

# مدلسازی جداسازهای لرزه ای در تحلیل سازه های پایه جدایش شده و مقایسه پاسخهای دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل آنها

عرفان علوی<sup>۱</sup>، مجتبی علیدوست<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکترای سازه - زلزله پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲- کارشناسی ارشد زلزله دانشگاه صنعتی شریف

E.Alavi@iiees.ac.ir , M.AliDooost@sazeh.co.ir

## خلاصه

جدا سازه های لرزه ای از مدتها قبل به منظور کاهش اثرات ناشی از زلزله و بهبود عملکرد لرزه ای سازه ها به روشهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته اند . اخیراً" بدلیل توسعه علم و تکنولوژی مربوط به طراحی و ساخت جداسازهای لرزه ای و فراهم شدن امکان مدلسازی آنها در نرم افزارهای مختلف ، مورد توجه بیشتر محققین قرار گرفته اند . از طرفی ، نقش رفتار غیرخطی جداسازهای لرزه ای ، ایزولاتورها، در پاسخ سازه های پایه جدایش شده بسیار مهم می باشد، از اینرو در این تحقیق نحوه مدلسازی آنها در نرم افزارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و پاسخهای بدست آمده با روشهای تحلیلی معتبر و ضوابط آئین نامه *UBC97* کنترل شده اند . بدین منظور دو سازه ۵ طبقه فلزی با سیستم قاب خمشی و قاب بادبندی انتخاب شده اند و از دو نرم افزار *SAP 2000* و *DRAIN - 2DX* برای مدلسازی همزمان سازه ها و ایزولاتورها و انجام آنالیز دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل استفاده شده است و روشهایی برای چگونگی مدلسازی ایزولاتورها در این دو نرم افزار برای حصول اطمینان از نتایج تحلیلیها پیشنهاد شده اند . همچنین ، پاسخهای دینامیکی طیفی با نتایج حاصل از روش استاتیکی معادل برای این سیستمها با یکدیگر مقایسه شده اند .

**کلمات کلیدی:** جداساز های لرزه ای ، *DRAIN - 2DX* ، دینامیکی طیفی ، استاتیکی معادل ، *Base Isolation* .

## مقدمه

یکی از مسائل مهم در طراحی سازه ها ، طراحی آنها در برابر بارهای جانبی بویژه بارهای جانبی اتفاقی نظیر زلزله است . تاکنون روشهای بسیاری برای مقاوم ساختن سازه ها در برابر زلزله ابداع شده است که برخی از آنها مانند نصب اعضای مهاربندی در قابها ، قاب های خمشی ، دیوارهای برشی و ... رواج بیشتری دارد . اکثر این روشها براساس این فرض استوار است که نیروی ناشی از زلزله از طریق پی به سازه ساختمان منتقل شده و سپس این نیرو میان عناصر خاصی که برای این منظور در سازه تعبیه شده اند ، توزیع و توسط آنها تحمل می گردد . در این گونه روشها سازه بطور کامل تحت تأثیر نیروی زلزله قرار می گیرد و کلیه عناصر در تحمل نیروی وارده سهیم می باشند[۱] .

روش دیگری که در گذشته مطرح بوده و در دهه های اخیر به علت در دسترس قرار گرفتن امکانات مختلف چه از نظر تکنولوژی ساخت و چه از نظر دانش مهندسی در خصوص تحلیل ، طراحی و اجرا برای مقاوم ساختن سازه ها در برابر زلزله به عرصه عمل وارد شده است ، جدا سازی (*Isolation*) در برابر زلزله یا جداسازی لرزه ای (*Seismic Isolation*) می باشد . هدف اصلی در این روش جلوگیری از انتقال مستقیم نیروی زلزله از پی به سازه است . به همین دلیل به گروه خاصی از این قبیل سیستم ها ، پایه جدایش یا جدایش پایه ای (*Base Isolation*) اطلاق می شود . تعبیه و نصب جداگرهای لرزه ای (*Isolation*) در محل اتصال سازه به پی به عنوان مانعی برای انتقال نیروی زلزله و انرژی حاصل از آن به سازه مطرح می شوند . به عبارت دیگر در جدایش پایه ای برای مقابله با بارهای جانبی ناشی از زلزله نیاز به عناصر خاصی که به آنها اشاره شد کاسته شده و تنها برای ایجاد صلبیت جانبی سازه و مقاومت لازم در برابر بارهای جانبی مانند بار باد و یا بارهای بهره برداری ، یکسری عناصر برابر جانبی بکار می رود[۴-۱] .

۱ سرپرست بخش سازه شرکت مهندسان مشاور سازه

۲ کارشناس ارشد سازه - زلزله شرکت مهندسان مشاور سازه

در این روش چون نیروی زلزله به سازه وارد نمی شود و یا سهم اندکی از آن به سازه منتقل می گردد ، نتایج زیر را می توان انتظار داشت :

- تغییر مکان طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات (*Drift*) کاهش یابد ؛
- کاهش قابل ملاحظه ای در شتاب طبقات بوجود آید ؛
- خسارات سازه ای و نیز خسارات غیرسازه ای بطور محسوسی کاهش یابد ؛
- از مشکلات معماری در طراحی ساختمانها کاسته شود ؛

نتایج فوق به علت تغییر بعضی از خواص دینامیکی سازه ، یعنی افزایش پریود و میرایی آن بدست می آید ، چرا که با افزایش پریود سازه شتاب سازه در اثر حرکات زمین کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکلهای زیاد ، بطور محسوسی افت پیدا می کند . البته این پدیده در برخی از حالات نظیر زلزله های با پریود بلند و یا سازه های واقع بر روی خاکهای نرم ، عملکرد سیستم های جداگر لرزه ای را نامطلوب می سازد [۴-۱] . به هر حال این روش برای طراحی برخی از سازه ها نظیر ساختمانهای متداول ، پلها و ... در مقایسه با روشهای دیگر طراحی و تقویت سازه در برابر بارهای جانبی بخصوص زلزله ، دارای ویژگیهای خاصی بوده و بعنوان یک روش مؤثر قابل استفاده است .

در آئین نامه های مختلف از جمله آئین نامه *UBC97* به منظور ساده سازی در آنالیز و طراحی سازه ها با سیستم پایه جدایش ، در روش استاتیکی سازه های روی این سیستم بصورت سازه یک درجه آزادی معادل در نظر گرفته می شود در حالیکه در عمل این سازه ها چند درجه آزادی می باشند لذا بررسی عملکرد سازه های چند درجه آزادی و چگونگی تفاوت پاسخ های موجود بین مدل واقعی و فرض آئین نامه نکته قابل توجه ای است که میزان دقت روش آئین نامه مورد توجه قرار گرفته است . بطور کلی چهار هدف اصلی این مقاله عبارتند از : الف- مطالعه رفتار سازه های سیستم پایه جدایش شده با استفاده از روشهای تحلیلی و کامپیوتری . ب - بررسی دقت نرم افزارهای متداول مهندسی در مدلسازی این سیستم ، ج - پاسخهای سازه های مختلف ( قاب خمشی - قاب بادبندی ) قرار گرفته روی این سیستم و مقایسه آنها و د- مقایسه پاسخهای دینامیکی طیفی با نتایج حاصل از روش استاتیکی معادل این سیستمها .

### مدل و فرضیات استفاده شده

در این تحقیق ، برای بررسی رفتار سازه های پایه جدایش شده با سیستم های مختلف ، سازه قاب خمشی فولادی و باد بندی فولادی با ابعاد پلان  $18m \times 18m$  و ارتفاع طبقات  $3/5$  متر استفاده شده است ( شکل ۱ ) ، و به منظور ساده سازی یکی از دهانه های میانی سازه های پنج طبقه قاب خمشی فلزی و بادبندی بکار گرفته شده اند ( شکل ۲ ) ، تا بتوان علاوه بر دقت کافی در مدل نمودن رفتار واقعی سازه ها ، از حجم عملیات نیز کاسته شود .

### - فرضیات مورد استفاده در سیستمهای پایه جدایش

با توجه به این که هدف ، کاهش نیروی مستقیم زلزله از پی به سازه می باشد ، لذا با توجه به آیین نامه *UBC-97* فرضیات ذیل برای طراحی و آنالیز سازه ها در نظر گرفته شده اند .

سازه ها در *Zone 3* زلزله اند و در *"C" Seismic Source Type* و واقع بر نوع خاک  $S_D$  می باشد بنابراین از جداول آیین نامه  $C_{VD} = 0.54$  و  $C_{AD} = 0.36$  نتیجه شده است و همچنین ضریب رفتار سیستم سازه های فوقانی ، از جداول مربوطه برای قاب خمشی فولادی  $R_I = 2.0$  و برای قاب بادبندی برابر  $R_I = 1.6$  منظور شده است .

بار ثقیل مؤثر سازه ها با فرض بار مرده بعلاوه درصدی از بار زنده برابر  $2 \frac{kg}{m} / 900$  ، با فرض میرایی  $\beta = 0.15$  از جداول آئین نامه  $B_D = 1.35$  و

همچنین فرض پریود مؤثر  $T_D = 2.5 \text{ sec}$  برای سیستم پایه جدایش شده خواهیم داشت :

- طرح اولیه برای سیستم قاب خمشی :

$$W_{tot} = 1458 \text{ ton} \quad (\text{ شکل ۱ } )$$

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W_{tot}}{K_{D \min} g}} \Rightarrow 2.5 = 2\pi \sqrt{\frac{1458}{K_{D \min} \times 9.81}} \quad \text{پریود فرض شده} \quad (1)$$

$$K_{D \min} = 938.7 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$K_{D \min}$  : سختی ایزولاتورهای کل ساختمان

$D_D$  : جابه جایی ایزولاتورها بدون در نظر گرفتن ضریب رفتار برای سازه فوقانی

$$D_D = \frac{(\frac{g}{4\pi})^2 C_{VD} T_D}{B_D} = 0.249 \text{ m} \quad (2)$$

حداقل برش پایه برای طراحی سازه بالایی ایزولاتورها :

$$K_{Dmax} = 1.1 \times \frac{K_{Dmin}}{0.9} = 1147.3 \text{ ton/m}$$

با فرض ۱۰٪ تغییر سختی نسبت به متوسط

$$V_{S_{Frame}} = \frac{K_{Dmax} \cdot D_D}{R_L} = \frac{1147.3 \times 0.249}{2} = 142.5 \text{ ton} \quad (3)$$

$$V_{S_{Frame}} = \frac{142.5}{4} = 36.6 \text{ ton}$$

برش پایه مورد نظر قاب خمشی جدا شده از پلان برای طراحی سازه با فرض پایه ثابت

کنترل های لازمه براساس آئین نامه :

$$1) V_{S_{Frame}} \text{ (Wind)} \approx \frac{1.3 \times 200 \times 18 \times 17.5}{4} = 20.5$$

$$2) R_S \text{ (fixed based)} = 4.5$$

$$I = 1.25, T_D = 2.5 \Rightarrow V = \frac{C_V I}{R T_D} \cdot W_{Frame} = \frac{0.54 \times 1.25}{4.5 \times 2.5} \times 486 = 29.2 < V_{S_{Frame}} \text{ O.K.}$$

همچنین  $V_{S_{Frame}}$  می بایست از ۱/۵ برابر نیروی فعال ایزولاتورها [۴] ( $Q = \frac{\pi}{2} K_{eff} \cdot D \cdot \beta$ ) بیشتر باشد که با فرض رفتار غیرخطی (دو خطی) ایزولاتورها حاصل می شود :

$$3) V_{S_{Frame}} \text{ (1.5 Q)} = 1.5 \times \frac{\pi}{2} \times 312.9 \times 0.249 \times 0.15 = 16.2 \text{ ton}$$

لازم به ذکر است که برای محاسبه دقیق  $Q$  نیاز به انجام تست و داشتن منحنی هستریسیس نمونه ها می باشد.

#### - طراحی ایزولاتورها

در صورت استفاده از *high - damping natural rubber* در ساخت ایزولاتورها و با فرض ماکزیمم کرنش برشی  $\gamma = 1.5$  ، مدول برشی  $G = 0.6 \text{ Mpa}$  و ضریب میرایی  $\beta = 0.15$  ضخامت جدا سازها برابر  $t_r = 0.3 \text{ m}$  براساس حداکثر جابه جایی محتمل و اثرات پیچشی ( تحت اثر زلزله  $MCE$  ) حاصل شده است [۴]. با توجه به بارهای در نظر گرفته شده ستونهای کناری بار محوری ۸۱ تن و ستونهای میانی بار محوری ۱۶۲ تن را تحمل می کنند . لذا :

$$V_b = 1147.3 \times 0.249 = 285.1 \text{ ton}$$

$$K_H^A = 81 \times \left(\frac{2\pi}{2.5}\right)^2 = 52.15 \text{ ton/m}$$

$K_H^A$  : سختی افقی ایزولاتورهای کناری

$$K_H^B = 162 \times \left(\frac{2\pi}{2.5}\right)^2 = 104.3$$

$K_H^B$  : سختی افقی ایزولاتورهای میانی

$$K_H = 2K_H^A + 2K_H^B = 312.9$$

$$W_{frame} = 2 \times 81 + 2 \times 162 = 486$$

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{486}{312.9 \times 9.81}} = 2.5$$

بنابراین فرض پریود اولیه صحیح می باشد .

جهت محاسبه فرکانس قائم و بار کماتش ایزولاتورها ضروریست تا مدول برشی کرنشهای کوچک مثلاً "۲۰٪ را برای ایزولاتورها داشته باشیم که در این مسئله  $G_{0.2} = 1.0 \text{ Mpa}$  ،  $K = 2000 \text{ Mpa}$  و با فرض اولیه فرکانس قائم  $f_v = 11.5 \text{ HZ}$  خواهیم داشت :

ایزولاتورهای وسط با قطر  $\phi = 810 \text{ m}$  و ضخامت *Rubber* در میان ورقهای فولادی آن  $t = 18 \text{ mm}$  و ایزولاتورهای کناری با قطر  $\phi = 580 \text{ m}$  و ضخامت *Rubber* در میان ورقهای فولادی آن  $t = 13 \text{ mm}$  در محاسبات منظور شده است .

$$S = \frac{\phi}{4t}$$

(۴) ضریب شکل [۴]

$$E_C = \frac{6 \times G \times S^2 \times K}{6GS^2 + K} = 563.2 \text{ MN/m}$$

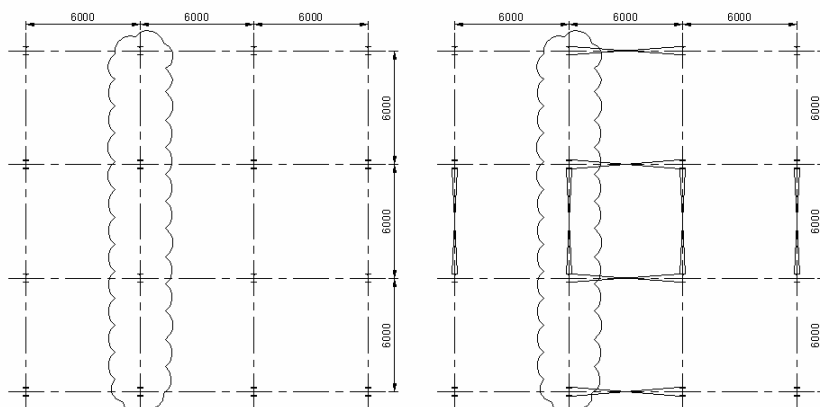
(۵) مدول الاستیسیته [۴]

$$K_V^A = \frac{E_C \cdot A_A}{t_r} = 496.03 \text{ MN/m}$$

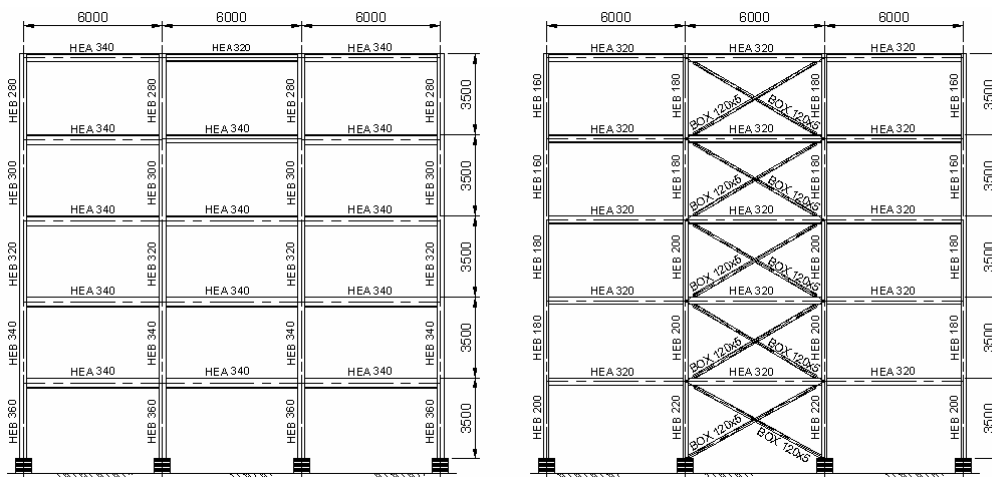
$K_V^A$ : سختی قائم ایزولاتورهای کناری

$$K_V^B = \frac{E_C \cdot A_B}{t_r} = 967.43 \text{ MN/m}$$

$K_V^B$ : سختی قائم ایزولاتورهای میانی



شکل ۱- پلان های سازه های خمشی و بادبندی که یک دهانه آن انتخاب شده است



شکل ۲- المانهای سازه های قاب خمشی و بادبندی که در این مقاله به کار گرفته شده است

$$K_V = 2 \times K_V^A + 2 \times K_V^B = 2926.92 \text{ MN/m}$$

$$W_V^2 = \frac{K_V \cdot g}{W_{frame}} = \frac{2926.92 \times 9.81 \times 100}{486} = 5908$$

[۴] (۶)

$$W_V = 76.86 \rightarrow f_v = \frac{W_V}{2\pi} = 12.23 \text{ Hz} \quad . \quad f_v = 11.5 \text{ Hz} \text{ نزدیک است.}$$

برای قاب بادبندی نیز به روش فوق محاسبات صورت گرفته است.

### - فرضیات مورد مطالعه در تحلیل عددی سازه ها

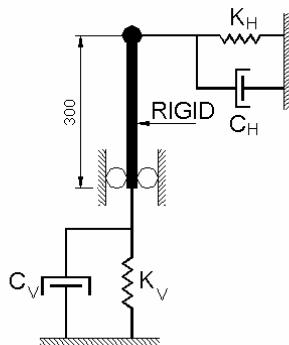
از المانهای قاب با رفتار ارتجاعی - خمیری و با شیب ملایم ناحیه سخت شوندگی ، یک درصد استفاده شده است . مدل میرایی متناسب با سختی بکار گرفته شده و ضریب میرایی سازه برای پایه ثابت در مد اول ۵ درصد در نظر گرفته شده است . جرم در این سیستم در همه طبقات یکسان بوده و ارتفاع طبقات نیز در این سیستم یکسان و برابر ۳/۵ متر می باشد .

برای بررسی رفتار سازه های روی سیستم پایه جدایش همانطور که اشاره گردید از دو سیستم قاب خمشی و قاب بادبندی استفاده شده است ابتدا با توجه به برش پایه  $V_{S_{Frame}}$  حاصل از فرض پریود  $T_D = 2.5 \text{ sec}$  در سازه پایه جدایش شده ، طبق آئین نامه  $UBC - 97$  و با فرض پایه ثابت برای دو قاب مورد نظر ، المان های سازه های قاب خمشی و بادبندی به گونه ای طراحی گردیده که علاوه بر رعایت ضوابط طراحی ( بر اساس روش طراحی تنش مجاز  $ASD$  ) ، سازه های قرار گرفته روی سیستم پایه جدایش تحت آنالیز مدال، پریود پایه مد اول ۲/۵ ثانیه نیز داشته باشند . بنابراین پس از چندین مرحله سعی و خطا ، سازه مورد نظر که هم از لحاظ طراحی ( حالت پایه ثابت باشد با برش پایه نظیر  $V_{S_{Frame}}$  ) هم از لحاظ پریود ( سیستم پایه جدایش که پریودی برابر ۲/۵ ثانیه داشته باشد ) با فرضیات مقاله مطابقت داشته باشد بدست آمده است .

برای مدل نمودن جدا سازه های لرزه ای در نرم افزار  $SAP 2000 V.9$  از المان  $LINK$  از نوع  $Rubber Isolator$  استفاده شده است که سختی آن برای دو جهت افقی و قائم طبق محاسبات ( همانطور که در قسمت فرضیات اشاره شد طبق  $UBC - 97$  ) در نظر گرفته شده و سختی  $Rubber$  های میانی در هر دو جهت قائم و افقی دو برابر سختی  $Rubber$  های کناری است . مدل میرایی  $Rubber$  ها متناسب با سختی و برابر ۱۵٪ درصد در نظر گرفته شده و ارتفاع آنها طبق محاسبات با توجه به مدول برشی و  $\gamma$  بکار رفته در تحلیل اولیه ، معادل  $300 \text{ mm}$  بدست آمده است .

از آنجائیکه نرم افزار  $DRAIN - 2DX$  قابلیت انجام تحلیل های دینامیکی طیفی و آنالیز های تاریخچه زمانی غیر خطی را با دقت بالایی داراست و صحت و دقت نتایج آن از نظر مراجع علمی مورد تأیید است لذا به منظور دقت بیشتر و کنترل صحت نتایج نرم افزار  $SAP 2000$  ، در نرم افزار  $DRAIN - 2DX$  نیز مدل گردید و به جای المانهای  $Rubber$  از یک عضو صلب به طول  $300 \text{ mm}$  ( شکل ۳ ) و فنرهای افقی و قائم ، برابر سختی  $Rubber$  ها ، استفاده شده است به نحوی که عیناً همانند مدل قبلی ، میرایی متناسب با سختی و برابر ۱۵٪ و سختی المانهای میانی دو برابر المان های کناری باشد . در این نرم افزار ، المانهای تیر و ستون از نوع  $Type 02$  ، المان های بادبندی از نوع  $Type 01$  و المانهای فنرها از نوع  $Type 04$  فرض شده است .

شایان ذکر است که همه طبقات و تراز روی سازه پایه جدایش در هر دو نرم افزار در جهت جانبی با دیافراگم صلب گردیده است .



شکل ۳- مدل سازی ایزولاتورها در نرم افزار  $DRAIN - 2DX$

### روش تحلیل

بر اساس اهداف مقاله و با در نظر گرفتن سیستم پایه جدایش شده ، تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی ( با فرض طیف آئین نامه  $UBC$  بر اساس  $C_{aD}$  و  $C_{VD}$  ) برای سازه های با سیستم قاب خمشی و قاب بادبندی در نرم افزار  $SAP 2000 V.9$  و  $DRAIN - 2DX$  انجام شده است که هدف بررسی میزان پاسخ ها شامل جابه جایی های نسبی طبقات ، جابه جایی های کلی طبقات و جابه جایی  $Rubber$  ها و بررسی پایداری سازه ها و مقایسه آنها در حالت های مختلف می باشد .

## نتایج

از آنجایی که هدف اصلی به کارگیری سیستم های جدا ساز لرزه ای افزایش پیروی و میرایی سیستم می باشد ، بررسی مدل بکار گرفته شده نشان دهنده این واقعیت است که پیروی مد اول سیستم پایه جدایش شده ، در هر دو نرم افزار افزایش یافته و به پیروی حدود ۲/۵ ثانیه می رسد . همچنین رابطه (۷) و نتایج حاصله گویای این واقعیت است که جدا سازهای لرزه ای در میرا نمودن انرژی ، نقش مؤثری داشته و انرژی وارد به المانهای سازه را بطور مؤثری کاهش می دهند . بنابراین به منظور کاهش نیروی مؤثر زلزله و محفوظ نگه داشتن المانهای سازه در محدوده رفتار ارتجاعی می توان از این سیستم بهره برد .

$$Damping\ Energy\ Ratio = \frac{viscous\ damping\ energy\ per\ cycle}{maximum\ strain\ energy} \quad (۷)$$

هدف دیگر از این تحقیق ، ساده سازی نحوه آنالیز و طراحی سازه های واقع بر روی سیستم پایه جدایش با توجه به نرم افزارهای متداول مهندسی همانند نرم افزار SAP 2000 است لذا در این قسمت به بررسی عملکرد نرم افزار SAP 2000 در آنالیز و طراحی اینگونه سازه ها پرداخته شده است . از آنجائیکه دانستن حداکثر جا به جایی نسبی طبقات یک سازه تحت اثر زلزله های قوی امکان بررسی خرابی های سازه ای و غیر سازه ای را به طراح می دهد و مهمترین فاکتور در سیستم های جدا ساز لرزه ای به شمار می آید ، لذا به بررسی این موارد و کنترل نرم افزار SAP 2000 با نرم افزار DRAIN - 2DX پرداخته شده است . جداول ۱ و ۲ ، جابه جایی ایزولاتورها و مقایسه جابه جایی های نسبی سازه قاب خمشی و قاب بادبندی را نشان می دهند . ستون (۱) نتایج آنالیز استاتیکی معادل با نرم افزار SAP 2000 ( با توجه به برش پایه در نظر گرفته شده ) برای حالت سازه قرار گرفته بر روی سیستم پایه جدایش شده است ، ستون (۲) نتایج آنالیز دینامیکی طیفی ( با توجه به طیف آئین نامه که می بایست برش پایه بیشتر از نود درصد برش پایه استاتیکی داشته باشد) با نرم افزار SAP 2000 برای حالت سازه قرار گرفته بر روی سیستم پایه جدایش شده است ، ستون (۳) نتایج آنالیز دینامیکی طیفی با توجه به طیف آئین نامه با نرم افزار DRAIN - 2DX برای حالت سازه قرار گرفته بر روی سیستم پایه جدایش شده می باشد و ستون (۴) نتایج آنالیز استاتیکی معادل با توجه به برش پایه در نظر گرفته شده ( طبق آئین نامه UBC برای سازه های روی سیستم پایه جدایش ) با نرم افزار SAP 2000 برای حالت سازه قرار گرفته بر روی سیستم پایه ثابت است که با جداسازی سیستمها به دو سیستم تحتانی و فوقانی براساس آیین نامه و روابط ارائه شده در متن مقاله حاصل شده است .

جدول ۱- جابه جایی ایزولاتورها و مقایسه جابه جایی های نسبی سازه قاب خمشی ( بر حسب سانتیمتر )

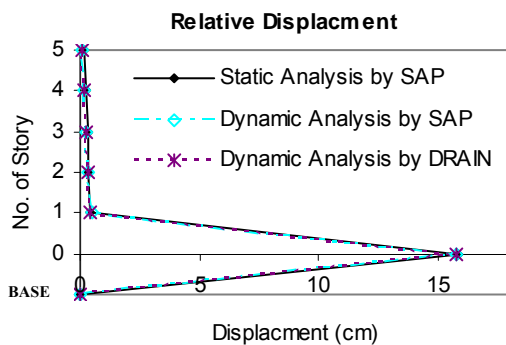
	Static Analysis by SAP (1)	Dynamic Analysis by SAP (2)	Dynamic Analysis by DRAIN (3)	According to UBC 97(Static Analysis) by SAP (4)
Base	0	0	0	0
Top Base Isolation	11.97	12.74	12.24	12.5
Story 1	2.21	2.30	2.63	0.60
Story 2	1.25	1.19	1.25	1.01
Story 3	1.01	0.86	0.91	0.99
Story 4	0.83	0.64	0.70	0.83
Story 5	0.66	0.45	0.52	0.65

جدول ۲- جابه جایی ایزولاتورها و مقایسه جابه جایی های نسبی سازه قاب بادبندی ( بر حسب سانتیمتر )

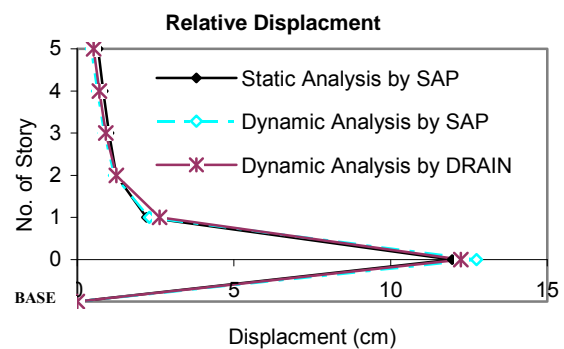
	Static Analysis by SAP (1)	Dynamic Analysis by SAP (2)	Dynamic Analysis by DRAIN (3)	According to UBC 97(Static Analysis) by SAP (4)
Base	0	0	0	0
Top Base Isolation	15.85	15.77	15.75	15.63
Story 1	0.41	0.48	0.45	0.44
Story 2	0.34	0.31	0.36	0.43
Story 3	0.3	0.24	0.27	0.37
Story 4	0.22	0.16	0.19	0.28
Story 5	0.13	0.09	0.12	0.17

همانطور که در ستونهای ۲ و ۳ از جداول ۱ و ۲ و شکل های ۴ و ۵ مشاهده می شود حداکثر جا به جایی های افقی جدا سازهای لرزه ای برای مدل در SAP 2000 ، با مدل DRAIN - 2DX در دو سیستم قاب خمشی و بادبندی تفاوت محسوسی نشان نمی دهد و اختلاف بین جابه جایی های نسبی طبقات در هر دو نرم افزار روند مشابه ای داشته و اختلاف محسوسی ندارند ، از آنجائیکه نحوه مدل سازی و آنالیز با نرم افزار DRAIN - 2DX بسیار مشکل و زمانبر است و نرم افزار SAP 2000 ، با دقت بالایی نتایج مشابهی بدست می دهد لذا می توان با ضریب اطمینان قابل قبولی از این نرم افزار برای طراحی و آنالیز سازه های ایزولاتوری با روشی که ارائه گردید بهره جست . همانطور که می دانیم سازه های قرار گرفته روی سیستم پایه جدایش مطابق آئین نامه باید دارای شرایط خاصی باشد لذا بررسی تفاوت عملکرد سیستمهای سازه ای مختلف با در نظر گرفتن ایزولاتورها خود نکته جالب توجه ای است . در شکل های ۶ و ۷ تفاوت پاسخهای دو سیستم سازه ای قاب خمشی و بادبندی توسط دو نرم افزار موجود در این مقاله بررسی شده است ، نتایج نشان می دهد که روند کلی تغییرات در دو سیستم سازه ای نسبتاً یکسان است طبقه اول دارای بیشترین جابه جایی نسبی است و هر چه از طبقه اول بسمت بام نزدیک شویم جابه جایی های نسبی کاهش می یابد که می تواند از خصوصیات سیستم پایه جدایش شده محسوب شود زیرا که در سازه های پایه ثابت معمولاً "طبقات میانی جابه جایی نسبی بیشتری دارند یا به هر حال تفاوت در این حد نمی باشد . در مقایسه این دو سیستم کمتر بودن جابه جایی های نسبی سیستم بادبندی نسبت به سیستم قاب خمشی

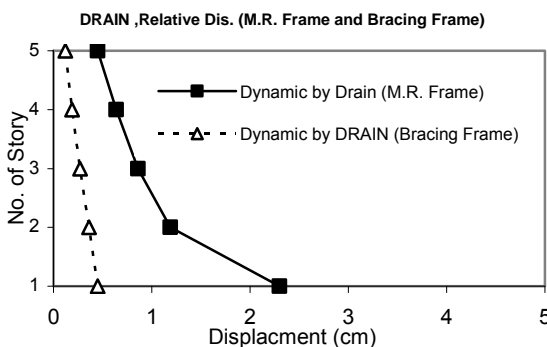
محسوس است و نکته جالب توجه این است که میزان مصالح مصرفی ( وزن المانها ) در سیستم بادبندی حدود ۰/۷۵ مصالح مصرفی در سیستم قاب خمشی است بنابراین می توان گفت بکارگیری سیستمهای بادبندی بر روی سازه های ایزولاتورهای هم از لحاظ کنترل جابه جایی نسبی در وضعیت بهتری قرار دارند و هم از لحاظ میزان مصالح مصرفی اقتصادی تر هستند .



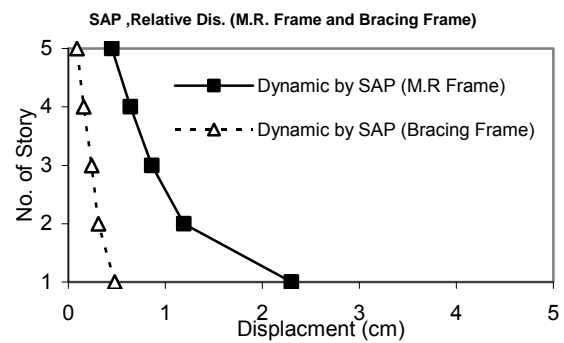
شکل ۵-جابجایی های نسبی طبقات و جداسازها در قاب بادبندی



شکل ۴-جابجایی های نسبی طبقات و جداسازها در قاب خمشی

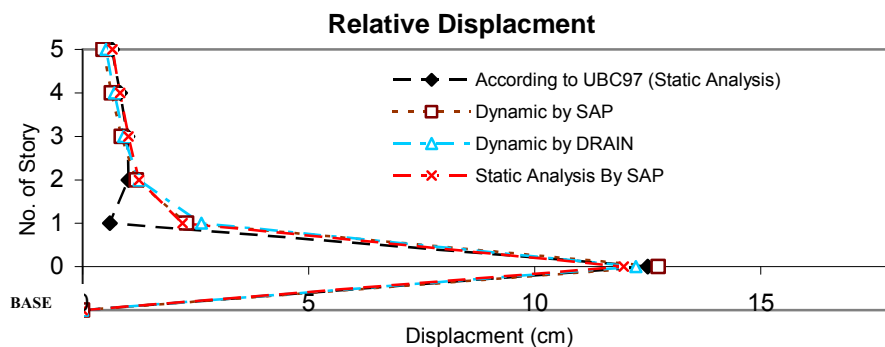


شکل ۷-مقایسه جابجایی های نسبی طبقات دو سیستم با DRAIN

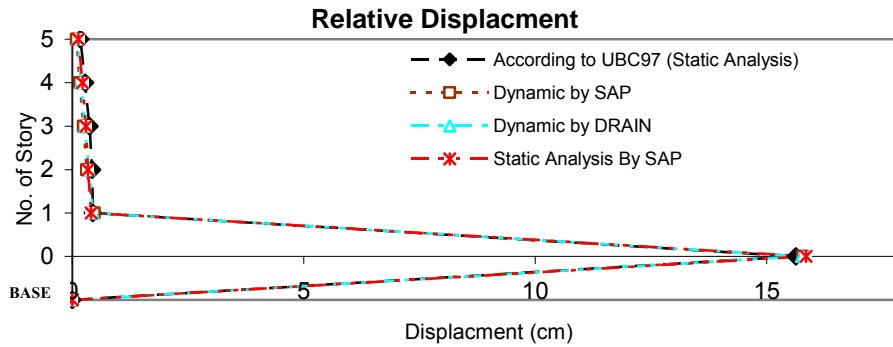


شکل ۶-مقایسه جابجایی های نسبی طبقات دو سیستم با SAP

بر طبق آئین نامه *UBC* برای طراحی اینگونه سازه ها برش پایه حاصل از معادلات مربوط به ایزولاتورها باید برای آنالیز و طراحی سازه قرار گرفته روی حالت پایه ثابت بکار گرفته شود ، لذا بررسی تفاوت های پاسخهای موجود بین این روش ساده سازی ( فرض سازه اصلی بصورت سازه یک درجه آزادی معادل ) و حالت واقعی سیستم پایه جدایش شده ، خود نکته جالب توجهی است . از جدول ۱ و شکل ۸ مشاهده می شود که روند جابه جایی نسبی در این سیستم ساده سازی شده ، با روند جابه جایی نسبی براساس سازه های قاب خمشی قرار گرفته روی سیستم پایه جدایش شده ، در دو نرم افزار مختلف و تحت آنالیزهای مختلف ، تا حدودی در طبقات اولیه متفاوت است همچنین بررسی نتایج نشان می دهد که جابه جایی های نسبی حاصل از این روش در طبقات اول و دوم ، بویژه در طبقه اول این نوع سیستم سازه ای کمتر از مقدار واقعی آن برای سازه روی سیستم پایه جدایش شده است و در واقع همان روند سازه های معمول که جابه جایی نسبی در طبقات میانی بیشتری است ، را پیروی می کند ، اما با توجه به جدول ۲ و شکل ۹ مشاهده می شود که سیستم بادبندی ( سیستم با سختی جانبی بیشتر ) نتایج نزدیکتری نسبت به فرض ساده سازی آئین نامه دارد زیرا قاب بادبندی شده بخاطر سختی جانبی بالا ، به فرض سازه یک درجه آزادی معادل ، نزدیک تر است و نتایج نسبتاً مشابه ای می دهد . بطور کل بهتر است که به منظور آنالیز و طراحی سازه های روی این سیستم علی الخصوص در سازه های قاب خمشی از مدل واقعی برای آنالیز و طراحی استفاده گردد .



شکل ۸-مقایسه جابجایی های نسبی طبقات و جدا سازها قاب خمشی و روش استاتیکی معادل آئین نامه *UBC*



شکل ۹- مقایسه جابجایی های نسبی طبقات و جدا سازها قاب بادبندی و روش استاتیکی معادل آیین نامه UBC

### نتیجه گیری

- ۱- به منظور کاهش انرژی مؤثر زلزله وارده به سازه های خاص ( که سازه مورد نظر و شرایط ساختگاهی با شرایط آیین نامه همخوانی داشته باشد ) می توان از سیستمهای جداساز لرزه ای استفاده نمود که موجب افزایش پیرو و میرایی سیستم می گردد بنابراین در سازه هایی که ارتجاعی ماندن المانها از اهمیت بالایی برخوردار باشد ، بکارگیری سیستم پایه جدایش شده ، بسیار مؤثر است .
- ۲- به منظور ساده سازی در عین برخورداری از دقت بالا ، می توان از نرم افزار *SAP 2000* در آنالیز و طراحی سیستمهای ایزولاتوری استفاده کرد و به منظور مدل نمودن ایزولاتورها می توان از المان *Link Type Rubber* استفاده نمود .
- ۳- بکارگیری سیستمهایی که از سختی جانبی بیشتری برخوردارند برای سیستم پایه جدایش، علاوه بر کاهش مصالح مصرفی ، جابه جایی های نسبی کمتری را نسبت به سیستم قاب خمشی نتیجه می دهند و نتایج نزدیکتری نسبت به فرض آیین نامه *UBC* ( که سازه بالا را یک درجه آزادی معادل فرض می کند ) در تحلیل استاتیکی معادل ، خواهد داشت .
- ۴- نتایج آنالیز استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی بر روی سیستم پایه جدایش شده ، نسبت به نتایج روش آیین نامه متفاوت است .
- ۵- برای ساده سازی در مدل نمودن بر اساس آیین نامه *UBC* و به منظور هر چه نزدیکتر شدن نتایج حاصله به واقعیت می توان از یکی از روشهای زیر استفاده نمود :
  - افزایش سختی جانبی سازه فوقانی .
  - استفاده از الگوی بار جانبی جدیدی غیر از الگوی آیین نامه که منجر به هر چه نزدیکتر شدن نتایج ساده سازی به نتایج واقعی گردد تا بتوان بر اساس الگوی جدید بار جانبی ، به همان جابه جایی های نسبی دست یافت .
  - استفاده از مدل سازی واقعی سیستم پایه جدایش شده براساس رفتار غیر خطی مصالح و حل عددی سیستم .

### قدردانی

نگارندگان از حمایت شرکت مهندسان مشاور سازه در انجام این تحقیق ، تشکر و قدردانی می نمایند .

### مراجع

- ۱- آر ایوان اسکینر ، ویلیام اچ رابینسون . ترجمه دکتر محسن تهرانی زاده و مهندس حامدی . (۱۳۷۸) جداسازی لرزه ای در مقابل زلزله . پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله . چاپ اول .
- 2- J. M. Kelly. (1986) A seismic base isolation: review and bibliography. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 5, no. 3, 202-216.
- 3- J. M. Kelly. (1990) Base isolation: Linear theory and design. *Earthquake Spectra.* 6(2):223-244.
- 4- F.Naeim and J.Kelly. (1999) Design of Seismic Isolated Structures, from theory to practice. *John Wiley & Sons, Inc.*
- 5- Uniform Building Code, *UBC97*