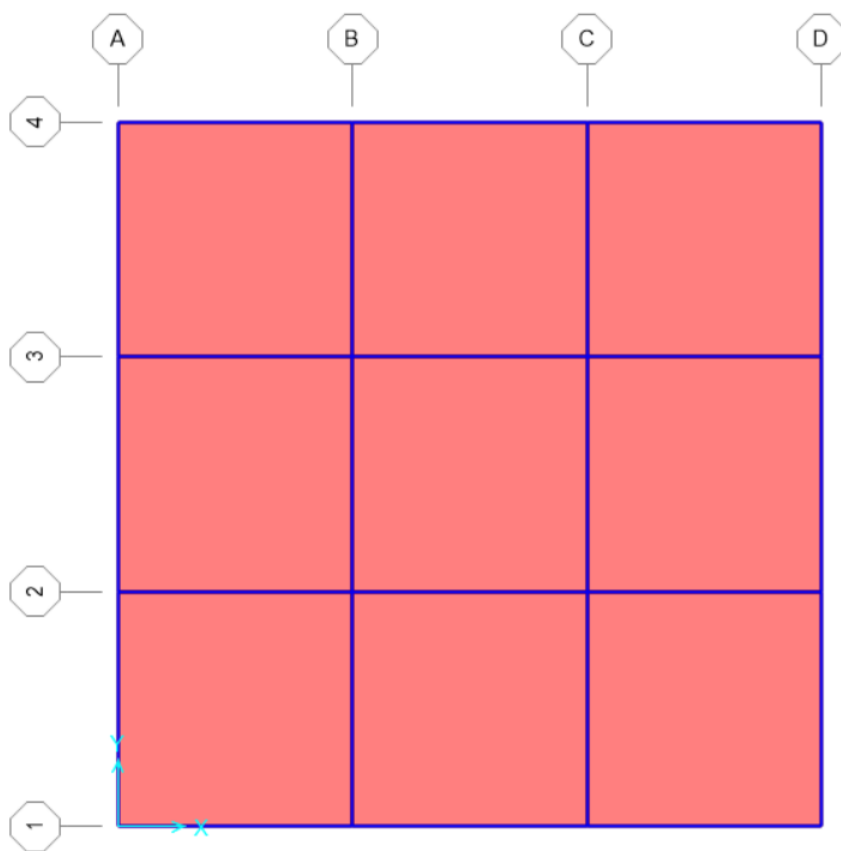


۳-۱- مقدمه

در این تحقیق به مدلسازی، نحوه تحلیل و طراحی سازه‌های مورد بررسی پرداخته شده است. در این راستا نرم افزار مربوطه معرفی و مختصراً به کلیات مدلسازی، بارگذاری، آیین نامه‌های مورد استفاده و روش‌های بکار رفته در تحلیل سازه‌ها اشاره شده است. همچنین توضیحاتی در ارتباط با نحوه مدلسازی جداگر و ساخت توالی لرزه‌ای آورده شده و سازه‌ها در حالت بدون جداگر و با مدلسازی جداگر در طبقات مختلف و برای انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی و بررسی رفتار و عملکرد لرزه‌ای آماده شده‌اند.

۳-۲- معرفی هندسه سازه‌ها

سازه‌های در نظر گرفته شده برای این تحقیق سازه‌های سه بعدی با ۳ دهانه در هر جهت بوده و طول هر دهانه برابر ۵ متر بوده و ۴ سازه با تعداد طبقات ۵، ۷، ۹ و ۱۲ طبقه با ارتفاع طبقات ۳ متر در نظر گرفته شده است. سازه‌ها در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد و نوع زمین III واقع شده‌اند و کاربری سازه‌ها مسکونی بوده و سیستم سازه از نوع قاب خمشی بتنی ویژه می‌باشد.



شکل ۳-۱، پلان ساختمان

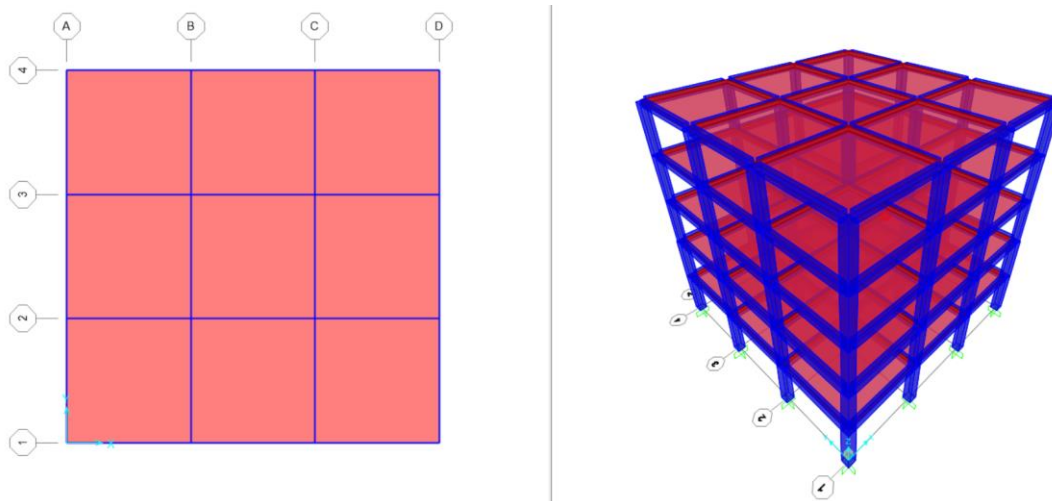
۳-۲-۱- معرفی سازه‌های مورد مطالعه

در جدول (۱-۳) مشخصات قاب‌های مورد مطالعه در این پژوهش آورده شده است.

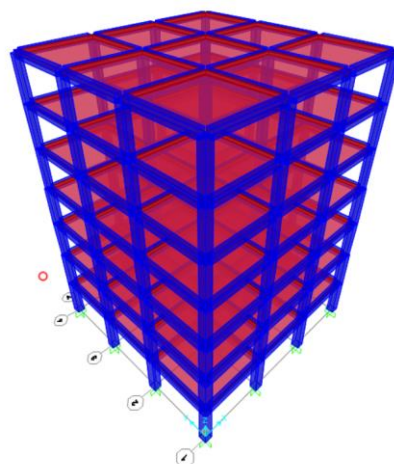
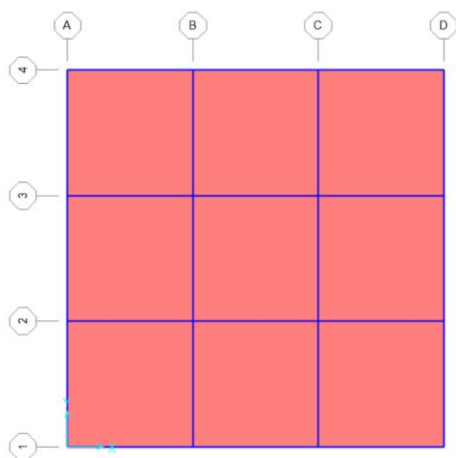
جدول ۱-۳، مشخصات قاب‌های مورد مطالعه

تعداد طبقات	تعداد دهانه	ارتفاع طبقات	شکل پذیری
قاب ۵ طبقه بتنی خمشی	۳	۳ متر	ویژه
قاب ۷ طبقه بتنی خمشی	۳	۳ متر	ویژه
قاب ۹ طبقه بتنی خمشی	۳	۳ متر	ویژه
قاب ۱۲ طبقه بتنی خمشی	۳	۳ متر	ویژه

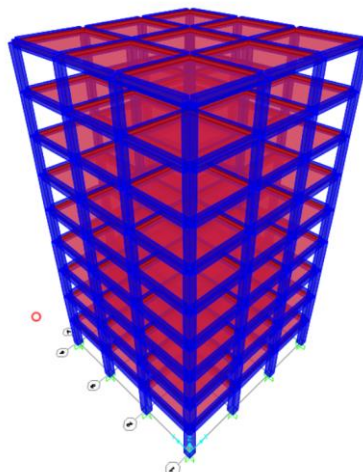
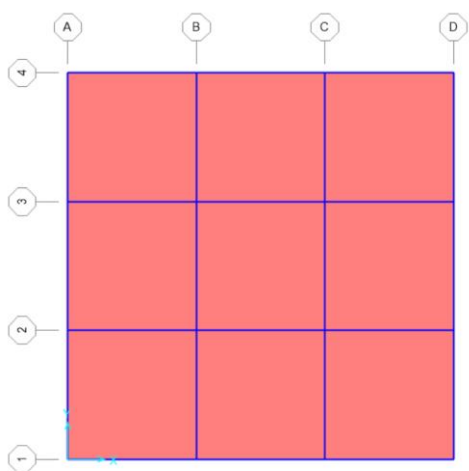
در اشکال (۲-۳) تا (۵-۳) سازه‌های مدلسازی شده در نرم‌افزار به ترتیب برای سازه‌های ۵، ۷، ۹ و ۱۲ طبقه نشان داده شده است.



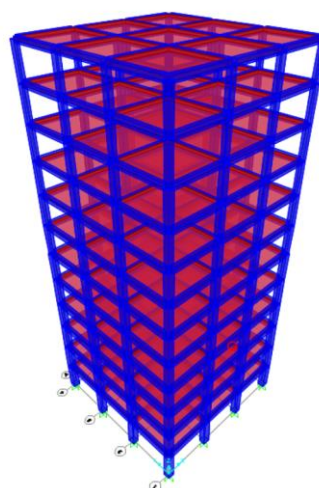
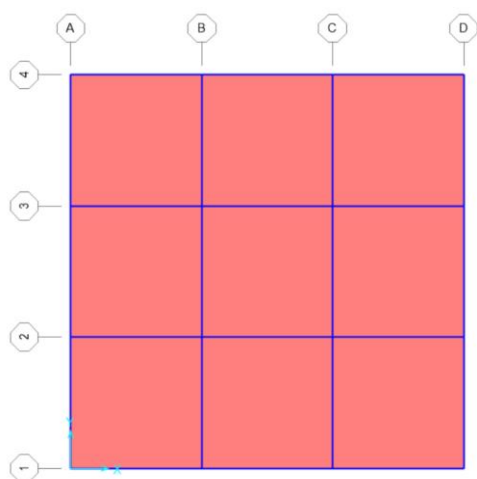
شکل ۲-۳، مدلسازی سازه ۵ طبقه در نرم‌افزار



شکل ۳-۳، مدلسازی سازه ۷ طبقه در نرم افزار



شکل ۴-۳، مدلسازی سازه ۹ طبقه در نرم افزار



شکل ۳-۵، مدلسازی سازه ۱۲ طبقه در نرم افزار

۳-۲-۲- مصالح مورد استفاده

از دو نوع مصالح بتن و میلگرد استفاده خواهد شد که مشخصات آنها مطابق جداول (۳-۲) تا (۳-۴) خواهد بود.

جدول ۳-۲، مشخصات مصالح بتن

مشخصات	وزن مخصوص	مدول الاستیسیته	نسبت پوآسون	ضریب انبساط حرارتی	مقاومت فشاری بتن
واحد	kgf/m^3	Mpa	---	$1/^\circ C$	Mpa
مقدار	2500	26500	0.15	0.00001	25

جدول ۳-۳، مشخصات مصالح میلگردهای طولی (S400)

مشخصات	وزن مخصوص	مدول الاستیسیته	ضریب انبساط حرارتی	مقاومت تسلیم	مقاومت گسیختگی	مقاومت تسلیم مورد انتظار	مقاومت گسیختگی مورد انتظار
واحد	kgf/m^3	Mpa	$1/^\circ C$	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
مقدار	7850	200000	0.000012	400	600	500	750

جدول ۳-۳، مشخصات مصالح میلگردهای عرضی (S340)

مشخصات	وزن مخصوص	مدول الاستیسیته	ضریب انبساط حرارتی	مقاومت تسلیم	مقاومت گسیختگی	مقاومت تسلیم مورد انتظار	مقاومت گسیختگی مورد انتظار
واحد	kgf/m^3	Mpa	$1/^\circ C$	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
مقدار	7850	200000	0.000012	340	500	425	625

۳-۲-۳- مقاطع مورد استفاده

تمامی مقاطع سازه با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل و انجام کنترل نیرو به ظرفیت مقاطع، کنترل تیر ضعیف - ستون قوی و کنترل تغییر مکان نسبی طبقات (دریافت) به دست آمده است که در جدول (۳-۴) مقاطع تیرهای مورد استفاده و در جدول (۳-۵) مقاطع ستونهای مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول ۳-۴، مقاطع تیرهای مورد استفاده

سازه	طبقات	ارتفاع (cm)	عرض (cm)
سازه ۵ طبقه	طبقات ۱ و ۲	۴۵	۳۵
	طبقات ۱ تا ۵	۴۰	۳۰
سازه ۷ طبقه	طبقات ۱ تا ۳	۵۰	۴۰
	طبقات ۴ تا ۷	۴۵	۳۵
سازه ۹ طبقه	طبقات ۱ تا ۵	۵۵	۴۵
	طبقات ۶ تا ۱۰	۵۰	۴۰
	طبقات ۱۱ تا ۱۵	۴۵	۳۵
سازه ۱۲ طبقه	طبقات ۱ تا ۴	۵۵	۴۵
	طبقات ۵ تا ۸	۵۰	۴۰
	طبقات ۹ تا ۱۲	۴۵	۳۵

جدول ۳-۵، مقاطع ستون‌های مورد استفاده

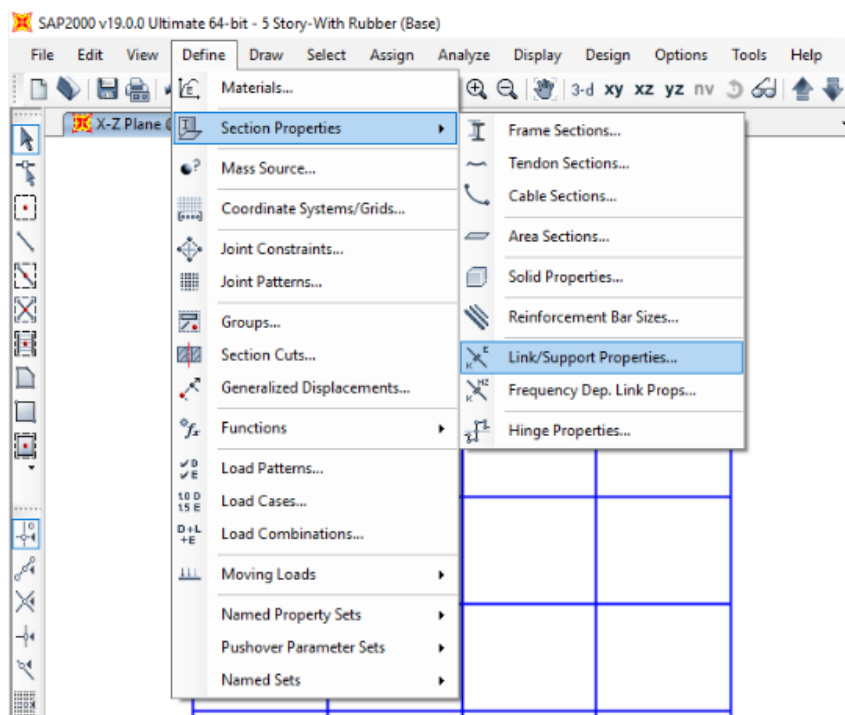
سازه	طبقات	ارتفاع	عرض	آرماتورگذاری
سازه ۵ طبقه	طبقه ۱ و ۲	۵۰	۵۰	20Ø20
	طبقات ۳ تا ۵	۴۵	۴۵	14Ø20
سازه ۷ طبقه	طبقه ۱ و ۲	۵۵	۵۵	20Ø20
	طبقات ۳ و ۴	۵۰	۵۰	16Ø20
	طبقات ۵ تا ۷	۴۵	۴۵	14Ø20
سازه ۹ طبقه	طبقات ۱ تا ۳	۶۰	۶۰	20Ø20
	طبقات ۴ تا ۶	۵۵	۵۵	18Ø20
	طبقات ۷ تا ۹	۵۰	۵۰	16Ø20
	طبقات ۱۰ تا ۱۲	۴۵	۴۵	14Ø20
سازه ۱۲ طبقه	طبقات ۱ و ۲	۶۵	۶۵	22Ø20
	طبقات ۳ و ۴	۶۰	۶۰	20Ø20
	طبقات ۵ و ۶	۵۵	۵۵	18Ø20
	طبقات ۷ و ۸	۵۰	۵۰	16Ø20
	طبقات ۹ و ۱۰	۴۵	۴۵	14Ø20
	طبقات ۱۱ و ۱۲	۴۰	۴۰	12Ø20

۳-۳- مدل‌سازی و مشخصات جداگر هسته سربی (LRB)

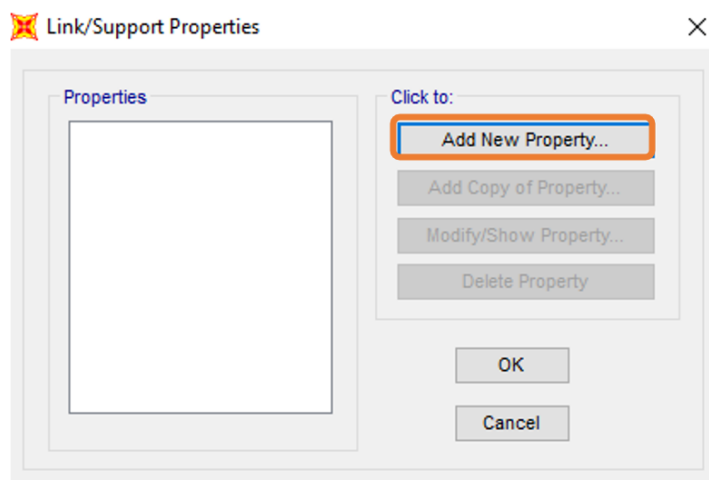
مدلسازی جداساز لاستیکی سربی در برنامه SAP2000 در دو حالت خطی و غیرخطی صورت می‌گیرد در حالت خطی فقط مشخصات حالت خطی جداساز را وارد می‌کنیم که این مشخصات عبارتند از سختی موثر (Effective stiffness) و میرایی موثر (Effective damping) جداساز، که در قسمت Linear analysis case از پنجره Link Support Property Data معرفی می‌شود. برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی در جداساز باید مقادیر مربوط به سختی اولیه جداساز (Stiffness)، مقاومت تسلیم هسته سربی (Yield stress) و نسبت سختی ثانویه به اولیه (Post yield)

stiffness ratio) را در قسمت مربوطه وارد نمود. در این قسمت برای نمونه نحوه معرفی مشخصات جداساز سربی مورد استفاده برای مدل ۵ طبقه در برنامه SAP2000 ارائه می‌شود.

ابتدا از منوی Define روی گزینه Section Properties و سپس روی دکمه Link/ Support Properties مطابق شکل (۳-۶) کلیک می‌کنیم تا پنجره Link/ Support Property که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است باز شود در این پنجره روی دکمه Add New Property باز شود در پنجره باز شده با انتخاب جداساز سربی (Rubber Isolator) شروع به وارد کردن اطلاعات می‌نماییم. در انتها با بستن پنجره‌ها به تعریف جداساز پایان می‌دهیم.



شکل ۳-۶، تعریف جداگر در نرم‌افزار SAP2000



شکل ۳-۷، ایجاد جداگر در نرم‌افزار SAP2000

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Rubber Isolator
 Property Name: LRB
 Property Notes:
 Set Default Name
 Modify/Show...

P-Delta Parameters
☒ Shear Couple
☐ Equal End Moments
☐ Advanced
 Modify/Show

Total Mass and Weight
 Mass: 0.
 Weight: 0.
 Rotational Inertia 1: 0.
 Rotational Inertia 2: 0.
 Rotational Inertia 3: 0.

Factors For Line, Area and Solid Springs
 Property is Defined for This Length in a Line Spring: 1.
 Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs: 1.

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	Nonlinear	Properties
☒ U1	☒	☐	Modify/Show for U1...	☒ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...	☒ R2	☒	☐	Modify/Show for R2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...	☒ R3	☒	☐	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

Stiffness Options
 Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear
 Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)
 Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1.

OK Cancel

شکل ۳-۸، مشخص نمودن نوع جداگر و تنظیم درجات آزادی آن در نرم افزار SAP2000

Link/Support Directional Properties

Identification
 Property Name: LRB
 Direction: U2
 Type: Rubber Isolator
 NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases
 Effective Stiffness: 1283592.
 Effective Damping: 61287.

Shear Deformation Location
 Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases
 Stiffness: 12458809.
 Yield Strength: 3771.1
 Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

شکل ۳-۹، اعمال مشخصات جداگر در نرم افزار SAP2000

جدول نمونه از مشخصات یک نمونه لاستیک که در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت بریچستون منتشر شده است رابطه بین سختی الاستومر و سایر مشخصات آن را در موارد آزمایش شده نشان می‌دهد.

جدول ۳-۷، خصوصیات انواع لاستیک

Rubber Hardness IRHD ± 2	Young's Modulus E (N/cm ²)	Shear Modulus G (N/cm ²)	Modified Factor k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.8
50	220	64	0.73
55	325	81	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	735	173	0.53
75	940	222	0.52

در این تحقیق از لاستیک IRHD50 استفاده خواهیم نمود.

$$E = 4.45 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$G = 1.06 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$k = 0.57$$

- محاسبه ارتفاع کل لایه‌های لاستیک

لاستیک طبیعی ماده‌ای ویسکوالاستیک می‌باشد که توانایی رسیدن به کرنش‌های برشی تا ۳۰۰ درصد را بدون ایجاد گسیختگی در سطح آن داراست. معمولاً برای اهداف طراحی کرنش برشی کمتر از ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت با توجه به مراجع معتبر کرنش برشی ۵۰ درصد به عنوان کرنش طراحی لاستیک فرض شده است. ارتفاع لاستیک طوری تعیین می‌شود که در سطح طراحی به حداکثر ۵۰ درصد برسد.

$$\gamma_{max} = 50\% \quad \text{کرنش برشی ماکزیمم}$$

$$t = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

برای محاسبه جابجایی طرح (D_D) خواهیم داشت:

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{S_{D1} T_D}{B_D}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S M_1 = \frac{2}{3} \times 0.4 = 0.27$$

$$S M_1 = F_v \cdot S_1 = 0.8 \times 0.5 = 0.4$$

$$\beta = 15\% \rightarrow B_D = 1.35$$

برای زمان تناوب طراحی جداگر بایستی زمان تناوب سازه محاسبه شده و سه برابر آن در طراحی مد نظر قرار گیرد که بدین منظور خواهیم داشت:

$$T = 0.05H^{0.9} = 0.05 \times 16^{0.9} = 0.606 \text{ sec} \rightarrow T_D = 3 \times 0.606 = 1.818 \text{ sec}$$

$$D_D = \frac{9.81}{4\pi^2} \times \frac{0.27 \times 1.818}{1.35} = 0.09 \text{ m}$$

- طراحی سیستم سربی (Lead Plug)

هسته سربی برای تامین سختی اولیه مورد نیاز در تکیه‌گاه و از بین بردن انرژی ارتعاشی در زلزله‌های نسبتاً شدید و شدید از طریق فرایند تسلیم سرب طراحی می‌شود. در طراحی هسته سربی با در نظر گرفتن سختی پیش از تسلیم و سختی پس از تسلیم و رفتار دو خطی نیرو - تغییر مکان، بین مقاومت مشخصه Q_d با میزان انرژی مستهلک شده W_d یا نسبت میرایی موثر ξ_{eff} روابط زیر برقرار می‌گردد. انرژی تلف شده در هر سیکل برابر است با:

$$W_d = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

مساحت حلقه هیستریزیس در سطح جابجایی D برابر است با:

$$W_d = 4Q_d(D - D_y)$$

با صرف نظر کردن از مقدار D_y در مقابل D مقدار مقاومت تسلیم سرب Q_d برابر است با:

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}}, Q_d \cong \frac{W_d}{4D}$$

- محاسبه سختی موثر حداقل و حداکثر

در این مرحله سختی موثر حداقل و حداکثر جداگر را بایستی به دست آوریم. بدین منظور به وزن لرزه‌ای سازه نیازمند می‌باشیم. اما از آنجایی که سازه هنوز طراحی نگشته است بنابراین وزن لرزه‌ای سازه برای سازه ۵ طبقه به صورت جدول ۷-۲ در نظر می‌گیریم. بدیهی است که پس از مرحله طراحی سازه روی جداگر این وزن مفروض دوباره بایستی اصلاح گردد. از آنجا که این اصلاح فقط مربوط به وزن المان‌ها سازه خواهد بود بنابراین تغییر چندانی در نتایج وجود نخواهد داشت.

از آنجاکه نرم افزار SAP2000 جرم لرزه‌ای طبقه را بطور مستقیم محاسبه نمی‌نماید. بنابراین این جرم را بصورت دستی محاسبه می‌نمائیم که وزن لرزه‌ای شامل وزن کف طبقات، دیوارها و اعضای اصلی سازه می‌باشد.

وزن لرزه‌ای کف طبقات:

$$W = A \times (DL + 0.2LL)$$

$$A = 16 \times 16 = 256 \text{ m}^2$$

$$W = 256 \times (600 + 0.2 \times 200) = 163840 \text{ kg}$$

وزن لرزه‌ای دیوارها:

$$L = 64 \text{ m}$$

$$W = 350 \times 64 \times 2.8 = 62720 \text{ kg}$$

وزن لرزه‌ای اسکلت سازه:

این وزن را می‌توانیم از نرم افزار برداشت نمائیم:

جدول ۳-۸، وزن اسکلت سازه

TABLE: Material List 2 - By Section Property				
Section	Type Object	Pieces Num	Total Length	Weight Total
Text	Text	Unitless	m	Kgf
B40X30	Frame	80	320	96000
B45X35	Frame	120	480	189000
C40X40-12T16	Frame	75	240	96000
C45X45-12T16	Frame	50	160	81000

وزن گزارش شده توسط نرم افزار وزن کل سازه می‌باشد بدین منظور بایستی مجموع وزن تیر و ستون‌ها را بصورت میانگین بر ۵ تقسیم نمائیم تا وزن اسکلت سازه به دست آید:

$$\text{وزن تیرها} = \frac{96000 + 189000}{5} = 57000 \text{ kg}$$

$$\text{وزن ستون‌ها} = \frac{96000 + 81000}{5} = 35400 \text{ kg}$$

وزن لرزه‌ای کل سازه برابر است با:

$$W = 163840 + 62720 + 57000 + 35400 = 318960 \text{ kg}$$

$$K_{eff} = \frac{4\pi^2}{g} \cdot \frac{W}{T_D^2} = \frac{4\pi^2}{9.81} \times \frac{318960}{1^2} = 1283592 \text{ kg/m}$$

با استفاده از روابط فوق سطح مقطع هسته سربی بصورت زیر قابل محاسبه هست.

$$W_d = 2\pi \times 1283592 \times 0.09^2 \times 0.15 = 9799 \text{ kg.m}$$

$$Q_d = \frac{W_d}{4D} = \frac{9799}{4 \times 0.09} = 27219.4 \text{ kg}$$

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} = \frac{27219.4}{882000} = 0.0308 \text{ m}^2 = 30.8 \text{ cm}^2$$

f_{py} مقاومت تسلیم برشی هسته سربی است که برابر ۸/۸۲ مگاپاسکال می‌باشد.

با توجه به مساحت بدست آمده که مقدار حداقل می باشد قطر هسته بتنی را برابر ۷ سانتیمتر در نظر خواهیم گرفت.

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 7^2}{4} = 38.48 \text{ cm}^2$$

$$Q_d = A_p f_{py} = 0.003848 \times 882000 = 3394 \text{ kg}$$

پارامتر موثر در سختی و ظرفیت باربری قائم جداگرهای لاستیکی ضریب شکل نام دارد که بصورت نسبت مساحت باربر جداگر تقسیم بر مساحت پیرامونی آن می باشد. برای جداگرهای هسته سربی، مساحت سوراخ میانی به عنوان مساحت باربر در نظر گرفته نمی شود و بایستی این مساحت از مساحت کلی کم گردد.

$$E_c = E \times (1 + 2k \cdot s^2)$$

$$\frac{k_v}{k_h} = \frac{\frac{E_c \cdot A}{t_y}}{\frac{G \cdot A}{t_y}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E \times (1 + 2k \cdot s^2)}{G} > 400$$

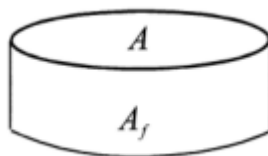
با جاگذاری مشخصات لاستیک IRHD-50 خواهیم داشت:

$$\frac{220 \times (1 + 2 \times 0.73 \times s^2)}{64} > 400$$

$$s > 10 \rightarrow s = 15$$

مدول فشاری قائم لاستیک تابعی است از ضریب شکل و مشخصات ماده لاستیک که برابر است با:

$$E_c = E \times (1 + 2k \cdot s^2) = 22 \times (1 + 2 \times 0.73 \times 15^2) = 7249 \text{ kg/cm}^2$$



شکل ۳-۱۰، تعریف ضریب شکل

سطح مقطع موثر براساس تنش محوری مجاز

مقدار دقیق تنش محوری و تنش مجاز باید براساس آزمایش یا گزارش تایید شده شرکت سازنده تعیین شود. اما بصورت تجربی این مقدار ۶/۹ تا ۸ نیوتن بر میلی متر مربع توصیه می شود. براساس نیروی قائم ثقلی ستون و تنش فشاری مجاز، مقدار مساحت جداگر A_0 محاسبه می شود:

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 80 \text{ kg/cm}^2$$

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
►	52	P(DL+LL)	Combination	-1.382E-13	6.992E-14	85330.14	5.37E-12	-5.674E-12	-2.91

$$A_0 = \frac{85330.14}{80} = 1066.6 \text{ cm}^2 = 0.1066 \text{ m}^2$$

سطح مقطع موثر از کرنش برشی ناشی از نیروی قائم

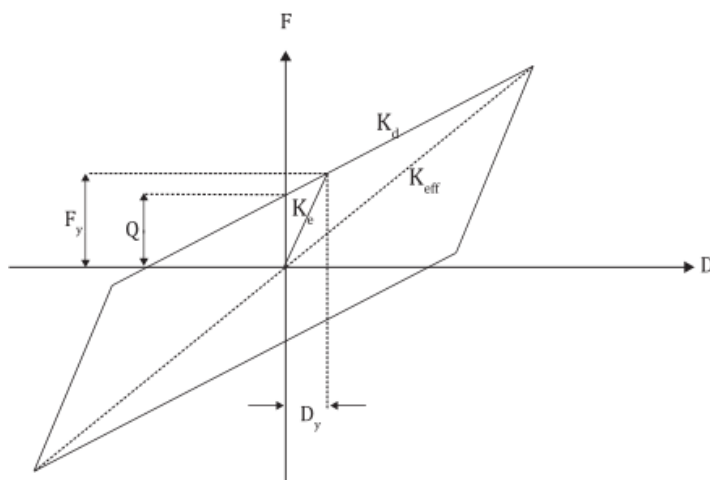
مساحت A_1 براساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم بصورت زیر محاسبه می شود. ε_b همان حداکثر کرنش کششی لاستیک در زمان گسیختگی بوده که طبق توصیه مراجع برابر با ۵۰۰ درصد در نظر گرفته می شود. از طرفی ضریب اطمینانی برابر با ۳ بر روی این کرنش اعمال می گردد.

$$\gamma_c |DL + LL| = 6s \cdot \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

$$6 \times 15 \times \frac{85330.14}{72490000 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \rightarrow A_1 = 0.0638 \text{ m}^2$$

سختی الاستیک جداگر

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می گردد، رفتار دو خطی جداگر هسته سربی رفتاری دو خطی بوده که در آن k_u سختی الاستیک یا سختی باربرداری و k_d سختی پس از تسلیم می باشد. از آنجاکه هسته سربی پس از تسلیم دارای سختی نمی باشد، بنابراین سختی پس از تسلیم تنها ناشی از سختی لاستیک k_r خواهد بود.



شکل ۳-۱۱، رفتار غیرخطی جداگر لاستیکی با هسته سربی

میزان سختی پس از تسلیم جداگرهای LRB برابر است با:

$$k_d = k_r \left(1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right)$$

سختی هسته سربی:

$$k_{pd} = \frac{Q_d}{D} = \frac{3394}{0.09} = 37711.1 \text{ kg/m}$$

$$k_d = k_{eff} - k_{pd} = 1283592 - 37711.1 = 1245880.9 \text{ kg/m}$$

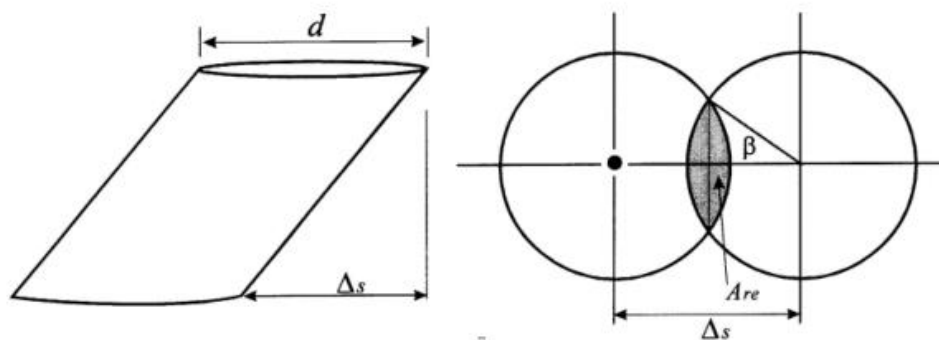
$$1245880.9 = k_r \left(1 + 12 \times \frac{0.003848}{0.1066} \right) \rightarrow k_r = 869317.85 \text{ kg/m}$$

سختی مقطع کاهش یافته از کرنش برشی جداگر

با توجه به سختی تامین شده توسط لاستیک و ارتفاع و مدول برشی لاستیک، میزان سطح مقطع مورد نیاز بدست می آید.

$$A_{sf} = \frac{k_r \cdot t_r}{G} = \frac{869317.85 \times 0.18}{64000} = 0.00244 \text{ m}^2$$

حال سطح مقطع موثر A_2 را به عنوان سطح مقطع کاهش یافته به دست می آوریم. سطح مقطع کاهش یافته به سطح مقطع قائم باقی مانده در اثر جابجایی جداگر اطلاق می گردد. این سطح مقطع براساس شکل جداگر از روابط زیر بدست می آید.



شکل ۳-۱۲، سطح مقطع کاهش یافته جداگر دایره ای

$$A_{re} = L \cdot (B - \Delta_s) \quad \text{جداگر مربعی شکل}$$

$$A_{re} = \frac{d^2}{4} \cdot (\beta - \sin\beta) \quad \text{جداگر دایره ای شکل}$$

در روابط فوق L بعد عمود بر راستای جابجایی و B جابجایی Δ_s جابجایی افقی جداگر می باشد. پارامتر β نیز از رابطه زیر بدست می آید. در این رابطه همواره بایستی قطر جداگر بزرگتر باشد که در غیر اینصورت سطح مقطع کاهش یافته برابر صفر خواهد شد که بیانگر روند غلط طراحی می باشد.

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{\Delta_s}{d}\right)$$

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{0.09}{0.412}\right) = 2.7$$

$$A_{re} = \frac{0.412^2}{4} \times (2.7 - \sin 2.7) = 0.1125 \text{ m}^2$$

مساحت نهایی

$$A = \max(A_0, A_1, A_{re}) = \max(0.1066, 0.0638, 0.1125) = 0.1125 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{کل}} = A_{\text{هسته سربی}} + A_{\text{لاستیک}}$$

$$A_{\text{کل}} = 0.1125 + 0.003848 = 0.11635 \text{ m}^2$$

قطر انتخابی برابر است با $d = 0.5 \text{ m}$ که در نتیجه این قطر مساحت جداگر برابر 0.01963 m^2 خواهد بود. حال با توجه به این مقادیر بایستی دوباره مساحت کاهش یافته را محاسبه نماییم.

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{0.09}{0.5}\right) = 2.78$$

$$A_{re} = \frac{0.5^2}{4} \times (2.78 - \sin 2.78) = 0.1516 \text{ m}^2$$

تعداد و ضخامت لایه‌های لاستیک

براساس ابعاد سطح مقطع جداگر و همچنین ضریب شکل بدست آمده برای جداگر ضخامت هر لایه لاستیک با توجه به روابط زیر بدست می‌آید.

$$s = \frac{B \cdot L}{2(L + B) \cdot t} \quad \text{جداگر مربعی شکل}$$

$$s = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d t} = \frac{d}{4t} \quad \text{جداگر دایره‌ای شکل}$$

با توجه به اینکه ضریب شکل برابر ۱۵ بدست آمده بود خواهیم داشت:

$$s = \frac{d}{4t} \rightarrow 15 = \frac{0.5}{4 \times t} \rightarrow t = 0.00833 \text{ m}$$

$$N = \frac{t_r}{t} = \frac{0.22}{0.00833} = 26.41 \cong 27$$

ضخامت ورق‌های فولادی

همانطور که پیشتر ذکر گردید، در بین صفحات لاستیکی از صفحات فولادی به منظور تحمیل کرنش برشی استفاده می‌گردد. ضخامت این صفحات با توجه به نیروی محوری ستون و مشخصات فولاد مورد استفاده بدست می‌آید.

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \cdot P_{DL+LL}}{A_{re} \cdot F_s} \geq 2 \text{ mm}$$

با فرض استفاده از فولاد ST37 برای ورق‌ها، تنش مجاز برابر است با:

$$F_s = 0.6F_y = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_s \geq \frac{2(0.00833 + 0.00833) \times 85330.14}{0.1516 \times 14400000} = 0.0013 \text{ m} = 1.3 \text{ mm} < 2 \text{ mm}$$

$$t_s = 2 \text{ mm}$$

حال می توان ضخامت کلی هر واحد جداگر را محاسبه نمود. ارتفاع کلی جداگر با در نظر گرفتن دو ورق ۲/۵ سانتی متری در بالا و پایین برابر است با:

$$h = 2 \times 2.5 + (N - 1)t_s + t_r$$

$$h = 2 \times 2.5 + (27 - 1) \times 0.3 + 22.5 = 35.3 \text{ cm}$$

$$h = 36 \text{ cm}$$

کنترل کرنش برشی

با توجه به نهایی شدن مساحت جداگر، محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم مجدداً کنترل می شود. همان حداکثر کرنش کششی لاستیک در زمان گسیختگی بوده که برابر با ۵۰۰٪ در نظر گرفته می شود.

$$\gamma_c |DL + LL = 6s \cdot \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A_1} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

$$6 \times 15 \times \frac{85330.14}{72490000 \times 0.003848} \leq \frac{500\%}{3} \rightarrow 0.2753 \leq 1.66 \quad .ok$$

کنترل پایداری جداگر

کمانش جداگر در مواردی مانند جداسازی سازه های نسبتاً سبک اهمیت بیشتری می یابد. متوسط تنش ایجاد شده در جداگر نباید از تنش بحرانی تجاوز کند.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \sigma_{cr} = \frac{G \cdot S \cdot L}{2.5t_r}$$

$$\sigma_c = \frac{85330.14}{0.3848} = 221751.92 \text{ kg/m}^2 \leq \sigma_{cr} = \frac{64000 \times 15 \times 0.5}{2.5 \times 0.22} = 872727.27 \text{ kg/m}^2$$

کنترل نسبت ابعاد هسته سربی

نسبت ارتفاع به قطر جداگرهای LRB بایستی در محدوده تعیین شده توسط رابطه زیر قرار گیرد. H_p برابر ارتفاع موثر هسته و d_p قطر هسته می باشد.

$$1.5 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5$$

$$1.5 \leq \frac{0.22}{0.05} = 4.4 \leq 5 \quad .ok$$

کنترل کرنش برشی برای بار زلزله

در شرایط لرزه ای و تحت ترکیب بار لرزه ای، کرنش برشی جداگر بایستی طبق رابطه زیر برقرار باشد.

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75 \varepsilon_b$$

$$\gamma_{sc} = 6s \cdot \frac{P_{DL+LL+EQ}}{E_c \cdot A_{re}}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r}$$

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 \cdot \theta}{2t \cdot t_r}, \theta = \frac{12De}{b^2 + d^2}$$

که γ_{sc} کرنش برشی تحت فشار بوده از نیروی قائم حاصل از ترکیب بار شامل زلزله حداکثر بدست می‌آید. γ_{eq} کرنش برشی تحت زلزله و γ_{sr} کرنش برشی تحت چرخش جداگر می‌باشد. θ زاویه چرخش جداگر ناشی از زلزله، e خروج از مرکزیت به علاوه خروج از مرکزیت اتفاقی به میزان ۵ درصد و b و d ابعاد سازه با پلان مستطیلی شکل می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت.

$$\gamma_{eq} = \frac{0.09}{0.22} = 0.41$$

$$\gamma_{sr} = \frac{0.5 \times 0.5 \times 0.003671}{2 \times 0.00833 \times 0.22} = 0.25$$

$$\theta = \frac{12 \times 0.09 + 0.05 \times 16}{16^2 + 16^2} = 0.003671$$

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
►	52	P(DL+LL+EQ)	Combination	-8332.01	-1.893E-13	127995.21	8.655E-12	-18278.27	183.39

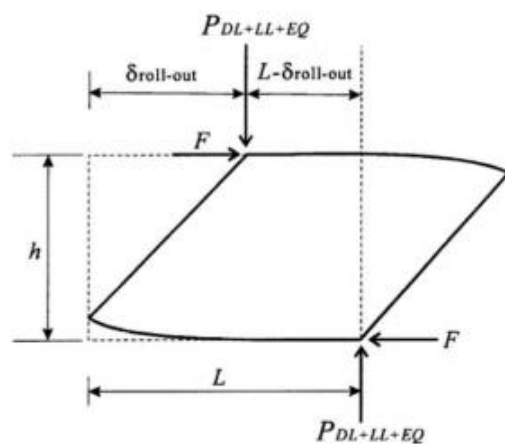
$$\gamma_{sc} = 6 \times 15 \times \frac{127995.21}{72490000 \times 0.1516} = 1.048$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75 \varepsilon_b$$

$$1.048 + 0.41 + 0.25 = 1.708 \leq 0.75 \times 5 = 3.75$$

کنترل Rollout جداگر

جابجایی جانبی جداگر نیز باید طوری کنترل گردد که از وقوع ناپایداری چرخشی یا به اصطلاح Rollout در آن جلوگیری شود. در واقع جداگر باید در حالتیکه در شکل ۶ نشان داده شده است، پایدار باشد. رابطه زیر براساس یک تعادل لنگر در پای جداگر بدست آمده است.



شکل ۳-۱۳، حالت حدی پایداری جداگر در اثر زلزله

$$D_D \leq \delta_{Roll-out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L}{P_{DL+LL+EQ} + k_d \cdot h}$$

$$0.09 \leq \delta_{Roll-out} = \frac{127995.21 \times 0.5}{127995.21 + 1245880.9 \times 0.36} = 0.111 \quad .ok$$

برای مدلسازی جداگر در نرم افزار SAP2000 بایستی ۵ پارامتر زیر را به نرم افزار بدهیم:

(۱) سختی موثر جداگر

$$K_{eff} = 1283592 \text{ kg/m}$$

(۲) ضریب میرایی جداگر

$$C_{eff} = \frac{4\pi}{T_D g} W \cdot \beta = \frac{4\pi}{1 \times 9.81} \times 318960 \times 0.15 = 61287 \text{ kg.sec/m}$$

(۳) سختی اولیه الاستیک جداگر

$$K_e = 10K_d = 10 \times 1245880.9 = 12458809 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

(۴) جابجایی تسلیم جداگر

$$D_y = \frac{Q}{K_e - K_d} = \frac{3394}{12458809 - 1245880.9} = 0.0003026 \text{ m}$$

(۵) نیروی تسلیم جداگر

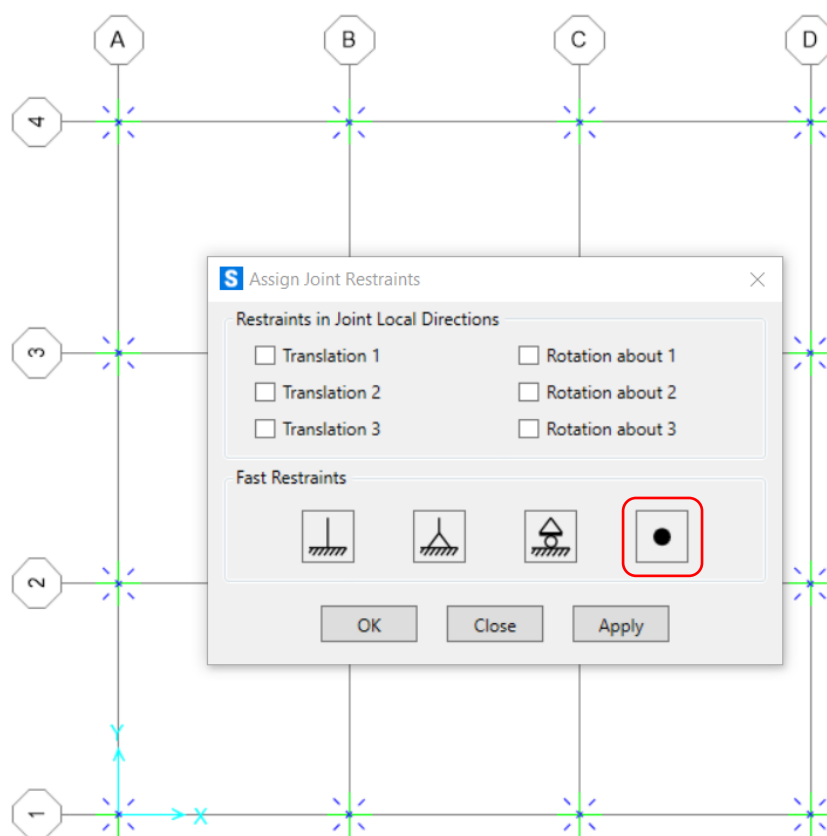
$$F_y = Q + K_d \cdot D_y = 3394 + 1245880.9 \times 0.0003026 = 3771.1 \text{ kg}$$

جداگرها در زیر تمامی ستون‌ها قرار گرفته و آنها را یکبار در تراز روی فونداسیون و یکبار هم در تراز طبقات میانی سازه‌ها قرار خواهیم داد که بدین ترتیب مدل‌های سازه‌ای ما به شرح جدول (۷-۳) خواهد بود.

جدول ۷-۳، مدل‌های سازه‌ای

ردیف	سازه	توضیحات	نام مدل	تعداد جداگر	محل جداگر
۱	۵ طبقه	بدون جداگر	5 Story	۰	---
		جداگر پایه	5 Story (LRB1)	۱۶	روی فونداسیون
		جداگر میان طبقه	5 Story (LRB2)	۱۶	روی طبقه دوم
۲	۷ طبقه	بدون جداگر	7 Story	۰	---
		جداگر پایه	7 Story (LRB1)	۱۶	روی فونداسیون
		جداگر میان طبقه	7 Story (LRB2)	۱۶	روی طبقه چهارم
۳	۹ طبقه	بدون جداگر	9 Story	۰	---
		جداگر پایه	9 Story (LRB1)	۱۶	روی فونداسیون
		جداگر میان طبقه	9 Story (LRB2)	۱۶	روی طبقه پنجم
۴	۱۲ طبقه	بدون جداگر	12 Story	۰	---
		جداگر پایه	12 Story (LRB1)	۱۶	روی فونداسیون
		جداگر میان طبقه	12 Story (LRB2)	۱۶	روی طبقه ششم

به منظور مدلسازی جداگرها بایستی در محل مدلسازی گره‌ها را آزادسازی نموده و با استفاده منوی Draw و گزینه Draw 1 joint link جداگر تعریف شده را در محل مورد نظر مدلسازی خواهیم نمود. در شکل (۳-۱۴) نحوه آزادسازی گره مورد نظر و در شکل (۳-۱۵) نحوه مدلسازی جداگر در محل مورد نظر نشان داده شده است. در اشکال (۳-۱۶) تا (۳-۱۹) نیز مدلسازی جداگرها در سازه‌های مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴، نحوه آزادسازی گره‌ها برای مدل‌سازی جداگر