنگر در جهت طولی ۱۷۴۸,۴۴ و در جهت عرضی ۵۴۴,۵۵ کیلونیوتن در متر بدست آمد.

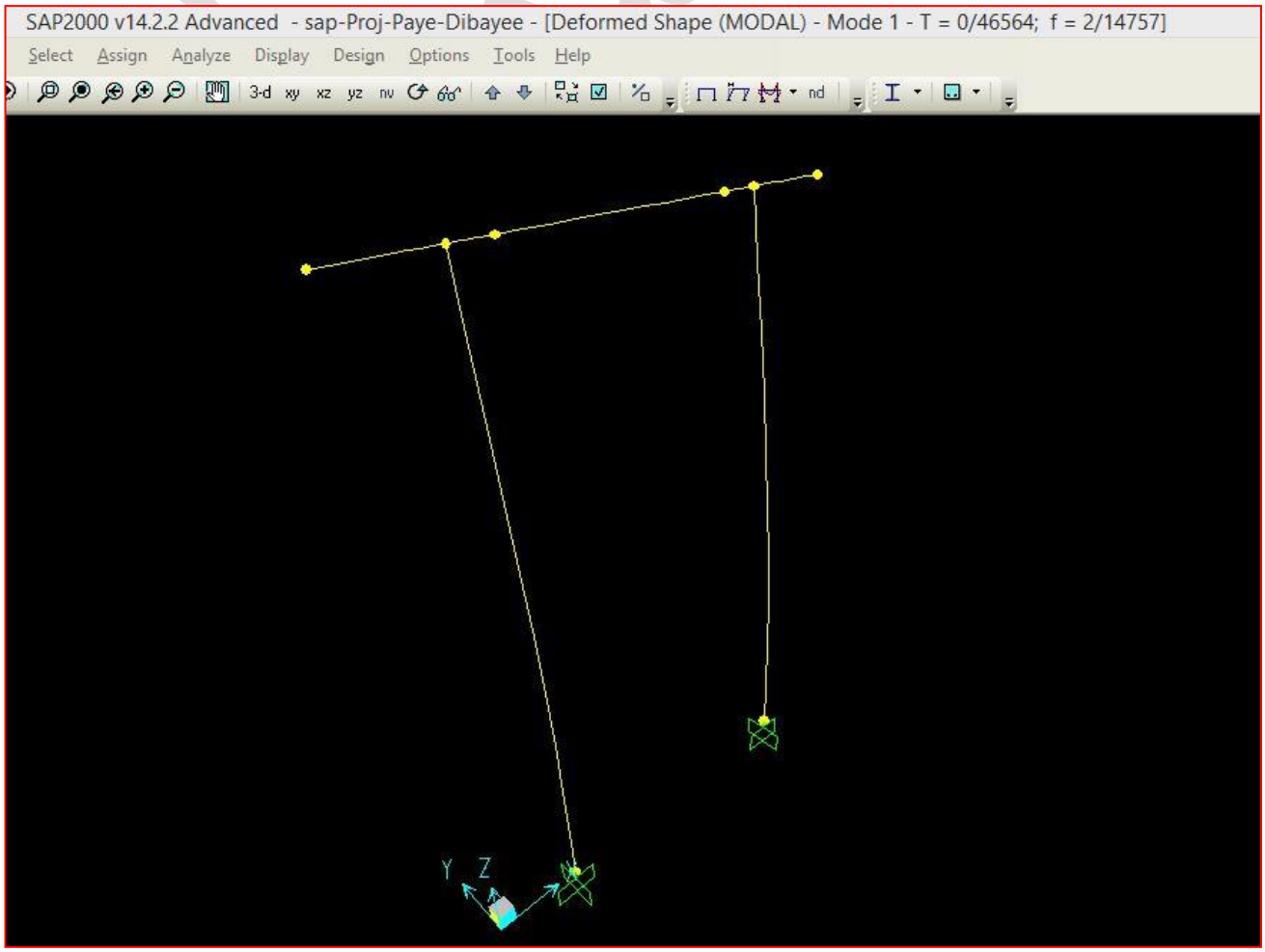
حداکثر بار محوری ستون نیز ۱۸۷۸,۹۳ کیلونیوتن بدست آمد.





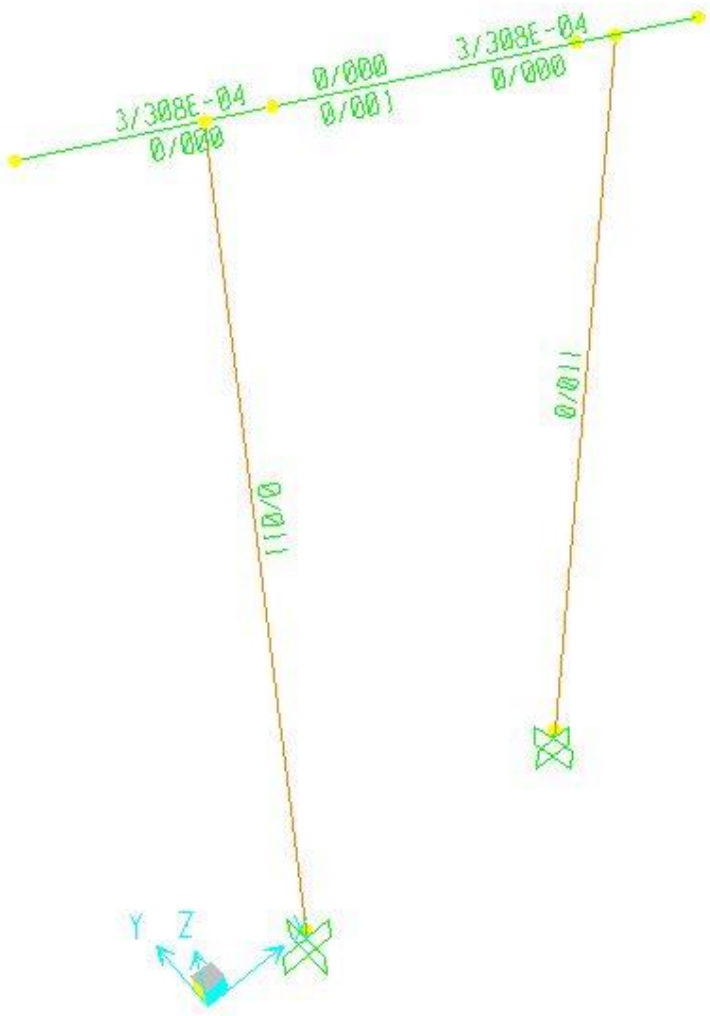


مشاهده پریود سازه در بدترین وضع:



حال با میزان لنگر برایند ومیزان بار محوری حداقل درصد آرماتور ستون را از نمودار اندرکنش استخراج می نماییم.

این میزان با استفاده از نمودار $\rho = 0.015$ استخراج شد ، درحالیکه نرم افزار عدد $\rho = 0.011$ را تحلیل نمود.



$$A_s = \rho A_g = 0.015 \times \pi \times \frac{1200^2}{4} = 16964.6\ mm^2$$

با فرض استفاده از میلگرد φ32 تعداد 22 میلگرد کافی خواهد بود.