



دفترچه محاسبات طراحی پل فولادی

سیدالیا س هاشمیان

S.elyas_hashemian@yahoo.com

سال تحصیلی ۱۳۹۳-۱۳۹۴

• تعريف مسئله

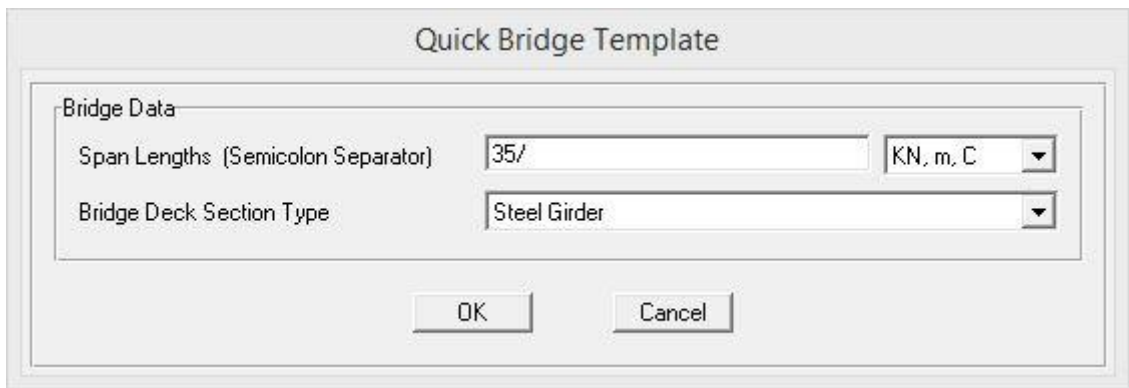
- ✓ در اين پروژه سعی بر اين شده است عرشه يک يک پل يک خطه راه به دهانه ساده ۳۵ متر و عرض کل ۶,۴ متر، شامل ۲ تير به فاصله محور به محور ۳ متر را مورد تحليل و بررسی قرار دهيم.
- ✓ تيرورق فولادی ST37 با $f_y=250 \text{ Mpa}$ و جان $۱۵۰۰*۲۰$ و بال فشاری $۴۵۰*۲۵$ و بال کششی $۵۰۰*۵۰$ و بتن دال به ضخامت ۲۰۰ ميليتر با مقاومت ۲۸ مگاپاسکال و پوشش ثانوی آسفالت ۱۰۰ میلی متر و هانچ ۷۵ ميليتر می باشد.
- ✓ پایه کناری اين پل از نوع باز بوده و دارای ارتفاع ۸ متر می باشد.
- ✓ جهت طراحی لرزه ای عناصر پل ، تيب 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.
- ✓ اين پل دارای جان پناه هایی به عرض موثر ۴۰۰ ميليتر و وزن ۴۲۰ كيلوگرم بر متر مكعب می باشد.
- ✓ همچنين قسمت پياده رو اين پل در يک سمت اين پل به اندازه عرض موثر ۱ متر به وزن ۶۰۰ كيلوگرم بر متر مكعب می باشد.
- ✓ عرض سواره رو مسير نیز ۳,۶ متر طبق نشریه ۱۳۹ برنامه و بودجه در نظر 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.
- ✓ تير سرستون ، تیری مستطیلی به عرض ۲ متر و ارتفاع ۱,۵ متر در نظر گرفته شده است.

• طراحی شاستیر فولادی

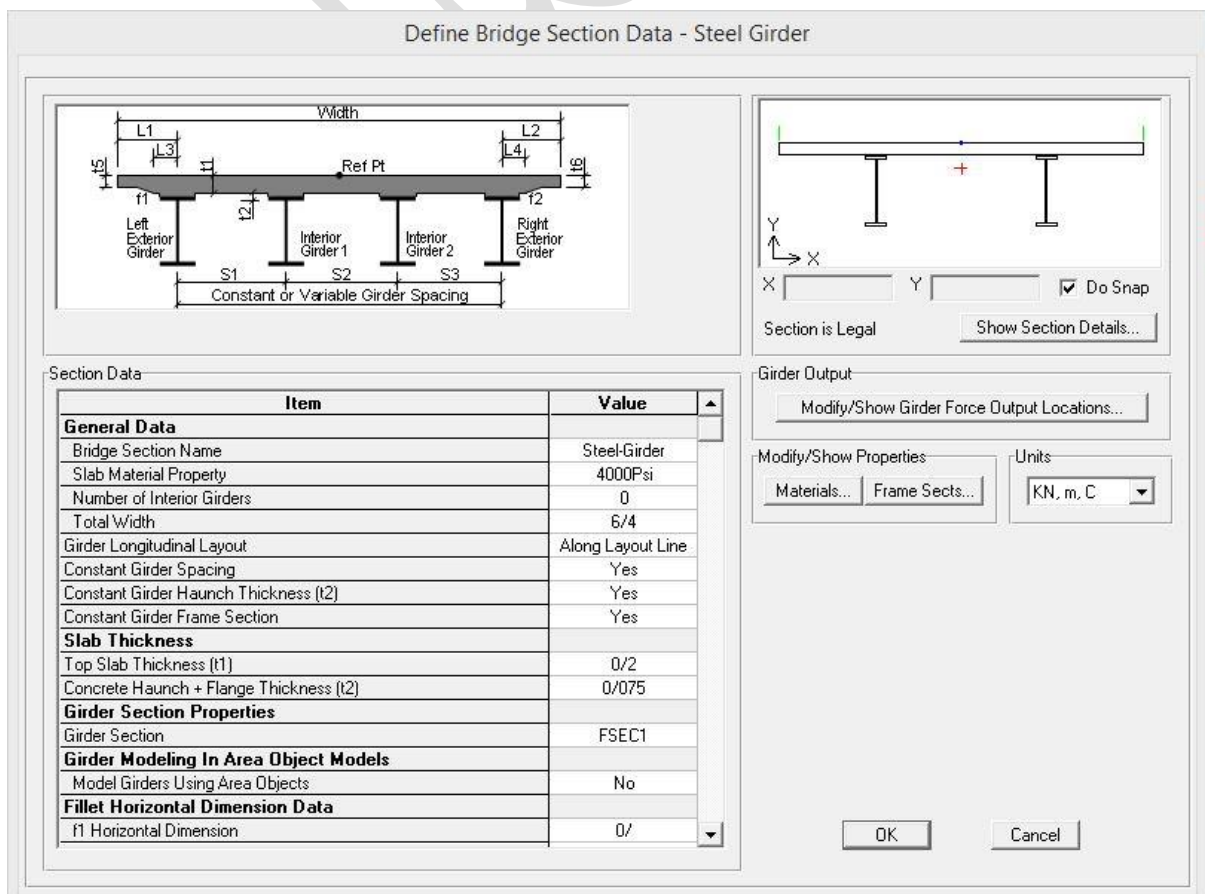
در ابتدا با مدلسازی مسئله معرفی شده در نرم افزار SAP2000 نتایج بارگذاری از نوع moving load را استخراج می نماییم، سپس با محاسبه بارگذاری بارهای مرده طراحی را در حالات مدنظر پیش میگیریم.

○ بارگذاری زنده

۱. تعریف پل



۲. ویرایش عرشه پل



Define Bridge Section Data - Steel Girder

Section is Legal Do Snap

Section Data

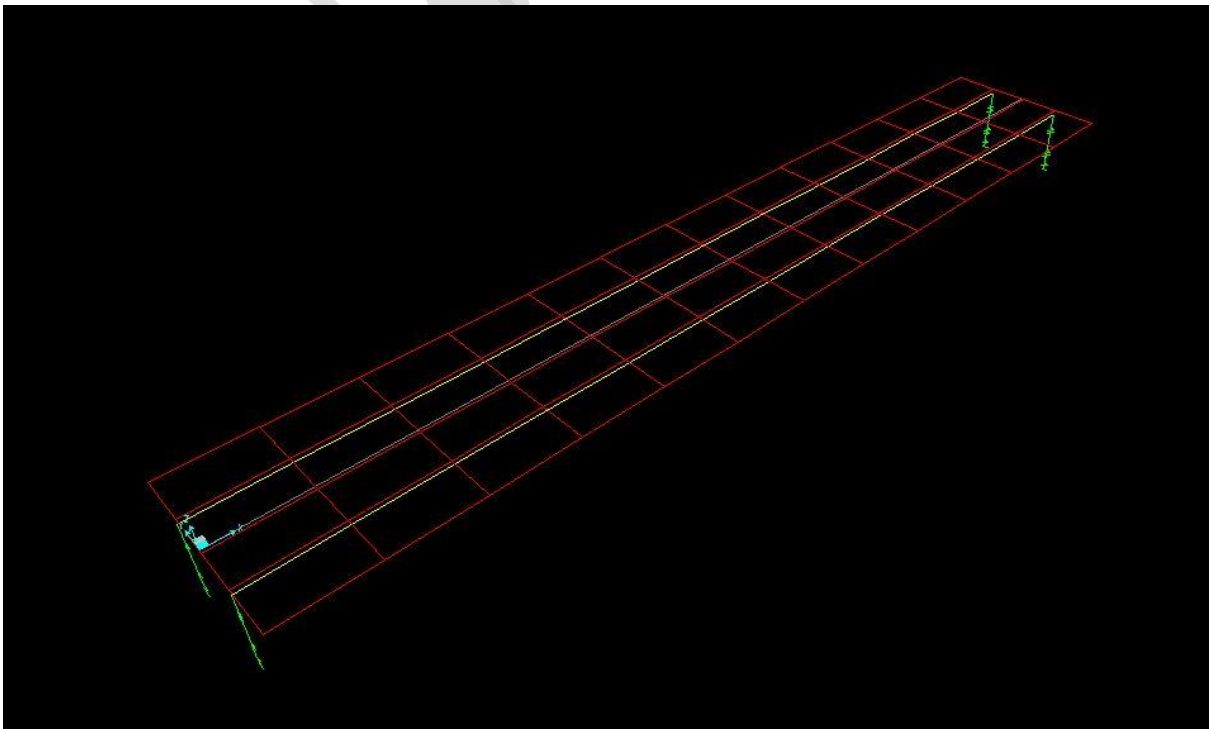
Item	Value
Fillet Horizontal Dimension Data	
f1 Horizontal Dimension	0/
f2 Horizontal Dimension	0/
Left Overhang Data	
Left Overhang Length (L1)	1/7
Left Overhang Distance to Fillet (L3)	1/7
Left Overhang Outer Thickness (t5)	0/2
Right Overhang Data	
Right Overhang Length (L2)	1/7
Right Overhang Distance 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 Properties

Units:

۳. مدل مسئله



٤. تعريف مسير

Bridge Lane Data

Lane Name

Coordinate System

Units

Maximum Lane Load Discretization Lengths

Along Lane

Across Lane

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane

Discretization Length Not Greater Than 1/ of Span Length

Discretization Length Not Greater Than 1/ of Lane Length

Lane Data

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
BLL1	35/	0/	3/6
BLL1	0/	0/	3/6
BLL1	35/	0/	3/6

Plan View (X-Y Projection)

Layout Line

Station

Bearing

Radius

Grade

X

Y

Z

Snap To Layout Line

Snap To Lane

Objects Loaded By Lane

Program Determined

Group

Lane Edge Type

Left Edge

Right Edge

Display Color ■

٥. تعريف وسيله نقلیه

General Vehicle Data

Vehicle name

Units

Floating Axle Loads

For Lane Moments Value Width Type Axle Width

For Other Responses Value Width Type Axle Width

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Load Plan

Load Elevation

Usage

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge

Lane Interior Edge

Length Effects

Axle

Uniform

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Trailing Load	Infinite		15	Lane Width				
Leading Load	Infinite		15	Lane Width				
Fixed Length	4/3		0	Lane Width		0/80	One Point	2
Fixed Length	6		0	Lane Width		160	Two Points	2
Fixed Length	1/4		0	Lane Width		160	Two Points	2
Fixed Length	4/3		0	Lane Width		0	Two Points	2
Trailing Load	Infinite		15	Lane Width				

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

6. تعريف تير فرض شده

I/Wide Flange Section

Section Name Beam

Section Notes

Properties

Property Modifiers

Material + A992Fy50

Dimensions:

Outside height (t3) 1/575

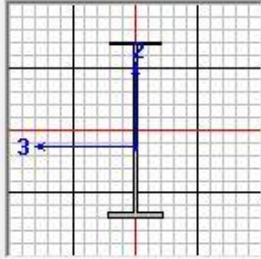
Top flange width (t2) 0/45

Top flange thickness (tf) 0/025

Web thickness (tw) 0/02

Bottom flange width (t2b) 0/5

Bottom flange thickness (tfb) 0/05



Display Color

مشخصات هندسي تير مسئله

Property Data

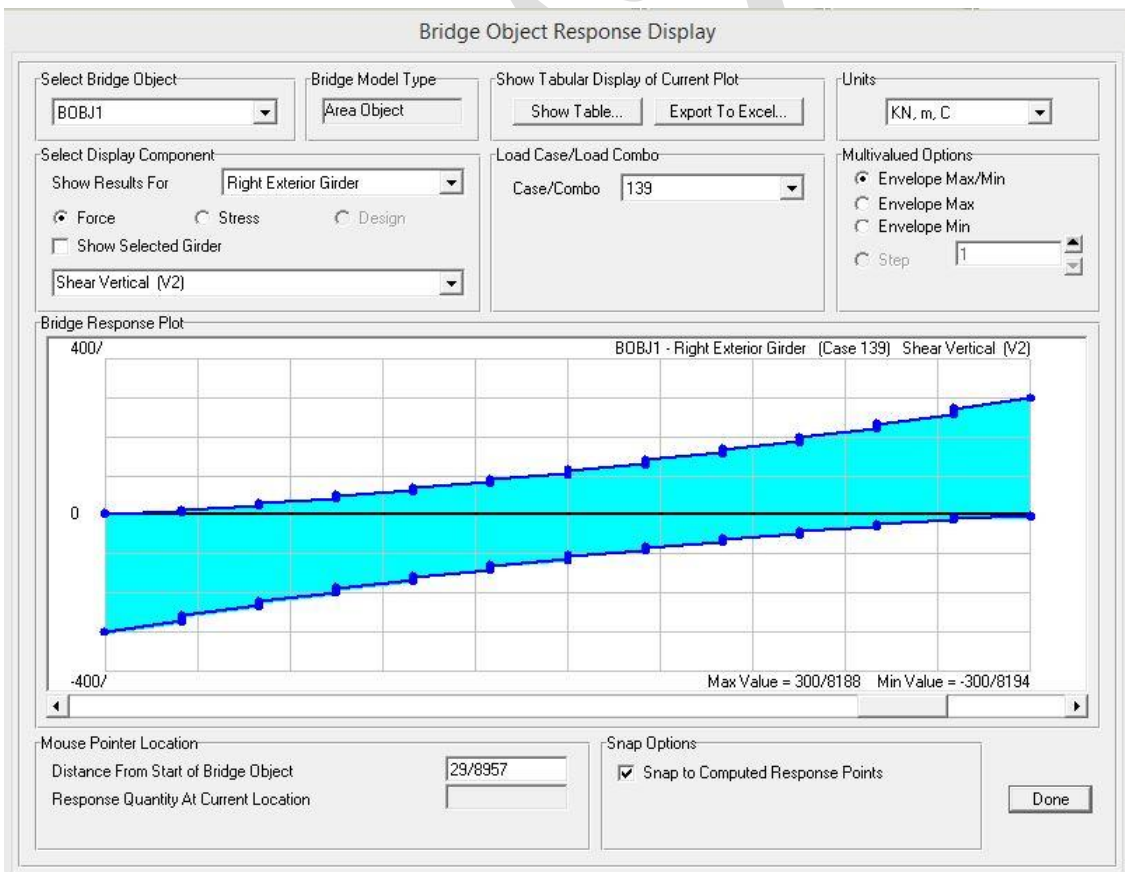
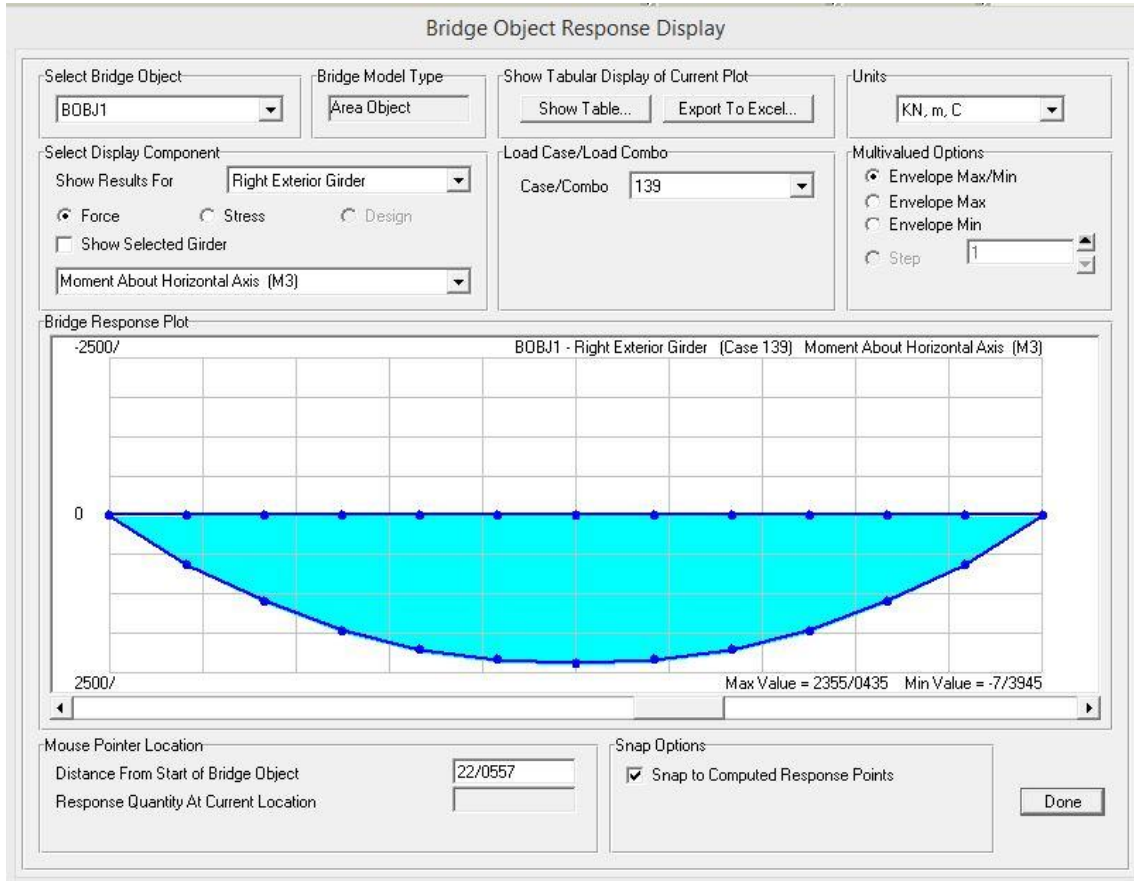
Section Name Beam

Properties:

Cross-section (axial) area	66250/	Section modulus about 3 axis	27109192
Torsional constant	25748952	Section modulus about 2 axis	2846708/3
Moment of Inertia about 3 axis	2/543E+10	Plastic modulus about 3 axis	36839844
Moment of Inertia about 2 axis	7/117E+08	Plastic modulus about 2 axis	4540625/
Shear area in 2 direction	31500/	Radius of Gyration about 3 axis	619/527
Shear area in 3 direction	30208/333	Radius of Gyration about 2 axis	103/645

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.



○ بارگذاري مرده

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

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

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

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

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

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

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

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

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

در آخر از تركيب بار LRFD استفاده مي نماييم.

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

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

○ طراحی خمشی در حالت حدی مقاومت

برای این منظور سه شرط زیر باید برقرار باشد:

1. $f_y \leq 485 \text{ Mpa}$ $f_y = 250 \text{ Mpa}$ *ok*
2. $b_f \leq \frac{D}{6}$ $450 \geq \frac{1500}{6} = 250$ *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 تاار خنثی پلاستیک در ابتدا پیدا شود و سپس شرط سوم را چک نمود. ضمناً در همین حین لنگر پلاستیک مقطع نیز محاسبه می شود.

فرض اول: محل قرارگیری 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 قرارگیری تار خنثی پلاستیک در بال فشاری قرار گیرد.

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

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

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

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.

$$M_u \leq \varphi M_n = \varphi \begin{cases} M_p & \text{if } D_p \leq 0.1D_t \\ M_p \left(1.07 - 0.7 \frac{D_p}{D_t} \right) & \end{cases}$$

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:

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

○ طراحی برشی در حالت حدی مقاومت

$$V_u \leq V_r = \phi V_n$$

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

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

$$1. \text{One Assume } d_0 = 1500 \text{ mm}$$

$$K = 5 + \frac{5}{\left(\frac{1500}{1500}\right)^2} = 10$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1500}{20} = 75$$

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

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

$$V_n = CV_p = 0.422 * 4176 = 1762.27 \text{ KN}$$

$$V_u = 1325.1375 \text{ KN} \leq 1762.27 \quad ok$$

• طراحی دال بتنی

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{\text{cr}} = S_c f_r = \frac{1000 \times 200^2}{6} \times 0.97 \sqrt{28} = 34.2 \left(\frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \right)$$

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

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

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

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

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

use $\varphi 20 @ 400$

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

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

$$M_{cr} = S_c f_r = \frac{1000 \times 200^2}{6} \times 0.97 \sqrt{28} = 34.2 \left(\frac{KN.m}{m} \right)$$

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

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

$$A_s = \frac{0.85(\phi_c f_c) b d}{\phi_s f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85(\phi_c f_c) b d^2}} \right)$$

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

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

use $\phi 20 @ 400$

○ 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.

$$0.67(749.35) = 502.1 \text{ mm}^2$$

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

use $\phi 14 @ 300$

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

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

use $\phi 14 @ 450$

• 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 نمودارهای اندرکنش موجود و یا با تحلیل نرم افزار SAP2000 میزان آرماتور طولی ستون را طرح می نماییم.

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

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

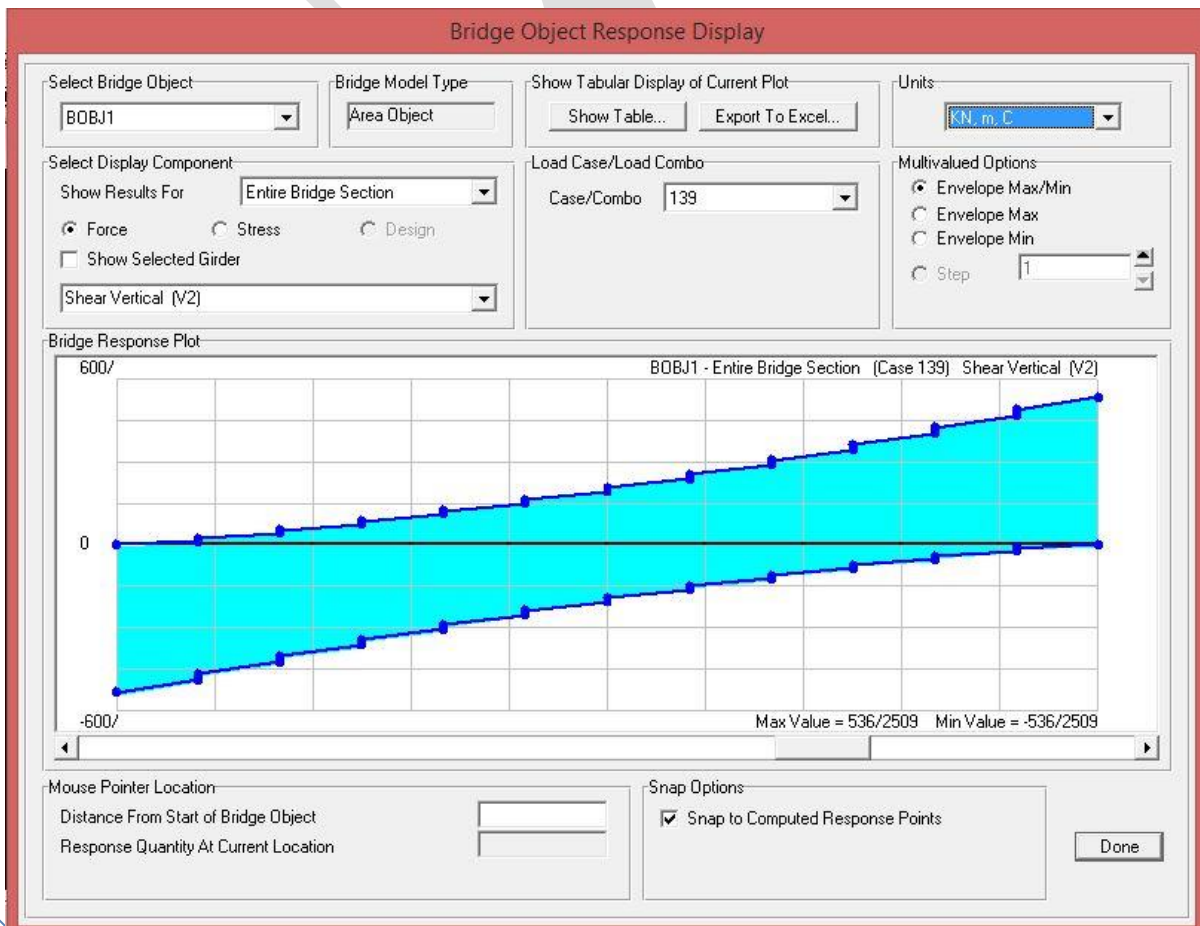
$$\text{Beam } q = 66250 * 10^{-6} * 78.1 * 2 * \frac{35}{2} = 181.1 \text{ KN}$$

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

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

$$D=560+29.53+181.1+168+215.6=1154.23 \text{ KN} \quad \text{مجموع بار های مرده وارد به یک ستون}$$

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



$$L=536.25 \text{ KN}$$

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

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

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

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

$$V_l = 0.25 \cdot 1127 = 281.75 \text{ KN}$$

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

$$V_t = 0.132 \cdot 1127 = 148.764 \text{ KN}$$

بارهایی که به تیر وارد می شوند:

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

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

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

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

بارهایی که به سر ستون وارد می شوند:

$$V_l = 0.22 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 25 = 16.5 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

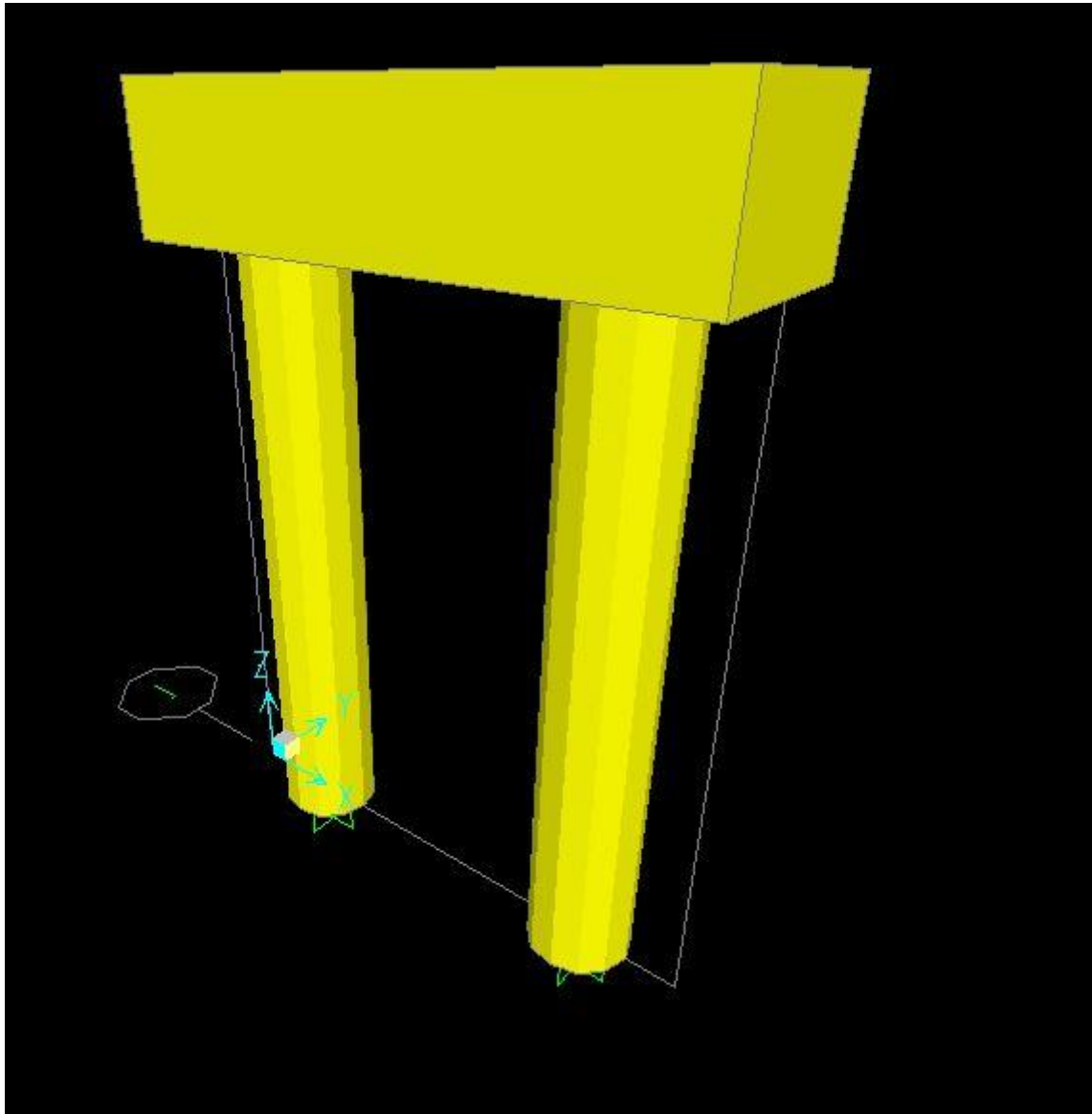
$$V_t = 0.132 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 25 = 9.9 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

بارهایی که به سر ستون وارد می شوند:

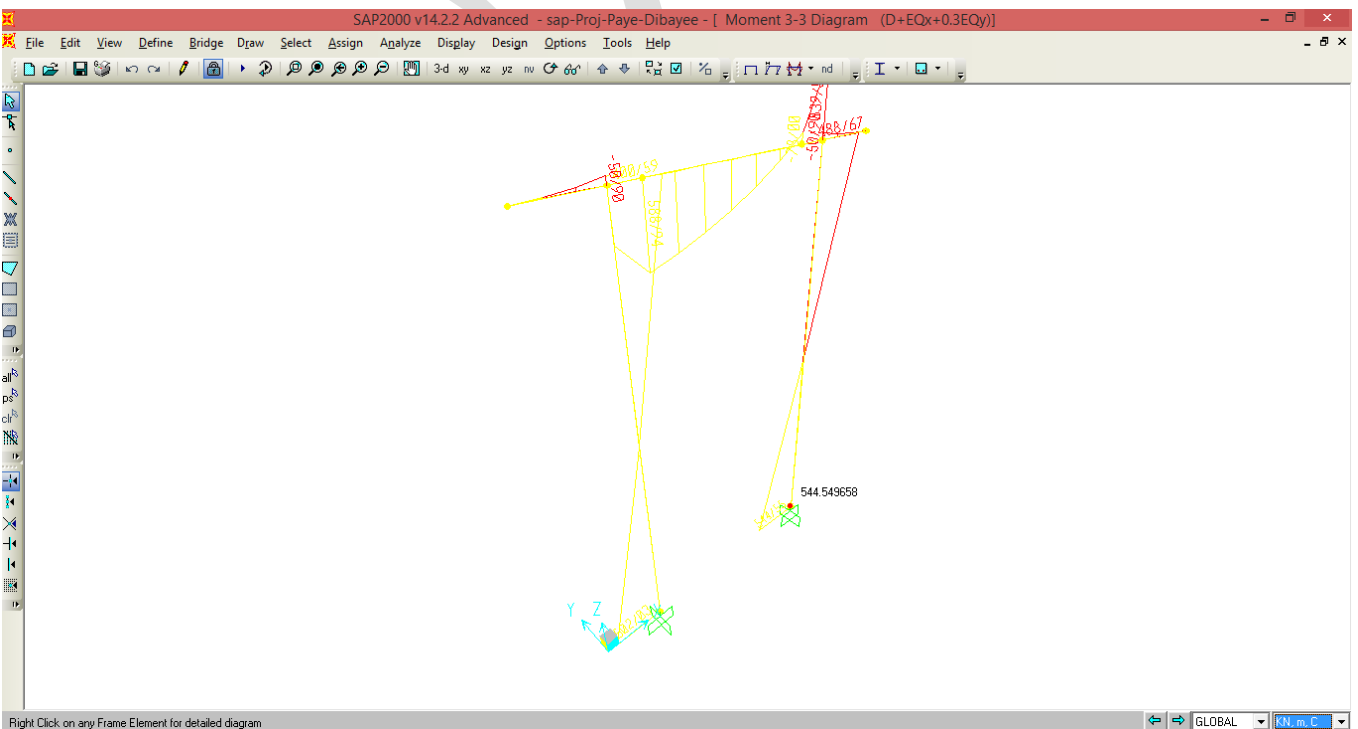
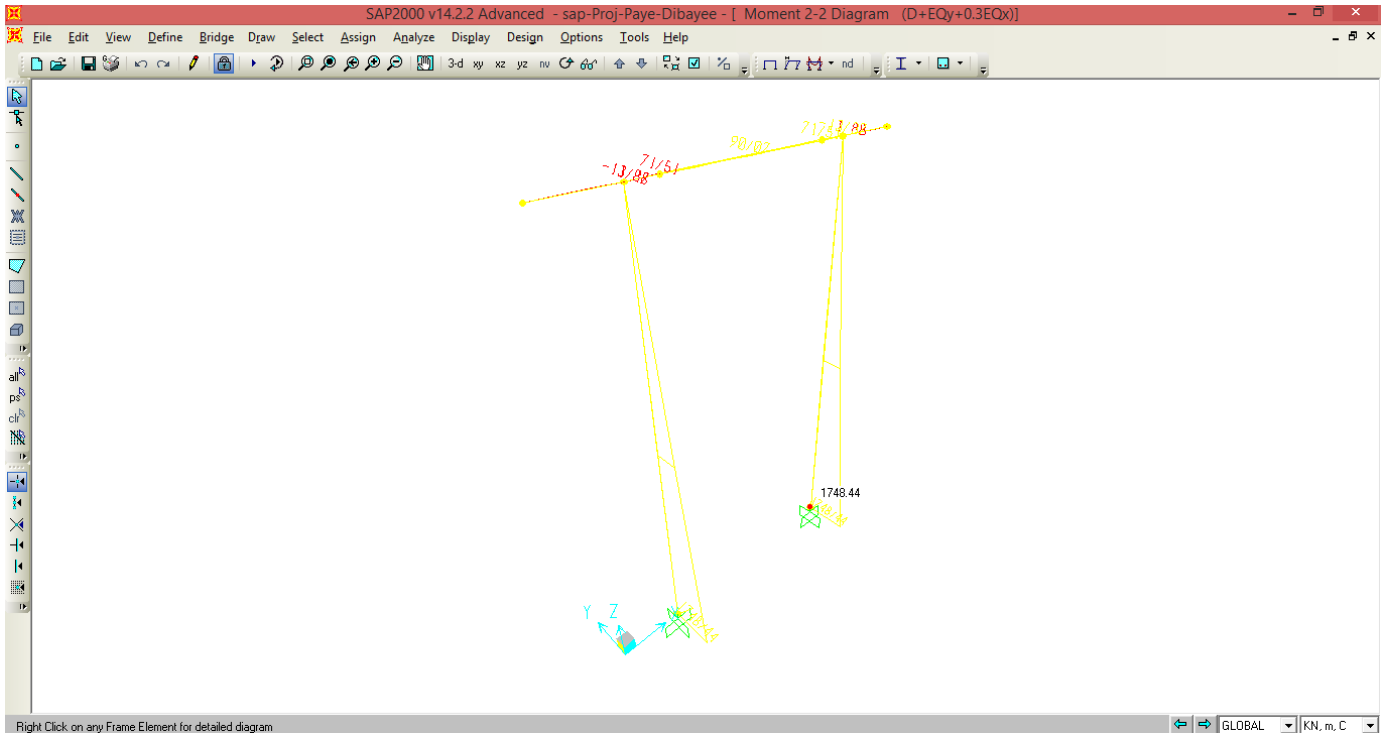
$$V_l = 0.22 * \pi * \frac{1.2^2}{4} * 25 = 6.22 \frac{KN}{m}$$

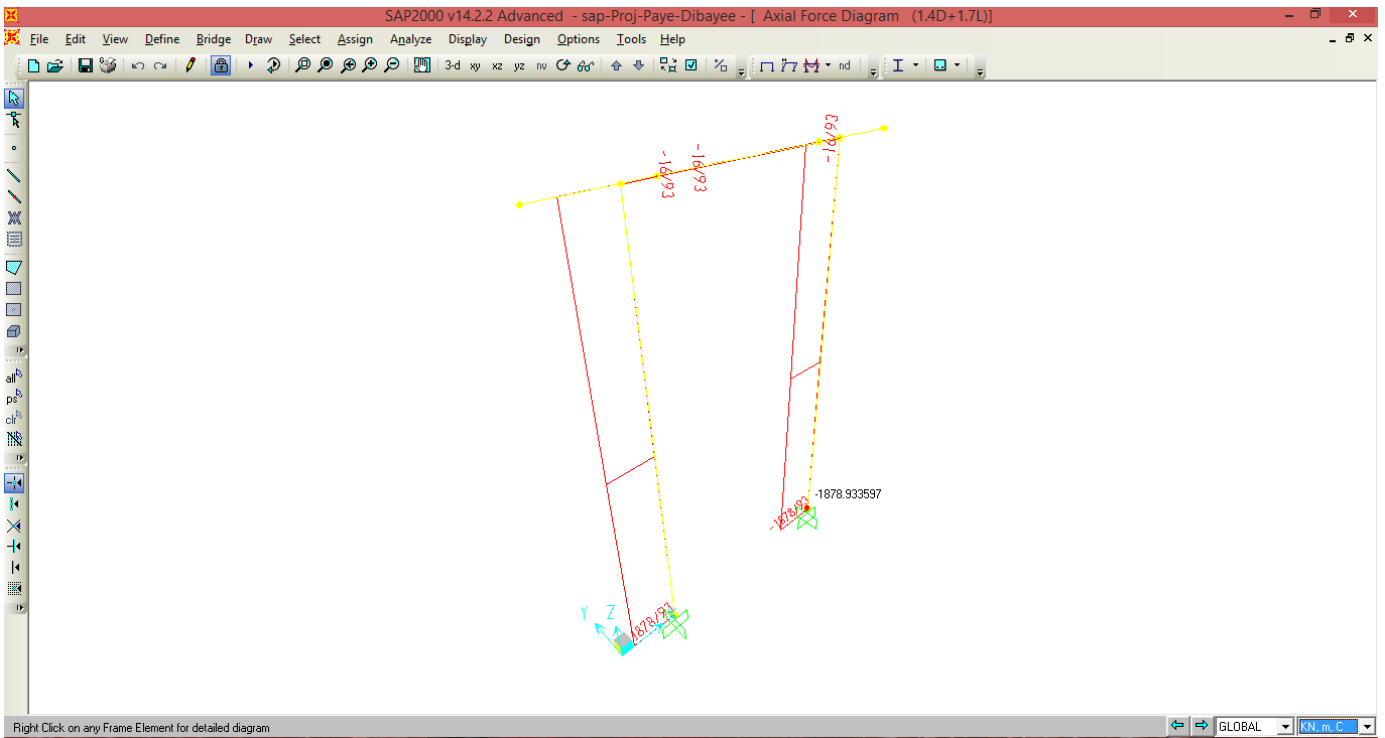
$$V_t = 0.132 * \pi * \frac{1.2^2}{4} * 25 = 3.732 \frac{KN}{m}$$

آنالیز مدل :

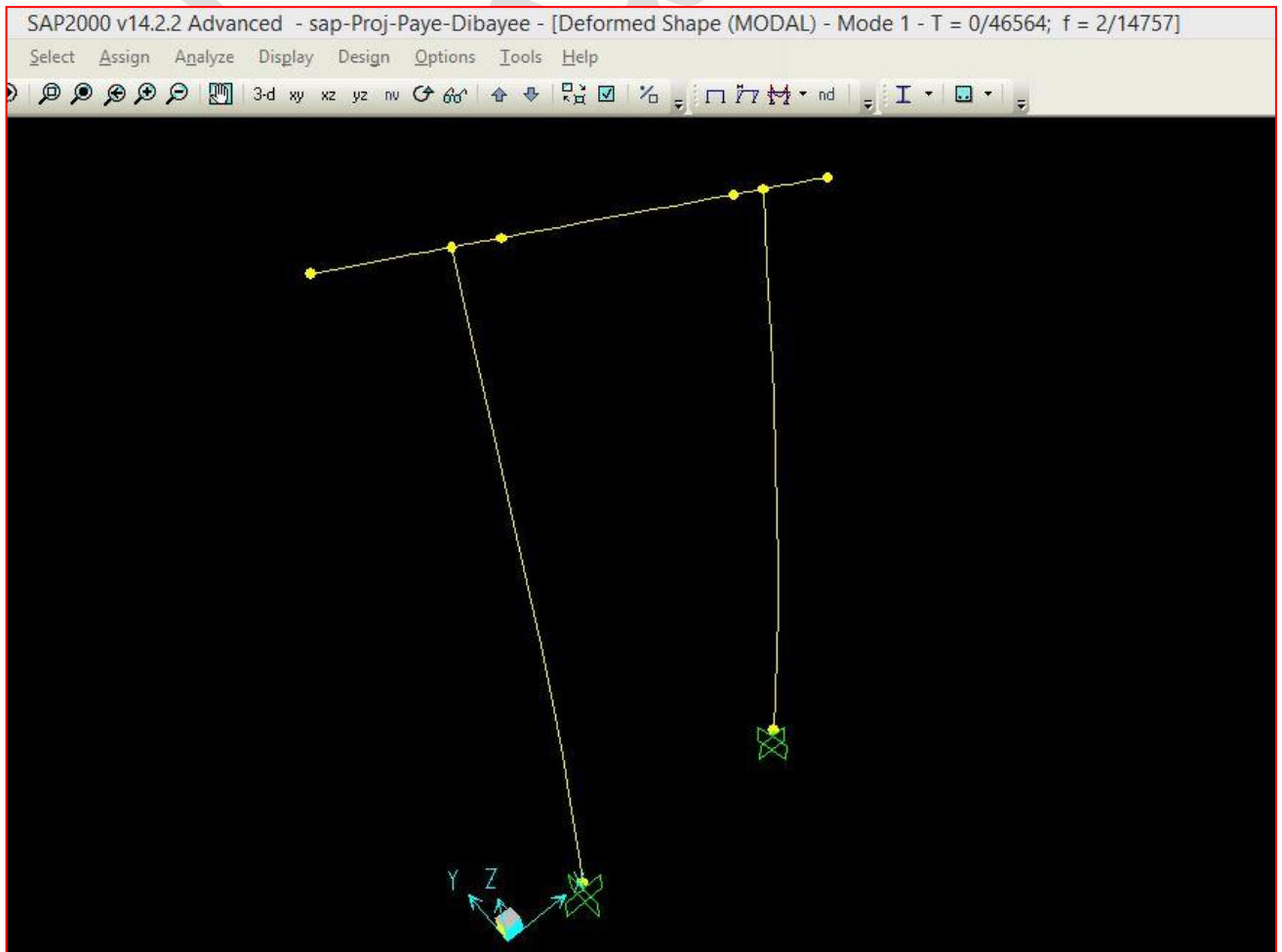


پس از اعمال بار های محاسبه شده به ستون، نتایج زیر حاصل شد.
 حداکثر لنگر در جهت طولی ۱۷۴۸,۴۴ و در جهت عرضی ۵۴۴,۵۵ کیلونیوتن در متر بدست آمد.
 حداکثر بار محوری ستون نیز ۱۸۷۸,۹۳ کیلونیوتن بدست آمد.



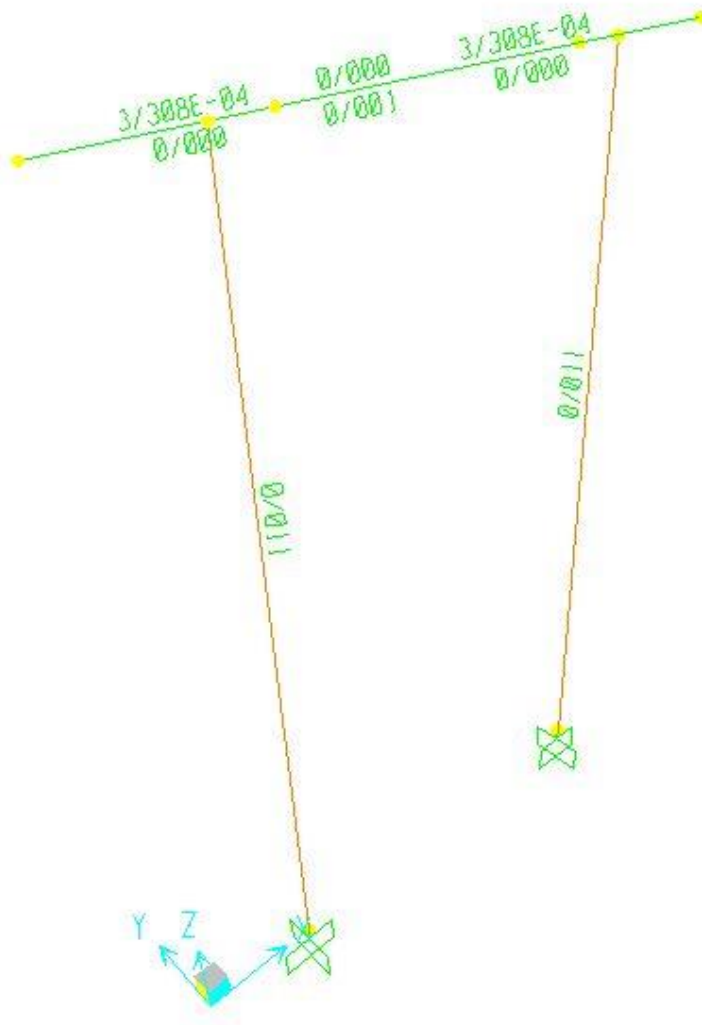


مشاهده پریود سازه در بدترین وضع:



حال با میزان لنگر برآیند و میزان 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.



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

با فرض استفاده از میلگرد $\phi 32$ تعداد 22 میلگرد کافی خواهد بود.