

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

سمینار کارشناسی ارشد
(گرایش سازه)

جداسازی لرزه ای در ساختمانهای دارای روسازه نرم

استاد راهنما:

آقای دکتر علی اکبر آقا کوچک

توسط:

مجتبی رضایی

فصل اول: مفاهیم

- ۱-۱ - مقدمه ۶
- ۲-۱- مفهوم جداکننده های لرزه ای ۱۰
- ۳-۱- اجزای اصلی سیستم های جدا کننده ۱۱

فصل دوم: ضوابط طراحی ساختمانهای جدا سازی شده در آیین نامه اروپا

- ۱-۲ - معرفی ۱۶
- ۲-۲- ضوابط طراحی لرزه ای Eurocode 8 ۱۶
- ۳-۲- شرایط زمین در Eurocode 8 ۱۷
- ۴-۲- حرکت زمین در Eurocode 8 ۱۸
- ۴-۲-۱- روش تهیه طیف پاسخ الاستیک افقی ۱۹
- ۴-۲-۲- روش تهیه طیف پاسخ الاستیک قائم ۲۲
- ۴-۲-۳- طیف طرح آئین نامه جهت استفاده در تحلیل خطی ۱۳
- ۴-۲-۳-۱- طیف طرح الاستیک افقی ۱۳
- ۴-۲-۳-۲- طیف طرح الاستیک قائم ۱۳
- ۵-۲- ضوابط مربوط به طراحی ساختمانهای دارای سیستم جدا ساز ۱۳
- ۵-۲-۱- اجزای اصلی ساختمانهای دارای سیستم جداساز ۲۲
- ۵-۲-۲- روشهای تحلیل و طراحی ۲۳
- ۵-۲-۲-۱- تحلیل خطی ساده شده ۲۴
- ۵-۲-۲-۱-۱- اثر پیچش ۳۳
- ۵-۲-۲-۱-۲- بررسی روش تحلیل خطی ساده شده ۲۵
- ۵-۲-۲-۱-۲-۱- توزیع نیروی برشی در ارتفاع ۲۶

- ۲۸.....تغییر مکان نسبی طبقات.....۲-۲-۱-۲-۵-۲
- ۲۹.....تغییر مکان ماکزیمم.....۳-۵-۲
- ۳۰.....روش تحلیل خطی ساده شده مودال.....۴-۵-۲
- ۳۰.....تحلیل تاریخچه زمانی.....۵-۵-۲
- ۳۳.....سایر جزئیات مورد نیاز.....۶-۵-۲
- ۳۴.....مقایسه نحوه توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع در.....۷-۵-۲

IBC 2000 , Eurocode 8

فصل سوم: مطالعات انجام گرفته

(الف)

- ۳۰.....۱-۳ - روش مدل سازی.....
- ۳۱.....۳-۲ - مدل حرکت زمین.....
- ۱۳.....۳-۳ - معادلات حاکم بر حرکت.....
- ۱۳.....۴-۳ - نشیمنهای ورقی لاستیکی.....
- ۱۳.....۵-۳ - سیستم N-Z.....
- ۳۰.....۶-۳ - سیستمهای لغزشی.....
- ۳۱.....۷-۳ - پارامتر سیستم.....
- ۳۲.....۸-۳ - مطالعات عددی.....

(ب)

- ۳۳.....۹-۳ - معرفی.....
- ۳۵.....۱۰-۳ - روش تحلیل.....
- ۳۸.....۱۱-۳ - حل عددی.....

(ج)

۴۵.....۱۲-۳- معرفی

۴۷.....۱۳-۳- تحلیل و حل عددی

۵۸..... فصل چهارم: نتیجه گیری

۶۲..... منابع

فصل اول

مفاهیم

۱-۱- مقدمه :

خسارات وارد بر ساختمانهای مختلف بر اثر زمین لرزه ، به صورت کلی ناشی از دو عامل اساسی می باشد که عبارتند از :

- رانش نسبی طبقات ساختمان نسبت به یکدیگر

- شتاب ایجاد شده در کفهای ساختمان

تغییر شکل طبقات ساختمان، در ارتفاعات مختلف، ایجاد رانش نسبی می کند. از آنجائیکه طبقات در یک زمان و با یک سرعت حرکت نمی کنند، لذا در هنگام وقوع زلزله یک جابجایی نسبی افقی بین آنها به وجود می آید. حتی گاهی بر اثر تغییر جهات نیروی وارده بر ساختمان، به علت همسان نبودن انتقال نیرو به تمامی طبقات، طبقات ساختمان در جهات مختلف حرکت می کنند [۱] و [۲]. که باعث تخریب دیوارهای جداساز داخلی، شکستن پنجره ها و انهدام تاسیسات خدماتی ساختمان شده، امکان بهره برداری از آن را سلب نموده، خسارات قابل توجهی وارد می سازد [۲]. همچنین شتاب ناشی از زلزله به کفهای ساختمان که محل تمرکز جرم سازه می باشند منتقل می شود و در هر کف، شتابی متناسب با جرم آن به وجود می آید [۱].

این شتاب طبقاتی به ساکنین ساختمان و دستگاههای حساس نصب شده آسیب رسانده و موجب ایجاد خسارت می گردد. در ساختمان های ویژه که بهره برداری از تجهیزات نصب شده داخلی هدف اصلی از احداث آنها را شامل می شود، خسارات وارده به تجهیزات فوق به مراتب بیشتر از خسارات وارده بر سازه اصلی می باشد [۲].

لذا مسأله اصلی به منظور تامین مقاومت لرزه ای بالای یک ساختمان، چگونگی به حداقل رساندن تغییر مکان بین طبقه ای و شتابهای طبقات می باشد [۳].

تغییر مکانهای طبقه ای زیاد سبب خسارت دیدن اجزای غیر سازه ای و تجهیزات متصل کننده طبقات می شود که می توان آن را با افزایش سختی کاهش داد. اما این عمل سبب تقویت و تشدید حرکت زمین می شود که به نوبه خود سبب افزایش شتاب طبقات شده و منجر به خسارت دیدن

تجهیزات حساس داخلی می شود [۳]. شتابهای طبقات را می توان با نرم تر کردن سیستم کاهش داد. اما انعطاف پذیری بیش از حد موجب تغییر مکانهای قابل توجه در تراز طبقات و خرابیهای وسیع ناشی از آن و عملکرد نامناسب سازه تحت اثر نیروی باد و زلزله های کم قدرت شده و از سوی دیگر مستلزم طراحی و هزینه اضافی جهت تعبیه نرمی مورد نظر در اعضاء و اتصالات سازه می گردد [۲] و [۳].

محدودیتهای فوق بخوبی نشان می دهد که شیوه موجود طراحی ساختمانها در برابر زلزله، طراحی مطلوب و ایده ال سازه ها را به دست نخواهد داد. مسأله فوق بخصوص در مورد سازه های ویژه که انتظار بهره وری بالایی در شرایط پس از زلزله در مورد آنها وجود دارد، صادق می باشد [۲]. لذا روش دیگری که از اوایل قرن حاضر 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 در برابر زلزله یا جداسازی لرزه ای^(۱) می باشد هدف اصلی در این روش جلوگیری از انتقال مستقیم نیروی زلزله از پی به سازه است [۴].

استفاده از جدا ساز، تنها راه عملی کاهش همزمان تغییر مکان بین طبقه ای و شتابهای طبقات می باشد و با کمتر کردن تغییر مکانهای حاصله در تراز جداساز، نرمی مورد نیاز سازه را فراهم می کند [۳].

به عبارت دیگر جداسازی لرزه ای یک روش نوین برای طراحی ساختمانها در برابر زلزله است که مبنای آن کاهش نیروهای وارد به سازه در اثر زمین لرزه، به جای افزایش ظرفیت سازه برای تحمل بارهای جانبی می باشد. اساس این روش کاهش پاسخها، به وسیله افزایش زمان تناوب و میرایی در سازه است. همچنین کاربرد این روش موجب می شود که تغییر شکلهای سازه در محدوده الاستیک باقی بماند که این مساله به سطح ایمنی سازه خواهد افزود [۵].

در این روش تنها برای ایجاد صلبیت جانبی سازه در برابر بارهای جانبی مانند بار باد و بارهای بهره برداری، یکسری عناصر برابر جانبی در حداقل نیاز توصیه می شود [۴].

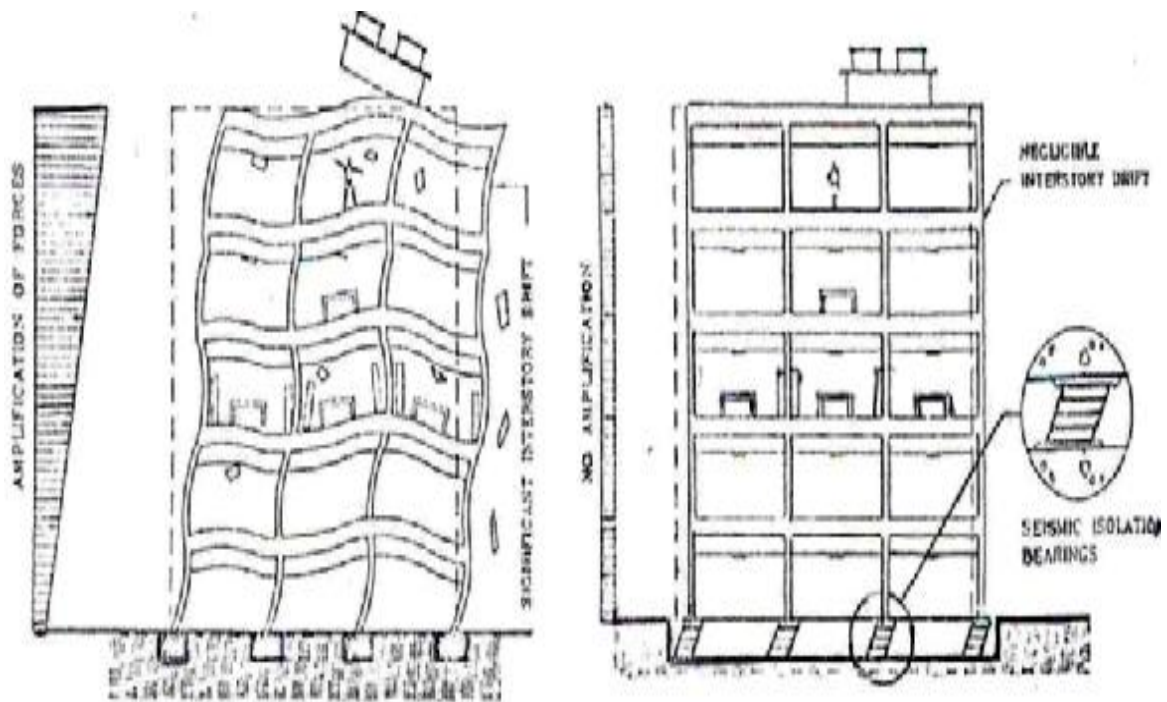
در این روش چون نیروی زلزله به سازه وارد نمی شود، و یا سهم اندکی از آن به سازه وارد می شود، نتایج زیر را می توان انتظار داشت:

- تغییر مکان طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات^(۲) کاهش می یابد.
 - کاهش قابل ملاحظه ای در شتاب طبقات به وجود می آید.
 - خسارات سازه ای و نیز خسارات غیرسازه ای به طور محسوسی کاهش می یابد.
 - از مشکلات معماری در طراحی ساختمانها کاسته می شود.
 - هزینه اجرای سازه ها به دلیل استفاده از مقاطع با ظرفیت کمتر، کاهش می یابد [۴].
- مفهوم جداسازی لرزه ای، منبعی غنی از تحقیقات نظری را هم در زمینه دینامیک سیستم های سازه ای جدا شده و هم در زمینه مکانیک خود سازه ها فراهم ساخته است. این تحقیقات نظری که به طور وسیعی در مجله های مهندسی سازه و زلزله منتشر شده اند، سبب پیدایش توصیه های طراحی برای سازه های جداسازی شده و نیز ضوابط طراحی جدا سازها شده است. امروزه کشورهای متعددی آئین نامه های طراحی برای سازه های جداساز شده ارائه می دهند.
- کشورهایی نظیر آمریکا، ژاپن، ایتالیا و نیوزیلند در این زمینه پیشرو بوده و هر کدام آئین نامه خاص خود را دارا می باشد.

هدف از انجام این سمینار آشنایی با تحقیقات و مطالعات گذشته در مورد روش جداسازی پایه بوده است. ضمن اینکه به بررسی مبانی و اصول کلی حاکم بر این روش خواهیم پرداخت، با انتخاب آئین نامه اروپا (EuroCode 8) به عنوان یکی از آیین نامه های طراحی لرزه ای، در فصل دوم روشهای مختلف طراحی آن را بررسی خواهیم کرد.

۲-۱- مفهوم جدا کننده های لرزه ای

به طور کلی جدا کننده های لرزه ای به سیستم هایی اطلاق می شوند که بتوانند سازه مورد نظر را از حرکات زمین مجزا نمایند. اساسا با جدا کردن کامل سازه و قرار دادن آن روی تعدادی غلتک بدون اصطکاک می توان از انتقال حرکات افقی زلزله به سازه جلوگیری نمود. اما در این حالت هیچ کنترلی روی حرکات افقی سازه به صورت جسم صلب در اثر نیروهای جانبی کوچک نظیر باد وجود ندارد. به عبارت دیگر تمام مکانیزمهای پیشنهاد شده و به کار رفته جهت جدایشگرهای لرزه ای به سازه منتقل می گردد. بنابراین هدف از جداسازی کاهش موثر شتاب و تغییر مکان سازه می باشد. شکل (۱-۱) رفتار یک سازه جدا شده را در مقایسه با سیستم معمولی نشان می دهد. سازه فوقانی هر دو سیستم کاملا مشابه می باشند و هر دو تحت اثر زلزله مشابه قرار گرفته اند [۲] و [۶].



(الف)

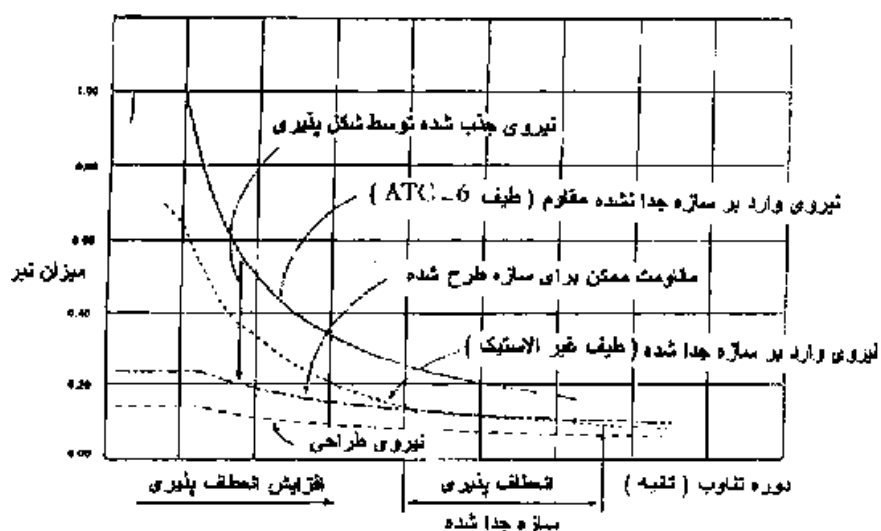
(ب)

شکل (۱-۱) مقایسه عملکرد سازه های معمولی (الف) و سازه های جداسازی شده (ب) در برابر

زلزله

همانگونه که از شکل (۱-۱) ملاحظه می گردد، با انتقال حرکات زمین به سازه فوقانی، اینرسی پیچیده ای در اعضای سازه ای به وجود می آید. در نتیجه شتاب زلزله در طبقات فوقانی تشدید شده و باعث شکست اعضای پایین می گردد. در یک سیستم جدا کننده لرزه ای که در شکل (۱-۱-ب) نشان داده شده است، در واقع قسمت عمده تغییر مکان جانبی در تراز جدا کننده اتفاق می افتد و شتاب منتقل شده به طبقات فوقانی و تغییر مکان نسبی بین طبقات به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و به این ترتیب می توان از شکست اعضای سازه ای و غیر سازه ای در اثر نیروهای زلزله به طور همزمان جلوگیری نمود [۲].

لذا به طور کلی با افزایش دوره تناوب ساختمان، انعطاف پذیری افزایش یافته و جابجائیها هم زیاد می شود. حضور عناصر مستهلک کننده نیز باعث کاهش نیروهای وارده می شوند و هر چقدر این استهلاک بیشتر باشد طیف بازتاب سازه نرمتر خواهد بود و د واقع حساسیت سازه نسبت به تغییرات شتاب زمین کمتر می شود (نمودار ۱-۲). [۱]

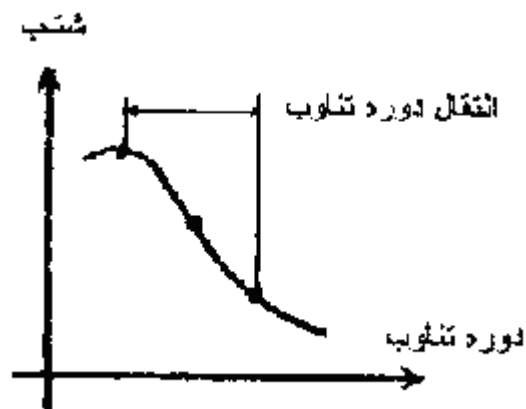


نمودار (۱-۲) اصول طراحی جداسازی برای زلزله

۳-۱- اجزای اصلی سیستم های جدا کننده:

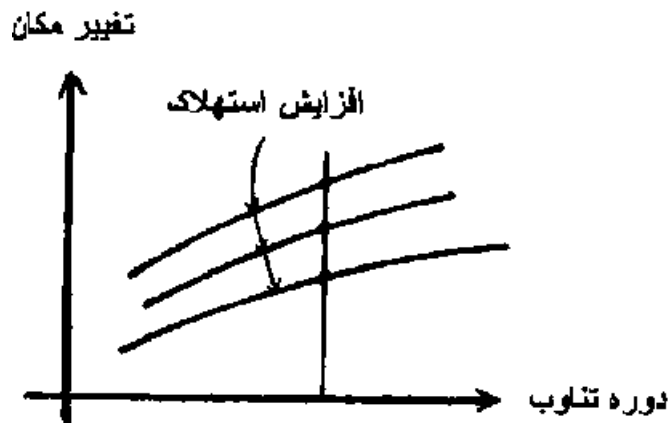
به طور کلی سیستم های جدا کننده لرزه ای باید دارای سه جزء اصلی زیر باشند:

الف - جزء نرم کننده^(۱) : که دوره تناوب اصلی سازه را همراه با سیستم جدا کننده به میزان کافی افزایش داده تا موجب کاهش شتاب جذب شده توسط سازه گردد. در شکل (۱-۳) با استفاده از طیف شتاب زلزله، تاثیر افزایش پریود مبنا بر شتاب سازه نشان داده شده است.



شکل (۱-۳) اثر دوره تناوب بر طیف شتاب

با وجود اینکه افزایش در انعطاف پذیری جانبی لایه جدا ساز، بسیار مطلوب است، در مورد انعطاف پذیری قائم این طور نیست. بنابراین سختی قائم این تکیه گاهها را تا چند صد برابر سختی جانبی افزایش می دهند، به طوریکه این انعطاف پذیری، معادل انعطاف پذیری یک ستون باشد. به عنوان مثال تکیه گاههای لاستیکی را با قرار دادن ورقهای فولادی در بین آنها تقویت می کنند و با این عمل سختی قائم افزایش می یابد. توجه به این نکته ضروری است که قابلیت انعطاف سازه، میزان تغییر مکان جانبی را افزایش می دهد. جهت کنترل میزان این تغییر مکان جزء دیگری برای افزایش درصد میرایی سازه ضروری است.



شکل (۱-۴) اثر میرایی بر طیف جابجایی

ب- مستهلک کننده یا جذب کننده انرژی که بتواند جابجایی نسبی بین ساختمان و زمین را در حد طراحی عملی کنترل کند.

ج- سیستم ایجاد کننده صلبیت در برابر بارهای جانبی کم مانند باد یا زلزله های کوچک با وجود اینکه افزایش قابلیت انعطاف سازه و نرمتر شدن آن برای جداسازی ساختمان از ارتعاشات زلزله مورد نظر است، لیکن ساختمانی که در مقابل کلیه بارهای جانبی بدون هیچگونه محدودیتی به ارتعاش در آید، به هیچ وجه مطلوب و قابل قبول نیست. لذا کلیه سیستم های جدا ساز پایه، می بایست به مکانیزم خاصی جهت تامین صلبیت مورد نظر سازه تحت اثر بارهای جانبی کم قدرت مانند باد و زلزله های خفیف مجهز باشند. [۱] و [۲] و [۶] در انتهای این فصل به این مساله تکیه می کنیم که سیستم های جدا کننده همیشه عملکرد مناسبی ندارند. شرایط مطلوب و لازم برای تاثیر بهینه یک سیستم جدا کننده عبارت است از:

۱- تعداد طبقات یا وزن سازه در حدی باشد که مساله فشار بر کنش^(۱) پیش نیاید.

۲- حد مجاز جابجایی افقی سازه در پایه، به اندازه ای باشد که هنگام استفاده از سیستم جدا کننده، جابجایی نسبی بین سازه و کف قابل قبول باشد.

۳- هندسه سازه در ارتفاع لاغر نباشد و این امر موجب بالا بردن دوره تناوب طبیعی سازه می شود.

۴- بار باد یا سایر بارهای جانبی مبنای طراحی (بجز زلزله) کمتر از ۱۰ درصد وزن سازه باشد.

۵- حرکت زمین محل، همراه با مؤلفه های ارتعاشی با دوره تناوب بلند نباشد.

فصل دوم

ضوابط طراحی ساختمانهای جدا سازی شده در

آیین نامه اروپا

۲-۱- معرفی

ضوابط طراحی لرزه ای در آئین نامه اروپا به صورت مجزا و در Eurocode 8 با عنوان "طراحی سازه ها برای مقاومت در برابر زلزله" ^(۱) مورد بحث قرار گرفته است.

آئین نامه مورد استفاده پیش نویس نهایی ویرایش May 2002 می باشد که در ۱۵ بخش و ۳ ضمیمه تهیه گردیده است که در بخش ۱ و ۲ و ۳ و ۴ ضوابط کلی طرح لرزه ای و در بخش ۱۰ ضوابط مربوط به طراحی سازه های جداسازی شده ^(۲)، بحث گردیده است. لذا ابتداء کلیاتی در رابطه با ضوابط لرزه ای آئین نامه پرداخته می شود و سپس ضوابط مربوط به طرح سازه های دارای سیستم جدا ساز مورد بحث قرار می گیرد.

طبق تعریف کاربرد این آئین نامه در طرح و اجرای سازه ها و یا بناهای عمرانی است که در مناطق لرزه خیز ساخته می شوند و هدف آن هنگام وقوع یک زمین لرزه تامین موارد ذیل است:

۱- حفظ جان انسانها

۲- حداقل خرابی

۳- حفظ قابلیت بهره برداری در ساختمانهای مهم (پس از وقوع زلزله)

۲-۲- ضوابط طراحی لرزه ای در Eurocode 8:

طبق آئین نامه، ساختمانها باید برای دو سطح زلزله زیر طراحی بشوند:

شرط عدم فروریزش ^(۱): سازه ها باید برای مقاومت در برابر اثرات زمین لرزه ای طرح ^(۲)

بدون فروریزش کلی یا موضعی طراحی شوند و ظرفیت باربری و یکپارچگی سازه ای خود را پس از وقوع زلزله حفظ کنند.

طبق تعریف زلزله طرح عبارتست از اثرات زمین لرزه ای که ساختمان در برابر آن طراحی می شود و زمین لرزه ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال ۱۰ درصد باشد. (دوره بازگشت

۴۷۵ سال)

شرط محدودیت خرابی^(۳): برای ساختمانهای با اهمیت که ارزش تجهیزات داخل ساختمان بسیار بیشتر از خود سازه است و یا از نظر عدم آسیب دیدگی بعد از وقوع زلزله حایز اهمیت می باشند، باید برای اثرات زمین لرزه ای که احتمال وقوع آن بیشتر از زمین لرزه طرح است طراحی شوند.

لذا طبق تعریف این گونه سازه ها باید برای زمین لرزه ای که احتمال وقوع آن در طول ۱۰ سال ۱۰ درصد باشند طراحی شوند (دوره بازگشت ۹۵ سال) بدون اینکه محدودیتی در استفاده از آن پس از وقوع زلزله ایجاد شود.

۲-۳- شرایط زمین در Eurocode 8:

نوع زمین محل با استفاده از جدول (۲-۱) با پنج نوع A,B,C,D,E تعیین می شود که در این رده بندی زمین نوع A نشان دهنده زمین است سنگی با سرعت انتقال موج برشی $V_{s,30}$ سرعت متوسط موج برشی است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (1-2)$$

h_i : ضخامت آ امین لایه یا سازند به متر

V_i : سرعت موج برشی (در کرنش برشی 10^{-6} یا کمتر) در آ امین لایه یا سازند به متر بر ثانیه

N: تعداد کل لایه های موجود در ۳۰ متری از بالای زمین

N_{SPT} : آزمایش نفوذ استاندارد

Cu: مقاومت برشی زهکشی نشده خاک

که در صورت در دسترس نبودن $V_{s,30}$ از N_{SPT} استفاده می شود.

چنانچه از جدول (۲-۱) مشاهده می شود دو حالت S_1 و S_2 نیز موجود است که بنا بر توصیه آئین نامه برای مشخص شدن پارامترهای لرزه ای باید مطالعات و آزمایشات خاص صورت گیرد.

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of m	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with $V_{s,30}$ values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $V_{s,30} > 800$ m/s			
S_1	Deposits consisting – or containing a layer at least 10 m thick – of soft clays/silts with high plasticity index (PI > 40) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A –E or S_1			

جدول (۱-۲) نوع زمین

۲-۴- حرکت زمین در Eurocode8:

اثر حرکت زمین در آئین نامه های مختلف به صورت طیف بازتاب شتاب و یا تاریخچه زمانی شتاب در نظر گرفته می شود. آئین نامه اروپا طیف بازتاب شتاب زمین را به صورت مختصر

تحت عنوان " طیف پاسخ الاستیک " ^(۱) در نظر می گیرد و در دو حالت افقی و قائم و در دو نوع ۱ و ۲ مورد بررسی قرار می دهد. به این صورت که در هر دو حالت افقی و قائم، برای زلزله هایی با بزرگای سطحی (Ms) بزرگتر از 5/5 از منحنی های نوع ۱ و برای زلزله های کوچکتر از 5/5 نوع ۲ استفاده می نماید.

۲-۴-۱- روش تهیه طیف پاسخ الاستیک افقی ^(۲)

با استفاده از جدول (۲-۱) و تعیین نوع زمین (A, B, C, D یا E) نقاط اصلی طیف یعنی T_B و T_C و T_D و همچنین مقدار S (ضریب فاکتور خاک) از روی جداول مربوطه قرائت می شود. سپس با توجه به روابط داده شده، طیف پاسخ الاستیک افقی را می توان رسم نمود. طیف جابجائی نیز با استفاده از رابطه $S_{DE}^2(T) = S_e(T) \left[\frac{T}{2\pi} \right]$ برای پیوندهای کمتر از ۴ ثانیه بدست می آید.

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (2-2)$$

$$T_B \leq T \leq T_c \quad S_e(T) = a_g S \eta 2.5 \quad (3-2)$$

$$T_c \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g S \eta 2.5 \left[\frac{T_c}{T} \right] \quad (4-2)$$

$$S_e(T) = S_e(T) \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B \quad (5-2)$$

که در روابط فوق:

$S_e(T)$ طیف پاسخ الاستیک است

T پیوند سیستم یک درجه آزادی خطی می باشد.

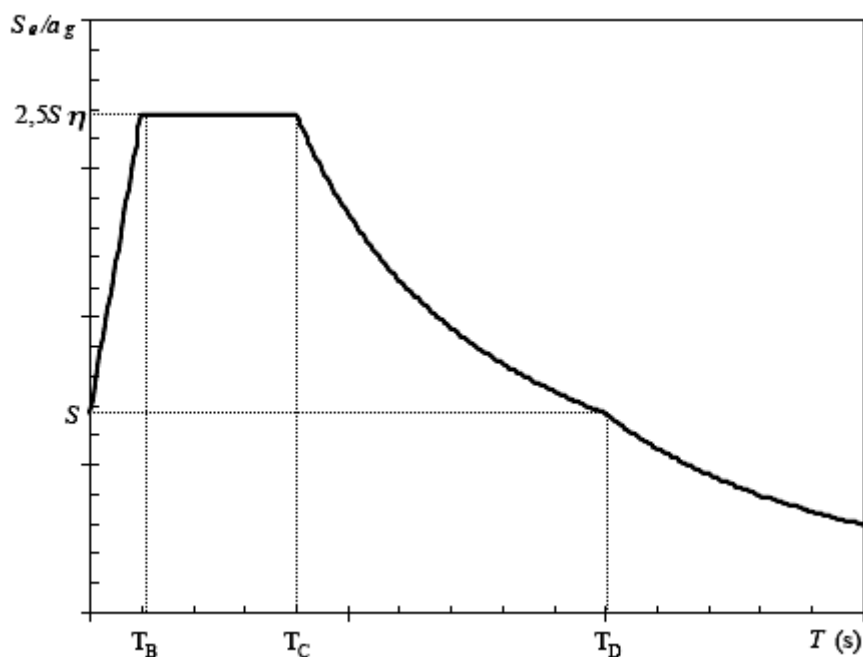
a_g شتاب طرح زمین نوع A

T_C , T_B محدوده های شتاب ثابت طیفی

T_D نشان دهنده شروع محدوده جابجایی ثابت در طیف

S فاکتور خاک و η ضریب تصحیح میرایی که برای میرائیهای ویسکوز ۵ درصد برابر ۱ در نظر

گرفته می شود.



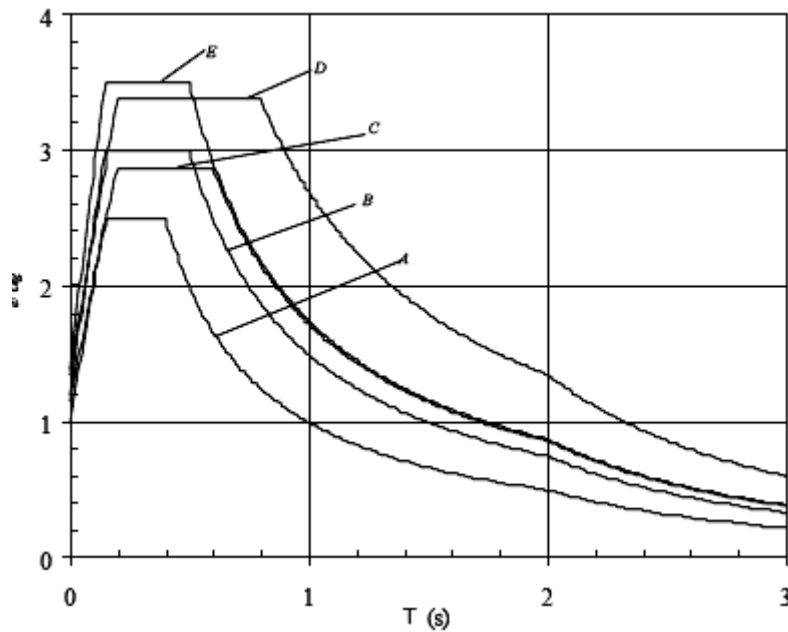
شکل (۱-۲) شکل طیف پاسخ الاستیک

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

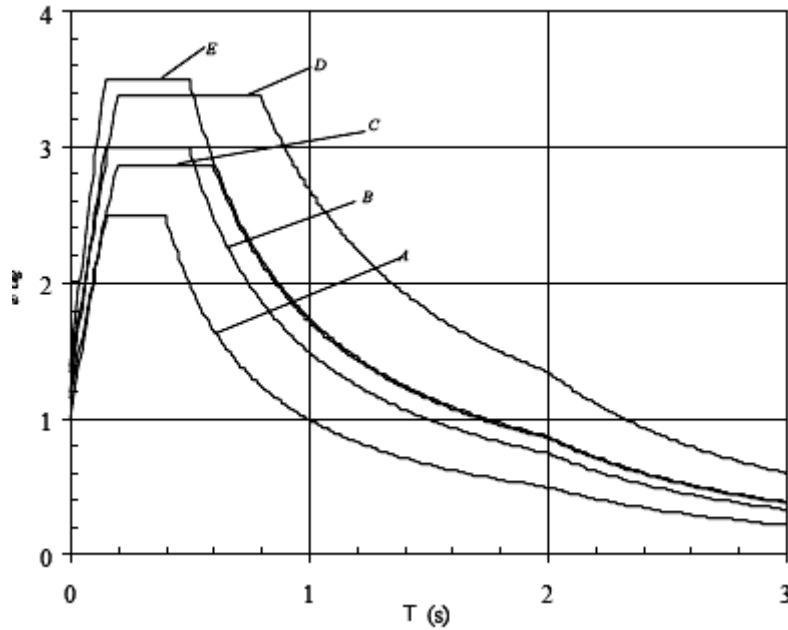
جدول (۲-۲) مقادیر توصیه شده برای طیف پاسخ الاستیک نوع ۱

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

جدول (۳-۲) مقادیر توصیه شده برای طیف پاسخ الاستیک نوع ۲



شکل (۲-۲) طیف پاسخ الاستیک برای زمینهای A تا E (میرایی ۵٪) نوع ۱



شکل (۳-۲) طیف پاسخ الاستیک برای زمینهای A تا E (میرایی ۵٪) نوع ۲

۲-۴-۲- روش تهیه طیف پاسخ الاستیک قائم^(۱):

برای تهیه طیف پاسخ الاستیک قائم، نوع زمین اهمیتی نداشته و جداول مربوط بر حسب بزرگای موج سطحی زلزله تنظیم گردیده اند.

Spectrum	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Type 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Type 2	0,45	0,05	0,15	1,0

جدول (۴-۲) مقادیر توصیه شده برای طیف پاسخ الاستیک قائم

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3 - 1) \right] \quad (۶-۲)$$

$$T_B \leq T \leq T_c \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3 \quad (۷-۲)$$

$$T_c \leq T \leq T_D \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3 \left[1 + \frac{T_c}{T_B} \right] \quad (۸-۲)$$

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3 \left[\frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (۹-۲)$$

۲-۴-۳- طیف طرح آئین نامه جهت استفاده در تحلیل خطی^(۲):

با توجه به آنچه در ۲-۴-۲ و ۲-۴-۱ برای تهیه طیف پاسخ عنوان شد و همچنین مفاهیم T_D, T_C, S, a_g که از آن بخش استخراج می شود، طیف طرح الاستیک افقی و قائم به صورت زیر تهیه می شوند:

۲-۴-۳-۱- طیف طرح الاستیک افقی:

برای مولفه های افقی طیف طرح، $S_d(T)$ به وسیله روابط ذیل مشخص می شود:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - 1 \right) \right] \quad (10-2)$$

$$T_B \leq T \leq T_c \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad (11-2)$$

$$S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_B \leq T \leq T_c \quad (12-2)$$

$$S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_B \leq T \leq T_c \quad (13-2)$$

که در روابط فوق q ضریب رفتار و β فاکتور حد پایین طیف طرح افقی است ($\beta=0.02$) و مقادیر a_g و S و T_C و T_D نیز به همان صورت که در طیف بازتاب بیان شد محاسبه می شوند.

۲-۴-۳-۲- طیف طرح الاستیک قائم:

با جایگزینی پارامترهای زیر در روابط طیف طرح الاستیک افقی، طیف طرح الاستیک قائم حاصل می شود:

- شتاب طرح زمین در راستای قائم، a_{vg} به جای a_g .

- مقدار S برابر یک قرار داده می شود.

- پارامترهای استفاده شده در طیف پاسخ الاستیک قائم در ۲-۴-۲ استفاده می گردد.

- برای تمام سازه ها ضریب رفتار، q ، مساوی $1/5$ در نظر گرفته می شود.

۲-۵- ضوابط مربوط به طراحی ساختمانهای دارای سیستم جداساز

۲-۵-۱- اجزاء اصلی ساختمانهای دارای سیستم جدا ساز

سازه های جدا سازی شده که در این قسمت مورد بررسی قرار می گیرند از سه قسمت زیر تشکیل شده اند:

- سیستم جداساز: ^(۱) مجموعه ای از المانها که برای جداسازی لرزه ای مورد استفاده قرار می گیرند و معمولا در زیر مرکز جرم سازه قرار می گیرند. محل قرار گیری سیستم جدا ساز که به آن سطح جداساز گفته می شود معمولا در تراز پایه ساختمانها و بین روسازه و زیر سازه می باشد.

این بخش شامل تکیه گاههای الاستومریک ورقه ورقه ای، اسباب الاستوپلاستیک، میراگرهای اصطکاکی یا ویسکوز ^(۵) و به طور کلی فنرها و میراگرهای خطی و غیر خطی می باشند.

- **سیستم روسازه:** قسمتی از سازه که بالای سطح جداساز لرزه ای قرار می گیرد.

- **سیستم زیر سازه:** قسمتی از سازه که زیر سطح جدا ساز قرار می گیرد.

دو سطح جابجائی برای سازه جداسازی شده و سیستم جدا ساز باید مورد ملاحظه قرار گیرد:

- **تغییر مکان طرح:** که در یک جهت اصلی در مرکز سختی موثر، بین بالای زیر سازه و

پایین رو سازه عبارت است از بیشترین تغییر مکان افقی که تحت اثرات زمین لرزه ای

اتفاق می افتد.

- **تغییر مکان کلی طرح:** تغییر مکان افقی یک جداساز ساختمان در یک جهت اصلی

که شامل تغییر مکان طراحی و چرخش به علت پیچش حول محور عمودی است. ۳

۲-۵-۲ روش های تحلیل و طراحی:

آئین نامه بر اساس رفتار سیستم جداساز و شرایط ساختمان، سه حالت تحلیل خطی ساده شده^(۱) تحلیل خطی ساده شده مودال^(۲) و تحلیل تاریخچه زمانی^(۳) را ارائه می دهد که در هر سه حالت تحلیل، رفتار زیر سازه و روسازه را در محدوده الاستیک نگه می دارد. بدین ترتیب چنانچه همه شرایط ذیل برقرار باشد، رفتار سیستم جداساز لرزه ای به صورت خطی معادل در نظر گرفته شده و می توان از روشهای خطی برای تحلیل آن استفاده نمود:

الف) سختی موثر^(۲) سیستم جدا ساز، حداقل برابر با ۵۰ درصد سختی موثر در تغییر مکان $0.2 d_{dc}$ باشد.

طبق تعریف سختی موثر سیستم جداساز در یک جهت اصلی عبارتست از نسبت مقدار نیروی افقی کلی منتقل شده از سطح جداساز، هنگامی که تغییر مکان طراحی^(۵) در همان جهت مد نظر باشد، به مقدار مطلق تغییر مکان طراحی (سختی سکانت). سختی موثر به طور کلی به وسیله تحلیل دینامیکی تکراری^(۶) به دست می آید و d_{dc} تغییر مکان طرح در مرکز سختی موثر در راستای مورد نظر می باشد و مرکز سختی موثر نیز مرکز سختی قسمت بالای سطح جداساز(روسازه) تعریف شده است.

ب) نسبت میرایی موثر^(۸) سیستم جداساز، نباید از ۳۰ درصد تجاوز کند.

طبق تعریف، میرایی موثر سیستم جداساز، مقدار میرایی ویسکوز موثر است که مطابق با انرژی تلف شده توسط سیستم، طی پاسخ سیکلی، در تغییر مکان طراحی به دست آید.

که در این صورت انرژی سیستم جداساز لرزه ای باید به صورت یک میرایی ویسکوز معادل مانند یک میرایی موثر ξ_{eff} بیان گردد. انرژی تلف شده در تکیه گاهها باید از انرژی تلف شده اندازه گیری شده در سیکلها در ناحیه فرکانس های طبیعی مودهای قابل توجه بیان گردد. برای

مودهای بالاتراز این محدوده، نسبت میرایی مودال کل سازه باید از روسازه با پایه ثابت محاسبه گردد.

(ج) خصوصیات نیرو- تغییر مکان سیستم جدا ساز، نباید بیشتر از ۱۰ درصد به علت نرخ بار گذاری یا بارگذاری قائم، تغییر کند.

(د) افزایش نیروی ذخیره شده در سیستم جدا ساز، برای تغییر مکانهای بین $0.5 d_{dc}$ و d_{dc} حداقل ۲/۵ درصد کل بار ثقلی بالای سیستم جدا ساز باشد.

۱-۲-۵-۲- تحلیل خطی ساده شده :

این روش بر این واقعیت استوار است که در یک سازه جدا سازی شده، تغییر مکانها در سطح جداساز متمرکز بوده و لذا سازه فوقانی به مانند یک جسم صلب عمل می کند. لذا طراحی تنها بر اساس یک مود ارتعاش انجام گرفته و نیروهای طراحی برای المانهای سازه، با استفاده از نیروهای موجود در جداسازها تحت تغییر مکان طرح محاسبه می شود و در نتیجه یک روش ساده برای طراحی ایجاد شده است. تنها در شرایط خاص می توان از روش تحلیل خطی ساده شده استفاده نمود. این شرایط عبارتند از:

الف- فاصله محل سازه از نزدیک ترین گسل با پتانسیل فعال $M_s \geq 6.5$ ، بیشتر از ۱۵ کیلومتر باشد.

ب) بزرگترین بعد روسازه در پلان کمتر از ۵۰ متر باشد.

ج) زیر سازه برای کم کردن اثرات تغییر مکان تفاضلی زمین^(۱)، به حد کافی صلب باشد.

د) تمام وسایل^(۲) بالای المانهای زیر سازه قرار گیرند که به عنوان تکیه گاه برای بارهای قائم باشند.

و) پریود موثر T_{eff} که از رابطه ذیل محاسبه می شود شرط مقابل را ارضا کند:

$$3T_{\xi} \leq T_{eff} \leq 3s$$

که T_f پریود اصلی روسازه بدون وجود جداساز می باشد.

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{eff}}} \quad (14-2)$$

که در آن :

m جرم روسازه

K_{eff} سختی افقی موثر سیستم جداساز می باشد که برابر مجموع سختی موثر هر یک از واحدهای جداساز است.

ه) سیستم باربر جانبی روسازه، حول هر دو محور اصلی سازه، در پلان منظم و متقارن باشد.

ی) در اینحالت نسبت بین منحنی افقی و قائم سیستم جداساز باید شرط ذیل را ارضا کند:

$$\frac{k_v}{k_{eff}} \geq 150$$

ک) پیوند اصلی در جهت قائم، T_v ، از ۱ / . ثانیه بیشتر نباشد که T_v از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{m}{KV}}$$

در صورت برقراری شرایط فوق می توان از روابط زیر استفاده نمود:

تغییر مکان مرکز سختی تحت اثرات زمین لرزه، در هر دو جهت افقی، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$d_{dc} = \frac{M \cdot Se(T_{eff}, \zeta_{eff})}{K_{eff, \min}} \quad (15-2)$$

که در آن $Se(T_{eff}, \zeta_{eff})$ شتاب طیفی است که با داشتن T_{eff} و ζ_{eff} و نوع زمین، مطابق آنچه

که در بخش ۲-۵-۲- بیان شد، محاسبه می گردد.

نیروی افقی اعمال شده در هر تراز از رو سازه نیز، در جهات افقی مختلف به صورت زیر محاسبه

می شود:

$$F_j = M_j \cdot S_e (T_{eff}, \zeta_{eff}) \quad (16-2)$$

که M_j جرم در تراز λ از رو سازه است.

۲-۵-۲-۱-۱- اثر پیچش:

اگر در هر دو جهت اصلی افقی، خروج از مرکزیت کلی (شامل خروج از مرکزیت تصادفی) بین مرکز سختی سیستم جداساز و مولفه قائم مرکز جرم روسازه، از ۵/۷ درصد طول روسازه بیشتر نباشد. اثر جابجائی پیچشی حول محور قائم در محاسبه سختی افقی موثر و در تحلیل خطی ساده شده، نادیده گرفته می شود. در این صورت اثرات پیچشی هر یک از جداسازهای موجود در ساختمان، بوسیله ضرب پارامتر \bar{D}_i در مقادیر تغییر مکان و نیروهای بدست آمده، بیان می شود، برای اثر در راستای X داریم:

$$\sigma_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{ry^2} y_i \quad (17-2)$$

که در رابطه فوق :

y انتقال در راستای افق به جهت X است .

(X_i, y_i) مختصات هر جداساز نسبت به مرکز سختی موثر

e_{tot}, y خروج از مرکزیت کلی در راستای y

r_y شعاع پیچشی سیستم جداساز است که توسط رابطه زیر بیان می شود:

$$r_y^2 = \sum (x_i^2 k_{yi} + y_i^2 k_{xi}) / \sum k_{xi} \quad (18-2)$$

k_{yi}, k_{xi} بیان کننده سختی موثر در جداساز i در راستای X, y هستند.

که علاوه بر سختی های پیچشی فوق، لازم است مطابق با مباحث مطرح شده در فصل چهارم

آئین نامه، سختی پیچشی روسازه نیز در نظر گرفته شود.

۲-۵-۲-۱-۲- بررسی روش تحلیل خطی ساده شده:

مستطیلی خواهد بود و با آنچه در سازه های معمولی (جدا سازی نشده) اعمال می شود، متفاوت است.

۲-۵-۲-۱-۲-۲- تغییر مکان نسبی طبقات:

در سازه ها، در حالت حد سرویس، جابجائی نسبی زیر سازه و روسازه باید به دو حالت زیر محدود شود.

الف) سازه هایی با المانهای غیر سازه ای ترد متصل به سازه:

$$\text{بناهای در گروه اهمیت I , II} \longrightarrow dr \leq 0.0125 h$$

$$\text{بناهای در گروه اهمیت III} \longrightarrow dr \leq 0.01 h$$

ب) برای سازه هایی با المانهای غیر سازه ای که در تغییر شکل سازه ای مداخله ای ندارند:

$$\text{بناهای گروه اهمیت I , II} \longrightarrow dr \leq 0.0187 h$$

$$\text{بناهای در گروه اهمیت III , IV} \longrightarrow dr \leq 0.015 h$$

۲-۵-۳- تغییر مکان ماکزیمم:

به طور کلی یک سیستم جدا ساز قابل قبول بایستی دارای ویژگیهای زیر باشد:

۱- تحت تغییر مکانهای لازم در طراحی ، پایدار باقی بماند.

۲- مقاومت آن با افزایش جابجائی در آن، افزایش یابد.

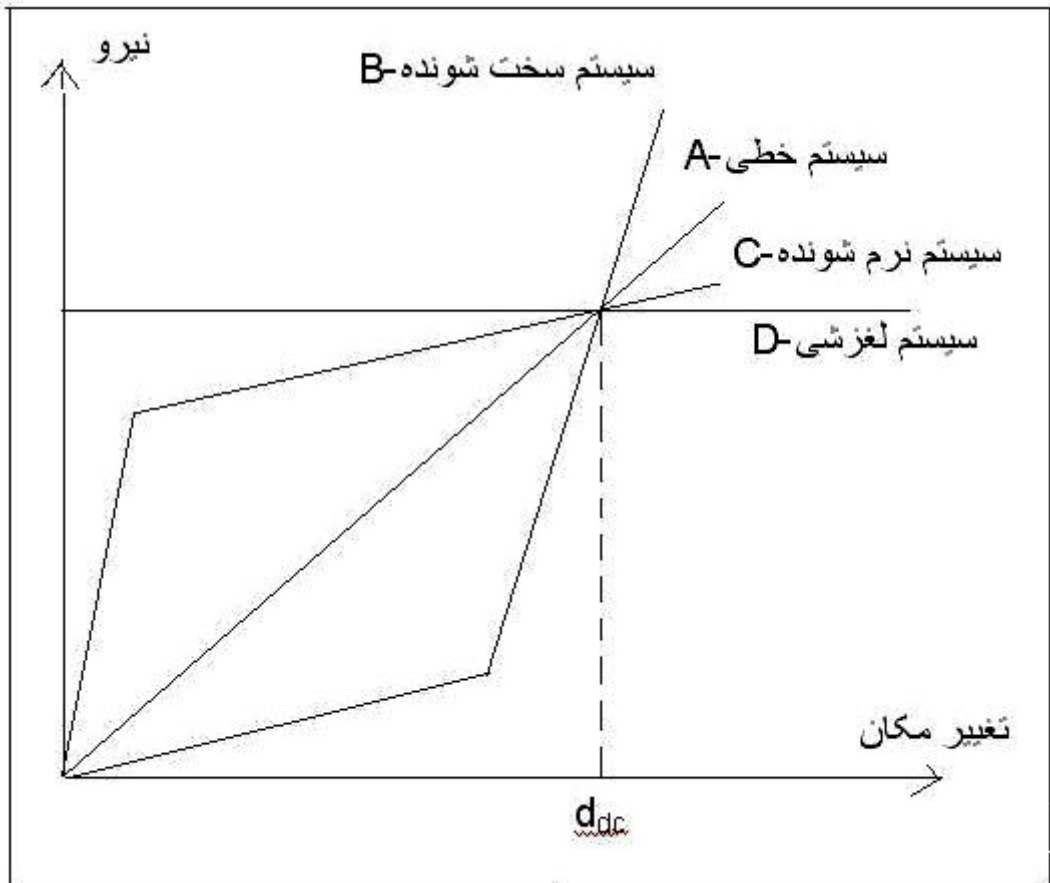
۳- تحت بارهای دوره ای ^(۱) خواص مکانیکی آن تنزل پیدا نکند.

۴- دارای پارامترهای مکانیکی قابل اندازه گیری باشد. (به عنوان مثال نمودار نیرو- تغییر مکان

و میرایی)

اساسا چهار نوع رابطه نیرو- تغییر مکان برای سیستم های جداساز می توان در نظر گرفت.

این منحنی های فرضی در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



شکل (۲-۴) منحنیهای نیرو- تغییر مکان فرضی برای سیستم جداساز

هر چهار منحنی دارای تغییر مکان طراحی مساوی هستند.

منحنی A نشان دهنده سیستم جداساز خطی است که دارای زمان تناوب مساوی برا بردر تمام سطوح زلزله می باشد. به علاوه نیروی تولید شده در سازه فوقانی متناسب با مقدار جابجائی در سیستم جداساز است.

یک سیستم سخت شونده توسط منحنی B نشان داده شده است. این سیستم ابتدا دارای سختی کم (زمان تناوب زیاد) می باشد و با افزایش نیروی زلزله سختی آن افزایش می یابد (زمان تناوب موثر آن کاهش می یابد). در مقایسه با یک سیستم خطی، زمانی که زمین لرزه جابجائی های بیشتر از تغییر مکان طرح d_{dc} را در سیستم سخت شوند بوجود آورد، سازه فوقانی در معرض نیروهای بیشتر و سیستم جداساز در معرض تغییر مکان های کمتری نسبت به سیستم خطی قرار خواهد گرفت.

منحنی C نشان دهنده یک سیستم جدا ساز نرم شونده است. این سیستم دارای سختی اولیه زیاد (زمان تناوب کوتاه) است که با افزایش نیروی زلزله، سختی آن کاهش می یابد (پریود موثر آن افزایش می یابد).

در مقایسه با یک سیستم خطی، زمانیکه زمین لرزه، جابجائیهای بیشتر از تغییر مکان طرح d_{dc} را در سیستم نرم شونده به وجود آورد، سازه فوقانی در معرض نیروهای کمتر و سیستم جداساز در معرض تغییر مکانهای بیشتری نسبت به سیستم خطی قرار خواهد گرفت.

منحنی D یک سیستم جداساز لغزشی را نشان می دهد. بهترین عامل موثر در این سیستم نیروی اصطکاک است. به مانند سیستم نرم شونده زمان تناوب موثر این سیستم با افزایش نیروی زلزله، افزایش می یابد و نیروی وارده به سازه فوقانی ثابت می ماند. نسبت سختی اولیه به سختی ثانویه در این نوع سیستم ها بسیار زیاد است و تا حدود ۱۰۰ برابر نیز می رسد. تغییر مکان حداکثر جداسازهای لغزشی پس از چند رفت و برگشت زمین لرزه، به میزان زیادی وابسته به حرکات زمین در هنگام زلزله است و ممکن است از تغییر مکان مبنای طرح d_{dc} بیشتر شود. در نتیجه حداقل ملزومات طراحی آئین نامه، قادر به تامین ماکزیمم جابجائی این نوع سیستم های جداساز که فقط دارای مکانیسم لغزشی هستند، نمی باشد.

در حالت ایده ال تغییر مکان جانبی یک سازه جداسازی شده، بطور عمده نتیجه تغییر شکل سیستم جداساز می باشد و تغییر شکل خود سازه سهم بسیار کمی در آن دارد. بنابراین سیستم مقاوم جانبی سازه فوقانی باید طوری طراحی شود که سختی و مقاومت کافی برای جلوگیری از تغییر شکلهای بزرگ و غیر ارتجاعی را داشته باشد. به همین دلیل آئین نامه های مختلف معیارهایی برای محدود کردن پاسخ غیر ارتجاعی روسازه وضع نموده اند و آئین نامه اروپا سیستم روسازه و زیر سازه را در محدوده الاستیک نگه می دارد.

هر چند کنترل خرابی برای زلزله طرح، هدف صریح آئین نامه نیست، اما یک سازه جداساز شده که طوری طراحی شده است که پاسخ غیر الاستیک در سازه فوقانی محدود می باشد، موجب کاهش

خسارتهایی می شود که در غیر اینصورت در اثر زمین لرزه به وجود می آید. به طور کلی هدف آئین نامه در طراحی ساختمانهای دارای جداساز در دو حالت زیر خلاصه می شود:

- ۱- در مقابل زلزله های سطح بهره برداری کوچک و متوسط بدون وارد آمدن خسارت به اجزای سازه ای و غیر سازه ای و تجهیزات درون ساختمان مقاومت به عمل می آید .
- ۲- در مقابل زلزله های شدید ، بدون گسیختگی در سیستم جدا ساز، بدون خسارت عمده سازه ای و بدون خرابی های زیاد غیر سازه ای و خسارات عمده به تاسیسات ساختمان ، مقاومت کند .

چنانچه مشاهده می شود اهداف فوق برای ساختمانهای جدا سازی شده به میزان قابل ملاحظه ای بالاتر از عملکردی است که از سازه های معمولی (پایه ثابت) در زلزله های متوسط و شدید انتظار می رود .

۲-۵-۴- روش تحلیل خطی ساده شده مودال :

در صورتی که رفتار سیستم جدا ساز به صورت خطی در نظر گرفته شود ولی تمام شرایط بند ۱-۲-۵-۲ بر آورده نگردد، از روش تحلیل مودال استفاده می شود. بدین صورت که با توجه به تغییر مکانهای افقی و جابجایی پچیشی حول محور قائم و با فرض اینکه روسازه وزیر سازه صلب هستند مطابق به آنچه که در فصل چهارم آیین نامه آمده است تحلیل انجام می پذیرد. در این حالت خروج از مرکزیت کلی (شامل خروج از مرکزیت تصادفی) جرم روسازه باید در محاسبات لحاظ گردد که جزییات آن مطابق با روش آنالیز مودال می باشد .

۲-۵-۵- تحلیل تاریخچه زمانی :

اگر سیستم جدا ساز لرزه ای را نتوان به صورت مدل خطی معادل در نظر گرفت، پاسخ سیستم را باید توسط تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از قانون ترکیب که می تواند رفتار سیستم را در ناحیه تغییر مکانها و سرعتهای پیش بینی شده در طراحی لرزه ای تولید کند، انجام پذیرد .

۲-۵-۶- سایر جزییات مورد نیاز :

مسائل مهمی از قبیل مقاومت در برابر آتش سوزی، شرایط محیطی، پایداری قایم جدا سازها ، بازدید و کنترل کیفیت جدا سازها در آیین نامه آمده است که جهت حفظ اختصار از آوردن آن در این مبحث خودداری می کنیم .

۲-۵-۷- مقایسه نحوه توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع در

IBC2000 و EUROCODE8

اختلاف مهمی که در این دو آیین نامه به چشم می خورد اختلاف در روش توزیع نیروی برشی در ارتفاع رو سازه است . بدین ترتیب که آیین نامه IBC از یک روش توزیع مثلثی همانند سازه های معمولی استفاده می کند در صورتیکه آیین نامه اروپا از روش توزیع یکسان با این فرض که شتاب تمام طبقات هنگام وقوع زلزله یکسان است ، استفاده نموده که در این حالت ، به نظر می رسد آیین نامه IBC در سطح ایمنی بالاتری قرار داشته باشد ، چرا که با فرض برش پایه یکسان، نحوه توزیع مثلثی نیروی برشی در ارتفاع، رو سازه صلب تری نسبت به توزیع مستطیلی خواهد داد و در این صورت ، به نظر می رسد، روسازه طراحی شده با آیین نامه اروپا روسازه نرمتری نسبت به آیین نامه IBC باشد .

فصل سوم

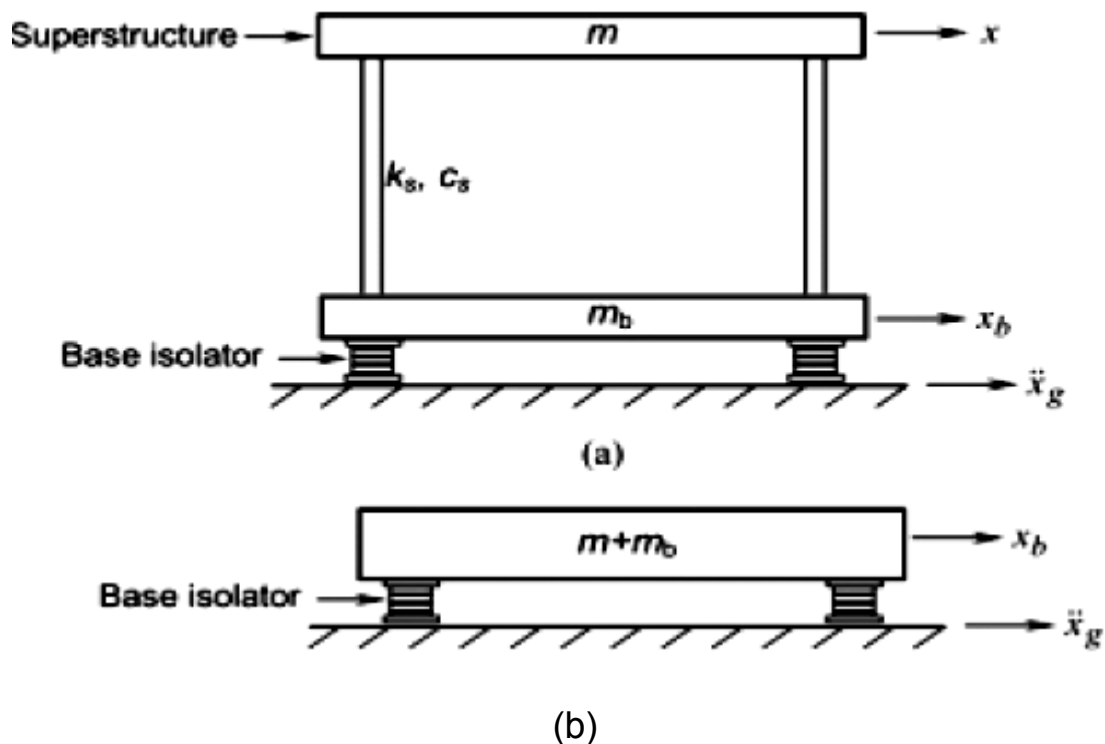
مطالعات انجام گرفته

در این فصل، به بررسی مطالعات انجام شده در زمینه تاثیرات نرمی روسازه بر پاسخ سازه های جداسازی شده می پردازیم. آنچه در صفحات بعدی آید خلاصه ای از مطالعات و مقالات افراد مختلف می باشد.

(الف)

۳-۱- روش مدلسازی:

با استفاده از مدلسازی ساختمان های چند طبقه به صورت یک مدل سازه ای دو جرمی مطابق آنچه در شکل نشان داده شده است، جرم m برای روسازه ساختمان و m_b جرم پایه که بالای سیستم جداساز در نظر گرفته می شود. فرض می شود ساختمان دارای رفتار نیرو-تغییر شکل خطی بوده و با میرایی ویسکوز مدل می شود. سختی و میرایی روسازه با k_s و c_s نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) مدل سازه جدا سازی شده با روسازه نرم وصلب

به طور کلی روسازه و پایه را می توان با سه پارامتر زیر مشخص نمود، T_s ، γ و ζ_s که

این مقادیر به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega_s} \quad \text{و} \quad \omega_s = \sqrt{\frac{k_s}{m}} \quad (1-3)$$

$$2\zeta_s \omega_s = \frac{C_s}{m} \quad (2-3)$$

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} \quad (3-3)$$

مدل سازه را که در آن روسازه به صورت یک جسم صلب در نظر گرفته شده است ، مطابق شکل (1b) ، در نظر می گیریم. در این مدل تمام جرم ساختمان به وسیله سیستم جداساز حمل می شود، در نتیجه می تواند به صورت یک سیستم یک درجه آزادی مدل شود. بامقایسه بین پاسخهای دو مدل نشان داده شده، می توان تاثیرات نرمی روسازه را روی پاسخ سازه جدا شده نشان داد. ذکر این نکته قابل توجه است که تحلیل سازه جدا شده با روسازه صلب به عنوان یک سیستم یک درجه آزادی بسیار ساده تر از مدل مشابه با روسازه نرم است.

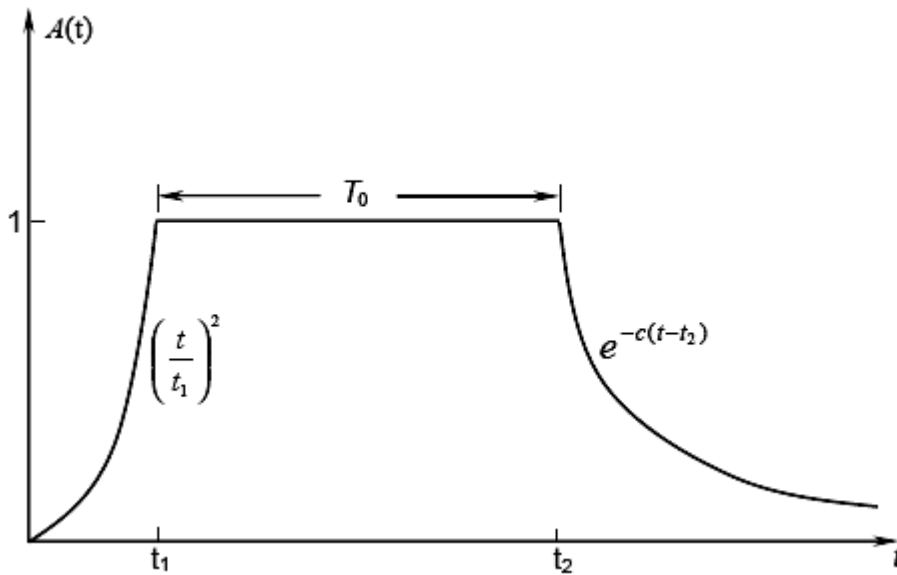
۳-۲- مدل حرکات زمین

حرکت زمین به صورت مدلی یکنواخت از یک فرایند تصادفی گوسی ایستا با متوسط صفر در نظر گرفته می شود. شتاب زمین \ddot{x}_g از عبارت زیر به دست می آید:

$$\ddot{x}_g(t) = A(t)\ddot{u}_f(t) \quad (4-3)$$

که در آن $A(t)$ تابع مدل جبری و $\ddot{u}_f(t)$ فرایند تصادفی ایستامی باشد. تابع مدل جبری از معادله (۴-۳) که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است با رابطه زیر محاسبه می شود که t_1 و t_2 نشان دهنده زمان شروع و پایان حرکات قوی زمین هستند و C یک ثابت است و $T_0 = t_2 - t_1$ نشان دهنده زمان تکان قوی زمین می باشد.

$$A(t) = \begin{cases} (t/t_1)^2 & (0 \leq t \leq t_1) \\ 1 & (t_1 \leq t \leq t_2) \\ e^{-c(t-t_2)} & (t \geq t_2) \end{cases}$$



شکل (۲-۳) مدل تابع غیر ایستای حرکات زمین

تابع چگالی طیفی توان (PSDF) حرکات زمین لرزه به صورت زیر داده میشود:

$$S_{\ddot{x}_g}(\omega) = |A(t)|^2 S_{\ddot{u}_f}(\omega) \quad (۷-۳)$$

که $\ddot{u}_f(\omega)$ عبارت است از PSDF ثابت در زلزله.

در این مطالعه PSDF حرکات زمین لرزه به همان صورتی که کلاف و پنزین پیشنهاد

کرده اند در نظر گرفته می شود:

$$S_{\ddot{u}_f}(\omega) = S_0 \left(\frac{1 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2}{[1 - (\omega/\omega_g)^2]^2 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2} \right) \left(\frac{(\omega/\omega_f)^4}{[1 - (\omega/\omega_f)^2]^2 + 4\xi_f^2(\omega/\omega_f)^2} \right) \quad (۸-۳)$$

$\omega_g, \xi_g, \omega_f$ پارامترهای تصحیح زمین است. ξ_g و ω_g به صورت کلی نشان دهنده فرکانس و

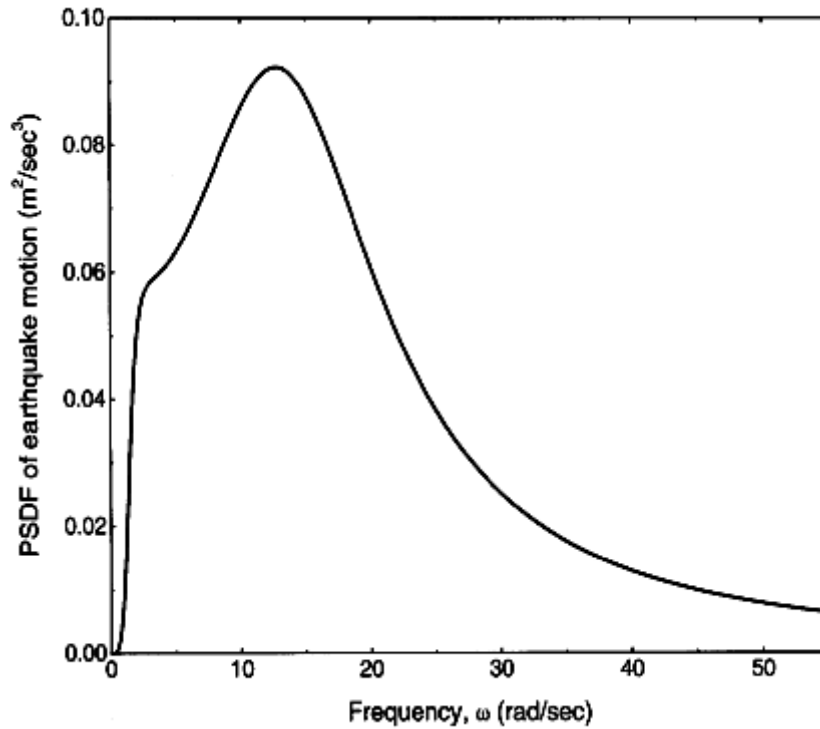
نسبت میرایی غالب خاک می باشد.

در این مطالعه مقدار پارامترهای فوق به صورت زیر در نظر گرفته می شوند:

$$\omega_g = 15.6 \text{ rad/sec}, \xi_g = 0.6, \omega_f = 1.5 \text{ rad/sec}, \xi_f = 0.6$$

و $S_0 = 0.05 \text{ m}^2/\text{sec}^3$ مقادیر مشخصات خاک سخت است.

تغییرات PSDF با این پارامترها در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۳)

توجه به این نکته مهم است که برای استفاده از روش state variable برای پاسخهای تصادفی هر سیستمی حداقل نیاز به تکنیکهای با نویز خالص می باشد. در حالی که PSDF یک فرایند تصادفی غیر خالص است. در فرایند تصادفی $\ddot{u}_f(t)$ ، این مانع به وسیله فرض یک فیلتر شکل که در فرایند تصادفی در نظر گرفته می شود حل می شود.

$$\ddot{u}_f(t) + 2\xi_f\omega_f\dot{u}_f(t) + \omega_f^2u_f(t) = \ddot{u}_g(t) + \ddot{u}_0(t) \quad (8-3)$$

$$\ddot{u}_g(t) + 2\xi_g\omega_g\dot{u}_g(t) + \omega_g^2u_g(t) = -\ddot{u}_0(t) \quad (9-3)$$

۳-۳- معادلات حاکم بر حرکت

معادله حاکم بر روسازه (که در شکل 1(a) نشان داده شده است) عبارت است از:

$$m\ddot{x} + c_s(\dot{x} - \dot{x}_b) + k_s(x - x_b) = -m\ddot{x}_g \quad (10-3)$$

که در آن x جابجایی روسازه نسبت به زمین

x_b جابجایی جرم پایه نسبت به زمین

\ddot{x}_g شتاب زمین که با استفاده از معادله ۴ تعیین می شود.

معادله جرم پایه به صورت زیر است:

$$m_b\ddot{x}_b + F_b - c_s(\dot{x} - \dot{x}_b) - k_s(x - x_b) = -m_b\ddot{x}_g \quad (11-3)$$

که در آن F_b نیروی پسماند سیستم جداساز می باشد.

معادلات مشابه حاکم بر حرکت ساختمان با روسازه صلب که در شکل 1(b) نشان داده شده

است عبارتند از:

$$(m + m_b)\ddot{x}_b + F_b = -(m + m_b)\ddot{x}_g \quad (12-3)$$

با مقایسه روابط ۱ و ۲ رابطه زیر به دست می آید:

$$(m + m_b)\ddot{x}_b + F_b + m\ddot{x}_r = -(m + m_b)\ddot{x}_g \quad (13-3)$$

که در آن $\ddot{x}_r = \ddot{x} - \ddot{x}_b$ شتاب روسازه نسبت به زیر سازه است.

با مقایسه بین معادلات (۳-۱۲) و (۳-۱۳) مشاهده می شود $m\ddot{x}_r$ به عنوان یک ترم اضافه در معادله ساختمان دارای روسازه نرم ظاهر می شود. لذا وقتی که روسازه ساختمان در مقایسه با سیستم جداساز نسبتاً سخت باشد می توان گفت که نسبت جابجایی x_r به صفر نزدیک میشود و با این توجیه می توان آنالیز روسازه را به صورت صلب انجام داد.

نیروی پسماند F_b بستگی به نوع سیستم جداساز دارد که برای انواع سیستم های جداساز به صورت زیر شرح داده می شود:

۳-۴- نشیمنهای ورق لاستیکی :

سیستم LRB جزء متداولترین سیستم های مورد استفاده می باشد که شامل لایه هایی از فولاد و ورقه هایی از لاستیک است . به طور کلی سیستم LRB ظرفیت بالای میرایی، نرمی افقی و سختی قائم بالایی را عرضه می کند. رفتار این سیستم به وسیله رفتار نیرو- تغییر شکل خطی با میرایی ویسکوز مدل می شود . بنابراین نیروی پسماند به صورت زیر تعریف می شود:

$$F_b = c_b \dot{x}_b + k_b x_b \quad (14-3)$$

که k_b و c_b به ترتیب میرایی و سختی سیستم LRB هستند. راحت ترین راه برای تعیین پاسخهای استاتیکی سازه جداشده استفاده از روش فرمولاسیون state variable است. با استفاده از معادلات (۱۰-۳) و (۱۱-۳) و همچنین (۳-۴) و (۳-۸) و (۳-۹) معادله دیفرانسیل تصادفی مرتبه اول سیستم را به صورت زیر می توان نوشت:

$$[H] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_x}{m} - \frac{c_x}{m} \frac{k_x}{m} & \frac{c_x}{m} & -\omega_f^2 A(t) - 2\xi_f \omega_f A(t) & -\omega_g^2 A(t) & -2\xi_g \omega_g A(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_x}{m_b} & \frac{c_x}{m_b} & -\frac{k_x+k_b}{m_b} - \frac{c_x+c_b}{m_b} & -\omega_f^2 A(t) - \xi_f \omega_f A(t) & -\omega_g^2 A(t) & -2\xi_g \omega_g A(t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_f^2 & -2\xi_f \omega_f & -\omega_g^2 & -2\xi_g \omega_g \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_g^2 & -2\xi_g \omega_g \end{bmatrix} \quad (17-3)$$

$$[H] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_b}{m+m_b} - \frac{c_b}{m+m_b} & -\omega_f^2 A(t) - 2\xi_f \omega_f A(t) & -\omega_g^2 A(t) & -2\xi_g \omega_g A(t) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\omega_f^2 & -2\xi_f \omega_f & -\omega_g^2 & -2\xi_g \omega_g \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_g^2 & -2\xi_g \omega_g \end{bmatrix} \quad (23-3)$$

$$\frac{d}{dt}\{Y\} = [H]\{Y\} + \{F\} \quad (15-3)$$

$$\{Y\} = \{x, \dot{x}, x_b, \dot{x}_b, x_f, \dot{x}_f, x_g, \dot{x}_g\}^T \quad (16-3)$$

$$\{F\} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -\ddot{u}_0\}^T \quad (18-3)$$

بردار پاسخ افزایش یافته $\{Y\}$ یک فرایند مارکوف (Markov) می باشد و ماتریس کوواریانس $[V]$ معادله زیر را ارضا می کند که مولفه های ماتریس $[V]$ ، $[P]$ به صورت زیر داده شده اند:

$$\frac{d}{dt}[V] = [H][V] + [V][H]^T + [P] \quad (19-3)$$

$$P_{ij} = E[F_i Y_j]$$

$$V_{ij} = E[Y_i Y_j]$$

که E اپراتور پیش بینی است. ماتریس های مشابه $\{Y\}$ $[H]$ $\{F\}$ برای یک روسازه صلب که به وسیله سیستم LRB جدا شده به صورت زیر هستند:

$$\{Y\} = \{x_b, \dot{x}_b, x_f, \dot{x}_f, x_g, \dot{x}_g\}^T$$

$$\{F\} = \{0, 0, 0, 0, 0, -\ddot{u}_0\}^T$$

تمام مولفه های ماتریس $\{P\}$ برابر صفر هستند به جز P_{88} برای روسازه نرم و P_{66} برای روسازه صلب که برابر هستند با $2\pi\delta_0$ پاسخ غیر ایستای سیستم به وسیله حل معادله (۳-۱۹) به دست می آید. ماتریس افزایش یافته سیستم $[H]$ وابسته به زمان بوده و بسته به مدل $A(t)$ می باشد. بنابراین حل معادله ۱۹ به صورت عددی و بر پایه حل قدم به قدم با روش رانج- کوتا (Runge_Kutta) می باشد.

۳-۵- سیستم N-Z:

سیستم N-Z میرایی های هیستریتیک را به وسیله جاری شدن هسته سربی به دست می دهد. حلقه های هیستریزیس یک تکیه گاه به طور کلی به وسیله مدل دو خطی رفتار نیرو- تغییر شکل و به وسیله معادله ون (Wen) در نظر گرفته شده است. نیروی پسماند به وسیله رابطه زیر تعیین می شود:

$$F_b = c_b \dot{x}_b + \alpha k_b x_b + (1 - \alpha) F_y Z \quad (25-3)$$

که C_b میرایی ویسکوز تکیه گاه و یا میرایی به وجود آمده از تمامی میراگرهای ویسکوز α ضریبی که نشان دهنده سختی در تسلیم است.

F_y مقاومت جاری شدن تکیه گاه

z مولفه هیستریزیس بدون بعدی که در معادله دیفرانسیل مرتبه اول غیر خطی زیر صدق می کند:

$$q\dot{Z} = A\dot{x}_b + \beta|\dot{x}_b|Z|Z|^{n-1} - \tau\dot{x}_b|Z|^n \quad (26-3)$$

که در آن q جابجایی تسلیم تکیه گاهها و β, τ, A پارامترهای بدون بعد حلقه هیستریزیس هستند. پارامترهای $\alpha, \eta, \beta, \tau, A$ شکل حلقه را کنترل کرده و به وسیله آزمایش مشخص می شوند.

معادله (۲۶-۳) یک معادله غیر خطی است و لذا نمی توان وقتی که پاسخ از روش state variable محاسبه می شود از آن استفاده کرد. لذا معادله (۲۶-۳) با معادله خطی معادل زیر جایگزین می شود:

$$q\dot{Z} + C_e\dot{x}_b + K_e Z = 0 \quad (27-3)$$

که C_e, k_e ثوابتی هستند که از طریق به حداقل رساندن متوسط مربعات خطا بین حالت خطی و غیر خطی به دست می آید و برای $\eta = 1$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$C_e = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left\{ \gamma \frac{E(\dot{x}_b, Z)}{\sqrt{E(Z, Z)}} + \beta \sqrt{E(\dot{x}_b, \dot{x}_b)} \right\} - A \quad (28-3)$$

$$K_e = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left\{ \gamma \sqrt{E(Z, Z)} + \beta \frac{E(\dot{x}_b, Z)}{\sqrt{E(Z, Z)}} \right\} \quad (29-3)$$

لذا پاسخ تصادفی سیستم را می توان به وسیله استفاده از روش state variable به وسیله حل معادلات مشابه معادلات (۱۹-۳) محاسبه نمود. بردار y به صورت

برای روسازه های صلب خواهد بود. و $\{x_b, \dot{x}_b, Z, x_f, \dot{x}_f, x_g, \dot{x}_g\}^T$ و $\{x, \dot{x}, x_b, \dot{x}_b, Z, x_f, \dot{x}_f, \dot{x}_f, x_a, \dot{x}_a\}^T$ برای روسازه های نرم

۳-۶- سیستم های لغزشی

معادله نیروی پسماند به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$F_b = c_b \dot{x}_b + k_b x_b + F_x$$

که C_b, k_b میرایی و سختی سیستم لغزشی هستند و F_x نیروی اصطکاکی در سیستم لغزشی است و با این فرض که سیستم در بیشترین حالات خود در حالت اصطکاکی باشد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F_x = \mu(m_b + m)g \operatorname{sgn}(\dot{x}_b)$$

که μ ضریب اصطکاک سیستم لغزشی است و فرض می شود که به سرعت لغزش بستگی دارد.

توجه شود که چون F_x غیر خطی است به وسیله معادله زیر جایگزین می شود:

$$F_x = c_\epsilon \dot{x}_b$$

$$c_\epsilon = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\mu(m_b + m)g}{\sigma_{\dot{x}_b}}$$

که در آن عبارت $\sigma_{\dot{x}_b}$ جذر متوسط مربعات (RMS) سرعت جرم پایه.

پاسخ تصادفی سازه با سیستم جداساز پایه با استفاده از سیستم لغزشی می تواند به همان صورت که در سیستم های LRB و N-Z شرح داده شد محاسبه شود.

۳-۷- پارامترهای سیستم

روسازه سیستم جداساز پایه نیاز به تعیین دو مشخصه زیر دارد:

زمان تناوب اصلی روسازه با فرض پایه های ثابت (T_s) و نسبت میرایی روسازه (ζ_s).

جرم پایه به وسیله پارامتر نسبت جرم (γ) طراحی می شود. در این مطالعه نسبت میرایی روسازه برابر ۰.۲/۰ و نسبت جرم برابر ۵/۰ ثابت نگه داشته می شود تا این پارامترها تاثیرات مهمی روی پاسخ سازه جداسازی شده نگذارند.

زمان تناوب اصلی روسازه، (T_s)، بین ۱/۱ تا ۱ ثانیه متفاوت در نظر گرفته می شود. (زمان تناوب معمول ساختمانهای یک تا ده طبقه) و برای هر کدام از جداسازها تاثیر داده شده است. پارامترهای جداسازی برای سازه جدا شده به وسیله سیستم LRB عبارتند:

از دوره تناوب سیستم جداساز (T_b) و نسبت میرایی نشیمنها (ζ_b) که به صورت زیر تعریف می شود:

$$T_b = \frac{2\pi}{\omega_b} \text{ and } \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{m + m_b}} \qquad 2\xi_b\omega_b = \frac{c_b}{m + m_b}$$

سیستم N-Z به صورت کلی با مشخص شدن سه پارامتر زیر طراحی می شوند:

دوره تناوب جداکننده (T_b)

نسبت میرایی جداکننده (ζ_b)

مقاومت تسلیم نرمال شده (F_0)

که T_b و ζ_b از معادلات فوق محاسبه می شوند. پارامتر (F_0) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F_0 = \frac{F_y}{(m + m_b)g}$$

پارامترهای دیگر سیستم N-Z عبارتند از: سطح جابجایی تسلیم نشیمنها (q) و پارامترهای

حلقه هیستریزیس نشیمنها مانند (β, τ, A, η) که این پارامترها بصورت زیر ثابت نگه داشته

می شوند: ($A = 1, q = 25mm, \beta = \tau = .5, \eta = 1$)

در سیستم لغزشی نیاز به سه پارامتر ζ_b, T_b, μ می باشد که مطابق معادلات فوق به دست می آید.

در این قسمت پاسخ هر دو سیستم روسازه نرم و صلب جداشده به وسیله سیستم های جداساز مختلف به حرکات زمین لرزه ای غیر ایستا تخمین زده می شود. پاسخ غیر ایستای سیستم با حل معادله (۳-۱۹) برای سیستم های جداساز مختلف و شرایط روسازه مختلف حاصل می شود.

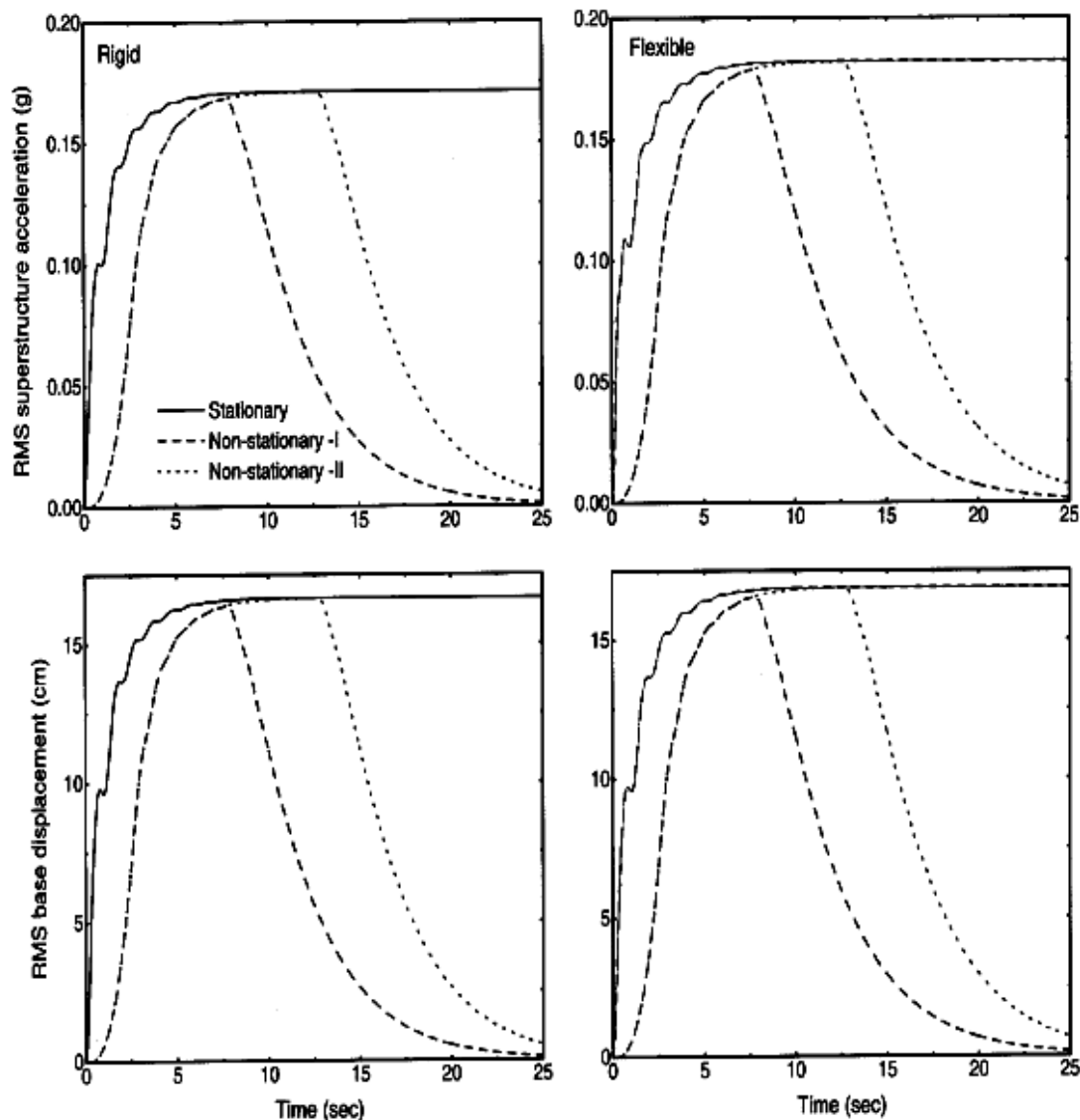
تابع PSDF حرکات زمین در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. تاثیر ω_g (فرکانس حاکم خاک) روی پاسخ سازه به صورت جداگانه مطالعه می شود. پاسخ سیستم برای دو نوع تابع مدلسازی (همانطور که در شکل (۳-۲) داده شده و معادله (۳-۵) آورده شده است) تخمین زده می شود.

$$i) \quad t_1 = 2.5 \text{ sec}, t_2 = 7.5 \text{ sec and } c = 0.5 \text{sec}^{-1}$$

$$ii) \quad t_1 = 2.5 \text{ sec}, t_2 = 12.5 \text{ sec and } c = 0.5 \text{sec}^{-1}.$$

این توابع مدلسازی مربوط به زمان تکانهای قوی با $T_0=5, 10$ ثانیه هستند. همچنین برای $A(t)=1$ برای تمام مقادیر t (که مشابه حرکات زمین لرزه ای ایستا می باشند) به این صورت محاسبه می شود که بین پاسخ ایستا و غیر ایستای سازه تفاوت قائل می شویم. برای سازه جداسازی شده کیفیت های پاسخ مورد علاقه عبارتند از: RMS شتاب مطلق روسازه و جابجایی نسبی پایه .

شتاب مطلق به طور مستقیم متناسب با نیروهای وارد به روسازه بر اثر زلزله می باشد. و جابجایی نسبی پایه به علت طراحی نقطه مورد نظر سیستم جداساز مهم می باشد. در شکل (۳-۴) RMS تغییرات شتاب روسازه و جابجایی پایه سازه جداسازی شده به وسیله سیستم LRB با $T_b = 2s$ و $\zeta_b = 0.1$ در مقابل زمان نشان داده شده است. پاسخ به همان صورتی که برای روسازه نرم نشان داده شده است برای روسازه صلب نیز نشان داده شده می شود.

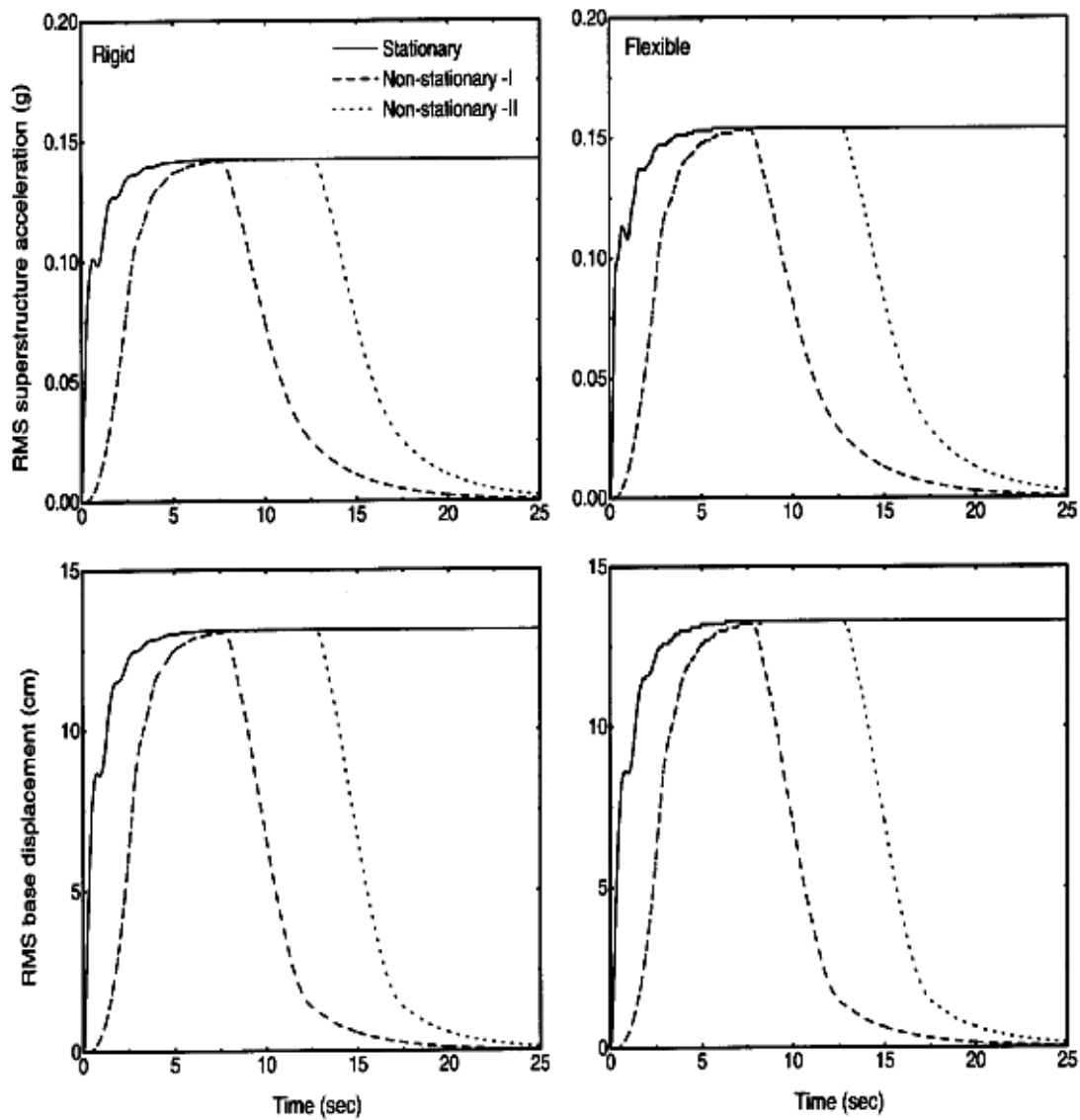


شکل (۳-۴) تغییرات زمانی RMS شتاب و جابجایی روسازه برای سیستم LRB

چنانچه از شکل مشخص است پاسخ ایستا در یک زمان خیلی کوتاه (در حدود ۵ ثانیه) به اتمام می رسد. در مجموع پیک RMS پاسخ تحت حرکات غیر ایستای زمین درست مثل پاسخ آن در حالت حرکات ایستای زمین می باشد. این مسئله به طور عمده زمانی اتفاق می افتد که میرایی در سازه جداسازی شده بزرگ باشد. بنابراین پاسخ تصادفی سازه های جداسازی شده با در نظر گرفتن مدل ایستای حرکات زمین با تغییر فرکانس متناسب با تغییرات تابع PSDF و شدت آن می تواند محاسبه شود. به علاوه شکل (۳-۴) نشان می دهد که RMS جابجایی پایه

به دست آمده توسط روسازه صلب و نرم از نظر مفهوم تقریباً یکجور هستند و برای پیش بینی جابجایی نشیمن ها ، سازه با روسازه صلب دقت بالایی دارد. با این وجود RMS شتاب روسازه نرم به طور نسبی بزرگتر از RMS شتاب روسازه صلب است و این به آن علت است که درحقیقت در روسازه نرم یک سهم از مود دوم ارتعاش در شتاب مطلق روسازه دخیل است. اما این مود سهم کوچکی در جابجایی پایه آن دارد. بنابراین شتاب روسازه ممکن است در حالتی که از نرمی روسازه چشم پوشی می شود و به صورت یک جسم صلب در نظر گرفته می شود under steamaite باشد .

برای پاسخ سازه های جداسازی شده به وسیله سیستم های N-Z و FPS اثرات نرمی روسازه و توابع مدلسازی در شکل های (۳-۵) و (۳-۶) نشان داده شده است.



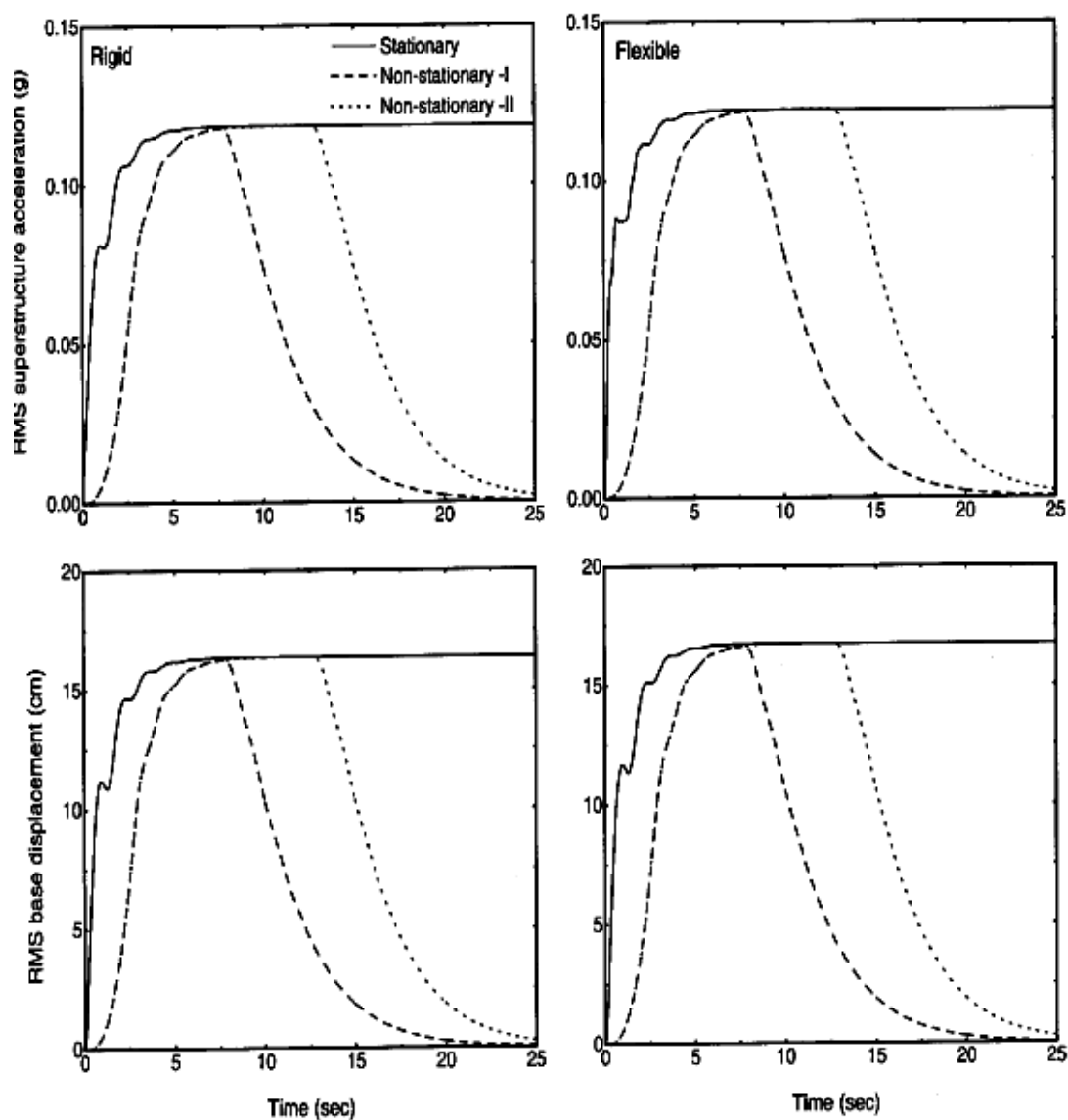
شکل (۳-۵) تغییرات زمانی RMS شتاب و جابجایی روسازه برای سیستم N-Z

پارامترهای ثابتی که برای سیستم N-Z در نظر گرفته شده عبارتند از

$$F_0 = 0.05 \text{ و } \zeta_b = .1 \text{ و } T_b = 2.5s$$

و برای سیستم FPS به صورت زیر می باشد:

$$T_b = 2.5s \quad \mu = 0.05 \quad ,$$



شکل (۳-۶) تغییرات زمانی RMS شتاب و جابجایی روسازه برای سیستم N-Z

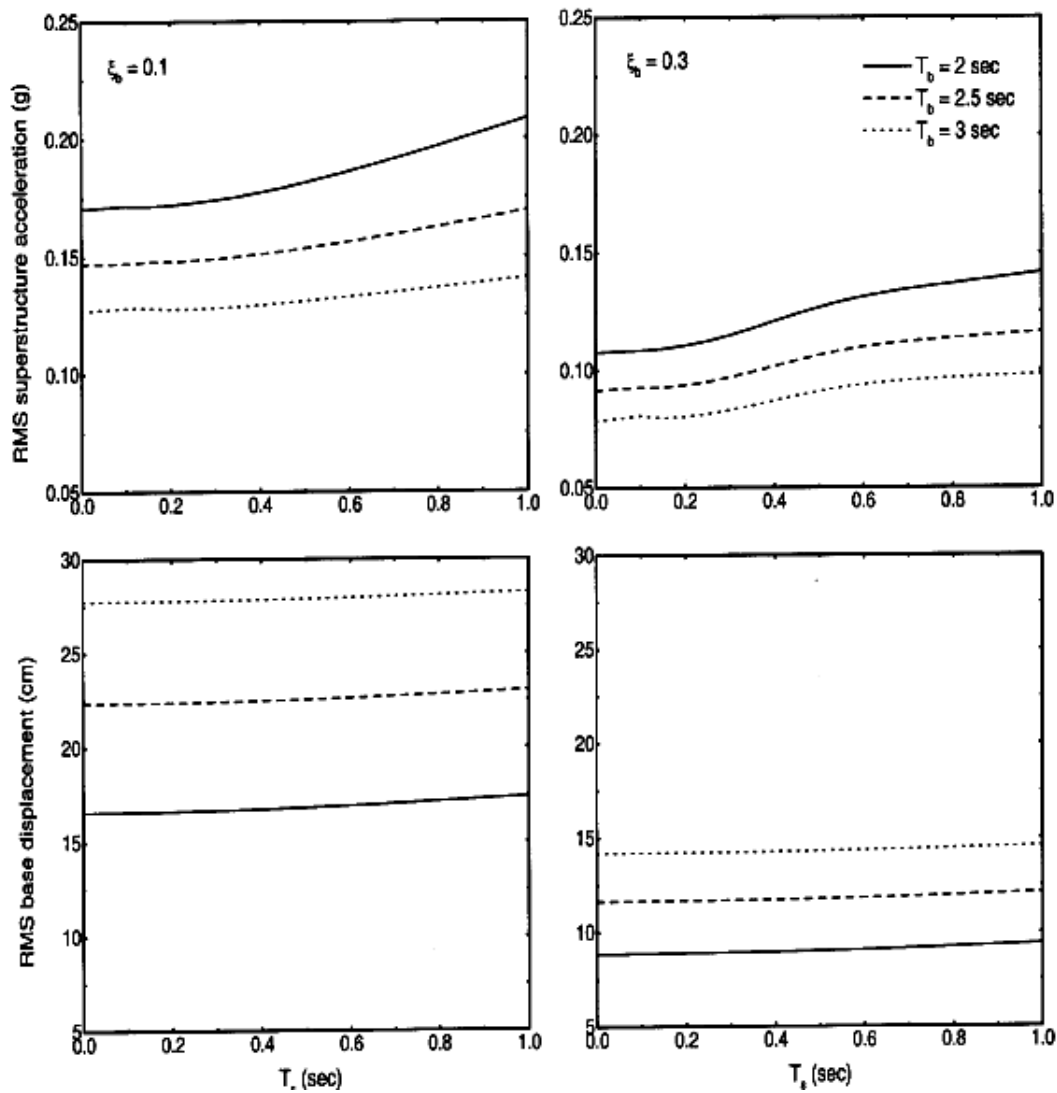
شکل (۳-۷) برای مقادیر مختلف دوره تناوب جداساز ($T_b = 2, 2.5, 3s$) و مقادیر مختلف میرایی پایه ($\zeta_b = 0.1, 0.3$) تغییرات RMS پیک پاسخ سازه جداسازی شده به وسیله سیستم

LRB را در مقابل زمان تناوب روسازه (T_s) نشان می دهد.

پاسخ همچنین برای ($T_s = 0$) که نشان دهنده صلیبیت روسازه است نشان داده شده است. این

شکل نشان می دهد که RMS شتاب روسازه سازه جدا شده با افزایش زمان تناوب روسازه تا

یک مقدار مطمئن (در حدود ۴/۰ تا ۵/۰ ثانیه) ثابت باقی می ماند.

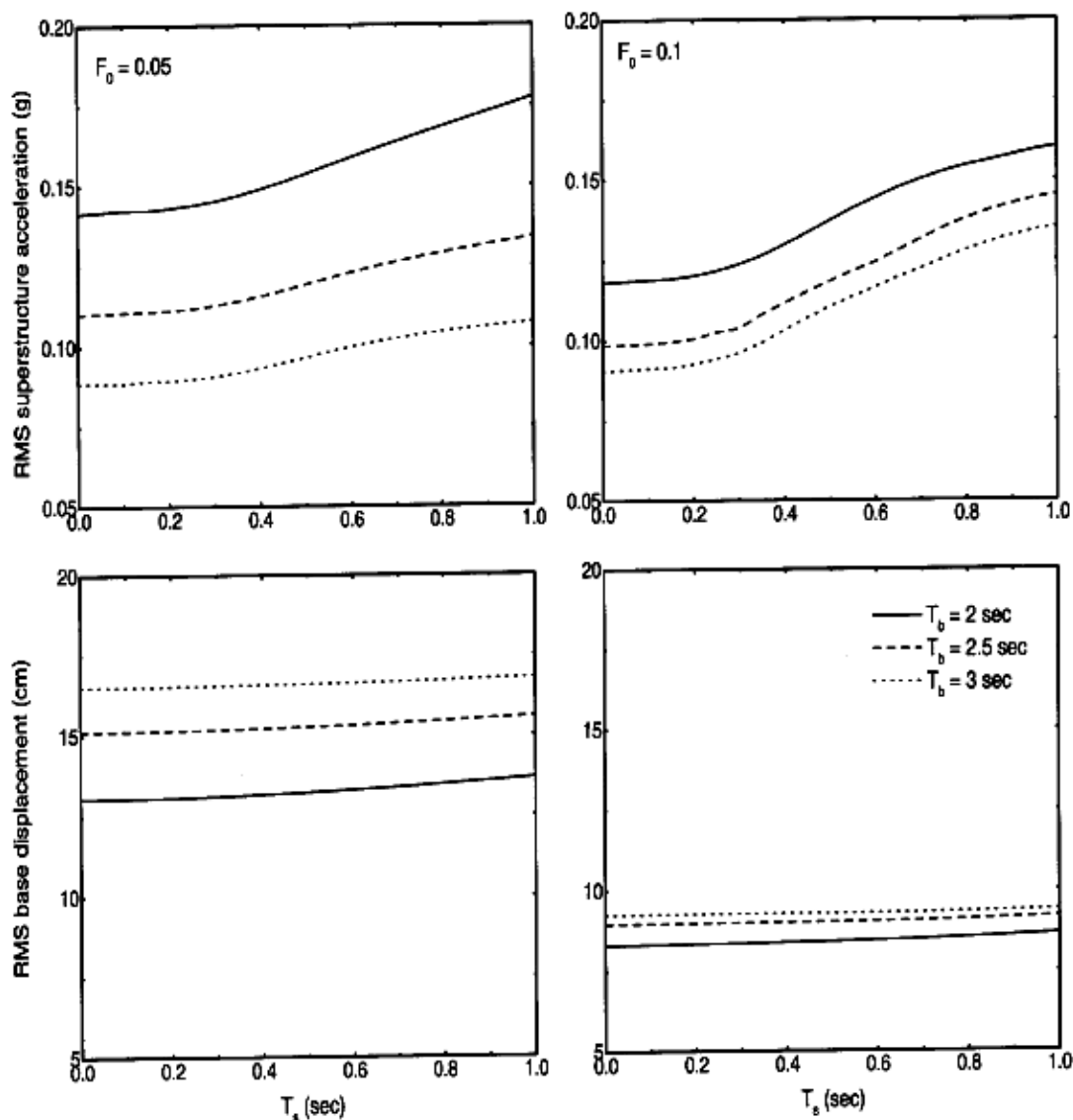


شکل (۳-۷) تاثیرات نرمی روسازه بر پیک پاسخ سازه با سیستم LRB

با این وجود افزایش در زمان تناوب غیر از این مقادیر شتاب روسازه را افزایش خواهد داد. بنابراین شتاب روسازه در صورتی می تواند با استفاده از روش روسازه صلب دقیق تخمین زده شود که زمان تناوب روسازه حدود یک پنجم زمان تناوب سیستم جداساز باشد. به علاوه تفاوت بین شتاب روسازه بین دو حالت روسازه نرم و صلب با افزایش میرایی نشیمن ها افزایش می یابد. RMS جابجایی پایه سازه جداسازی شده برای زمانهای تناوب مختلف روسازه بدون تغییر باقی می ماند و این بدان معنی است که روسازه صلب برای برآورد RMS جابجایی پایه سازه جداسازی شده می تواند استفاده شود.

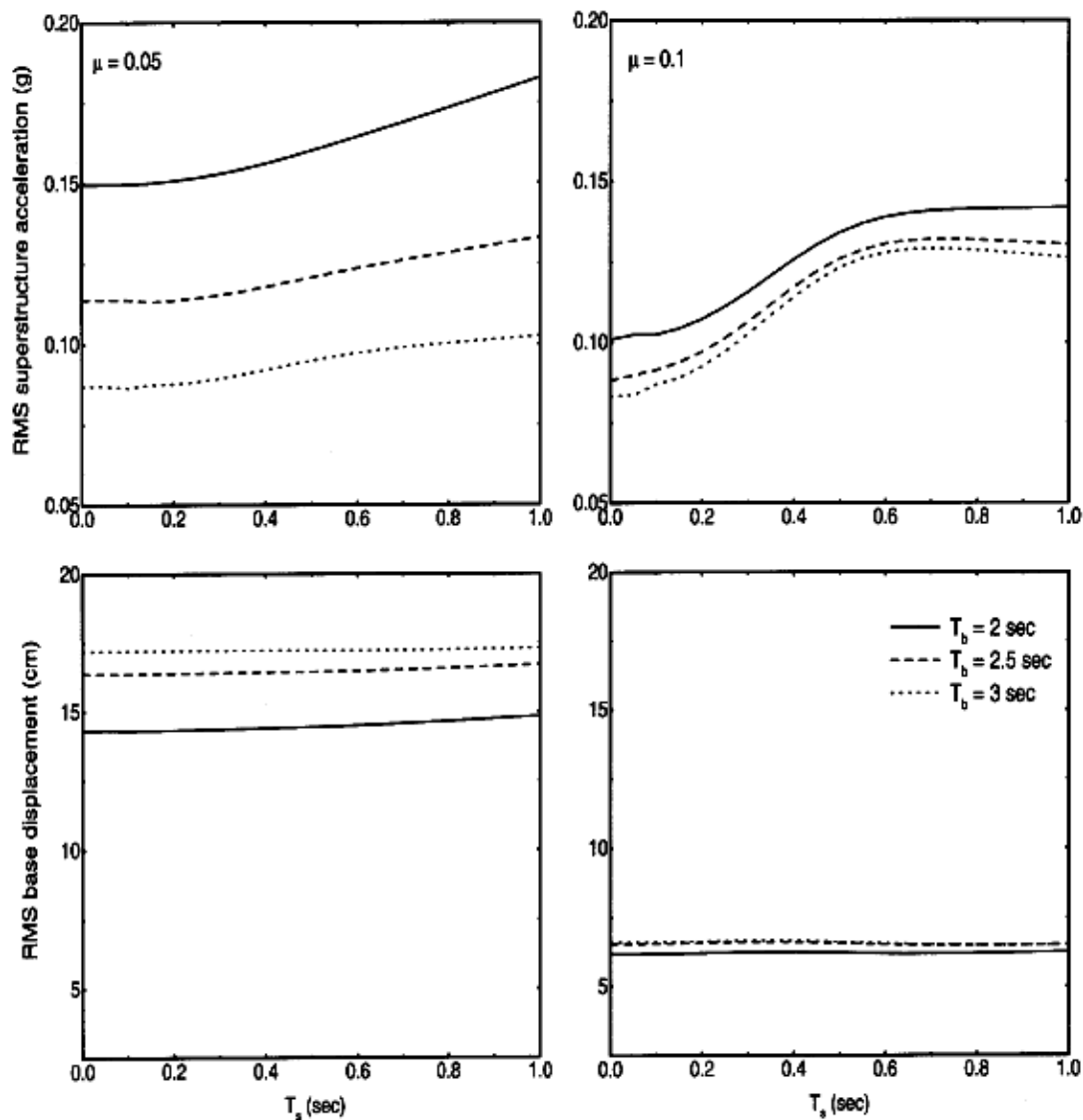
تغییر پیک RMS شتاب روسازه و جابجایی پایه در مقابل زمان تناوب روسازه برای سازه های جداشده با سیستم جداساز N-Z و FPS در شکل (۳-۸) و (۳-۹) نشان داده شده است. تاثیرات زمان تناوب روسازه روی پیک RMS شبیه آنچه که در شکل (۳-۷) برای سیستم LRB نشان داده شد می باشد.

با این وجود اختلاف بین شتاب روسازه مدلسازی شده به صورت نرم یا صلب به وسیله افزایش در سطح مقاومت تسلیم در سیستم N-Z و ضریب اصطکاک در سیستم FPS افزایش پیدا می کند و این دوراز انتظار نیست چرا که افزایش این پارامترها سیستم جداساز به طور نسبی سخت تر می شود.



شکل (۳-۸) تاثیرات نرمی روسازه بر پیک پاسخ سازه با سیستم N-Z

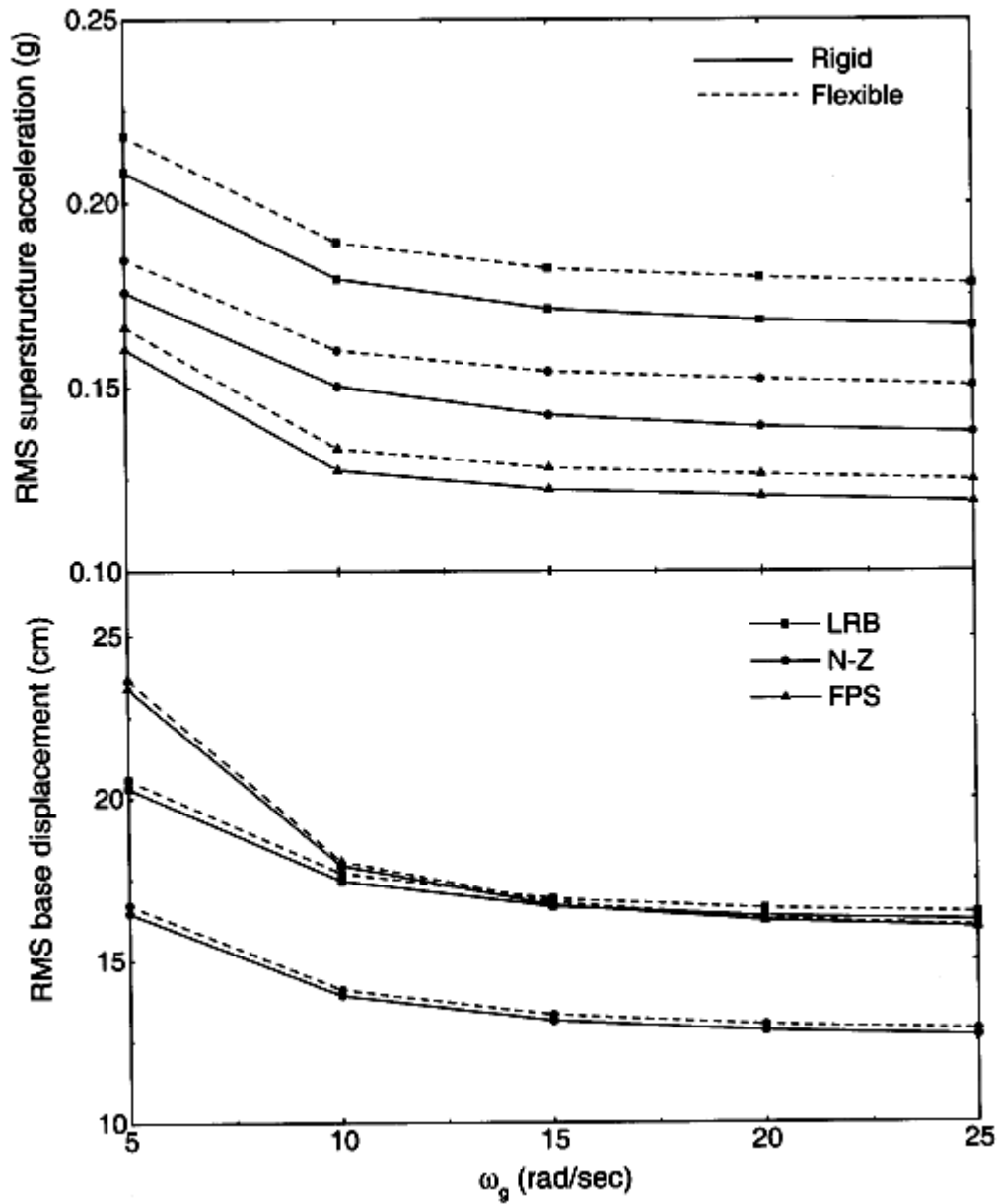
تا کنون پاسخ سازه جداسازی شده برای مقادیر ثابت فرکانس غالب خاک انجام گرفت. حال در این قسمت به بررسی اثرات تغییر فرکانس غالب خاک روی



شکل (۳-۹) تاثیرات نرمی روسازه بر پیک پاسخ سازه با سیستم FPS

دو نوع سازه با روسازه صلب یا نرم می پردازیم. در شکل (۳-۱۰) پیک RMS شتاب روسازه و جابجایی پایه سازه جداسازی شده به وسیله سیستم های جداساز مختلف در مقابل فرکانس خاک نشان داده شده اند. از شکلها چنین به دست می آید که RMS شتاب روسازه به مانند جابجایی پایه با افزایش ω_g کاهش می یابد و این بدین معنی است که جداسازی لرزه ای از

خاکهای سخت نسبت به خاکهای نرم تاثیر بیشتری می پذیرد و اینکه فرکانس غالب زمین تاثیر زیادی در تفاوت بین پاسخ ساختمان با روسازه و ساختمان با روسازه صلب نمی گذارد.

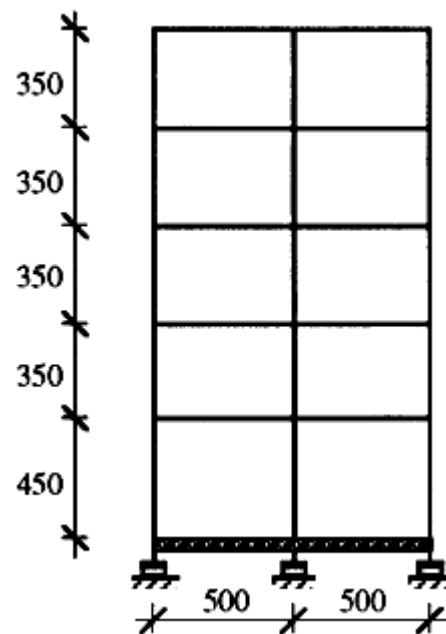
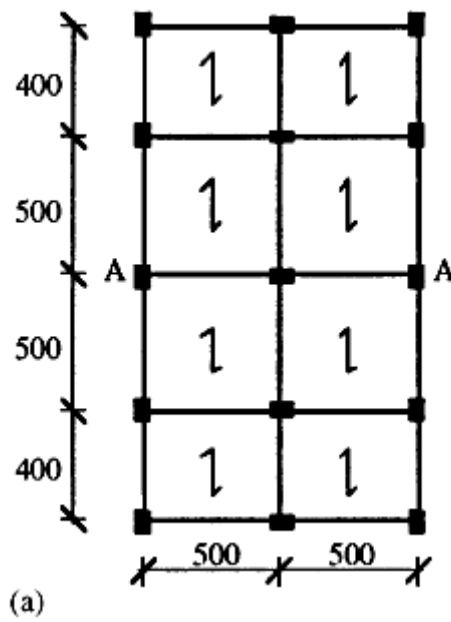


شکل (۳-۱۰) تاثیرت فرکانس خاک روی پیک پاسخ سازه

(ب)

۳-۹- معرفی

یک ساختمان پنج طبقه بتنی با پلان زیر مورد مطالعه قرار گرفته است:



این ساختمان ابتدا با پایه ثابت طبق آئین نامه Eurocode 8 با فرض مقادیر زیر طراحی

می شود :

ضریب رفتار $q = 3.75$ (شکل پذیری متوسط)

منطقه با خطر نسبی زیاد ($PGA = 0.35 g$)

نوع خاک B (خاک متوسط)

مقاومت فشاری استوانه ای $25 N/mm^2$ برای بتن و مقاومت $435 N/mm^2$ برای آرماتورها

در نظر گرفته می شود. این نکته در نظر گرفته شده که ابعاد ستون ها از تیرهای اصلی بزرگتر

باشد. برش نهایی (V_u) محاسبه شده و به عنوان یک سطح مقاومت مرجع در نظر گرفته می

شود علاوه بر این دو سطح مقاومت دیگر که ۲۵ درصد با سطح مقاومت بالا متفاوت است در

نظر گرفته می شود. این سه سطح مقاومت به وسیله یک پارامتر مقاومتی بدون بعد به نام η

مشخص می شود که به ترتیب برابر است با ۱، ۱/۲۵، ۰/۷۵

Storey	Exterior columns	Interior columns	Girders
5	40 × 30	30 × 45	30 × 50
4	50 × 30	30 × 60	30 × 50
3	60 × 30	30 × 65	30 × 65
2	70 × 35	35 × 65	35 × 70
1	75 × 40	40 × 75	40 × 75

Ultimate base shear ($\eta = 1$): $V_u = 529.9 kN$

قاب های جداسازی شده با فرض سطوح مقاومت یکسان در تشابه با قابهای دارای پایه ثابت با

در نظر گرفتن این نکته که توزیع مقاومت در سرتاسر هر قاب مطابق با مود ارتعاشی اش

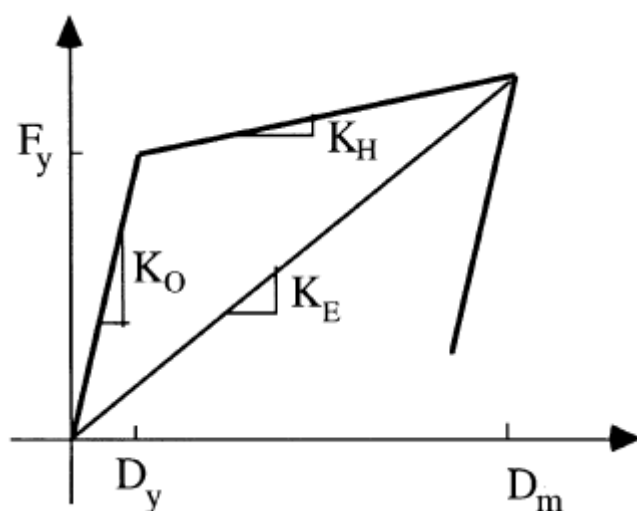
می باشد (اساسا مود اول) طراحی می شود.

نسبت جداسازی $1 \leq \alpha_1 \leq 8$ که $\alpha_1 = \frac{T_1}{T_F}$ در نظر گرفته می شود که T_F دوره تناوب اصلی

سازه با جداسازی شده و T_1 دوره تناوب همان سازه با پایه ثابت است. بنا براین $\alpha_1 = 1$ سازه با

پایه ثابت می باشد. مقادیر مختلف α_1 را با استفاده از تغییر در دوره تناوب اصلی روسازه و

همچنین تغییر در خواص جداکننده ها که نتیجه آن تغییر دوره تناوب زیر سازه می باشد می توان به دست آورد. سیستم جداساز استفاده شده در این مطالعه سیستم LRB با میرایی بالاست (HDLRB). رفتار سیستم جداساز فوق به صورت دوخطی مطابق شکل زیر مدل می گردد که در آن K_E سختی موثر سیستم می باشد. مقدار F_y نیز متناسب با وزن کل سازه به صورت زیر در نظر گرفته می شود.



مدلسازی رفتار هیستریتیک یک جداساز

لذا برای این ساختمان ۵ طبقه ($F_y = 171.7 \text{ KN} = 0.055 W$) در نظر گرفته می شود. در این مطالعه ماکزیمم جابجایی طرح، D_m به وسیله معیار سختی سکانت با رجوع به زلزله طرح ($PGA = 0.35 g$) محاسبه می شود.

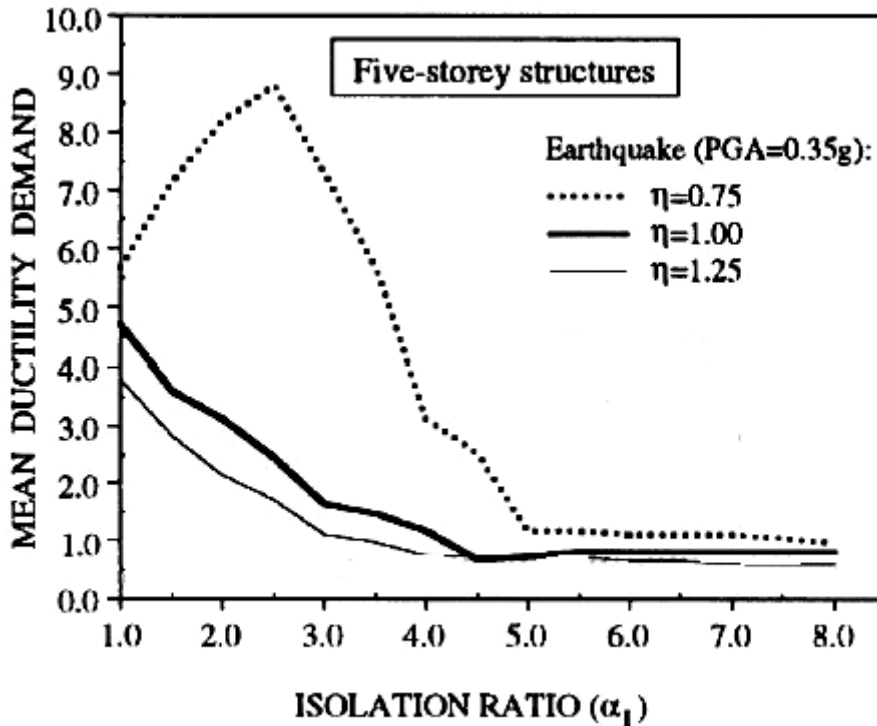
۳-۱۰- روش تحلیل:

تحلیل به صورت تحلیل غیر خطی با روش قدم به قدم (step-by-step) می باشد.

۳-۱۱- حل عددی:

سه نمودار مصنوعی شتاب با استفاده از طیف طرح الاستیک آئین نامه Eurocode8 (نوع خاک B, میرایی ۵ درصد , $PGA = 0.35 g$) برای مطالعه رفتار دینامیکی سازه ها

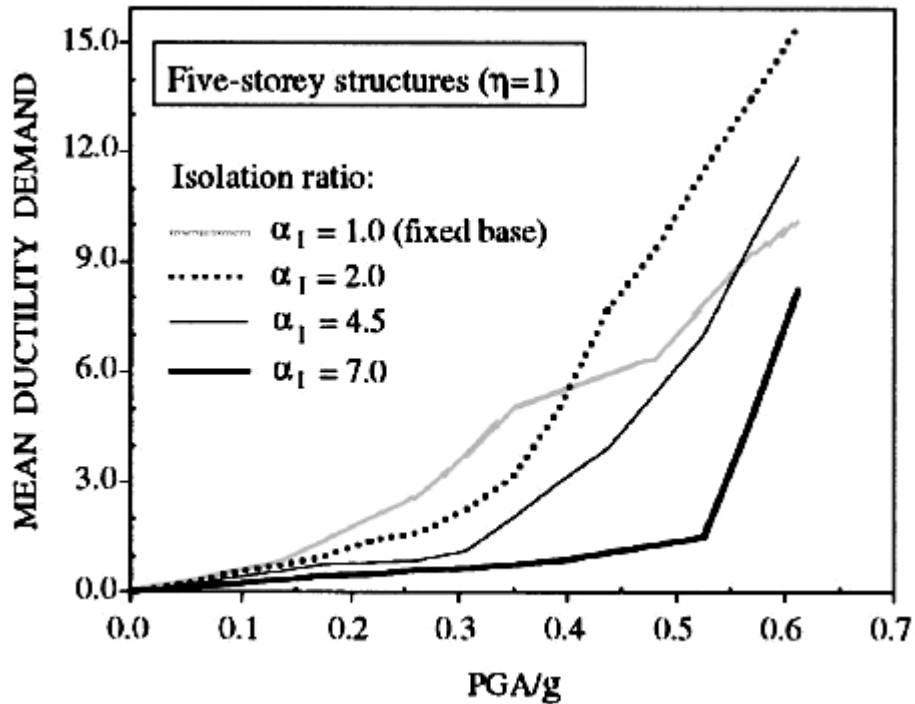
برای زلزله های قوی در نظر گرفته شده است. کلیه نتایج زیر حاصل از میانگین سه نمودار شتاب می باشد



شکل (۳-۱۰) متوسط تقاضای شکل پذیری

چنانچه از شکل (۳-۱۰) مشاهده می شود وقتی که $4-5 \leq \alpha_1$ باشد تحت حرکات زمین سازه به حالت تغییر شکل پلاستیک پیش می رود به خصوص برای سازه های با سطح مقاومت پایین ($\eta = .75$) مشاهده می شود که تقاضای شکل پذیری بالا می رود و این نشاندهنده حساسیت پاسخ سازه های ضعیف به حرکات قوی زمین است.

شکل (۳-۱۱) که در یک طرف آن شتاب زلزله و در طرف دیگر آن متوسط تقاضای شکل پذیری است که برای سطوح مقاومت یکسان کشیده شده است. نشان می دهد که با افزایش شدت زلزله تقاضای شکل پذیری افزایش می یابد. بنابر آنچه از شکل مشاهده می شود تقاضای شکل پذیری برای سازه های جداسازی شده برای یک زلزله بحرانی بیشتر از حالت با پایه های ثابت است. برای زلزله های با شدت کم سازه جدا شده به صورت الاستیک عمل می کند.

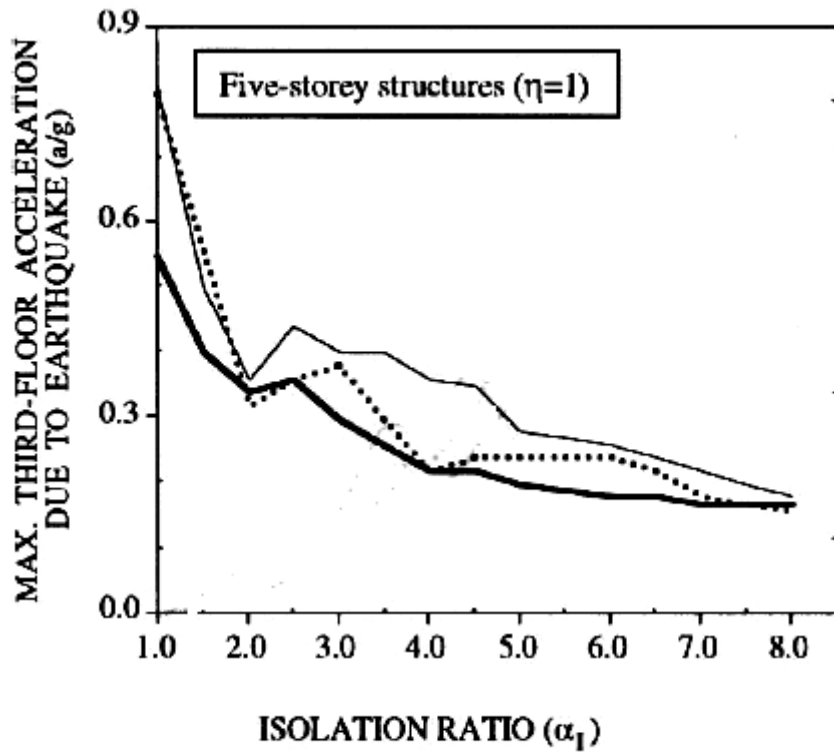


شکل (۳-۱۱) متوسط تقاضای شکل پذیری

شکل (۳-۱۱) نشان می دهد که با فرض مقادیر بزرگتر برای نسبت جداسازی عملکرد سازه جدا شده بهتر شده و شدت زلزله بحرانی به صورت مناسبی افزایش می یابد. نتایج فوق نشان می دهد که برای حفاظت از یک سازه قابی شکل در مقابل زلزله فقط یک سطح مقاومت بالا به تنهایی موثر نیست بلکه با در نظر گرفتن یک نسبت جداسازی نسبتا بالا می توان از سازه محافظت کرد.

شکل (۳-۱۲) نموداریست که شتاب ماکزیمم طبقه سوم سازه را در مقابل نسبت جداسازی نشان می دهد. چنانچه از شکل استنباط می شود در هر زلزله با افزایش نسبت جداسازی شتاب طبقات کاهش می یابد.

- PGA = 0.35g
- PGA = 0.35g x 1.25
- PGA = 0.35g x 1.50



شکل (۳-۱۲) حداکثر شتاب طبقه سوم سازه در مقایسه با نسبت‌های جدا سازی

(ج)

۳-۱۲- معرفی

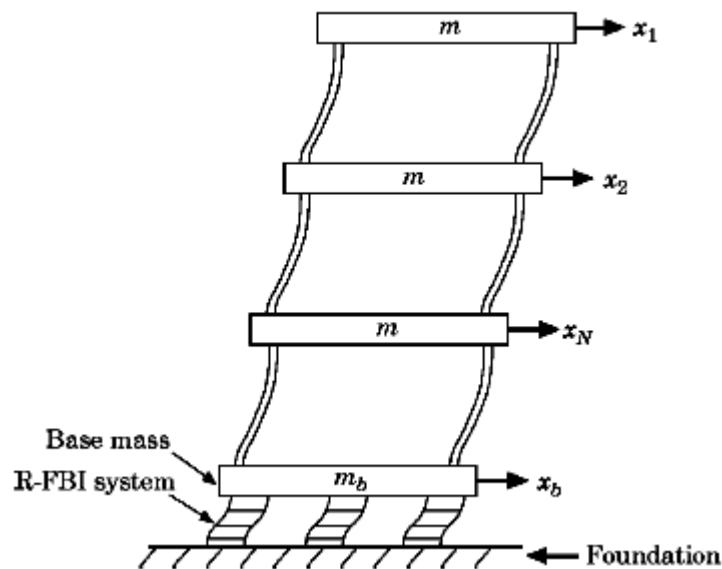
مطابق شکل (۳-۱۳) سیستم سازه ۴ طبقه به عنوان یک ساختمان برشی فرض شده که روسازه در زمان وقوع زلزله در محدوده الاستیک باقی بماند. کف هر طبقه را صلب گرفته و روسازه به صورت روسازه نرم مدل شده است.

سیستم جداساز، جداساز پایه و اصطکاکی پس جهنده، (R-FBI) می باشد. زلزله اعمال شده زلزله السنترو ۱۹۴۰ در مدت زمان ۲۵ ثانیه می باشد. با ثابت فرض کردن سختی هر طبقه در طول مدت زلزله و مقادیر $\mu = 0, 0.02, 0.04$ که ضریب اصطکاک بین صفحات فلزی سیستم می باشد. با ثابت نگه داشتن $\zeta_s = 5\%$ و $T_b = 2s$ که:

T_s : دوره تناوب ارتعاش روسازه

ζ_s : میرایی مودال روسازه

T_b : دوره تناوب سیستم جداساز

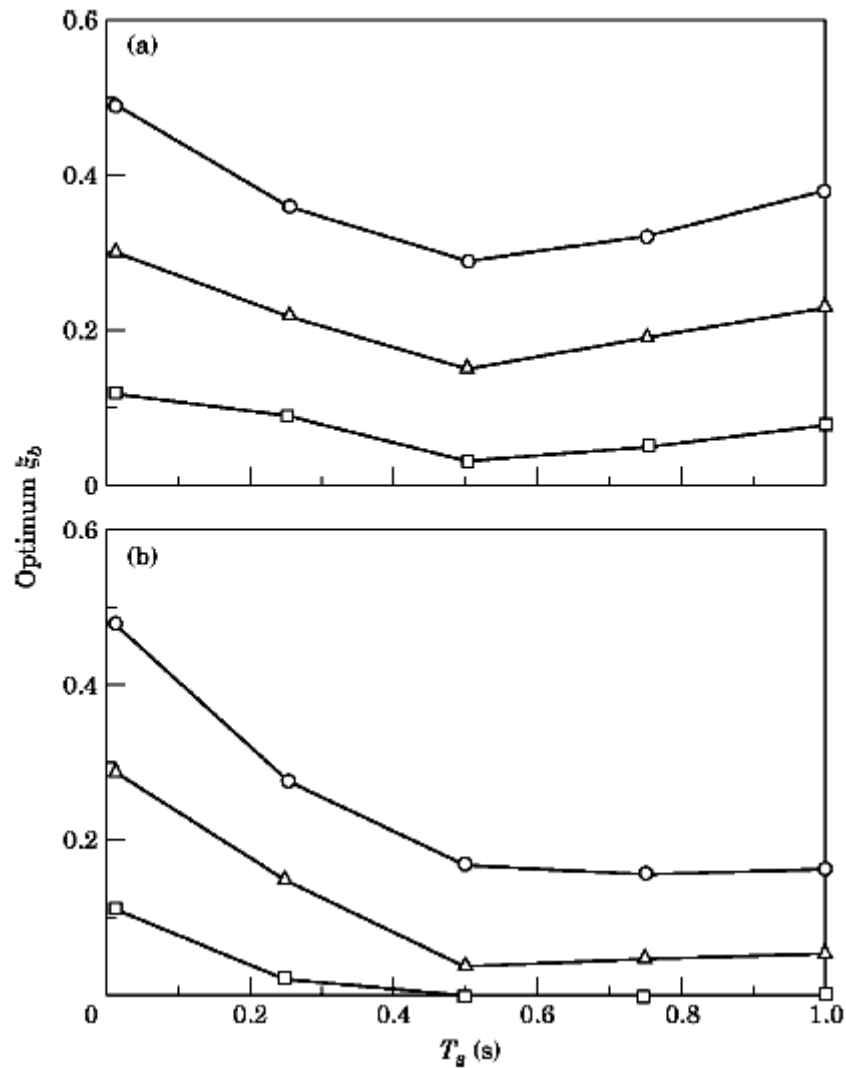


شکل (۳-۱۳)

۳-۱۳- تحلیل و حل عددی :

تحلیل مطابق با آنچه که در مطالعات قبلی صورت گرفت نمودار میرایی پایه در مقابل دوره

تناوب روسازه مطابق شکل (۳-۱۴) بدست می آید.



شکل (۳-۱۴) تاثیر زمان تناوب روسازه بر روی میرایی بهینه پایه (a یک طبقه و b ۴ طبقه)

با توجه به این شکل مشاهده می شود همانطور که دوره تناوب روسازه افزایش می یابد (در

فاصله $0 < T_s < 0.5s$) میرایی بهینه پایه (ζ_b) کاهش می یابد و برای افزایش های بیشتر

ζ_b افزایش می یابد. با مقایسه شکل ها برای سازه های ۱ و ۴ طبقه مشاهده می شود که

افزایش در تعداد طبقات میرایی بهینه را کاهش می دهد و اگر روسازه صلب در نظر گرفته شود
مثلا ($T_s = 0.01$) میرایی بهینه در هر دو حالت ۱ و ۴ طبقه یکسان خواهد بود و این دور از
انتظار نیست چرا که ناشی از این حقیقت است که برای مقادیر T_s های کاملا کوچک سازه به
صورت جسم صلب خواهد بود. پس با افزایش زمان تناوب روسازه ζ_b بهینه ابتدا کاهش
می یابد و سپس افزایش می یابد.

فصل چهارم

نتیجه گیری

در این فصل به بررسی مباحث فصل سوم واریه یک جمع بندی کلی از این فصل

می پردازیم .

(در بخش الف)

مقایسه بین پاسخ تصادفی سازه های جداسازی شده پایه با دو نوع روسازه نرم و سخت انجام گرفت. حرکات زمین به صورت یک فرآیند تصادفی غیر ایستا و به وسیله تابع PSDF ایستا و تابع مدولاسیون مشخص گردید. سیستم های جداسازی مختلف شامل نشیمن های الاستومریک و سیستم های لغزشی استفاده گردید. تاثیرات نرمی روسازه بر پاسخ سازه جداسازی شده تحت پارامترهای مهم و مختلف تخمین زده شد. از نتایج این بخش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- جابجایی پایه در سازه های جداسازی شده در هر دو حالت رو سازه نرم و صلب تقریباً در تمام سیستم های جداساز یکسان است. بنابراین روسازه صلب در پیش بینی جابجائی نشیمن ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۲- شتاب روسازه را وقتی می توان به صورت مدل کردن روسازه به عنوان جسم صلب به دست آورد که سختی روسازه زیاد باشد. (به عبارت دیگر برای سیستم های جداساز خطی دوره تناوب روسازه باید کمتر از یک پنجم دوره تناوب جداساز باشد.)

۳- برای همه انواع سیستم های جداساز، اگر نرمی روسازه صرفنظر بشود و به عنوان یک جسم صلب فرض گردد شتاب به دست آمده **undresteamait** خواهد بود. تفاوت بین شتاب روسازه در دو نوع صلب و نرم با افزایش میرایی، افزایش مقاومت تسلیم و افزایش ضریب اصطکاک سیستم جداساز افزایش می یابد. فرکانس غالب خاک تاثیر زیادی در تفاوت بین پاسخ روسازه های نرم و صلب ندارد.

در بخش ب) و ج)

سازه ها وقتی در مقابل نیروی زلزله قرار دو رفتار متفاوت که مربوط به دو سطح مقاومت است از خود بروز می دهند. وقتی این سطح مقاومت نسبتا بالا است در حضور زلزله های شدید، سازه از خود رفتار الاستیک نشان میدهد. در غیر این صورت برای زلزله های قوی تقاضای شکل پذیری افزایش یافته به صورتی که حتی از تقاضای شکل پذیری در سازه های با پایه ثابت هم بیشتر می شود.

نرمی روسازه بر خصوصیات سیستم جداساز از جمله میرایی تا ثیر می گذارد که با انجام مطالعات مرتبط می توان میزان میرایی بهینه در تقابل با نرمی روسازه را تعیین نمود.

منابع :

۱- تهرانیزاده، محسن - حسنی، ابوالفضل - محمدی تهرانی، فریبرز، " سیستم پی لغزشی برای

محافظت ساختمانهای کوچک در برابر زلزله"، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن، ۱۳۷۶

۲- احمدی دافچاهی، مهرداد، " رفتار دینامیکی سازه های متداول بر روی پایه های جدایش

یافته"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، استاد راهنما آقای دکتر

تهرانیزاده، ۱۳۷۳

۳- کلی، جیمز- نعیم، فرزاد- " طراحی ساختمانهای با جداسازهای لرزه ای" ترجمه غفوری

آشتیانی، محسن- همایون شاد، فرهاد- پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ومهندسی زلزله، ۱۳۸۱

۴- آر. ایوان اسکینر- ویلیام اچ. روبینسون- گرمی اچ. مکوری " جداسازی لرزه ای در مقابل زلزله"،

ترجمه تهرانیزاده، محسن - حامدی، فرزانه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ومهندسی

زلزله، ۱۳۷۸

۵- مهرپرور، بهنام، " ارزیابی و کنترل ضوابط آئین نامه UBC در مورد سازه های ایزوله شده"،

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، استاد راهنما دکتر فرامرز خوشنودی، ۱۳۸۳

6-Naeim.F.Handbook of earthquake eng.,(1990)chapter 13"Design of structures with seismic isolation"

7-`Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance

DRAFT NO 5,May2002

8-Effect of superstructure flexibility on the response of base-

isolated structure,Jeevan A.Kulkarni and R.S. Jangid

9-Comprative study of the earthquake and wind dynamic

response of base-isolated buildings,Alfonso Vulcano,

10-Optimal design of base-isolators in multi-story buildings,Alessandro Bratta,Ileana Corbi

11-Optimum damping in a non-linear base isolation system,R.S.Jangid