

**بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ**

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-سازه

عنوان پایان نامه :

# **بررسی رفتار سازه ها با جداسازی لرزه ای پایه در مقابل زلزله**

استاد راهنما :

**دکتر علی کیهانی**

استاد مشاور :

**دکتر فرشید علایی**

دانشجو :

**رضا فتاحی**

تابستان ۸۶

## تشکر و قدردانی

اکنون که این تحقیق به پایان رسیده است ، بر خود لازم می دانم از زحمات استاد گرامی آقای دکتر کیهانی که به عنوان استاد راهنما مرا در انجام آن یاری نمودند ، تشکر و قدردانی نمایم .

از آقای دکتر علایی ، استاد مشاور این پروژه نیز کمال تشکر را دارم .

با توجه مشکلات فراوانی که در انجام این تحقیق وجود داشت ، لازم است از آقای دکتر حمیدرضا وجدانی که راهنمایی های ایشان همواره گره گشای مشکلات من بود ، نیز تشکر نمایم .

## چکیده :

جداسازی لرزه ای پایه یکی از روشهای مقابله با نیروهای زلزله می باشد . این روش زمان تناوب سازه را افزایش داده و باعث کاهش پاسخهای سازه نظیر : برش پایه ، شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات می گردد . با توجه به اهمیت رفتار این گونه سیستمها تحت اثر بارگذاری لرزه ای ، در این تحقیق رفتار یک سازه ۵ طبقه با استفاده از سه نوع جداگر الاستومری با مدل دو خطی که دارای زمان تناوب و میرایی مختلف هستند ، مورد ارزیابی قرار گرفته است . برای این منظور از دو رکورد زلزله نورث ریج و طبس استفاده شده است . برای نشان دادن تأثیر زمان تناوب روسازه بر جداسازی لرزه ای از سه زمان تناوب برای روسازه استفاده شده است . نتایج حاصل نشان می دهند که جداسازی لرزه ای پاسخهای سازه را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد . همچنین با افزایش زمان تناوب روسازه از تأثیر جداسازی لرزه ای کاسته می شود .

واژه های کلیدی : زلزله – جداسازی لرزه ای پایه – جداگر الاستومریک – میرایی – روسازه .

# فهرست مطالب

صفحه

عنوان

## فصل اول : مقدمه

مقدمه ..... ۱

## فصل دوم : مفهوم جداسازی لرزه ای و تاریخچه آن

مقدمه ..... ۵

۱-۲- فلسفه طرح لرزه ای سازه ها و شکل گیری نظریه جداسازی لرزه ای ..... ۵

۲-۲- مفهوم جداسازی لرزه ای ..... ۸

۱-۲-۲- مزیت‌های جداسازی لرزه ای ..... ۱۰

۲-۲-۲- محدودیت‌های جداسازی لرزه ای ..... ۱۱

۳-۲- عناصر اصلی سیستم‌های جداساز لرزه ای ..... ۱۲

۱-۳-۲- نرمی ..... ۱۲

۲-۳-۲- میرایی ..... ۱۳

۳-۳-۲- سختی اولیه ..... ۱۴

۴-۲- تاریخچه جداسازی ..... ۱۶

## فصل سوم : اجزای سیستم‌های جداساز لرزه ای

مقدمه ..... ۱۹

۱-۳- سیستم‌های الاستومری ..... ۱۹

- ۲۱ ..... ۱-۱-۳- نشیمنهای لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم
- ۲۳ ..... ۲-۱-۳- نشیمنهای الاستومری با هسته سربی
- ۲۴ ..... ۳-۱-۳- سیستمهای لاستیک طبیعی با میرایی بالا
- ۲۶ ..... ۲-۳- سیستمهای جداساز لغزنده
- ۲۸ ..... ۱-۲-۳- سیستم ترکیبی EERC
- ۲۸ ..... ۲-۲-۳- سیستم تاس
- ۲۹ ..... ۳-۲-۳- سیستم آونگ اصطکاکی
- ۳۰ ..... ۴-۲-۳- سیستم جداسازی با استفاده از شمعیهای غلاف دار

### فصل چهارم: بررسی عملکرد سیستمهای جداساز لرزه ای

- ۳۲ ..... مقدمه
- ۳۲ ..... ۱-۴- تئوری خطی جداگر پایه
- ۴۱ ..... ۲-۴- معادلات حرکت سیستم با  $M$  درجه آزادی
- ۴۲ ..... ۳-۴- بررسی سیستم جداساز لرزه ای به روش مودال
- ۴۳ ..... ۱-۳-۴- ساختمانهای یک طبقه
- ۵۱ ..... ۲-۳-۴- ساختمانهای چند طبقه بر روی جداساز لرزه ای

### فصل پنجم: کاربردهای جداساز لرزه ای

- ۶۰ ..... مقدمه
- ۶۰ ..... ۱-۵- جداسازی لرزه ای در آمریکا
- ۷۰ ..... ۲-۵- جداسازی لرزه ای در ژاپن

۷۳ ..... ۳-۵- جداسازی لرزه ای در اروپا

۷۳ ..... ۴-۵- جداسازی لرزه ای در نیوزلند

### **فصل ششم : ضوابط آیین نامه ای در مورد سازه ها با جداسازی لرزه ای**

۷۶ ..... مقدمه

۷۷ ..... ۱-۶- سطح خطر لرزه ای

۷۸ ..... ۲-۶- روشهای طراحی

۷۹ ..... ۳-۶- تحلیل استاتیکی

۸۵ ..... ۴-۶- تحلیل دینامیکی

### **فصل هفتم : مروری بر نرم افزار SAP 2000 و کنترل صحت برنامه**

۸۷ ..... مقدمه

۸۸ ..... ۱-۷- المانهای Nlink

۸۹ ..... ۱-۱-۷- درجات آزادی

۸۹ ..... ۲-۱-۷- سیستم مختصات محلی

۹۱ ..... ۳-۱-۷- تغییر شکل‌های داخلی

۹۳ ..... ۴-۱-۷- فنرهای غیر خطی داخلی

۹۴ ..... ۵-۱-۷- نیروهای داخلی المان

۹۵ ..... ۶-۱-۷- Rubber Isolator المان

۹۷ ..... ۲-۷- محاسبه سختی و میرایی مؤثر برای سیستمهای جداسازی با مدل دو خطی

۹۸ ..... ۳-۷- روشهای آنالیز غیر خطی

- ۹۹ ..... ۱-۳-۷- روش انتگرال گیری مستقیم
- ۱۰۷ ..... ۲-۳-۷- روش تاریخچه زمانی غیر خطی مودال
- ۱۰۹ ..... ۴-۷- کنترل برنامه کامپیوتری
- ۱۰۹ ..... ۱-۴-۷- مثال شماره ۱
- ۱۱۵ ..... ۲-۴-۷- مثال شماره ۲

### فصل هشتم : بررسی رفتار سازه ها با جداسازی لرزه ای در مقابل زلزله

- ۱۲۲ ..... مقدمه
- ۱۲۲ ..... ۱-۸- معرفی سیستم سازه ای و ویژگیهای آن
- ۱۲۵ ..... ۲-۸- ویژگی جداسازها و زلزله های ورودی
- ۱۲۶ ..... ۳-۸- بررسی رفتار دینامیکی سازه جداسازی شده تحت زلزله نورث ریج
- ۱۳۸ ..... ۴-۸- بررسی رفتار دینامیکی سازه جداسازی شده تحت زلزله طبس
- ۱۵۴ ..... ۵-۸- بررسی اثر جرم سازه جداسازی شده بر رفتار دینامیکی آن
- ۱۵۸ ..... ۶-۸- نتایج
- ۱۶۰ ..... ۷-۸- پیشنهادها



# فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۹	شکل ( ۱-۲ ) : ساختمان با سیستم جداساز و بدون سیستم جداساز لرزه ای
۱۲	شکل ( ۲-۲ ) : نمودار کاهش نیرو با افزایش زمان تناوب
۱۳	شکل ( ۳-۲ ) : کاهش تغییر مکان با افزایش میرایی
۱۴	شکل ( ۴-۲ ) : عملکرد هیسترتیک سیستم جداساز
۲۱	شکل ( ۱-۳ ) : نشیمن الاستومری
۲۴	شکل ( ۲-۳ ) : نشیمن الاستومری با هسته سربی
۲۹	شکل ( ۳-۳ ) : سیستم پاندول اصطکاکی
۳۳	شکل ( ۱-۴ ) : مدل خطی جداگر
۳۵	شکل ( ۲-۴ ) : شکل مودهای سازه جداسازی شده یک درجه آزادی
۴۳	شکل ( ۳-۴ ) : طیف طرح الاستیک
۴۴	شکل ( ۴-۴ ) : ساختمان یک درجه آزادی پایه گیردار و جداسازی شده
۴۶	شکل ( ۵-۴ ) : پریودها و مودهای ارتعاشی طبیعی سازه جداسازی شده
۴۷	شکل ( ۶-۴ ) : بسط مودال توزیع نیروی زلزله
۴۹	شکل ( ۷-۴ ) : مقادیر طیف طرح برای ساختمان جداسازی شده
۵۱	شکل ( ۸-۴ ) : ساختمان چند طبقه جداسازی شده و گیردار
۵۳	شکل ( ۹-۴ ) : مودهای ساختمان چند طبقه

- شکل ( ۴-۱۰ ) : بسط مودال نیروی زلزله ..... ۵۵
- شکل ( ۴-۱۱ ) : مقادیر طیفی برای ساختمان گیردار ..... ۵۷
- شکل ( ۴-۱۲ ) : مقادیر طیفی برای ساختمان جداسازی شده ..... ۵۸
- شکل ( ۵-۱ ) : مرکز قضایی و حقوقی فوت هیل ..... ۶۱
- شکل ( ۵-۲ ) : مرکز آتش نشانی و کنترل حریق لس آنجلس ..... ۶۳
- شکل ( ۵-۳ ) : مرکز فوریت‌های پزشکی کینگ در کالیفرنیا ..... ۶۴
- شکل ( ۵-۴ ) : شهرداری اوکلند ..... ۶۶
- شکل ( ۵-۵ ) : شهرداری سان فرانسیسکو ..... ۶۸
- شکل ( ۵-۶ ) : آپارتمان مارینا در سان فرانسیسکو ..... ۶۹
- شکل ( ۵-۷ ) : دادگستری سان فرانسیسکو ..... ۷۰
- شکل ( ۵-۸ ) : مرکز کامپیوتری پست غرب ژاپن ..... ۷۲
- شکل ( ۵-۹ ) : یونیون هاوس در اوکلند ..... ۷۴
- شکل ( ۶-۱ ) : تغییر مکان طرح و تغییر مکان کل ..... ۸۰
- شکل ( ۷-۱ ) : تغییر شکلهای داخلی المان دو گره ای ..... ۹۲
- شکل ( ۷-۲ ) : سه فنر غیر خطی المان Nlink ..... ۹۳
- شکل ( ۷-۳ ) : نیروها و ممان های داخلی المان ..... ۹۴
- شکل ( ۷-۴ ) : جداساز هیسترتیک دو محوری ..... ۹۶
- شکل ( ۷-۵ ) : مدل جداساز دو خطی ..... ۹۷
- شکل ( ۷-۶ ) : سختی وترى و سختی مماسی ..... ۱۰۳

- شکل ( ۷-۷ ) : خطای استفاده از سختی مماسی ..... ۱۰۴
- شکل ( ۸-۷ ) : تکرار در یک گام زمانی برای سیستمهای غیر خطی ..... ۱۰۵
- شکل ( ۹-۷ ) : پلان مدل سازی شده در مرجع ۳ ..... ۱۱۰
- شکل ( ۱۰-۷ ) : مؤلفه های افقی زلزله نورث ریچ ..... ۱۱۱
- شکل ( ۱۱-۷ ) : مقادیر برش پایه تحت زلزله نورث ریچ ..... ۱۱۲
- شکل ( ۱۲-۷ ) : انرژی ورودی تحت زلزله نورث ریچ ..... ۱۱۳
- شکل ( ۱۳-۷ ) : نیروی برشی در جداساز کناری ..... ۱۱۴
- شکل ( ۱۴-۷ ) : مؤلفه های افقی زلزله سان فرناندو ..... ۱۱۵
- شکل ( ۱۵-۷ ) : مدل میله ای سازه ..... ۱۱۶
- شکل ( ۱۶-۷ ) : تغییر مکان طبقه هشتم نسبت به سیستم جداساز ..... ۱۱۹
- شکل ( ۱۷-۷ ) : برش پایه در جهت X ..... ۱۲۰
- شکل ( ۱۸-۷ ) : شتاب طبقه سوم ..... ۱۲۱
- شکل ( ۱-۸ ) : پلان و مقطع سیستم سازه ای ..... ۱۲۳
- شکل ( ۲-۸ ) : مدل خطی جداسازها ..... ۱۲۴
- شکل ( ۳-۸ ) : برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز ۱ ..... ۱۲۷
- شکل ( ۴-۸ ) : نمودار برش پایه نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله نورث ریچ ..... ۱۳۱
- شکل ( ۵-۸ ) : نمودار شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله نورث ریچ ..... ۱۳۲
- شکل ( ۶-۸ ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت X در زلزله نورث ریچ ..... ۱۳۳
- شکل ( ۷-۸ ) : طیف پاسخ خطی شتاب زلزله نورث ریچ ..... ۱۳۶

- شکل ( ۸-۸ ) : طیف پاسخ غیر خطی شتاب زلزله نورث ریچ ..... ۱۳۶
- شکل ( ۹-۸ ) : برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز ۲ ..... ۱۳۹
- شکل ( ۱۰-۸ ) : نمودار برش پایه نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله طبس ..... ۱۴۳
- شکل ( ۱۱-۸ ) : نمودار شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله طبس ..... ۱۴۴
- شکل ( ۱۲-۸ ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت X در زلزله طبس ..... ۱۴۵
- شکل ( ۱۳-۸ ) : طیف پاسخ خطی شتاب زلزله طبس ..... ۱۴۷
- شکل ( ۱۴-۸ ) : طیف پاسخ غیر خطی شتاب زلزله طبس ..... ۱۴۷
- شکل ( ۱۵-۸ ) : برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز ۴ ..... ۱۵۱
- شکل ( ۱۶-۸ ) : نمودار برش پایه نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله طبس ..... ۱۵۳
- شکل ( ۱۷-۸ ) : نمودار شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه در زلزله طبس ..... ۱۵۳
- شکل ( ۱۸-۸ ) : نمودار کاهش برش پایه سازه جداسازی شده نسبت به گیردار ..... ۱۵۷
- شکل ( ۱۹-۸ ) : نمودار شتاب بام سازه جداسازی شده نسبت به گیردار ..... ۱۵۷

# فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۵	جدول ( ۱-۲ ) : انواع سیستمهای جداساز لرزه ای
۴۷	جدول ( ۱-۴ ) : نتایج محاسبه برش پایه و جابجایی جداساز
۵۴	جدول ( ۲-۴ ) : پریودهای ارتعاشی سازه چند طبقه
۵۶	جدول ( ۳-۴ ) : مقادیر برش پایه سازه چند طبقه
۵۶	جدول ( ۴-۴ ) : جابجایی جداساز در سازه چند طبقه
۸۲	جدول ( ۱-۶ ) : ضرایب میرایی $B_M$ و $B_D$
۸۳	جدول ( ۲-۶ ) : ضریب لرزه ای $C_{AM}$
۸۴	جدول ( ۳-۶ ) : ضریب لرزه ای $C_{VM}$
۸۴	جدول ( ۴-۶ ) : ضریب پاسخ MCE
۱۰۰	جدول ( ۱-۷ ) : روشهای شتاب خطی و متوسط
۱۰۶	جدول ( ۲-۷ ) : روش تکرار نیوتن رافسون اصلاح شده
۱۱۰	جدول ( ۳-۷ ) : مشخصات جداسازها
۱۱۷	جدول ( ۴-۷ ) : مشخصات جداسازها
۱۱۷	جدول ( ۵-۷ ) : مشخصات روسازه
۱۱۸	جدول ( ۶-۷ ) : انواع تحلیل و کاربرد آن

- جدول ( ۸-۱ ) : ابعاد ستونها و وزن طبقات ..... ۱۲۳
- جدول ( ۸-۲ ) : مشخصات جداسازها ..... ۱۲۵
- جدول ( ۸-۳ ) : مشخصات رکورد زلزله ها ..... ۱۲۶
- جدول ( ۸-۴ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله نورث ریج ..... ۱۲۸
- جدول ( ۸-۵ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله نورث ریج ..... ۱۲۹
- جدول ( ۸-۶ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله نورث ریج ..... ۱۳۰
- جدول ( ۸-۷ ) : شتاب و ضریب مشارکت جرم در سازه با پایه گیردار ..... ۱۳۷
- جدول ( ۸-۸ ) : شتاب و ضریب مشارکت جرم در سازه جداسازی شده ..... ۱۳۷
- جدول ( ۸-۹ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله طبس ..... ۱۴۰
- جدول ( ۸-۱۰ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله طبس ..... ۱۴۱
- جدول ( ۸-۱۱ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله طبس ..... ۱۴۲
- جدول ( ۸-۱۲ ) : شتاب سازه یک درجه آزادی با جداساز دو خطی ..... ۱۴۹
- جدول ( ۸-۱۳ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در زلزله طبس ..... ۱۵۲
- جدول ( ۸-۱۴ ) : ابعاد ستونها و وزن طبقات سازه ۱۰ طبقه ..... ۱۵۵
- جدول ( ۸-۱۵ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام سازه ۱۰ طبقه در زلزله نورث ریج ..... ۱۵۶

# فصل اول

مقدمه

## فصل اول: مقدمه

جمعیت کثیری از مردم جهان در مناطق زلزله خیز دنیا زندگی می کنند که در آن نواحی ، خطر وقوع زمین لرزه هایی با شدت و فراوانی های مختلف وجود دارد . هر ساله وقوع زلزله ها موجب تلفات جانی و خسارات مالی فراوان می شود . در طول سالهای مختلف تکنولوژی ساخت و طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله پیشرفت زیادی کرده است . جداسازی لرزه ای یک روش نسبتا جدید در این زمینه به شمار می آید . جداسازی لرزه ای در واقع نصب سیستمی است که سازه یا ملحقات آن را از حرکات لرزه ای مخرب زمین و یا تکیه گاه جدا می سازد و با افزایش انعطاف پذیری سیستم و همچنین تأثیر میرایی مناسب به دست می آید . جداگرهای لرزه ای ممکن است در قسمتهای مختلف سازه به کار روند . آن دسته از جداگرهای لرزه ای که در تراز پی ساختمان نصب می شوند ، به جداگرهای لرزه ای پایه معروفند . جداگرهای لرزه ای ممکن است فعال و یا غیر فعال باشند . جداگرهای غیر فعال جداگرهایی هستند که نیاز به انرژی ورودی و یا یک منبع خارجی ندارند . اما شکل معمول سیستمهای فعال نصب جرمی است که درصد کوچکی از جرم سازه بوده اما با شتاب زیاد به حرکت در می آید و در نتیجه نیروی اینرسی عکس العملی ایجاد می کند ، که اثر حذف کننده بر نیروی اینرسی وارد بر سازه دارد . اگر چه این سیستم عملی ، گران قیمت است ولی برای کاهش نیروی مؤثر زلزله ، در زلزله های با شدت متوسط ، که در بعضی مناطق فراوان رخ می دهد مناسب است . با توجه به محدودیتهای عملی که در ابعاد و تغییر مکانهای این جرم فعال وجود دارد ، این سیستم برای زلزله های شدید و بزرگ به حد کافی مفید



نخواهد بود. در مقایسه با سازه‌ها با جداگرهای غیر فعال، سیستم‌های فعال نسبت کوچکی از سازه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

در مورد انتخاب یا عدم انتخاب سیستم جداساز لرزه‌ای باید عوامل مختلفی در نظر گرفته شود. اولین موضوعی که باید مد نظر قرار گیرد، خطر زلزله است که بستگی به خصوصیات زمین‌شناسی محلی (مجاورت به گسل، خاک محل)، تاریخچه زلزله‌های ثبت شده در منطقه و هر عامل شناخته شده دیگر در مورد خصوصیات احتمالاتی زلزله (شدت، زمان تناوب و غیره) دارد. با توجه به شکل و سیستم سازه‌ای و همچنین مصالح به کار رفته، می‌توان راه‌های متفاوتی برای طرح مقاوم‌سازی در برابر زلزله در نظر گرفت، که در بعضی از آنها می‌توان از جداگرهای لرزه‌ای استفاده کرد و در بعضی دیگر استفاده نکرد. سپس می‌توان احتمال خرابی ناشی از زلزله را برای هر طرح مشخص نمود. خرابی ناشی از زلزله به صورت زیر قابل طبقه‌بندی است:

۱- خرابی جزئی و ناچیز

۲- خرابی قابل تعمیر (در صورتی که هزینه تعمیر ۳۰٪ هزینه کل ساخت باشد)

۳- خرابی غیر قابل تعمیر که در نتیجه سازه باید تخریب گردد.

تأکید اصلی در سیستم‌های جداگر لرزه‌ای تغییر میزان خرابی از سطح ردیف‌های ۲ و ۳ به ردیف ۱ می‌باشد که باعث کاهش خسارات مالی نیز می‌شود. با برآورد کل هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌هایی که هر راه حل خواهد داشت، می‌توان راه حل نهایی را تعیین کرد. در این فرآیند باید ارزشی نیز برای میزان سالم بودن سازه بعد از زلزله و نیز میزان کاهش خطر در اثر کاهش خسارات سازه قائل شد. در بسیاری از حالات این صرفه‌جویی اضافی می‌تواند باعث انتخاب سیستم جداگر لرزه‌ای شود.

در هنگام استفاده از جداسازهای لرزه ای پایه به دلیل اینکه سازه رفتار انعطاف پذیرتری از خود نشان می دهد ، در سطح جداگر تغییر مکانهای افقی بزرگی رخ می دهد . به همین جهت برای

تمام سازه هایی که دارای جداگرهای لرزه ای پایه می باشند ، باید درز زلزله<sup>۱</sup> در نظر گرفته شود تا چنین تغییر مکانهایی را در طول زلزله امکان پذیر سازد . این درز باید در تمام طول عمر مفید سازه تمیز نگه داشته شود و موادی که از تغییر مکان افقی سازه ممانعت به عمل می آورد ، در آن قرار نگیرد .

با توجه به اینکه کشور ما در منطقه لرزه خیزی واقع است ، احداث و مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله ضروری می باشد . لذا آشنایی با روشهای مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله که امروزه در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرند ، می تواند زمینه را جهت رسیدن به سطح امنیت لرزه ای بیشتر فراهم سازد . از این رو در این تحقیق به بررسی رفتار سازه ها با جداساز لرزه ای پایه پرداخته شده است . اهداف مورد نظر در انجام این تحقیق عبارتند از :

- آشنایی با جداسازی لرزه ای پایه به عنوان روشی برای احداث و مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله .

- آشنایی با آیین نامه های موجود در زمینه جداسازی لرزه ای .

- امکان استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری جهت مدلسازی و تحلیل سازه جداسازی شده .

- مقایسه بین سازه های جداسازی شده و جداسازی نشده و بیان معایب و مزایای آنها .

به همین منظور در فصل دوم این تحقیق ، به معرفی جداسازی لرزه ای و تاریخچه آن پرداخته شده است . فصول سوم و چهارم به معرفی سیستمهای جداساز لرزه ای پایه متداول و بررسی رفتار آنها با

استفاده از روشهای خطی می پردازد . فصل پنجم کاربردهای جداسازی لرزه ای پایه در مناطق مختلف دنیا را معرفی می کند . در فصل ششم ضوابط آیین نامه ای در مورد سازه ها با جداسازی

لرزه ای عنوان شده است . فصل هفتم به بررسی المانهای نرم افزار مورد استفاده ( SAP 2000 ) جهت مدلسازی پرداخته و با ذکر دو مثال صحت آن کنترل می گردد و بالاخره در فصل هشتم یک سازه ۵ طبقه با استفاده از نرم افزار معرفی شده ، با زمان تناوبهای مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد .

# فصل دوم

# مفهوم جداسازی لرزه ای و

## تاریخچه آن

### فصل دوم : مفهوم جداسازی لرزه ای و تاریخچه آن

#### مقدمه:

با پیشرفت علم و تکنولوژی در سالهای اخیر افزایش ایمنی و عملکرد ساختمانها قبل و بعد از وقوع یک زلزله بزرگ اهمیت فزاینده ای یافته است. بسیاری از ساختمانهای امروزی لوازم حساس و ارزشمندی دارند که از نظر تجارت، تحقیقات، اطلاعات و امداد رسانی و... مهم و حیاتی هستند. به عنوان مثال می توان از اتاق کنترل و تأسیسات اساسی نیروگاهها، پالایشگاهها، صنایع حساس مراکز کامپیوتری، بیمارستانها، ایستگاههای پلیس و آتش نشانی نام برد که بایستی به ویژه بعد از یک زلزله بزرگ به فعالیت کامل خود ادامه دهند.

#### ۱-۲- فلسفه طرح لرزه ای سازه ها و شکل گیری نظریه جداسازی لرزه ای :

هدف از طرح لرزه ای سازه ها طبق آنچه در بسیاری از آیین نامه ها تعریف می شود ایستادگی سازه در برابر زلزله های کوچک و خسارت ندیدن آن ، مقاومت در برابر زلزله های متوسط با وارد آمدن خسارتهای غیر سازه ای و جلوگیری از فرو ریختن سازه تحت زلزله های شدید با پذیرفتن

خسارت سازه ای و غیر سازه ای می باشد . بنابر این می توان گفت در اصل آیین نامه های لرزه ای با هدف ایمنی جانی<sup>۱</sup> سازگار می شوند نه با هدف جلوگیری از خسارت یا جلوگیری از اختلال در عملکرد سازه . با توجه به اینکه در برخی سازه ها ابزار آلات حساس و گران قیمتی وجود دارد که هزینه خسارت وارد به آنها بسیار بیشتر از خود سازه می باشد و یا اینکه برخی از مراکز باید بعد از

زلزله های شدید نیز به کار خود ادامه دهند ، وارد آمدن خسارت به سازه نیز نمی تواند مورد قبول واقع شود . [1]

برای طرح یک سیستم محافظ در برابر زلزله، طراح هیچ کنترلی روی شدت و حرکت زمین لرزه ندارد و نمی تواند اثرات مخرب آن را کاهش دهد. بنابراین باید نکات کلیدی زیر در هر سازه ای در نظر گرفته شود: [2]

۱- محل مناسب برای سازه (نواحی با لرزه خیزی کم ، دور از گسلهای فعال ، نداشتن خطر روانگرایی و ...)

۲- سبک بودن سازه

۳- قوی بودن سازه (مقاومت زیاد بر وزن )

۴- شکل پذیر بودن سازه (به وجود آمدن مفصلهای پلاستیک در اعضای سازه ای )

۵- دور کردن پریود طبیعی سازه از پریود حاکم زلزله

۶- افزایش ظرفیت میرایی و جذب انرژی سازه.

در گذشته بیشتر آیین نامه ها به موارد ۲ و ۳ توجه داشتند . اما با پیشرفت تئوری ارتعاش غیر خطی و آنالیز دینامیکی به کمک کامپیوتر موارد ۴ تا ۶ نیز مورد توجه واقع گردیدند . به این ترتیب مهندسين سازه به اهميت شكل پذيری و جذب انرژی در سازه های مقاوم در برابر زلزله پی بردند و با وارد شدن مسأله شكل پذيری در آیین نامه های زلزله ، تغيير شكلهای پلاستیک (ایجاد مفصلهای پلاستیک ) در اعضای سازه ای مجاز دانسته شد . این تغییر شکلها علاوه بر تأمین انعطاف پذيری و افزایش پریود طبیعی سازه با تشکیل حلقه های هیسترتیک موجب جذب انرژی ورودی زلزله می شوند . به طور کلی برای کاربرد مؤثر موارد ۴ تا ۶ داشتن مشخصات حرکت لرزه ای زمین یکی از

پارامترهای اساسی محسوب می شود . به هر حال با پیشرفت دستگاههای دیجیتالی ثبت ارتعاشات در سالهای اخیر حرکات لرزه ای زمین و ارتعاشات سازه ها با دقت بیشتری ثبت می شوند . اگر چه آیین نامه های جدید زلزله با در نظر گرفتن رفتار الاستو پلاستیک عناصر سازه ای ، طرحهای اقتصادی ارائه می کنند ، اما مشکلات مربوط به طرح لرزه ای سازه ها هنوز حل نشده است . مسأله اساسی در طرح لرزه ای ساختمانهای کم ارتفاع یا با ارتفاع متوسط فرکانس ارتعاش طبیعی ارتعاش آنهاست . فرکانس طبیعی این ساختمانها در ناحیه ای است که بیشترین انرژی زلزله وارد ساختمان شده و مسأله تشدید پیش می آید . در این حالت شتاب و تغییر مکان تشدید شده در طبقات می تواند باعث شکست و انهدام اعضای سازه ای و غیر سازه ای گردد . [1]

مسأله اصلی که یک مهندس سازه برای تأمین مقاومت لرزه ای یک ساختمان با آن روبروست چگونگی به حداقل رساندن خسارت به سازه و محتویات آن در طی یک زمین لرزه است . این مسأله می تواند با کاهش تغییر مکان بین طبقه ای و شتابهای طبقات سازه صورت پذیرد . زیرا این دو ( تغییر مکان بین طبقه ای و شتاب طبقات ) از دلایل اصلی خسارت به سازه و محتویات آن

می باشد . تغییر مکان بین طبقه ای زیاد سبب خسارت دیدن المانهای سازه ای و غیر سازه ای و تجهیزات متصل کننده طبقات می شود و شتابهای طبقات باعث خسارت دیدن محتویات سازه که در برخی موارد مثل مراکز هسته ای ممکن است ویران کننده باشد ، می شود . تغییر مکان بین طبقه ای را می توان با افزایش سختی سازه کاهش داد که این عمل سبب افزایش شتاب طبقات می گردد . شتابهای طبقات را نیز می توان با نرم کردن سیستم سازه ای کاهش داد ، اما این کار نیز منجر به تغییر مکانهای بین طبقه ای بزرگ می گردد . [1]

مسأله مهم دیگری که در طرح لرزه ای ساختمانهای کم ارتفاع یا با ارتفاع متوسط ، که بیشترین ساختمانها در پهنه جهان را تشکیل می دهند ، وجود دارد پدیده تشدید<sup>۱</sup> می باشد . زمان تناوب طبیعی این سازه ها معمولا بین ۰/۱ تا ۱ ثانیه است ، حال آنکه شتاب اکثر زلزله ها معمولا دارای زمان تناوب غالبی حدود ۰/۱ تا ۱ ثانیه می باشد . بنابراین امکان تشدید پاسخ در این سازه ها وجود دارد . برای مقابله با این مشکل یا باید زمان تناوب سازه با انعطاف پذیر کردن آن افزایش یابد ، یا اینکه زمان تناوب سازه با سخت کردن آن کاهش یابد . [1]

از دیگر مشکلات طرح مقاوم لرزه ای متداول می توان به بالا بودن هزینه های تعمیرات آن پس از زمین لرزه نام برد . خسارتهای وارد به سازه بخصوص در مورد سازه هایی که باید قابل استفاده باقی بمانند و یا آنهایی که دارای لوازم و ابزارهای حساس و گران قیمت می باشند ، همچنین نگرانی انسانها در طی یک زلزله شدید و تأثیرات روانی که در اثر آن بر جای می ماند ، همه از مشکلات موجود در طرح مقاوم لرزه ای متداول می باشند . [1]



با توجه به مشکلات نام برده شده و آنچه در مورد ساختمانهای نرم و سخت گفته شد، نیاز به یک دیدگاه متفاوت طراحی لرزه ای که بتواند پاسخگوی این مشکلات باشد، احساس گردید. از این رو اندیشه جداسازی سازه از زمین به طوریکه حرکات زمین به سازه منتقل نشود و یا به میزان زیادی کاهش یابد، مطرح گردید و به عنوان پایه و اساس جداسازی لرزه ای شناخته شد. [1]

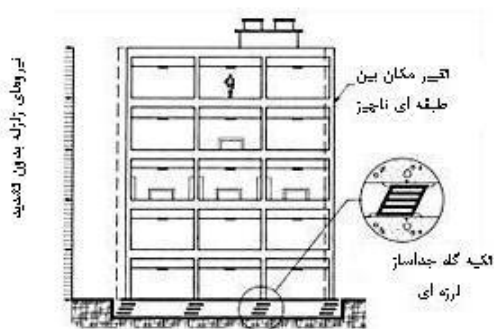
## ۲-۲- مفهوم جداسازی لرزه ای :

مفهوم جداسازی لرزه ای بسیار ساده است. سیستم جداساز با انعطاف پذیری افقی که بین سازه و پی ایجاد می کند ساختمان یا سازه را از مؤلفه های افقی حرکت زمین جدا می سازد. این عمل

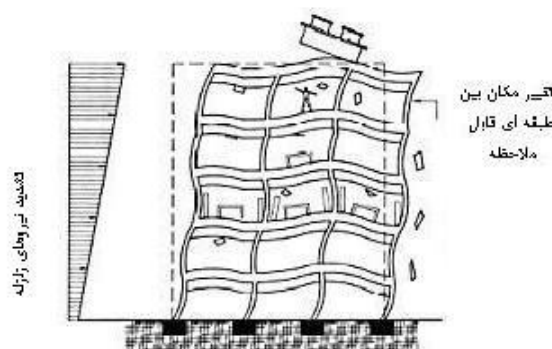
سیستمی را به وجود می آورد که فرکانس پایه آن بسیار پایین تر از فرکانسهای غالب زمین لرزه و نیز فرکانس پایه همان ساختمان با پایه گیردار می باشد. برای درک بهتر این موضوع، عملکرد یک سیستم جداسازی شده در مقایسه با سیستم معمولی با پایه گیردار در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

سازه فوقانی در هر دو سیستم یکسان بوده و هر دو تحت اثر زلزله مشابه قرار گرفته اند. همان طور که ملاحظه می شود در سیستم معمولی با پایه های گیردار کل حرکت لرزه ای زمین به سازه فوقانی منتقل شده است. در این سیستم برای تحمل بار جانبی از رفتار غیر الاستیک (شکل پذیری) سازه استفاده شده است. به هر حال شتاب تشدید شده طبقات و تغییر مکانهای نسبی بزرگ بین طبقات مختلف باعث شکست اعضای سازه ای و غیر سازه ای خواهد شد.

در سیستم جداسازی شده هیچکدام از مسائل مربوط به سیستم با پایه گیردار مشاهده نمی شود. و



ساختمان با سیستم جداساز لرزه ای



ساختمان معمولی - بدون سیستم جداساز لرزه ای

سازه فوقانی تقریباً به صورت یک جسم صلب روی جداگرها تغییر مکان داده است. و این خود باعث جذب قسمت عمده انرژی زلزله در تراز جداگرها می گردد. [2]

شکل (۱-۲)

### ۲-۱-۲- مزیت‌های جداسازی لرزه ای :

افزایش انعطاف پذیری سازه در اثر جداسازی لرزه ای و در نتیجه جلوگیری از پدیده تشدید از مهمترین ویژگیهای آن می باشد. جداسازی لرزه ای هم شتابهای طبقات و هم تغییر مکانهای بین طبقه ای را کاهش می دهد. دلیل کاهش تغییر مکان بین طبقه ای حرکت روسازه به صورت جسم صلب می باشد. روسازه در مقایسه با انعطاف پذیری جداساز بسیار صلب است و همین امر موجب حرکت آن به صورت یک جسم صلب می شود. کاهش تغییر مکان بین طبقه ای سبب کاهش خسارتهای سازه ای و غیر سازه ای می شود. به علاوه با طولانی شدن پریود اصلی به علت انعطاف پذیری شتابهای طبقات کاهش پیدا می کند، که این امر برای ساختمانهایی که دارای ابزار و وسایل حساس و ارزشمند هستند، و یا آنهایی که باید پس از یک زلزله شدید نیز به کار خود ادامه دهند، بسیار مهم است. [1]

دیگر مزیت جداسازی لرزه ای مکانیزم استهلاک انرژی آن است. در طرحهای مقاوم لرزه ای متداول، مکانیزم استهلاک انرژی بر پایه تغییر شکلهای پلاستیک در نقاط مختلف سازه استوار است. اما در جداسازی لرزه ای استهلاک انرژی در تراز جداسازها متمرکز می شود. این امر ممکن است طراحی و کنترل آن را بخصوص در برابر سیکلهای رفت و برگشتی راحت تر سازد. [1]

جداسازی لرزه ای علاوه بر اینکه می تواند جهت ساخت سازه های جدید به کار رود ، می تواند در بازسازی و مقاوم سازی سازه های موجود نیز به کار رود ، بخصوص سازه های تاریخی که ویژگیهای معماری آنها باید حفظ گردد . [1]

### ۲-۲-۲- محدودیتهای جداسازی لرزه ای :

یکی از محدودیتهای جداسازی لرزه ای جابجایی های نسبی بزرگ بین روسازه و پی در تراز جداسازها می باشد . این جابجایی می تواند به وسیله مکانیزم استهلاک انرژی کاهش پیدا کند . رایج ترین نوع این مکانیزم بر پایه تغییر شکل پلاستیک یک فلز نظیر سرب یا فولاد و یا میرایی انواع لاستیک استوار است . بهر حال این جابجایی می تواند باعث برخورد ساختمانهای مجاور به یکدیگر شود . از این رو باید در هنگام ساخت این نوع سازه ها فواصل بین آنها رعایت شود . [1]

محدودیت دیگر جداسازها امکان به وجود آمدن نیروی برکنش<sup>۱</sup> در آنها می باشد . در طی یک زلزله شدید نیروهای جانبی و لنگرهای ناشی از آن ممکن است باعث ایجاد تنشهای کششی در جداسازها شوند ، حال آنکه جداسازها برای این تنشها طراحی نشده و ممکن است عملکرد آنها تضعیف شود . امکان به وجود آمدن برکنش در جداسازها با ارتفاع سازه ( نسبت ارتفاع به عرض ) و در نتیجه افزایش لنگر واژگونی ، افزایش می یابد . این خود باعث می گردد که جداسازی در ساختمانهای بلند مناسب نباشد . علاوه بر آن ساختمانهای بلند انعطاف پذیری بیشتری دارند و فرکانس اصلی آنها معمولا خارج از ناحیه تشدید است و لذا جداسازی لرزه ای تأثیر چندانی در آنها ندارد . [1]

همچنین در ساختمانهای بلند بار جانبی باد حاکم است و جداسازی لرزه ای روش مناسبی برای این نوع بارها نیست . همانطور که گفته شد ، جداسازی لرزه ای جهت ساختمانهای کوتاه تا متوسط ( تا ۱۰ - ۱۲ طبقه ) مناسب است . [1]

نوع خاک ناحیه لرزه خیز نیز باید جهت جداسازی لرزه ای مورد توجه قرار گیرد . ویژگیهای خاک زیر فونداسیون نظیر پرپود خاک منطقه (  $T_s$  ) و فرکانس غالب زلزله های ثبت شده در یک ناحیه

خاص از جمله فاکتورهایی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند . به طور کلی خاک پی سخت تر در جداسازی لرزه ای مؤثرتر است . در نواحی که ویژگیها و اطلاعات ثبت شده از زلزله های قبل حاکی از ناحیه ای با فرکانس غالب کم یعنی  $T_s$  بالا است ، باید از جداسازی لرزه ای اجتناب نمود .

۲-۳- عناصر اصلی سیستمهای جداساز لرزه ای:

به طور کلی سیستمهای جدا ساز لرزه ای به کار رفته در جهان از سه عنصر اصلی زیر تشکیل شده اند: [2]

۱- تکیه گاه نرم برای افزایش پرپود ارتعاشی سیستم و کاهش نیرو

۲- میرا کننده یا جذب کننده انرژی برای کنترل تغییر مکان نسبی بین ساختمان و زمین در

حد عملی

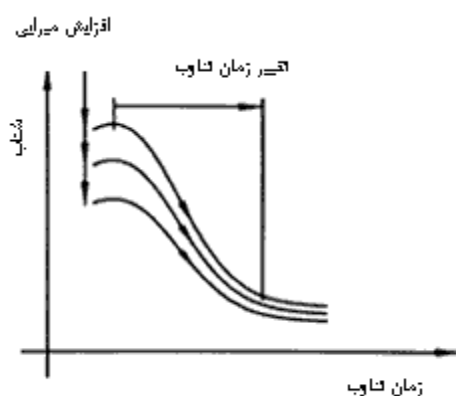
۳- وسیله ای برای تأمین صلبیت در مقابل نیروهای جانبی کوچک نظیر باد و یا زلزله های

خفیف

۲-۳-۱- نرمی :

سیستم )

کاهش نیرو با افزایش زمان تناوب

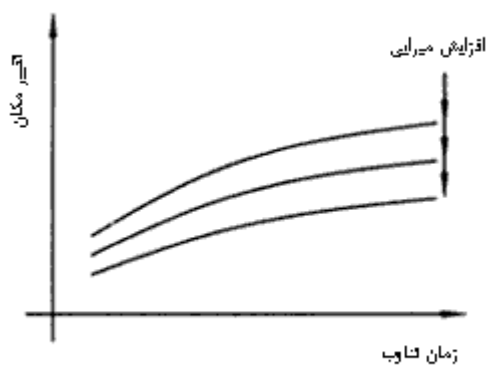


شکل ( ۲-۲ )

افزایش انعطاف پذیری ( در طیف پاسخ مطابق شکل ( ۲-۲ ) نشان داده شده است . همانطور که ملاحظه می شود با افزایش بیشتر زمان تناوب می توان برش پایه را به میزان بیشتری کاهش داد . البته باید توجه داشت که میزان کاهش برش پایه به شکل طیف پاسخ نیز بستگی دارد . [2]

### ۲-۳-۲- میرایی ( اتلاف انرژی ) :

برای انعطاف پذیری بیشتر ، زمان تناوب طولانی تری نیاز است که این خود باعث به وجود آمدن تغییر مکانهای بزرگتری در سطح جداساز می گردد . طیف پاسخ شکل ( ۳-۲ ) نشان می دهد که تغییر مکانهای طیفی که با افزایش زمان تناوب سیستم افزایش می یابند ، را می توان با افزایش میرایی در جدا سازها کاهش داد . [2]

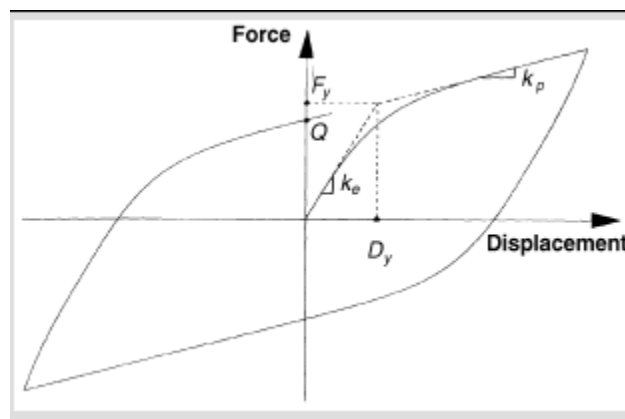


شکل ( ۳-۲ )

یکی از وسایل خیلی مؤثر برای افزایش میرایی اتلاف انرژی به صورت هیسترتیک می باشد . شکل (۲-۴) یک حلقه نیرو-تغییر مکان را نشان می دهد . سطح محصور در این حلقه بیانگر انرژی تلف شده در یک سیکل حرکت می باشد .

وسایل مکانیکی با استفاده از رفتار پلاستیک فولاد یا سرب نیز بدین منظور می توانند مورد استفاده قرار گیرند . بسیاری از مصالح مهندسی به صورت طبیعی هیسترتیک هستند . الاستومرها تقریباً چنین رفتاری را نشان می دهند که می توان با اضافه کردن برخی مواد رفتار هیسترتیک آنها را افزایش داد . [2]

اصطکاک نیز یک منبع دیگر اتلاف انرژی است که برای محدود نمودن تغییر مکان به کار می رود . البته تهیه چنین منبعی مشکل بوده و نسبت به منابع دیگر گران تر می باشد . اشکال عمده سیستمهای اصطکاکی نیاز به وسیله ای جهت برگشت سیستم به حالت اولیه پس از تغییر مکان می باشد .

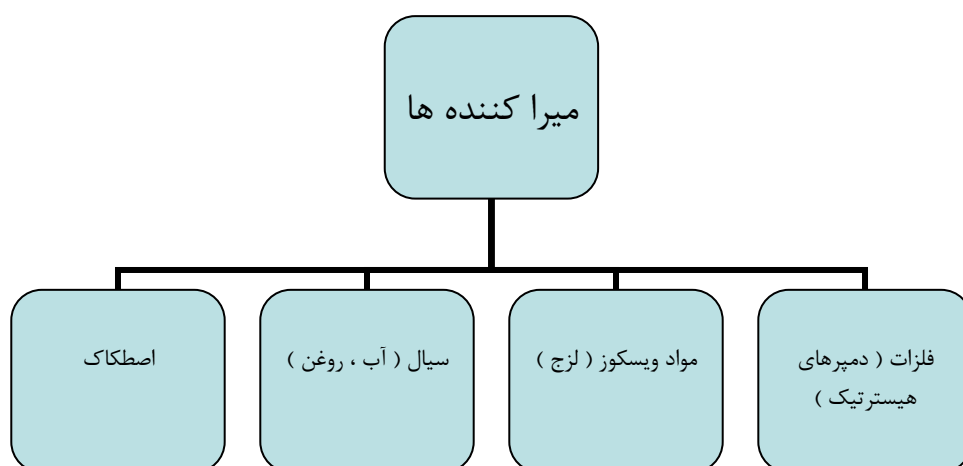
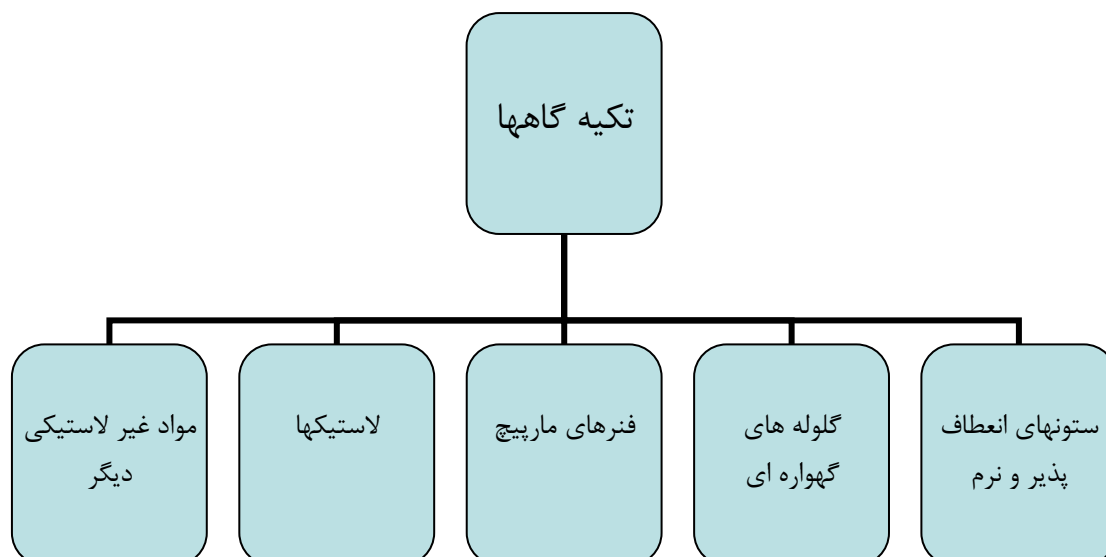


شکل (۲-۴) : عملکرد هیسترتیک سیستم جداساز

۲-۳-۳- سختی اولیه :

اگرچه نرمی بیشتر برای بارهای لرزه ای بزرگ مناسب می باشد ، اما بدیهی است داشتن یک سیستم سازه ای که در اثر باد یا زلزله های کوچک نوسان نماید مناسب نیست . میراگرهای هیسترتیک مکانیکی می توانند سختی اولیه لازم را به وسیله سختی الاستیک اولیه خودشان تأمین کنند . برخی از سیستمهای جداساز لرزه ای نرمی و اتلاف انرژی را به صورت یک عملکرد واحد در سیستم ایجاد می کنند . برخی از منابع مختلف برای تأمین انعطاف پذیری و اتلاف انرژی در جدول ( ۱-۲ ) خلاصه شده است . با به کار بردن هریک از این منابع یا ترکیبات مختلف آنها به صورت

مجزا یا مرکب می توان انواع سیستمهای جدا ساز لرزه ای یا جذب کننده های انرژی را تهیه نمود .



## ۲-۴- تاریخچه جداسازی:

جان مایلن استاد انگلیسی مهندسی معدن در سالهای ۱۸۷۶ تا ۱۸۹۵ در توکیو اقامت داشته است. او در این دوره به پدیده زمین لرزه علاقه شدید پیدا کرد و تعدادی لرزه نگار ابداع نمود. مایلن در زمینه تحقیقات زلزله شناسی آن قدر پیشتاز بود که اغلب از وی با لقب پدر زلزله شناسی نوین نام برده می شود. مایلن در سال ۱۸۸۶ در دانشگاه توکیو نمونه ای از یک ساختمان جدا شده را با



قرار دادن بر روی گوی های چدنی و شمعهایی با لبه های گرد ساخت. در بالای گوی ها صفحات چدنی به ساختمان متصل شده بودند، که به جز اندکی تقعر دقیقا مشابه صفحات زیرین بودند. از آنجایی که وی از عملکرد این ساختمانها در برابر باد ناراضی بود ، بنابر این سیستم جداسازی را تغییر داد . به این ترتیب پایداری ساختمان در برابر بارهای باد تأمین شد. طرح نهایی مایلن در برابر زمین لرزه واقعی نیز موفق بود. [3]

بر اساس نوشته های باقیمانده از قدیم ، نوعی سیستم جداسازی لرزه ای توسط کاوایی در سال ۱۸۹۱ بعد از زلزله نوبی پیشنهاد شد . سازه پیشنهادی او دارای فونداسیون یکپارچه بوده و روی چندین ردیف غلتک متعامد در جهات اصلی ساختمان قرار گرفته است . [2]

در سال ۱۹۰۹ یک پزشک انگلیسی به نام کلانتارینتز در نامه ای که برای اداره ثبت اختراعات انگلستان فرستاد ، روش نوینی را با قرار دادن یک لایه بین ساختمان و فونداسیون ابداع کرد . وی ادعا کرد که ساختمانهایی که بر روی این درزهای آزاد و لایه ای از ماسه نرم، میکا و یا تالک ساخته شود، به هنگام وقوع زمین لرزه لغزیده و سبب کاهش نیروی لرزه ای وارد به سازه می شود. [3]

بعد از زلزله بزرگ کانتو در سال ۱۹۲۳ انواعی از سیستمهای جداساز لرزه ای در ژاپن ابداع گردید . به عنوان مثال می توان از سیستم ستون دوپل<sup>۱</sup> به وسیله ناکامورا در سال ۱۹۲۷ و سیستم تکیه گاه غلطکی به وسیله اوکا در سال ۱۹۲۸ نام برد . سیستم پیشنهادی اوکا در سال ۱۹۳۴ در ساختمانهای بانک فودو به کار رفت . [2]

ایده طبقه اول انعطاف پذیر<sup>۱</sup> اولین بار توسط مارتل در سال ۱۹۲۹ پیشنهاد گردید و سپس به وسیله گرین در سال ۱۹۳۵ و جاکوبسین در سال ۱۹۳۸ مورد بررسی قرار گرفت . [2]

در چند سال اخیر با گسترش نشیمنهای چند لایه الاستومری جداسازی لرزه ای به یک واقعیت عملی تبدیل شده است. لایه های این نشیمنها از ورقه های لاستیکی و صفحات تقویت کننده فولادی ساخته شده اند. سختی قائم این نشیمنها بسیار زیاد بوده و قادر به تحمل بار قائم ساختمان می باشند. اما سختی جانبی آنها بسیار کم بوده و بنابراین ساختمان می تواند تحت حرکات قوی زمین حرکت جانبی داشته باشد. نخستین مورد استفاده از یک سیستم جداساز لاستیکی مدرسه پستالوزی در یوگسلاوی است ، که توسط مهندسین سوئیسی طراحی و ساخته شد . بلوکهای لاستیکی مورد استفاده در این مدرسه بر خلاف نمونه جدید امروزی فاقد صفحات تقویتی فولادی بوده و در نتیجه به دلیل وزن ساختمان دارای انبساط جانبی زیادی می باشند . [3]

امروزه مفهوم جداسازی لرزه ای برای حفاظت ساختمانهای مهم در برابر حرکات قوی زمین در مناطق لرزه خیز جهان به طور گسترده ای پذیرفته شده است و نمونه های متعددی در آمریکا و

ژاپن به کار رفته است. در نیوزلند و ایتالیا نیز نمونه های کمتری از سازه های جداسازی لرزه ای شده وجود دارد که عمدتاً ساختمانهای بزرگ و مهم می باشند. پروژه های آزمایشی به منظور استفاده از سیستمهای جداساز لرزه ای کم هزینه برای منازل مسکونی در کشورهای در حال توسعه در شیلی، چین، اندونزی و ارمنستان انجام شده است. تعجبی ندارد که بیشتر کاربردهای جداسازهای لرزه ای در مورد ساختمانهای مهمی است که دربرگیرنده تجهیزات حساس داخلی می باشند.

# فصل سوم

# اجزای سیستمهای جداساز

## لرزه ای

### فصل سوم : اجزای سیستمهای جداساز لرزه ای

مقدمه:

امروزه جداسازی لرزه ای فناوری توسعه یافته ای است که در بسیاری از کشورها به کار می رود و تعداد زیادی سیستمهای جداساز لرزه ای قابل قبول وجود دارند که مبانی ساخت آنها به خوبی شناخته شده است . به هر حال به نظر می رسد که این مفهوم جاذبه های اجتناب ناپذیری برای مخترعین داشته و هر ساله سیستمهای نوین و مختلفی از جداسازها پیشنهاد شده و به ثبت

می رسند . با وجود اینکه بسیاری از سیستمها غیر عملی بوده و برخی حتی می توانند خطرناک باشند ، اما تعداد این سیستمها هر ساله افزایش می یابند .

بیشتر سیستمهایی که امروزه به کار می روند ، یا شامل نشیمنهای الاستومری هستند که ماده اولیه آنها لاستیک طبیعی یا نئوپرن است و یا در آنها نشیمنهای لغزان که سطح لغزنده از جنس تفلون و فولاد ضدزنگ می باشد ، ( هر چند که از سطوح لغزان دیگری نیز استفاده شده است ) ، به کار گرفته شده اند . سیستمهای دیگری نیز پیشنهاد شده اند که در آنها نشیمنهای الاستومری و لغزان با یکدیگر ترکیب شده اند .

در این فصل تا حد امکان سیستمهایی که کاربرد بیشتری دارند بررسی می شوند .

### ۳-۱ - سیستمهای الاستومری :

نشیمنهای لاستیک طبیعی نخستین بار در سال ۱۹۶۹ برای حفاظت لرزه ای ساختمان مدرسه پستالوزی در شهر اسکوپیه مقدونیه به کار رفتند . این نشیمنها بلوکهای لاستیکی بزرگی بودند که بر خلاف نمونه های امروزی فاقد صفحات فولادی تقویت کننده بوده و در اثر وزن ساختمان حدود

۲۵٪ فشرده می شوند . سختی قائم نشیمنها فقط چند برابر سختی افقی آنها بوده و لاستیک مورد استفاده نسبتا فاقد میرایی است . این سیستم بر روی میز لرزان مرکز تحقیقات مهندسی زلزله ( *EERC* ) دانشگاه برکلی در سال ۱۹۸۲ آزمایش شده است . [3]

این سیستم شامل بلوکهایی از جنس شیشه اسفنجی در هر دو سمت نشیمنهای لاستیکی بوده که به عنوان فیوزهایی برای جلوگیری از حرکت ساختمان در اثر باد ، تردهای داخلی ساختمان یا زمین لرزه های با شدت کم به کار می روند . [3]

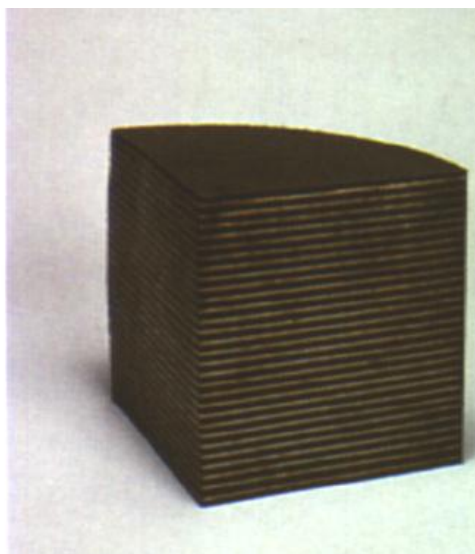
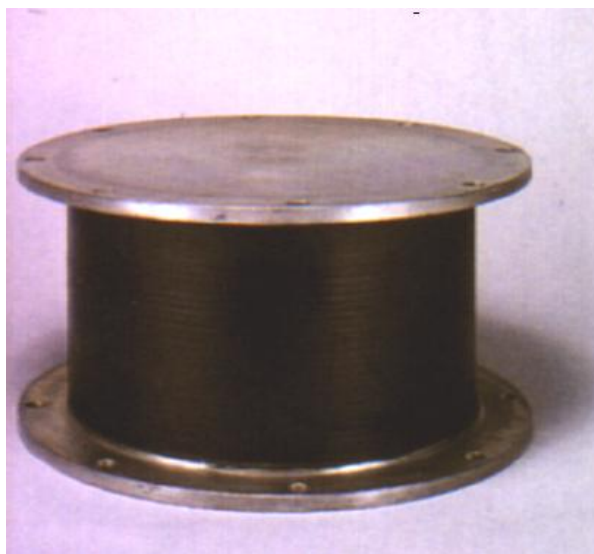
از زمان تکمیل این ساختمان ، ساختمانهای متعدد دیگری نیز بر روی نشیمنهای لاستیکی اما با صفحات داخلی تقویت کننده فولادی که سبب کاهش انبساط جانبی نشیمنها و افزایش سختی قائم می شوند ، ساخته شده اند . صفحات فولادی داخلی ( که به آنها غلاف نیز گفته می شود ) سبب ایجاد سختی قائمی می شوند که صدها برابر سختی افقی نشیمن می باشد .

این نشیمنهای الاستومری چند لایه فراهم کننده جداسازی ارتعاشی برای بلوکهای آپارتمانی ، بیمارستانها و سالنهای کنسرتی که بر روی خطوط مترو و یا خطوط اصلی راه آهن ساخته شده اند می باشند . درهام<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد کردند که این روش را می توان برای حفاظت ساختمانها در برابر حرکات زمین لرزه به کار برد . بر همین اساس برنامه تحقیقات آزمایشگاهی و نظری وسیعی در *EERC* برای گسترش و توسعه این مفهوم آغاز شد . [3]

نشیمنهای الاستومری لایه ای را می توان به دو نوع با میرایی کم و میرایی زیاد تقسیم کرد .

### ۳-۱-۱- نشیمنهای لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم :

در ژاپن نشیمنهای لاستیک طبیعی و مصنوعی با میرایی کم به طور گسترده ای به همراه ابزارهای میراگر اضافی مانند میراگرهای لزج ، میله های فولادی ، میله های سربی ، وسایل اصطکاکی و غیره به کار می روند . الاستومر مورد استفاده در ژاپن لاستیک طبیعی است ، در حالی که در فرانسه از نیوپرن در پروژه های متعددی استفاده شده است . این جداسازها شامل دو صفحه ضخیم فولادی در بالا و پایین و صفحات نازک فولادی متعددی می باشند . شکل ( ۳-۱ ) [3]



شکل ( ۱-۳ ) : نشیمن الاستومری

لاستیک پس از ولکانیزه شدن ، در یک مرحله تحت فشار و دما در قالب به فولاد چسبانده می شود. صفحات فولادی از انبساط جانبی لاستیک جلوگیری کرده و سختی قائم را به مقدار زیادی افزایش می دهند . اما هیچ تأثیری بر سختی افقی سیستم که به وسیله مدول برشی پایین الاستومر کنترل می شود ، نخواهند داشت . رفتار ماده در برش تا کرنشهایی بیش از ۱۰۰٪ کاملاً خطی بوده و میرایی آن حدود ۲ تا ۳ درصد مقدار بحرانی می باشد . ماده فاقد جمع شدگی بوده و پایداری بلند مدت مدول برشی آن خوب است . [3]

می توان جداسازهایی بدون میرایی و با رفتار برشی کاملاً خطی ساخت . چنین نشیمنهایی به وسیله هیأت مرکزی تولید الکتریسیته<sup>۱</sup> برای سیستم جداساز به کار رفته در یک نیروگاه اتمی در انگلستان استفاده شده است . این نشیمنها به همراه یک سیستم میراگر لزج که به وسیله شرکت آلمانی GERB ساخته شده بود به کار رفته اند . این سیستم مرکب در EERC آزمایش شده و نتایج حاصله مؤید آن هستند که نشیمنها تا حد کرنش برشی در حدود ۱۵۰٪ کاملاً خطی بوده و فاقد هر گونه میرایی می باشند . هدف طرح ایجاد یک سیستم جداسازی است که دقیقاً متناظر با مدل دینامیکی لزج خطی باشد . آزمایشها بیانگر این واقعیت هستند که لاستیک برای چنین مدلی کاملاً متناسب بوده ، اما پاسخ سیستم میراگر دقیقاً مشابه یک المان لزج خطی نمی باشد . [3]

مزایای نشیمنهای لایه ای الاستومری با میرایی پایین بسیارند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد : ساخت آسان نشیمنها ( فرآیند ترکیب مصالح و پیوند آن با فولاد به خوبی شناخته شده است . ) ، به راحتی می توان آنها را مدل کرد و پاسخ مکانیکی آنها تحت اثر دما ، زمان و سن قرار ندارد . [3]



تنها عیب این نشیمنها آن است که معمولا به یک سیستم میراگر اضافی (مکمل) نیاز دارند. این سیستمهای مکمل نیاز به اتصالات دقیق و پیچیده داشته و نوع فلزی آنها دستخوش پدیده خستگی در سیکلهای پایین می گردد. [3]

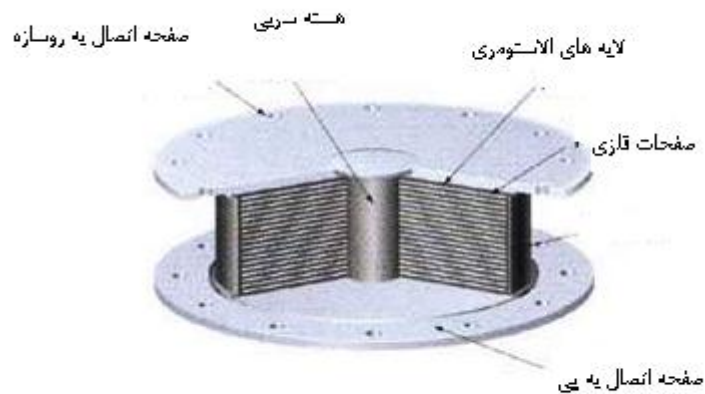
کاربردهای متعددی از این سیستم در ژاپن مشاهده می شود. اجزای مستهلک کننده انرژی شامل مجموعه ای از تجهیزات فولادی تسلیم شونده می باشند.

### ۳-۱-۲- نشیمنهای الاستومری با هسته سربی : ( LRB )<sup>۱</sup>

نشیمنهای با هسته سربی در سال ۱۹۷۵ در نیوزلند اختراع شد و به طور گسترده ای در نیوزلند و ژاپن و آمریکا مورد استفاده قرار گرفتند. این نشیمنها مشابه نشیمنهای لاستیکی با میرایی پایین بوده اما دارای یک یا چند هسته سربی می باشند. که مطابق شکل در سوراخهایی قرار گرفته اند. (شکل ۳-۲). صفحات فولادی به کار رفته در این سیستم سبب تغییر شکل هسته سربی در برش می شوند. این هسته های سربی در جریان برشی در حدود  $10\text{mpa}$  (  $1500\text{psi}$  ) تغییر شکل فیزیکی داده و سبب ایجاد یک پاسخ دو خطی در نشیمن می شوند. [3]

هسته سربی باید کاملا در نشیمن الاستومری محکم شده باشد، که برای این منظور قطر هسته سربی را اندکی بیشتر از سوراخ در نظر گرفته و هسته را با فشار به داخل سوراخ می رانند. از آنجایی که سختی و میرایی مؤثر نشیمنها با هسته سربی وابسته به مقدار جابجایی آن است، بنابراین باید تغییر مکان متناظر با مقدار میرایی لازم مشخص شود. [3]

نشیمنهای با هسته سربی به طور گسترده ای در نیوزلند به کار رفته و ضوابط بسیار کاملی در زمینه طراحی و مدل سازی آنها وجود دارد . ساختمانهایی که به وسیله این نشیمنها تقویت شده اند در زلزله های ۱۹۹۴ نورث ریج و ۱۹۹۵ کوبه عملکرد خوبی داشته اند . [3]



شکل (۳-۲) : نشیمن الاستومری با هسته سربی

### ۳-۱-۳- سیستمهای لاستیک طبیعی با میرایی بالا : (HDNR)<sup>۱</sup>

در سال ۱۹۸۲ شرکت انگلیسی مؤسسه تحقیقات مالزیایی لاستیک ، یک ترکیب لاستیک طبیعی ابداع کرد که میرایی ذاتی آن به حدی بود که نیاز به استفاده از اجزای میراگر اضافی را از بین برد . میرایی این ترکیب لاستیکی از افزودن بلوکهای کربنی بسیار ریز ، روغنهای یا رزینها و سایر پرکننده ها حاصل می شود . [3]

میرایی را می توان در کرنش برشی معادل ۱۰۰٪ به ۱۰٪ تا ۲۰٪ رساند ، که حد پایین آن ۱۰٪ مربوط به میرایی با سختی پایین ( سختی معادل ۵۰ تا ۵۵ با دستگاه تعیین سختی<sup>۱</sup> ) با مدول برشی در حدود  $0.34 \text{ mpa}$  و حد بالای آن مربوط به سیستمهای با سختی<sup>۲</sup> بالا ( سختی در حدود ۷۰ تا ۷۵ ) و مدول برشی بالایی در حدود  $1/4 \text{ mpa}$  می باشد . روشهای ولکانیزه نمودن ، چسباندن و ساخت جداسازها تغییری نمی کند و به همان صورت قبل می باشد . [3]

میرایی در جداسازها نه به صورت لزج و نه به صورت پسماند ، بلکه چیزی بین این دو می باشد . در یک المان کاملاً لزج خطی مقدار انرژی مستهلک شده متناسب با توان چهارم جابجایی و در یک سیستم پسماند ( هیسترتیک ) به صورت خطی با جابجایی تغییر می کند .

آزمایشات انجام شده بر روی مقدار زیادی از جداسازهای لاستیکی مختلف در *EERC* نشان می دهند که انرژی مستهلک شده در هر سیکل متناسب با جابجایی با توانی در حدود ۱/۵ می باشد . (  $E \propto D^{1.5}$  ) از این ویژگی می توان برای مدل سازی پاسخ نشیمنی که شامل المانهای لزج خطی و المانهای الاستیک-پلاستیک است استفاده کرد .

یکی دیگر از مزایای ذاتی سیستمهای *HDNR* آن است که سبب مقداری کاهش در ارتعاشات محیطی می شوند . این جداسازها به عنوان فیلتری برای ارتعاشات قائم با فرکانس بالا که در اثر ترافیک یا خطوط راه آهن زیر زمین ایجاد می شوند ، عمل می کنند . این عمل در یک آزمایش میز لرزان در *EERC* در سال ۱۹۸۰ نشان داده شده است . [3]

1- Durometer

2- Hardness

### ۳-۲- سیستمهای جداساز لغزنده :

نخستین و ساده ترین جداسازی پیشنهاد شده ، یک سیستم لغزنده خالص بوده است . این سیستم در سال ۱۹۰۹ به وسیله یک پزشک انگلیسی به نام کالانتارینتز<sup>۱</sup> پیشنهاد شده است . او پیشنهاد کرد که ساختمان به وسیله یک لایه تالک از پی جدا شود .

کالانتارینتز به خوبی دریافته بود که سیستم جداساز شتابهای وارده به ساختمان جداسازی شده را به ازای تغییر مکانهای نسبی بزرگ بین ساختمان و پی کاهش می دهد و به همین دلیل اتصالات هوشمندانه ای برای حفظ تأسیسات ساختمان که آن روزها محدود به خطوط گاز و لوله های فاضلاب بودند ، طراحی کرده بود . در حقیقت طرح کالانتارینتز در بر گیرنده تمام اجزایی است که امروزه در یک سیستم جداسازی پایه ضروری می باشند . این طرح شامل روشی برای جداسازی ساختمان از پی ، روشی برای مقاوم سازی خطوط تأسیسات در برابر تغییر مکان نسبی بالا و سیستم مقاومی در برابر باد می باشد . [3]

نخستین بار دولت ایتالیا پس از زلزله بزرگ مسیمو-رگیو<sup>۲</sup> در سال ۱۹۰۸ که منجر به کشته شدن ۱۶۰۰۰۰ نفر از ساکنین ساختمانهایی با مصالح بنایی غیر مسلح ( نوع متداول بنا در آن منطقه ) شد ، جداسازی را به عنوان یک روش طراحی مقاوم لرزه ای در نظر گرفت . در زلزله فوق تقریباً تمام ساختمانهای با مصالح بنایی غیر مسلح ویران شدند .

پس از این زلزله هیأتی مأمور فراهم آوردن توصیه هایی برای بازسازی ناحیه زلزله زده با ساختمانهای مقاوم لرزه ای شد که هم اقتصادی و هم ایمن باشند .

---

1- Calantarients  
2- Mesimo-Reggio

این هیأت دو روش برای طراحی مقاوم لرزه ای در نظر گرفت : روش اول شامل جداسازی ساختمان از زمین به وسیله ایجاد یک لایه ماسه ای در پی ساختمان یا استفاده از غلطکهایی در زیر ستونها برای ایجاد امکان حرکت افقی ساختمان بود . روش دوم شامل طراحی ستونها با پایه های گیردار و با محدودیتهایی در ارتفاع به همراه نیازهای لازم در طراحی بر مبنای نیروی جانبی شد . سرانجام در عمل روش دوم به عنوان روش بهتر پیشنهاد شده و از سیستمهای جداساز لغزنده استفاده نشد . در زلزله های شدید دوبای<sup>۱</sup> ( ۱۹۳۰ ) و بیهار<sup>۲</sup> ( ۱۹۳۴ ) هندوستان مشاهده شد که ساختمانهای با مصالح بنایی کوچکی که بر روی پی خود لغزیده بودند ، پس از زلزله بر جا مانده ، اما ساختمانهای مشابهی که دارای اتصالات گیردار در پایه بودند ، ویران شده بودند . [3]

مهندسين زلزله چینی پدیده مشابهی را در زلزله ویرانگر تانگشان در سال ۱۹۷۶ مشاهده کردند . در این زمین لرزه در پایین دیوار ساختمانهای باقی مانده ترک افقی وجود داشت که همین ترک اجازه لغزشی در حدود ۶ سانتیمتر را به ساختمان داده و مانع از خسارت دیدن روسازه ( سازه فوقانی ) شده بود . پس از تحلیلهای نظری زیاد ، آزمایشی بر روی یک مدل میز لرزان با مقیاس  $\frac{1}{8}$  و یک آزمایش انفجاری بر روی یک ساختمان با اندازه واقعی انجام شد .

بر مبنای همین روش تعدادی ساختمان احداث شدند که بزرگترین آنها یک خوابگاه چهار طبقه برای مؤسسه مشاهدات زمین لرزه های قوی در پکن می باشد . سطح لغزنده در این ساختمان لایه ای از ماسه مخصوص است که در بالای پی و زیر دیوارهای طبقه همکف قرار گرفته است . [3]

1- Dhubai

2- Bihar

۳-۲-۱- سیستم ترکیبی *EERC* :

سیستم مرکب از دو سیستم الاستومری و لغزنده که در *EERC* ابداع شده و بر روی میز لرزان آزمایش شده است. در این سیستم ستونهای داخلی ساختمان بر روی المانهای لغزنده ای از جنس فولاد ضد زنگ و ستونهای خارجی بر روی نشیمنهای لاستیک طبیعی با میرایی پایین قرار می گیرند. نشیمنهای الاستومری سبب بازگشت سیستم به حالت اولیه و کنترل پیچش ساختمان می گردد، در حالی که اجزاء لغزنده میرایی مورد نیاز سیستم را فراهم می آورند. [3]

نمونه ای از این سیستم برای تقویت دانشکده مهندسی معدن مک کی در دانشگاه نوادا و نیز بیمارستان جدیدی برای شهر لس آنجلس استفاده شده است. در هر دوی این ساختمانها از نشیمنهای الاستومری با میرایی بالا استفاده شده، که سیستم لغزنده به کار رفته در ساختمان دانشگاه از نوع تفلون- فولاد ضدزنگ و در بیمارستان صفحاتی از آلیاژ سرب-برنز بر روی فولاد ضد زنگ می باشد. [3]

۳-۲-۲- سیستم تاس ( *TASS* ) :

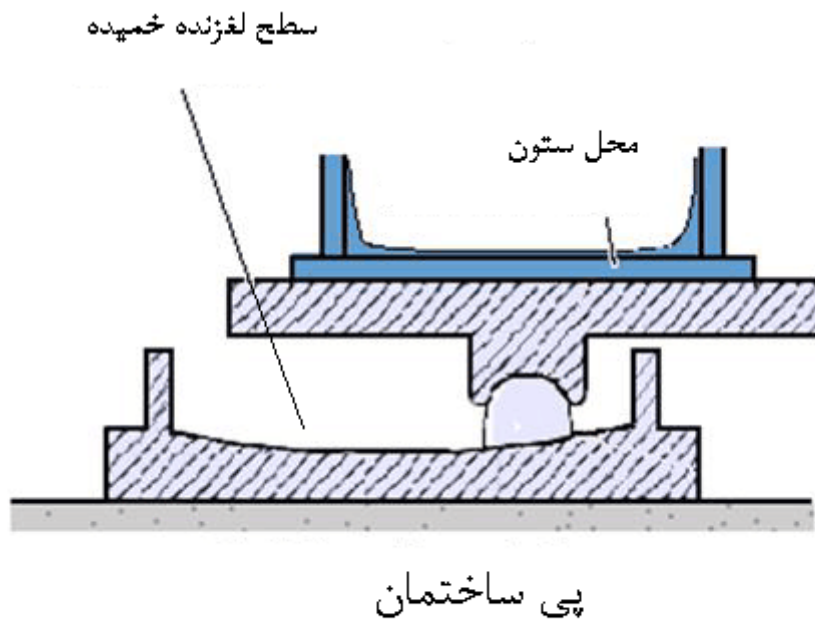
سیستم تاس به وسیله گروه تایسه<sup>۱</sup> ژاپن توسعه یافت. در این سیستم تمام بار قائم به وسیله المانهای تفلون - فولاد ضدزنگ حمل می شود. به علاوه از نشیمنهای لایه ای نئوپرنی که باری به آنها وارد نمی شود به منظور ایجاد نیروهای بازگرداننده استفاده می شود. فشار سطح لغزنده تفلونی در حدود  $10\text{mpa}$  بوده و ضریب اصطکاک آن بین  $0/05$  برای سرعتهای پایین لغزش تا حدود  $0/15$  برای سرعتهای بالاتر متغیر است. [3]

اشکالات این سیستم عبارتند از : [3]

- به دلیل عدم باربری قائم نشیمنهای الاستومری این نشیمنها به کشش می افتند .
- حساسیت سطح لغزنده به سرعت مدل سازی این سیستم را بسیار دشوار کرده است .

۳-۲-۳- سیستم آونگ اصطکاکی ( FPS )<sup>۱</sup> :

سیستم آونگ اصطکاکی ( FPS ) سیستم جداسازی اصطکاکی است که به وسیله هندسه خاص خود عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می کند . جداساز FPS که به صورت شماتیک در شکل ( شکل ۳-۳ ) نشان داده شده است ، دارای یک قسمت لغزنده مفصلی است که بر روی یک سطح کرووی از جنس فولاد ضد زنگ می لغزد . [3]



شکل ( ۳-۳ ) : سیستم پاندول اصطکاکی

سطحی از این قسمت لغزنده مفصلی که در تماس با سطح کروی است ، با موادی با اصطکاک کم پوشیده شده است . این سطح در یک شیار کروی که آن هم از ترکیباتی با اصطکاک کم پوشیده شده ، قرار می گیرد . با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کروی جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می شود .

اصطکاک بین سطح لغزنده مفصلی و سطح کروی نیز سبب ایجاد میرایی در جداساز می گردد . سختی مؤثر جداساز و دوره تناوب سازه جداسازی شده به وسیله شعاع انحنای سطح محدب کنترل می شود . [3]

۳-۲-۴ : سیستم جداسازی با استفاده از شمعهای غلاف دار<sup>۱</sup> :

کاربرد این سیستم در حالاتی که استفاده از شمعهای عمیق لازم باشد ، مثلا در مورد ساختمانهایی که روی خاک بسیار نرم قرار دارند ، برای فراهم کردن انعطاف پذیری افقی در یک سیستم جداسازی مفید به نظر می رسد . شمعها را با قرار دادن در لوله و با رعایت یک فاصله مناسب بین این دو می توان انعطاف پذیر نمود .

سیستم فوق در یکی از نخستین پروژه های جداسازی پایه ، یعنی در ساختمان اتحادیه اوکلند واقع در نیوزلند به کار گرفته شده است . ساختمان این بنا در سال ۱۹۸۳ به پایان رسید . خاک ساختگاه ساختمان ضعیف بوده و شمعها می بایست تا بستر سنگی که در عمق ۱۰ متری سطح زمین قرار داشت ، ادامه یابند . این شمعها درون غلافهای فولادی با فاصله ۱۵۰ میلیمتر قرار گرفتند .

ساختمان مورد نظر ۱۲ طبقه بتن آرمه با بادبندی خارجی می باشد .



میرایی به وسیله تغییر شکل ارتجاعی - خمیری مجموعه ای از صفحات فولادی باریک شونده که در محیط ساختمان و در تراز زمین قرار گرفته اند ، تأمین می شود . میراگرها در بالای شمعهای غلاف دار تعبیه شده اند و میرایی مؤثری در حدود ۱۲٪ فراهم می آورند . [3]

# فصل چهارم

بررسی عملکرد سیستمهای

جداساز لوزه ای

## فصل چهارم : بررسی عملکرد سیستمهای جداساز لرزه ای

مقدمه:

در این بخش رفتار دینامیکی ساختمانهایی که بر روی سیستمهای جداساز لرزه ای قرار گرفته اند را مورد بررسی قرار می دهیم . با در نظر گرفتن محدودیتهای موجود و اینکه چرا و تحت چه شرایطی جداسازی در کاهش نیروی به وجود آمده در یک سازه در اثر زلزله مؤثر است .

با وجود اینکه اغلب سیستمهای جداسازی رفتار غیر خطی دارند ، این آنالیز می تواند به عنوان یک آنالیز مقدماتی رفتار تقریبی این سیستمها را بررسی کند .

برای این منظور ابتدا خلاصه ای از مبانی تئوری خطی جداسازی لرزه ای که به وسیله کلی توضیح داده شده است ، ارائه می شود و سپس رفتار دینامیکی سازه ها بر روی نشیمنهای لاستیکی لایه ای با استفاده از آنالیز مودال مورد بررسی قرار می گیرد .

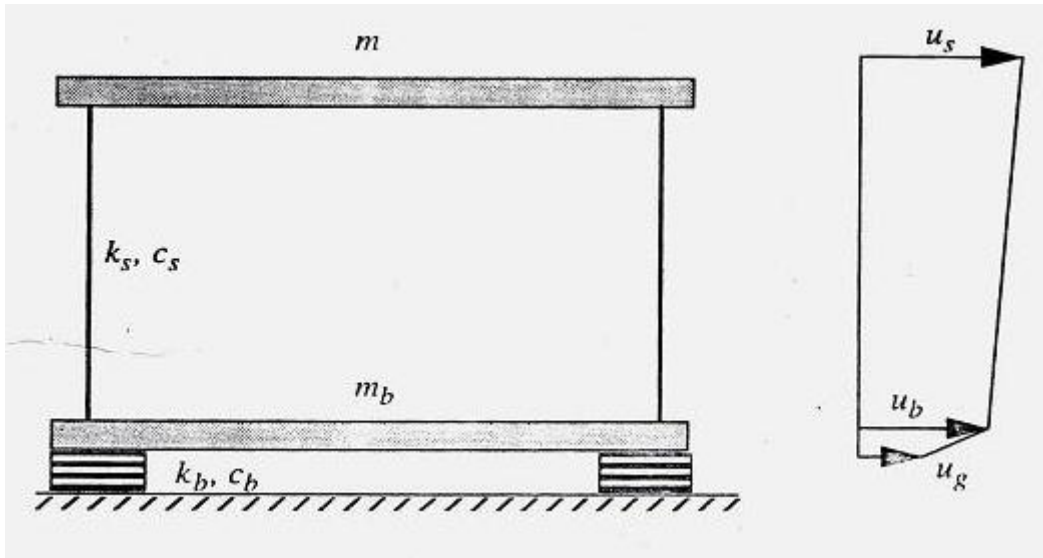
### ۴-۱- تئوری خطی جداگر پایه :

اساس این نظریه مطابق شکل ( ۴-۱ ) بر پایه یک مدل سازه ای با دو جرم قرار دارد . جرم  $m$  نماینده روسازه ساختمان و  $m_b$  جرم کف پایه در بالای سیستم جداگر می باشد . سختی و میرایی سازه  $k_s$  و  $c_s$  و سختی و میرایی جداگر با  $k_b$  و  $c_b$  نشان داده می شود . جا به جایی های مطلق دو جرم با  $u_b$  و  $u_s$  نشان داده می شوند . معادلات حرکت بر اساس مقادیر مطلق جابجایی عبارتند

از : [4]

$$m\ddot{u}_s = -c_s(\dot{u}_s - \dot{u}_b) - k_s(u_s - u_b)$$

$$m_b\ddot{u}_b + m\ddot{u}_s = -c_b(\dot{u}_b - \dot{u}_g) - k_b(u_b - u_g)$$



شکل (۱-۴)

با استفاده از مقادیر جابه جایی نسبی که به صورت زیر تعریف می شوند :

$$v_b = u_b - u_g \quad \text{و} \quad v_s = u_s - u_b$$

رابطه اساسی حرکت مدل دو درجه آزادی را می توان بر حسب کمیت‌های فوق به صورت زیر نوشت:

$$m\ddot{u}_b + m\ddot{u}_s + c_s\dot{u}_s + k_s u_s = -m\ddot{u}_g \quad (۱-۴)$$

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (۲-۴)$$

دو رابطه فوق را می توان به صورت ماتریسی زیر نوشت :

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (۳-۴)$$

که در آن

$$M^* = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \quad K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}$$

$$M = m + m_b \quad \text{و} \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v_s \end{bmatrix} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

مقادیر فرکانسهای اسمی از روابط زیر بدست می آیند :

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \text{و} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m}$$

فرض کنید که  $\frac{\omega_b^2}{\omega_d^2} = \varepsilon$  باشد . مقدار  $\varepsilon$  بسیار کوچک است . (  $10^{-2} \leq \varepsilon \leq 10^{-3}$  )

ضرایب میرایی  $\beta_b$  و  $\beta_s$  از روابط زیر بدست می آیند :

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad \text{و} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m}$$

مودهای طبیعی سیستم نامیرا با  $\phi^1$  و  $\phi^2$  نشان داده می شوند که در آن :

$$\phi^{iT} = (\phi_b^i, \phi_s^i) \quad \text{و} \quad i = 1, 2$$

برای فرکانسهای  $\omega_1$  و  $\omega_2$  می باشد . با فرض  $\gamma = \frac{m}{m + m_b}$  به عنوان نسبت جرمی ، رابطه

مشخصه فرکانسها به صورت زیر نوشته می شود :

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_b^2 + \omega_s^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (4-4)$$

حل این رابطه مقادیر فرکانسهای  $\omega_1$  و  $\omega_2$  را به دست می دهد :

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[ (\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (4-5-الف)$$

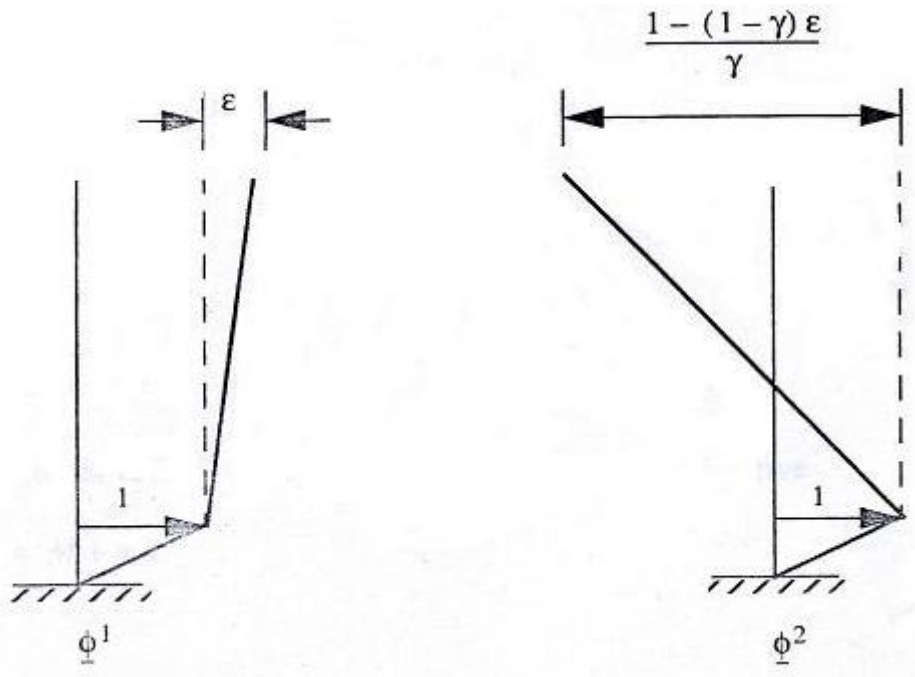
$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[ (\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (4-5-ب)$$

مقادیر فوق با تقریب مرتبه اول  $\varepsilon$  ، به صورت زیر در می آیند :

$$\omega_1^2 = \omega_b^2(1 - \gamma\varepsilon) \quad \text{و} \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1 - \gamma)}(1 + \gamma\varepsilon) \quad (۶-۴)$$

و شکل مودها با  $(\phi_b^i = 1)$  و به ازای  $i = 1, 2$  برابرند با :

$$\phi^{1T} = (1, \varepsilon) \quad \text{و} \quad \phi^{2T} = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\varepsilon] \right\} \quad (۷-۴)$$



شکل (۲-۴)

همانطور که در شکل (۲-۴) ملاحظه می کنید در مود اول سازه همانند یک جسم صلب تغییر مکان داده است، در حالیکه در مود دوم تغییر شکل هم در سازه و هم در جداساز اتفاق افتاده است. فرکانس مود اول چنانچه در رابطه (۶-۴) ملاحظه می کنید، نزدیک به فرکانس سیستم جداساز می باشد. این به علت آن است که روسازه در مقایسه با سیستم جداساز بسیار سخت است

و همانند یک پیکره صلب عمل می کند ، به همین خاطر تغییرات در فرکانس سیستم جداساز کوچک می باشد .

برای بیان جابه جایی های اصلی در مختصات مودی می توان نوشت :

$$v_b = q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2 \quad \text{و} \quad v_s = q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2 \quad (۸-۴)$$

که در آن  $q_1$  و  $q_2$  ، ضرایب مودی وابسته به زمان می باشند . با استفاده از این روابط معادله ماتریسی (۳-۴) را می توان به شکل زیر نوشت :

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (۹-۴ \text{ الف})$$

$$\ddot{q}_2 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (۹-۴ \text{ ب})$$

در این معادلات ، فرض می شود مقدار میرایی آنقدر کوچک است که تأثیر عناصر غیر قطری قابل چشم پوشی باشد . ضرایب مشارکت  $L_1$  و  $L_2$  را به وسیله رابطه زیر به دست آورد :

$$L_i = \frac{\phi^{iT} M^* r^*}{\phi^{iT} M \phi^i} \quad (۱۰-۴)$$

این ضرایب با فرض تقریب مرتبه اول  $\varepsilon$  ، به صورت زیر نوشته می شوند :

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\varepsilon) \quad \text{و} \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (۱۱-۴)$$

$$\text{و} \quad L_2 = \gamma\varepsilon \quad (۱۲-۴)$$

$$L_1 = 1 - \gamma\varepsilon$$

ضریب مشارکت مود دوم ،  $L_2$  که این مود شامل تغییر شکل در سازه از مرتبه  $\varepsilon$  می باشد ، در صورتیکه اختلاف بین  $\omega_s$  و  $\omega_b$  به اندازه کافی بزرگ باشد ، بسیار کوچک است . هنگامی که فرکانس مود دوم به مقدار بیشتر از فرکانس اصلی سازه با پایه صلب انتقال پیدا می کند ، انرژی

زمین لرزه در این مود به سازه منتقل نمی شود ، زیرا ضریب مشارکت مود دوم بسیار کوچک است

و این مود تقریباً بر حرکت زمین که با رابطه  $r^* \ddot{u}_g$  بیان می شود عمود است زیرا :

$$r^{*T} = [1 \quad 0] \quad \text{و} \quad \phi^{1T} = [1 \quad \varepsilon]$$

$$r^* \approx \phi^1 \quad \text{بنابراین :}$$

$$n \neq 1 \quad \text{برای} \quad \phi^{nT} M \phi^1 = 0 \quad \text{به وسیله تعامد داریم :}$$

$$\phi^{nT} M r^* \approx 0 \quad \text{و سپس داریم :}$$

خاصیت استهلاک انرژی از مهمترین بخشهای رفتار سیستم جداسازی می باشد ، که در این مدل

ساده به وسیله میرایی ویسکوز خطی بیان گردید . ضرایب میرایی  $\beta_1$  و  $\beta_2$  را می توان از رابطه

زیر با نادیده گرفتن جملات غیر قطری  $\phi^{nT} C \phi^m$  به دست آورد :

$$2\omega_n \beta_n = \frac{\phi^{nT} C \phi^n}{\phi^{nT} M \phi^n} \quad (۱۳-۴)$$

با استفاده از رابطه بالا داریم :

$$2\omega_1 \beta_1 = 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma\varepsilon) \quad \text{و} \quad 2\omega_2 \beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s \beta_s + 2\gamma\omega_b \beta_b)$$

$$\beta_1 = \beta_b \left[ 1 - \frac{3}{2} \gamma\varepsilon \right] \quad (۱۴-۴)$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma\beta_b \varepsilon^{\frac{1}{2}}}{(1-\gamma)^{\frac{1}{2}}} \left[ 1 - \frac{\gamma\varepsilon}{2} \right] \quad (۱۵-۴)$$

همانطور که مشاهده می کنید ، این رابطه نشان می دهد که میرایی در سازه با میرایی نشیمن



از درجه  $\frac{1}{2}$   $\varepsilon$  افزایش پیدا می کند . بنابراین میرایی زیاد در نشیمنهای لاستیکی می تواند در مود سازه ای توزیع شود .

با به دست آوردن  $L_1$  ،  $L_2$  ،  $\beta_1$  و  $\beta_2$  می توانیم پاسخ سیستم را به دست آوریم . اگر تاریخچه زمانی حرکت زمین  $\ddot{u}_g(t)$  مشخص باشد ،  $q_1(t)$  و  $q_2(t)$  بر حسب انتگرال دوهامل خواهند شد :

$$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \quad (4-16 \text{ الف})$$

$$q_2 = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_2 \beta_2 \tau} \sin \omega_2 \tau d\tau \quad (4-16 \text{ ب})$$

مقادیر ماکزیمم آنها را می توان از روابط زیر بدست آورد :

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (4-17 \text{ الف})$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (4-17 \text{ ب})$$

که در آنها  $S_D(\omega, \beta)$  ، طیف پاسخ جابه جایی برای حرکت زمین  $\ddot{u}_g(t)$  در فرکانس  $\omega$  و ضریب میرایی  $\beta$  می باشد .

برای به دست آوردن کمیت‌های مختلف پاسخ با استفاده از مقادیر حداکثر طیف ، باید از روش SRSS استفاده نمود . مقادیر حداکثر جابجایی در سیستم جداساز و روسازه را می توان از روابط زیر به دست آورد :

$$|v_s|_{\max} = \left[ (\phi_2^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4-18 \text{ الف})$$

$$|v_b|_{\max} = \left[ (\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4-18 \text{ ب})$$

با جایگزینی مقادیر داریم :

$$|v_b|_{\max} = \left\{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left\{ (1 - \gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۱۹-الف)$$

$$|v_s|_{\max} = \left\{ \varepsilon^2 (1 - \gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= \varepsilon \left\{ (1 - 2\gamma \varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۱۹-ب)$$

معمولا برای مقاصد طراحی ما یک طیف طرح شتاب با میرایی ۰.۵ در اختیار داریم . بنابراین جهت به دست آوردن جابجایی نسبی حداکثر داریم :

$$|q_1|_{\max} = L_1 \frac{1}{\omega_1^2} S_A(\omega_1, \beta_1) \quad (۴-۲۰-الف)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 \frac{1}{\omega_2^2} S_A(\omega_2, \beta_2) \quad (۴-۲۰-ب)$$

بنابراین معادلات ( ۴ - ۱۹ ) تبدیل می شوند به :

$$|v_s|_{\max} = \left\{ \varepsilon^2 (1 - \gamma \varepsilon)^2 \frac{S_A^2(\omega_1, \beta_1)}{\omega_1^4} + [1 - (1 - \gamma) \varepsilon]^2 \varepsilon^2 \frac{S_A^2(\omega_2, \beta_2)}{\omega_2^4} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۲۱-الف)$$

$$|v_b|_{\max} = \left\{ (1 - \gamma \varepsilon)^2 \frac{S_A^2(\omega_1, \beta_1)}{\omega_1^4} + \gamma^2 \varepsilon^2 \frac{S_A^2(\omega_2, \beta_2)}{\omega_2^4} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۲۱-ب)$$

بسیاری از طیفهای طراحی بر مبنای طیف سرعت ثابت هستند ، در این طیفها مقادیر  $S_A$  برای فرکانسهای مختلف ، با نادیده گرفتن تفاوتها میرایی ، از رابطه  $S_A = \omega S_V$  ، که در آن  $S_V$  ثابت

است ، به دست می آید . بنابراین داریم :

$$\frac{S_A^2(\omega_2, \beta_2)}{\omega_2^2} = S_V^2 \quad \text{و} \quad \frac{S_A^2(\omega_1, \beta_1)}{\omega_1^2} = S_V^2$$

با قرار دادن مقادیر  $\omega_1^2 = \omega_b^2(1 - \gamma\varepsilon)$  و  $\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1 - \gamma)}(1 + \gamma\varepsilon)$  در مقادیر بالا داریم :

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \frac{S_V}{\omega_b} \left\{ 1 + \varepsilon \frac{[1 - (1 - \gamma)\varepsilon]^2}{(1 + \gamma\varepsilon)/(1 - \gamma)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4-22-الف)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_V}{\omega_b} \left\{ 1 + \frac{\gamma^2 \varepsilon^2}{(1 + \gamma\varepsilon)/(1 - \gamma)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4-22-ب)$$

با در نظر گرفتن جملات اول داریم :

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \frac{S_V}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (4-23-الف)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_V}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (4-23-ب)$$

ضریب برش پایه  $C_s$  از رابطه زیر به دست می آید :

$$C_s = \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s$$

این ضریب برای یک ساختمان با پایه صلب خواهد شد :

$$C_s = \omega_s^2 S_D(\omega_s, \beta_s) = S_A(\omega_s, \beta_s) \quad (4-24)$$

در سازه جداسازی شده داریم :

$$C_s = \omega_s^2 v_s = \omega_s^2 \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) = \omega_b^2 S_D(\omega_b, \beta_b) = S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (4-25)$$

این رابطه نشان می دهد که به ازای مقادیر کوچک  $\varepsilon$  و برای یک طیف طراحی متداول ، می توان

سیستم جداسازی را حداقل در فاز اولیه برای جابجایی پایه نسبی برابر  $S_D(\omega_b, \beta_b)$  و ساختمان را برای ضریب برش پایه  $S_A(\omega_b, \beta_b)$  طراحی کرد . مقدار کاهش برش پایه در مقایسه با یک ساختمان با پایه گیردار ، که در آن  $C_s = S_A(\omega_s, \beta_s)$  است ، به وسیله نسبت  $\frac{S_A(\omega_b, \beta_b)}{S_A(\omega_s, \beta_s)}$  به

دست می آید . این نسبت برای طیف سرعت ثابت برابر  $\frac{\omega_b}{\omega_s}$  و یا تقریباً از مرتبه  $\sqrt{\varepsilon}$  می باشد .

#### ۴-۲- معادلات حرکت سیستم با $M$ درجه آزادی :

در بخش قبل تحلیل سیستم دو درجه آزاد خطی ارائه شد . این تحلیل را می توان برای ساختمانهای چند طبقه نیز تعمیم داد . سیستم سازه ای این ساختمانها با ماتریس جرم  $M$  ، میرایی  $C$  و سختی  $K$  نمایش داده می شود . برای یک ساختمان با پایه گیردار مرسوم ، بردار جابه جایی نسبی هر درجه آزادی نسبت به زمین از حل رابطه زیر به دست می آید : [4]

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr\ddot{u}_g \quad (۴-۲۶)$$

که در آن  $r$  برداری است که هر درجه آزادی را به حرکت زمین مرتبط می کند . اگر این مدل سازه ای بر روی یک سیستم جداسازی پایه با جرم  $m_b$  ، سختی  $K_b$  و میرایی  $c_b$  قرار گیرد رابطه (۴-۲۶) خواهد شد :

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr(\ddot{u}_g + \ddot{u}_b) \quad (۴-۲۷)$$

که در آن  $v$  جابه جایی نسبت به کف پایه و  $u_b$  جابه جایی نسبی کف پایه به زمین می باشد .

رابطه کلی حرکت برای سیستم ساختمان و کف پایه عبارتست از :

$$r^T M(\ddot{v} + r\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) + m_b(\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) + c_b\dot{u}_b + k_b u_b = 0 \quad (۴-۲۸)$$

که می توان آن را به صورت زیر نوشت :

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{u}_b + c_b \dot{u}_b + k_b u_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (۲۹-۴)$$

در رابطه (۲۸-۴) ،  $r^T M r$  بیانگر جرم کل سازه است که در رابطه (۲۹-۴) با  $m$  جایگزین شده است . بنابراین  $m + m_b$  کل جرمی است که بر روی سیستم جداسازی وارد می شود .

شکل ماتریسی این رابطه به صورت زیر می باشد :

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g$$

که در آن :

$$M^* = \begin{bmatrix} m + m_b & r^T M \\ M r & M \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix}$$

$$K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad v^* = \begin{bmatrix} u_b \\ v \end{bmatrix}$$

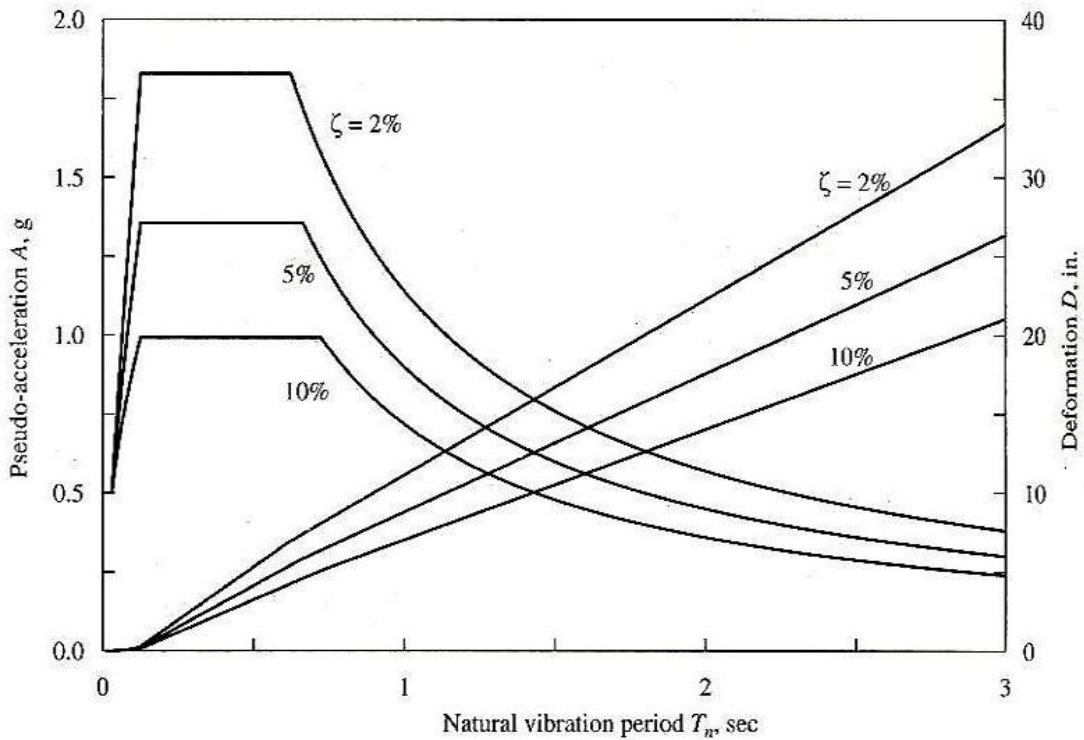
۳-۴- بررسی سیستم جداساز لرزه ای به روش مودال :

در این بخش رفتار نشیمنهای لاستیکی لایه ای را با استفاده از آنالیز مودال و طیف طرح الاستیک شکل (۳-۴) بررسی می کنیم . در این سیستمها جداساز با انعطاف پذیری که بین سازه و پی ایجاد می کند ، پیوند سازه را نسبت به حالت پایه صلب افزایش می دهد .

مطابق طیف طرح شکل (۳-۴) این افزایش پیوند شبه شتاب را کاهش می دهد ، در نتیجه نیروی به وجود آمده در سازه در اثر زلزله کاهش می یابد . اما جابجایی افزایش می یابد ، که این جابجایی

در سیستم جداساز متمرکز شده و توأم با تغییر شکل‌های کوچک در سازه می باشد . [5]

میرایی جهت کاهش تغییر مکان و همچنین کاهش بیشتر نیروهای سازه در سیستم جداساز مفید می باشد .

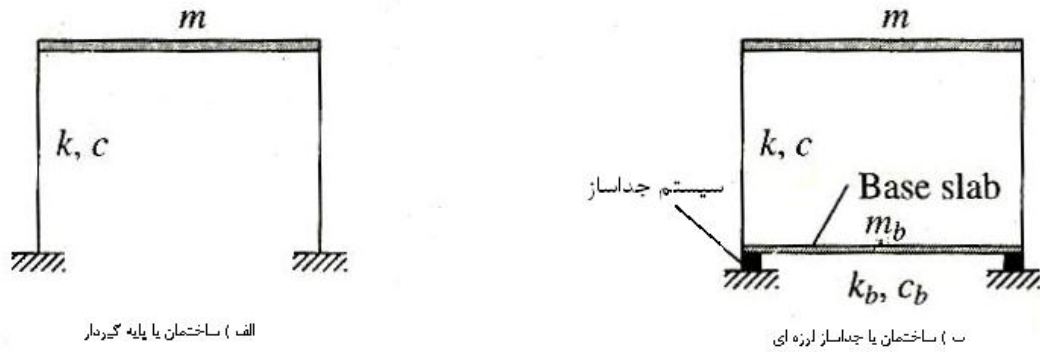


شکل (۴-۳) : طیف طرح الاستیک

#### ۴-۳-۱- ساختمانهای یک طبقه :

در این قسمت می بینیم که چطور جداسازی لرزه ای در کاهش نیروهای زلزله در ساختمان مؤثر است . برای این منظور یک ساختمان یک طبقه بر روی یک سیستم جداساز را مد نظر قرار می دهیم . بیشتر سیستمهای جداساز در روابط نیرو-جابجایی غیر خطی هستند . درک اثرات غیر خطی در بررسی مقدماتی رفتار آنها ضروری نیست و می توان با یک آنالیز خطی رفتار آنها را مورد مطالعه قرار داد . روابط نیرو-جابجایی غیر خطی را می توان برای طراحی نهایی مورد توجه قرار داد .

در شکل (۴-۴) ساختمان یک طبقه جداسازی شده و ساختمان یک طبقه بدون جداسازی نشان داده شده اند . [5]



شکل (۴-۴)

خصوصیات ساختمان جداسازی شده عبارتند از :  $m$  جرم متمرکز ،  $k$  سختی جانبی ،  $c$  میرایی جانبی ،  $\omega_n$  فرکانس طبیعی ،  $T_n$  پریود طبیعی و  $\zeta$  نسبت میرایی . در اینجا برای نشان دادن این خصوصیات از اندیس  $f$  ( fixed base ) استفاده می کنیم : [5]

$$\zeta_f = \frac{c}{2m\omega_f} , \quad T_f = \frac{2\pi}{\omega_f} , \quad \omega_f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

مطابق شکل (۴-۴-ب) این ساختمان یک طبقه به وسیله یک دال پایه به جرم  $m_b$  بر روی سیستم جداساز قرار گرفته است .

خصوصیات این ساختمان جداسازی شده عبارتند از :

$$\zeta_b = \frac{c_b}{2(m+m_b)\omega_b} , \quad \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{(m+m_b)}} , \quad T_b = \frac{2\pi}{\omega_b}$$

می توان  $T_b$  را به عنوان پریود ارتعاش آزاد و  $\zeta_b$  را به عنوان نسبت میرایی در سیستم جداساز یا در ساختمان جداسازی شده تعبیر کرد . برای اینکه سیستم جداساز بتواند در کاهش نیروهای لرزه ای در ساختمان مؤثر باشد ،  $T_b$  باید خیلی طولانی تر از  $T_f$  باشد . ساختمان جداسازی شده فوق را می توان به عنوان یک سیستم دو درجه آزادی با ماتریسهای  $m$  جرم ،  $k$  سختی و  $C$  میرایی در نظر گرفت .

به دلیل اینکه میرایی در نشیمنهای لاستیکی و ساختمان تفاوت زیادی دارد لذا میرایی سیستم کل از نوع غیر کلاسیک می باشد . تحلیل سیستمهایی با میرایی غیر کلاسیک نیازمند حل همزمان معادلات همبسته حرکت می باشد ، که به روشهای عددی صورت می گیرد . اگر چه نمی توان جهت سیستمهای با میرایی غیر کلاسیک با اطمینان از تحلیل مودال استفاده کرد ، اما نتایج تقریبی که بدست می آید می تواند برای ما مفید واقع گردد . [5]

برای درک بهتر ، یک سیستم مشخص را مورد بررسی قرار می دهیم . ویژگیهای این سیستم عبارتند از :

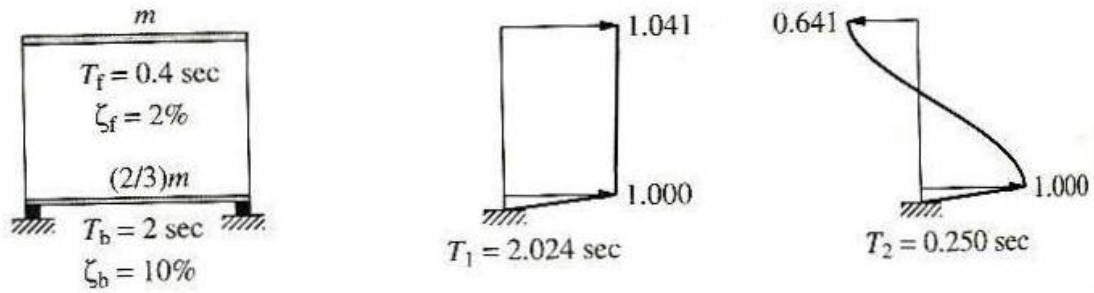
$$\zeta_b = 10\% \quad \text{و} \quad \zeta_f = 2\% \quad \text{و} \quad T_b = 0.2 \text{ sec} \quad \text{و} \quad T_f = 0.4 \text{ sec} \quad \text{و} \quad m_b = \frac{2m}{3}$$

برش پایه  $v_b$  ، در ساختمان و جابجایی پایه  $u_b$  ، را می توان برای طیف طرح الاستیک نشان داده شده در شکل ( ۱-۴ ) اندازه گیری نمود .

پریودهای طبیعی ارتعاش  $T_n$  و مودهای  $\phi_n$  ، ساختمان یک طبقه جداسازی شده در شکل ( ۵-۴ ) نشان داده شده است . همانطور که مشاهده می گردد در مود اول تغییر شکل فقط در جداساز رخ می دهد و سازه رفتار صلب دارد . بنابراین این مود به نام مود جداساز نامیده می شود . پریود



طبیعی این مود  $T_1 = 2.024 \text{ sec}$  ، حاکی از آن است که پریود سیستم جداساز  $T_b = 2 \text{ sec}$  تحت تأثیر انعطاف پذیری سازه خیلی کم تغییر کرده است .

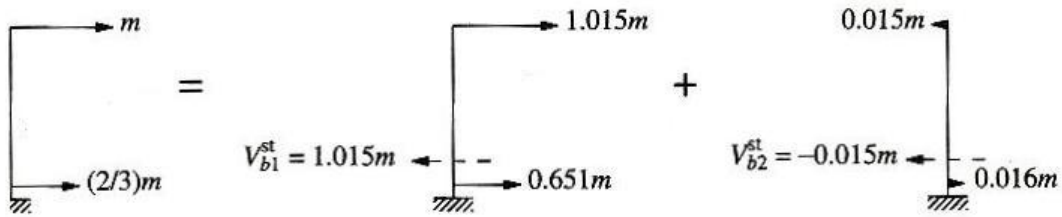


الف) ساختمان یک طبقه بر روی جداساز لرزه ای

ب) پریودها و مودهای ارتعاش طبیعی

شکل (۴-۵)

مود دوم شامل تغییر شکل در سازه به خوبی تغییر شکل جداساز است . و تغییر شکل سازه بزرگتر است . بنابر این ، این مود به نام مود سازه نامیده می شود . پریود طبیعی این مود  $T_2 = 0.25 \text{ sec}$  کوتاهتر از پریود سازه با پایه گیردار  $T_f = 0.4 \text{ sec}$  می باشد . همانطور که بعد خواهیم دید ، این مود نیروهای زلزله را به مقدار کمی در سازه توزیع می کند . [5]



شکل (۶-۴) : بسط مودال توزیع نیروی زلزله

با استفاده از روش بسط مودال اثر نیروی زلزله ،  $s = m_1$  ، برای سیستم نشان داده شده در شکل (۶-۴) ، می توان دریافت که نیروهای مود اول همان نیروهای کل  $s$  هستند و نیروهای مود دوم بسیار کوچک می باشند . مطابق شکل (۶-۴) پاسخ استاتیکی مودال در هر مود عبارتند از :

$$v_{b1}^{st} = 1.015m \quad \text{و} \quad v_{b2}^{st} = -0.015m$$

$$\omega_1^2 u_{b1}^{st} = 0.976 \quad \text{و} \quad \omega_2^2 u_{b2}^{st} = 0.024$$

نتایج تحلیل استاتیکی سیستم در جدول (۱-۴) نشان داده شده است .

جدول (۱-۴) : نتایج محاسبه برش پایه و جابجایی جداساز

Mode	برش پایه			جابجایی جداساز		
	$A_n/g$	$V_{bn}^{st}/m$	$V_{bn}/w$	$D_n$ (in.)	$\omega_n^2 u_{bn}^{st}$	$u_{bn}$ (in.)
1	0.359	1.015	0.365	14.390	0.976	14.042
2	1.347	-0.015	-0.021	0.823	0.024	0.020
SRSS			0.365			14.042

واضح است که پاسخ استاتیکی مود دوم در مقایسه با مود اول ناچیز است . بنابر این مود دوم انتظار پاسخ کمی از سازه دارد .

نسبتهای میرایی مودال را می توان از معادلات زیر بدست آورد :

$$c_n = \phi_n^T c \phi_n \quad \text{و} \quad M_n = \phi_n^T M \phi_n \quad \text{و} \quad \zeta_n = \frac{c_n}{2M_n \omega_n}$$

که برای سیستم انتخاب شده این معادلات می دهند :

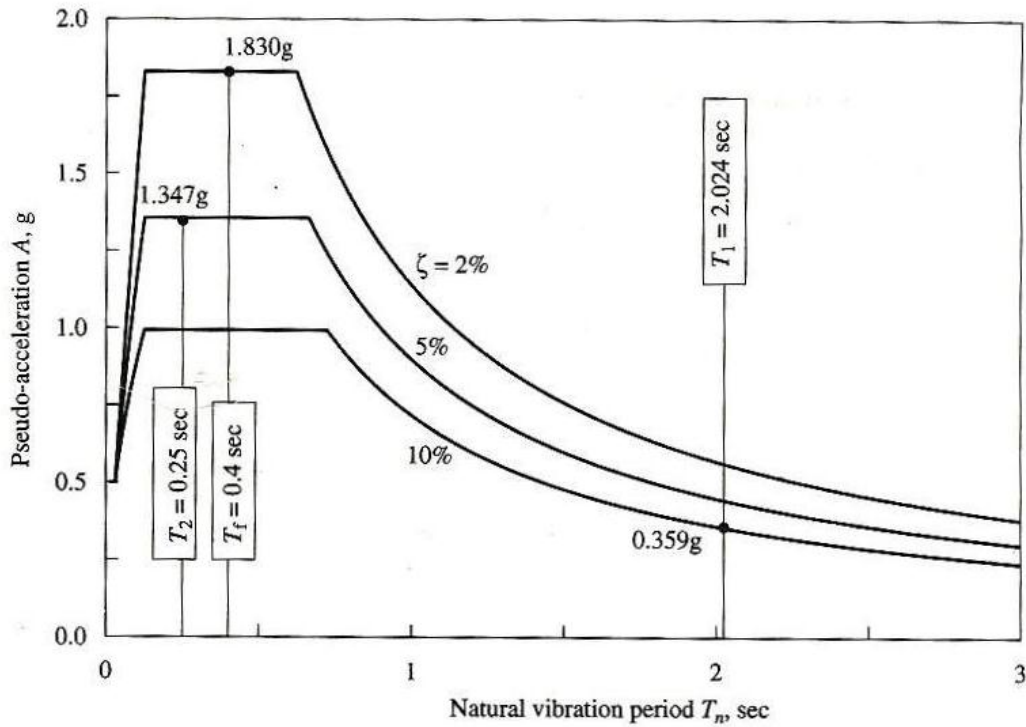
$$\zeta_1 = 9.655\% \quad \text{و} \quad \zeta_2 = 5.06\%$$

ملاحظه می گردد که میرایی (  $\zeta_1 = 9.65\%$  ) در مود اول ( مود جداساز ) بسیار شبیه میرایی سیستم جداساز است . (  $\zeta_b = 10\%$  )

میرایی در سازه تأثیر کمی بر روی میرایی در مود جداساز دارد . چون سازه در این مود همانند یک پیکره صلب رفتار می کند . در مقابل میرایی زیاد سیستم جداساز ، میرایی در مود سازه ای را از 2% به 5.06% افزایش داده است .

مقدار حداکثر  $n$  امین مود را می توان از رابطه  $r_n = r_n^{st} A_n$  بدست آورد .

در اینجا  $A_n \equiv A(T_n, \zeta_n)$  ، عرض طیف پاسخ شبه-شتاب ( یا طیف طرح ) در پریود  $T_n$  و برای میرایی  $\zeta_n$  می باشد . مطابق شکل ( ۷-۴ ) [5]



شکل ( ۷-۴ ) : مقادیر طیف طرح برای ساختمان جداسازی شده

با استفاده از معادلات زیر می توان برش پایه در سازه و جابجایی در جداساز را بدست آورد :

$$v_{bn} = v_{bn}^{st} A_n \quad \text{و} \quad u_{bn} = (\omega_n^2 A_n) D_n$$

در اینجا  $D_n = \frac{A_n}{\omega_n^2}$  عرض طیف جابجایی می باشد . این محاسبات در جدول ( ۴-۱ ) خلاصه

شده اند . مشاهده می گردد که در مود دوم ( مود سازه ای ) اگر چه شبه شتاب بزرگ است ، به دلیل کوچک بودن پاسخ استاتیکی مودال ، پاسخ این مود کم اهمیت می باشد . با ترکیب پاسخ های مودال به روش SRSS، جابجایی جداساز  $35.7\text{cm}$  و برش پایه  $36.5\%$  وزن ساختمان بدون احتساب دال پایه می باشد .

همانطور که مشاهده گردید در صورتیکه ساختمان بدون جداسازی باشد ، برش پایه بزرگتر است . طبق طیف طرح شکل ( ۷-۴ ) برای سازه با پایه گیردار با  $T_f = 0.4 \text{ sec}$  و  $\zeta_f = 2\%$  ،  $A(T_f, \zeta_f) = 1.83g$  به دست می آید . بنابر این برش پایه در سازه با پایه گیردار عبارتست از :

$$v_b = mA(T_f, \zeta_f) = m(1.83g) \quad \text{یا} \quad \frac{v_b}{m} = 1.83$$

یعنی برش پایه 183% وزن ساختمان بدون احتساب دال پایه می باشد . [5]

حال اگر ساختمان جداسازی شده را در نظر بگیریم ، داریم :

$$v_{b1} = v_{b1}^{st} A_1 = (1.015m)(0.359g) = 0.365g \quad \text{یا} \quad \frac{v_{b1}}{m} = 0.365$$

با مقایسه دو حالت فوق می توان دریافت که برش پایه در ساختمان با پایه گیردار در حدود ۵ برابر برش پایه در ساختمان جداسازی شده می باشد .

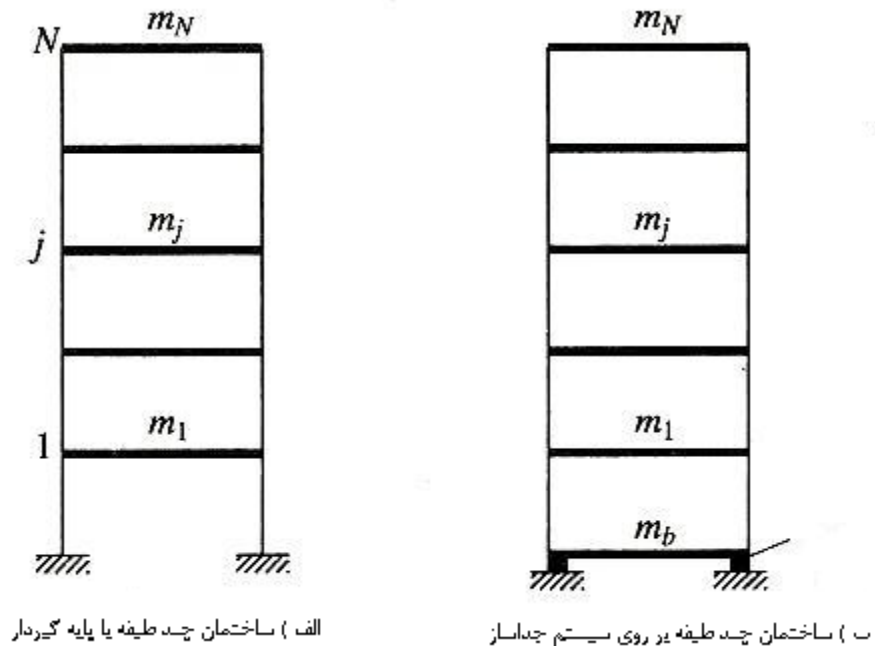
واضح است که تأثیر جداساز لرزه ای در کاهش نیروهای سازه بسیار وابسته به افزایش پیوند طبیعی سازه است . جداساز با افزایش پیوند ارتعاشی سازه ، در مود اول ، شبه شتاب را کاهش می دهد . بنابراین نیروهای زلزله کاهش می یابد . اما در مود دوم ، که در سازه نیز تغییر شکل به وجود می آید ، اگر چه شبه شتاب بزرگ است ، اما پاسخ استاتیکی مودال کوچک می باشد و لذا تأثیر کمی در پاسخ دارد .

بنابر این افزایش پیوند در مود اول دلیل اساسی تأثیر جداساز در کاهش نیروهای لرزه ای می باشد .

میرایی و استهلاک انرژی نیز فاکتورهای ثانویه در کاهش پاسخ لرزه ای می باشند . [5]

## ۴-۳-۲- ساختمانهای چند طبقه بر روی جداساز لرزه ای :

در این قسمت همانند قبل دینامیکهای ساختمان چند طبقه بر روی جداساز لرزه ای را مورد بررسی قرار می دهیم . همانند قبل سیستم را خطی فرض می کنیم . بدین ترتیب نظریه اساسی جداسازی لرزه ای را که توسط ساختمان یک طبقه بررسی کردیم ، به ساختمانهای چند طبقه انتقال می دهیم . برای این منظور ساختمان  $N$  طبقه جداسازی شده ایده آل شکل ( ۴-۸-الف ) و ساختمان  $N$  طبقه روی پایه گیردار شکل ( ۴-۸-ب ) نشان داده شده اند .



شکل ( ۴-۸ )

ماتریسهای جرم ، میرایی و سختی سازه با پایه گیردار به ترتیب با  $m_f$  ،  $c_f$  و  $k_f$  و مشخصات مودال آنها با  $T_{nf}$  و  $\phi_{nf}$  نمایش داده می شوند . همانند قبل میرایی را کلاسیک فرض می کنیم .  
 ساختمان جداسازی شده دارای جرم دال پایه  $m_b$  ، سختی  $k_b$  و میرایی  $c_b$  می باشد . [5]

$T_b$  و  $\zeta_b$  را همانند قبل می توان با معادلات زیر مشخص نمود :

$$T_b = \frac{2\pi}{\omega_b} \quad , \quad \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{M + m_b}} \quad , \quad \zeta_b = \frac{c_b}{2(M + m_b)\omega_b} \quad \text{و} \quad M = \sum m_j$$

ساختمان چند طبقه بر روی جداساز لرزه ای ، یک سیستم  $N + 1$  درجه آزادی با میرایی غیر

کلاسیک می باشد ، که ما آن را کلاسیک فرض می کنیم . [5]

برای درک بهتر تأثیر جداساز ، یک سیستم مشخص را مورد بررسی قرار می دهیم . سازه با پایه

گیردار یک قاب برشی ۵ طبقه می باشد ،  $(\rho = \infty)$  با جرم و سختی یکنواخت در ارتفاع . جرم

متمرکز  $m$  و سختی  $k$  برای هر طبقه طوری انتخاب می شود که پرپود ارتعاش طبیعی اصلی ،

$T_{1f} = 0.4 \text{ sec}$  باشد . ماتریس میرایی کلاسیک ،  $c_f = \alpha_1 k_1$  و  $\alpha_1$  طوری انتخاب می گردد که

میرایی در مود اصلی ، برابر 2% شود . جرم دال پایه  $m_b = m$  و سختی و میرایی سیستم جداساز

به ترتیب برابر  $T_b = 2 \text{ sec}$  و  $\zeta_b = 10\%$  می باشند .

در اینجا ما خصوصیات ارتعاشی ( پرپودهای طبیعی و مودهای طبیعی ) ، نسبتهای میرایی مودال و

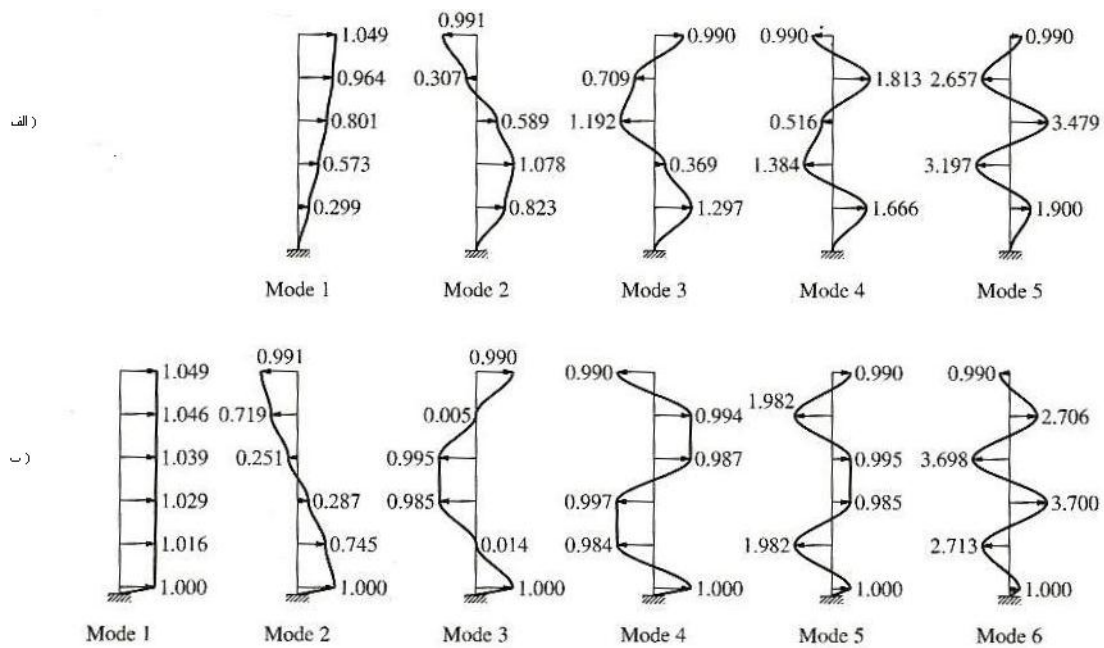
پاسخ لرزه ای دو سیستم را مورد بررسی قرار می دهیم :

۱- ساختمان ۵ طبقه بر روی پایه گیردار

۲- همان ساختمان ۵ طبقه بر روی جداساز لرزه ای ( با استفاده از طیف طرح شکل ۴-۳ )

پرپودهای ارتعاش طبیعی و مودهای دو سیستم در شکل ( ۴-۹ ) و جدول ( ۴-۲ ) موجود

می باشند. [5]



الف- ساختمان با پایه گیردار      ب- ساختمان جداسازی شده

شکل ( ۴-۹ )

در ساختمان جداسازی شده در مود اول ، تغییر شکل در جداساز اتفاق افتاده است . پریود طبیعی این مود ،  $T_1 = 2.030 \text{ sec}$  حاکی از این است که پریود سیستم جداساز خیلی کم با انعطاف سازه تغییر نموده است . ولی مودهای دیگر دارای تغییر شکل در سازه به خوبی تغییر شکل در سیستم جداساز می باشند ، که این مودها را به نام مودهای سازه ای می نامیم . همانطور که بعد خواهیم

دید این مودها نیروی لرزه ای کمی به سازه وارد می کنند . [5]

نسبتهای میرایی مودال برای هر دو سیستم در جدول ( ۴-۲ ) نشان داده شده اند .

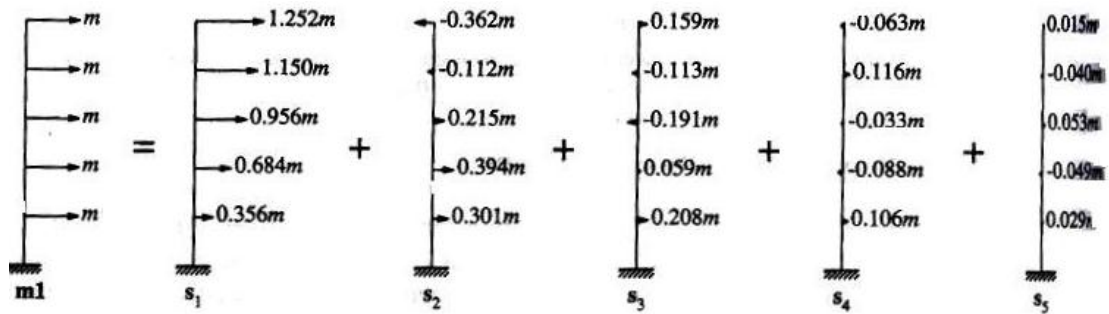


مشاهده می گردد که در ساختمان جداسازی شده ، میرایی در مود اول ( مود جداساز ) ، 9.58% می باشد که بسیار شبیه به میرایی سیستم جداساز  $\zeta_b = 10\%$  می باشد . میرایی سازه در این مود تأثیر کمی بر روی میرایی مودال دارد ، زیرا سازه در این مود مانند یک پیکره صلب عمل می کند . میرایی زیاد سیستم جداساز میرایی سازه را در مود اول سازه ای ، از 2% به 5.64% افزایش داده است .

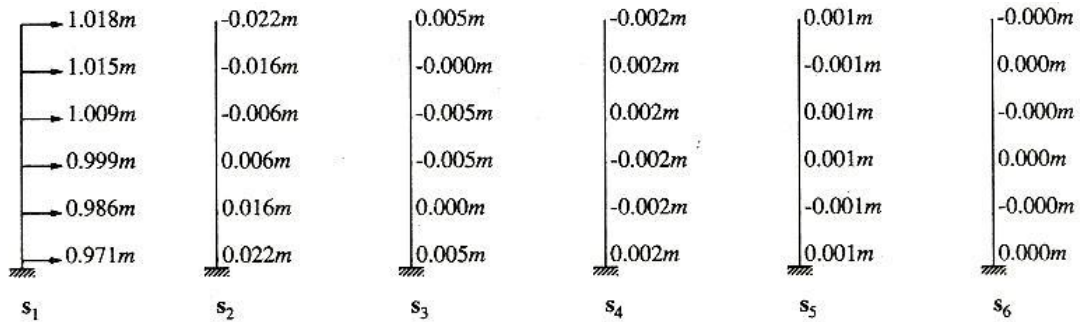
جدول ( ۲-۴ )

ساختمان با پایه گیردار			ساختمان جداسازی شده		
Mode	$T_{nf}$ (sec)	$\zeta_{nf}$ (%)	Mode	$T_n$ (sec)	$\zeta_n$ (%)
			1	2.030	9.58
1	0.400	2.00	2	0.217	5.64
2	0.137	5.84	3	0.114	7.87
3	0.087	9.20	4	0.080	10.3
4	0.068	11.8	5	0.066	12.3
5	0.059	13.5	6	0.059	13.6

اکنون پاسخ مودهای طبیعی دو سیستم را مقایسه می کنیم . شکل ( ۴-۱۰ ) بسط مودال اثر نیروی زلزله را در سازه پایه صلب و سازه جداسازی شده نشان می دهد . [5]



الف ( ساختمان با پایه گیردار



ب ( ساختمان جداسازی شده

شکل ( ۱۰-۴ ) : بسط مودال نیروی زلزله

همانطور که مشاهده می کنید در سازه جداسازی شده ، نیروها در مود اول همان نیروهای کل هستند و نیروهای مرتبط با مودهای سازه ای بسیار کوچک می باشند . نیروهای مودال استاتیکی هر دو سیستم و همچنین جابجایی در جداساز توسط جداول ( ۳-۴ ) و ( ۴-۴ ) داده شده اند .

جدول (۳-۴) : مقادیر برش پایه

ساختمان یا پایه صلب				ساختمان جدا سازی شده			
Mode	$A_n/g$	$V_{bn}^{st}/m$	$V_b/W$	Mode	$A_n/g$	$V_{bn}^{st}/m$	$V_b/W$
1	1.830	4.398	1.609	1	0.359	5.028	0.361
2	1.272	0.436	0.111	2	1.291	-0.021	-0.005
3	0.859	0.121	0.021	3	1.058	-0.005	-0.001
4	0.700	0.038	0.005	4	0.792	-0.002	-0.000
5	0.638	0.008	0.001	5	0.682	-0.0005	-0.000
				6	0.635	-0.0001	-0.000
SRSS			1.613	SRSS			0.361

جدول (۴-۴) : جابجایی جداساز

Mode	$D_n$	$\omega_n^2 u_{bn}^{st}$	$u_{bn}$ (in.)
1	14.470	0.971	14.045
2	0.597	0.022	0.013
3	0.133	0.005	0.001
4	0.050	0.002	0.000
5	0.029	0.001	0.000
6	0.022	0.0001	0.000
SRSS			14.045

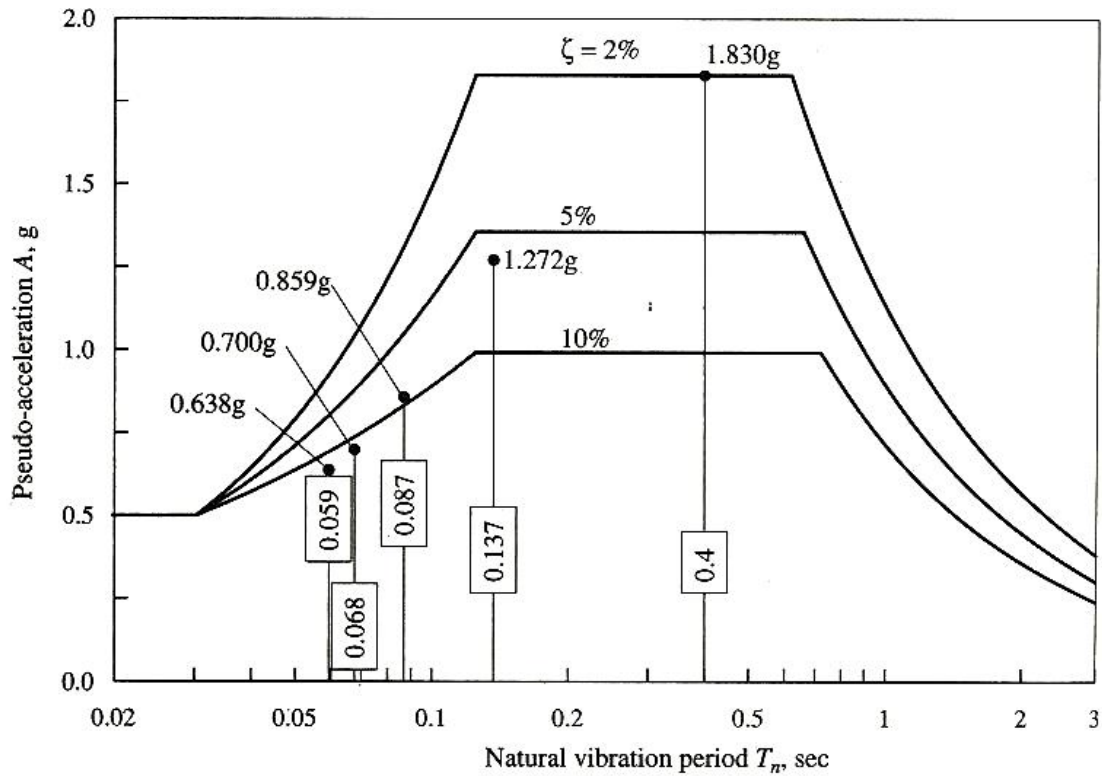
واضح است که  $v_{bn}^{st}$  در سازه با پایه گیردار در دو مود اولیه مقدار مهمی دارد ، ولی در ساختمان جداسازی شده  $v_{bn}^{st}$  فقط در مود اول مقدار بالایی دارد . بنابر این همانطور که انتظار می رود این مود ، بیشترین پاسخ را به وجود می آورد و پاسخ مودهای دیگر را می توان نادیده گرفت . [5]

مقدار حداکثر پاسخ لرزه ای در نتیجه هر مود از دو سیستم مانند قسمت قبل به وسیله معادلات :

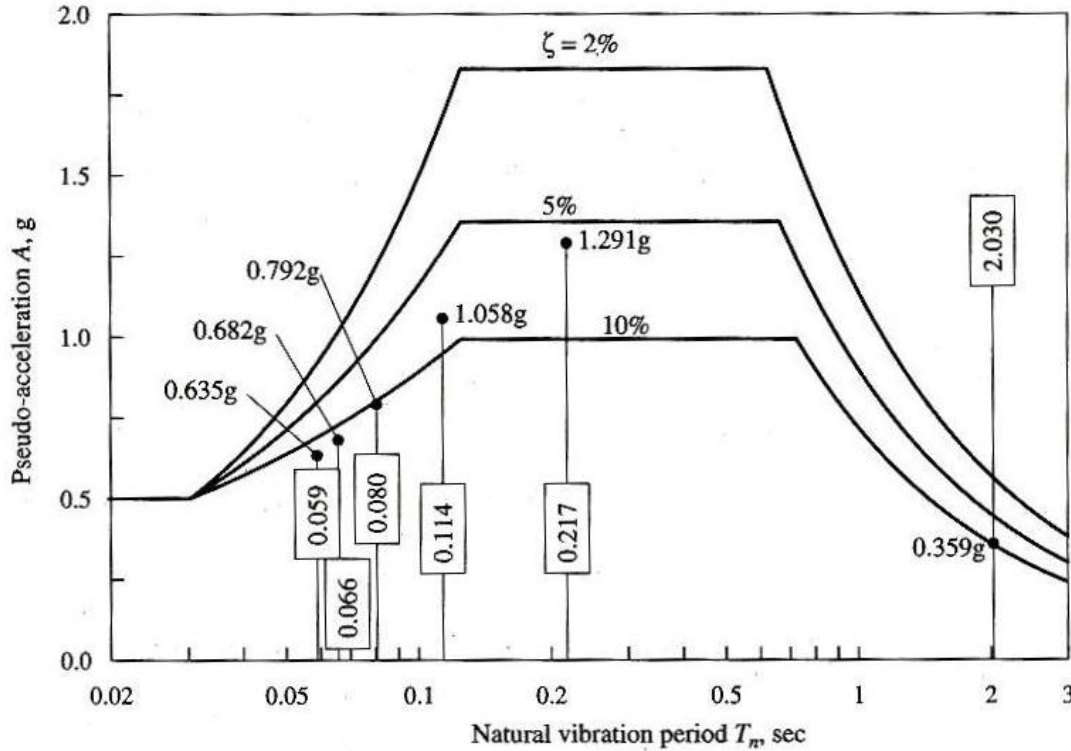
$$v_{bn} = v_{bn}^{st} A_n \quad \text{و} \quad u_{bn} = (\omega_n^2 u_{bn}^{st}) D_n$$

تعیین می گردد . مقادیر  $\frac{A_n}{g}$  را می توان از روی شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) بدست آورد و

$$D_n = \frac{A_n}{\omega_n^2} \quad \text{را نیز با توجه به آن محاسبه نمود .}$$



شکل (۴-۱۱) : مقادیر طیفی برای ساختمان با پایه گیردار



شکل (۴-۱۲) : مقادیر طیفی برای ساختمان جداسازی شده

مشاهده می شود که طبق پاسخهای استاتیکی مودال پاسخ دینامیکی ساختمان جداسازی شده در تمام موده‌های سازه ای آن کم اهمیت است . بنابراین مود جداساز به تنهایی پاسخ کامل را به وجود می آورد .

در ساختمان جداسازی شده ، برش پایه 36.1% وزن ساختمان بدون احتساب دال پایه می باشد . در حالی که در سازه با پایه گیردار برش پایه مساوی 161.3% وزن ساختمان می باشد . [5]

همانطور که در قسمت قبل نیز گفته شد ، سیستم جداساز برش پایه اولیه را کاهش می دهد ، زیرا پریود ارتعاشی مود جداساز که بیشترین پاسخ را به وجود می آورد را طولانی می کند .

بنابر این شبه شتاب را کاهش می دهد و این مسأله به ویژه جهت طیفهای طرح در زمینهای سخت سازه های با پایه گیردار که پریود اصلی آنها در قسمت مسطح ناحیه شتاب حساس طیف می باشد مشهود است . مودهای بالاتر اگرچه دارای شبه شتابهای بزرگ هستند ، به دلیل اینکه پاسخ استاتیکی مودال آنها کوچک است ، مهم نمی باشند . [5]

# فصل پنجم

کاربردهای جداسازی لرزه ای

## فصل پنجم : کاربردهای جداسازی لرزه ای

### مقدمه:

همانطور که در فصل یک عنوان گردید نظریه جداسازی حدود صد سال قدمت دارد . و در طول سالهای گذشته کشورهای زیادی در زمینه جداسازی لرزه ای به فعالیت پرداخته اند . برنامه های تحقیقاتی و آزمایشهای متعددی نیز در این زمینه انجام گرفته است که نتیجه آن کاربرد گسترده سازه ها با جداساز لرزه ای در نقاط مختلف جهان می باشد . امروزه کشورهای زیادی ، آیین نامه های طراحی برای سازه های جداسازی شده ارائه می دهند . در این فصل کاربردهای جداسازی لرزه ای را در آمریکا ، ژاپن ، اروپا و نیوزلند که دارای بیشترین پروژه های جداسازی می باشند ، مورد بررسی قرار می دهیم .

### ۵-۱- جداسازی لرزه ای در آمریکا :

نخستین ساختمان با جداسازی پایه در آمریکا مرکز حقوقی و قضایی فوت هیل ( شکل ۵-۱ ) که یک مرکز قضایی در بخش سن برناردینو<sup>۱</sup> در شهر رنچو کیوکامونگا<sup>۲</sup> در ۹۷ کیلومتری غرب مرکز شهر لوس آنجلس است می باشد . این ساختمان نه تنها نخستین ساختمان با جداسازی پایه در آمریکا به شمار می آید ، بلکه نخستین ساختمان در جهان است که در آن از نشیمنهای لاستیک طبیعی با میرایی بالا استفاده شده است . فاصله ساختمان از گسل سن آندریاس ۲۱ کیلومتر است .

---

1- San Bernardino

2- Rancho Cucamonga



این گسل می تواند در شاخه جنوبی خود ، زمین لرزه های بسیار بزرگی تولید کند و به همین دلیل این بخش در طول سالیان متمادی دارای یکی از جامع ترین برنامه های آمادگی در برابر زمین لرزه در تمام ایالات متحده بوده است . [1]



شکل ( ۱-۵ ) : مرکز قضایی و حقوقی فوت هیل

مساحت کل این ساختمان ۱۵۹۷۴ مترمربع بوده و دارای چهار طبقه و یک زیرزمین کامل می باشد که برای تحمل زلزله ای با بزرگی  $۸/۳$  طراحی شده است . برای جداسازی ساختمان از ۹۸ نشیمن استفاده شده است . مؤسسه تحقیقاتی سازندگان مالزیایی لاستیک<sup>۱</sup> در انگلستان چهار ترکیب لاستیکی با میرایی بالا برای این ساختمان تولید کردند . جداسازها از یک لاستیک طبیعی فشرده ساخته شدند که ویژگی مکانیکی آنها به منظور استفاده در یک سیستم جداسازی پایه ایده

آل محسوب می شد. سختی برشی این لاستیکها در کرنشهای کوچک بالا بوده، اما با افزایش کرنش، ۴ تا ۶ برابر کاهش یافته و در کرنش برشی برابر ۵۰٪ به حداقل خود می رسد. سختی برشی در کرنشهای بالای ۱۰۰٪ مجددا افزایش می یابد. بنابراین سیستم جداساز در بارگذاریهای کوچک باد یا زمین لرزه هایی با شدت پایین، دارای سختی افقی بالا و دوره تناوب کوتاه بوده و با افزایش شدت بارگذاری، مقدار سختی کاهش یافته، بر دوره تناوب تناوب سازه افزوده می شود. برای بارهای بسیار بالا مجددا سختی افزایش می یابد و منجر به پیدایش یک ساز و کار مقاوم در برابر شکست (fail-safe action) می گردد. همین امر در مورد میرایی نیز با شدت کمتری صادق است. میرایی از مقدار اولیه ای در حدود ۲۰٪ به مقدار حداقلی در حدود ۱۰٪ کاهش یافته و سپس مجددا افزایش می یابد. سیستم با فرض کمترین مقادیر سختی و میرایی طراحی شده و پاسخ آن به صورت خطی در نظر گرفته شده است. از سختی اولیه بالای جداساز فقط برای مقاومت در برابر باد، و از پاسخ کرنشی بالای آن فقط برای ساز و کار مقاوم در برابر شکست استفاده شده است. [3]

همچنین از سیستم لاستیک با میرایی بالا برای ساختمان مرکز آتش نشانی و کنترل حریق (FCCF) لس آنجلس استفاده شده است. (شکل ۵-۲) در این ساختمان رایانه ها و سیستمهای ارتباط جمعی برای برنامه های خدمات اضطراری آتش سوزی نگهداری می شوند و بنابراین لازم است که این مرکز حین یک زمین لرزه شدید و بعد از آن به فعالیت خود ادامه دهد. پس از مقایسه طرحهای متداول با طرحهای جداسازی با درجه ایمنی برابر، تصمیم به استفاده از سیستم جداسازی پایه ای گرفته شد. هزینه طراحی با استفاده از جداسازی پایه ای در حدود ۶٪

کمتر از طرح متداول تخمین زده شد ، در حالیکه در بیشتر پروژه ها هزینه جداسازی لرزه ای در حدود ۵٪ بیشتر از روشهای متفاوت آیین نامه ای می باشد .



شکل ( ۲-۵ ) : مرکز آتش نشانی و کنترل حریق لس آنجلس

اخیرا دومین ساختمان جداسازی شده پایه ای نیز در همان محل برای بخشداری لس آنجلس ساخته شده است . مرکز عملیات اضطراری ( EOC ) یک سازه بادبندی شده فولادی دو طبقه است که با استفاده از ۲۸ نشیمن لاستیک طبیعی با میرایی بالا ، ساخت کارخانه محصولات مهندسی بریجستون ، جداسازی شده است . [3]

مثال دیگری از یک مرکز خدمات اضطراری ساختمان دو طبقه مرکز کنترل ترافیک کالتران<sup>۱</sup> ، واقع در ایالت کالیفرنیا می باشد . روسازه این ساختمان یک قاب فولادی ، متشکل از پانلهایی با بادبندهای هم مرکز در محیط بیرونی آن می باشد . سیستم جداسازی شامل چهل جداساز لاستیک

طبیعی با میرایی بالا به قطر ۶۰۰ میلیمتر می باشد که به وسیله کارخانه محصولات مهندسی بریجستون فراهم شده است . دوره تناوب جداسازی در حدود ۲/۵ ثانیه و جایجایی جداساز تحت زلزله MCE در حدود ۲۵۴ میلیمتر می باشد . برش پایه برای روسازه در حدود ۱۵٪ وزن ساختمان است . این طراحی کاملا محافظه کارانه بوده و سازه بسیار سخت است . انتظار می رود که تغییر مکان بین طبقه ای تحت زلزله MCE به بیشتر از ۰/۱٪ برسد و این به آن معناست که حتی تحت زلزله MCE نیز ، خسارت غیر سازه ای بسیار کم می باشد . [3]

مرکز فوریت‌های پزشکی کینگ و درو<sup>۱</sup> ( شکل ۵-۳ ) واقع در ویلبروک<sup>۲</sup> کالیفرنیا ساختمان پنج طبقه ای به مساحت ۱۳۰۰۰ مترمربع است که بر روی ۷۰ نشیمن لاستیک طبیعی با میرایی بالا و ۱۲ نشیمن لغزنده با صفحات سرب-برنز ( که بر روی سطحی از فولاد ضد زنگ می لغزند ) قرار گرفته است .



شکل ( ۳-۵ ) : مرکز فوریت‌های پزشکی کینگ و درو در ویلبروک ، کالیفرنیا

1- M.L. King & C.R. Drew  
2-Willowbrook

این ساختمان در فاصله ۵ کیلومتری گسل نیوپورت-اینگل وود<sup>۱</sup> قرار دارد، که این گسل قادر به تولید زلزله هایی با قدرت ۷/۵ می باشد. قطر جداسازها ۱۰۰ سانتیمتر بوده و در زمان ساخت، جزو بزرگترین نشیمنهای جداساز ساخته شده در آمریکا به شمار می آمد.

در آمریکا بجز ایالت کالیفرنیا نیز، پروژه های جداسازی پایه متعددی برای ساختمانهای در حال احداث وجود دارند. یکی از این نمونه ها، یک کارخانه سازنده شبیه سازهای پرواز در شهر سالت لیک<sup>۲</sup> می باشد. هدف سیستم جداساز حفاظت از سیستمهای کامپیوتری موجود در این کارخانه بوده که ارزش این سیستمها به بیش از ۱۰۰ میلیون دلار می رسد. محل این کارخانه بسیار نزدیک به گسل واستچ<sup>۳</sup> می باشد که این گسل قادر به تولید زمین لرزه هایی با بزرگی ۷ تا ۷/۵ می باشد. کارخانه مورد نظر دارای چهار طبقه و به مساحت ۱۰۸۰۰ مترمربع بوده و سازه آن از نوع قابهای خمشی فولادی است. کلا ۹۸ جداساز در ساختمان استفاده شده است. ۵۰ نشیمن مربع شکل به طول ۴۶۰ میلیمتر و با هسته های سربی به قطر ۹۶ میلیمتر در زیر ستونهای قاب مقاوم خمشی قرار گرفتند. جداسازهای دیگر مربعی به طول ۳۸۰ میلیمتر و از نوع نشیمن الاستومری ساده بوده و در زیر ستونهای باربر قائم قرار گرفتند. تغییر مکان مورد نیاز سیستم ۲۳۰ میلیمتر در دوره تناوب ۲۰ ثانیه برآورد شده است. [3]

---

1- Newport-Inglewood  
2- Salt Lake  
3- Wastach

علاوه بر ساختمانهای احداث شده ای که در بالا به آنها اشاره شد ، ساختمانهای بسیار بزرگ دیگری نیز در آمریکا وجود دارند که با استفاده از جداسازی پایه تقویت شده اند . تقویت شهرداری اوکلند<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ پایان یافت و کار تقویت شهرداری سان فرانسیسکو<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۵ شروع شد . هر دو ساختمان در زلزله سال ۱۹۸۹ لوما پریتا<sup>۳</sup> آسیب دیده بودند . ساختمان شهرداری اوکلند ( شکل ۴-۵ ) در سال ۱۹۱۴ ساخته شده و در آن هنگام بلندترین ساختمان در ساحل غربی آمریکا بود . اما ساختمان شهرداری لس آنجلس که در سال ۱۹۲۸ ساخته شد از آن بلندتر است . این ساختمان یکی از بلندترین ساختمانهای جداسازی شده جهان به شمار می رود . [3]



شکل ( ۴-۵ ) : شهرداری اوکلند

- 
- 1- Oakland City Hall
  - 2- San Francisco
  - 3- Loma Prieta

در سیستم جداسازی ساختمان شهرداری اوکلند از ۱۱۰ نشیمن لاستیکی با هسته سربی به قطرهای ۷۳۷ میلیمتر تا ۹۴۰ میلیمتر استفاده شده است. برای ایجاد درز لرزه ای آبرویی به عرض ۵۰۸ میلیمتر در اطراف ساختمان حفر شده است. فرآیند نصب جداسازها بسیار پیچیده بوده و نیاز به بلند کردن ستونها، کوتاه کردن آنها و انتقال بار ستونها به تکیه گاههای موقت داشته است. به منظور حفاظت سیستمهای داخلی امکان بلند کردن ستونها بیش از ۲/۵ میلیمتر با جک وجود نداشته است. هزینه تقویت ساختمان بسیار بالا و در حدود ۸۴ میلیون دلار بوده که ۲/۵٪ آن شامل هزینه جداسازها می شود.

ساختمان شهرداری سان فرانسیسکو ( شکل ۵-۵ ) در سال ۱۹۱۲ و برای جایگزینی ساختمان قدیمی شهرداری که در زمین لرزه سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو تخریب شده بود، طراحی شد. این ساختمان که نمونه برجسته ای از معماری کلاسیک به شمار می آید، در فهرست مکانهای تاریخی ملی قرار دارد. خسارتهای شدید ناشی از زلزله لوما پریتا، تعمیرات وسیع و مقاوم سازی لرزه ای ساختمان را ضروری ساخته بود. روش اتخاذ شده برای تقویت ساختمان، جداسازی پایه و تقویت روسازه با استفاده از دیوارهای برشی بتنی بوده است.

هدف اصلی استراتژی اتخاذ شده برای تقویت ساختمان، حفظ بافت تاریخی آن می باشد. برای این منظور گزینه های مختلفی در نظر گرفته شد، و از بین آنها روش جداسازی پایه انتخاب گردید. سطح جداسازی درست در بالای سطح پی قرار دارد. این ساختمان با استفاده از ۵۳۰ نشیمن لاستیکی با هسته سربی جداسازی شده است.

عملیات نصب و تعبیه جداسازها بسیار پیچیده و شامل مراحل، کوتاه کردن ستونها، نصب حایل و تعبیه جداسازها می باشد. [3]



شکل (۵-۵) : شهرداری سان فرانسیسکو

ساختمان شهرداری لس آنجلس ، ساختمان ۲۸ طبقه ای با قاب فولادی است که بنای آن در سال ۱۹۸۲ به پایان رسید . مساحت کل آن نزدیک به ۸۳۰۰۰ متر مربع می باشد . مقاومت جانبی به وسیله اجزای متفاوت متعددی تأمین می شود ، که شامل بادبندهای متقاطع فولادی و دیوارهای بتن آرمه می باشند . این ساختمان در زمین لرزه ۱۹۹۴ نورث ریج آسیب دید که قسمت عمده خسارت در طبقات بیست و پنجم و بیست و ششم ، مناطقی که دارای ویژگی یک طبقه نرم می باشند رخ داد . برنامه تقویت این ساختمان تقریباً از ۴۷۵ جداساز لاستیکی با میرایی بالا به همراه حدود ۶۰ لغزنده به عنوان سیستم جداساز پایه و حدود ۵۲ میراگر لزج مکانیکی در تراز جداسازها می باشد . به علاوه برای کنترل تغییر مکان بین طبقه ای در سطوح طبقات نرم ، از ۱۲ میراگر لزج بین طبقه های بیست و چهارم و بیست و ششم استفاده شده است . هزینه کل طرح در حدود ۱۵۰ میلیون دلار برآورد شده که ۳/۵ میلیون دلار آن مربوط به جداسازها می باشد . [3]



سیستم آونگ اصطکاکی ( *FPS* ) که در سال ۱۹۸۶ ابداع شد ، نخستین بار برای تقویت یک آپارتمان چهار طبقه ( شکل ۵-۶ ) در سان فرانسیسکو که در جریان زلزله ۱۹۸۹ لوما پریتا به سختی آسیب دیده بود ، استفاده شد .

یکی از موارد جدید کاربرد جداسازهای *FPS* ، در تقویت لرزه ای ساختمان دادگستری آمریکا ( شکل ۵-۷ ) در سان فرانسیسکو می باشد . این ساختمان ۵ طبقه با مساحت ۳۲۵۱۶ مترمربع در سال ۱۹۰۵ ساخته شده و در زلزله ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو سالم ماند .



شکل ( ۵-۶ ) : آپارتمان مارینا در سان فرانسیسکو

سازه اصلی شامل یک قاب وزنی فولادی با دیوارهای گرانیتی و آجری غیر مسلح می باشد . جداسازهای *FPS* زیر ستونهای فولادی موجود نصب شده و دور هر ستون کلاف بتنی جدیدی نصب شد . در بالای تراز جداسازها نیز یک سیستم دیافراگم صلب جدید تعبیه گردید . [3]



شکل ( ۷-۵ ) : دادگستری سان فرانسیسکو

سیستم *FPS* در دو ساختمان دیگر که عبارتند از پایانه بین المللی فرودگاه سان فرانسیسکو و ساختمان جدید شهرداری هیوارد نیز به کار رفته اند .

#### ۲-۵- جداسازی لرزه ای در ژاپن :

طراحی مقاوم لرزه ای در ژاپن همواره از اولویت بالایی برخوردار بوده و ساز و کارهای متعددی از جمله انواع جداسازهای لرزه ای برای حفظ لرزه ای ساختمان توسعه یافته و ساخته شده است . مهندسان سازه ژاپنی ، معمولا ساختمانها را با مقاومت لرزه ای بالاتری نسبت به مهندسان آمریکایی طراحی کرده و کارفرمایان مشتاقانه طرحهای پر هزینه را می پذیرند .

در ژاپن استفاده از جداسازی برای طراحی مقاوم لرزه ای نیز به صورت فعالی پیگیری می شود ، که این روند با اتمام نخستین ساختمان بزرگ و نوین جداسازی شده پایه ای در سال ۱۹۸۶ شدت گرفته و در سالهای ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ به حدود ۱۰ ساختمان جداسازی شده در سال رسید . در زمان زلزله ژانویه ۱۹۹۵ کوبه تعداد کل ساختمانهای جداسازی شده در ژاپن به حدود ۸۰ می رسید .

تمام طرحهای جداسازی لرزه ای در ژاپن باید به وسیله کمیته معتبری در وزارت ساخت<sup>۱</sup> تأیید شود. از آنجایی که بسیاری از ساختمانهای تمام شده در معرض زلزله قرار گرفته اند، در برخی حالات می توان پاسخ آنها را نسبت به سازه های متداول مجاور سنجید. در تمام مقایسه های صورت گرفته، پاسخ ساختمان جداسازی شده به ویژه برای شتابهای بالای حرکت زمین بسیار مطلوب بوده است. در گذشته، متداول ترین سیستم مورد استفاده نشیمنهای لاستیک طبیعی با میراگرهای مکانیکی یا نشیمنهای لاستیکی با هسته سربی بوده اند و امروزه استفاده از میراگرهای لاستیک طبیعی با میرایی بالا توسعه بیشتری یافته است.

یکی از ساختمانهای با جداسازی پایه در جهان، مرکز کامپیوتری پست غرب ژاپن<sup>۲</sup> (شکل ۵-۸) می باشد که در ساندا در بخش اداری شهر کوبه قرار دارد. این ساختمان شش طبقه با مساحت ۴۷۰۰۰ مترمربع بر روی ۱۲۰ جداساز الاستومری با تعدادی میراگر فولادی و سربی قرار دارد. دوره تناوب جداسازی شده این ساختمان ۳/۹ ثانیه بوده و تقریباً در ۳۰ کیلومتری مرکز سطحی زمین لرزه سال ۱۹۹۵ هیوگو-کن نانبو<sup>۳</sup> در کوبه قرار دارد که در این زمین لرزه تحت اثر حرکت شدید زمین نیز قرار گرفت. [3]

مقدار اوج شتاب در زیر جداسازها  $400 \frac{cm}{s^2}$  (0.41g) بود که این مقدار به وسیله سیستم

جداساز به  $127 \frac{cm}{s^2}$  (0.13g) در طبقه ششم کاهش یافت. جابجایی جداسازها در حدود

---

1- Ministry of Construction  
2- West Japan Postal Computer Center  
3- Hyogo-Ken Nanbu

12cm تخمین زده شده است. به این ساختمان هیچ خسارتی وارد نشد، در حالی که ساختمان دیگری با پایه گیردار که در مجاورت این مرکز کامپیوتر قرار داشت، خسارت دید. همچنین مؤسسه تحقیقات فنی ماتسومورا-گومی نیز یک نمونه کوچکتر جداسازی شده است که بر روی نشیمنهای لاستیکی با میرایی بالا قرار دارد و تحت زلزله کوبه عملکرد رضایت بخشی از خود نشان داد.



شکل ( ۸-۵ ) : مرکز کامپیوتری پست غرب ژاپن

عملکرد برتر و مطلوب این ساختمان سبب افزایش سریع در تعداد درخواستهای ارائه شده برای صدور مجوز احداث ساختمانهایی با جداسازی پایه، به ویژه در آپارتمانهای مسکونی گردید. تا سال ۱۹۹۷ تعداد کل ساختمانهای جداسازی شده ای که به وسیله کمیته ویژه وزارت ساخت ژاپن بررسی شده اند، به ۳۹۳ می رسد و روند افزایش این پروژه ها تا چند سال آینده در حدود ۲۰۰ عدد در سال تخمین زده می شود. [3]

### ۵-۳- جداسازی پایه در اروپا :

فعالترین مرکز مطالعه جداسازی پایه در اروپا کشور ایتالیا و تحت نظر گروه ملی جداسازی لرزه ای ( *GLIS* ) می باشد . *GLIS* دارای طیف گسترده ای از اعضا ، شامل محققین و مجریان بوده و کارگاههای آموزشی متعددی برگزار نموده و به علاوه به ارائه ضوابط طراحی برای سیستمهای جداسازی شده می پردازند .

در ایتالیا ساختمانهای متعددی با استفاده از جداسازی لرزه ای ساخته شده اند . یکی از این ساختمانها ، مرکز اداری شرکت ملی تلفن ( *SIP* ) در آنکونا می باشد که مجتمعی شامل ۵ ساختمان هفت طبقه می باشد . اخیرا در قالب یک پروژه آزمایشی ، دو آپارتمان چهار طبقه کاملا مشابه ، یکی با سیستم جداساز لرزه ای و دیگری طراحی شده به وسیله روشهای متداول در مجاور هم در کالابریا<sup>۱</sup> ساخته شده است . [3]

### ۵-۴- جداسازی لرزه ای در نیوزلند :

نخستین ساختمان جداسازی شده در نیوزلند ساختمان ویلیام کلی تون<sup>۲</sup> در شهر ولینگتون<sup>۳</sup> است . این ساختمان که احداث آن در سال ۱۹۸۱ پایان یافت ، نخستین ساختمانی که در جهان با استفاده از نشیمنهای لاستیکی-سربی جداسازی گردید .

دو ساختمان دیگر به نامهای یونیون هاوس در اوکلند<sup>۴</sup> و ایستگاه مرکزی پلیس ولینگتون با استفاده از روش شمع غلاف دار ( *sleeved - pile* ) جداسازی شده اند . ( شکل ۵-۹ )

1- Calabria

2- William Clayton

3- Wellington

4- Auckland-Union House

ساختمان یونیون هاوس یک ساختمان ۱۲ طبقه بتن آرمه با قابهای بادبندی شده است. تغییر مکان سیستم با استفاده از یک سیستم میراگر اضافی کنترل می گردد.



شکل (۵-۹): یونیون هاوس در اوکلند

اداره مرکزی پلیس ولینگتون یک ساختمان ۱۰ طبقه بتن آرمه با قابهای بادبندی شده است و کنترل جابجایی آن به وسیله میراگرهای سربی انجام می گیرد.

اخیرا احداث موزه ملی نیوزلند در ولینگتون با استفاده از ۱۴۲ نشیمن لاستیکی سربی و ۳۶ نشیمن تفلونی پایان یافته است. از دیگر ساختمانهای جداسازی شده قابل توجه، می توان ساختمان مجلس نیوزلند را نام برد. سیستم باربر این ساختمان که در سال ۱۹۲۲ ساخته شده است، از نوع دیوارهای باربر با مصالح بنایی بوده و اخیرا با استفاده از بیش از ۵۱۴ نشیمن لاستیکی-سربی تقویت شده است. [3]

ساختمان چاپخانه ای در شهر پتون<sup>۱</sup> واقع در نزدیکی ولینگتون ، نمونه ای از یک پروژه دیگر جداسازی می باشد . این ساختمان بر روی جداسازهای لاستیکی-سربی ساخته شده و هدف سیستم جدا کننده حفاظت از دستگاههای چاپ است ، که شامل تجهیزات بزرگ و قطعات شکننده می باشد . دستگاههای چاپ از چدن ساخته شده و هر کدام به ارتفاع یک ساختمان چهار طبقه می باشند . سازه ساختمان دور تا دور دستگاههای چاپ است و تجهیزات به ساختمان متصل می باشند . کل سیستم در پایه جداسازی شده است . [3]

# فصل ششم

ضوابط آیین نامه ای در مورد

سازه ها با جداسازی لرزه ای



## فصل ششم: ضوابط آیین نامه ای در مورد سازه ها با جداسازی لرزه ای

### مقدمه:

در سال ۱۹۸۰ در آمریکا انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا<sup>۱</sup> شمالی گروهی را تشکیل داد ، تا آیین نامه ای جهت سازه ها با جداسازی لرزه ای تدوین نمایند . این گروه در سپتامبر ۱۹۸۶ سندی تحت عنوان ضوابط پیشنهادی برای طرح جداسازی لرزه ای<sup>۲</sup> و به نام کتاب زرد منتشر ساخت . این ضوابط به عنوان پایه ای جهت دستورالعمل های مختلف توصیه شده به وسیله انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا قرار گرفته و در ویرایشهای مختلف آیین نامه UBC<sup>۳</sup>، که متداولترین آیین نامه طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زمین لرزه در ایالات متحده است ، به کار رفته اند . در این آیین نامه از یک روش ساده استاتیکی معادل استفاده شده است .

در سال ۱۹۸۸ یک کمیته از انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا آیین نامه ای تحت عنوان « ضوابط عمومی برای طرح و احداث سازه های جداسازی شده لرزه ای<sup>۴</sup>» تدوین نمود . در ویرایش سال ۱۹۹۱ آیین نامه UBC ضمیمه ای تحت عنوان « مقررات سازه های جداسازی شده لرزه ای » ، به فصل ۲۳ آن اضافه گردید . در ویرایشهای بعدی این آیین نامه استفاده از آنالیز دینامیکی نیز مجاز شمرده شده ، و مواردی را که می توان از روش ساده استاتیکی معادل استفاده نمود ، کاهش یافته است . در ویرایشهای ۱۹۹۴ و ۱۹۹۷ آیین نامه UBC ضمیمه ای جهت طراحی سازه ها با جداسازی لرزه ای به فصل ۱۶ آن افزوده شد .

1- Structural Engineers Association of Northern California ( SEAONC )

2- Tentative Seismic Isolation Design Requirements

3- Uniform Building Code

4- General Requirements for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures

جداسازی لرزه ای را سخت ، پیچیده و پر هزینه می نماید ، و این مسأله باعث تأثیر منفی در استفاده از آن می شود .

در سال ۱۹۸۹ توسط دفتر ایالتی طرح و توسعه سلامتی<sup>۱</sup> ، آیین نامه ای جهت کاربرد جداسازی لرزه ای در بیمارستانها تدوین گردید ( OSHPD-91 ) . در سال ۱۹۹۶ این مرکز آیین نامه ای با عنوان بخش III : « مقررات لرزه ای لازم در بیمارستانها با جداساز لرزه ای » را تدوین نمود ( OSHPD-96 ) ، که شبیه به آخرین ویرایش آیین نامه UBC-97 می باشد .

آیین نامه های UBC و OSHPD صرفاً به منظور طراحی ساختمانهای جدید بوده و ضوابطی برای مقاوم سازی ساختمانهای موجود با استفاده از جداسازی لرزه ای ارائه نمی دهند . برای مقاوم سازی ساختمانهای موجود ، آیین نامه FEMA-273 و تفسیر آن FEMA-274 توصیه های لازم را ارائه می دهند . این آیین نامه ها توسط اداره ایالتی مدیریت بحران آمریکا منتشر شده و شبیه UBC-97 می باشد ، با این تفاوت که FEMA-273 یک روش جدید تحلیل به نام تحلیل غیر خطی استاتیکی یا Pushover را مجاز می داند .

در این فصل به معرفی ضوابط UBC-97 می پردازیم .

#### ۶-۱- سطح خطر لرزه ای :

اهداف آیین نامه UBC ، و در واقع اغلب آیین نامه ها در مورد جداسازی لرزه ای عبارتند از : [1]

- مقاومت در برابر زلزله های جزئی و متوسط ، بدون خسارت سازه ای و غیر سازه ای و بدون خسارت دیدن محتویات سازه .

- ایستادگی در برابر زلزله های شدید بدون گسیختگی ( شکست ) سیستم جداساز ، همراه با

خسارت محدود سازه ای و غیر سازه ای و بدون لطمه به عملکرد ساختمان .

آیین نامه UBC بر پایه دو سطح زلزله استوار است :

- زلزله مبنای طرح ( DBE<sup>۱</sup> ) : سطحی از زمین لرزه است که احتمال وقوع آن در یک دوره ۵۰

ساله ، ۱۰٪ باشد . ( یعنی زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال )

- بیشترین زلزله ممکن ( MCE<sup>۲</sup> ) : سطحی از زمین لرزه است که احتمال وقوع آن در ۱۰۰ سال ،

۱۰٪ باشد . ( یعنی زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله )

آیین نامه FEMA-273 ، DBE را به نام BSE-1 ( زلزله سطح خطر ۱ ) و MCE را به نام

BSE-2 ( زلزله سطح خطر ۲ ) معرفی می کند . آیین نامه SEAOC-2000 ، DBE و MCE

را به ترتیب با نامهای زمین لرزه های نادر و بسیار نادر توصیف می کند .

سیستم جداساز و ملحقات آن در تراز جداساز ، باید برای بیشترین زلزله ممکن ( MCE ) ، طرح

شوند و روسازه باید در زلزله مبنای طرح ( DBE ) ، الاستیک باقی بماند .

۶-۲- روشهای طراحی :

آیین نامه UBC دو روش طراحی را مورد استفاده قرار می دهد : [1]

- روش استاتیکی که بر پایه معادلات ساده جهت تعیین مقادیر ماکزیمم جابه جایی و برش پایه

می باشد . این روش جهت سازه های کوتاه سخت بر روی خاکهای سخت که دور از گسله های فعال

هستند به کار می رود .

---

1- Design Basis Earthquake

2- Maximom Capable Earthquake

- روش دینامیکی با استفاده از داده های تحریک زلزله و تحلیل دینامیکی برای تعیین مقادیر

بیشینه پاسخها .

اگر چه تقریبا تمام پروژه های جداسازی لرزه ای از تحلیل دینامیکی استفاده می کنند ، با این وجود تحلیل استاتیکی برای تمام طرح های جداسازی لرزه ای ضروری است . تحلیل دینامیکی ممکن است به شکل تحلیل تاریخچه زمانی باشد ، یا تحلیل طیف پاسخ .

تحلیل طیف پاسخ در حالات زیر ضروری است :

- سازه بیش از چهار طبقه ، یا ارتفاع آن بیشتر از ۲۰ متر باشد .

- روسازه در راستای افقی و یا قائم نامنظم باشد .

- دوره تناوب سازه جداسازی شده تحت زلزله DBE از ۳ برابر دوره تناوب روسازه گیردار آن ، کمتر باشد .

طیف ویژه ساختگاه در حالتهای زیر ضروری است :

- سازه بر روی خاک نرم ( نوع  $S_3$  یا  $S_4$  ) واقع شده باشد .

- سازه در فاصله ۱۰ کیلومتری از یک گسل فعال شناخته شده قرار داشته باشد. ( OSHPD-96 )  
این فاصله را ۱۵ کیلومتر معرفی می کند . )

- دوره تناوب سازه تحت زلزله MCE از ۳ ثانیه بزرگتر باشد .

تحلیل تاریخچه زمانی را می توان به جای تحلیل طیفی استفاده کرد ، اما در صورتی که سیستم جداساز یا روسازه بسیار غیر خطی باشند ، استفاده از آن ضروری است .

۳-۶- تحلیل استاتیکی :

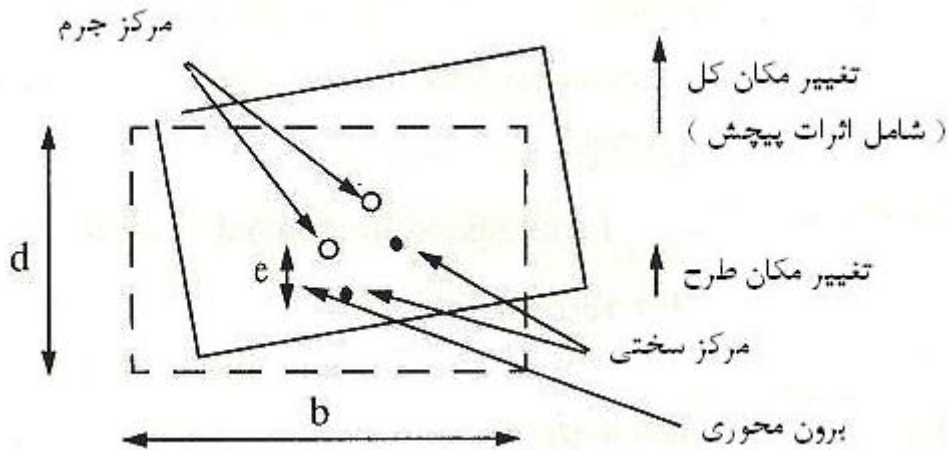
حرکت می کند ، ضرایب زیادی را به وجود می آورد . مقادیر این ضرایب با استفاده از نمودارها ، جدولها و فرمولهای تهیه شده در ضمیمه فصل شانزدهم UBC-97 به دست می آیند .

تغییر مکان های کل طرح ،  $D_{TD}$  و  $D_{TM}$  ( که شامل اثرات پیچش نیز می باشند ) ، به وسیله روابط زیر تعیین می شوند : [1]

$$D_{TD} = D_D \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (۱-۶)$$

$$D_{TM} = D_M \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (۲-۶)$$

در این جا  $e$  ، برون محوری واقعی به علاوه ۵٪ برون محوری تصادفی است و فاصله بین مرکز جرم روسازه و مرکز سختی سیستم جداساز در پلان می باشد .  $y$  فاصله بین مرکز سختی سیستم جداساز تا یک گوشه در راستای عمود بر بارگذاری زلزله می باشد .  $d$  و  $b$  نیز ابعاد پلان ساختمان می باشند . ( شکل ۱-۶ )



شکل ( ۱-۶ ) : تغییر مکان طرح و تغییر مکان کل

$D_D$  و  $D_M$  به ترتیب جابه جایی های طرح ، در مرکز سختی سیستم جداساز تحت زلزله های DBE و MCE هستند .

جابه جایی های طرح ،  $D_D$  و  $D_M$  عبارتند از :

$$D_D = \frac{C_{VD} T_D (g/4\pi^2)}{B_D} \quad (۳-۶)$$

$$D_M = \frac{C_{VM} T_M (g/4\pi^2)}{B_M} \quad (۴-۶)$$

در این جا  $g$  شتاب ثقل ،  $B_D$  و  $B_M$  ضرایب میرایی ،  $C_{VD}$  و  $C_{VM}$  ضرایب لرزه ای طیفی و  $T_D$  و  $T_M$  زمان های تناوب سازه جداسازی شده مطابق با سطح DBE و MCE می باشد .

مقادیر ضریب میرایی  $B_D$  و  $B_M$  بر حسب ضرایب میرایی مؤثر  $\beta_D$  و  $\beta_M$  در جدول ( A-16-C ) UBC-97 ارائه شده اند . ( جدول ۶-۱ )

ضرایب میرایی مؤثر سیستم به وسیله روابط زیر تعیین می گردند : [1]

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{A_H}{D_D^2 K_{D \max}} \right] \quad (۵-۶)$$

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{A_H}{D_M^2 K_{M \max}} \right] \quad (۶-۶)$$

در این روابط  $A_H$  ، سطح کل حلقه هیستریزیس ،  $K_{D \max}$  و  $K_{M \max}$  ، جملات سختی مؤثر  $K_{D \text{eff}}$  و  $K_{M \text{eff}}$  بوده و از روابط زیر تعیین می شوند :

$$K_{D \text{eff}} = \frac{F_D^+ - F_D^-}{D_D^+ - D_D^-}$$

$$K_{Meff} = \frac{F_M^+ - F_M^-}{D_M^+ - D_M^-}$$

جدول : میرایی $B_M$	میرایی مؤثر $\beta_D$ یا $\beta_M$	ضرایب میرایی $B_D$ یا $B_M$	(۱-۶) ضرایب و $B_D$ [6]
	( بر حسب درصدی از میرایی مؤثر )		
	$\leq 2$	0.8	
	5	1.0	
	10	1.2	
	20	1.5	
	30	1.7	
	40	1.9	
	$\geq 50$	2.0	

در این جا  $F_D^+$  ،  $F_D^-$  ،  $F_M^+$  ،  $F_M^-$  ،  $D_D^+$  ،  $D_D^-$  ،  $D_M^+$  و  $D_M^-$  ، بیشترین و کمترین مقدار نیروها و جابه جایی ها ، در سطح DBE و MCE می باشند . سطح کل حلقه هیستریزیس مقدار انرژی مستهلک شده در سیکل بارگذاری می باشد .

پیرودهای  $T_D$  و  $T_M$  در سطح DBE و MCE با روابط زیر مشخص می شوند : [1]

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{D \min}}} \quad (۷-۶)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{M \min}}} \quad (۸-۶)$$

در این جا  $W$  وزن ساختمان و جملات ،  $K_{Dmin}$  و  $K_{Mmin}$  معادل کمترین مقادیر سختی مؤثر  $K_{Meff}$  و  $K_{Deff}$  می باشند ، که به وسیله آزمایش تعیین می گردند .

ضرایب لرزه ای طیفی ( $C_{VD}, C_{VM}, C_{AD}, C_{AM}$ ) برای تعیین عرضهای طیفی مورد نیاز طراحی استفاده می شوند . ضرایب  $C_{VM}$  و  $C_{VD}$  مطابق با نواحی سرعت ثابت در سطح DBE و MCE

می باشند . مشابه آن ضرایب  $C_{AD}$  و  $C_{AM}$  مطابق با نواحی شتاب ثابت DBE و MCE می باشند . مقادیر  $C_{AD}$  و  $C_{VD}$  با نمودارهایی و به صورت تابعی از نوع خاک ( $S_D, S_C, S_B, S_A$ ) و  $S_E$  ( و ضریب ناحیه لرزه خیزی (1, 2A, 2B, 3 و 4 ) ارائه می شوند . برای ضریب ناحیه لرزه خیزی 4 ، ضرایب  $C_{AD}$  و  $C_{VD}$  باید در ضرایب نزدیکی منبع لرزه خیزی ،  $N_a$  و  $N_v$  ضرب شوند . در واقع ضرایب  $C_{AD}$  و  $C_{VD}$  شبیه همان ضرایب  $C_A$  و  $C_V$  ، که برای طراحی سازه های متداول ( با پایه گیردار ) مورد استفاده قرار می گیرند ، می باشند . [1]

مقادیر ضرایب  $C_{AM}$  و  $C_{VM}$  نیز به شکل نمودار و به صورت تابعی از نوع خاک و مقادیر  $M_M Z N_v$  و  $M_M Z N_a$  ارائه می گردند . در این جا  $Z$  ، ضریب ناحیه لرزه خیزی ،  $N_a$  و  $N_v$  ، ضرایب نزدیکی به منبع لرزه خیز و  $M_M$  ضریب پاسخ MCE می باشند . ( جداول ۲-۶ و ۳-۶ )

[6] جدول (۲-۶) : ضریب لرزه ای  $C_{AM}$



ضریب پاسخ MCE ( $M_M$ ) ، از جدول ( A-16-D ) ، UBC-97 و بر اساس مقدار ضریب

ناحیه لرزه خیزی Z و ضریب نزدیکی چشمه لرزه خیزی  $N_v$  تعیین می شود . ( جدول ۴-۶ )

نوع خاک	$M_M Z N_a = 0.075$	$M_M Z N_a = 0.15$	$M_M Z N_a = 0.2$	$M_M Z N_a = 0.3$	$M_M Z N_a \geq 0.4$
$S_A$	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8 M_M Z N_a$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0 M_M Z N_a$
$S_C$	0.13	0.25	0.32	0.45	$1.4 M_M Z N_a$
$S_D$	0.18	0.32	0.40	0.54	$1.6 M_M Z N_a$
$S_E$	0.26	0.50	0.64	0.84	$2.4 M_M Z N_a$

جدول (۴-۶) : ضریب لرزه ای  $C_{VM}$  [6]

جدول )

ضریب

MCE

[6] (

شدت لرزش $(Z N_v) DBE$	ضریب پاسخ $M_M$
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50

: ( ۴-۶

پاسخ

$M_M$  )

نوع خاک	$M_M Z N_a = 0.075$	$M_M Z N_a = 0.15$	$M_M Z N_a = 0.2$	$M_M Z N_a = 0.3$	$M_M Z N_a \geq 0.4$
$S_A$	$\geq 0.06$ 0.50	0.12	0.16	1.20 0.24	$0.8 M_M Z N_a$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0 M_M Z N_a$
$S_C$	0.09	0.18	0.24	0.33	$1.0 M_M Z N_a$
$S_D$	0.12	0.22	0.28	0.36	$1.1 M_M Z N_a$
$S_E$	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.9 M_M Z N_a$

برش پایه برای طراحی المانهای سازه ای در زیر تراز جداساز به وسیله رابطه زیر تعیین می شود :

$$V_b = K_{D_{\max}} D_D$$

برش پایه برای طراحی المانهای سازه ای در بالای تراز جداساز با رابطه زیر تعیین می گردد :

$$V_s = \frac{K_{D_{\max}} D_D}{R_f}$$

در این جا  $R_f$  ، ضریب رفتار سازه جداسازی شده می باشد ، و مقدار آن بین 1.4 تا 2 ( بسته به میزان شکل پذیری روسازه ) تغییر می کند .

برش پایه  $V_s$  ، در هیچ حالتی نباید از مقادیر زیر کمتر شود : [1]

- برش پایه متناظر با بار باد .

- نیروی لرزه ای لازم برای سازه با پایه گیردار .

- ۱/۵ برابر نیروی جانبی لازم برای فعال کردن کامل سیستم جداساز .

اگر چه انتظار می رود که توزیع قائم نیروهای لرزه ای سازه جداسازی شده یکنواخت باشد ، از

توزیع مثلی برای در نظر گرفتن اثر مودهای بالاتر استفاده می شود . بار جانبی  $F_x$  در تراز  $x$  ، با

استفاده از برش پایه  $V_s$  و طبق رابطه زیر محاسبه می شود : [1]

$$F_x = V_s \frac{h_x W_x}{\sum_{i=1}^n h_i W_i}$$

تغییر مکان جانبی طبقات نباید از مقدار  $\frac{0.01}{R_I}$  تجاوز نماید .

#### ۴-۶- تحلیل دینامیکی :

تحلیل دینامیکی می تواند با استفاده از طیف پاسخ خطی باشد ، یا به صورت تحلیل تاریخچه زمانی صورت گیرد . نیروها و جابه جایی های به دست آمده از تحلیل دینامیکی ممکن است که از مقادیر تحلیل استاتیکی ، کمتر باشند . در هر صورت جابه جایی کل طرح ،  $D_{TD}$  و بیشترین جابه جایی کل ،  $D_{TM}$  برای سیستم جداساز ، به ترتیب نباید کمتر از ۹۰٪ و ۸۰٪ مقادیر به دست آمده آنها از تحلیل استاتیکی باشد .

آیین نامه اجازه کاهش بیشتر در مقادیر  $D_{TM}$  و  $D_{TD}$  را به شرط استفاده از  $D_{D'}$  و  $D_{M'}$  به جای  $D_D$  و  $D_M$  ، می دهد .  $D_{D'}$  و  $D_{M'}$  را می توان از روابط زیر تعیین نمود :

$$D_{D'} = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}}$$

$$D_{M'} = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}}$$

در این روابط ،  $T$  دوره تناوب سازه با پایه گیردار الاستیک بالای سیستم جداساز می باشد . که به وسیله روابط موجود در آیین نامه UBC-97 محاسبه می شود .

نیروی برشی طرح سیستم جداساز و المانهای سازه ای در زیر آن نباید کمتر از ۹۰٪ نیروی برشی محاسبه شده با استفاده از روش استاتیکی در نظر گرفته شوند .

نیروی برشی طراحی برای سازه بالای سیستم جداساز نیز نباید کمتر از ۸۰٪ نیروی برشی ( $V_s$ ) ، محاسبه شده از تحلیل استاتیکی در نظر گرفته شود .

در صورتی که سازه دارای شکل نامتقارن باشد ، نیروی برشی طراحی سازه بالای سیستم جداساز نباید کمتر از برش پایه محاسبه شده از تحلیل استاتیکی در نظر گرفته شود .

اگر از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده می شود ، محدودیت فوق می تواند تا ۶۰٪ و ۸۰٪ به

ترتیب ، برای سازه منظم و نامنظم در پلان ، در نظر گرفته شود . [1]

# فصل هفتم

# مروری بر نرم افزار SAP 2000

## و کنترل صحت نرم افزار

فصل هفتم : مروری بر نرم افزار SAP 2000 و کنترل صحت برنامه

مقدمه:

برنامه های متعددی جهت مدلسازی و تحلیل سازه ها با جداساز لرزه ای وجود دارند ، که به برخی از متداولترین آنها اشاره می کنیم .

نخستین برنامه کامپیوتری که ویژه تحلیل سازه های جداسازی شده لرزه ای نوشته شده است ، برنامه N-PAD می باشد . این برنامه اجزای غیر خطی جداساز را مدل کرده ، اما برای روسازه از یک مدل ساده شده استفاده می کند . مدل مورد استفاده در این برنامه به مدل میله ای معروف است . متداولترین برنامه مورد استفاده برای تحلیل سازه های جداسازی شده برنامه 3D-BASIS است که در دانشگاه ایالتی نیویورک در بوفالو نوشته شده است . در این برنامه روسازه به صورت مدل میله ای ارتجاعی خطی مشابه N-PAD مدل می شود .

ویرایش جدید برنامه ETABS ، شامل اجزای غیر خطی متعددی است که برای مدل‌سازی اجزای یک سیستم جداساز لرزه ای مناسب است . همچنین برنامه SAP 2000 نیز با داشتن المانهای غیر خطی ( NLLINK ) کاربر را قادر به مدل‌سازی سازه های جداسازی شده می نماید . علاوه بر این موارد ، برنامه های عمومی تحلیل سه بعدی غیر خطی سازه ها مانند : DRAIN-3D , ANSYS,ADINA,NASTRAN ، نیز دارای مدل‌های غیر خطی مختلفی برای تحلیل دینامیکی غیر خطی سازه های جداسازی شده لرزه ای می باشند . در این فصل ابتدا مروری بر ویژگی المانهای NLLINK برنامه SAP 2000 و روشهای آنالیز آن خواهیم داشت ، و در ادامه صحت برنامه SAP 2000 که برای مدل‌سازی سیستم‌های جداساز غیر خطی در این تحقیق مورد

استفاده قرار می گیرد ، با ذکر دو مثال کنترل می گردد .

#### ۷-۱- المانهای Nllink :

المان Nllink جهت مدل کردن اجزای سازه ای غیر خطی موضعی<sup>۱</sup>مانند Gap ها ، میراگرها<sup>۲</sup> و جداگرها<sup>۳</sup> و از این قبیل به کار می رود . رفتار غیر خطی فقط در هنگام تحلیل های تاریخچه زمانی غیر خطی نشان داده می شود . در تمام انواع دیگر تحلیل المانهای Nllink به صورت خطی رفتار می کنند . هر المان Nllink می تواند ، یک فنر یک گره ای متصل به زمین باشد ، یا یک رابط دو گره ای ، که خصوصیات هر دو نوع این المانها به یک صورت تعریف می شود . فرض می شود که هر المان از شش فنر مجزا برای هر کدام از شش درجه آزادی تغییر شکل ( محوری ، برشی ، پیچشی و خمشی خالص ) تشکیل شده است . [7]

---

1- Local Structural Nonlinearity  
2- Dampers  
3- Isolators

خواص سختی مؤثر خطی و میرایی مؤثر خطی فقط جهت تحلیل های خطی مورد استفاده قرار می گیرند . رابطه های غیر خطی نیرو-تغییر شکل این فنرها می تواند بر حسب نوع رفتاری که مدلسازی شده وابسته باشد<sup>۱</sup>، یا اینکه مستقل باشد .

انواع رفتارهای غیر خطی که می تواند توسط این المانها مدل شوند عبارتند از : [7]

- میرایی ویسکو الاستیک ( Visco Elastic Damping ) .
- درز ( Gap ) ( فشاری تنها ) و قلاب ( Hook ) ( کششی تنها ) .
- حالت خمیری ( پلاستیسیته تک محوری ) ( Uniaxial Plasticity ) .

- جداساز پایه خمیری دو محوری ( Biaxial-Pasticity Base Isolation ) .

- جداساز پایه اصطکاکی-آونگی ( Friction-Pendulum Base Isolation ) .

انواع المانهای Nilink زیر المان با طول صفر در نظر گرفته می شوند : [7]

- المانهای تک گره ای

- المانهای دو گره ای که فاصله گره های  $i$  و  $j$  کمتر یا مساوی رواداری مجاز ( تیرانس ) طول صفر که شما تعریف می کنید ، باشد .

المانهایی که دارای طولی بزرگتر از مقدار رواداری مجاز باشند ، المان با طول محدود در نظر گرفته می شوند . این که المان دارای طول صفر و یا دارای طول محدود باشد ، نحوه تعریف سیستم مختصات محلی را تحت تأثیر قرار می دهد .

۷-۱-۱- درجات آزادی :

المان Nlink همیشه تمام شش درجه آزادی را در یک یا دو گره متصل خود فعال می کند . این که المان سختی را به کدام درجات آزادی خود اثر بدهد ، بستگی به خواصی که شما به المان نسبت می دهید ، دارد . باید گیرداری و یا تکیه گاه کافی برای آن درجات آزادی که سختی به آنها اعمال نمی شود ، فراهم گردد . [7]

۷-۱-۲- سیستم مختصات محلی :

هر المان Nlink دارای سیستم مختصات محلی مخصوص به خود می باشد ، که برای تعریف خواص نیرو-تغییر شکل و تفسیر نتایج خروجی به کار می رود . محورهای این سیستم محلی ۱ و ۲

و ۳ نامیده می شوند . جهت محور اول در امتداد طول المان و متناظر با تغییر شکل انبساطی<sup>۱</sup> می باشد . دو محور دیگر در صفحه عمود بر المان قرار دارند . این سیستم نیز همانند سیستم مختصات سراسری X-Y-Z یک سیستم مختصات راستگرد<sup>۲</sup> می باشد . ساده ترین روش جهت کاربرد سیستم مختصات محلی استفاده از جهت گیری پیش فرض<sup>۳</sup> و زاویه مختصات المان Nlink می باشد ، که در زیر شرح داده می شود . [7]

- محور محلی ۱ ، محور طولی المان می باشد . این محور به دو روش زیر تعیین می شود :

۱- در مورد المانهایی که دارای طول محدود هستند ، این محور به طور خودکار از گره I به J تعریف می شود .



۲- در مورد المانهایی که طولشان صفر می باشد ، جهت محور ۱ محلی پیش فرض مساوی جهت سراسری  $+Z$  ( به سمت بالا ) می باشد .

- صفحه ۱-۲ محلی به طور عمودی در نظر گرفته می شود ، یعنی موازی محور  $Z$

- محور محلی ۲ طوری در نظر گرفته می شود ، که دارای جهتی به سمت بالا (  $+Z$  ) باشد ، مگر این که المان عمودی باشد ، که در این صورت محور محلی ۲ به طور افقی و در امتداد جهت سراسری  $+X$  در نظر گرفته می شود .

- محور محلی ۳ همیشه افقی می باشد ، یعنی در صفحه  $X-Y$  قرار می گیرد .

### ۷-۱-۳- تغییر شکلهای داخلی :

شش تغییر شکل داخلی برای المان Nlink تعریف می شود . این تغییر شکلهای از روی جابجایی

نسبی گره  $j$  نسبت به موارد زیر معین می شود : [7]

۱- نسبت به گره  $i$  در حالت المان دو گره ای .

۲- نسبت به زمین در حالت المان تک گره ای .

در مورد المانهای رابط دو گره ای تغییر شکلهای داخلی به صورت زیر تعیین می شوند : [7]

- تغییر شکل محوری  $du_1 = u_{1j} - u_{1i}$

- تغییر شکل برشی در صفحه ۱-۲  $du_1 = u_{2j} - u_{2i} - d_{j2}r_{3j} - (l - d_{j2})r_{3j}$

- تغییر شکل برشی در صفحه ۱-۳  $du_3 = u_{3j} - u_{3i} + d_{j3}r_{2j} + (l - d_{j3})r_{2j}$

- تغییر شکل پیچشی

$$dr_1 = r_{1j} - r_{1i}$$

- تغییر شکل ناشی از خمش خالص در صفحه ۱-۳

$$dr_2 = r_{2i} - r_{2j}$$

- تغییر شکل ناشی از خمش خالص در صفحه ۱-۲

$$dr_3 = r_{3j} - r_{3i}$$

که در این روابط :

$r_{3i}$  ،  $r_{2i}$  ،  $r_{1i}$  ،  $u_{3i}$  ،  $u_{2i}$  ،  $u_{1i}$  انتقالها و دورانهای گره  $i$  می باشند .

$r_{3j}$  ،  $r_{2j}$  ،  $r_{1j}$  ،  $u_{3j}$  ،  $u_{2j}$  ،  $u_{1j}$  انتقالها و دورانهای گره  $j$  می باشند .

$d_{j2}$  فاصله ای است که شما از گره  $j$  تا محلی که تغییر شکل برشی  $du_2$  اندازه گیری می شود ،

تعیین می کنید . ( پیش فرض صفر می باشد )

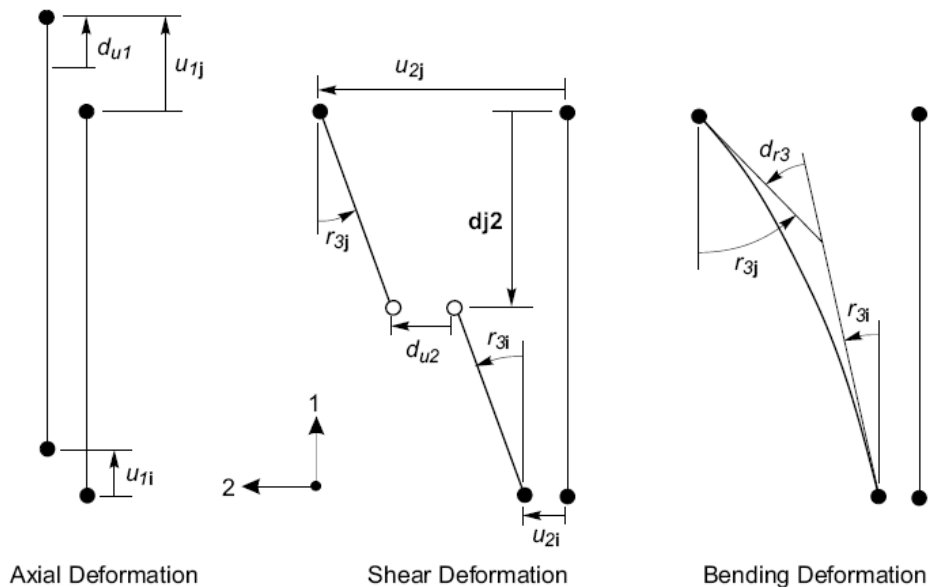
$d_{j3}$  فاصله ای است که شما از گره  $j$  تا محلی که تغییر شکل برشی  $du_3$  اندازه گیری می شود ،

تعیین می کنید . ( پیش فرض صفر می باشد )

$I$  طول المان می باشد .

تمام انتقالها و دوران ها و تغییر شکلها بر حسب سیستم مختصات محلی المان بیان می شوند .

سه نوع از این تغییر شکلها در شکل ( ۱-۷ ) نشان داده شده اند . [7]



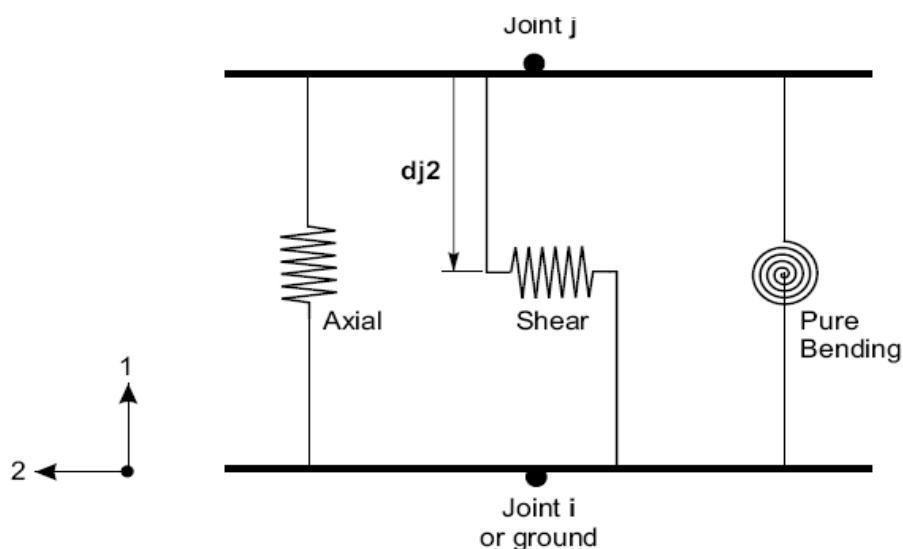
شکل ( ۷-۱ ) : تغییر شکلهای داخلی المان دو گره ای

در مورد المانهای تک گره ای تغییر شکلهای داخلی همانند عبارات بالا هستند ، با این تفاوت که انتقالها و دوران های گره ۱ صفر در نظر گرفته می شوند .

#### ۷-۱-۴- فنرهای غیر خطی داخلی :

فرض می شود که هر المان Nilink از شش فنر داخلی تشکیل شده است . یک فنر برای هر کدام از شش تغییر شکل داخلی . رابطه های نیرو- تغییر شکل این گونه فنرها می توانند با یکدیگر درگیر ( وابسته ) ، باشند و یا این که از یکدیگر مستقل باشند . شکل ( ۷-۲ ) فنرهای سه تغییر شکل محوری ، برشی در صفحه ۲-۱ و خمشی خالص در صفحه ۲-۱ را نشان می دهد . [7]

توجه به این نکته مهم می باشد ، که فنر برشی با فاصله  $d_{j2}$  از گره  $j$  قرار گرفته است . فرض می شود که تمام تغییر شکل های برشی در این فنر رخ می دهند و رابط هایی که این فنر را به گره ها ( و یا به زمین ) متصل می کنند ، در برابر برش صلب می باشند .

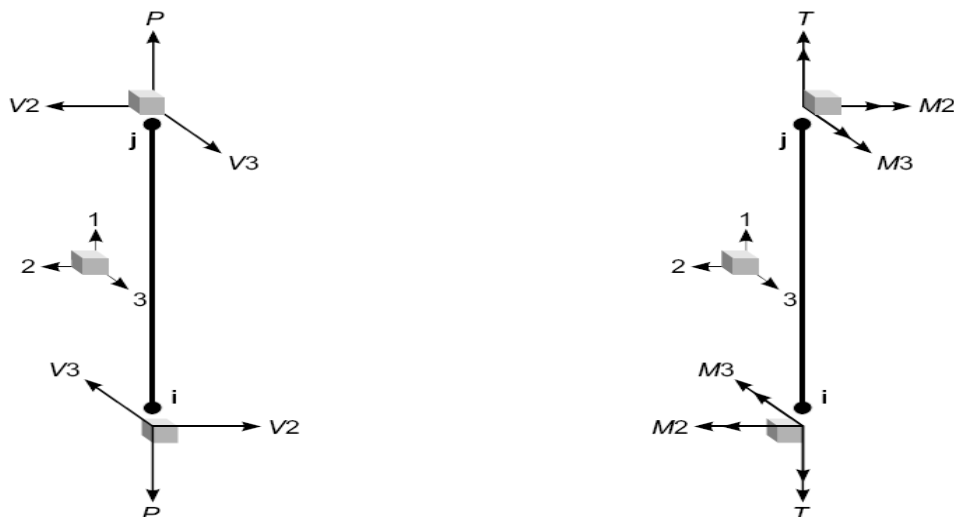


شکل ( ۲-۷ ) : سه فنر ( از شش فنر ) غیر خطی در یک المان Nllink

سه فنر دیگر که در شکل نشان داده نشده اند ، مربوط به تغییر شکل برشی ، پیچش و تغییر شکل خمشی خالص در صفحه ۱-۳ می باشند . فنر برشی در فاصله  $d_{j3}$  از گره  $j$  قرار می گیرد . مقادیر پارامترهای  $d_{j2}$  و  $d_{j3}$  می توانند متفاوت باشند .

۵-۱-۷- نیروهای داخلی المان :

نیروهای داخلی  $P$  و  $V_2$  و  $V_3$  المان Nlink و ممان های داخلی  $T$  و  $M_2$  و  $M_3$  این المان ، دارای همان معنی که برای المان Frame می باشند ، برای المان Nlink می باشند . این نیروها و ممان ها در شکل ( ۷-۳ ) نشان داده شده اند . [7]



شکل ( ۷-۳ ) : نیروها و ممان های داخلی المان

این نیروها و ممان ها می توانند بر حسب نیروها و ممان های فنر به صورت زیر بیان شوند :

$P = fu_1$  - نیروی محوری

$V_2 = fu_2, M_{3s} = (d - d_{j2})fu_2$  - نیروی برشی در صفحه ۱-۲

$V_3 = fu_3, M_{2s} = (d - d_{j3})fu_3$  - نیروی برشی در صفحه ۱-۳

$T = fr_1$  - نیروی پیچشی

$M_{2b} = fr_2$  - ممان خمشی خالص در صفحه ۱-۲

$M_{3b} = fr_3$  - ممان خمشی خالص در صفحه ۱-۳

که در این روابط  $d$  فاصله از گره  $j$  می باشد. برآیندهای ممان خمشی کل  $M_2$  و  $M_3$  از بخشهای برشی و خمشی خالص زیر تشکیل شده است :

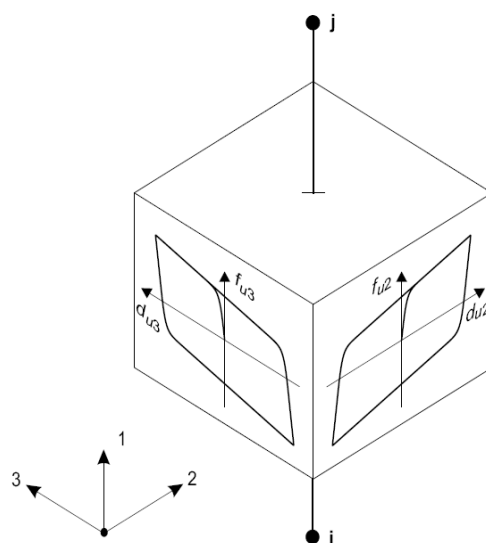
$$M_2 = M_{2S} + M_{2b}$$

$$M_3 = M_{3S} + M_{3b}$$

این نیروها و ممان های داخلی در هر مقطع عرضی در امتداد المان وجود دارند .

### ۷-۱-۶- المان Rubber Isolator :

این المان یک جداساز هیسترتیک دو محوری می باشد ، که خواص مومسانی و تغییر شکل برشی و خواص سختی مؤثر چهار تغییر شکل باقیمانده را به یکدیگر وابسته می کند . این مدل پلاستیسیته بر پایه رفتار هیسترتیک که توسط Wen در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد شده ، می باشد . این رفتار جهت تحلیل جداساز پایه توسط Constantinou و Nagarajaiah , Reinhorn در سال ۱۹۹۱ توصیه شده است . ( شکل ۷-۴ ) [7]



اگر هر دو درجه آزادی برشی غیر خطی باشند ، رابطه غیر مستقل نیرو-تغییر شکل به گونه زیر به دست می آید :

$$f u_2 = \text{ratio}2 k_2 du_2 + (1 - \text{ratio}2) \text{yield} 2 Z_2$$

$$f u_3 = \text{ratio}3 k_3 du_3 + (1 - \text{ratio}3) \text{yield} 3 Z_3$$

که در این روابط  $k_2$  و  $k_3$  ، ثابتهای فنر ارتجاعی ،  $\text{yield} 2$  و  $\text{yield} 3$  نیروهای تسلیم ،  $\text{ratio}2$  و  $\text{ratio}3$  نسبت سختیهای پس از تسلیم به سختیهای ارتجاعی ( $k_2$  و  $k_3$ ) می باشند و  $Z_2$  و  $Z_3$  متغیرهای هیسترتیک داخلی می باشند ، که این متغیرها دارای محدوده ای به صورت  $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} \leq 1$  می باشند . سطح تسلیم آن با رابطه  $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} = 1$  نشان داده می شود .

مقادیر اولیه  $Z_2$  و  $Z_3$  صفر می باشند و سپس طبق معادله دیفرانسیلی زیر تغییر می کنند : [7]

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 Z_2^2 & -a_3 Z_2 Z_3 \\ -a_2 Z_2 Z_3 & 1 - a_3 Z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2}{\text{yield} 2} \dot{u}_2 \\ \frac{k_3}{\text{yield} 3} \dot{u}_3 \end{Bmatrix}$$

که در این معادله :

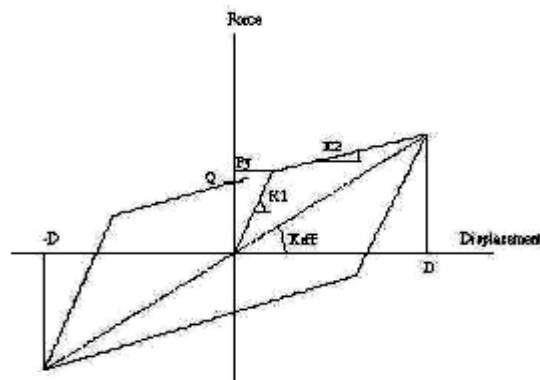
$$a_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}u_3 Z_3 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{و} \quad a_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}u_2 Z_2 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

به تغییر شکل محوری سه تغییر شکل خمشی و به هر تغییر شکل برشی فاقد خصوصیات غیر خطی یک فنر خطی اعمال می شود. تمام درجات آزادی خطی از سختی مؤثر متناظر که ممکن است صفر هم باشد، استفاده می کند.

۲-۷- محاسبه سختی و میرایی مؤثر برای سیستمهای جداسازی با مدل دو خطی:

این جداسازها به صورت یک مدل دو خطی و بر اساس پارامترهای  $k_1$  و  $k_2$  و  $Q$  مشخص می شوند و پارامترهای  $D_y$  و  $F_y$  نیز پارامترهای وابسته ای هستند که تابعی از این سه پارامتر می باشند.

(شکل ۷-۵). [3]



شکل (۷-۵): مدل جداساز دو خطی

سختی مؤثر ( $k_{eff}$ ) به صورت سکانت شیب مقادیر حداقل تا حداکثر در یک حلقه پسماند تعریف می شود و از رابطه زیر به دست می آید:

$$k_{eff} = k_2 + \frac{Q}{D} \quad \text{و} \quad D \geq D_y$$



که در آن  $D_y$ ، تغییر مکان در حد تسلیم، و بر حسب پارامترهای اصلی برابر است با:

$$D_y = \frac{Q}{k_1 - k_2}$$

$W_D$ ، مساحت حلقه پسماند، (انرژی مستهلک شده در یک چرخه یا سیکل) نیز برابر است با:

$$W_D = 4Q(D - D_y)$$

میرایی مؤثر ( $\beta_{eff}$ ) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi k_{eff} D^2}$$

سختی مؤثر در تحلیل های خطی مورد استفاده قرار می گیرد و در تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی برای تمام درجات آزادی خطی به کار می رود.

میرایی مؤثر، میرایی لزجی کل المان Nllink را که برای تحلیل های طیف پاسخ و تاریخچه زمانی خطی مورد استفاده قرار می گیرد، را بیان می کند.

۷-۳- روشهای آنالیز غیر خطی:

دو روش کلی جهت تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی وجود دارد:

۱- انتگرال گیری مستقیم<sup>۱</sup>.

۲- روش مودال یا FNA<sup>۲</sup>.

روش انتگرال گیری مستقیم روش عمومی در حل بسیاری از مسائل غیر خطی وابسته به زمان می باشد . ولی روش FNA که توسط پروفیسور ویلسون ارائه شده است ، تنها برای سازه های خطی که قسمتی از المانهای آن غیر خطی می باشد ، کاربرد دارد . ( مثل سازه های دارای جداساز لرزه ای )

۱-۳-۷- روش انتگرال گیری مستقیم :

معادله دیفرانسیل حاکم بر یک سیستم خطی به صورت زیر می باشد :

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = P(t) \quad (1-7)$$

برای حل این معادله دیفرانسیل در صورتی که نیروی  $P(t)$  و یا شتاب زمین  $\ddot{u}_g(t)$  توابع دلخواه و یا پیچیده ای از زمان  $t$  بوده ، و یا سیستم غیر خطی باشد ، روش دقیق ریاضی وجود ندارد . برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر چنین سیستمهایی می توان از روشهای عددی گام به گام زمانی مانند روشهای تفاضل محدود و یا نیومارک استفاده نمود .

به عنوان مثال روش نیومارک در سال ۱۹۵۹ توسط ان.ام. نیومارک ارائه شد ، که به طور اختصار به آن می پردازیم . [8]

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (1-7-الف)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (1-7-ب)$$

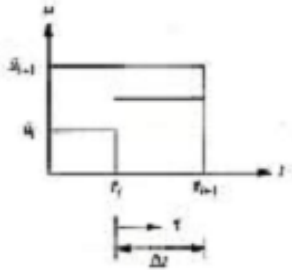
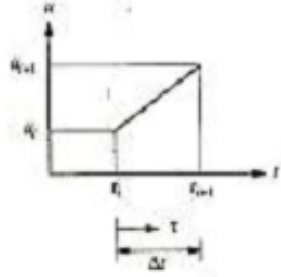
پارامترهای  $\beta$  و  $\gamma$  تغییرات شتاب را در یک گام زمانی تعریف می نمایند و مشخصه پایداری و دقت روش می باشند . مقادیر متعارف آنها در حدود  $\gamma = \frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$  می باشد ، که منجر به نتایج

رضایت بخشی می شود . در معادلات بالا :

-  $u_i$  و  $\dot{u}_i$  و  $\ddot{u}_i$  ، به ترتیب بردارهای جابجایی ، سرعت و شتاب گرهی در زمان  $t_i$  هستند .  
 -  $u_{i+1}$  و  $\dot{u}_{i+1}$  و  $\ddot{u}_{i+1}$  ، به ترتیب بردارهای جابجایی ، سرعت و شتاب گرهی در زمان  $t_{i+1}$  هستند .  
 -  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  .

در زیر دو حالت خاص از روش نیومارک ، که به نام های شتاب متوسط و شتاب خطی موسوم اند ، ارائه می شود . برای این دو روش در جدول ( ۷-۱ ) روابط پاسخ های  $u_{i+1}$  ،  $\dot{u}_{i+1}$  ،  $\ddot{u}_{i+1}$  ، در زمان  $i+1$  بر حسب مقادیر مربوط به زمان  $i$  ارائه شده است .

جدول ( ۷-۱ ) : روشهای شتاب متوسط و شتاب خطی

شتاب متوسط	شتاب خطی
	
$\ddot{u}(\tau) = \frac{1}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\ddot{u}(\tau) = \ddot{u}_i + \frac{\tau}{\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (۳-۷)$
$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \frac{\tau}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \ddot{u}_i \tau + \frac{\tau^2}{2\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (۴-۷)$
$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i) \quad (۵-۷)$
$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i \tau + \frac{\tau^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$	$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i \tau + \ddot{u}_i \frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^3}{6\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (۶-۷)$
$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i \Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i \Delta t + (\Delta t)^2 \left( \frac{1}{6} \ddot{u}_{i+1} + \frac{1}{3} \ddot{u}_i \right) \quad (۷-۷)$

رابطه ( ۳-۷ ) این فرض را نشان می دهد که در یک گام زمانی تغییرات شتاب ثابت ( مساوی شتاب متوسط ) و یا خطی است . انتگرال  $\ddot{u}(\tau)$  رابطه ( ۴-۷ ) را که تغییرات سرعت  $\dot{u}(\tau)$  در گام زمانی است ، به دست می دهد . با جایگزینی  $\Delta t$  به جای  $\tau$  رابطه ( ۵-۷ ) ، که سرعت  $\dot{u}_{i+1}$  را در زمان  $i+1$  به دست می دهد ، حاصل می گردد . انتگرال  $\dot{u}(\tau)$  رابطه ( ۶-۷ ) را که تغییرات تغییر مکان در گام زمانی است ، به دست می دهد . با جایگزینی  $\Delta t$  به جای  $\tau$  رابطه ( ۷-۷ ) که تغییر مکان  $u_{i+1}$  را در زمان  $i+1$  به دست می دهد ، حاصل می گردد .

با مقایسه روابط ( ۵-۷ ) و ( ۷-۷ ) با رابطه ( ۲-۷ ) ، ملاحظه می شود که این روابط همان روابط نیومارک با  $\gamma = \frac{1}{2}$  و  $\beta = \frac{1}{4}$  ، برای حالت شتاب ثابت و  $\gamma = \frac{1}{2}$  و  $\beta = \frac{1}{6}$  برای حالت شتاب خطی می باشند . اگر کمیات زیر را در نظر بگیریم :

$$\Delta u_i = u_{i+1} - u_i \quad \text{و} \quad \Delta \dot{u}_i = \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i \quad \text{و} \quad \Delta \ddot{u}_i = \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i \quad (۸-۷)$$

$$\Delta P_i = P_{i+1} - P_i \quad (۹-۷)$$

حال اگر رابطه ( ۲-۷ ) را با استفاده از کمیات بالا بازنویسی کنیم خواهیم داشت :

$$\Delta \dot{u}_i = (\Delta t)\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\Delta \ddot{u}_i \quad (۱۰-الف)$$

$$\Delta u_i = (\Delta t)\dot{u}_i + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{u}_i + \beta(\Delta t)^2\Delta \ddot{u}_i \quad (۱۰-ب)$$

اگر رابطه پایین برای  $\Delta \ddot{u}_i$  حل گردد ، نتیجه می شود :

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}\Delta u_i - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{u}_i - \frac{1}{2\beta}\ddot{u}_i \quad (۱۱-۷)$$

با قرار دادن رابطه ( ۱۱-۷ ) در رابطه ( ۱۰-الف ) خواهیم داشت :

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \ddot{u}_i \quad (12-7)$$

اگر رابطه (۷-۱) را در زمانهای  $t_i$  و  $t_{i+1}$  نوشته و از هم کم کنیم، خواهیم داشت:

$$m\Delta \ddot{u}_i + c\Delta \dot{u}_i + k\Delta u_i = \Delta P_i \quad (13-7)$$

با جایگذاری روابط (۷-۱۱) و (۷-۱۲) در رابطه (۷-۱۳) خواهیم داشت:

$$\hat{k}\Delta u_i = \Delta P_i \quad (14-7)$$

$$\hat{k} = k + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m \quad (15-7)$$

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left(\frac{1}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c\right) \dot{u}_i + \left[\frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right) c\right] \ddot{u}_i \quad (16-7)$$

مقادیر  $\hat{k}$  و  $\Delta \hat{P}_i$  با توجه به مشخصه های  $m$  و  $c$  و  $k$  سیستم و همچنین ضرایب  $\gamma$  و  $\beta$  و مقادیر  $\dot{u}_i$  و  $\ddot{u}_i$  در شروع هرگام معلوم هستند. تغییر مکان نموی ( $\Delta u_i$ ) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta u_i = \frac{\Delta \hat{P}_i}{\hat{k}} \quad (17-7)$$

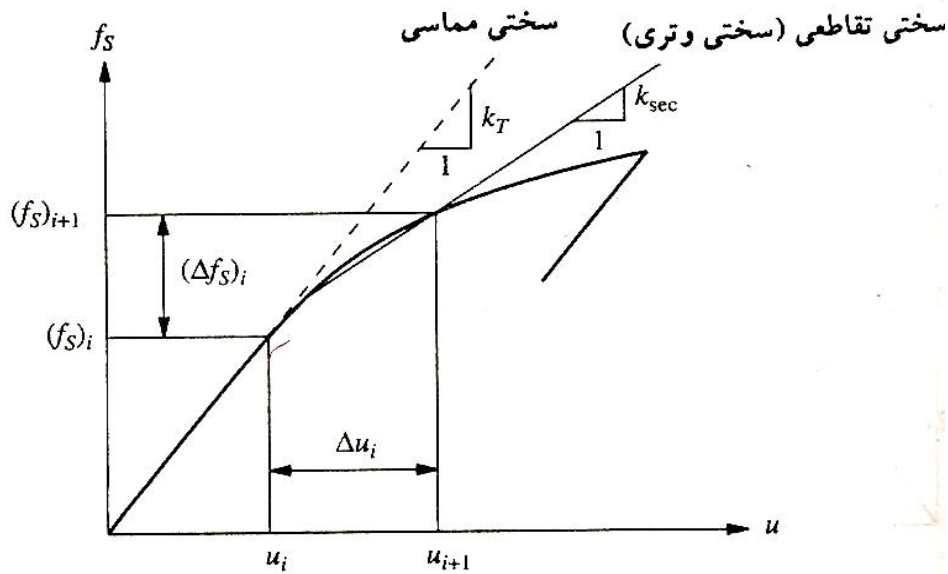
با تعیین  $\Delta u_i$  می توان،  $\Delta \dot{u}_i$  و  $\Delta \ddot{u}_i$  را از روابط (۷-۱۱) و (۷-۱۲) و  $u_{i+1}$  و  $\dot{u}_{i+1}$  و  $\ddot{u}_{i+1}$  را از رابطه (۷-۸)، تعیین نمود.

در یک سیستم غیر خطی معادله (۷-۱۳) تبدیل به معادله زیر خواهد شد:

$$m\Delta \ddot{u}_i + c\Delta \dot{u}_i + (\Delta f_s)_i = \Delta P_i \quad (18-7)$$

$$(\Delta f_s)_i = (k_i)_{\text{sec}} \Delta u_i \quad (19-7)$$

در معادله فوق  $(k_i)_{\text{sec}}$  سختی وترئی (تقاطععی) است که در شکل (۷-۶) نشان داده شده است.



شکل (۶-۷) : سختی وتری و سختی مماسی

سختی وتری قابل تعیین نیست، زیرا تابعی از مجهول  $u_{i+1}$  می باشد. بنابراین در گام کوچک زمانی سختی وتری با سختی مماسی  $(k_i)_T$ ، تعویض می گردد و رابطه (۷-۱۹) تبدیل به رابطه زیر می شود:

$$(\Delta f_s)_i \approx (k_i)_T \Delta u_i \quad (۷-۲۰)$$

ولی استفاده از  $k_T$  باعث خطا می شود، که در شکل (۷-۷) قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می کنید، اگر این اختلاف در چند گام زمانی پی در پی تکرار گردد، ممکن است باعث خطای قابل توجهی شود. این خطاها را می توان با استفاده از روش تکرار در هر گام زمانی به حداقل رساند.

رابطه کلیدی که در هر گام زمانی حل می گردد، رابطه (۷-۱۴) می باشد، که برای سیستمهای غیر خطی به صورت زیر در می آید:

$$\hat{k}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}_i \quad (۲۱-۷)$$

که در آن  $\Delta \hat{P}_i$  طبق رابطه (۷-۱۶) و  $\hat{k}_i$  طبق رابطه زیر به دست می آید :

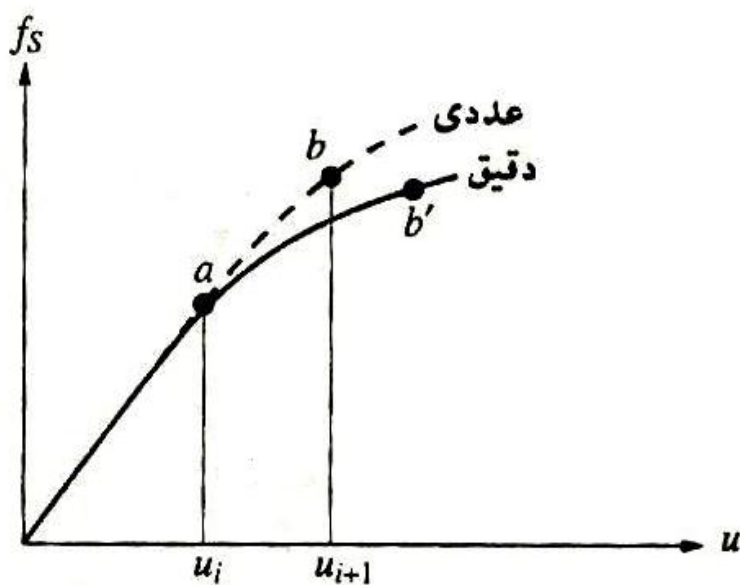
$$\hat{k}_i = k_i + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m \quad (۲۲-۷)$$

برای این که تأکیدی برسختی مماسی باشد ، به جای زیر نویس  $i$  ، از زیر نویس  $t$  استفاده می شود.

در نتیجه داریم :

$$\hat{k}_T \Delta u = \Delta \hat{P} \quad (۲۳-۷)$$

$$\hat{k}_T = k_T + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m \quad (۲۴-۷)$$

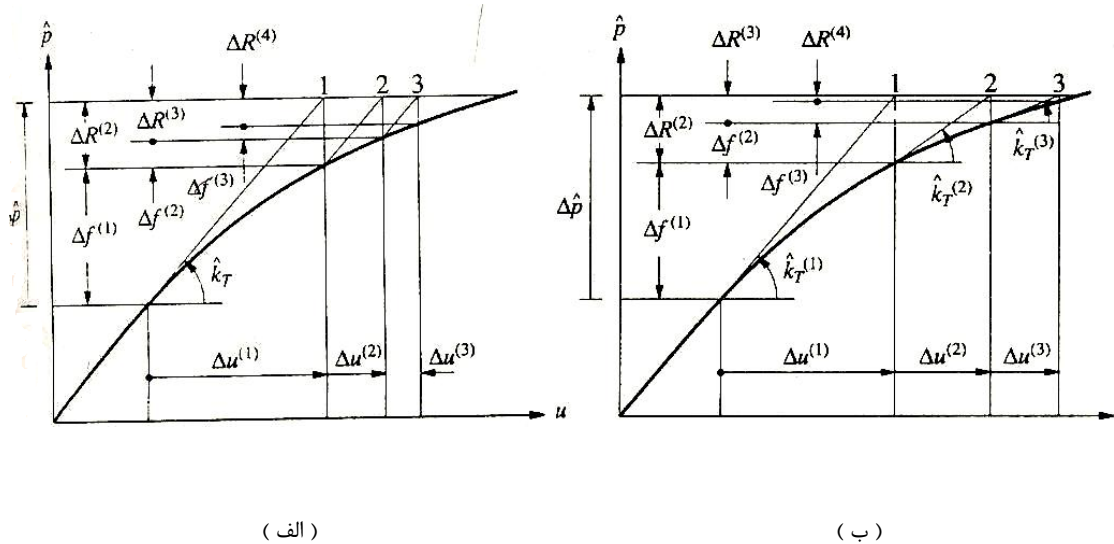


شکل (۷-۷) : خطای استفاده از سختی مماسی

شکل (۷-۸-الف) رابطه (۲۳-۷) را به طور شماتیک نشان می دهد .

با توجه به شکل ( ۷-۸-الف ) ، اولین گام تکرار به صورت زیر انجام می شود :

$$\hat{k}_T \Delta u^{(1)} = \Delta \hat{P}$$



شکل ( ۷-۸ ) : تکرار در یک گام زمانی برای سیستمهای غیر خطی . ( الف ) تکرار نیوتن رافسون اصلاح شده ، ( ب ) تکرار نیوتن رافسون

به منظور تعیین  $\Delta u^{(1)}$  ( مربوط به نقطه b در شکل ۷-۷ ) ، که اولین تقریب برای مقدار نهایی  $\Delta u$  ( مربوط به نقطه b' در شکل ۷-۷ ) است ، به طریق زیر عمل می شود .

متناظر با تغییر مکان  $\Delta u^{(1)}$  ، نیروی واقعی  $\Delta f^{(1)}$  وجود دارد ، که کمتر از  $\Delta \hat{P}$  می باشد . در نتیجه نیروی باقیمانده طبق رابطه زیر حاصل می گردد :

$$\Delta R^{(2)} = \Delta \hat{P} - \Delta f^{(1)}$$

تغییر مکان اضافی  $\Delta u^{(2)}$  به علت این نیروی باقیمانده مطابق زیر محاسبه می گردد :

$$\hat{k}_T \Delta u^{(2)} = \Delta R^{(2)} = \Delta \hat{P} - \Delta f^{(1)}$$



از این تغییر مکان اضافی به منظور تعیین مقدار جدیدی برای نیروی باقیمانده استفاده می شود ، و فرآیند تا آنجا ادامه می یابد ، که همگرایی حاصل گردد . این فرآیند تکرار برای گام زمانی  $i$  تا  $i+1$  ، که به روش نیوتن رافسون اصلاح شده موسوم است ، در جدول ( ۷-۲ ) به طور خلاصه ارائه شده است .

جدول ( ۷-۲ ) : روش تکرار نیوتن رافسون اصلاح شده

۱- داده های اولیه			
$u_{i+1}^{(0)} = u_i$	$f_s^{(0)} = (f_s)_i$	$\Delta R^{(1)} = \Delta \hat{P}_i$	$\hat{k}_t = \hat{k}_i$
۲- محاسبات برای هر تکرار ( $j = 1, 2, 3, \dots$ ) .			
$\hat{k}_t \Delta u^{(j)} = \Delta R^{(j)} \Rightarrow \Delta u^{(j)}$			۱-۲
$u_{i+1}^{(j)} = u_{i+1}^{(j-1)} + \Delta u^{(j)}$			۲-۲
$\Delta f^{(j)} = f_s^{(j)} - f_s^{(j-1)} + (\hat{k}_t - k_t) \Delta u^{(j)}$			۳-۲
$\Delta R^{(j+1)} = \Delta R^{(j)} - \Delta f^{(j)}$			۴-۲
۳- تکرارهای بعدی . $j+1$ را جایگزین $j$ نموده و محاسبات گامهای ۲-۱ تا ۲-۴ را تکرار نمایید .			

فرآیند تکرار بعد از  $l$  تکرار ، زمانی خاتمه می یابد که تغییر مکان نموی  $\Delta u^{(l)}$  در مقایسه با

$$\frac{\Delta u^{(l)}}{\Delta u} < \varepsilon \quad \Delta u = \sum_{j=1}^l \Delta u^{(j)} \quad \text{، خیلی کوچک شده باشد . به عبارت دیگر :}$$

در نتیجه نمو تغییر مکان در گام زمانی  $i$  تا  $i+1$  از رابطه زیر به دست می آید :

$$\Delta u_i = \sum_{j=1}^l \Delta u^{(j)}$$

نتیجه حاصل مقدار دقیق  $\Delta u_i$  است ، و با معلوم بودن آن دنباله محاسبات مثل قبل انجام می شود .

## ۷-۳-۲- روش تاریخچه زمانی غیر خطی مودال ( FNA ) :

روشی که در SAP 2000 برای تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی به کار برده می شود ، گسترشی از روش تحلیل غیر خطی سریع ( FNA ) است ، که توسط پروفسور ویلسون ارائه شده است . این روش برای استفاده در سیستمهای سازه ای که اساسا ارتجاعی خطی می باشند ، اما دارای تعداد محدودی المانهای غیر خطی از پیش تعریف شده می باشند ، طراحی شده است .

معادله تعادل دینامیکی یک سازه ارتجاعی خطی دارای المانهای غیر خطی از پیش تعریف شده می تواند به صورت زیر نوشته شود :

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K_L u(t) + r_n(t) = r(t)$$

که در این معادله  $K_L$  ماتریس سختی المانهای ارتجاعی خطی ( تمام المانها به غیر از المانهای Nlink ) می باشد .  $C$  ماتریس میرایی ،  $M$  ماتریس قطری جرم ،  $r_n$  بردار نیروهای حاصل از درجات آزادی غیر خطی المان های Nlink ،  $u$  ،  $\dot{u}$  و  $\ddot{u}$  به ترتیب جابه جایی نسبی ، سرعت نسبی و شتاب نسبی با توجه به زمین ، و  $r$  بردار بارهای وارده می باشند .

جهت انجام تحلیل ، یک سختی مؤثر برای هر درجه آزادی المان های غیر خطی تعریف می شود . مقدار سختی مؤثر در درجه های آزادی غیر خطی دلخواه است ، اما معمولا بین صفر و بیشترین مقدار سختی آن درجه آزادی تغییر می کند .

معادله تعادل می تواند به شکل زیر نوشته شود :

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = r(t) - [r_n(t) - K_N u(t)]$$

در این معادله ،  $K = K_L + K_N$  است ، که  $K_L$  سختی تمام المان های خطی و درجات آزادی خطی

و درجات آزادی خطی المان های Nlink و  $K_N$  ماتریس سختی مؤثر تمام درجات آزادی غیر خطی می باشد .

تحلیل مودال با استفاده از ماتریس سختی کامل  $K$  و ماتریس جرم  $M$  انجام می گیرد . به طور اکید توصیه می شود که از روش بردارهای ریتز جهت تحلیل مودال استفاده شود .

با استفاده از روشهای استاندارد ، معادله تعادل می تواند در شکل مودال به صورت زیر نوشته شود :

$$I\ddot{y}(t) + \Lambda\dot{y}(t) + \Omega^2 y(t) = q(t) - q_N(t)$$

که در آن  $\Omega^2$  ماتریس قطری مربعات فرکانس های سازه می باشد که از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Omega^2 = \Phi^T K \Phi$$

$$\Lambda = \Phi^T C \Phi$$

$\Lambda$  ماتریس میرایی مودال که قطری فرض می شود .

$I$  ماتریس شناسه می باشد که رابطه زیر را اقنا می کند :

$$I = \Phi^T M \Phi$$

$q(t)$  بردار مودی بارهای وارد شده می باشد :

$$q(t) = \Phi r(t)$$

$q_N(t)$  بردار نیروهای مودی ناشی از المان های غیر خطی می باشد :

$$q_N(t) = \Phi^T [r_n(t) - K_N u(t)]$$

و  $y(t)$  بردار جا به جایی مودی می باشد ، طوری که :

$$u(t) = \Phi y(t) \quad \text{و} \quad \dot{u}(t) = \Phi \dot{y}(t) \quad \text{و} \quad \ddot{u}(t) = \Phi \ddot{y}(t)$$

## ۷-۴- کنترل برنامه کامپیوتری :

در این تحقیق جهت تحلیل سازه ها با پایه گیردار و جداسازی شده از پایه با خروج مرکزیت های مختلف و تحت شتاب نگاشت زلزله ، از برنامه کامپیوتری (SAP 2000 (Ver 9.0.3 که قابلیت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی را دارا می باشد ، استفاده شده است .

به منظور کنترل صحت برنامه و همچنین نحوه مدلسازی روسازه و سیستم جداسازها ( با رفتار دو خطی ) ، دو مدل که در مراجع [3] و [9] آورده شده است ، توسط برنامه SAP 2000 تحلیل می گردد . با مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج موجود در مراجع [3] و [9] صحت برنامه کامپیوتری تأیید می گردد .

## ۷-۴-۱- مثال شماره ۱ :

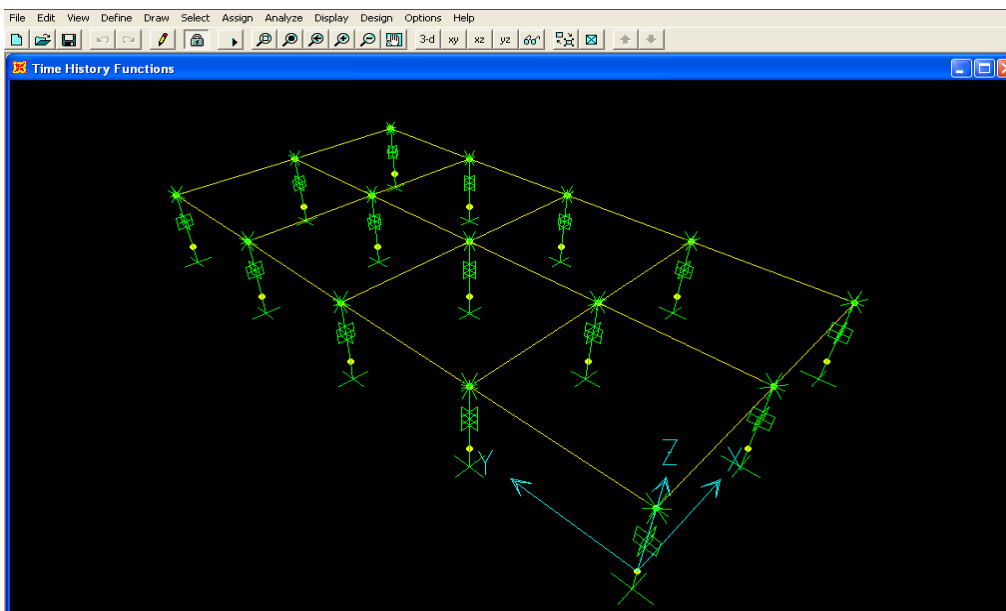
این مثال که در مرجع شماره [3] آورده شده است ، یک ساختمان سه طبقه دارای سه ردیف ستون است ، که در هر ردیف پنج عدد ستون قرار دارد و فواصل آنها از یکدیگر از هر طرف ۱۰ متر می باشد . ( شکل ۷-۹ )

برای این ساختمان دو نوع جداساز انتخاب شده است . برای جداسازهای خارجی نوع A و برای جداسازهای داخلی از نوع B استفاده شده است . مشخصات جداسازها در جدول ( ۷-۳ ) آمده است . فرض می شود که دیافراگم کفی که در بالای صفحه جداسازها واقع است ، صلب و در صفحه خود قرار دارد .

به دلیل این که نسخه SAP 2000 ارائه شده در این مثال آموزشی و محدود به ۳۰ گره می باشد،

دو طبقه بالای این دیافراگم مدل نشده و جرم کل ساختمان مستقیماً بر روی این دیافراگم قرار

داده شده است . همچنین خروج از مرکزیت نیز در این مثال در نظر گرفته نشده و مرکز جرم در محل مرکز دیافراگم قرار داده شده است .

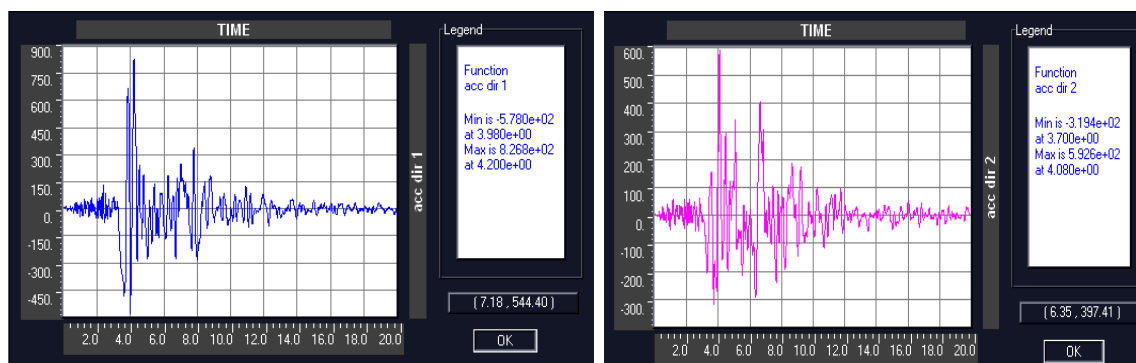


شکل ( ۷-۹ ) : پلان مدل سازی شده در مرجع [ 3 ]

جدول ( ۷-۳ ) : مشخصات جداسازها

نسبت سختی پس تسلیم به پیش تسلیم	نیروی تسلیم (ton)	سختی اولیه (ton/m)	سختی مؤثر ( $k_{eff}$ ) (ton/m)	نوع جداساز
0.043	7.94	794	110	A
0.055	12.70	1270	190	B

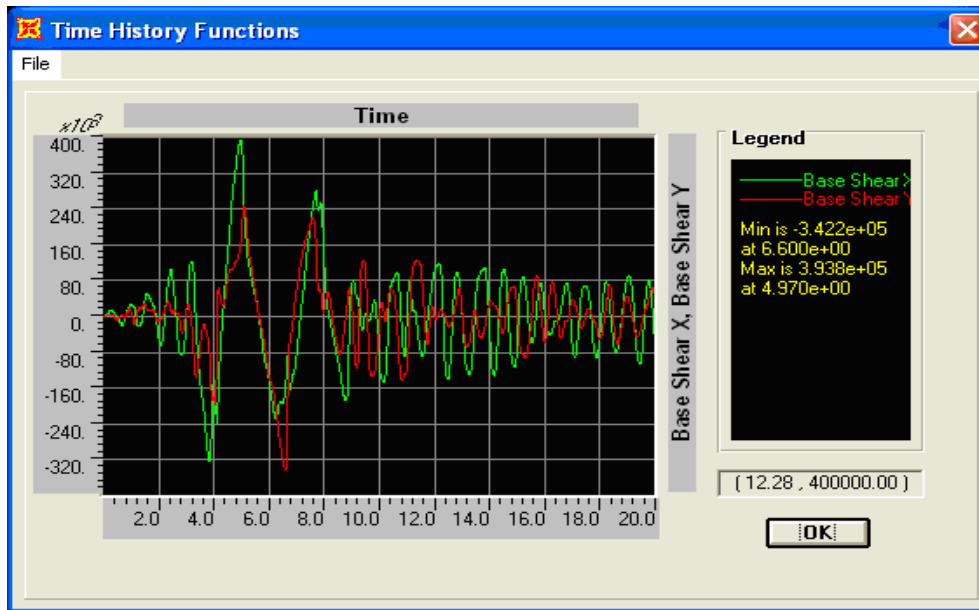
پاسخ این سیستم تحت تاریخچه زمانی مربوط به مؤلفه های افقی زلزله سال ۱۹۹۴ نورث ریج در سیلمار بررسی شده است . ( شکل ۷-۱۰ )



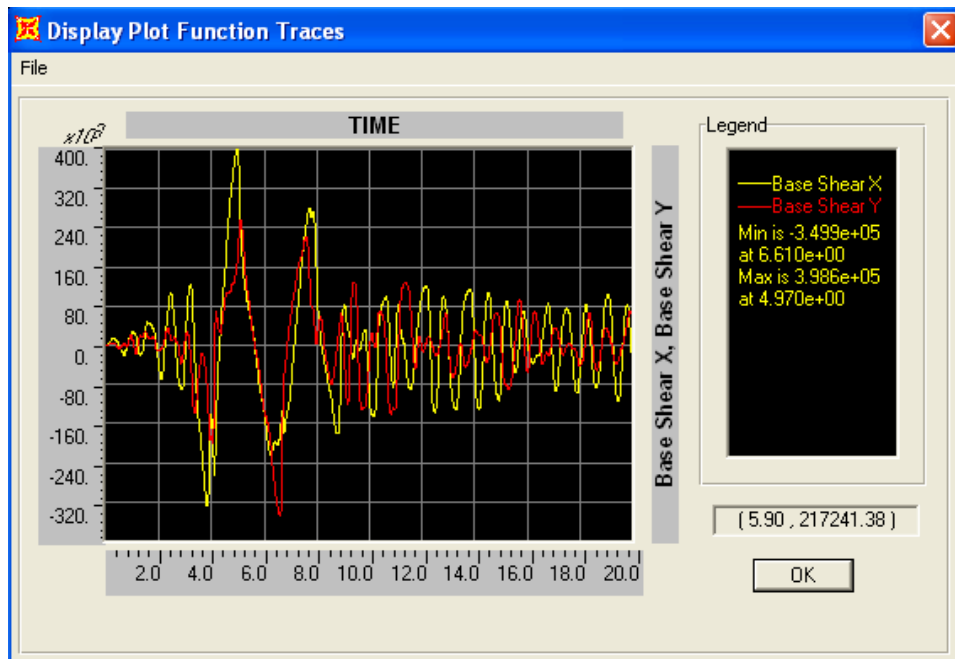
شکل ( ۷-۱۰ ) : مؤلفه های افقی زلزله نورث ریج در سیلمار

این سیستم در برنامه SAP 2000(ver 9.0.3) مدل سازی و تحلیل گردیده و پاسخ آن با پاسخ های موجود در مرجع [3] مقایسه شده است .

همان طور که در اشکال ( ۷-۱۱ ) ، ( ۷-۱۲ ) و ( ۷-۱۳ ) مشاهده می گردد ، بین پاسخهای حاصل از مدل سازی انجام شده و پاسخهای موجود در مرجع [3] تطابق بسیار خوبی وجود دارد .

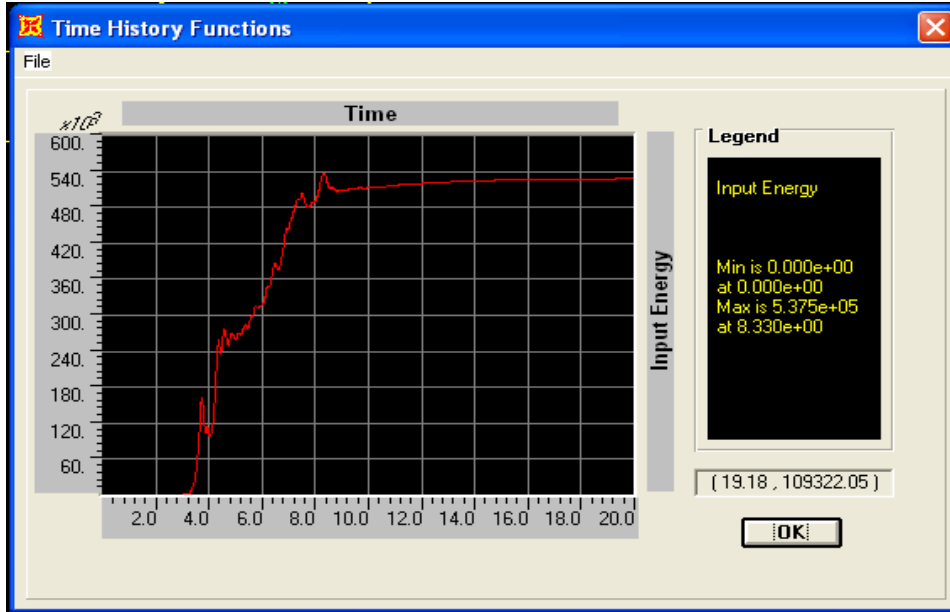


(۱۱-۷ الف) : مقادیر برش پایه تحت زلزله نورث ریج ( مرجع [ 3 ] )

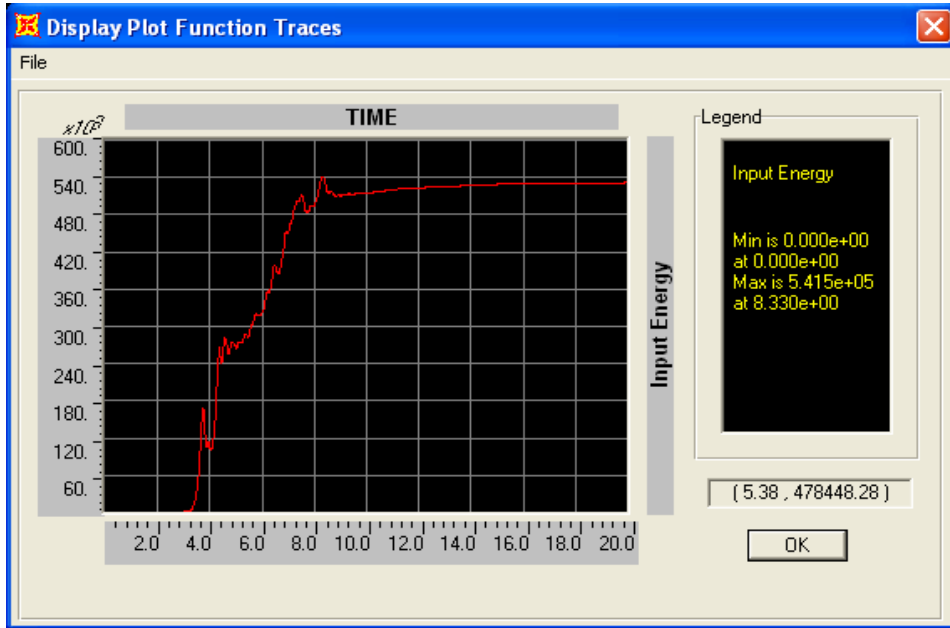


(۱۱-۷ ب) : مقادیر برش پایه تحت زلزله نورث ریج ( مدلسازی شده )

شکل (۱۱-۷)



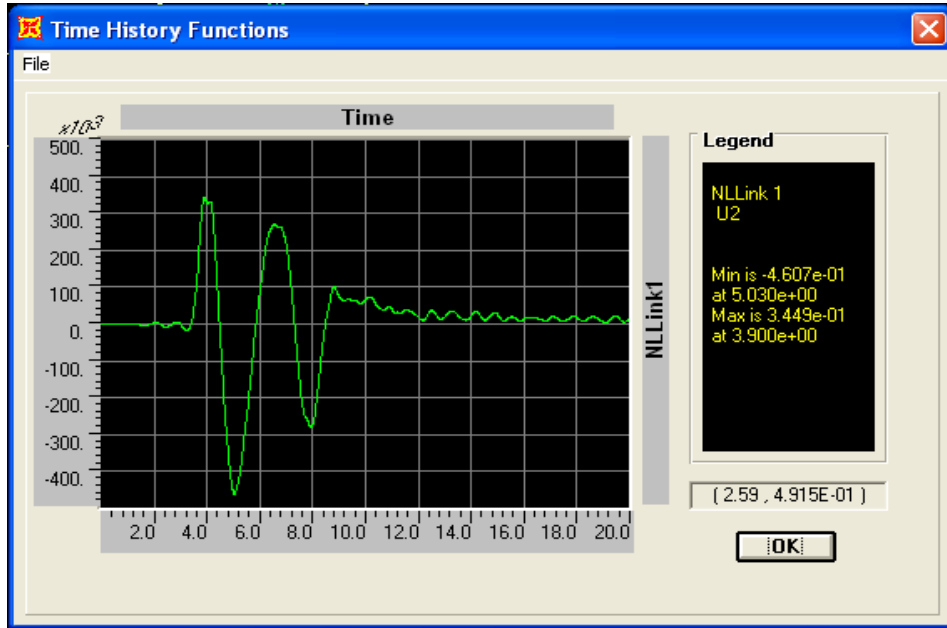
( ۷-۱۲-الف ) : انرژی ورودی تحت زلزله نورث ریچ ( مرجع [ 3 ] )



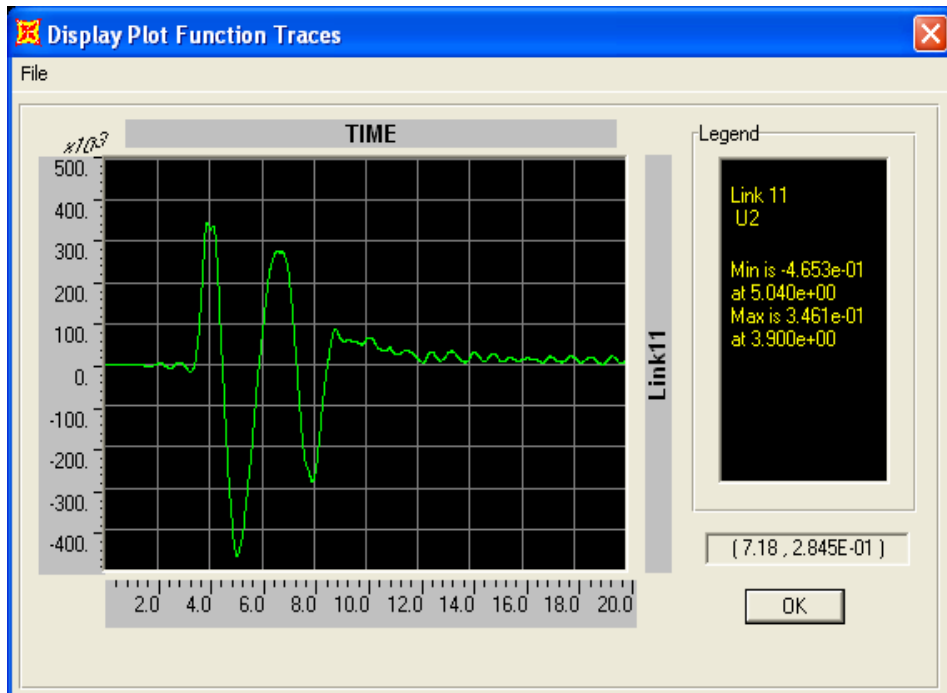
( ۷-۱۲-ب ) : انرژی ورودی تحت زلزله نورث ریچ ( مدلسازی شده )

شکل ( ۷-۱۲ )





( ۷-۱۳-الف ) : نیروی برشی در یک جداساز کناری ( مرجع [ 3 ] )

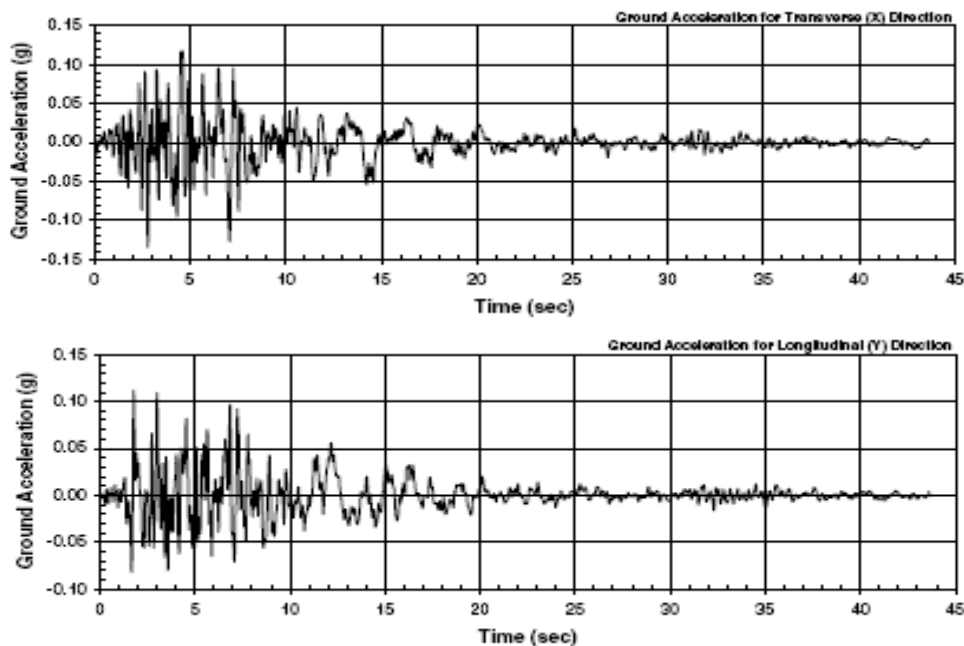


( ۷-۱۳-ب ) : نیروی برشی در یک جداساز کناری ( مدل سازی شده )

شکل ( ۷-۱۳ )

۷-۴-۲- مثال شماره ۲ :

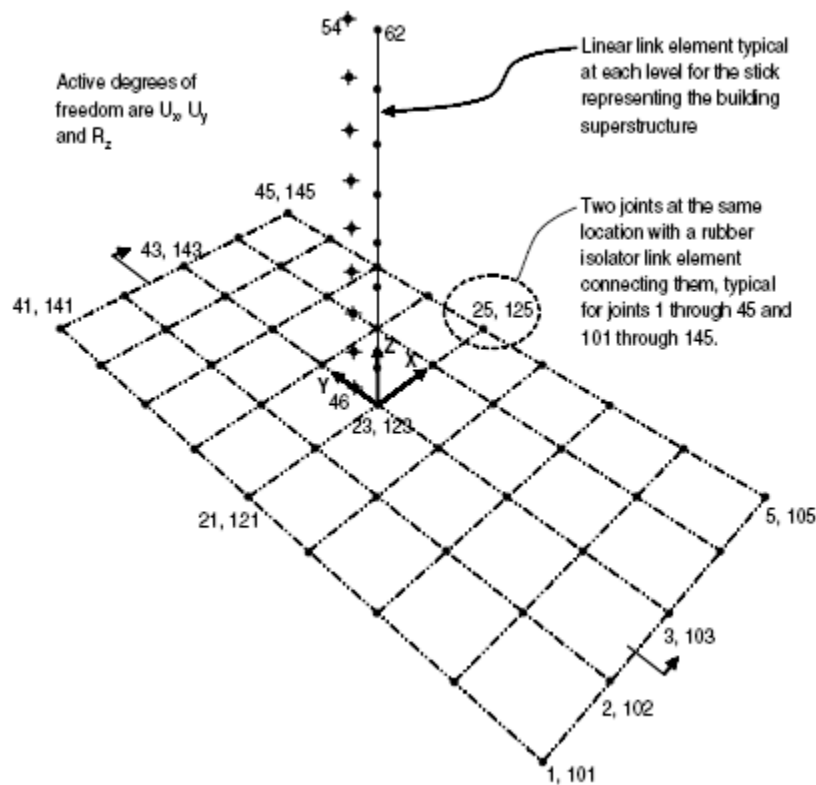
این مثال که در مراجع [7] و [9] آورده شده است ، یک ساختمان ۸ طبقه است که به وسیله ۴۵ نشیمن لاستیکی جداسازی لرزه ای شده است . مدل مذکور تحت رکورد افقی زلزله سال ۱۹۷۱ سان فرناندو قرار گرفته است . ( شکل ۷-۱۴ )



شکل ( ۷-۱۴ ) : مؤلفه های افقی زلزله سان فرناندو

پاسخهای موجود از تحلیل این سیستم به وسیله برنامه SAP 2000 اعم از جابجایی نسبی ( نسبت به سیستم جداساز ) روسازه ، شتابهای روسازه ، نیروها و تغییر شکلهای جداساز ، با نتایج به دست آمده از این مدل در برنامه 3D-BASIS مقایسه شده است . در مدل مذکور شکل ( ۷-۱۵ ) ، روسازه همانند یک مدل میله ای<sup>۱</sup> و با استفاده از المانهای خطی ( Linear Link )

مدل شده است . روسازه میله ای از گره ۲۳ شروع و تا گره ۶۲ ادامه می یابد . گره های ۴۶ تا ۵۴ نمایانگر مرکز جرم طبقات روسازه هستند که دارای خروج از مرکزیتی به میزان ۸ فوت در جهت Y می باشند .



شکل (۷-۱۵) : مدل میله ای سازه [7]

فقط درجات آزادی  $U_x$  و  $U_y$  و  $R_z$  جهت آنالیز فعال می شوند . فرض می شود که روسازه دارای ۳٪ میرایی مودال و سیستم جداساز بدون میرایی مودال باشند . مشخصات جداسازها و روسازه در جدول های (۷-۴) و (۷-۵) نشان داده شده اند . جهت تحلیل این مدل در برنامه SAP 2000 سه نوع آنالیز اجرا می شود ، که در جدول (۷-۶) کاربرد هر یک از آنها مشخص گردیده است .

جدول ( ۴-۷ ) : مشخصات جداسازها [7]

نسبت سختی پس تسلیم به سختی پیش تسلیم	نیروی تسلیم $F_y$ $k$	سختی اولیه $k$ $k/in$	سختی مؤثر $k_{eff}$ $k/in$
0.1887	12.8	25.6	6.55

جدول ( ۵-۷ ) : مشخصات روسازه [9]

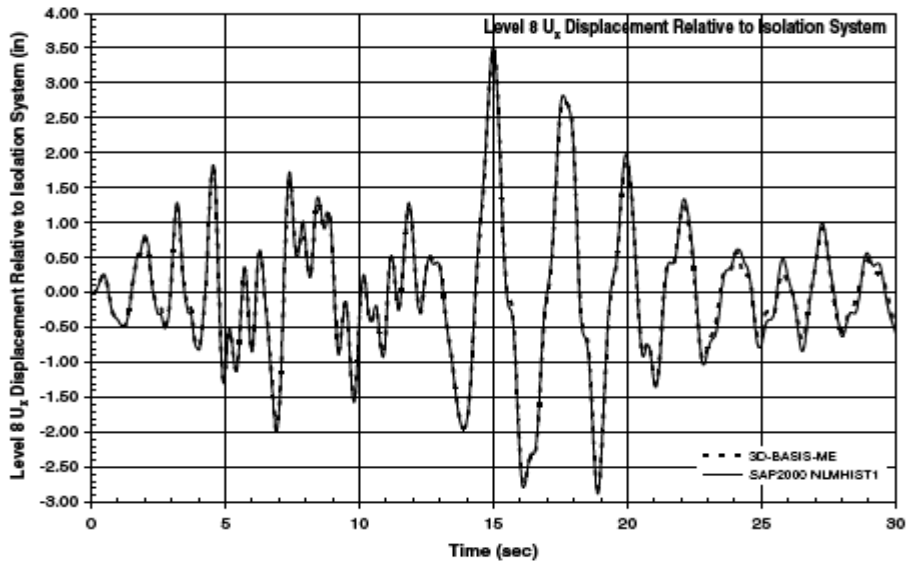
سختی پیچشی $kips - in$	سختی $kips/in$	ممان اینرسی جرمی $(kips - in - sec^2)$	وزن $(kips)$	طبقه
1997933760	1700.0	1272642.5	1280	8
1997933760	1700.0	1272642.5	1280	7
2996900640	2551.3	1272642.5	1280	6
2996900640	2551.3	1272642.5	1280	5
2996900640	2551.3	1272642.5	1280	4
3995867520	3401.8	1272642.5	1280	3
3995867520	3401.8	1272642.5	1280	2
3995867520	3401.8	1272642.5	1280	1
		1272642.5	1280	Base

جدول ( ۶-۷ ) : انواع تحلیل و کاربرد آن [7]

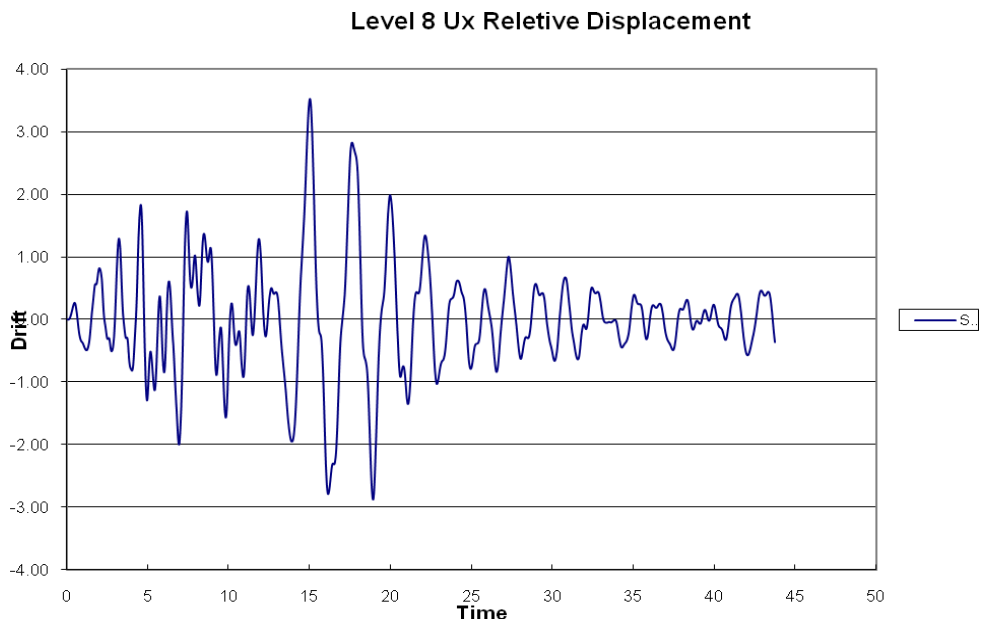
نوع تحلیل	توضیحات
RITZ	آنالیز مودال با استفاده از بردار ریتز برای تعیین مودهای سازه . ۹۹ مود تعیین می شود ، که برنامه به طور خودکار ۲۷ مود ممکن را در نظر می گیرد .
NLMHIST1	آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی مودال که از مودهای به دست آمده از آنالیز RITZ استفاده می کند . در این آنالیز ۳٪ میرایی مودال جهت کلیه مودها به جز مودهای ۱ و ۲ و ۳ که مربوط به سیستم جداساز هستند ، به کار می رود .
NLDHIST1	آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی به روش انتگرال گیری مستقیم .

پس از انجام تحلیل این مدل به وسیله برنامه SAP 2000 ، پاسخهای به دست آمده با پاسخهای موجود در مرجع [7] مقایسه می گردد . شکل های ( ۷-۱۶ ) ، ( ۷-۱۷ ) و ( ۷-۱۸ ) این مقایسه را نشان می دهد . همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود ، پاسخهای به دست آمده از تحلیل با پاسخهای موجود مطابقت دارد .

با توجه به دو مثال ذکر شده ، می توان به صحت عملکرد برنامه SAP 2000 به کار گرفته شده در این تحقیق ، پی برد .

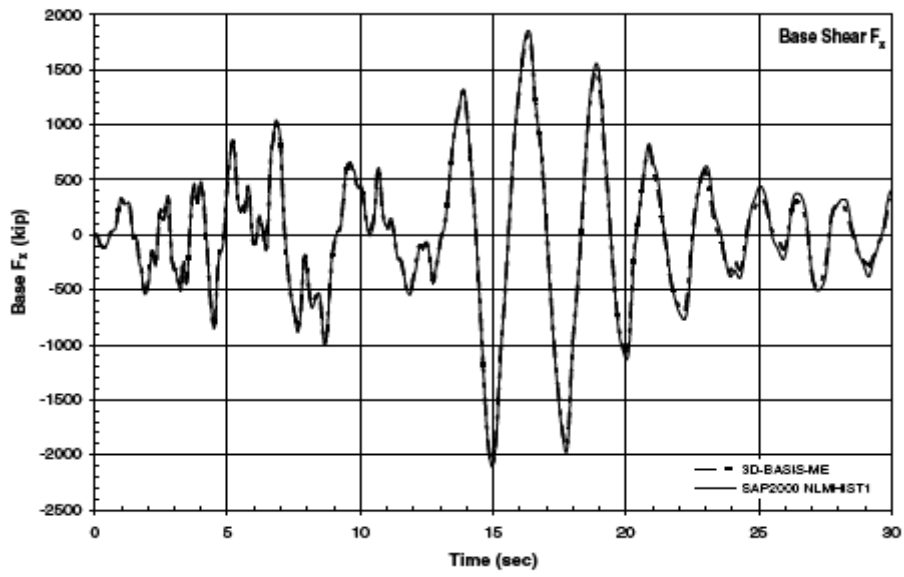


(۷-۱۶ الف) : تغییر مکان طبقه هشتم نسبت به سیستم جداساز در جهت X [7]



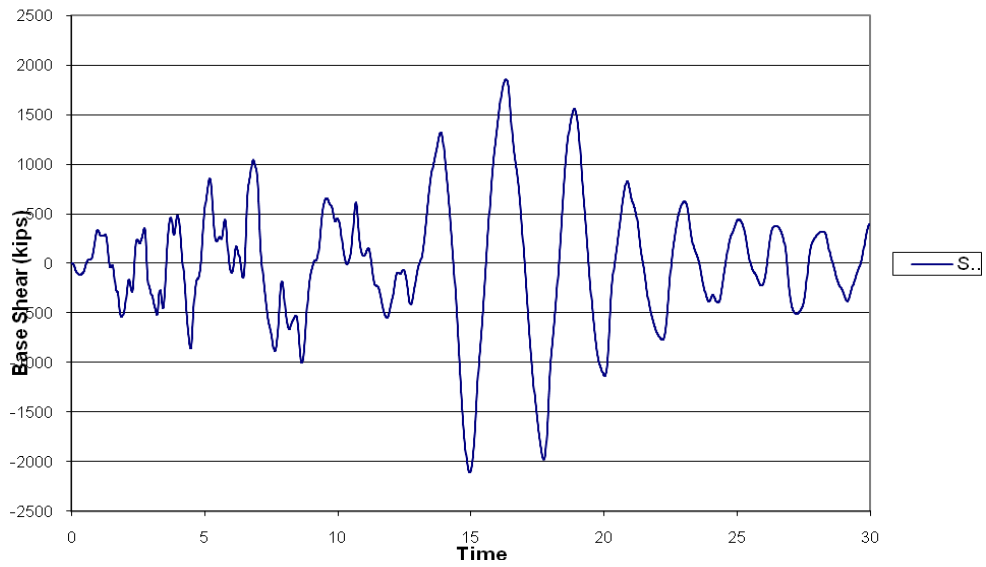
(۷-۱۶ ب) : تغییر مکان طبقه هشتم نسبت به سیستم جداساز به وسیله SAP 2000

شکل (۷-۱۶)



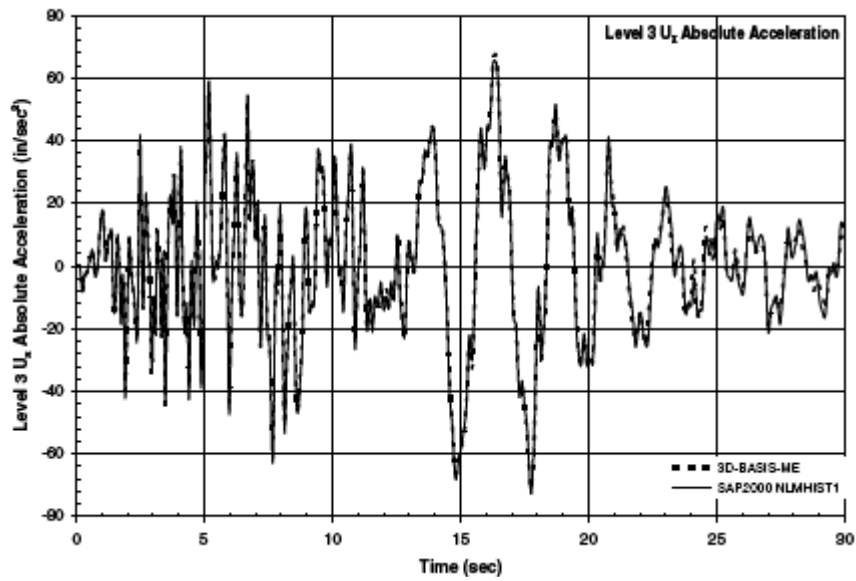
[7] (۱۷-۷-الف) : برش پایه در جهت X

Base Shear in X Direction

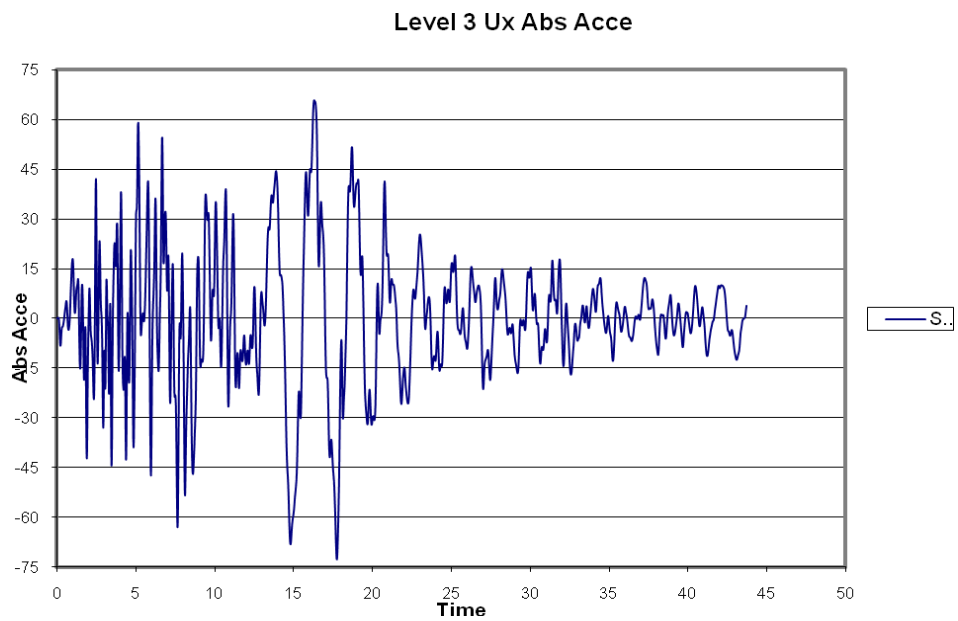


(۱۷-۷-ب) : برش پایه به دست آمده از SAP 2000

شکل (۱۷-۷)



[ 7 ] ( ۷-۱۸-الف ) : شتاب طبقه سوم



( ۷-۱۸-ب ) : شتاب طبقه سوم به دست آمده از SAP 2000

شکل ( ۷-۱۸ )



# فصل هشتم

**بررسی رفتار سازه ها با جداسازی لرزه ای**

**پایه در مقابل زلزله**

## فصل هشتم: بررسی رفتار سازه‌ها با جداسازی لرزه‌ای در مقابل زلزله

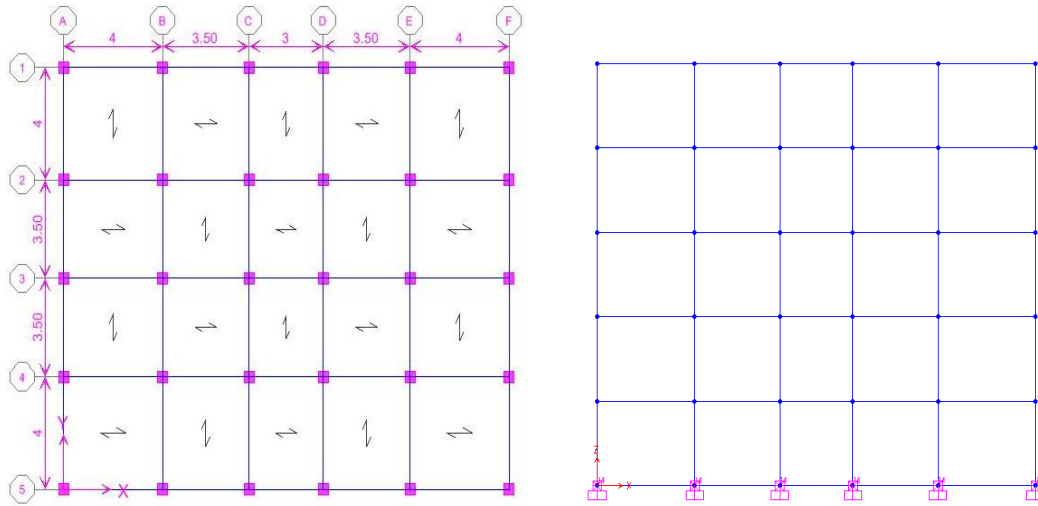
### مقدمه:

در این بخش به منظور بررسی رفتار سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زمین لرزه، از روش تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی استفاده می‌شود. در این روش جداساز با المانهای غیر خطی Rubber Isolator، برنامه SAP 2000 (ver 9.0.3)، که دارای رفتار دو خطی می‌باشند، مدل‌سازی و تحلیل می‌گردد. در اصل مدل خطی از سازه بر روی المانهای غیر خطی جداساز قرار گرفته، و رفتار آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جهت این کار از یک سازه ۵ طبقه و تحت دو رکورد زلزله نورث ریج در سیلمار (۱۹۹۴) و طبس در ایران (۱۹۷۸) استفاده می‌گردد. پاسخ سازه با پایه گیردار و سازه جداسازی شده تحت هر یک از این رکوردها به دست آمده و بررسی می‌گردند.

### ۸-۱- معرفی سیستم سازه‌ای و ویژگیهای آن:

سیستم سازه‌ای در نظر گرفته شده یک ساختمان ۵ می باشد، که در شکل (۸-۱) نشان داده شده است. این سازه از نوع قاب خمشی بتن مسلح با کفهای دال بتنی است، که این کفها در صفحه خودشان صلب در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در برابر دوران حول محورهای X و Y، و انتقال در جهت Z مقید می‌شوند. جرمها در کف طبقات متمرکز شده اند. ساختمان جداسازی شده در تراز کف، دارای یک دال صلب به عنوان دال کف می‌باشد، که دارای جرم است. سیستم جداساز بین پی و دال کف قرار می‌گیرد. همان طور که گفته شد، درجات آزادی به صورت دو درجه آزادی انتقالی در جهت X و Y، و یک درجه آزادی دورانی حول محور Z در نظر

گرفته می شوند . ابعاد ستونها و وزن طبقات در جدول ( ۱-۸ ) نشان داده شده اند .

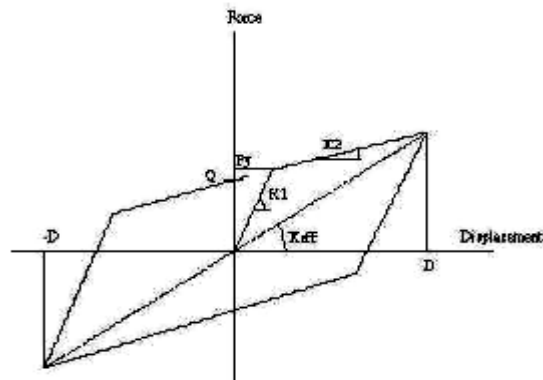


شکل ( ۱-۸ ) : پلان و مقطع سیستم سازه ای

جدول ( ۱-۸ ) : ابعاد ستونها و وزن طبقات

طبقه	ابعاد ستونها ( سانتیمتر )	وزن ( تن )
BASE		368
1	50X50	368
2	45X45	363
3	45X45	353
4	40X40	348
5	40X40	330

سختی انتقالی سیستم در جهات  $X$  و  $Y$  یکسان می‌باشد، لذا زمانهای تناوب انتقالی سیستم در دوجهد با هم برابرند. رفتار سازه فوقانی به صورت الاستیک در نظر گرفته می‌شود. مدلسازی جداسازها با استفاده از رفتار دو خطی آنها (شکل ۸-۲) انجام می‌شود.



شکل (۸-۲): مدل دو خطی جداسازها

در نتیجه رفتار این المانهای غیر خطی، حلقه‌های هیسترتیک در ضمن بارگذاری و باربرداری تشکیل می‌شود که سطح محصور بین این حلقه‌ها نشانگر انرژی مستهلک شده در جداسازها می‌باشد. برای این که بتوان اثر انعطاف پذیری سازه فوقانی را بر جداسازی نشان داد، از سه زمان تناوب برای روسازه (سازه با پایه گیردار)، استفاده شده است. این زمانهای تناوب عبارتند از: ۰/۴۶۲ ثانیه، ۰/۹۷۶ ثانیه و ۱/۴۵ ثانیه که با تغییر در سختی سازه به دست آمده‌اند. زمان تناوب ۰/۹۷۶ ثانیه، زمان تناوب خود سازه ۵ طبقه است. زمان تناوب ۱/۴۵ ثانیه، زمان تناوب یک سازه ۱۰ طبقه است که با کاهش سختی سازه ۵ طبقه زمان تناوب آن به زمان تناوب سازه ۱۰ طبقه افزایش یافته است. زمان تناوب ۰/۴۶۲ ثانیه، زمان تناوب سازه با سختی بیشتر (طبقات کمتر) است.

## ۸-۲- ویژگی جداسازها و زلزله های ورودی :

جهت مدلسازی جداسازها ، سه نوع جداساز انتخاب گردیده است . این سه نوع به گونه ای انتخاب شده اند که بتوان اثر تغییرات زمان تناوب و میرایی سیستم جداساز را بر رفتار سازه جداسازی شده نشان داد . مشخصات این جداگرها در جدول ( ۸-۲ ) آمده است . در این جدول مقدار  $K_1$  و  $K_2$  به ترتیب ، سختی اولیه ( پیش از تسلیم ) و سختی ثانویه ( پس از تسلیم ) سیستم جداگر و  $F_y$  نیروی تسلیم سیستم می باشد ، که بر حسب وزن سازه بیان شده است .

جدول ( ۸-۲ ) : مشخصات جداسازها

نوع جداساز	$T(s)$	$\beta_{eff}$	$K_1 (ton/cm)$	$K_2 / K_1$	$F_y (ton)$	$K_{eff}$
1	2	20%	0.06717W	0.1	0.1435W	0.01W
2	2	15%	0.076W	0.1	0.1055W	0.01W
3	3	20%	0.0298W	0.1	0.0638W	0.00447

سازه فوق تحت تحریک دو رکورد زلزله نورث ریچ ( ۱۹۹۴ ) در آمریکا و زلزله طبس ( ۱۹۷۸ ) در ایران قرار می گیرد . برای راستای طولی ساختمان (جهت X ) از مؤلفه شرقی غربی ، و برای راستای عرضی (جهت Y ) ، از مؤلفه شمالی جنوبی زلزله نورث ریچ ستفاده شده است . در زلزله طبس جهت راستای عرضی ساختمان از همان مؤلفه جهت طولی که به شتاب اوج 0.7g مقیاس شده ، استفاده گردیده است . جدول ( ۸-۳ ) مشخصات زلزله ها را نشان می دهد .

جدول ( ۳-۸ ) : مشخصات رکورد زلزله ها

	PGA (g)	PGA (g)
نام زلزله	جهت X	جهت Y
نورث ریچ	0.843	0.604
طیس	0.933	0.7

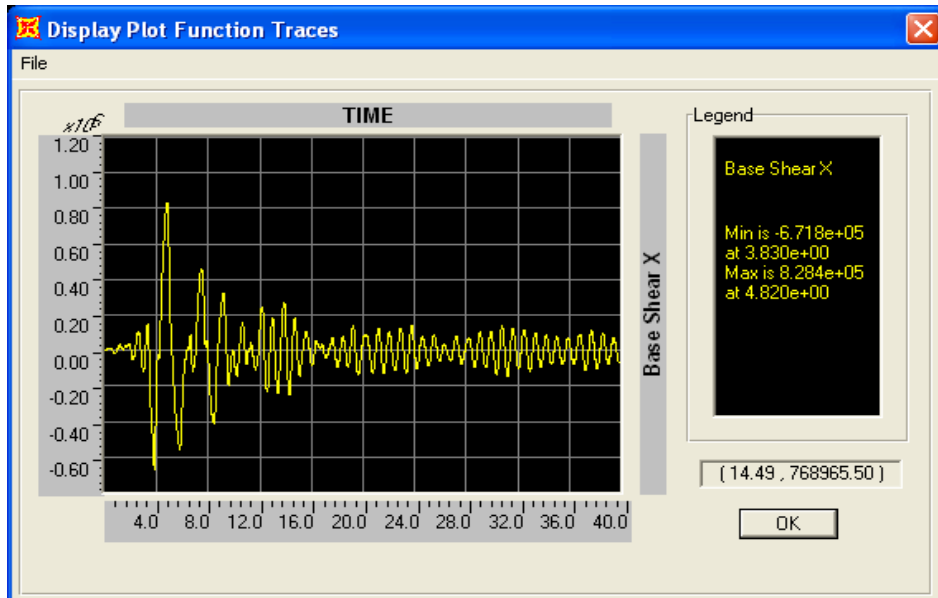
### ۳-۸- بررسی رفتار دینامیکی سازه جداسازی شده تحت زلزله نورث ریچ :

پس از مدل سازی و تحلیل سازه ، پاسخهای بدست آمده تحت زلزله نورث ریچ در دو سازه با پایه گیردار و سازه جداسازی شده ( تحت اثر سه نوع جداساز ) را بررسی می کنیم . این پاسخها شامل برش پایه ، شتاب بام و تغییر مکانهای نسبی طبقات می باشند . شکل ( ۳-۸ ) نمونه ای از این پاسخها را نشان می دهد .

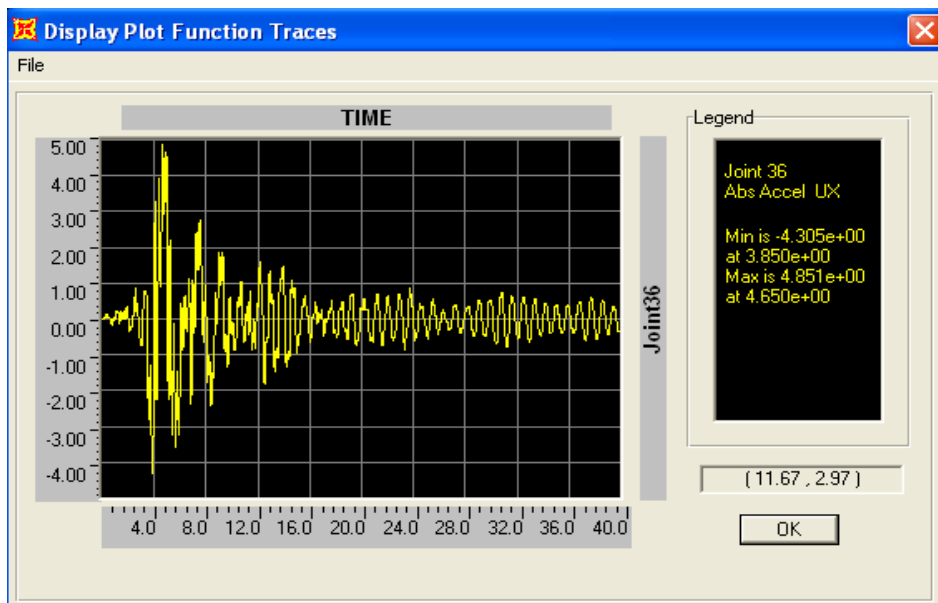
در جداول ( ۴-۸ ) ، ( ۵-۸ ) و ( ۶-۸ ) ، مقادیر برش پایه و شتاب بام در سازه جداسازی شده تحت اثر سه نوع جداساز و سازه با پایه گیردار را نشان داده شده اند .

شکلهای ( ۴-۸ ) و ( ۵-۸ ) ، نمودار مقادیر برش پایه و شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه (سازه با پایه گیردار) و همچنین مقدار کاهش آنها نسبت به سازه با پایه گیردار ، بر حسب درصد را نشان می دهند .

شکل ( ۶-۸ ) ، نمودار جابجایی نسبی طبقات را در سازه جداسازی شده با هر سه جداساز و سازه با پایه گیردار در حالیکه پیود سازه ( پایه گیردار ) ،  $0.462$  ثانیه ، سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ و ۲ ،  $2/03$  ثانیه و نوع ۳ ،  $3/004$  ثانیه می باشد ، را نشان می دهد .



( ۸-۳-الف ) : برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ ( زلزله نورث ریچ )



( ۸-۳-ب ) : شتاب بام در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز ۱ ( زلزله نورث ریچ )

شکل ( ۸-۳ )

جدول ( ۴-۸ )

( ۴-۸ الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله نورث ریج )

نوع جداساز	جداساز نوع ۱	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۳	پایه گیردار
زمان تناوب ( ثانیه )	2.03	2.03	3.004	0.462
برش پایه ( تن )	828.4	943.2	426	3327
شتاب بام ( $m/s^2$ )	4.851	5.117	2.790	29.39

( ۴-۸ ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله نورث ریج )

نوع جداساز	جداساز نوع ۱	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۳	پایه گیردار
زمان تناوب ( ثانیه )	2.03	2.03	3.004	0.462
برش پایه ( تن )	480.8	643.9	382	1865
شتاب بام ( $m/s^2$ )	3.395	3.259	1.902	18.22



جدول ( ۵-۸ )

( ۵-۸-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله نورث ریچ )

نوع جداساز	جداساز نوع ۱	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۳	پایه گیردار
زمان تناوب ( ثانیه )	2.153	2.153	3.085	0.976
برش پایه ( تن )	816.7	901.4	404.5	1839
شتاب بام ( $m/s^2$ )	6.129	6.728	3.348	25.46

( ۵-۸-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله نورث ریچ )

نوع جداساز	جداساز نوع ۱	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۳	پایه گیردار
زمان تناوب ( ثانیه )	2.153	2.153	3.085	0.976
برش پایه ( تن )	511.8	660	365.3	1029
شتاب بام ( $m/s^2$ )	5.96	6.14	3.560	12.35

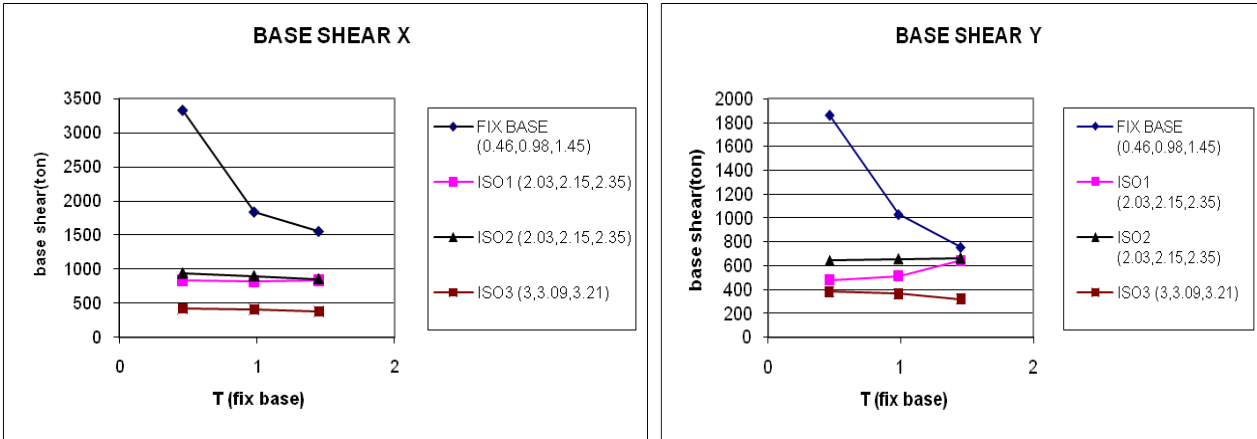
جدول ( ۶-۸ )

( ۶-۸-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله نورث ریچ )

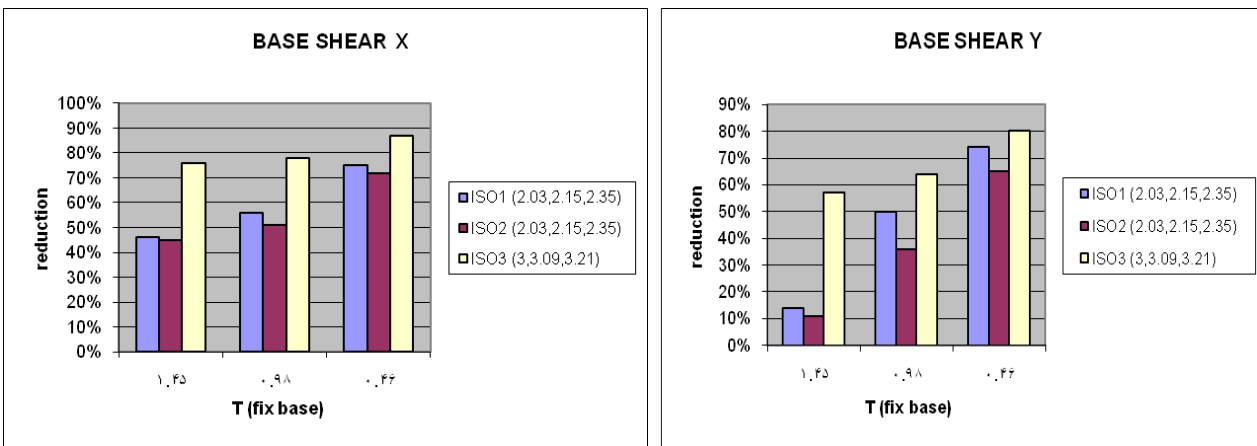
پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.445	3.21	2.345	2.345	زمان تناوب ( ثانیه )
1555	378.4	857.2	834.9	برش پایه ( تن )
23.31	3.267	6.650	6.933	شتاب بام ( $m/s^2$ )

( ۶-۸-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله نورث ریچ )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.445	3.21	2.345	2.345	زمان تناوب ( ثانیه )
752.4	321.2	667	644	برش پایه ( تن )
8.105	3.829	5.413	5.026	شتاب بام ( $m/s^2$ )

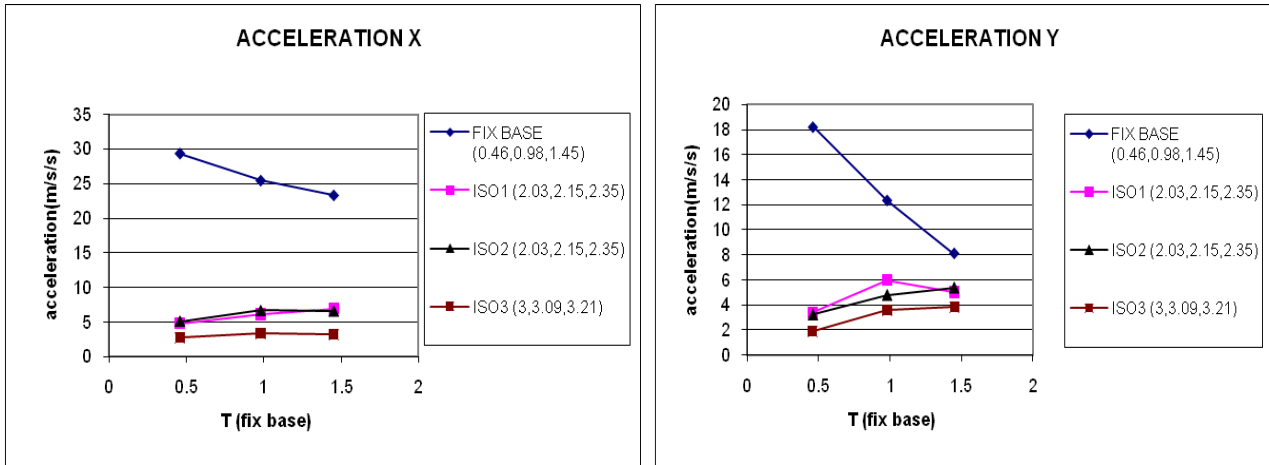


( ۸-۴ الف ) : نمودار برش پایه نسب به زمان تناوب روسازه ( زلزله نورث ریچ )

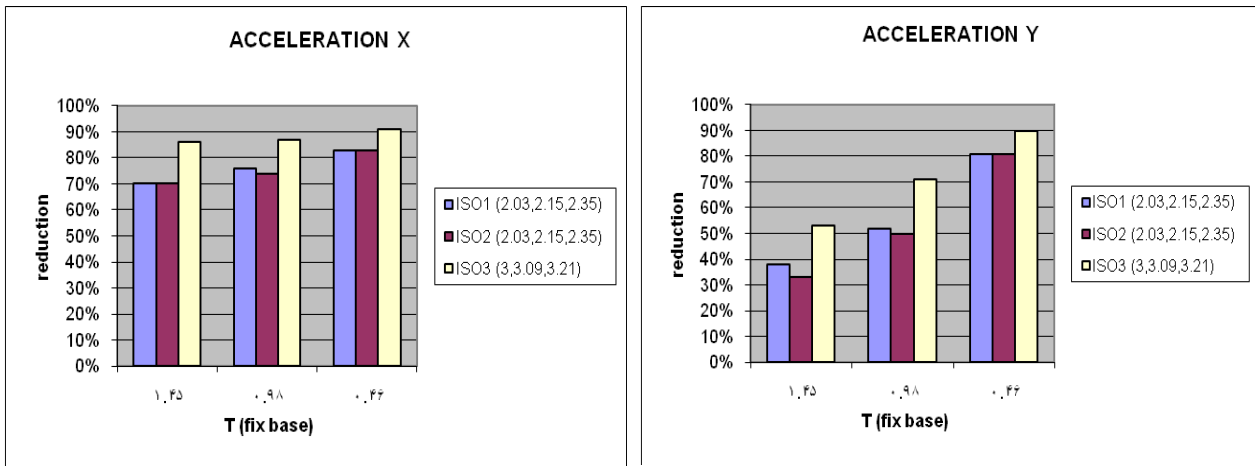


( ۸-۴ ب ) : نمودار درصد کاهش برش پایه سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله نورث ریچ )

شکل ( ۸-۴ )

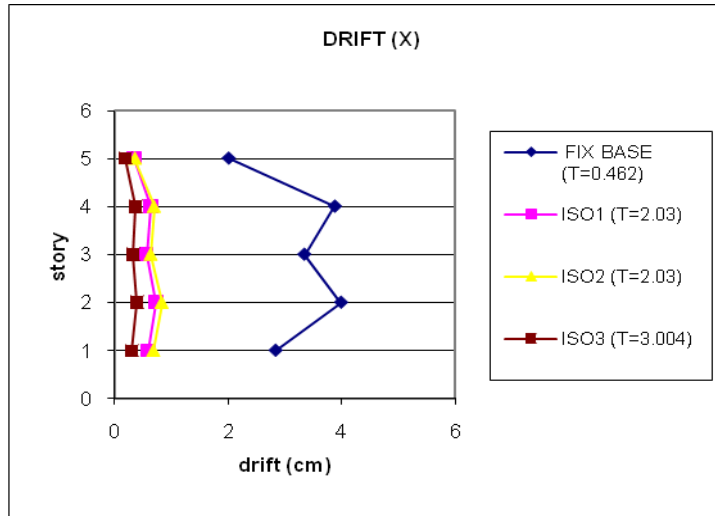


( ۸-۵-الف ) : نمودار شتاب بام نسب به زمان تناوب روسازه ( زلزله نورث ریچ )

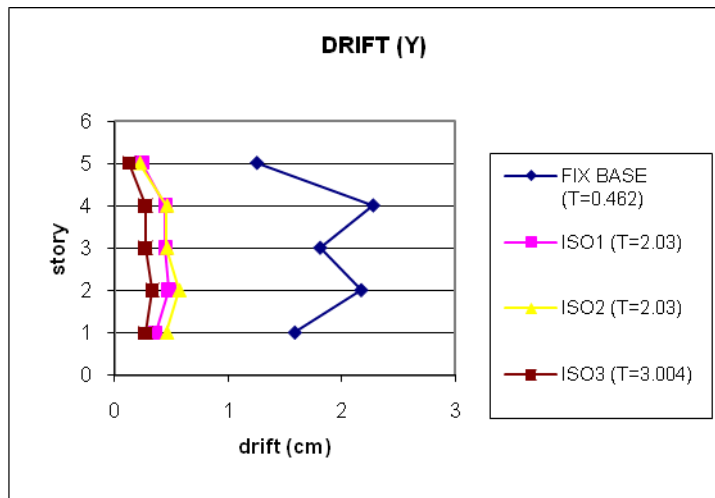


( ۸-۵-ب ) : نمودار درصد کاهش شتاب بام سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله نورث ریچ )

شکل ( ۸-۵ )



( ۸-۶-الف ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت X ( زلزله نورث ریچ )



( ۸-۶-ب ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت Y ( زلزله نورث ریچ )

شکل ( ۸-۶ )

شکلهای (۴-۸) ، (۵-۸) و (۶-۸) نشان می دهند که جداسازی لرزه ای باعث کاهش مقادیر برش پایه ، شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات می گردد .

همچنین بر طبق نمودارهای شکل (۴-۸) و (۵-۸) ، مشاهده می گردد که با افزایش انعطاف پذیری روسازه ( افزایش پرپود در سازه با پایه گیردار ) ، و در واقع کاهش درجه جداسازی ، مقدار کاهش برش پایه و شتاب طبقات سازه جداسازی شده نسبت به سازه جداسازی نشده ، کم شده و بنابر این از تأثیر جداسازی کاسته می شود .

در جداساز نوع ۳ ، که زمان تناوب در سازه جداسازی شده را بیشتر از نوع ۱ و ۲ ، افزایش می دهد پاسخها بیشتر کاهش یافته اند .

طبق نمودارها ، در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ ، که میرایی بیشتری نسبت به نوع ۲ دارد ، پاسخها مقداری کمتر هستند . بنابراین میرایی نیز تأثیر کمی بر روی کاهش پاسخها داشته است . هر چه روسازه انعطاف پذیرتر شده (زمان تناوب آن بیشتر شده) ، از تأثیر میرایی کاسته می شود و نمودار سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ و ۲ به هم نزدیکتر می گردند .

با توجه به نمودار شکل (۴-۸) ، مشاهده می گردد که مقدار کاهش برش پایه در حالتی که روسازه انعطاف پذیر است در جهت X بیشتر از جهت Y است . به عنوان مثال برش پایه در سازه با جداساز نوع ۲ ، در جهت X ، ۴۵٪ کاهش پیدا کرده است ، اما در جهت Y ، ۱۱٪ کاهش داشته است . با توجه به این که زمانهای تناوب سازه در دو جهت X و Y با هم برابر است ، برای توجیه این مطلب ، طیف پاسخ شتاب زلزله نورث ریج را در جهت Y مورد بررسی قرار می دهیم . استفاده از طیف پاسخ برای سیستمها با جداساز خطی بسیار مفید است ، اما با توجه به این که در اینجا

سیستم جداسازی غیر خطی می باشد، نمی توان از طیف پاسخی که برای سیستمهای خطی استفاده می شود، استفاده کرد. برای این منظور باید با استفاده از یک جرم صلب تنها که بر روی یک جداساز غیر خطی نصب شده و تحت تحریک زلزله مورد نظر قرار می گیرد، طیف پاسخ را به دست آورد. هر چند این مدل امکان نشان دادن اثرات مودهای بالاتر را ندارد، اما تقریب خوبی برای پاسخهای مود اول (برش پایه و تغییر مکان کلی) به دست می دهد.

با مدلسازی یک جرم تنها بر روی جداساز نوع ۲ و تحلیل مدل به دست آمده به وسیله نرم افزار SAP 2000، در زمانهای تناوب مورد نیاز مقادیر بیشینه شتاب را برداشت می کنیم. سپس نمودار طیف پاسخ شتاب بر حسب زمان تناوب را رسم می کنیم.

شکلهای (۷-۸)، طیف پاسخ شتاب (حاصل از سازه یک درجه آزادی خطی) را برای زلزله نورث ریج (جهت Y) بر حسب میرایی ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ نشان می دهد.

شکل (۸-۸)، طیف پاسخ شتاب را برای سازه یک درجه آزادی (جرم صلب تنها) بر روی جداساز نوع ۲ نشان می دهد. با توجه به این که مقادیر زمانهای تناوب کمتر از ۱ ثانیه در این طیف در این جا به کار نمی آید، این مقادیر رسم نشده اند.

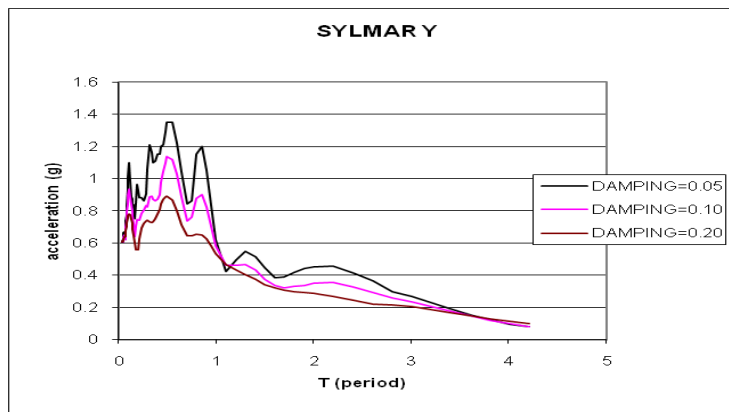
برای سازه پایه گیردار مقادیر شتاب را با توجه به زمان تناوب مود مربوطه از نمودار شکل (۷-۸) برداشت می کنیم. سپس ضریب مشارکت جرم هر مود را از نتایج تحلیل مدل مربوطه برداشت می نماییم. این عملیات را برای سازه جداسازی شده نیز انجام می دهیم، با این تفاوت که برای شتاب از نمودار شکل (۸-۸) استفاده می کنیم.

با توجه به این که سازه جداسازی شده یک دال اضافه دارد، جرم آن ۲۱٪ نسبت به سازه پایه گیردار افزایش یافته است. (جدول ۸-۱ را ببینید) بنابراین اگر جرم سازه با پایه گیردار را  $m$

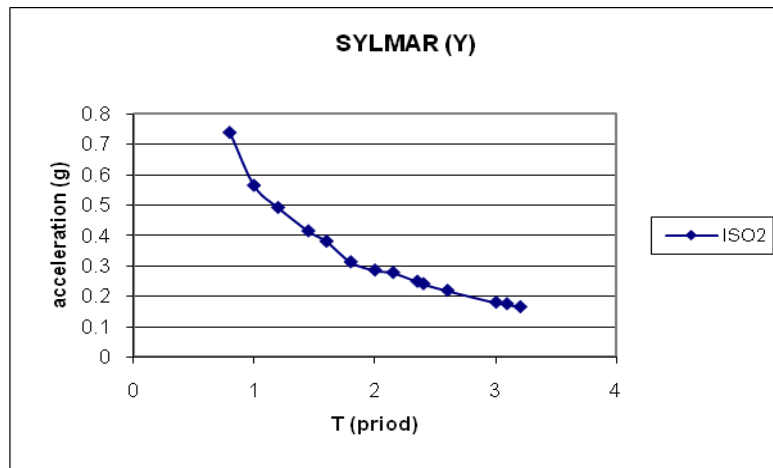
فرض کنیم، جرم سازه جداسازی شده 1.21m خواهد بود. جداول (۷-۸) و (۸-۸) مقادیر

مربوط به هر دو سازه را نشان می دهند. برای ترکیب اثر مودها از رابطه  $U = \left( \sum_{n=1}^N u_n^2 \right)^{1/2}$ ، (روش

SRSS) استفاده شده است.



شکل (۷-۸): طیف پاسخ خطی شتاب زلزله نورث ریج



شکل (۸-۸): طیف پاسخ غیر خطی (دو خطی) شتاب زلزله نورث ریج



جدول ( ۷-۸ ) : شتاب و ضریب مشارکت جرم در سازه با پایه گیردار

شماره مود	زمان تناوب	A شتاب ( g )	ضریب مشارکت جرم ( L )	$A \times L$
1	1.45	0.44	0.75m	0.33m
2	0.44	0.98	0.13m	0.127m
3	0.22	0.881	0.06m	0.05m
4	0.13	0.885	0.03m	0.03m
SRSS				0.358m

جدول ( ۸-۸ ) : شتاب و ضریب مشارکت جرم در سازه جداسازی شده ( جداساز نوع ۲ )

شماره مود	زمان تناوب	A شتاب ( g )	ضریب مشارکت جرم ( L )	$A \times L$
1	2.35	0.248	0.96×1.21m	0.288m
2	0.8	0.738	0.04×1.21m	0.036m
SRSS				0.29m

با توجه به جداول فوق می توان مقادیر تقریبی برش پایه برای سازه با پایه گیردار و سازه جداسازی شده را برداشت نمود . برای سازه با پایه گیردار مقدار تقریبی برش پایه  $0.358m$  ، و برای سازه جداسازی شده  $0.29m$  می باشد . مشاهده می گردد که برش پایه سازه جداسازی شده  $۱۹\%$  کاهش داشته است ، که این عدد تقریباً نزدیک همان  $۱۱\%$  کاهش در مدل های اصلی می باشد .

#### ۸-۴- بررسی رفتار دینامیکی سازه جداسازی شده تحت زلزله طبس :

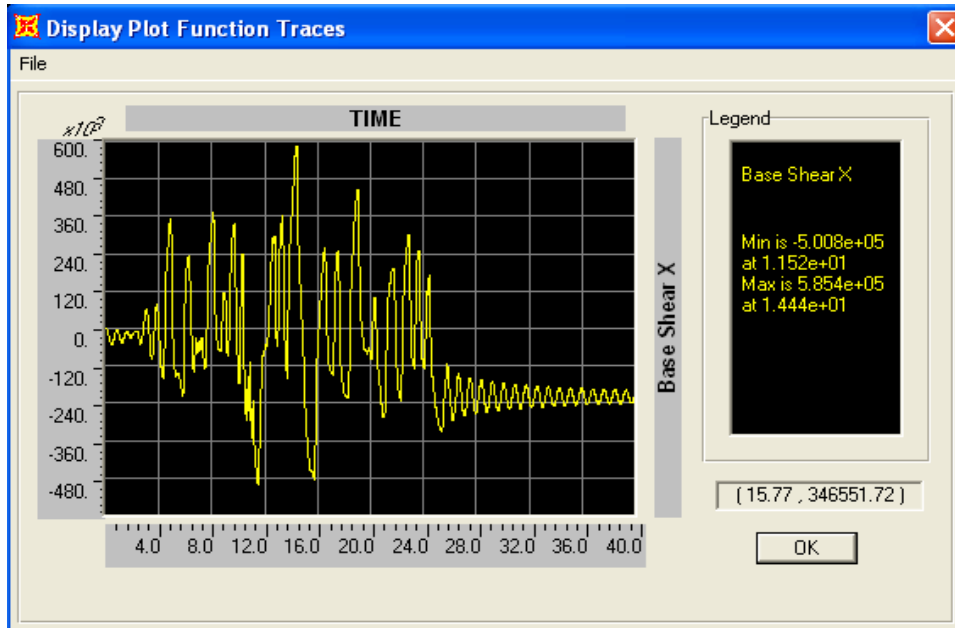
در این قسمت پاسخهای به دست آمده شامل ، برش پایه ، شتاب بام و تغییر مکانهای نسبی طبقات سازه با پایه گیردار و سازه جداسازی شده را تحت تحریک زلزله طبس مورد بررسی قرار می دهیم .

شکل ( ۸-۹ ) ، نمونه ای از این پاسخها را نشان می دهد .

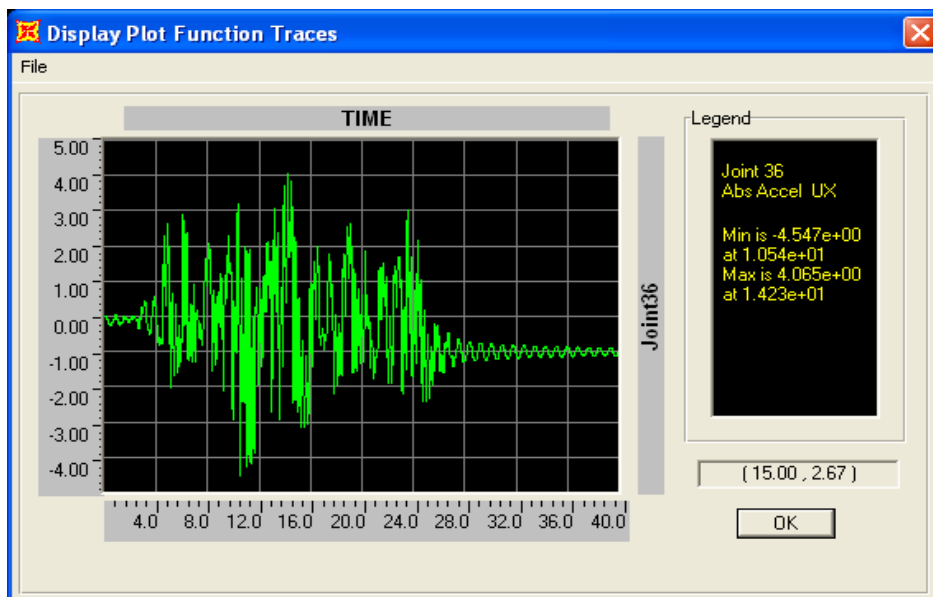
جداول ( ۸-۹ ) ، ( ۸-۱۰ ) و ( ۸-۱۱ ) ، مقادیر برش پایه و شتاب بام در سازه جداسازی شده و سازه با پایه گیردار را ، تحت تحریک زلزله طبس نشان می دهد .

شکلهای ( ۸-۱۰ ) و ( ۸-۱۱ ) ، نمودار مقادیر برش پایه و شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه و همچنین مقدار کاهش آنها نسبت به سازه پایه گیردار را بر حسب درصد نشان می دهد .

شکل ( ۸-۱۲ ) ، نمودار جابجایی نسبی طبقات را در حالتی که زمان تناوب سازه پایه گیردار ،  $0/462$  ثانیه ، سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ و ۲ ،  $2/03$  ثانیه و سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۳ ،  $3/004$  ثانیه می باشد ، نشان می دهد .



(۹-۸ الف): برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۲ (زلزله طیس)



(۹-۸ ب): شتاب بام در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۲ (زلزله طیس)

شکل (۹-۸)

جدول ( ۸-۹ )

( ۸-۹-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله طیس )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
0.462	3.004	2.03	2.03	زمان تناوب ( ثانیه )
3170	581.7	585.4	633.8	برش پایه ( تن )
29.91	2.687	4.547	5.453	شتاب بام ( $m/s^2$ )

( ۸-۹-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله طیس )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
0.462	3.004	2.03	2.03	زمان تناوب ( ثانیه )
2383	437.3	440.2	476.5	برش پایه ( تن )
22.49	2.02	3.419	4.1	شتاب بام ( $m/s^2$ )

جدول ( ۸-۱۰ )

( ۸-۱۰-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله طیس )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
0.976	3.085	2.153	2.153	زمان تناوب ( ثانیه )
1143	593.3	588.4	640.7	برش پایه ( تن )
12.75	4.153	6.870	8.22	شتاب بام ( $m/s^2$ )

( ۸-۱۰-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله طیس )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
0.976	3.085	2.153	2.153	زمان تناوب ( ثانیه )
777.2	449.6	446.2	493.2	برش پایه ( تن )
9.668	3.109	5.191	6.264	شتاب بام ( $m/s^2$ )

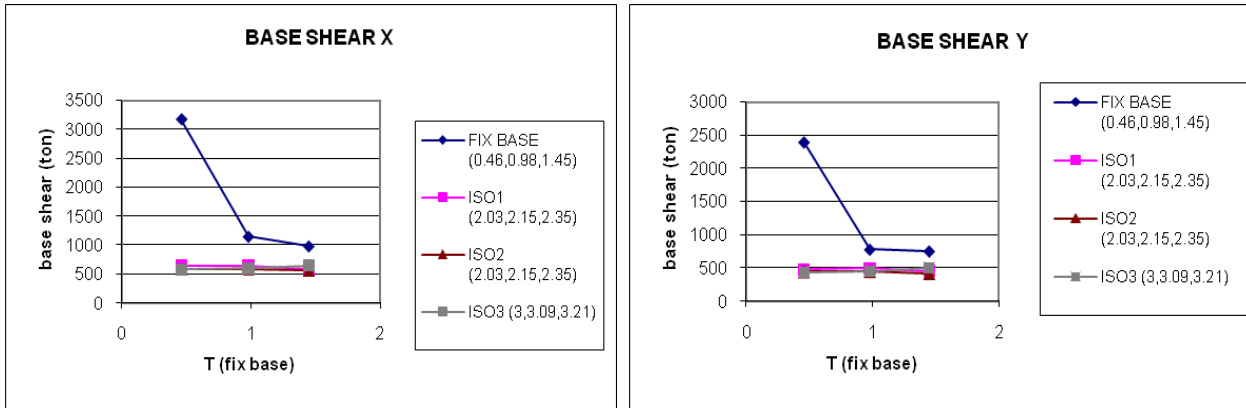
جدول ( ۸-۱۱ )

( ۸-۱۱-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله طبس )

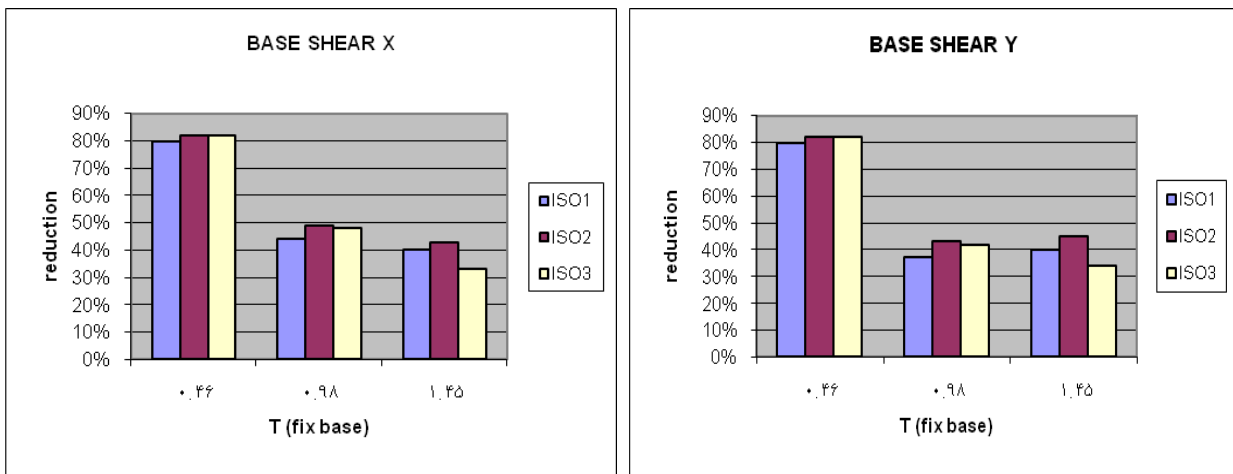
پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.445	3.21	2.345	2.345	زمان تناوب ( ثانیه )
977.2	650.5	561.7	585.7	برش پایه ( تن )
12.92	4.008	5.999	6.638	شتاب بام ( $m/s^2$ )

( ۸-۱۱-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت Y ( زلزله طبس )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.445	3.21	2.345	2.345	زمان تناوب ( ثانیه )
751.7	498.3	416.2	454.8	برش پایه ( تن )
10.46	3.119	4.641	5.147	شتاب بام ( $m/s^2$ )

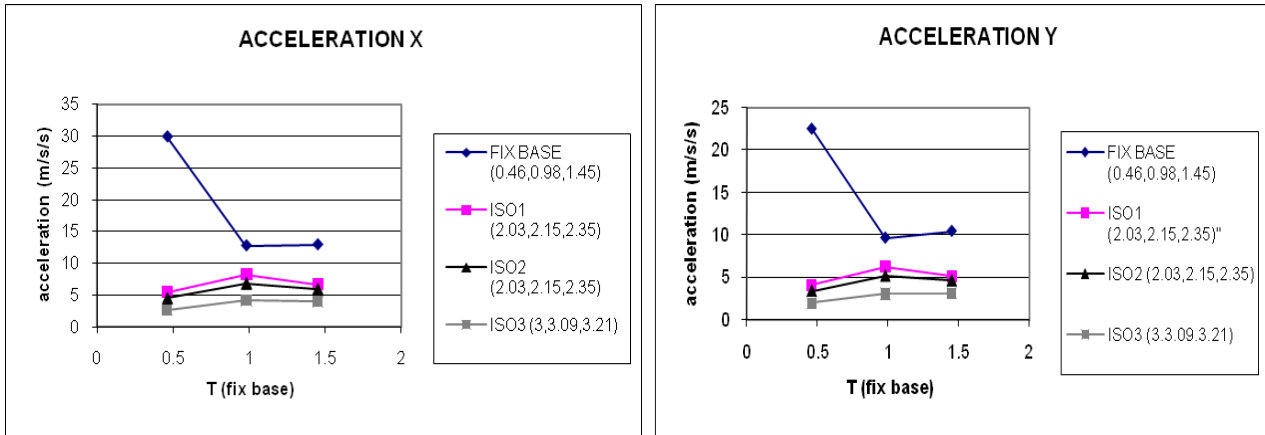


( ۸-۱۰-الف ) : نمودار برش پایه نسبت به زمان تناوب روسازه ( زلزله طیس )

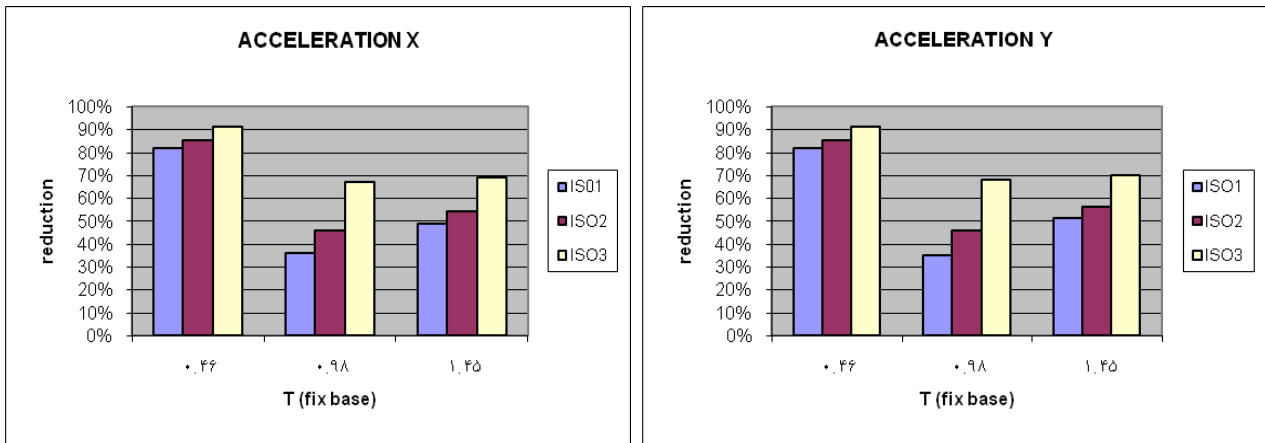


( ۸-۱۰-ب ) : نمودار درصد کاهش برش پایه سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله طیس )

شکل ( ۸-۱۰ )



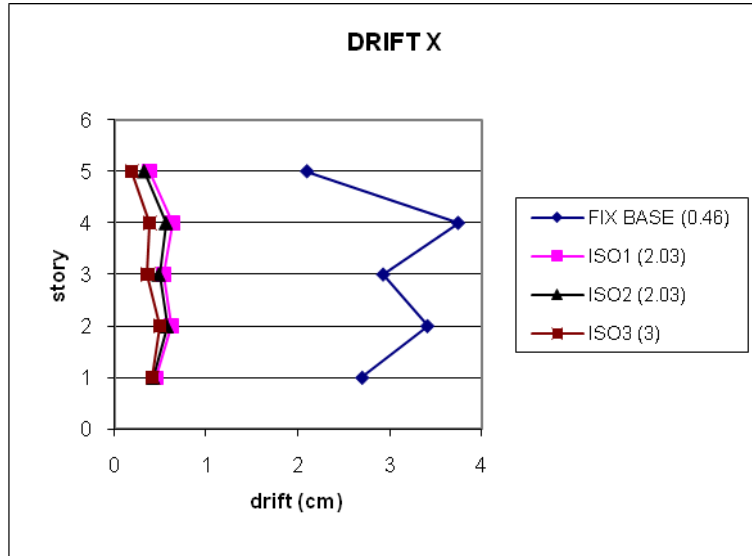
(۸-۱۱-الف): نمودار شتاب بام نسب به زمان تناوب روسازه ( زلزله طبس )



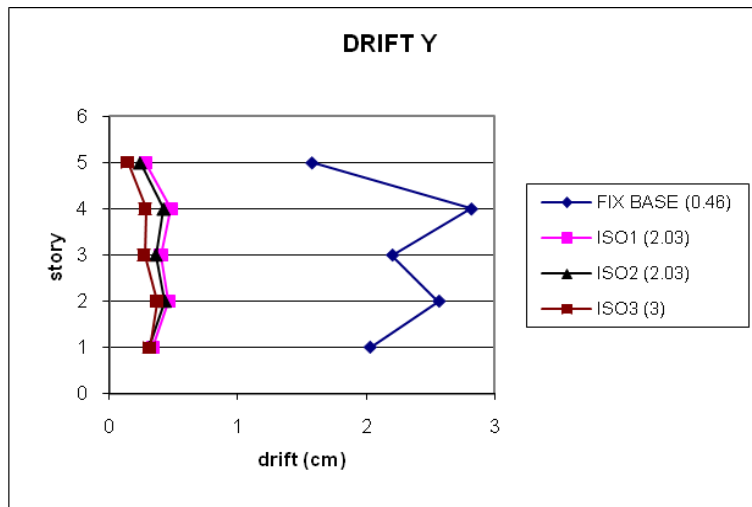
(۸-۱۱-ب): نمودار درصد کاهش شتاب بام سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله طبس )

شکل (۸-۱۱)





( ۸-۱۲-الف ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت X ( زلزله طبس )

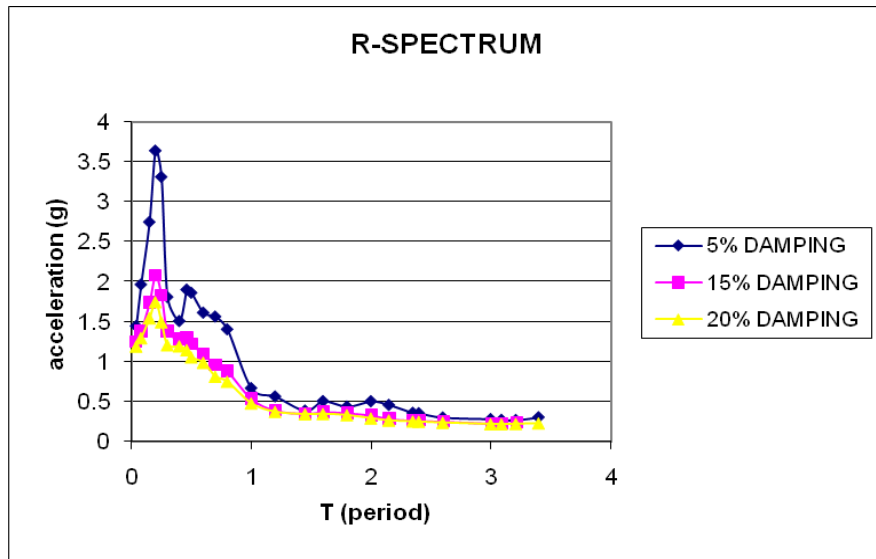


( ۸-۱۲-ب ) : جابجایی نسبی طبقات در جهت Y ( زلزله طبس )

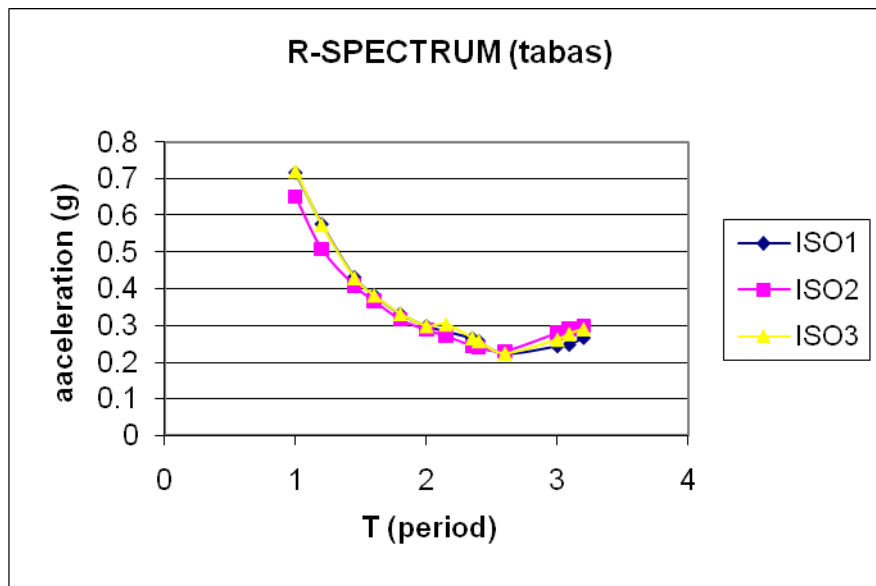
شکل ( ۸-۱۲ )

همان طور که در نمودارها مشاهده می‌گردد، در زلزله طبس نیز با افزایش زمان تناوب روسازه و در واقع افزایش انعطاف پذیری آن، مقدار کاهش در پاسخها (برش پایه و شتاب بام) کم شده و از تأثیر جداسازی کاسته می‌شود. اما نکته مهمی که در اینجا وجود دارد این است که در زلزله طبس مقدار کاهش برش پایه در جداساز نوع ۱ که میرایی بیشتری از جداساز نوع ۲ دارد، کمتر است. همچنین مقدار برش پایه در جداساز نوع ۳ که زمان تناوب سازه جداسازی شده را بیشتر از جداسازهای نوع ۱ و ۲ افزایش می‌دهد، تقریباً برابر جداسازهای نوع ۱ و ۲، و در بعضی از حالات بیشتر از آنها نیز می‌باشد. جهت توجیه این موضوع، مانند قسمت قبل، طیف پاسخ شتاب زلزله طبس را برای هر یک از جداسازها رسم می‌کنیم.

برای این منظور، همانند بخش قبل (بخش مربوط به زلزله نورث ریج)، از یک جرم صلب که بر روی هرکدام از جداسازها قرار می‌گیرد (سازه یک درجه آزادی)، استفاده می‌کنیم. شکل (۸-۱۳)، طیف پاسخ خطی شتاب زلزله طبس و شکل (۸-۱۴)، طیف پاسخ غیر خطی شتاب زلزله طبس را برای سه جداساز (نوع ۱ و ۲ و ۳) نشان می‌دهند. با توجه به نمودار، می‌توان به علت اینکه چرا در زلزله طبس برش پایه در جداساز نوع ۲ کمتر از نوع ۱، و یا در جداساز نوع ۳ تقریباً با آنها یکسان است پی برد. برای مثال هنگامی که زمان تناوب روسازه ۰/۴۶۲ ثانیه می‌باشد، زمان تناوب سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۱ و ۲، ۲ ثانیه، و شتاب مربوط به آنها از نمودار به ترتیب ۰/۳g و ۰/۲۸g می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌کنید، مقدار شتاب برای جداساز نوع ۲ که میرایی کمتری دارد، کمتر شده است.



شکل ( ۸-۱۳ ) : طیف پاسخ خطی شتاب زلزله طبس



شکل ( ۸-۱۴ ) : طیف پاسخ شتاب زلزله طبس برای جداسازهای ۱و۲و۳

با توجه به آنکه در زلزله طبس افزایش زمان تناوب و میرایی در جداسازها در کاهش برش پایه چندان مؤثر واقع نشد، می‌توان روشی ارائه نمود که به کمک آن، برای یک زلزله خاص ( نظیر طبس )، جداسازی طراحی گردد که با توجه به زمان تناوب و میرایی، کمترین پاسخ را داشته باشد. برای این منظور پاسخ شتاب را ( با استفاده از جرم صلب قرار گرفته بر روی جداساز با مدل دو خطی ) برای زمانهای تناوب و نسبتهای میرایی مختلف، تحت تحریک زلزله طبس به دست می‌آوریم. سپس با کمک آن می‌توانیم تشخیص دهیم، در چه زمان تناوب و تحت چه نسبت میرایی، می‌توان کمترین پاسخ را برای شتاب به دست آورد.

برای اینکه بتوان جداساز دو خطی با زمان تناوب و نسبت میرایی مورد نظر را ایجاد کرد، از روابط مربوط به جداسازها با مدل دو خطی که در بخش ۲-۷ فصل ۷ بیان شد، استفاده می‌کنیم. این روابط در اینجا ذکر می‌گردد. با در نظر گرفتن شکل ( ۲-۸ ) داریم:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad ( ۱-۸ )$$

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad ( ۲-۸ )$$

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad ( ۳-۸ )$$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi K_{eff} D^2} \quad ( ۴-۸ )$$

$W_D$  مساحت حلقه پسماند ( انرژی مستهلک شده در یک چرخه یا سیکل ) می‌باشد.

برای یک زمان تناوب و میرایی معین، با معلوم بودن جابجایی  $D$  ( معمولاً از آیین نامه های طراحی

جداساز لرزه‌ای به دست می‌آید ) و با فرض مقداری برای نسبت  $\frac{K_2}{K_1}$  ( نسبت سختی پس تسلیم

به سختی پیش تسلیم ) ، می توان سایر پارامترها را به دست آورد . برای مثال اگر بخواهیم زمان تناوب جداساز ۱ ثانیه و میرایی آن ۱۰٪ باشد ، با فرض  $D=35cm$  و  $\frac{K_2}{K_1}=0.1$  ، پارامترهای دیگر بر اساس وزن سازه برابر خواهند شد با :

$$K_{eff} = 4.032W \quad , \quad K_1 = 4.81W \quad , \quad F_y = 1.380W \quad , \quad \frac{K_2}{K_1} = 0.1$$

به همین ترتیب می توان برای زمانهای تناوب و نسبتهای میرایی مختلف پارامترهای سیستم جداساز را به دست آورد ، و با فرض مقداری برای  $m$  ( جرم سازه ) مقادیر این پارامترها مشخص می گردند .

در این جا این کار برای زمانهای تناوب ۱ ، ۱/۵ ، ۲ ، ۲/۵ و ۳ ثانیه و نسبتهای میرایی ۱۰٪ ، ۱۲٪ ، ۱۵٪ و ۲۰٪ انجام شده است .

جدول ( ۸-۱۲ ) ، مقادیر شتاب را بر حسب زمان تناوب و نسبت میرایی نشان می دهد .

جدول ( ۸-۱۲ ) : مقادیر شتاب سازه یک درجه آزادی با جداساز دو خطی با زمان تناوب و نسبت میرایی مختلف

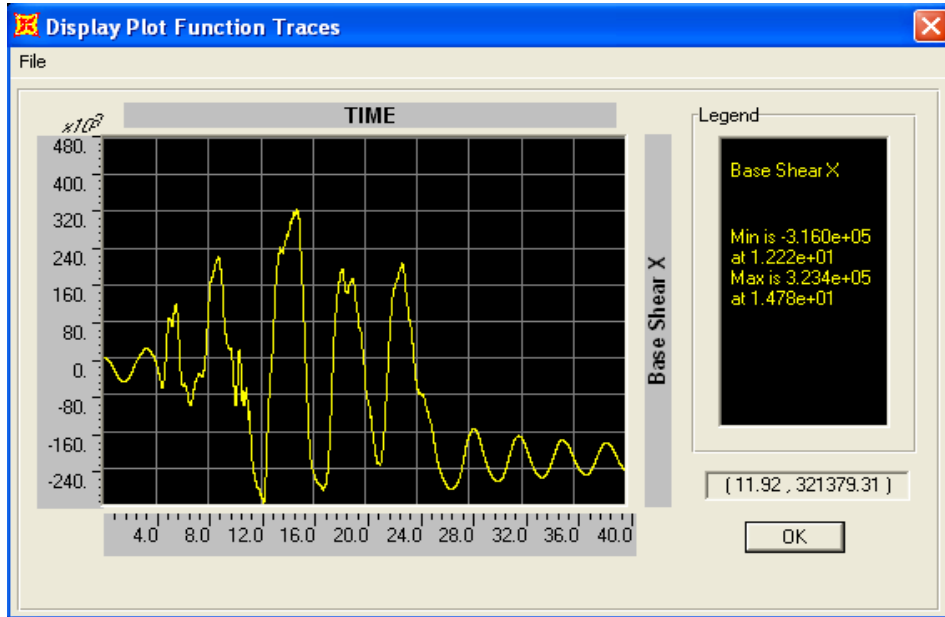
$\beta$	$T=1$	$T=1.5$	$T=2$	$T=2.5$	$T=3$
10%	0.892g	0.445g	0.372g	0.231g	0.177g
12%	0.955g	0.439g	0.356g	0.228g	0.181g
15%	1.077g	0.47g	0.346g	0.224g	0.184g
20%	1.227g	0.488g	0.306g	0.236g	0.184g

طبق جدول بالا مشاهده می شود که کمترین مقدار شتاب پاسخ ، در زمان تناوب ۳ ثانیه و میرایی ۱۰٪ رخ داده است . بنابر این با استفاده از روابط ۸-۱ تا ۸-۴ ، با قرار دادن  $T = 3$  و  $\beta = 0.1$  ، سایر پارامترهای سیستم جداساز را به دست می آوریم . داریم :

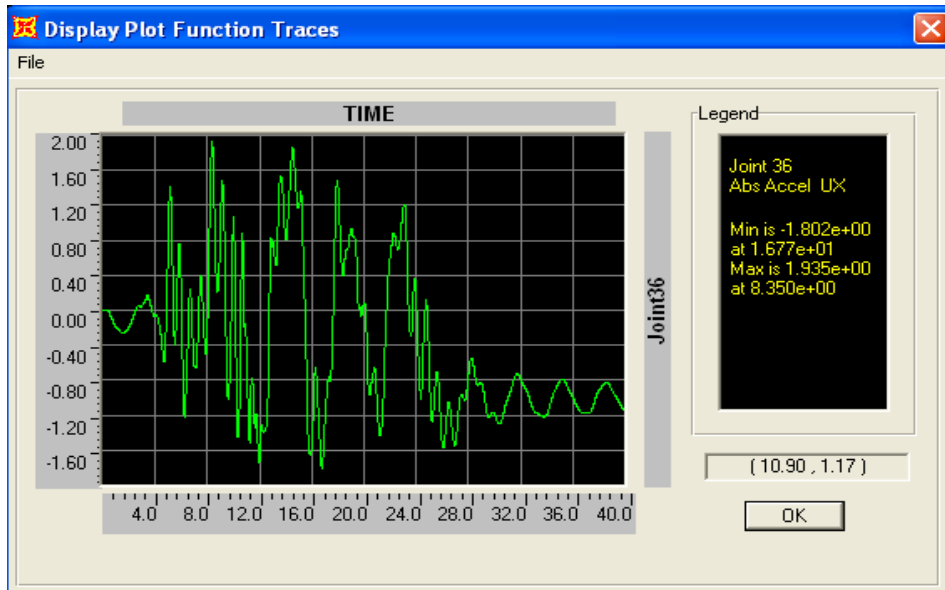
$$K_{eff} = 0.447W \quad , \quad K_1 = 0.527W \quad , \quad F_y = 0.153W \quad , \quad \frac{K_2}{K_1} = 0.1$$

حال سازه را با این جداساز مدل کرده ، برش پایه و شتاب بام آن را به دست می آوریم .

شکل ( ۸-۱۵ ) ، نمونه ای از این پاسخها را نشان می دهد .



( ۸-۱۵-الف ) : برش پایه در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۴ ( زلزله طیس )



( ۸-۱۵-ب ) : شتاب بام در جهت X در سازه جداسازی شده با جداساز نوع ۴ ( زلزله طیس )

شکل ( ۸-۱۵ )

جدول ( ۸-۱۳ ) ، مقادیر برش پایه و شتاب بام را برای سازه جداسازی شده با هر ۴ نوع جداساز و سازه با پایه گیردار در حالتی که زمان تناوب روسازه ۰/۴۶۲ ثانیه می باشد ، نشان می دهد .

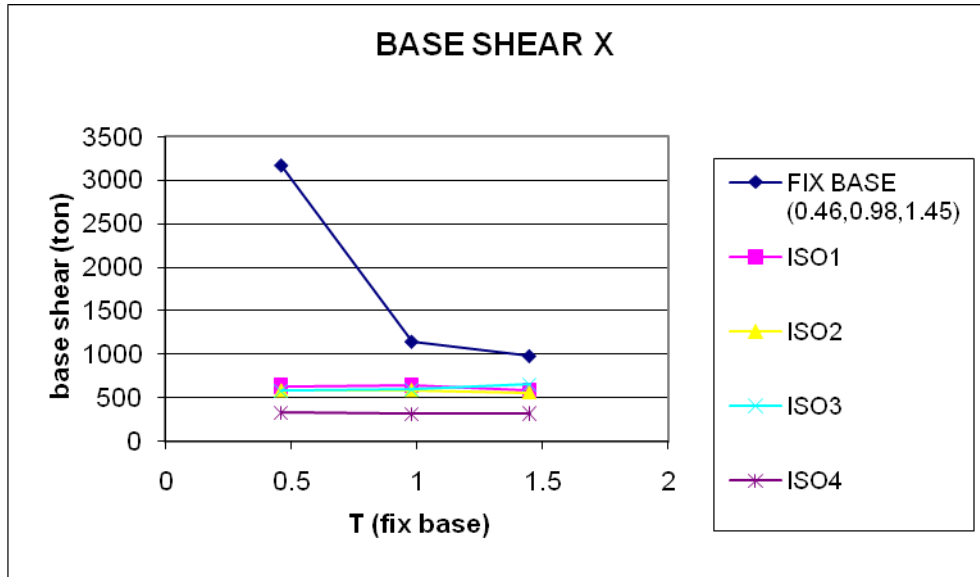
جدول ( ۸-۱۳ ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام در جهت X ( زلزله طیس )

نوع جداساز	جداساز ۱	جداساز ۲	جداساز ۳	جداساز ۴	پایه گیردار
زمان تناوب	2.03	2.03	3.004	3	0.462
برش پایه ( تن )	633.8	585.4	581.7	328.4	3170
شتاب بام ( $m/s^2$ )	5.453	4.547	2.687	1.612	29.91

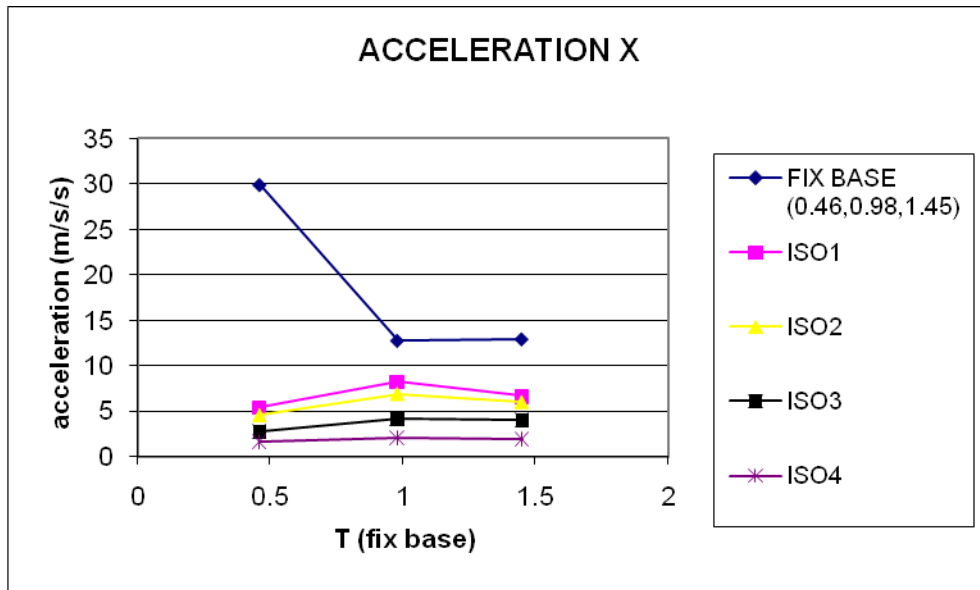
همان طور که در جدول ( ۸-۱۳ ) مشاهده می کنید ، در جداساز نوع ۴ ، مقادیر برش پایه و شتاب بام نسبت به جداسازهای دیگر کاهش قابل ملاحظه ای داشته است .

شکل های ( ۸-۱۶ ) و ( ۸-۱۷ ) ، نمودار مقادیر برش پایه و شتاب بام نسبت به زمان تناوب روسازه را ، با در نظر گرفتن جداساز نوع ۴ نشان می دهد .





شکل ( ۸-۱۶ ) : نمودار برش پایه نسبت به زمان تناوب روسازه ( زلزله طبس )



شکل ( ۸-۱۷ ) : نمودار شتاب بام نسب به زمان تناوب روسازه ( زلزله طبس )

#### ۸-۵- بررسی اثر جرم سازه جداسازی شده بر رفتار دینامیکی آن :

همان طور که در بخش‌های قبل مشاهده شد ، با افزایش زمان تناوب سازه پایه گیردار ، از تأثیر جداسازی کاسته شد . در بخش قبل زمان تناوب سازه ۵ طبقه با تغییر در سختی المانهای مقاوم آن ( تیرها و ستونها ) ، تا مقدار زمان تناوب یک سازه ۱۰ طبقه افزایش یافت و سازه جداسازی شده با این زمان تناوب مورد بررسی قرار گرفت . حال ممکن است این سؤال به وجود آید که در سازه ۱۰ طبقه ، نسبت به سازه ۵ طبقه جرم نیز افزایش یافته است و این افزایش جرم چه تأثیری بر روی پاسخ سازه جداسازی شده خواهد داشت . برای این منظور یک سازه ۱۰ طبقه جداسازی شده را تحت زلزله نورث ریچ مورد تحلیل قرار داده و نتایج آن را با سازه ۵ طبقه ، در حالتی که زمان تناوب آن را افزایش داده بودیم ، مقایسه می کنیم . پلان این سازه مانند پلان سازه ۵ طبقه بوده و فقط جرم طبقات آن تغییر می کند . زمان تناوب هر دو سازه  $1/45$  ثانیه می باشد . جدول ( ۸-۱۴ ) ، ابعاد ستونها و وزن طبقات سازه ۱۰ را نشان می دهد .

پس از تحلیل سازه تحت اثر مؤلفه های افقی زلزله نورث ریچ ، پاسخ برش پایه و شتاب بام را همانند بخش‌های قبل به دست می آوریم . جدول ( ۸-۱۵ ) مقادیر برش پایه و شتاب بام را برای سازه ۱۰ طبقه نشان می دهد . شکل‌های ( ۸-۱۸ ) و ( ۸-۱۹ ) نمودار کاهش برش پایه و شتاب بام در سازه ۱۰ طبقه و ۵ طبقه ، نسبت به سازه با پایه گیردار را نشان می دهند .

جدول ( ۸-۱۴ ) : ابعاد ستونها و وزن طبقات سازه ۱۰ طبقه

طبقه	ابعاد ستونها ( سانتیمتر )	وزن ( تن )
BASE		476
1	70X70	476
2	70X70	476
3	70X70	461
4	60X60	450
5	60X60	450
6	60X60	437
7	50X50	397
8	50X50	388
9	40X40	363
10	40X40	345

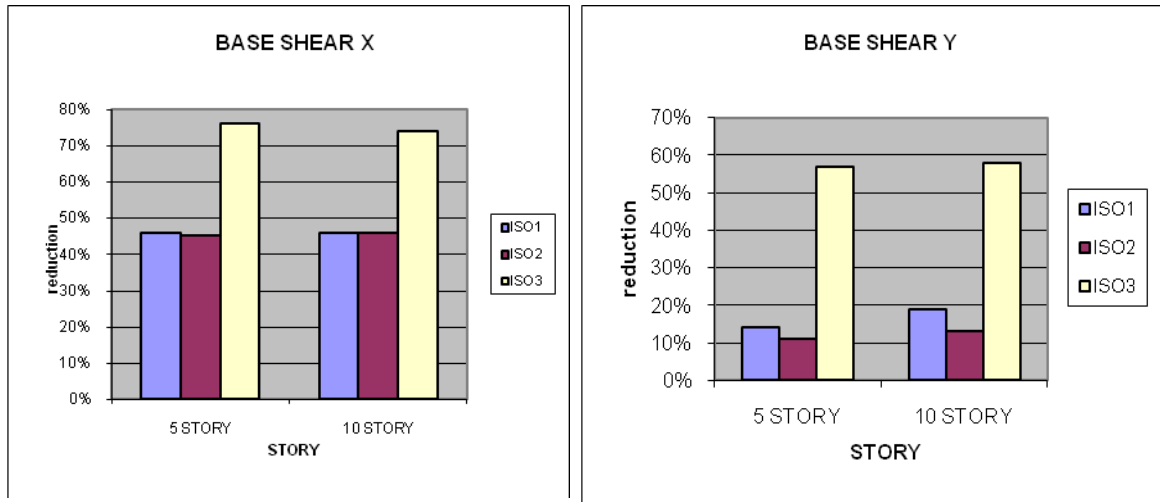
جدول ( ۱۵-۸ )

( ۱۵-۸-الف ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام سازه ۱۰ طبقه در جهت X ( زلزله نورث ریج )

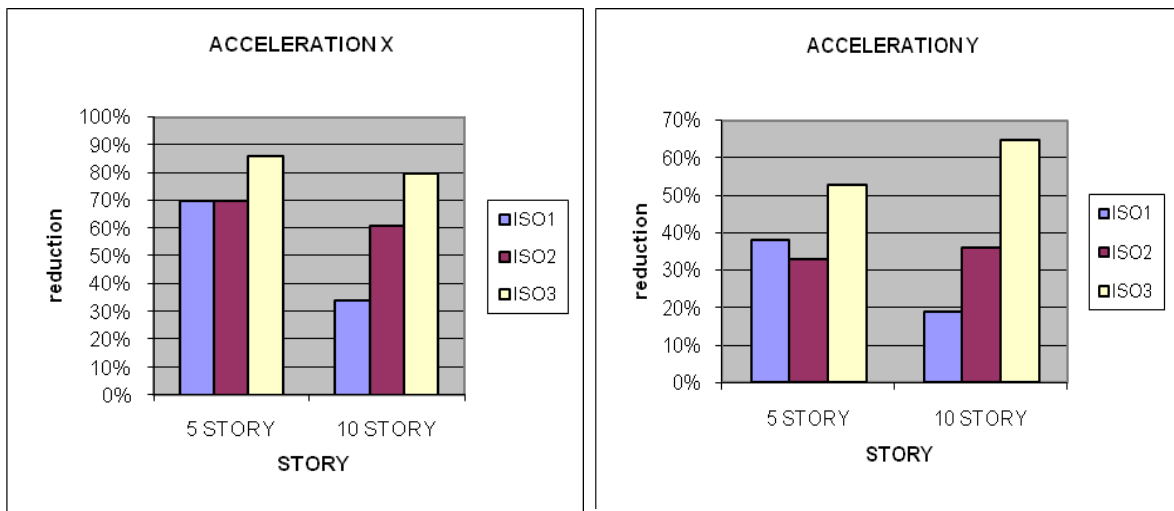
پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.45	3.2	2.36	2.36	زمان تناوب ( ثانیه )
3271	843.5	1751	1740	برش پایه ( تن )
21.08	4.266	8.326	9.692	شتاب بام ( $m/s^2$ )

( ۱۵-۸-ب ) : مقادیر برش پایه و شتاب بام سازه ۱۰ طبقه در جهت Y ( زلزله نورث ریج )

پایه گیردار	جداساز نوع ۳	جداساز نوع ۲	جداساز نوع ۱	نوع جداساز
1.45	3.2	2.36	2.36	زمان تناوب ( ثانیه )
1693	704.5	1478	1361	برش پایه ( تن )
14.21	4.93	9.11	11.55	شتاب بام ( $m/s^2$ )



شکل ( ۸-۱۸ ) : نمودار کاهش برش پایه سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله نورث ریچ )



شکل ( ۸-۱۹ ) : نمودار شتاب بام سازه جداسازی شده نسبت به سازه پایه گیردار ( زلزله نورث ریچ )

همان طور که در نمودارها مشاهده می کنید ، افزایش جرم بر کاهش برش پایه در سازه ۱۰ طبقه

تأثیری نداشته و فقط تأثیر کمی بر روی کاهش شتاب بام دارد .

## ۸-۶- نتایج :

در این تحقیق اثر جداسازی لرزه ای پایه بر رفتار سازه ها مورد بررسی قرار گرفت . این کار با استفاده از یک ساختمان ۵ طبقه و با تغییر زمان تناوب آن ، با استفاده از ۳ نوع جداساز (الاستومری با مدل دو خطی ) و تحت تحریک ۲ زلزله انجام گردید . هم اکنون می توان نتایجی را به طور خلاصه در موارد زیر بیان کرد :

- جداسازی لرزه ای باعث کاهش قابل ملاحظه در برش پایه ، شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات ، نسبت به سازه با پایه گیردار می گردد . این در حالی است که در جداسازی لرزه ای تغییر شکلهای سازه در محدوده الاستیک نگه داشته می شوند ، ولی در سازه های متداول با پایه گیردار اجازه تغییر شکلهای پلاستیک در هنگام وقوع زلزله داده می شود .

- میزان کاهش شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات سازه جداسازی شده نسبت به سازه با پایه گیردار ، در مقایسه کاهش برش پایه بیشتر است .

- با افزایش زمان تناوب ( انعطاف پذیری روسازه ) ، از تأثیر جداسازی لرزه ای کاسته می شود و مقدار کاهش برش پایه و شتاب طبقات کم می گردد . این امر بیشتر به دلیل کاهش برش پایه و شتاب طبقات در سازه پایه گیردار به علت افزایش زمان تناوب آن است و تغییرات در سازه جداسازی شده بسیار کمتر است . با توجه به این که با افزایش زمان تناوب روسازه تأثیر جداسازی کم می شود ، می توان گفت :

با افزایش تعداد طبقات سازه و یا افزایش ارتفاع آن به دلیل افزایش زمان تناوب ، تأثیر جداسازی کم می شود . همچنین در سیستمهای سازه ای نظیر سیستمهای قاب خمشی ( فولادی یا بتنی )

که انعطاف پذیری آنها نسبت به سیستمهای دارای مهاربندی و دیوار برشی بیشتر است، تأثیر جداسازی کمتر است.

- در سازه جداسازی شده برش پایه در برابر افزایش زمان تناوب (انعطاف پذیری) روسازه، دارای حساسیت بیشتری نسبت به شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات می باشد. یعنی با افزایش زمان تناوب روسازه، برش پایه در مقایسه با شتاب و تغییر مکان نسبی طبقات تغییرات بیشتری دارد.

- افزایش زمان تناوب در سیستم جداساز باعث کاهش بیشتر برش پایه، شتاب طبقات و تغییر مکانهای نسبی طبقات می گردد، در حالی که افزایش میرایی ممکن است برش پایه را افزایش دهد و یا کاهش دهد. چنانچه مشاهده گردید، در زلزله نورث ریج با افزایش میرایی سیستم جداساز برش پایه کاهش پیدا کرد، اما در زلزله طبس برش پایه افزایش یافت.

- افزایش میرایی سیستم جداساز در زلزله نورث ریج تأثیر بیشتری بر روی برش پایه در مقایسه با شتاب طبقات داشته است، اما بر عکس در زلزله طبس میزان تأثیر آن بر روی شتاب طبقات بیشتر از برش پایه بوده است.

- در انتخاب سیستم جداساز، باید سوابق زلزله های اتفاق افتاده در محل مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به آن زمان تناوب و میرایی مناسب جهت سیستم جداساز انتخاب گردد. زیرا همان طور که مشاهده شد، همیشه نمی توان با انتخاب سیستم جداساز با زمان تناوب و میرایی بیشتر به پاسخ مطلوب دست پیدا کرد.

## ۸-۷- پیشنهاد ها :

- با توجه به انجام رسیدن این تحقیق ، هم اکنون نکاتی بیان می شود که امکان تحقیق و مطالعه در آنها وجود دارد . لذا پیشنهادهای زیر جهت پژوهشهای آینده ارائه می شود :
- با توجه به این که در این تحقیق از جداساز الاستومری جهت مدلسازی و تحلیل استفاده شد ، می توان نتایج را با استفاده از جداسازهای دیگر نظیر آونگ اصطکاکی مورد بررسی قرار داد .
  - از آنجایی که ساختمان مورد بحث در این تحقیق متقارن بود ، لزوم انتخاب ساختمان های نامتقارن و ارزیابی تأثیر خروج از مرکزیت بر رفتار سازه جداسازی شده ، می تواند مفید واقع گردد .
  - با توجه به این که در این تحقیق از جداساز با مدل دو خطی استفاده گردید ، می توان تأثیر مدل های خطی را بر رفتار سازه های جداسازی شده مورد بررسی قرار داد .



[1]. Komodromos.P. (2000). " Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures ". WIT PRESS.

[2]. نقدعلی حسین زاده . " مقدمه ای بر کاربرد ایزولاسیون لرزه ای پایه " .

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .

[3]. فرزاد نعیم ، جیمز کلی . " طراحی ساختمانها با جداسازهای لرزه ای از تئوری تا عمل " .

ترجمه : محسن غفوری آشتیانی ، فرهاد همایون شاد . پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .

[4]. Kelly.J.M. (1996). " Earthquake Resistant Design With Rubber " .

2nd.ed. Springer-Verlage.London.

[5]. Chopra.A.K. (2002). " Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering ". Prentice-hall of India.

[6]. International Conference of Building Officials (1997).

" Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures " .  
Uniform Building Cod. Appendix chapter 16.

[7]. Computers and Structures Inc , SAP 2000. Analysis Reference Manual Version 9.0.3. Berkely,CA.

[8]. آنیل چوپرا . " دینامیک سازه ها و تعیین نیروهای زلزله " .

ترجمه : شاپور طاحونی . تهران ، انتشارات علم و ادب .

[9]. Scheller.J , Constantinou.M. " Response History Analysis of Structures with Seismic Isolation and Energy Dissipation

Systems : Veriffication Examples for Program SAP 2000 ".  
Technical Report MCEER-99-0002.

[10]. Nagarajaiah.S , Reinhorn.A.M , Constantinou.M. (1991).  
" 3D-BASIS-Nonlinear Dynamic Analysis of Three-  
Dimensional Base Isolated Structures : Part 2 ". Report  
No.NCEER-91-0005 , National Center for Earthquake  
Engineering Research. Buffalo. N.Y.

[11]. Federal Emergency Management Agency (1998). " National Earthquake Hazards Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings ". FEMA-273.

[12]. Federal Emergency Management Agency. " National Earthquake Hazards Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings ". FEMA-356.

[13]. Kelly.J.M. " Base Isolation : Origins and Development ".  
National Information Service for Earthquake Engineering  
University of California , Berkeley.

[14]. Malek.K.A , Basir.K.B. " Design and Characteristics of High Damping Natural Rubber Bearings for Base Isolation ".  
Technology and Engineering Division Malaysian Rubber Bord,  
Malaysia.

[15]. Burtscher.S , Dorfmann.A , Bergmeister.K. " Mechanical Aspects of High Damping Rubber ". University of Applied Sciences Institute of Structural Engineering.

[16]. Sajal Kanti.D. " Seismic Base Isolation-An Overview ".  
Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology  
Guwahati.

[17]. Winter.C.W , Constantinou.M.C. " Evaluation of Static  
and Response Analysis Procedures of SEAOC/UBC for Seismic  
Isolated

Structure ". NCEER(1993).

[18]. آر . ایوان اسکینر - ویلیام . اچ . رایبسون - گرمی . اچ . مک وری .  
" جداسازی لرزه ای در مقابل زلزله "

ترجمه : دکتر محسن تهرانی زاده - مهندس فرزانه حامدی . پژوهشگاه بین المللی  
زلزله شناسی و مهندسی زلزله .

[19]. سید مهدی تنکابنی پور . " اصول مقاوم سازی ساختمانها "  
انتشارات آزاده .

[20]. تی تی . سونگ - جی . اف . دارگوش . " سیستمهای اتلاف انرژی غیر فعال در  
مهندسی زلزله "

ترجمه : مهران تیو - بابک کریمخانی . پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی  
زلزله .

[21]. مینورو واکابایاشی . " طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زمین لرزه "

ترجمه : دکتر علی محمد معماری - دکتر فریبرز ناطقی الهی . پژوهشگاه بین المللی  
زلزله شناسی و مهندسی زلزله .

[22]. دکتر حسن مقدم . " مهندسی زلزله ، مبانی و کاربرد "  
انتشارات فراهنگ .

[23]. دکتر فریبرز ناطقی الهی . " میراگرهای انرژی در مقاوم سازی لرزه ای  
ساختمانها "

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .

[24]. دکتر محمد رضایی پژند – مهندس محمد مؤیدیان . " تحلیل لرزه ای سازه ها  
."

انتشارات دانشگاه امام رضا .

## Abstract

The base isolation is one of methods to the resistance under earthquake forces. This method , lengthens the period of structure and reduces the responses of structure such as : base shear , story acceleration and story drift. Due to the importance of the behavior of these systems , under seismic loading , in this research , the behavior of a 5-story structure , have been evaluated by using three types of the elastomeric isolator with bilinear model that have different periods and dampings. For this purpose have been used of two earthquake records , Northridge and Tabas. For demonstration the effectiveness period of superstructure on base isolation have been used three periods for superstructure. The results indicate that base isolation , strongly reduces the responses of structure. In addition with lengthening the period of super structure , reduced the effectiveness of base isolation.

Key words : earthquake-base isolation-elastomeric isolator-damping-superstructure.

**Shahrood University of Technology**

**A Thesis Presented For the Degree of  
Master of Science in Structural Engineering**

**Title:**

**Behavior of Base Isolated Structures under  
Earthquake Loads**

**Supervisor:**

**Dr.Ali Keyhani**

**Advisor:**

**Dr.Farshid Alae**

**Student:**

**Reza Fattahi**

**September 2007**