استفاده از پایه های قارچی شکل در زیر ساختمان به عنوان جداساز ارتعاشی جهت کاهش اثر زلزله بر روی ساختمان

مجید برقیان، استادیار گروه عمران، دانشگاه تبریز

علی بیرامی شهابی، مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد واحد شبستر

پست الکترونیکی: alibairami@yahoo.com

چکیده

در این مقاله یک روش جدید برای جداسازی ساختمان از پی برای کاهش اثر مخرب زلزله ارائه شده است. در این روش از پایه های خاصی که شکل آنها شبیه قارچ می باشد، در زیر سازه به عنوان جداساز ارتعاشی استفاده می شود. این پایه ها دارای یک سطح کروی می باشد که بر روی فونداسیون قرار می گیرد و دارای یک بازو می باشد که بصورت مفصلی به ستونهای ساختمان متصل می شود. اگر ارتفاع بازوی این پایه ها کمتر از شعاع انحناء سطح کروی آن باشد کارکرد این پایه ها در زیر ساختمان مانند فنر خواهد بود یعنی وقتی مقدار جابجائی در سازه ایجاد می گردد یک نیروی بازگرداننده به سازه اعمال می کند و پایداری سازه را تضمین می کند. ویژگی این فنرها این است که سختی آن به راحتی قابل تنظیم است و چون سختی قابل تنظیم است پس می توان سختی را طوری تعیین نمود که اولاً نیروی وارده به سازه در اثر زلزله در حد قابل قبول باشد و ثانیاً تغییر مکان ماکزیمم ایجاد شده از حد مجاز تجاوز نکند. این پایه ها به همراه سازه به صورت یک سیستم یک درجه آزادی جرم – فنر- میراگر مدل شد و برنامه ای برای پیدا کردن پاسخ آن در برابر شتاب زلزله نوشته شد و با استفاده از آن پاسخ سازه در برابر سه زلزله بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان میدهد استفاده از این روش در کاهش اثر زلزله بر روی سازه کاملاً مؤثر میباشد.

کلید واژه ها: جداسازی ارتعاشی، کنترل پسیو، میراگر، پایه های قارچی شکل.

۱- مقدمه

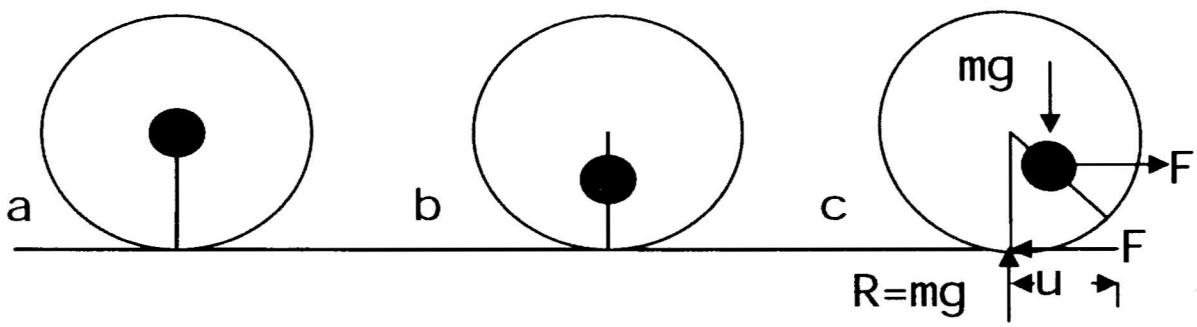
امروزه روش جداسازی ارتعاشی به عنوان روشی نو برای طراحی ساختمان در برابر زلزله ابداع شده است. با ایزوله کردن ساختمان از پی آن میزان انتقال حرکات زمین به سازه محدود میشود و خسارات وارده به سازه تا حدود زیادی کاهش می یابد [1]. امروزه ایزوله سازی یک تکنولوژی پیشرفته است و در بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان مورد استفاده قرار میگیرد[2].

برای ایزوله سازی روشهای متنوعی ابداع شده است و روشهای طراحی آنها به خوبی ارائه شده است و پیشرفت آن هم کماکان ادامه دارد و همواره روشهای جدید برای ایزوله سازی از طرف محققین پیشنهاد میشود[3]. یک روش برای ایزوله سازی که برخی محققین پیشنهاد میکنند استفاده از گوی فلزی در زیر ساختمان میباشد [4]. در این روش گوی فلزی به تعداد مورد نیاز در زیر سازه و مابین سازه و فونداسیون قرار میگیرد و این امر باعث میشود در حین حرکت زمین سازه تحت تأثیر مستقیم حرکات زمین قرار نگیرد. ولی استفاده از این روش دو عیب عمده

دارد. عیب اول این که چون سطح تماس گوی ها با فونداسیون ساختمان کم است، تنشهای زیادی در محل تماس تولید میشود و عیب دوم این است که در اثر حرکات زمین سازه از محل اولیه جابجا میشود ولی هیچ نیروی بازگرداننده ای وجود ندارد که سازه را به محل اولیه خود برگرداند. در مقاله ای که آقای زو[1] [1]، ارائه کرده است به طریقی عیب دوم را برطرف نموده است. او در روش پیشنهادی خود گویها را در داخل دو فرورفتگی در فونداسیون و سازه قرارداده است. با این روش سازه پس از جابجائی به محل اولیه خود برمیگردد. در این مقاله جداسازیهایی که کارکرد آنها شبیه گوی است و در عین حال معایب آن تا حدودی زیادی رفع شده است، معرفی میگردد.

۲- توضیح روش

فرض کنید مانند شکل ۱a یک توپ کاملا کروی در روی یک سطح بدون شیب در حال سکون قرار داد و فرض کنید یک جرم متمرکز درست درست در مرکز کره قرار داد. با این شرایط اگر نیرویی در جهت افقی به کره وارد شود، کره شروع به حرکت خواهد کرد و شتابی در جهت نیرو خواهد گرفت و تنها نیروی مقاوم در برابر حرکت اصطکاک محیط خواهد بود. حال اگر جرم متمرکز که در حالت اول درست در مرکز در نظر گرفته شده بود در مرکز نباشد و مطابق با شکل ۱bکمی پائین تر از مرکز کره قرار بگیرد عکس العمل کره در برابر نیروئی افقی مثل حالت اول نخواهد بود و در اثر حرکت کره یک نیروی عکس العمل و مخالف با نیروی اعمالی به کره وارد خواهد شد که این نیرو قصد دارد کره را به حالت اولیه برگرداند. همانطور که در شکل۱cملاحظه میشود این نیرو از آنجا ناشی میشود که یک خروج از مرکزیت مابین امتداد نیروی وزن و امتداد نیروی عکس العمل در سیستم ایجاد میشود و این خروج از مرکزیت بین دو نیرو باعث ایجاد لنگری میشود که این لنگر قصد دارد سیستم را به حالت اولیه برگرداند. در این مقاله از این خاصیت استفاده شده و پایه هائی ساخته میشود که عملکرد آن شبیه عملکرد کرهٔ توضیح داده شده میباشد. شکل این پایه ها کاملاً کره نمیباشد بلکه قسمتی از کره است که با یک صفحه قطع شده باشد و دارای یک بازوئی میباشد که بصورت عمود و در قسمت کاو سطح کروی بصورت گیردار بر سطح متصل شده است. مقطع قائم این پایه ها در شکل ۲ رسم شده است. همان طور که در این شکل مشاهده میشود شکل این پایه شبیه قارچ میباشد. قسمت کروی این پایه ها بر روی فونداسیون قرار میگیرد و ستونهای ساختمان به انتهای بازوی آن به صورت مفصلی متصل می شوند. شکل ۳ نحوه قرار گرفتن این پایه ها در زیر ساختمان را نشان میدهد. اتصال پایه به ستونهای سازه باید در دو جهت مفصلی باشد. ارتفاع بازوی پایه ها حتماً باید از شعاع انحناء سطح کروی کمتر باشد زیرا نیروی برگردانندهٔ سیستم تابع نسبت طول بازو به شعاع انحناء است و این نسبت باید همیشه کمتر از یک باشد تا نیروی برگرداننده در سیستم بوجود آید. هر چه قدر ارتفاع بازو به شعاع در زیر انحناء سطح کروی نزدیکتر باشد نیروی برگرداننده کمتر خواهد بود و هرچقدر نسبت ارتفاع بازو به شعاع انحناء سطح کروی کمتر باشد نیروی برگرداننده بیشتر خواهد بود. این موضوع مانند این است که سازه بر روی یک فنر با سختی قابل تغییر قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیتهای مختلف جرم در داخل کره
a: جرم در مرکز کره، b: جرم پائین تر از مرکز و در حال سکون،
c: جرم پائین تر از مرکز و در حالت جابجائی کره

۳- معادلهٔ دیفرانسیل حرکت

با فرض یک سیستم یک درجه آزادی فنر - جرم - میراگر ساده، معادله حرکت سازه را میتوان نوشت. برای بدست آوردن روابط حاکم فرضهای زیر در نظر گرفته شده است:

۱- جرم سازه توسط ستونها بصورت متمرکز در محل انتهای بازو اعمال میشود.

۲- ستونها کاملاً صلب در نظر گرفته شده و در محاسبات فقط سختی حاصل از پایه وارد میشود.

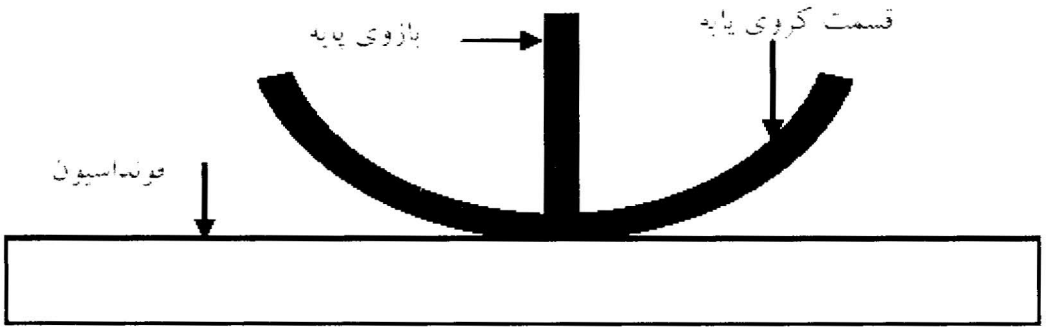
۳- از جرم پایه در برابر جرم سازه صرفنظر میشود.

۴- اصطکاک کافی بین پایه و فونداسیون وجود دارد و هنگام حرکت دو سطح روی هم لغزش ندارند. اصطکاک غلتشی بین دو سطح فولادی مقدار ناچیزی است و از آن صرفنظر شده است.

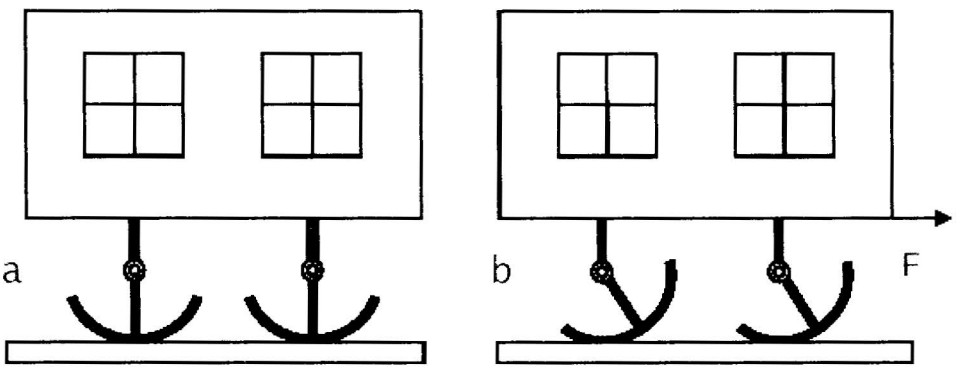
۵- اینرسی دورانی خود پایه ها در برابر اینرسی سازه مقدار کمی بوده و از آن صرفنظر میگردد.

۶- از مؤلفه قائم شتاب زلزله صرفنظر شده است و فقط مؤلفه افقی آن در محاسبات منظور شده است.

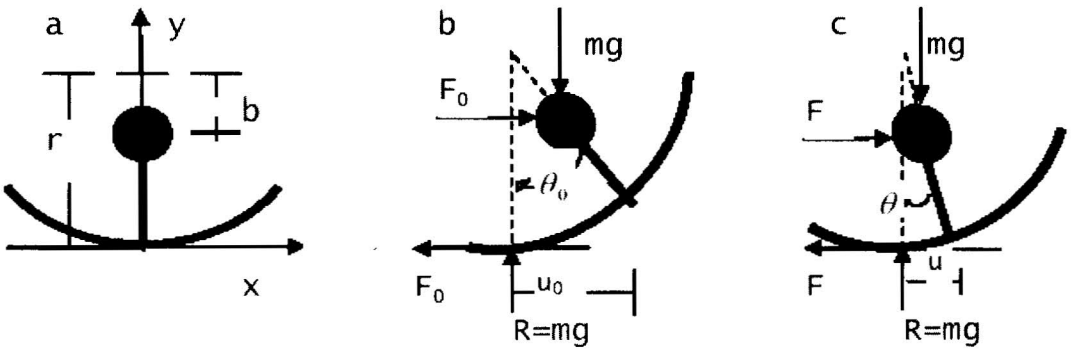
۷- از مؤلفه قائم شتاب زلزله صرفنظر شده است و فقط مؤلفه افقی آن در محاسبات منظور شده است.



شکل ۲ : مقطعی از پایه های قارچی



شکل۳: نحوه قرار گرفتن پایه ها در زیر ساختمان، a: ساختمان در حال تعادل، b: ساختمان پس از حرکت زمین



شکل ٤: وضعیت مختلف پایه ها، a: حالت تعادل، b: حالت دوران به اندازه θ_0، c:حالت نوسان

با این فرضیات و با توجه به شکل ۴ معادلهٔ حاکم به این صورت بدست می آید.

برای سیستم پایه مطابق شکل ۴ که مبداء محورهای مختصات در محل تماس پایه با پی قرار دارد، سه وضعیت را در نظر بگیرید. وضعیت اول آنکه پایه مطابق شکل ۴a در وضعیت تعادل قرار دارد و حالت دوم آنکه پایه به اندازه θ_0 دوران داده شده و در آن حالت نگه داشته شده است و وضعیت سوم آنکه پایه از حالت دوم رها شده و شروع به نوسان میکند. در این حالت مطابق شکل ۴c پایه نسبت به حالت ۴a زاویه θ را ایجاد میکند. وقتی که پایه به اندازه θ دوران دارد نقطه تماس پایه با پی از حالت اول به اندازه $u = r\theta$ جابجا میشود که در آن r شعاع انحناء سطح کروی پایه میباشد. اگر پایه به اندازه θ دوران کند، مختصات جرم سازه که در انتهای پایه ها قرار دارد بصورت زیر است:

$$x = u - b\sin\theta \quad , \quad y = r - b\cos\theta \qquad (۱)$$

در این روابط b فاصله بین مرکز کره تا محل اعمال جرم در پایه میباشد. مشتق اول این روابط سرعت جرم سازه در هر لحظه را نشان میدهد.

$$\dot{x} = \dot{u} - b\dot{\theta}\cos\theta \quad , \quad \dot{y} = b\dot{\theta}\sin\theta \qquad (۲)$$

اگر فرض شود که اتلاف انرژی در سیستم وجود نداشته باشد میتوان انرژی کل سیستم در حالت دوران به اندازه θ_0 و در حالت نوسان را برابر هم قرار داد و یا میتوان گفت که مقدار انرژی جنبشی سیستم در هر لحظه برابر با انرژی از دست رفته سیستم در اثر کاهش ارتفاع جرم نسبت به حالت اولیه دوران به اندازه θ_0 میباشد، با این فرض میتوان نوشت:

$$\frac{1}{2}mV^2 = mg(b\cos\theta - b\cos\theta_0) \qquad (۳)$$

که در آن V سرعت حرکت جرم سازه میباشد و میدانیم که این سرعت را میتوان با رابطهٔ زیر بیان نمود:

$$V^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 \qquad (۴)$$

و با توجه به اینکه $\theta = \frac{u}{r}$ و $\dot{\theta} = \frac{\dot{u}}{r}$ میباشد، میتوانیم بنویسیم :

$$\frac{1}{2}m\left[(\dot{u} - b\frac{\dot{u}}{r}\cos\frac{u}{r})^2 + (b\frac{\dot{u}}{r}\sin\frac{u}{r})^2\right] \qquad (۵a)$$

$$= mg(b\cos\theta - b\cos\theta_0) \qquad (۵b)$$

$$\dot{u}^2 - 2b\frac{\dot{u}^2}{r}\cos\frac{u}{r} + b^2\frac{\dot{u}^2}{r^2} = 2gb(\cos\frac{u}{r} - \cos\frac{u_0}{r})$$

که در آن u_0 جابجائی اولیه نقطه تماس پایه با پی در اثر دوران اولیه θ_0 میباشد اگر از طرفین رابطه (۵b) نسبت به زمان مشتق بگیریم معادله دیفرانسیل حرکت سیستم بصورت زیر بدست می آید:

$$2\dot{u}\ddot{u} - 2\frac{b}{r}(2\dot{u}\ddot{u}\cos\frac{u}{r} - \dot{u}^2\frac{\dot{u}}{r}\sin\frac{u}{r}) + 2\frac{b^2}{r^2}\dot{u}\ddot{u} = -2gb\frac{\dot{u}}{r}\sin\frac{u}{r} \qquad (۶a)$$

$$\ddot{u}+\frac{\dot{u}^2 b}{r^2+b^2-2rb\cos\frac{u}{r}}\sin\frac{u}{r}+\frac{gb}{r+\frac{b^2}{r}-2b\cos\frac{u}{r}}\sin\frac{u}{r}=0 \qquad (۶b)$$

معادلـه ۶b معادلـه حرکت ارتعاشی آزاد سیستم میباشد. اگر $\ddot{u}_g$ شـتاب زلـزله باشـد معادلـه حـرکت سیستم تحت شتاب زلزله به صورت زیر نوشته میشود:

$$\ddot{u}+\frac{\dot{u}^2 b}{r^2+b^2-2rb\cos\frac{u}{r}}\sin\frac{u}{r}+\frac{gb}{r+\frac{b^2}{r}-2b\cos\frac{u}{r}}\sin\frac{u}{r}=-\ddot{u}_g \qquad (۶c)$$

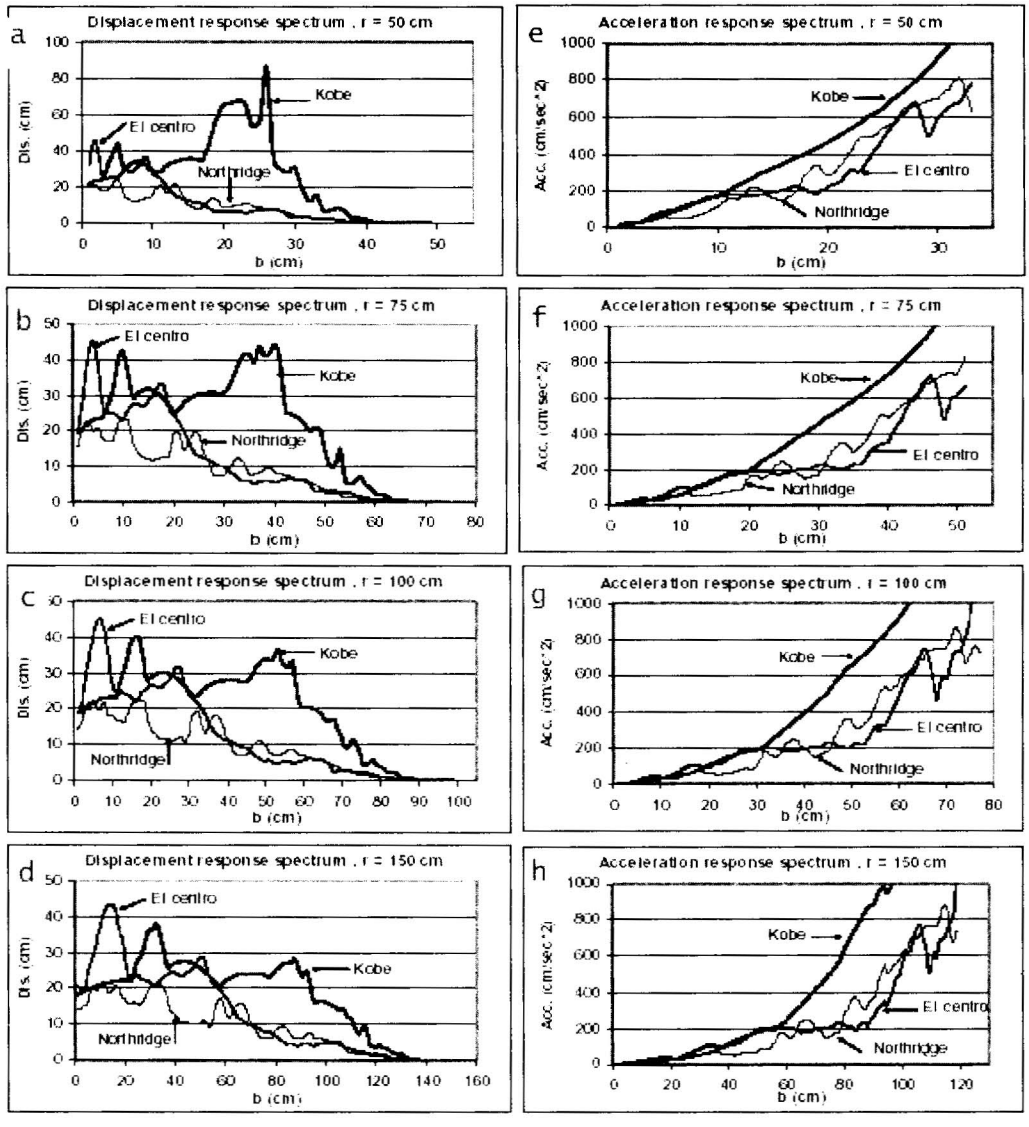
بـرای حل عددی معادله فوق برنامه ای به زبان فرترن نوشته شد کـه ایـن بـرنامه با استفاده از روش گام به گام پاسخ تغییر مکان ماکـزیمم و شـبه شتاب ماکزیمم سیستم فوق را در برابر هر زلزله دلخواه بدست می آورد. همانطور که از معادله ۶c مشخص است پاسـخ سـازه تابـع r و b میباشـد و میـتوان با تغییر دادن این دو پارامتـر جـواب سـازه را تحـت کنتـرل درآورد کـه ایـن موضـوع مهمتـرین مزیت استفاده از این روش میباشد. با استفاده از برنامه نوشـته شـده پاسـخ معادله ۶c به ازاء r و b های مختلف تحت داده هـای سـه زلـزله محاسـبه شد و جوابها بصورت طیف پاسخ تغییـر مکـان و طـیف پاسـخ سـه شتاب رسم گردیدند. برای این سیستم که بصورت سیستم یک درجه آزادی جرم - فنر - میراگر مـدل شده است مقدار ضریب میرائی برابر $\xi=0.02$ در محاسبات منظور شده است. زلزله های استفاده شده در محاسبات عبارتند از: الـف - زلزله *Electro* (۵-۱۸-۱۹۴۰) با ماکزیمم شتاب حرکات زمـین برابـر $313\ cm/sec^2$ و ماکزیمم تغییر مکان برابر $21.4\ cm$ ب- زلزله *Kobe* (۱-۱۶-۱۹۹۵) ژاپن ثبت شده در ایستگاه *KJMA*، بـا ماکزیمم شتاب حرکات زمین برابر $804\ cm/sec^2$ و ماکزیمم تغییر مکان $7.7\ cm$ ج-زلزله *Northridge* (۱-۱۷-۱۹۹۴) ثـبت شـده در ایسـتگاه *Nordhoff Fire Station* بـا ماکـزیمم شـتاب $337\ cm/sec^2$ و ماکزیمم تغییر مکان $15\ cm$.

شـکلهای ۵a تـا ۵d طیف پاسخ تغییر مکان و اشکال ۵e تا ۵h طیف پاسخ شبه شتاب برای سه زلزله مذکور را نشان میدهد.

٤- تفسیر نتایج

بـه عنوان نمونه شکل ۵a که طیف پاسخ تغییر مکان برای سـه زلـزله ذکـر شده در حالت $r=50\ cm$ را نشان میدهد، را در نظـر بگیـرید. از روی شکل دیده میشود که اگر b به سمت صفر میل کند در آن صورت مقدار ماکزیمم تغییر مکان سازه به سمت تغییـر مکـان ماکـزیمم زمین میل میکند و این مثل آن است که سـازه کـاملاً از زمـین جـدا شده و هیچ حرکتی از طرف زمین به سـازه وارد نمی شود. با افزایش مقدار b ماکزیمم تغییر مکان یک رفتار نامنظم را طی میکند ولی در هر صورت در مقدار $b=50\ cm$ یعنی برابر با شعاع انحناء پایه ها مقدار تغییر مکان به سمت صفر میل میکند.

شـکل ۵e طـیف شـبه شـتاب را برای $r=50\ cm$ را نشان مـیدهد. ملاحظـه میگردد که وقتی b به سمت صفر میل میکند مقـدار شـتاب وارده بـه سازه هم به سمت صفر میل میکند، به این معنی که در این حالت سازه از زمین کاملاً جدا شده است و شـتابهای زمـین بـه سـازه وارد نمیشود. ولی با افزایش مقدار b ملاحظـه میگـردد کـه مقـدار شـتاب وارده بـه صورت تدریجی افـزایش مـی یابـد وایـن شـتاب در مقـدار b=50 cm به مقدار ماکـزیمم شتاب زمین میل میکند از طیفهای داده شده ملاحظه میگردد که میتوان مقدار b را طوری تعین نمود که در یک زلزله خـاص مقدار شتاب از یک حدی بالا تر نرود ولی باید به عامل دوم یعنی تغییر مکان هم دقت نمود وقتی که مقدار b را طوری تعیـین نمـودیم کـه مقـدار ماکـزیمم شـتاب در حـد دلخـواه ما قرارگـرفت بایـد ببینـیم کـه آیا برای مقدارb انتخاب شده، تغییر مکان هم در حد قابل قبولی است یا نه، از روی طیف ها میتوان دریافـت کـه پیدا کردن b طوری که همزمان شتاب کم و تغییر مکان کم را بدست بدهد مشکل می باشد. ولی باتوجه به درجه اهمـیت هـر کدام باید b را طوری تعیین نمود که هر دو در حد قابل قبولی ارضاء بشود. در این مطالعه همان گونه که در شکل ۵ مشـاهده میگردد چهار مقدار برایr در نظر گرفته شده است تـا بـتوان تأثیر مقدار r را در پاسخ سازه مورد بررسی قرار داد. با افزایش مقدار r یک روند کلی در رفتار سازه ملاحظه می شود و آن ایـن اسـت کـه با افزایش مقدار r پاسخ شتاب سازه به ازای یک مقدار مشخص $\frac{b}{r}$ کاهش پیدا میکند.



شکل ۵: طیف های پاسخ تغییر مکان و شبه شتاب برای زلزله های E1 و Kobe و Northridge centro (a) تا (d) طیف پاسخ تغییر مکان (e) تا (h) طیف

انتخاب مقادیر بزرگتر برای r همچنین از دو جهت مفید میباشد. از روی شکل ۴ ملاحظه می شود که اگر در پایه دوران به اندازه π رادیان و بیشتر اتفاق افتد، سیستم ناپایدار می شود بنابراین باید مقدار r به اندازه ای بزرگ انتخاب گردد که ماکزیمم تغییر مکان پایه ها چنین دورانی را در پایه ها ایجاد نکند. همچنین به نظر می رسد مشکل اصلی استفاده از این روش ایزوله سازی تمرکز تنش در نقطه ای تماس پایه با پی به خاطر کم بودن سطح تماس می باشد. اگر در طراحی پایه ها از مقادیر r بزرگتری استفاده شود سطح تماس درآن نقطه بیشتر میگردد و در نتیجه تمرکز تنش ایجاد خواهد بود.

۵ – نتیجه گیری

۱- دراین مطالعه یک روش جدید برای ایزوله سازی ساختمان از پی برای کاهش اثر مخرب زلزله معرفی شد. برای این کار از پایه های قارچی شکل در زیر ساختمان استفاده میشود. این پایه ها مانند یک فنر در زیر ساختمان عمل می کند یعنی با اعمال یک جابه جایی به سازه نیرویی در جهت مخالف به سازه

اعمال کرده و پایداری سازه را تضمین می کند. نتایج تحلیل ساختمان یک طبقه ایزوله سازی شده با این روش نشان داد که استفاده از این روش در کاهش اثر زلزله بر روی سازه کاملاً مؤثر می باشد. به طوری که با تعیین مناسب مشخصات پایه میتوان ماکزیمم شتاب وارده به سازه را به هر مقدار دلخواه محدود نمود.

۲- کنترل ماکزیمم شتاب وارده به سازه با تغییر دادن مقادیر r وb صورت می گیرد. با کاهش b در یک r مشخص میتوان میزان ماکزیمم شتاب وارده به سازه را کاهش داد ولی این کار باعث کاهش سختی جانبی سازه میگردد و این مسأله ساختمان را از نظر تحمل بار باد ضعیف میکند. پس از این لحاظ برای انتخاب حداقل مقدار برای b باید محدودیت قائل شد.

۳- برای هر مقدار r یک مقدار بحرانی تغییر مکان وجود دارد که اگر پایه ها به آن میزان تغییر مکان بدهند ساختمان دچار ناپایداری میگردد. این مقدار برابر $\pi . r$ می باشد. پس در طراحی پایه ها برای یک زلزله خاص باید مقدار r به حدی بزرگ باشد که تغییر مکانهای ایجاد شده در پایه ناشی از آن زلزله، در سازه ناپایداری ایجاد نکند.

۴- مشکل اصلی استفاده از این روش ایزوله سازی وجود تمرکز تنش در نقطه تماس پایه ها با پی میباشد. این مشکل را میتوان با افزایش مقدار r حل نمود. ولی افزایش مقدار r متغییرهایی مانند هزینه را هم تحت تأثیر قرار می دهد. پس انتخاب r یکی از مهمترین قسمتهای طراحی میباشد که این کار باید با توجه به مجموعه موارد ذکر شده به نحوی انجام گیرد که نیازهای مهندسی سازه ایزوله شده بنحو مطلوبی تأمین بشود.

مراجع

[1]Qiang Zhou & Xilin Lu& Qingmin Wang & Dingguo Feng and Qianfeng Yao, 'Dynamic Analysis On Structures Base-Isolated By A Ball System With Restoring Property'. Earthquke Engineering and Structural Dynamics, Vol.27, 1998, 773-791.

[2]Tsung-WuLin&Chao-Chi Hone,' BaseIsolation ByFree RollingRods under Basement", Earthquke Engineering and Structural Vol.22, 1993, 261-273.

[3] Tsung-Wu Lin&Ching –CharnChern&Chao-Chi Hone, 'Experimental Study Of Base ByFree Rolling Rods "Earthquke Engiineering And Structural, Vol. 24, 1995, 1645-1650.

[4]Farzad Naeim & James Mkelly, Of Seismic Isolated Structres"John Wiley, NEW YORK, 1999.

پانویس

1-Zhou

Using Mushroom Shaped Basements under Buildings as Isolator in Order To Reduce the Earthquake Effect on Structures

Majid Bargian
Department of Civil Engineering, Tabriz University

Ali Bairami Shahabi
Islamic Azad University, Shabestar Branch
alibairami@yahoo.com

A new base isolation method for reducing the destructive effect of earthquake is proposed in this method mushroom shaped basements are used under structures as base isolation. These basements have spherical surface and are located on foundations. Basements have pinned arms that are connected .When the length of the arm is less then the radius of spherical surface, the action of them is similar to a spring. In other words, when a displacement in a structure happens .a returning force is supplied to the structure and the stability of the structure is guaranteed ·The specification of these springs is so that their stiffness can easily be set·As the stiffness is settable therefore the stiffness can be set in a way that firstly, the force applied to the structure will be acceptable, the maximum displacement will not exceed allowable limit.

In this research the basements together with the structure were modeled as a one-degree freedom system of mass, spring and damper.

Key Words: Vibration Separation, Passive Control, Damper, Mushroom – liked bases