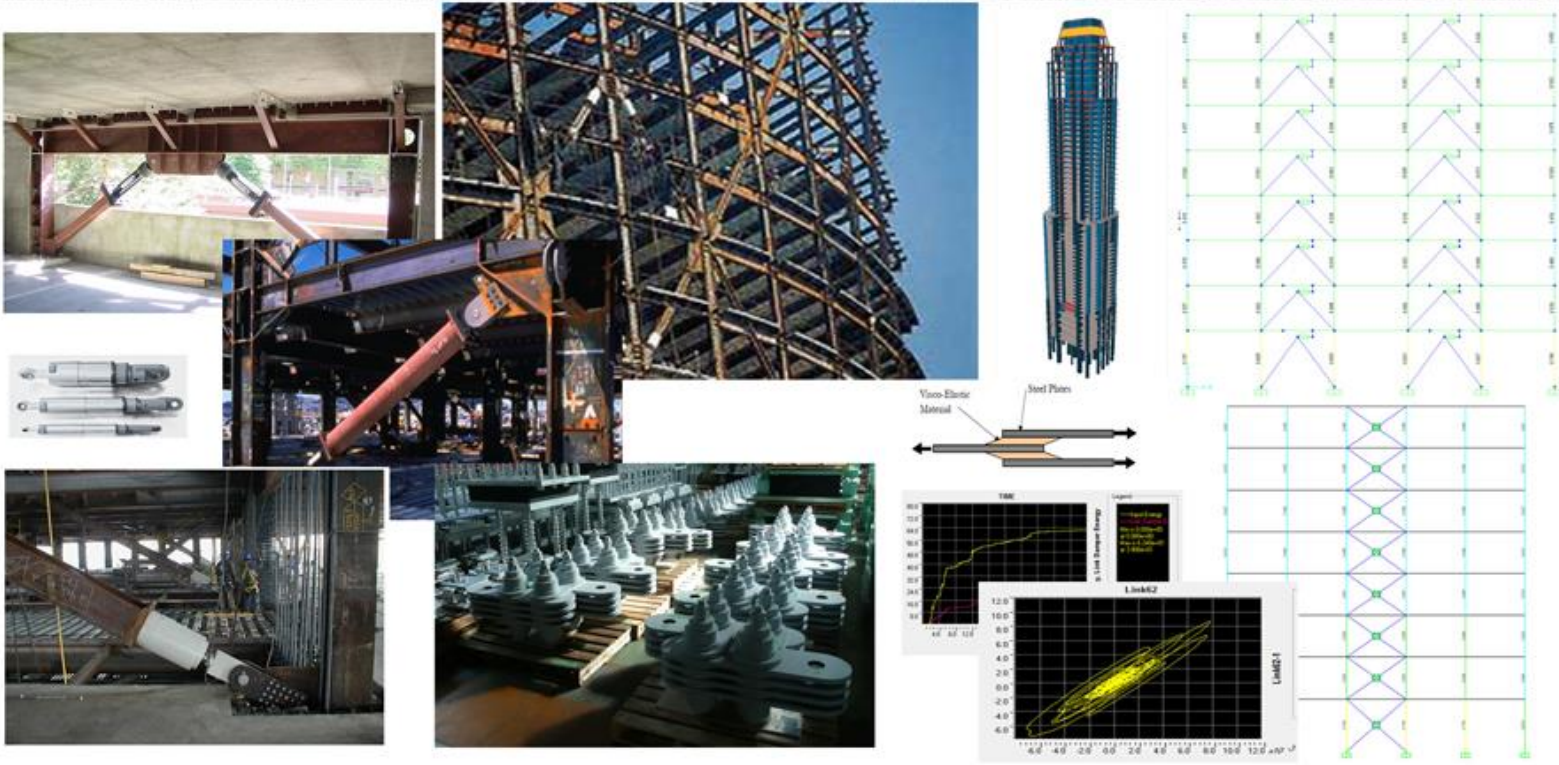


# کنترل سازه

طراحی سازه با انواع میراگرها (به همراه کلیه فایل های نرم افزاری SAP)



نویسنده:  
مهندس احمد سپهری

؟	سازه
؟	زلزله
؟	آب
؟	خاک
؟	راه



مقدمه ناشر:

گروه آموزشی ۸۰۸ برای اولین بار اقدام به انتشار کتاب های تخصصی در مارکتینگ مجازی نموده است به نحویکه کتاب های تخصصی که حتی در دنیای چاپ فیزیکی هم تابحال نمونه های آن به چاپ نرسیده و در عین حال مخاطبان زیادی هم دارد را در غالب ایبوک منتشر نموده است که استقبال زیادی از این جزوات مقدماتی و پیشرفته شده است. کتاب های الکترونیکی تماما در غالب حرفه ای همراه با ویراستاری و صفحه آرایی حرفه ای منتشر می شود و حق مولف و ناشر از انتشار این کتاب از تبلیغاتی که درون این ایبوک ها منتشر می شود تامین خواهد شد دسته ای از ایبوک ها رایگان عرضه میشود و دسته ای دیگر که صورت پولی در فضای مجازی منتشر می شوند و همچنین درون دی وی های محصولات آموزشی ۸۰۸ عرضه می شوند.

برخی از مزایای انتشارات مجازی:

- مزیت انتشار کتاب های الکترونیکی نسبت به انتشار حقیقی کتاب ها
- گسترش فرهنگ کتابخوانی الکترونیکی میان مهندسان
- سهولت دسترسی به انواع کتاب ها
- و رایگان بودن تعداد نسبتا زیادی از کتاب ها و همچنین مجله!

در این شیوه آموزش مجازی راه تامین هزینه های ما و مولفان ما درج تبلیغات اسپانسر های طلایی سایت است، پس اگر به دنبال حمایت این شیوه نشر مجازی هستید می توانید با ما در تماس باشید

گروه آموزشی ۸۰۸

انتشارات مجازی

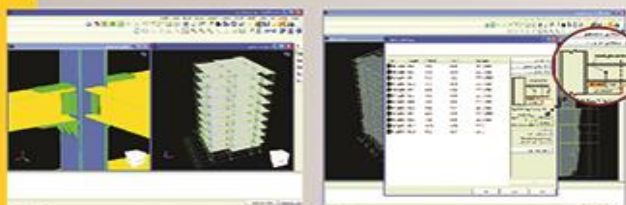
# 808

گروه آموزش مجازی ۸۰۸

رایان سازه، پیشرو در تولید نرم افزارهای تخصصی عمران

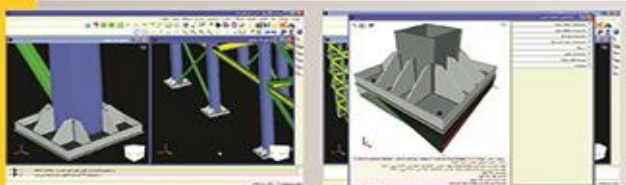
# سازه نگار

## طراحی هوشمند اتصالات تیر به ستون :



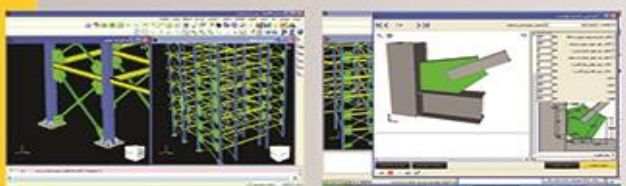
- محاسبه ماکزیمم واکنش تکیه گاهی بر اساس ضوابط لرزه‌ای آخرین ویرایش مبحث ده
- محاسبه ماکزیمم واکنش تکیه گاهی بر اساس نتایج تحلیل ETABS و SAP2000
- طراحی اتوماتیک انواع مختلف اتصال خمشی و مفصلی
- نمایش هوشمند جزئیات کامل اتصالات در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها

## طراحی پیشرفته اتصالات صفحه ستون :



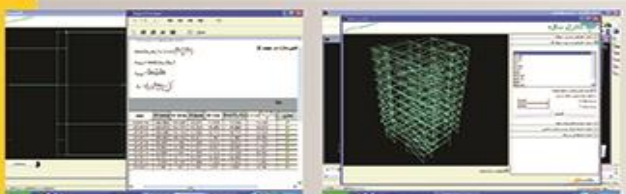
- محاسبه تنش زیر صفحه ستون از روش دقیق در خمش دو محوره و تک محوره
- امکان معرفی بولتها و سخت کننده‌ها در هر مختصات
- امکان طراحی صفحه ستون های کناری و گوشه
- نمایش جزئیات کامل صفحه ستون در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها

## طراحی هوشمند اتصالات مهاربند :



- طراحی اتصالات مهاربند بر اساس ضوابط لرزه‌ای آخرین ویرایش مبحث ده
- طراحی انواع مختلف اتصالات مهاربند اعم از همگرا یا واگرا ، با شکل پذیری معمولی یا ویژه
- طراحی اتصالات مهاربند بر اساس نتایج تحلیل یا ظرفیت مقطع یا نیروی کاربر
- نمایش هوشمند جزئیات کامل اتصالات مهاربند در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها

## کنترل سازه بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ :



- محاسبه شاخص پایداری
- کنترل بلند شدگی پای ستون (Uplift)
- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی سازه
- کنترل نامنظمی در پلان سازه (Aj)
- ارائه فایل ورودی SAFE از نتایج تحلیل ETABS و SAP2000

## ترسیم نقشه های سازه :



- ترسیم کل نقشه های سازه فلزی به همراه لیستوفر کامل پروژه
- ترسیم پلانهای تیرریزی ، نمای مهاربندها ، نمای ستونها و جزئیات کلیه اتصالات
- ترسیم نقشه شاپ کل قطعات اتصال تیر به ستون ، مهاربند و صفحه ستون
- ترسیم و ویرایش نقشه ها در محیط نرم افزار سازه نگار مستقل از AutoCAD با امکان ارسال خروجی با فرمت DWG

تهران - بزرگراه جلال آل احمد - غرب پل گیشا - شماره ۴۲ - طبقه دوم - صندوق پستی: ۴۳۸ - ۱۴۴۵۵  
 تلفن: ۸۸۲۸۵۳۸۶ و ۸۸۲۷۸۳۰۶ و ۸۸۲۵۹۷۷۳ فکس: ۸۸۲۵۶۵۲۰  
[www.rayansazeh.com](http://www.rayansazeh.com) support@rayansazeh.com



محصولات آموزشی عمران



محصولات آموزشی  
سازه ۸۰۸

www.Saze808.com

دemos محصولات سازه ۸۰۸



لیست محصولات سازه ۸۰۸

۱-۴- مقالات کنفرانس های ملی و بین المللی عمران	۱-۱- پروژه های سوله با جرقبیل
۲-۴- کنفرانس های مقاوم سازی و بتن	۲-۱- سازه های بلند + خال های پس تنیده
۳-۴- کنفرانس های جهانی لاین	۳-۱- اتصالات پیچی، ستون های منبسطی
۵-۵- دروس تخصصی سازه و زلزله	۴-۱- دکل
۲-۵- اجزای محدود	۵-۱- میراژها + BRB Braces
۴-۵- طراحی سازه فولادی	۶-۱- شمع + پارکینگ طبقاتی + نخلو میلبورد
۵-۵- طراحی حالت حدی فیزی	۷-۱- مخازن + دودکش + مساجد (گنبد)
۶-۵- Steel Ebook & Articles	۸-۱- دیوار برشی فولادی وبتنی+ سازه کلبی+سازه چوبی
۷-۵- Concrete Ebook & Articles	۹-۱- مدیریت پروژه
۸-۵- Seismic Ebook & Articles	۱۰-۱- سازه فشارکامر + سقف خرابایی
۹-۵- زلزله و بهسازی لرزه ای	۱۱-۱- برج خنک کننده +سیلو
۱۰-۵- فیلم مقاوم سازی	۱۲-۱- طراحی انواع پل
۱۱-۵- نرم افزار های زلزله و تحلیل غیر خطی	۱۳-۱- صنعتی سازی
۱-۶- نرم افزارهای + CSI Perform 3D v.4	۱۴-۱- نیروگاه ها + ایستگاه پمپ
۲-۶- Autodesk	۱-۲- نقشه های سازه و معماری
۳-۶- Tekla Structure	۲-۲- پروژه های خاص سازه ها
۴-۶- Bentley-Ram	۳-۲- فولادی، بتنی و بتنی
۱-۷- سد ها + کانال ها	۴-۲- نقشه های اتوکد سازه
۲-۷- Manhole + هیدرولیک	۱-۳- جزوات طراحی و محاسبات
	۲-۳- انواع سقف و دیوار
	۳-۳- آیین نامه های لاتین و فارسی
	۴-۳- اطلاعات بارگذاری راه راه پله + آسانسور ...
	۵-۳- خاک و فونداسیون

www.Saze808.com

فکس: ۰۲۱-۶۶۵۲۴۷۲۹

مدیر فروش: ۰۹۳۷-۱۵۵۷۳۴۲ جعفری

مرکز پیامک: ۳۰۰۹۹۰۶۶۶۸۰۸

صندوق پستی: ۱۴۵۷۶-۵۵۶۱۶

saze808@gmail.com



# کنترل سازه

نویسنده : احمد سپهری

کارشناس ارشد مهندسی زلزله - دانشگاه امیرکبیر

ایمیل : [sepehriahmad@gmail.com](mailto:sepehriahmad@gmail.com)

وبلاگ : <http://sepehrsaze.mihanblog.com>

فهرست

فصل اول : طراحی سازه بدون نیاز به میراگر

۱-۱- معرفی سازه ..... ۱۳

۲-۱- بارگذاری ..... ۱۴

۱-۲-۱- بار مرده ..... ۱۴

۲-۲-۱- بار زنده ..... ۱۶

۳-۱- تعیین پارامترهای لرزه‌های ..... ۱۷

۱-۳-۱- کاربری سازه ..... ۱۷

۲-۳-۱- مشخصات سایت و رفتار خاک منطقه ..... ۱۷

۳-۳-۱- منطقه لرزه‌های ..... ۱۷

۴-۳-۱- ضریب رفتار سازه ..... ۲۱

۵-۳-۱- تعیین پریود سازه ..... ۲۱

۴-۱- کنترل طراحی ..... ۲۳

۱-۴-۱- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (Drift) ..... ۲۳

۲-۴- نسبت تنش اعضای قاب : ..... ۲۵

۵-۱- مقاطع تیر و ستون ..... ۲۹

۶-۱- طراحی سقف تیرچه بلوک طبقات ..... ۳۰

مراجع ..... ۳۴

فصل دوم : طراحی سازه به همراه میراگر ویسکوز

۱-۲- میراگر ویسکوز ..... ۳۵

۲-۲- تعیین نسبت میرایی هدف در سطح طراحی DBE ..... ۳۶

۳-۲- طراحی سازه در برابر ۰,۷۵ درصد برش آیین نامه ..... ۳۷

۴-۲- تعیین ضریب میرایی میراگر ها ..... ۴۰

۱-۴-۲- تعیین جرم لرزه ای طبقات ..... ۴۱

۲-۴-۲- تعیین شکل مودی و پریود مود اول ..... ۴۳

۴۳-۲-۳- تعیین زاویه میراگر با افق ..... ۴۳

۴۴-۲-۴- آرایش میراگر ها در سازه ..... ۴۴

۴۵-۲-۴- محاسبه ضریب میرایی میراگر ها ..... ۴۵

۴۵-۲-۴- محاسبه نیروی سازه در ماکزیمم شتاب ..... ۴۵

۵۰-۲-۵- تعیین سختی میراگر برای مدلسازی در SAP2000 ..... ۵۰

۵۳-۲-۶- تعیین عملکرد سازه با میراگر ویسکوز تحت زلزله DBE ..... ۵۳

۵۴-۲-۶-۱- کنترل دریافت طبقات ..... ۵۴

۵۶-۲-۶-۲- نسبت تنش ستون ها : ..... ۵۶

۶۰-۲-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE ..... ۶۰

۶۱-۲-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE ..... ۶۱

۶۳- مراجع ..... ۶۳

فصل سوم : طراحی سازه به همراه میراگر ویسکوالاستیک

۶۴-۳-۱- میراگر ویسکوالاستیک ..... ۶۴

۶۵-۳-۲- طراحی سازه اولیه بدون میراگر ..... ۶۵

۶۷-۳-۳- طراحی میراگر ویسکوالاستیک ..... ۶۷

۷۰-۳-۴- مدلسازی در SAP2000 : ..... ۷۰

۷۰-۳-۴-۱- تعیین ضریب میرایی ماده ویسکوالاستیک (C) ..... ۷۰

۷۳-۳-۵- ارزیابی سازه تحت زلزله سطح DBE ..... ۷۳

۷۳-۳-۵-۱- کنترل دریافت طبقات ..... ۷۳

۷۶-۳-۵-۲- نسبت تنش اعضا ..... ۷۶

۸۰-۳-۵-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE ..... ۸۰

۸۰-۳-۵-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE ..... ۸۰

۸۱- مراجع ..... ۸۱

فصل چهارم : طراحی سازه به همراه میراگر اصطکاکی پال

۸۲-۴-۱- مدل سازی و طرح لرزهای سازه با استفاده از میراگر اصطکاکی پال ..... ۸۲

- ۲-۴- مفهوم بار لغزشی بهینه ..... ۸۳
- ۳-۴- طراحی سازه با میراگر اصطکاکی پال ..... ۸۴
- ۱-۳-۴- طراحی ساختمان بدون بادبند ..... ۸۴
- ۲-۳-۴- انتخاب ابعاد بادبند قطری ..... ۸۴
- ۳-۳-۴- تعیین پریود غالب ارتعاش زمین و شتاب مبنای طرح ..... ۸۵
- ۴-۳-۴- کنترل محدودیت های روش طراحی ..... ۸۵
- ۵-۳-۴- تعیین ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  و رسم طیف طراحی بار-لغزش ..... ۸۶
- ۶-۳-۴- تعیین نیروی لغزشی کل ..... ۸۷
- ۶-۳-۴- توزیع نیروی لغزشی بین میراگرها ..... ۸۷
- ۷-۳-۴- کنترل عدم لغزش میراگرها تحت بار باد ..... ۸۸
- ۸-۳-۴- کنترل عدم جاری شدن بادبندها قبل از لغزش میراگرهای اصطکاکی ..... ۸۸
- ۴-۴- مدلسازی در SAP2000 ..... ۸۹
- ۵-۴- تعیین عملکرد سازه با میراگر اصطحکاکی تحت زلزله DBE: ..... ۹۳
- ۱-۵-۴- کنترل دریافت طبقات: ..... ۹۳
- ۲-۵-۴- نسبت تنش ستون ها ..... ۹۵
- ۳-۵-۴- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE ..... ۹۹
- ۴-۵-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE ..... ۹۹
- مراجع ..... ۱۰۰

#### فصل پنجم : طراحی سازه به همراه میراگر تسلیمی

- ۱-۵- طراحی ساختمان بدون میراگر ..... ۱۰۱
- ۲-۵- محاسبه ی برش پایه بر اساس NEHRP2000 ..... ۱۰۱
- ۳-۵- طراحی میراگر های هیستریزیس با المان T-ADAS ..... ۱۰۲
- ۴-۵- مدل سازی میراگرهای تسلیمی در نرمافزار SAP2000 ..... ۱۰۶
- ۵-۵- طراحی بادبندهای Chevron ..... ۱۱۰
- ۱-۵-۵- نیروی بادبند ها ..... ۱۱۰
- ۲-۵-۵- کنترل عدم کمانش بادبندها قبل از تسلیم میراگرها ..... ۱۱۱



- ۱۱۱-۵-۳-کنترل عدم جاری شدن بادبندها قبل از تسلیم میراگرها ..... ۱۱۱
- ۱۱۲-۵-۶-طراحی ساختمان دارای میراگر ..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۵-۶-۱-پاسخ های مود اول ..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۵-۶-۲-ضریب اصلاح حلقه های هیستریزیس ..... ۱۱۲
- ۱۱۳-۵-۶-۳-مقدار میرایی هیسترتیک ..... ۱۱۳
- ۱۱۴-۵-۶-۴-پاسخ های مودهای باقیمانده ..... ۱۱۴
- ۱۱۵-۵-۶-۵-جمع SRSS پاسخهای مود اول و مودهای باقیمانده ..... ۱۱۵
- ۱۱۶-۵-۷-کنترل فرض اولیه انجام شده در مورد تعداد ورقهای هر میراگر ..... ۱۱۶
- ۱۱۹-۵-۸-تعیین عملکرد سازه با میراگر تسلیمی تحت زلزله DBE ..... ۱۱۹
- ۱۱۹-۵-۸-۱-کنترل دریافت طبقات ..... ۱۱۹
- ۱۲۱-۵-۸-۲-نسبت تنش ستون ها ..... ۱۲۱
- ۱۲۵-۵-۸-۳-انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE ..... ۱۲۵
- ۱۲۵-۵-۸-۴-نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE ..... ۱۲۵
- ۱۲۶-۵-۸-۴-مراجع ..... ۱۲۶

### فصل ششم : طراحی سازه به همراه جداگر لرزه ای LRB

- ۱۲۷-۶-۶-جداگر لرزه ای (LRB) Lead Rubber Bearing ..... ۱۲۷
- ۱۲۸-۶-۱-طراحی ساختمان دارای جداگر لرزه ای LRB ..... ۱۲۸
- ۱۲۸-۶-۱-۱-محاسبه جابجایی طراحی ..... ۱۲۸
- ۱۲۹-۶-۱-۲-محاسبه جابجایی ماکزیمم ..... ۱۲۹
- ۱۳۰-۶-۱-۳-محاسبه جابجایی کل : ..... ۱۳۰
- ۱۳۱-۶-۱-۴-محاسبه سختی مؤثر مینیمم و ماکزیمم ..... ۱۳۱
- ۱۳۱-۶-۱-۵-محاسبه نیروی جانبی لازم برای طراحی سیستم جداگر لرزه ای و اجزاء زیر آن ..... ۱۳۱
- ۱۳۱-۶-۱-۶-محاسبه نیروی جانبی لازم برای کنترل پایداری و ظرفیت نهایی سیستم جداگر ..... ۱۳۱
- ۱۳۱-۶-۱-۷-محاسبه نیروی جانبی لازم برای طراحی ساختمان بالای سیستم جداگر ..... ۱۳۱
- ۱۳۳-۶-۱-۸-توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان بالای سیستم جداگر و طراحی ساختمان ..... ۱۳۳
- ۱۳۴-۶-۲-طراحی گام به گام جداگر (LRB) Lead Rubber Bearing ..... ۱۳۴

- ۱۳۴-۱-۲-۶- انتخاب خصوصیات ماده مورد نظر.....
- ۱۳۴-۲-۲-۶- محاسبه ارتفاع کل لایه های لاستیک.....
- ۱۳۵-۳-۲-۶- طراحی هسته سربی (Lead Plug).....
- ۱۳۵-۴-۲-۶- محاسبه مساحت A هر لایه لاستیک.....
- ۱۳۵-۱-۴-۲-۶- محاسبه ضریب شکل S.....
- ۱۳۶-۲-۴-۲-۶- محاسبه سطح مقطع موثر **A0** بر اساس تنش محوری مجاز.....
- ۱۳۶-۳-۴-۲-۶- محاسبه سطح مقطع موثر **A1** از کرنش برشی ناشی از نیروی قائم (بارگذاری مرده و زنده):.....
- ۱۳۷-۴-۴-۲-۶- محاسبه سختی الاستیک تکیه گاه **Kr**.....
- ۱۳۷-۵-۴-۲-۶- محاسبه سطح مقطع مینیمم **Asf** از گسیختگی برشی جداگر :.....
- ۱۳۸-۶-۴-۲-۶- محاسبه مساحت نهایی.....
- ۱۳۸-۵-۲-۶- محاسبه ضخامت t هر لایه لاستیک.....
- ۱۳۸-۶-۲-۶- محاسبه تعداد کل لایه های لاستیک.....
- ۱۳۹-۷-۲-۶- محاسبه ضخامت ورق های فولادی.....
- ۱۳۹-۸-۲-۶- کنترل کرنش برشی.....
- ۱۳۹-۹-۲-۶- کنترل پایداری جداگر.....
- ۱۴۰-۱۰-۲-۶- کنترل نسبت ابعاد هسته ی سربی.....
- ۱۴۰-۱۱-۲-۶- کنترل کرنش برشی برای بار زلزله.....
- ۱۴۱-۱۲-۲-۶- کنترل Rollout جداگر.....
- ۱۴۲-۳-۶- مدلسازی جداگر در Sap2000.....
- ۱۴۷-۴-۶- تعیین عملکرد سازه با جداگر تحت زلزله DBE.....
- ۱۴۷-۱-۴-۶- کنترل دریافت طبقات.....
- ۱۴۹-۲-۴-۶- نسبت تنش ستون ها :.....
- ۱۵۳-۳-۴-۶- نمودار نیرو-جابجایی جداگر تحت زلزله DBE.....
- ۱۵۴-۴-۴-۶- مقایسه انرژی ورودی به سازه در دو حالت با و بدون جداگر لرزه ای.....
- ۱۵۵- مراجع.....

فصل هفتم : مقایسه سیستم های کنترلی طراحی شده

- ۱-۷- مقایسه ماکزیمم برش پایه در زلزله سطح طراحی ..... ۱۵۶
- ۲-۷- مقایسه انرژی ورودی به سازه ..... ۱۶۱
- ۳-۷- مقایسه انرژی تلف شده ..... ۱۶۲
- ۴-۷- توزیع دررفت در ارتفاع ..... ۱۶۳
- ۵-۷- توزیع ماکزیمم نیروی محوری ستون کناری ۱ در ارتفاع ..... ۱۶۴
- ۶-۷- نمودار پوش اور (Pushover) و برش تسلیم ..... ۱۶۶
- ۱-۶-۷- خلاصه ای از مراحل انجام تحلیل بار افزون در نرم افزار ..... ۱۶۶
- ۲-۷-۶- نمودارهای ظرفیت سازه ..... ۱۶۷

## چکیده

هدف از پروژه‌ی حاضر، ارزیابی عملکرد یک ساختمان بتن‌آرمه‌ی ۸ طبقه با سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی معمولی می‌باشد. بدین منظور سازه‌ی مورد بحث، برای ۷۵ درصد نیروی زلزله‌ی حاصل از طیف آیین‌نامه‌ی NEHRP 2000 طراحی شده است. پر واضح است که سازه‌ی مذکور توانایی تحمل نیروهای وارده از طرف زلزله را ندارد و نیاز است تا به طریق مناسبی مقاوم‌سازی گردد. از این رو در این پروژه سعی شده است تا با استفاده از تعبیه‌ی مکانیزم‌های استهلاک انرژی، سازه را در برابر نیروهای ناشی از زلزله مقاوم نمود. در این راستا، از مستهلک‌کننده‌های ویسکوز، ویسکوالاستیک، اصطکاکی پال، تسلیمی و جداسازهای لرزه‌ای استفاده شده است.

در هر مرحله از پروژه، مستهلک‌کننده‌های یاد شده، به منظور مقاوم نمودن سازه طراحی شدند و مدل سازه به همراه مستهلک‌کننده‌ها در نرم‌افزار SAP2000 ساخته شد. سپس عملکرد سازه‌ی مقاوم‌سازی شده، تحت رکورد زلزله‌ی El-Centro در سطح DBE مورد ارزیابی قرار گرفت.

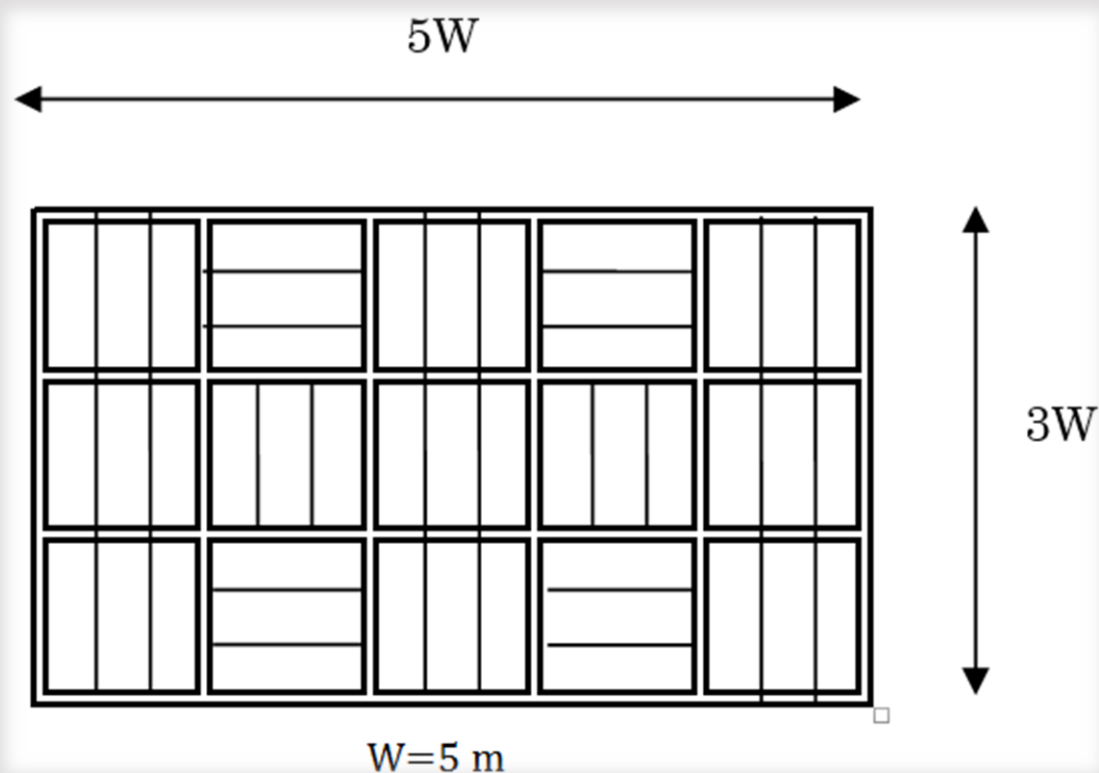
نتایج حاکی از آن است که سازه‌ی مقاوم‌سازی شده تحت رکورد زلزله‌ی El-Centro در سطح DBE بصورت خطی رفتار می‌کند و هیچ‌کدام از المان‌های سازه وارد ناحیه غیرخطی نمی‌گردند،

فصل اول

طراحی سازه بدون نیاز به میراگر

۱-۱- معرفی سازه

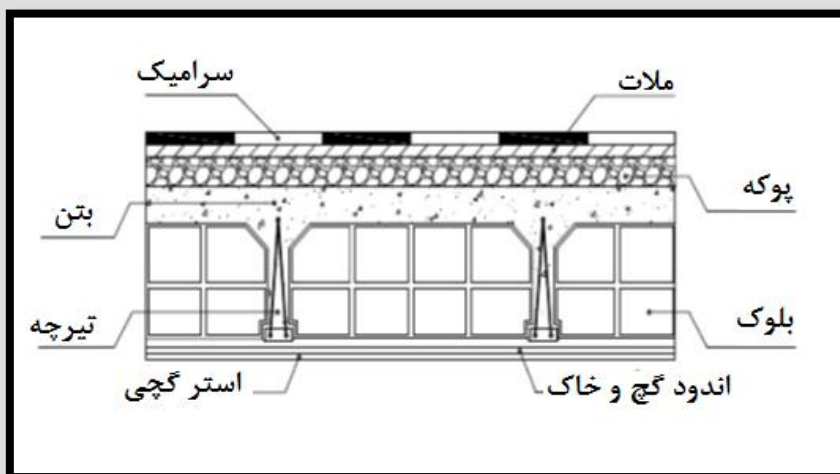
سازه مورد نظر عبارت است از یک ساختمان بتن آرمه هشت طبقه با سیستم باربر جانبی قاب خمشی معمولی OMRCF که در منطقه لرزه‌ای ۴ واقع شده و نوع خاک محل سازه، از نوع *Class A* می‌باشد. سیستم باربر کف طبقات، سقف تیرچه بلوک بتنی انتخاب گردیده است.



شکل ۱-۱: پلان سازه و جهت تیرچه ریزی

۲-۱- بارگذاری

۱-۲-۱- بار مرده



محاسبات مربوط به بارگذاری کف طبقات و بام به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

شکل ۱-۲: جزئیات بارگذاری کف طبقات

جدول ۱-۱: محاسبات بارگذاری کف طبقات

وزن واحد سطح اجزا و مصالح در طبقات				
مصالح مصرفی	وزن مخصوص ( $kg/m^3$ )	ضخامت (m)	تعداد	شدت بار ( $kg/m^2$ )
دال بتنی	۲۴۰۰	۰,۰۵	۱	۱۲۰
تیرچه بتنی	۲۴۰۰	-	۲	۹۶
پوکه معدنی	۶۰۰	۰,۰۷	۱	۴۲
ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰	۰,۰۳	۱	۶۳
کاشی سرامیکی کفی	۲۱۰۰	۰,۰۱۵	۱	۳۱,۵
ملات گچ و خاک	۱۶۰۰	۰,۰۱۵	۱	۲۴
ملات گچ	۱۳۰۰	۰,۰۱	۱	۱۳
بلوک بتنی	-	-	۸	۸۰

۴۶۹،۵

جدول ۱-۲: محاسبات بارگذاری کف بام

وزن واحد سطح اجزا و مصالح در طبقات				
مصالح مصرفی	وزن مخصوص ( $kg/m^3$ )	ضخامت (m)	تعداد	شدت بار ( $kg/m^2$ )
دال بتنی	۲۴۰۰	۰،۰۵	۱	۱۲۰
تیرچه بتنی	۲۴۰۰	-	۲	۹۶
پوکه معدنی	۶۰۰	۰،۰۷	۱	۴۲
ملات ماسه سیمان	۲۱۰۰	۰،۰۳	۱	۶۳
سنگ موزاییک	۲۴۰۰	۰،۰۱۵	۱	۳۶
ملات گچ و خاک	۱۶۰۰	۰،۰۱۵	۱	۲۴
ملات گچ	۱۳۰۰	۰،۰۱	۱	۱۳
بلوک بتنی	-	-	۸	۸۰
اندود دو لایه گونی	-	-	-	۱۵
				۴۸۹

مطابق تعریف پروژه، بار معادل پارتیشن طبقات برابر  $110 (kg/m^2)$  و وزن اضافات و ملحقات گوناگون برابر  $60 (kg/m^2)$  و بار دیوارهای پیرامونی معادل  $1250 (kg/m)$  در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین بار مرده کل کف طبقات و بام را بصورت زیر معرفی میشود.

الف) طبقات :

$$\text{Dead Load} = 470 + 110 + 60 = 520 \text{ Kg/m}^2$$

ب) بام :

$$\text{Dead Load} = 489 + 60 = 549 \text{ Kg/m}^2$$

بار دیوارهای پیرامونی در طبقات برابر 1250 کیلوگرم بر متر می‌باشد لیکن با توجه به اینکه در بام، ارتفاع دیوارهای پیرامونی عموماً 1 متر است، لذا برای بدست آوردن بار دیوارهای پیرامونی در بام، عدد مذکور در نسبت  $\frac{0.9}{3.65}$  ضرب گردیده است که حاصل برابر 342.5 کیلوگرم بر متر می‌باشد.

۱-۲-۲- بار زنده

با توجه به صورت پروژه، بار زنده کف طبقات برابر 550 کیلوگرم بر متر مربع و بار زنده مربوط به بام برابر 250 کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده‌اند.



### ۳-۱- تعیین پارامترهای لرزه‌ای

#### ۱-۳-۱- کاربری سازه

با توجه به بند 1.4 آیین‌نامه NEHRP، به منظور طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، لازم است تا ضریب اهمیت سازه با توجه به کاربری آن معین گردد. این ضریب در جدول 1.4 برای کاربری‌های مختلف ارائه شده است و در این پروژه، با فرض این که کاربری سازه مورد مطالعه مسکونی می‌باشد بنابراین سازه در *siesmic group I* قرار دارد.

#### ۱-۳-۲- مشخصات سایت و رفتار خاک منطقه

با توجه به تعریف پروژه، سازه مورد نظر در منطقه‌ای واقع شده است که دارای خاک کلاس A است.

#### ۱-۳-۳- منطقه لرزه‌ای

در این پروژه فرض بر این است که سازه در منطقه لرزه‌ای ۴ واقع شده است .

برای محاسبه برش پایه به مقادیر شتاب‌های طیفی  $S_s$  و  $S_1$  نیازمند هستیم که از روی نقشه خطر یکنواختی که در آیین‌نامه NEHRP وجود دارد و در ادامه مشاهده می‌شود، خوانده می‌شود.

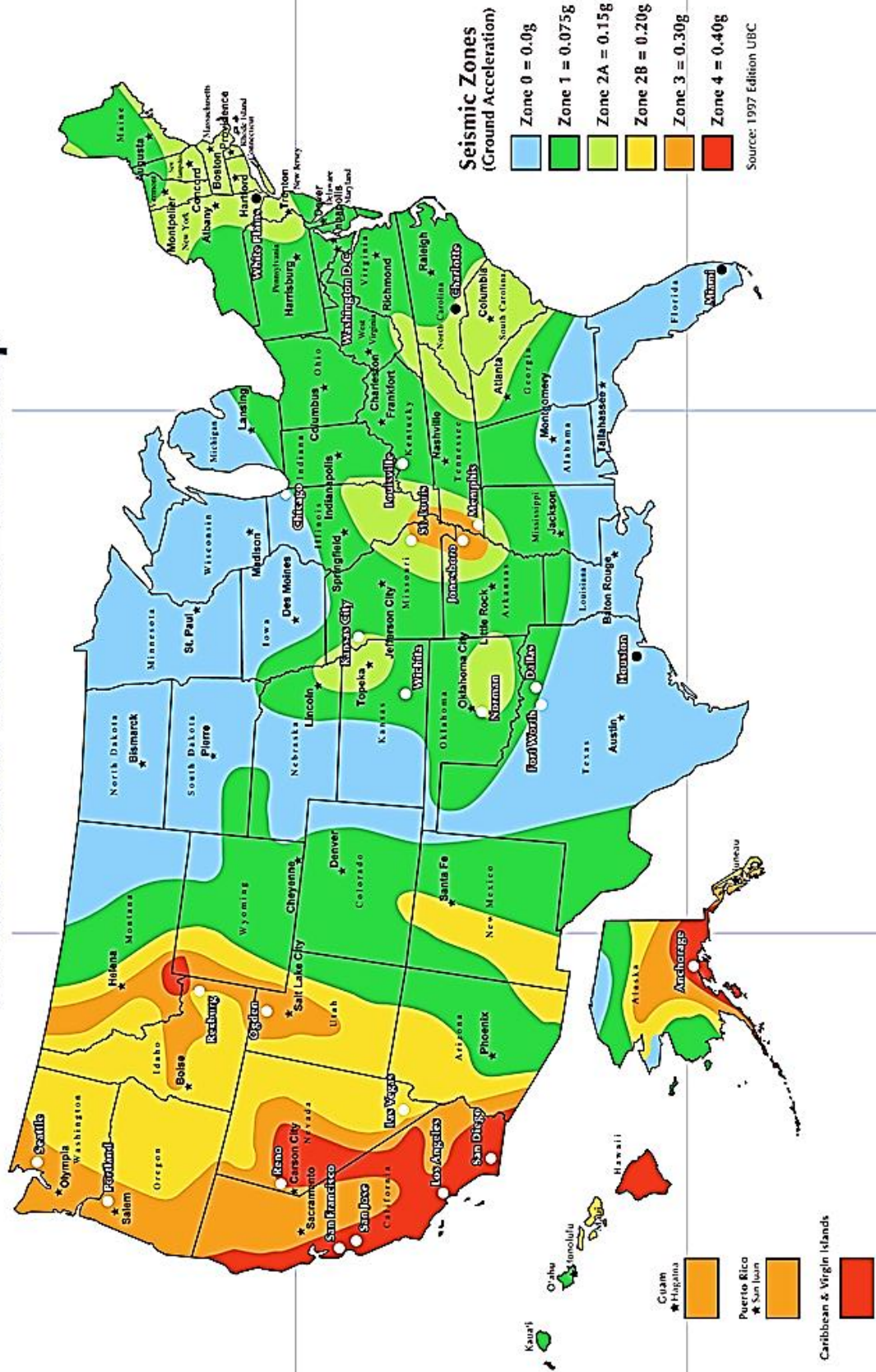
$S_s$  و  $S_1$  به ترتیب شتاب طیفی پریود کوتاه و پریود یک ثانیه با میرایی ۵٪ زلزله MCE یا به تعبیری زلزله ای که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ۲٪ است می‌باشد.

برای منطقه لرزه ای ۴ مقادیر زیر بدست می‌آید:

$$S_s = 1.6$$

$$S_1 = 0.5$$

# United States Seismic Zones Map



شکل ۱-۳: ناحیه بندی لرزه ای آیین نامه UBC

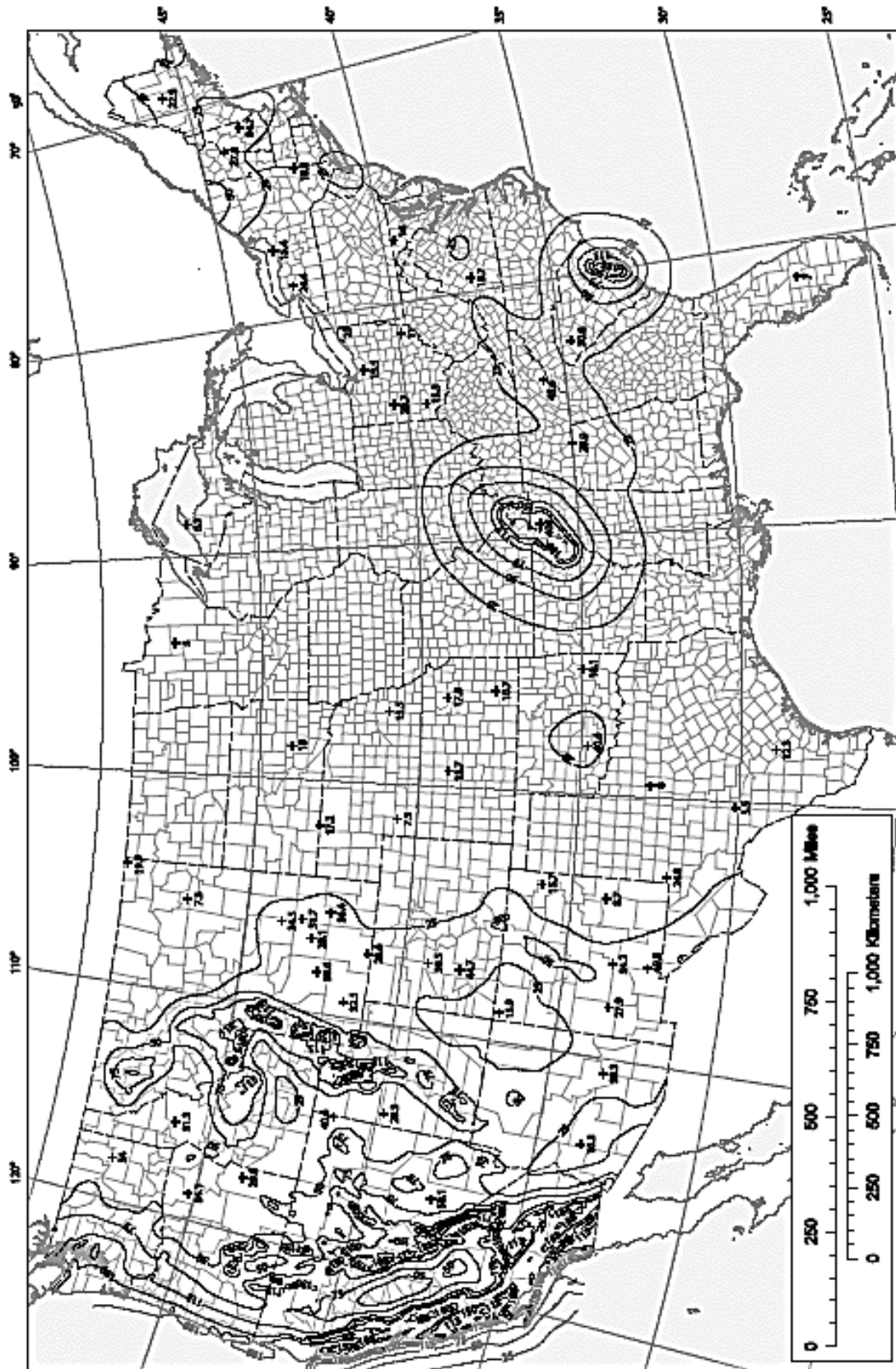


Figure 22-1 Uniform-hazard (2% in 50-Year) ground motions of 0.2-second spectral response Acceleration (5% of critical damping), Site Class B

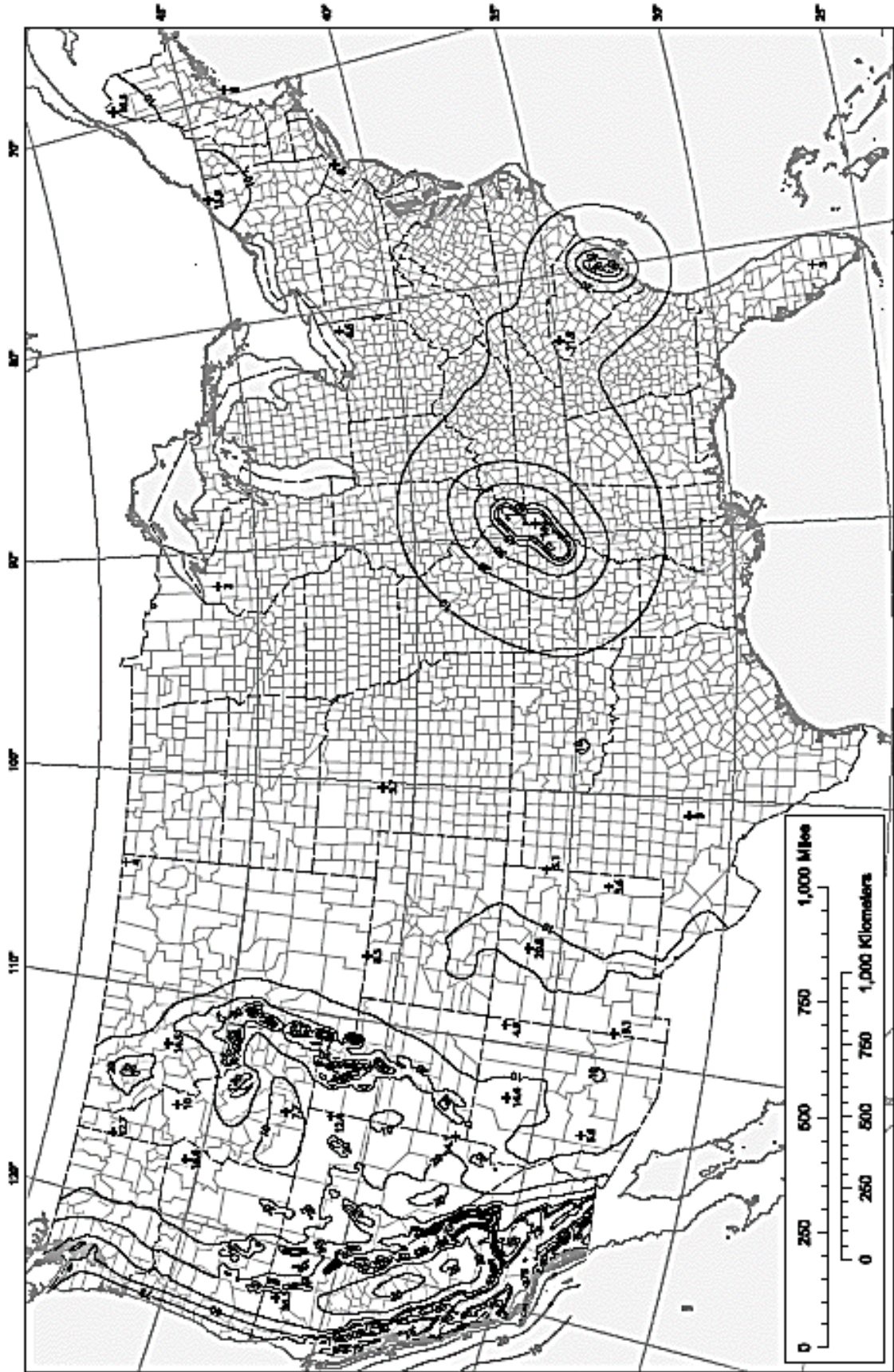


Figure 22-2 Uniform-hazard (2% in 50-Year) ground motions of 1.0-second spectral response Acceleration (5% of critical damping), Site Class B

۱-۳-۴- ضریب رفتار سازه

مطابق جدول 5.2.2 آیین‌نامه NEHRP، ضریب رفتار (R) قاب‌های خمشی بتن آرمه با شکل پذیری معمولی برابر 3 می‌باشد.

۱-۳-۵- تعیین پریود سازه

پریود سازه با توجه به روش تجربی ارائه شده در بند 5.4.2 آیین‌نامه NEHRP به صورت زیر بدست می‌آید.

$$T = C_u C_r h_n^x$$

که در رابطه فوق  $h$  ارتفاع سازه از روی تراز پایه،  $C_r$  و  $x$  برای قاب‌های خمشی بتن آرمه به ترتیب برابر 0.0466 و 0.9 می‌باشد.

$$C_r = 0.0466$$

$$x = 0.9$$

$$h = 4.57 + 7 \times 3.65 = 30.12 \text{ m}$$

$$T_a = C_u C_r h_n^x = 0.0466 \times 30.12^{0.9} = 0.9985$$

پارامترهای بدست آمده مطابق شکل ۱-۴ به نرم افزار معرفی گردیده است.

*NEHRP 97 Seismic Load Pattern*

**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**

Global X Direction  
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Seismic Group

**Time Period**

Approx. Period Ct (ft) =

Program Calc Ct (ft) =

User Defined T =

**Seismic Coefficients**

Per Code  User Defined

Site Class

Response Accel. Ss

Response Accel. S1

User Defined, Fa

User Defined, Fv

**Lateral Load Elevation Range**

Program Calculated  
 User Specified

Max Z

Min Z

**Factors**

Response Modification, R

شکل ۴-۱: پارمترهای لرزه ای منطقه و سازه

۴-۱- کنترل طراحی

۴-۱-۱- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (Drift)

با توجه به بند 5.4.6.1 آیین نامه NEHRP2000 دریفت طبقه از رابطه زیر محاسبه می شود که مقدار Cd برای قاب خمشی معمولی بتنی برابر ۲٫۵ می باشد. مقدار دریفت مجاز طبقات مطابق جدول 5.2.8 آیین نامه برابر  $0.02 h$  در نظر گرفته می شود.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

$$\frac{\Delta_s}{h} = \frac{0.02}{Cd} = \frac{0.02}{2.5} = 0.008$$

$$\Delta_s = 0.008 \times 3.65 = 0.0292 \text{ m}$$

مقادیر دریفت طبقات در دو جهت X و Y در جداول ۳-۱ و ۴-۱ قابل مشاهده است.

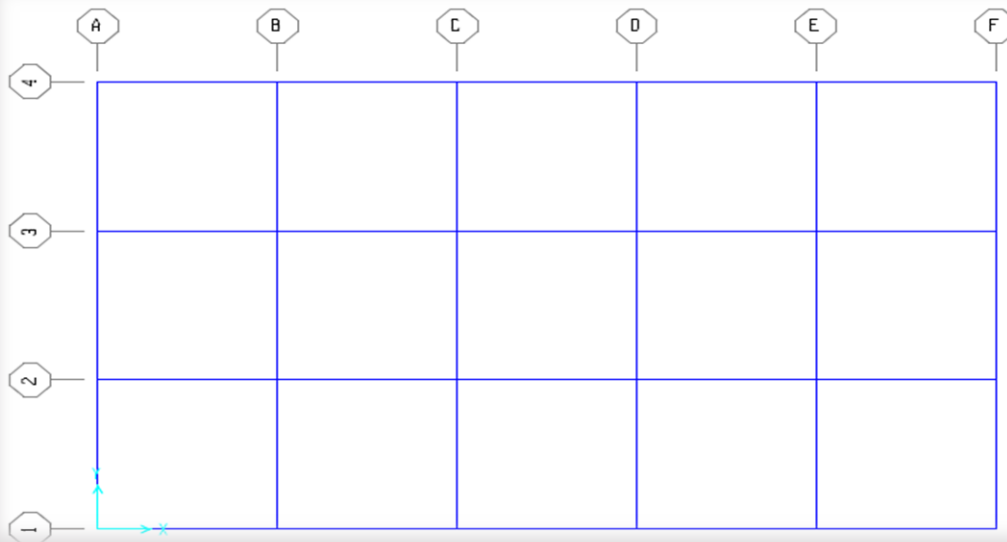
جدول ۳-۱: دریفت طبقات در جهت X

Load Com.	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
DCON1	1.1E-18	-3.7E-19	2.69E-18	-8E-18	-2.5E-17	-1.4E-17	7.68E-17	-2.2E-17
DCON2	1.3E-18	-7.9E-19	3.98E-18	-1E-17	-4.1E-17	-2.5E-17	1.41E-16	-2.9E-17
DCON3	0.019	0.01987	0.022213	0.01929	0.01689	0.018054	0.023892	0.024297
DCON4	0.019	0.01987	0.022213	0.01929	0.01689	0.018054	0.023892	0.024297
DCON5	9E-10	8.7E-11	-1.9E-10	-3E-12	-1.8E-10	-3.2E-10	-1.3E-10	1.99E-11
DCON6	9E-10	8.7E-11	-1.9E-10	-3E-12	-1.8E-10	-3.2E-10	-1.3E-10	1.99E-11
DCON7	0.01937	0.02026	0.022649	0.01966	0.01722	0.018408	0.02436	0.024774
DCON8	0.01937	0.02026	0.022649	0.01966	0.01722	0.018408	0.02436	0.024774
DCON9	9.1E-10	8.9E-11	-1.9E-10	-3E-12	-1.8E-10	-3.3E-10	-1.3E-10	2.04E-11
DCON10	9.1E-10	8.9E-11	-1.9E-10	-3E-12	-1.8E-10	-3.3E-10	-1.3E-10	2.04E-11
Max	0.01937	0.02026	0.022649	0.01966	0.01722	0.018408	0.02436	0.024774

جدول ۱-۴: دریفت طبقات در جهت Y

Load Com.	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
DCON1	3.3E-08	7.67E-08	1.28E-07	1.82E-07	2.51E-07	2.74E-07	7.03E-07	6.65E-07
DCON2	7.3E-08	1.7E-07	2.83E-07	4.03E-07	5.55E-07	6.07E-07	1.56E-06	1.47E-06
DCON3	-0.0012	-0.00144	-0.00164	-0.00188	-0.00187	-0.00193	-0.00195	-0.00127
DCON4	0.001197	0.001444	0.001638	0.001884	0.001868	0.001933	0.001957	0.00127
DCON5	0.015449	0.019498	0.022515	0.025852	0.025851	0.026605	0.026712	0.017944
DCON6	-0.01545	-0.0195	-0.02252	-0.02585	-0.02585	-0.02661	-0.02671	-0.01794
DCON7	-0.00122	-0.00147	-0.00167	-0.00192	-0.0019	-0.00197	-0.00199	-0.00129
DCON8	0.00122	0.001472	0.00167	0.001922	0.001904	0.001971	0.001994	0.001294
DCON9	0.015752	0.01988	0.022957	0.026358	0.026357	0.027127	0.027235	0.018295
DCON10	-0.01575	-0.01988	-0.02296	-0.02636	-0.02636	-0.02713	-0.02723	-0.01829
Max	0.015752	0.01988	0.022957	0.026358	0.026357	0.027127	0.027235	0.018295

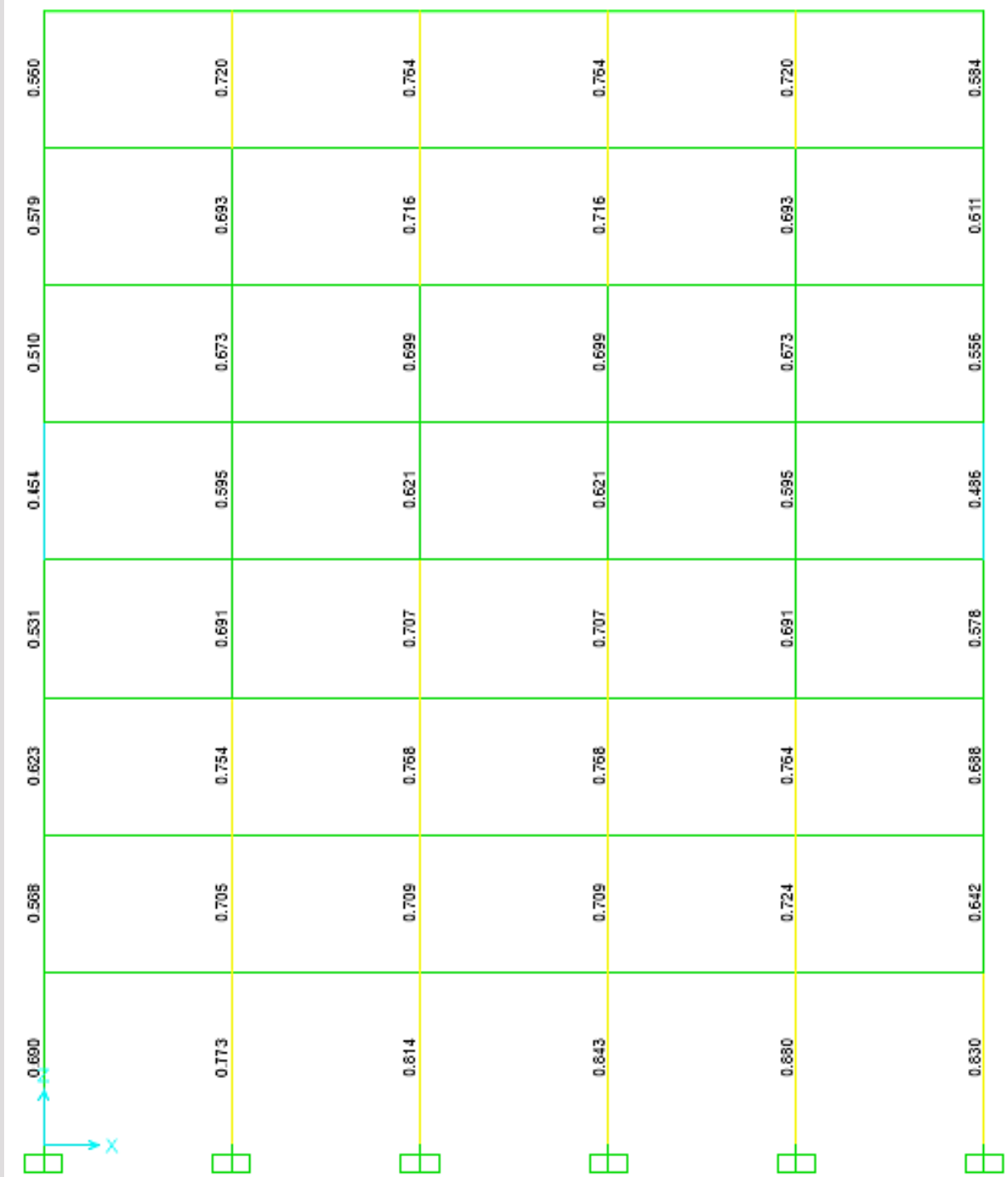
همانطور که ملاحظه می‌گردد مقادیر دریفت از مقدار دریفت مجاز آیین نامه کمتر است.



شکل ۱-۵: Grid بندی قاب‌ها



۴-۲- نسبت تنش اعضای قاب :



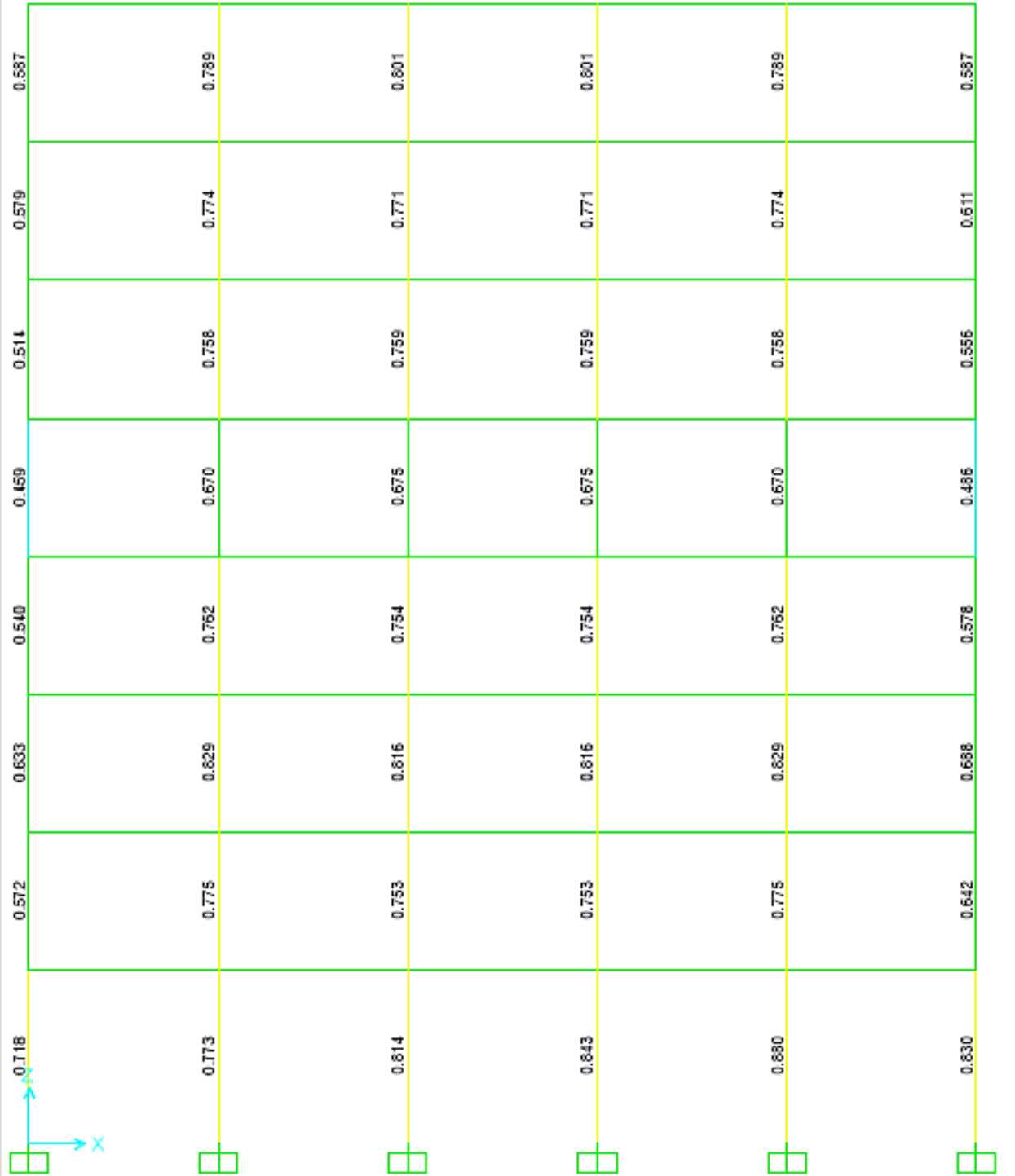
شکل ۱-۶: نسبت تنش قاب ۱

0.769	0.120	0.147	0.101	0.624	0.701	0.692	0.775
0.176	0.802	0.852	0.786	0.684	0.774	0.816	0.859
0.803	0.825	0.854	0.798	0.699	0.790	0.801	0.877
0.845	0.865	0.897	0.840	0.748	0.844	0.852	0.924
0.869	0.882	0.915	0.855	0.761	0.861	0.860	0.917
0.881	0.873	0.907	0.874	0.785	0.883	0.858	0.897

شکل ۱-۷: نسبت تنش قاب ۲

0.185	0.120	0.147	0.101	0.624	0.101	0.692	0.775
0.179	0.802	0.848	0.781	0.677	0.763	0.803	0.859
0.803	0.825	0.858	0.798	0.702	0.790	0.831	0.877
0.845	0.865	0.897	0.840	0.748	0.844	0.852	0.924
0.869	0.882	0.915	0.855	0.761	0.861	0.860	0.917
0.881	0.873	0.907	0.874	0.785	0.883	0.856	0.897

شکل ۱-۸: نسبت تنش قاب ۳



شکل ۹-۱: نسبت تنش قاب ۴

۵-۱- مقاطع تیر و ستون

B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20
B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 40x40 - 20 F 20	C 40x40 - 20 F 20	C 40x40 - 20 F 20	C 40x40 - 20 F 20	C 40x40 - 20 F 20
B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 45x45 - 20 F 22	C 45x45 - 20 F 22	C 45x45 - 20 F 22	C 45x45 - 20 F 22	C 45x45 - 20 F 22
B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60
C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22
B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60
C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22
B 50x60	B 50x60	B 50x60	B 50x60	B 50x60
C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22	C 50x50 - 24 F 22
B 50x60	B 50x60	B 50x60	B 50x60	B 50x60
C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22
B 50x70	B 50x70	B 50x70	B 50x70	B 50x70
C 60x60 - 28 F 25	C 60x60 - 28 F 25	C 60x60 - 28 F 25	C 60x60 - 28 F 25	C 60x60 - 28 F 25

شکل ۱-۱: مقاطع طراحی شده

۶-۱- طراحی سقف تیرچه بلوک طبقات

$$DL = 520 \text{ kg/m}^2$$

$$LL = 550 \text{ kg/m}^2$$

$$W_u = 1.4 \times 520 + 1.7 \times 550 = 1663 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = W_u \times b_e = 0.5 \times 1054 = 831.5 \text{ kg/m}$$

کنترل خیز

حداقل ارتفاع تیرچه با توجه به جدول ۲-۱۴-۹ مبحث نهم برابر است با:

$$h_{min} = \frac{l}{20} = \frac{500}{20} = 25 \text{ cm} < 30 \text{ cm} \rightarrow ok$$

کنترل ضخامت دال روی بلوک ها:

برای کنترل این ضخامت دال بتنی به صورت تیر بتنی غیر مسلح دوسرگردار بین دو تیرچه طراحی می شود.

$$M_u = \frac{1663 \times 0.4^2}{12} = 2217 \text{ kg.cm}$$

$$s = \frac{b h^2}{6} = \frac{1 \times 0.05^2}{6} = 417 \text{ cm}^3$$

$$f_t = \frac{M_u}{s} = 5.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_t = 2 \sqrt{f'_c} = 28.9 \text{ kg/cm}^2 > f_t \rightarrow ok$$

طراحی میلگرد پایین :

طراحی میلگرد پایین برای لنگر مثبت دهنه تیرچه انجام می گیرد:

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{831.5 \times 5^2}{8} = 2598.4 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{2598.4}{0.9} = 2887.15 \text{ kg.m} = 288715 \text{ kg.cm}$$

$$b_w = 10 \text{ cm} , \quad b_e = 50 \text{ cm}$$

$$M = 0.85 f_c b_e h_f \left( d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M = 0.85 \times 210 \times 50 \times 5 \times \left( 22.5 - \frac{5}{2} \right) = 892500 \text{ kg.cm}$$

$a < h_f \rightarrow$  با مستطیل بزرگ سر و کار داریم

$$M_n = 0.85 f_c b_e a \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$288715 = 0.85 \times 210 \times 50 \times a \times \left( 22.5 - \frac{a}{2} \right) \rightarrow a = 1.48$$

$$A_s \times f_y = 0.85 f_c b_e a$$

$$A_s = \frac{0.85 \times 210 \times 50 \times 1.48}{3500} = 3.774$$

USE 2Ø16

طراحی برای لنگر منفی تکیه گاه:

روش اول:

$$M_u = \frac{1}{11} q_u L^2 = \frac{831.5 \times 5^2}{11} = 1889.7 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{1889.7}{0.9} = 2099.75 \text{ kg.m} = 209975 \text{ kg.cm}$$

مقطع به صورت مستطیلی عمل میکند:

$$M_n = 0.85 f_c b_w a \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$209975 = 0.85 \times 210 \times 100 \times a \times \left( 22.5 - \frac{a}{2} \right) \rightarrow a = 6$$

$$A_s \times f_y = 0.85 f_c b_w a$$

$$A_s = \frac{0.85 \times 210 \times 10 \times 3.14}{3500} = 3.06 \text{ cm}^2$$

**USE Ø12 @ 15 cm**

روش دوم:

حداقل مقدار آرماتور منفی برابر ۰,۱۵ مقدار آرماتور در وسط دهانه می باشد که باید حداقل تا فاصله ۰,۲ طول دهانه از تکیه گاه به طرف داخل دهانه امتداد یابند.

$$A_s = 0.15 \times 4.8 = 0.72 \text{ cm}^2$$

$$L = 0.2 \times 5.7 = 114 \text{ cm}$$



کنترل برای برش در تکیه گاه:

$$V_u = \frac{q_u L}{2} = \frac{831.5 \times 5}{2} = 2078.75 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{V_u}{0.85} = \frac{2078.75}{0.85} = 2445.6 \text{ kg}$$

$$V_{cr} = 0.53 \times \sqrt{210} \times 10 \times 27.5 = 5798.73 \text{ kg}$$

$$V_n < V_{cr} \rightarrow \text{ok}$$

آرماتور حرارت و جمع شدگی دال بالای تیرچه ها:

نسبت سطح مقطع کل آرماتورهای حرارت و جمع شدگی به کل سطح مقطع بتن برای میلگردهای S400 نباید کمتر از ۰,۰۰۱۸ باشد.

با توجه به ضخامت 5 سانتیمتری دال بتنی، سطح مقطع لازم آرماتورهای حرارت و جمع شدگی در هر یک متر برابر است با:

$$A_s = 100 \times 0.0018 \times 5 = 0.9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

فواصل بین آرماتورهای حرارت و جمعشدگی در جهت عمود بر تیرچه ها برابر با ۲۵ سانتی متر است که سطح مقطع هر آرماتور برابر است با:

$$A_s = 0.9 \times 0.25 = 0.225 \text{ cm}^2$$

با توجه به سطح مقطع میلگرد  $\phi 6$  که برابر با  $0.28 \text{ cm}^2$  است:

**USE  $\phi 6 @ 25 \text{ cm}$**

این آرماتور در جهت عمود بر تیرچه ها قرار می گیرد.

مراجع

[1] UBC, "Uniform building code," in *Int. Conf. Building Officials* Whittier, California, 1997.

[2] FEMA 368, "NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.

[3] FEMA P750, "NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2009.

## فصل دوم

### طراحی سازه به همراه میراگر ویسکوز

#### ۲-۱- میراگر ویسکوز

دو نوع میرایی در هنگام لرزش برای وسایل جاذب انرژی وجود دارد. وسایل کنترل تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هستریتیک هستند، آنها دارای محدودیت نیرو و وابسته به جابه‌جایی هستند و بر پایه سرعت تحریک، نیروی داخلی شان افزایش نمی‌یابد. ولی میراگرهای ویسکوز، محدود به جابه‌جایی نیستند (با فرض نرسیدن به حالت حدی جابه‌جایی) و نیروی داخلی آنها وابسته به سرعت تحریک است. میراگرهای ویسکوز اولین بار در قرن ۱۹ خنثی‌سازی اثرات ضربه توپها در کشتی استفاده شد. در نیمه اول قرن ۲۰ وارد کمپانی اتومبیل‌سازی شد و در اواخر دهه ۱۹۸۰ جهت استفاده این نوع میراگرها در صنعت ساختمان، آزمایشاتی در مرکز ملی مهندسی زلزله در دانشگاه buffalo در نیورک انجام شد. میراگرهای ویسکوز در سازه‌ها استفاده شده‌اند، از ۴۰ cm تا 1.4 متر طول دارند و محدوده نیروهای خارجی آنها از ۵/۴۴ KN تا ۹ MN است. یک میراگر ویسکوز تشکیل شده از یک پیستون که روزنه‌هایی در قسمت انتهایی دارد و با حرکت رفت و برگشت در داخل سیلندر، سیال لزج وارد روزنه‌ها شده و تولید نیرو می‌کند. نیروی تولید شده به اندازه و شکل روزنه‌ها و همچنین سرعت حرکت وابسته می‌باشد.

چند مزیت مهم برای استفاده از میراگرهای ویسکوز وجود دارد. میراگرهای ویسکوز نیروی میرایی در یک سازه تولید می‌کنند و این نیرو به طور ذاتی غیر هم فاز با ما کزیمم پاسخ سازه در طی رویداد لرزه‌ای است. به این دلیل میراگرهای ویسکوز می‌توانند برش طبقه، شتاب و برش پایه را کاهش دهند. میراگر ویسکوز یک وسیله مهر و موم شده است و این موجب تمایل کمتر آن به خطرات جوی می‌شود که میراگرهای اصطحاکاکی باید تحمل کنند.



شکل ۲-۱: میراگر ویسکو

## ۲-۲- تعیین نسبت میرایی هدف در سطح طراحی

با توجه به بند 13A.2.4.1 آیین نامه NEHRP، سازه‌ای که قرار است با استفاده از میراگر، انرژی ورودی ناشی از زلزله را جذب نماید، بایستی بتواند به تنهایی 0.75 نیروی زلزله را تحمل کند، این بدان معنی است که ضریب کاهش برش پایه در اثر استفاده از میراگر (B)، حداکثر می‌تواند برابر 1.35 باشد که این ضریب معادل میرایی 15% است. در واقع بایستی عنوان نمود که با بیشتر شدن میرایی از 15%، برش پایه تغییری نمی‌کند، بدین معنی که برای کوچک کردن مقاطع نمی‌توان با ایجاد میرایی، برش پایه‌ای کمتر از 0.75V را در نظر گرفت.

بنابراین :

۱. سازه‌ی اولیه‌ی را باید برای 75 درصد برش پایه حاصل از آیین نامه NEHRP طراحی شود.
۲. سیستم میراگر را باید طوری طراحی نمود که قادر به تامین ۱۵ درصد میرایی ویسکوز باشد.

### ۳-۲- طراحی سازه در برابر ۰,۷۵ درصد برش آیین نامه

باید سازه را برای ۷۵ درصد برش بدست آمده از آیین نامه NEHRP 2000 طراحی نمود. برای این کار با توجه به lateral loads manual برنامه Sap2000، روند طراحی بر اساس آیین نامه NEHRP 2000 مشابه با NEHRP97 بوده بنابراین پس از معرفی پارامترهای آیین نامه برای تعیین برش پایه مطابق شکل ۳-۲، در قسمت Load Case برنامه Sap2000، مقدار Scale Factor را برابر ۰,۷۵ وارد می نمایم تا ۷۵ درصد برش پایه محاسبه شده، منظور گردد.

شکل ۳-۲: پارامترهای لرزه ای منطقه و سازه

**Load Case Data - Linear Static**

Load Case Name  
Ey Set Def Name

Notes  
Modify/Show...

Load Case Type  
Static Design...

Stiffness to Use

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case ▼

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern ▼	Ey ▼	0.75
Load Pattern	Ey	0.75

Add  
Modify  
Delete

OK  
Cancel

شکل ۲-۴: ضریب مقیاس ۰.۷۵ برای در نظر گرفتن ۰.۷۵ نیروی زلزله آیین نامه

	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40
C 55x55 - 28 F 22	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40
C 50x50 - 24 F 22	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 45x45 - 24 F 20	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 45x45 - 24 F 20	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 45x45 - 24 F 20	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 50x50 - 24 F 22	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 50x50 - 24 F 22	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60
C 55x55 - 28 F 22	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20	C 40x40 - 16 F 20

شکل ۲-۵: ضریب مقیاس ۰.۷۵ برای در نظر گرفتن ۰.۷۵ نیروی زلزله آیین نامه

۴-۲- تعیین ضریب میرایی میراگرها :

نسبت میرایی ایجاد شده در سازه توسط میراگر ( $\zeta_d$ ) با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\zeta_d = \frac{T \sum C_j \varphi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum m_i \varphi_i^2}$$

در رابطه فوق  $T$  پریود مود اصلی سازه،  $C_j$  ضریب میرایی طبقه  $j$ ،  $\varphi_{rj}$  جابجایی افقی نسبی دو انتهای میراگر در اثر تغییر شکل سازه در مود اول تغییر شکل،  $\theta_j$  زاویه میراگر با راستای افق در طبقه  $j$ ،  $m_i$  جرم لرزه‌ای طبقه  $i$  و  $\varphi_i$  تغییر مکان طبقه  $i$  در اثر تغییر شکل سازه در مود اول تغییر مکان می‌باشند.

رابطه‌ی بالا مختص میراگرهای خطی بوده و در ادامه سونگ و کنستانتینو (۱۹۹۴) و سلما و کنستانتینو (۱۹۹۷)۲ رابطه‌ی برای میراگرها غیرخطی ارائه نمودند.

$$\xi = \frac{T^{2-\alpha} \sum_j C_j \lambda \cos^{1+\alpha} \theta_j \phi_{rj}^{1+\alpha}}{(2\pi)^{3-\alpha} A^{1-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

که پارامتر  $\lambda$  برابر با رابطه زیر می‌باشد :

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1 + \alpha/2)}{\Gamma(2 + \alpha)}$$

در روابط بالا هرگاه به جای چیدمان قطری از چیدمان شورون استفاده نماییم بجای  $\cos \theta_j$  عدد ۱ قرار خواهد گرفت.

<sup>1</sup> Soong and Constantinou

<sup>2</sup> Seleemah and Constantinou



۲-۴-۱- تعیین جرم لرزه ای طبقات

• جرم لرزه ای کف طبقات:

$$W_{\text{کف}} = A \times (DL + 0.2 LL)$$

$$A = 15 \times 25 = 375 \text{ m}^2$$

$$W_{\text{کف طبقات}} = A \times (520 + 0.2 \times 550) = 630 A = 630 \times 375 = 236250 \text{ kg}$$

$$W_{\text{کف بام}} = A \times (550 + 0.2 \times 250) = 600 A = 600 \times 375 = 225000 \text{ kg}$$

• جرم لرزه ای دیوارها:

$$L_{\text{دیوار جانبی بام و طبقات}} = 80 \text{ m}$$

$$q_{\text{طبقات}} = 1250 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{بام}} = 342.5 \text{ kg/m}$$

$$W_{\text{دیوارهای طبقه اول}} = \frac{1250}{3.65} \times \frac{(3.65 + 4.57)}{2} \times 80 = 112602.7 \text{ kg}$$

$$W_{\text{دیوارهای سایر طبقات}} = 80 \times 1250 = 100000 \text{ kg}$$

$$W_{\text{دیوارهای بام}} = 80 \times 342.5 + 0.5 \times 80 \times 1250 = 77400 \text{ kg}$$

• جرم لرزه ای اسکلت سازه:

$$W = (L_{\text{beams}} \times A_{\text{beams}} + \frac{N_{\text{columns}}}{2} \times (A \times L)_{\text{average}}) \times \gamma$$

$$N_{\text{columns}} = 24$$

جدول ۱-۲: جرم لرزه ای اسکلت سازه

Story	Column Area (cm <sup>2</sup> )	Columns Length (m)	Beams Length (m)	Beams Area (m <sup>2</sup> )	Weight (kg)
1	3025	4.57	190	0.24	142486.9
2	2500	3.65	190	0.24	135720
3	2500	3.65	190	0.2	117480
4	2500	3.65	190	0.2	114983.4
5	2025	3.65	190	0.2	112486.8
6	2025	3.65	190	0.2	110253
7	1600	3.65	190	0.16	89779.2
8	1600	3.65	190	0.16	81369.6

در مجموع:

جدول ۲-۲: جرم لرزه ای کل

Story	وزن اسکلت kg	وزن دیوار kg	وزن کف kg	وزن کل kg	جرم کل kg.sec <sup>2</sup> /m
1	142486.9	112602.7	236250	491339.6	50085.58818
2	135720	100000	236250	471970	48111.11111
3	117480	100000	236250	453730	46251.78389
4	114983.4	100000	236250	451233.4	45997.28848
5	112486.8	100000	236250	448736.8	45742.79307
6	110253	100000	236250	446503	45515.08665
7	89779.2	100000	236250	426029.2	43428.05301
8	81369.6	77400	225000	383769.6	39120.24465

۲-۴-۲- تعیین شکل مودی و پریود مود اول:

جدول ۲-۳: شکل مودی مد اول سازه

Mode #1						
Story	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	U1	Period
Text	Text	Text	Text	Unitless	m	Sec
1	MODAL	LinModal	Mode	1	0.113	1.94
2	MODAL	LinModal	Mode	1	0.236	
3	MODAL	LinModal	Mode	1	0.379	
4	MODAL	LinModal	Mode	1	0.533	
5	MODAL	LinModal	Mode	1	0.685	
6	MODAL	LinModal	Mode	1	0.8	
7	MODAL	LinModal	Mode	1	0.923	
8	MODAL	LinModal	Mode	1	1	

۲-۴-۳- تعیین زاویه میراگر با افق:

با توجه به صورت پروژه میراگرها بصورت قطری (Diagonal) در سازه نصب می شوند. بنابراین:

طبقه اول:

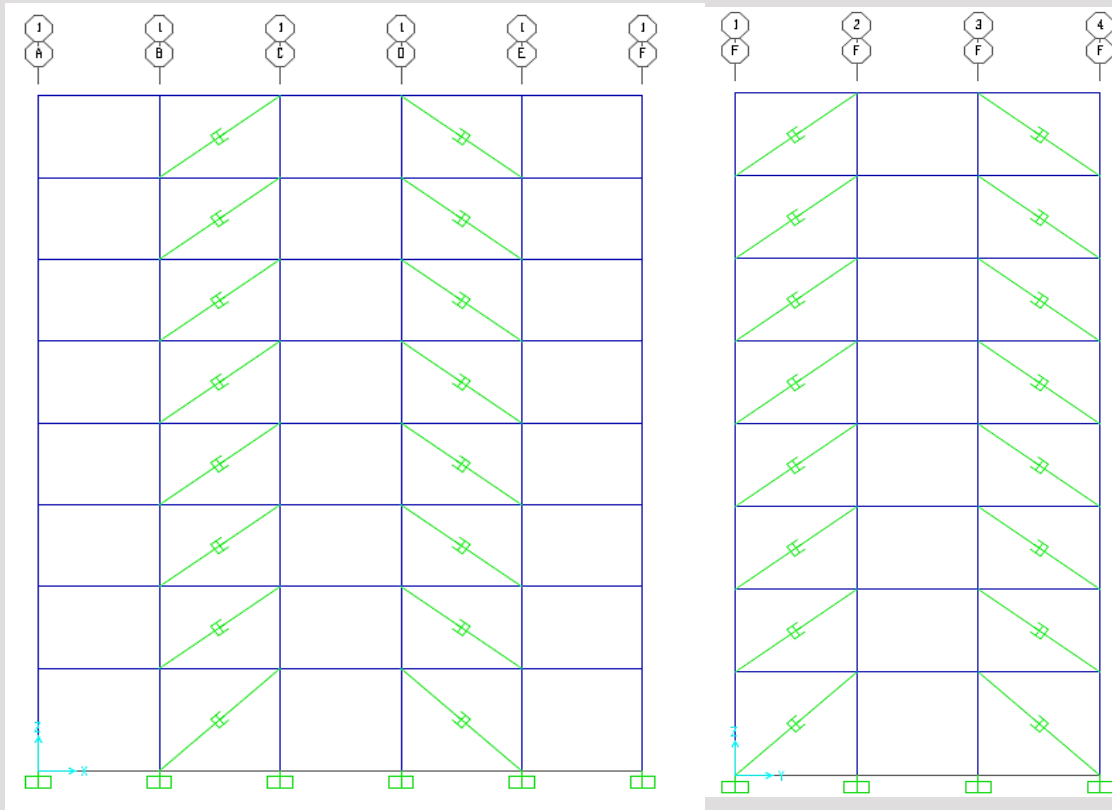
$$\cos \theta = \frac{5}{\sqrt{4.57^2 + 5^2}} = 0.738$$

سایر طبقات:

$$\cos \theta = \frac{5}{\sqrt{3.65^2 + 5^2}} = 0.8076$$

۲-۴-۴- آرایش میراگرها در سازه:

با فرض اینکه در هر جهت ۴ میراگر قرار گرفته باشد. یعنی در دهانه های B-C و D-E و قاب های ۱ و ۴ در جهت Y و در دهانه های ۱-۲ و ۳-۴ در قاب های A و F میراگر قرار گرفته باشد.



شکل ۲-۶: آرایش میراگرها در سازه

۲-۴-۵- محاسبه ضریب میرایی میراگرها:

جدول ۲-۴: محاسبه ضریب میرایی

Story	Modal Disp.	Modal Drift	Siesmic Mass	$\cos \theta$	$M \times \varphi^2$	$(\varphi_{rj} \times \cos \theta)^2$
1	0.112981	0.112981	50085.59	0.738	639.3252143	0.006952192
2	0.236779	0.123798	48111.11	0.8076	2697.312013	0.009995866
3	0.379808	0.143029	46251.78	0.8076	6671.999429	0.013342582
4	0.533654	0.153846	45997.29	0.8076	13099.40346	0.015437107
5	0.685096	0.151442	45742.79	0.8076	21469.68823	0.014958466
6	0.808894	0.123798	45515.09	0.8076	29780.97073	0.009995866
7	0.923077	0.114183	43428.05	0.8076	37003.78481	0.008503411
8	1	0.076923	39120.24	0.8076	39120.24465	0.003859277
				$\Sigma$	150482.7285	0.083044767

$$\zeta_d = \frac{T \sum C_j \varphi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum m_i \varphi_i^2}$$

$$0.15 = \frac{1.94 \times 4 \times C \times 0.083}{4\pi \times 150482.73} \rightarrow C = 478727.8 \frac{Kg-sec}{m}$$

۲-۴-۶- محاسبه نیروی سازه در ماکزیمم شتاب

همانطور که از شکل زیر مشاهده می گردد در میرایی های کم مقادیر شبه شتاب با شتاب ماکزیمم برابر خواهد بود. بنابراین با دانستن تنها ماکزیمم جابجایی سیستم میتوان پاسخ ماکزیمم را بدست آورد. اما با افزایش میرایی، ماکزیمم پاسخ در ماکزیمم جابجایی (شبه شتاب) و ماکزیمم شتاب دیگر همفاز نخواهد بود و باید جواب ماکزیمم در شتاب ماکزیمم را نیز با ترکیب پاسخها در ۲ حالت ماکزیمم جابجایی و ماکزیمم سرعت بدست آورد و سازه را با آن کنترل نمود.

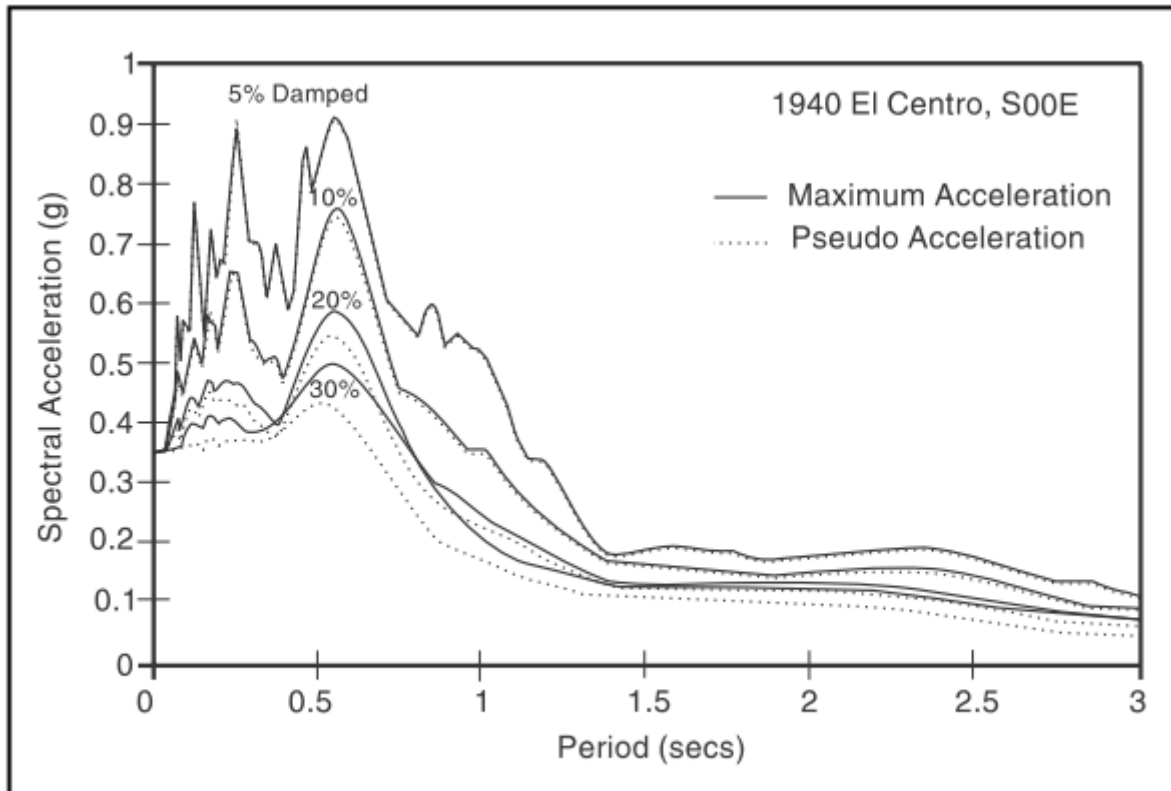


Figure 2.11 Response Spectra of Maximum and Pseudo Acceleration

پاسخ در ماکزیمم جابجایی

تعیین ضریب مشارکت مودی مود اول

$$PF_1 = \frac{\sum_i m_i \phi_{im}}{\sum_i m_i \phi_{im}^2} = 1.37$$

تعیین شتاب طبقات

$$A_{i1} = PF_1 \times \Phi_{i1} \times S_{a1}$$

$$R = 3, \quad \Omega_0 = 3, \quad C_d = 2.5$$

$$S_{MS} = F_a S_S = 0.8 \times 1.6 = 1.28 \quad (\text{NEHRP 2000})$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0.85$$

$$S_{a1} = \frac{S_{DS} \times I}{R \times B_{1D}} = \frac{0.85 \times 1}{3 \times 1.35} = 0.2$$

تعیین نیروی جانبی و نیروی برشی هر طبقه

$$F_{i1} = m_i \times A_{i1}$$

Story	Ai	Fi	Vi
1	0.03216	16107.6	587881.2
2	0.067399	32426.63	571773.6
3	0.108113	50004.13	539347
4	0.151905	69872.37	489342.8
5	0.195014	89204.71	419470.5
6	0.230253	104799.9	330265.8
7	0.262755	114109.5	225465.9
8	0.284652	111356.4	111356.4

- پاسخ در ماکزیمم سرعت

جابجایی طبقات :

$$\Delta_{i1} = \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2 A_{i1}$$

دریفت بین طبقات :

$$\Delta_{ri1}$$

از کم کردن جابجایی هر ۲ طبقه بدست می آید.

سرعت دو سر میراگرهای طبقه:

$$\nabla_{di1} = \left( \frac{2\pi}{T} \right) \Delta_{ri1} \cos \theta_i$$

$$F_{di1} = nC_i \nabla_{di1}$$

نیروی میراگرهای هر طبقه :

که  $n$  تعداد میراگر هر طبقه و  $C$  بیشتر بدست آمد.

$$V_{di1} = F_{di1} \cos \theta_i$$

مولفه افقی نیروی میراگر هر طبقه :

Story	Disp. (m)	Drif (m)	Vel. Damper (m/sec)	Damper Force (kg)	Horz. Damper Force (kg)	Story Shear (kg)
1	0.002983	0.00298	0.00772	14795.08362	11836.066	104761.78
2	0.006253	0.00326	0.00846	16211.63418	12969.307	92925.716
3	0.01003	0.00377	0.00978	18729.94628	14983.957	79956.409
4	0.014092	0.00406	0.01052	20146.49684	16117.197	64972.452
5	0.018091	0.00399	0.01035	19831.70783	15865.366	48855.254
6	0.02136	0.00326	0.00846	16211.63418	12969.307	32989.888
7	0.024376	0.00301	0.00780	14952.47812	11961.98	20020.581
8	0.026407	0.00203	0.00526	10073.24842	8058.5987	8058.5987

- پاسخ در ماکزیمم شتاب

تعیین ضرایب  $CF_1$  و  $CF_2$  :

$$CF_1 = \cos(\tan^{-1}(2\xi_a))$$

$$CF_1 = \cos(\tan^{-1}(2 \times 0.15)) = 0.92$$



$$CF_2 = \sin(\tan^{-1}(2\xi_a))$$

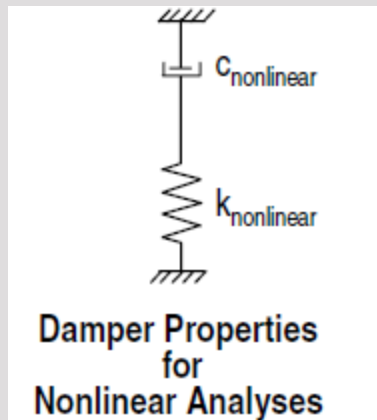
$$CF_2 = 0.37$$

$$V_{\max,il} = CF_1 \times V_{il} \Big|_{Max.Disp.} + CF_2 \times V_{di1} \Big|_{Max.Vel.}$$

Story	برش طبقه در حالت ماکزیمم جابجایی	برش طبقه در حالت ماکزیمم سرعت	برش طبقه در حالت ماکزیمم شتاب	نیروی تراز طبقه در حالت شتاب ماکزیمم شتاب
1	587881.2	104761.8	584741.5	270451.2
2	571773.6	92925.72	565390.2	314290.3
3	539347	79956.41	530466.2	251099.9
4	489342.8	64972.45	478473.6	279366.3
5	419470.5	48855.25	407612.9	199107.3
6	330265.8	32989.89	318896.2	208505.6
7	225465.9	20020.58	216775.3	110390.6
8	111356.4	8058.599	106384.7	106384.7

نیروهای ستون آخر به صورت User Loads در Sap وارد شده و سازه‌ای که برای ۷۵٪ برش پایه طرح گردیده تحت این نیروها کنترل می‌گردد که در صورت عدم کفایت مقاطع، مقاطع جدید تحت این نیروهای جدید بدست می‌آید.

۲-۵- تعیین سختی میراگر برای مدل سازی در SAP2000:



در صورتیکه رفتار میرایی محض از میراگر مد نظر باشد، لازم است تا تدابیری اتخاذ گردد که اثر نرمی فنر از مدل حذف گردد. بدین منظور کافی است تا سختی فنر به اندازه کافی بزرگ تعریف گردد.. بعنوان یک قاعده کلی اگر سختی بگونه‌ای اختیار گردد که پارامتر  $\tau$  بین  $\frac{1}{100}$  تا  $\frac{1}{1000}$  معکوس فرکانس طبیعی سازه بدست آید، مناسب خواهد بود.

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2.52} = 2.493$$

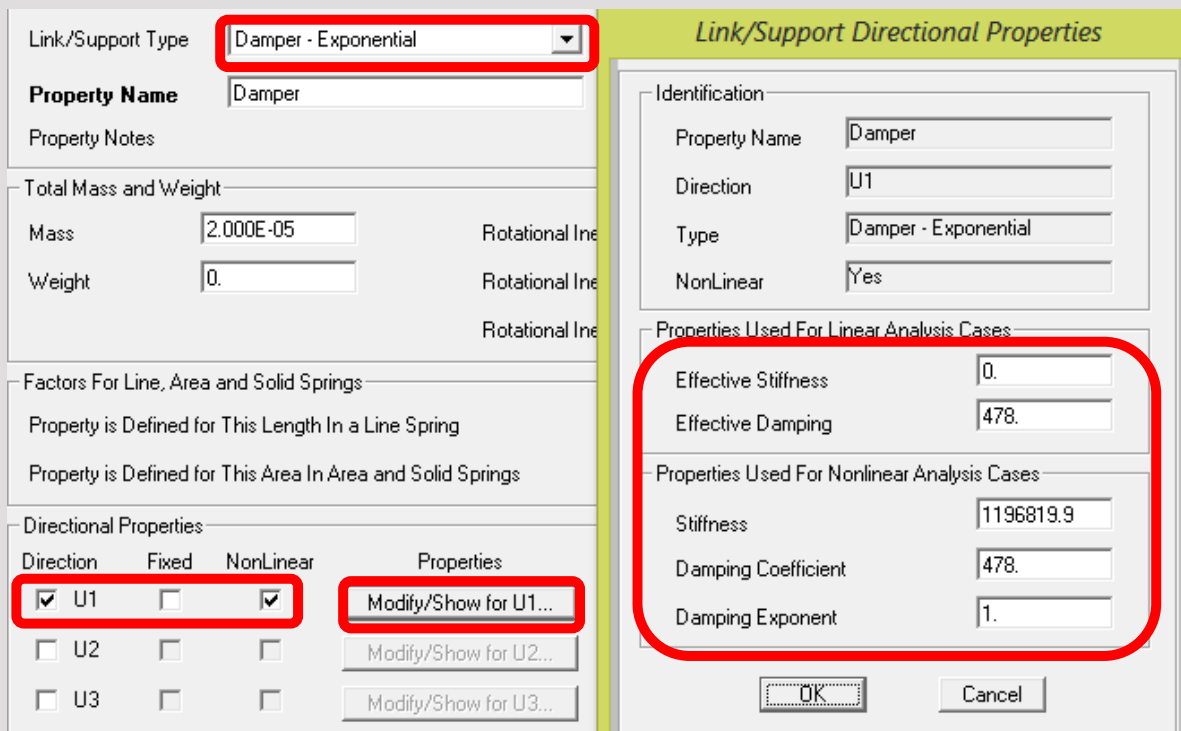
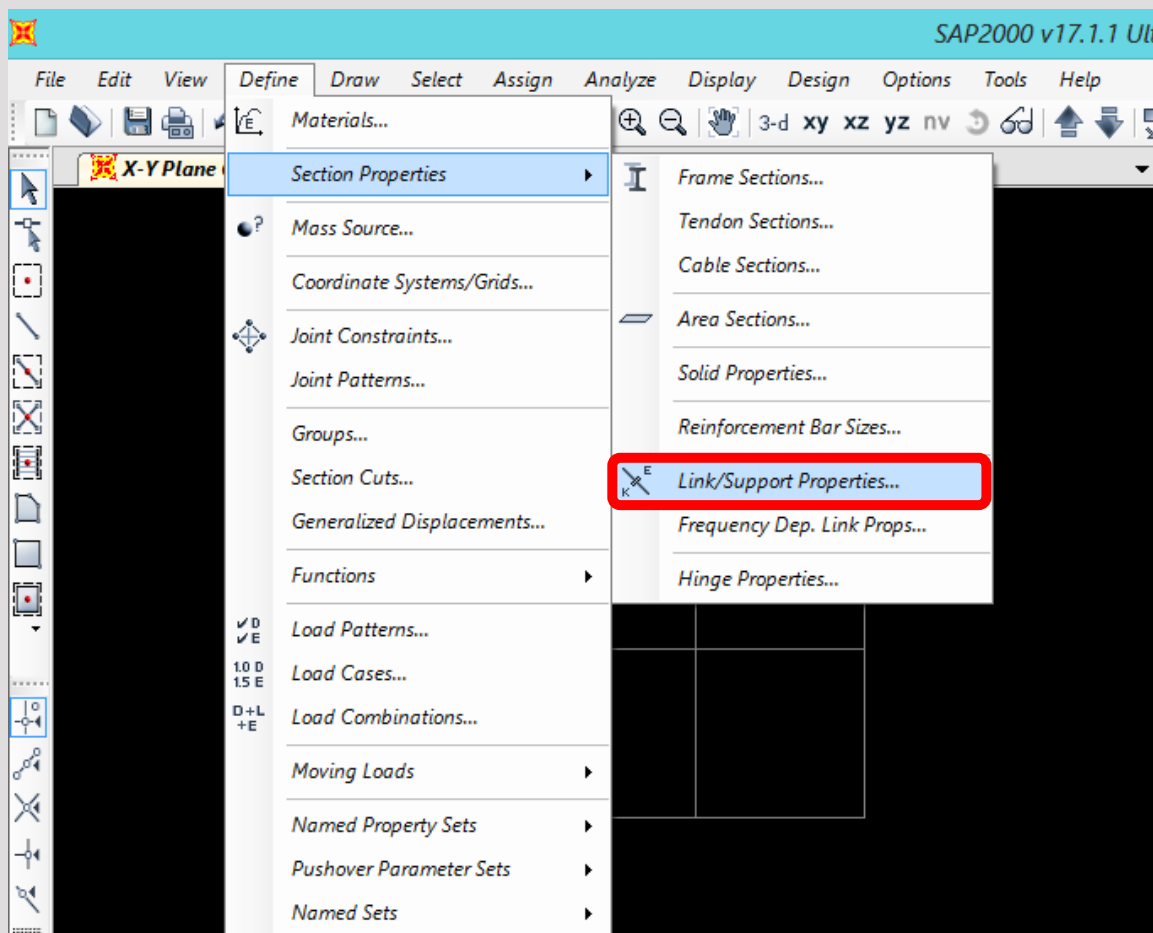
$$\tau = \frac{1}{1000 \omega_n} = 0.0004$$

$$\tau = \frac{C}{k}$$

$$\frac{478727.8}{k_{nonlinear}} = 0.0004$$

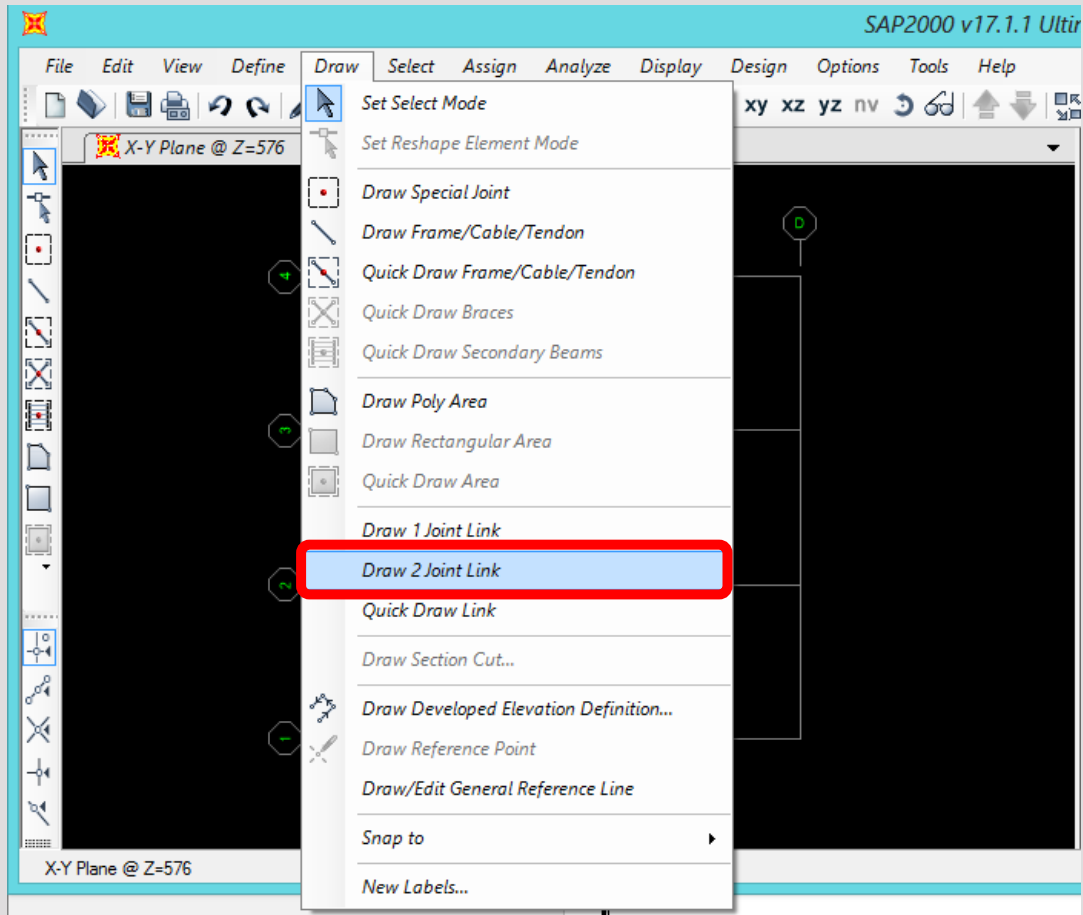
$$k_{nonlinear} = 1196819936 \frac{Kg}{m}$$

برای تعریف المان ویسکوز مطابق با شکل زیر عمل رده و مقادیر ضریب میرایی و سختی را وارد می نمایم:



شکل ۲-۷: پارامترهای مدل‌سازی میرابر ویسکوز در Sap2000

برای رسم میاگر ویسکوز از گزینه ی Draw 2 joint Link استفاده می کنیم و بین دو نقطه مورد نظر میاگر را به صورت قطری رسم می کنیم.



## ۲-۶- تعیین عملکرد سازه با میراگر ویسکوز تحت زلزله DBE

در این قسمت سازه دارای میراگر ویسکوز را تحت رکورد زلزله El-Centro در شرایط بهره برداری DBE مورد بررسی قرار گرفت. ضریب مقیاسی که بایستی به رکورد این زلزله اعمال شود تا این رکورد را به سطح DBE انتقال دهد برابر 0.67 می‌باشد.

از آنجایی که با اضافه کردن میراگر ویسکوز انتظار می‌رود سازه در محدوده خطی باقی بماند، لذا ضریب رفتار برابر واحد اختیار می‌گردد ( $R=1$ ). با توجه به اینکه رکورد زلزله به شتاب گرانش زمین تقسیم شده است، و سازه دارای ضریب اهمیت  $I=1$  است، مقدار ضریب مقیاس (Scale Factor) بصورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$Scale Factor = \frac{9.8 \times 0.67 \times 1}{1} = 6.566$$

تحلیل غیر خطی سازه به روش FNA صورت می‌پذیرد که در آن رفتار غیرخطی لینک‌ها در نظر گرفته می‌شود. تنظیمات مربوط به قسمت Load Case نرم‌افزار Sap2000 در شکل زیر نشان داده شده است.

## ۲-۶-۱- کنترل دررفت طبقات

با توجه به بند 13A.7.2 و جدول 5-2-8 آیین نامه NEHRP 2000، مقدار دررفت مجاز برای سازه‌هایی که در *Siesmic group I* قرار دارند برابر 2 درصد ارتفاع طبقات است که باید در  $\frac{R}{C_d}$  ضرب شود. جداول ۲-۵ و ۲-۶ مقادیر دررفت‌های بدست آمده از تحلیل غیر خطی سازه تحت رکورد زلزله‌ی El-Centro را نمایش می‌دهد.

$$\frac{C_d \Delta_s}{R h} = 0.02$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 4.57 = 0.108 m$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 3.65 = 0.084 m$$

جدول ۲-۵: دریفت طبقات در جهت X سطح لرزه ای DBE

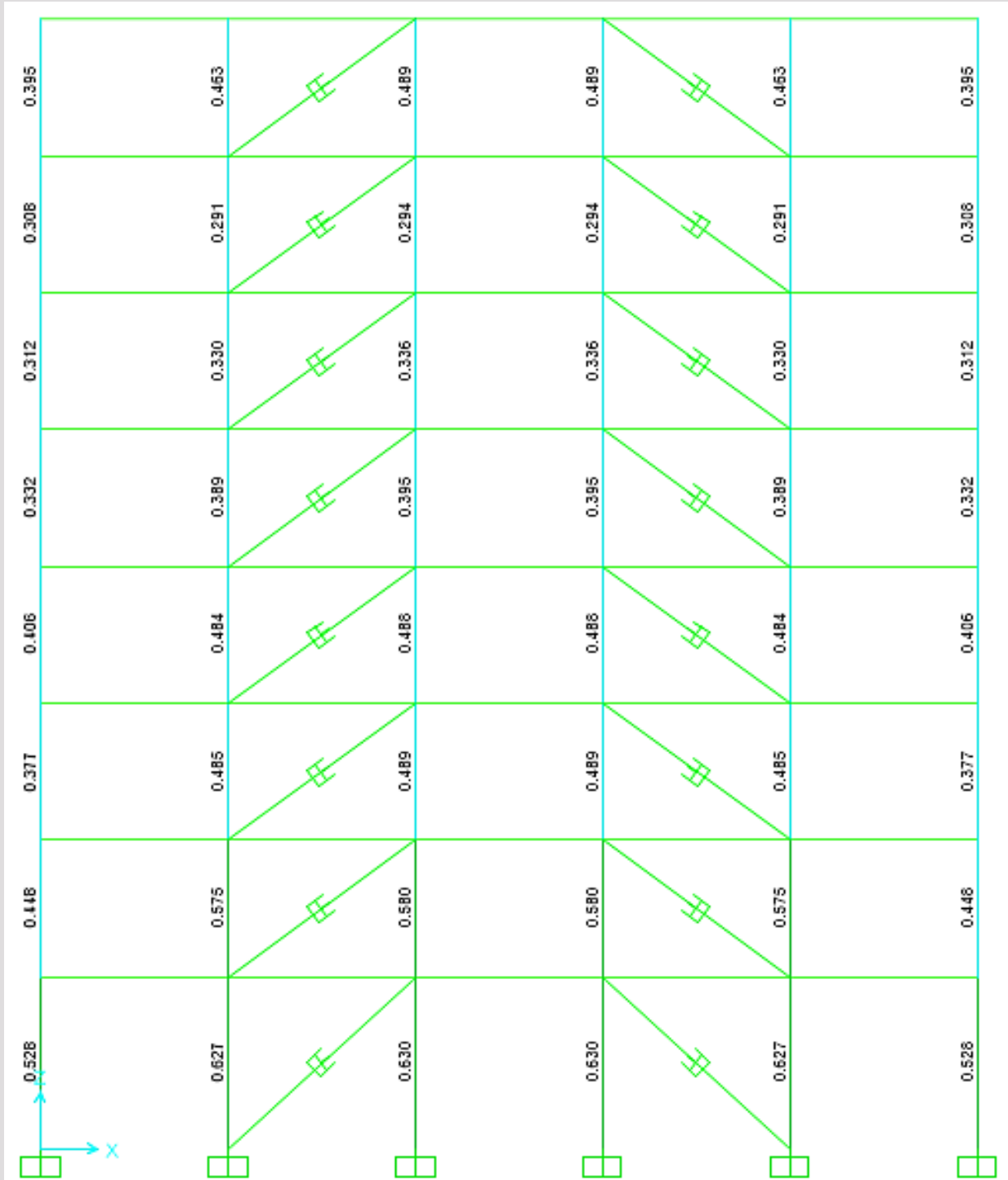
Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.01005	0.0085	0.00775	0.0055	0.00508	0.0039	0.0022	0.001
Ey	7.2E-10	2.6E-10	-4E-10	-5E-10	6.9E-10	-7E-11	-7E-10	7E-10
UDCON1	-6.5E-18	-8.8E-18	6.9E-18	2.2E-17	7.8E-18	-9E-18	-1E-17	3E-18
UDCON2	-8.9E-18	-1.2E-17	1.4E-17	4E-17	2.1E-17	-8E-20	-2E-18	-2E-18
UDCON3	0.01437	0.01215	0.01108	0.00786	0.00726	0.0055	0.0032	0.0014
UDCON4	0.01005	0.0085	0.00775	0.0055	0.00508	0.0039	0.0022	0.001
UDCON5	1E-09	3.7E-10	-5E-10	-7E-10	9.8E-10	-1E-10	-1E-09	1E-09
UDCON6	1E-09	3.7E-10	-5E-10	-7E-10	9.8E-10	-1E-10	-1E-09	1E-09
UDCON7	0.01409	0.01192	0.01087	0.00771	0.00712	0.0054	0.0031	0.0014
UDCON8	0.01409	0.01192	0.01087	0.00771	0.00712	0.0054	0.0031	0.0014
UDCON9	1E-09	3.6E-10	-5E-10	-7E-10	9.7E-10	-1E-10	-9E-10	1E-09
UDCON10	1E-09	3.6E-10	-5E-10	-7E-10	9.7E-10	-1E-10	-9E-10	1E-09
Max	0.01437	0.01215	0.01108	0.00786	0.00726	0.0055	0.0032	0.0014

پجدول ۲-۶: دریفت طبقات در جهت Y سطح لرزه ای DBE

Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	5E-10	1E-10	-4E-10	7.2E-11	-2E-10	5E-10	1.2E-10	-3E-10
Ey	0.0088	0.009	0.0079	0.00584	0.0053	0.0042	0.00255	0.0013
UDCON1	-3.2E-18	-5E-18	4E-18	1.3E-17	6E-18	-4E-18	-5.3E-18	-4E-18
UDCON2	-4.2E-18	-6E-18	8E-18	2.2E-17	1E-17	1E-18	-8E-19	-1E-18
UDCON3	7.2E-10	2E-10	-6E-10	1E-10	-3E-10	7E-10	1.8E-10	-4E-10
UDCON4	5E-10	1E-10	-4E-10	7.2E-11	-2E-10	5E-10	1.2E-10	-3E-10
UDCON5	0.01259	0.012	0.0113	0.00836	0.0076	0.006	0.00365	0.0019
UDCON6	0.01259	0.012	0.0113	0.00836	0.0076	0.006	0.00365	0.0019
UDCON7	7E-10	2E-10	-5E-10	1E-10	-3E-10	6E-10	1.7E-10	-4E-10
UDCON8	7E-10	2E-10	-5E-10	1E-10	-3E-10	6E-10	1.7E-10	-4E-10
UDCON9	0.01234	0.012	0.0111	0.0082	0.0074	0.0059	0.00358	0.0018
UDCON10	0.01234	0.012	0.0111	0.0082	0.0074	0.0059	0.00358	0.0018
Max	0.01259	0.012	0.0113	0.00836	0.0076	0.006	0.00365	0.0019

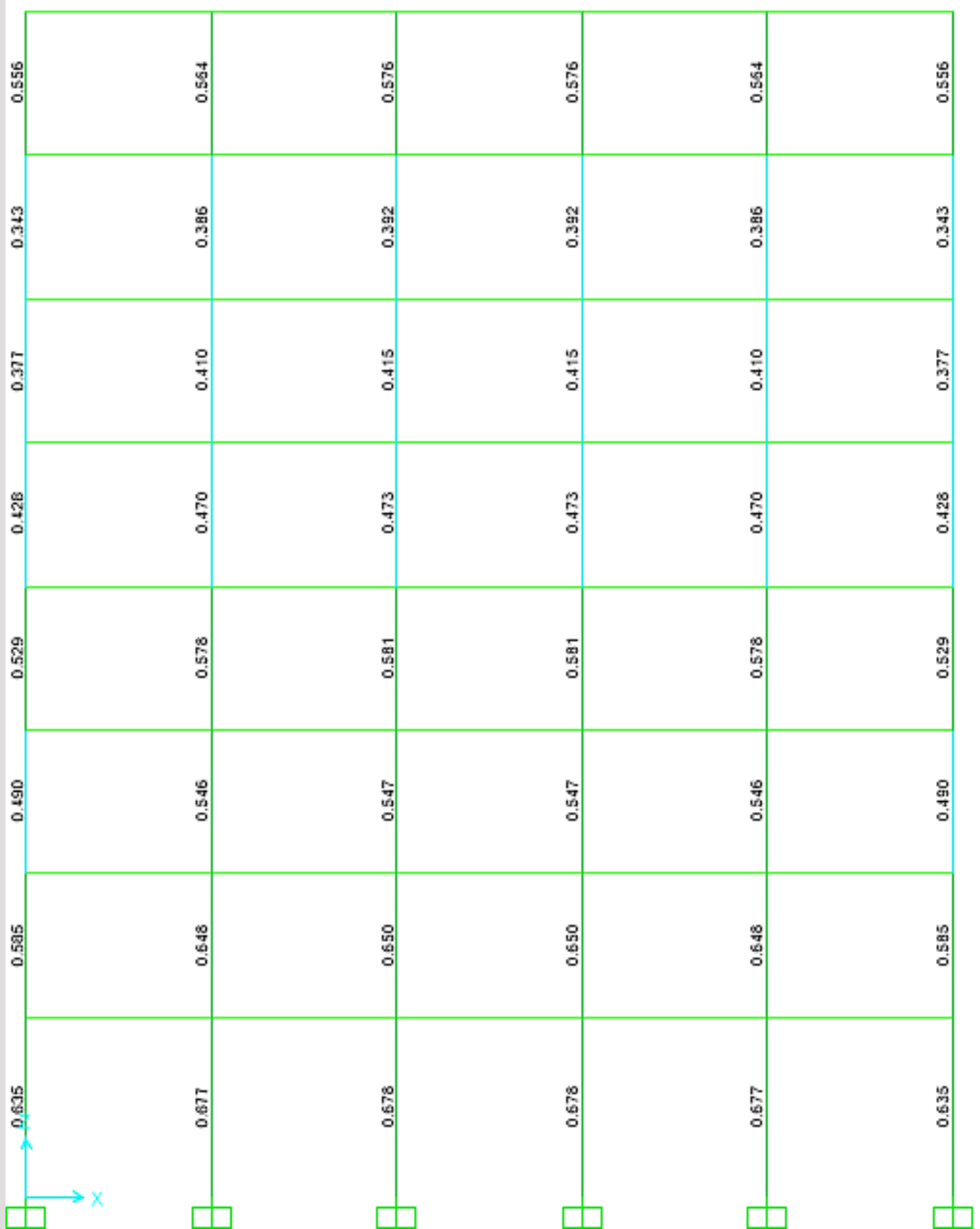
همانطور که ملاحظه می شود مقادیر دریافت طبقات کنترل شده می باشند

۲-۶-۲- نسبت تنش ستون ها :

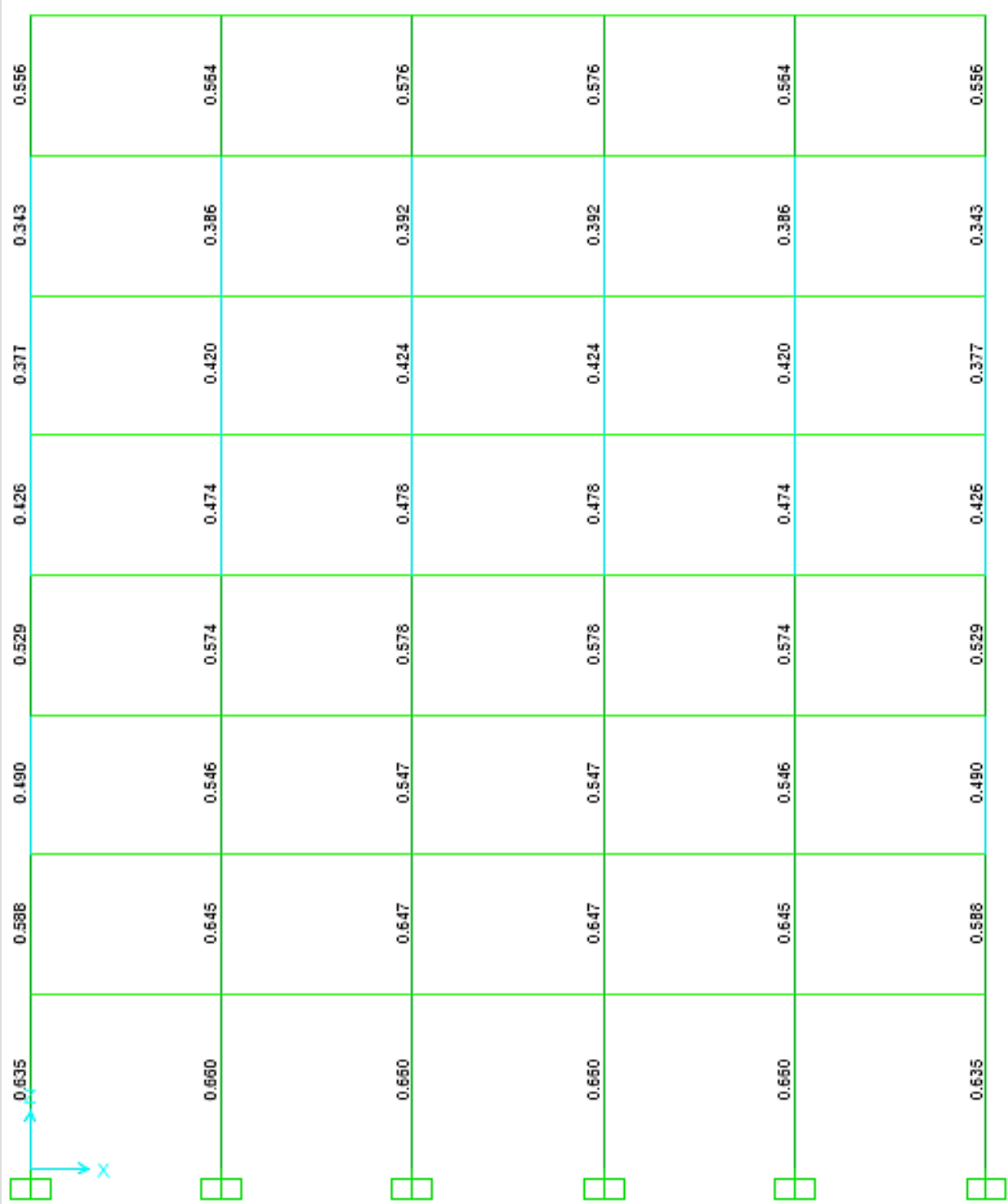


شکل ۲-۷: نسبت تنش قاب ۱

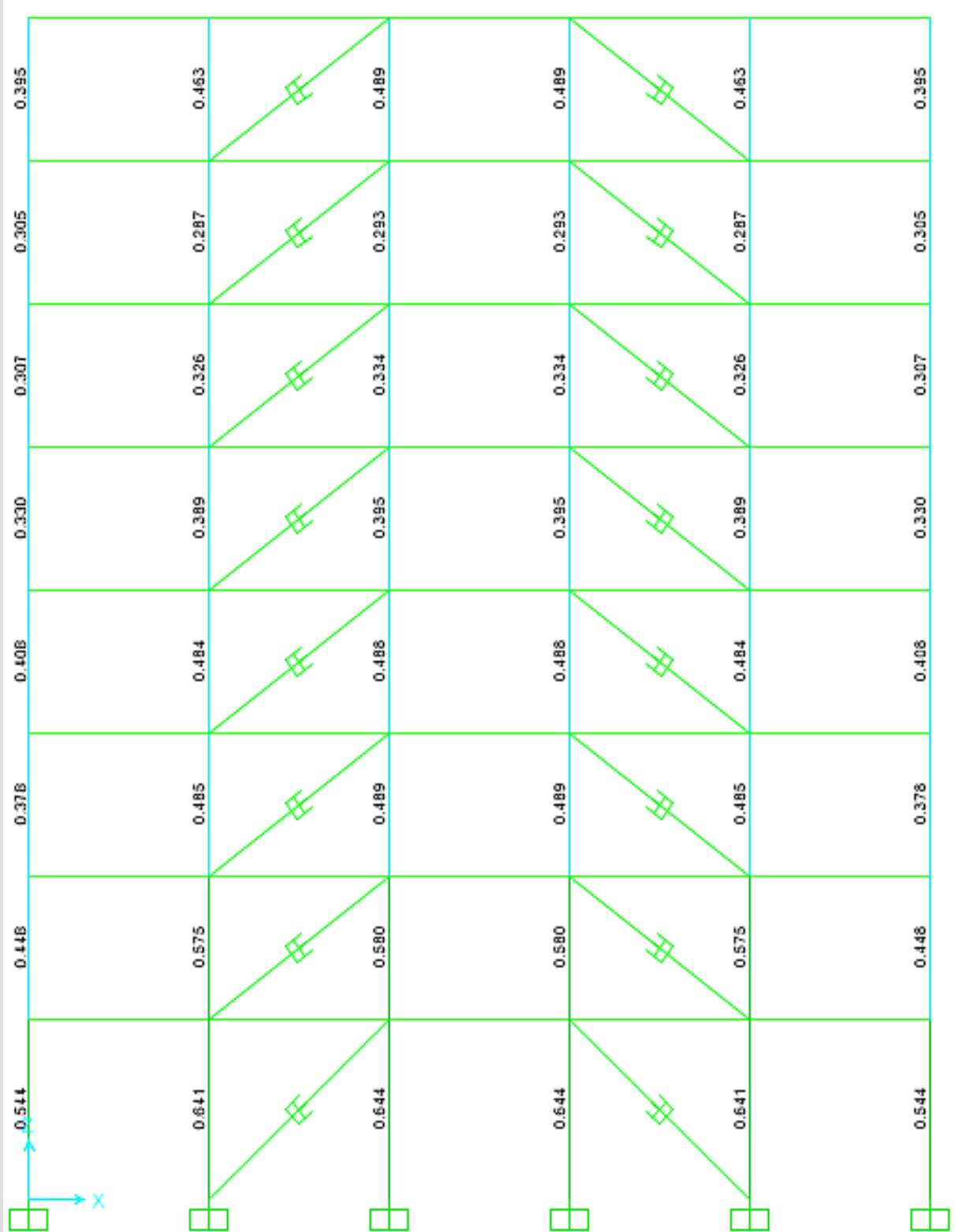




شکل ۲-۸: نسبت تنش قاب ۲



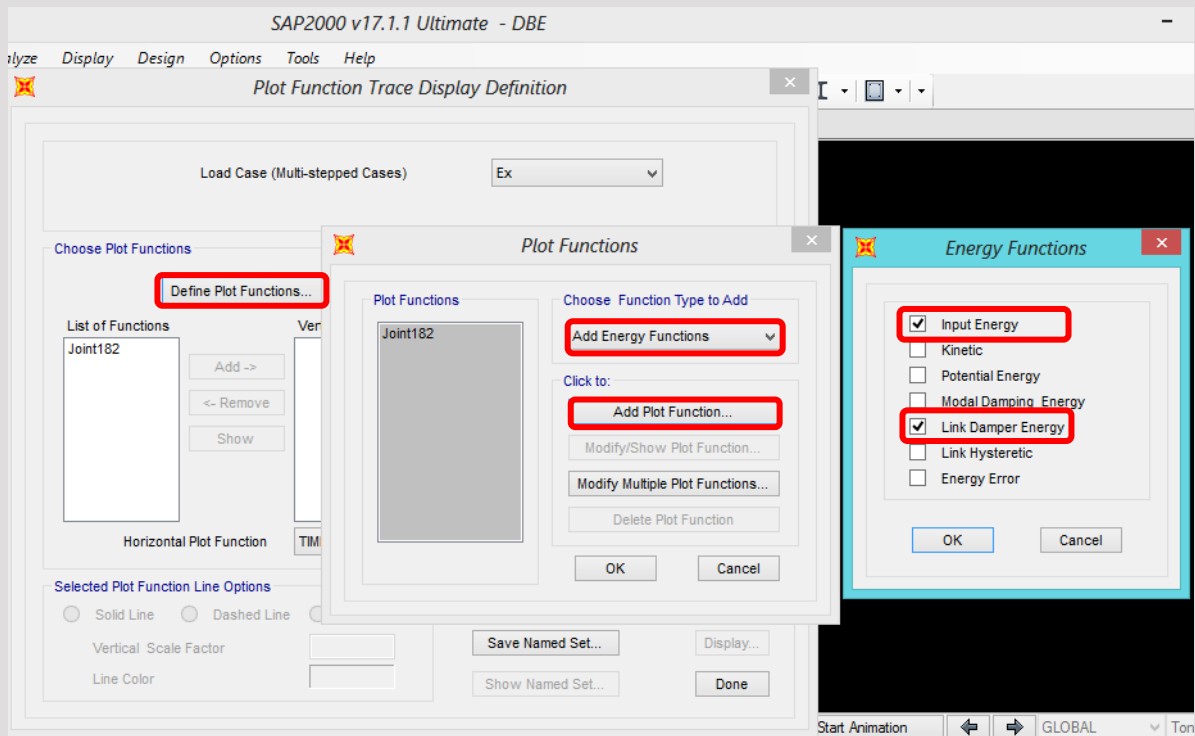
شکل ۲-۹: نسبت تنش قاب ۲



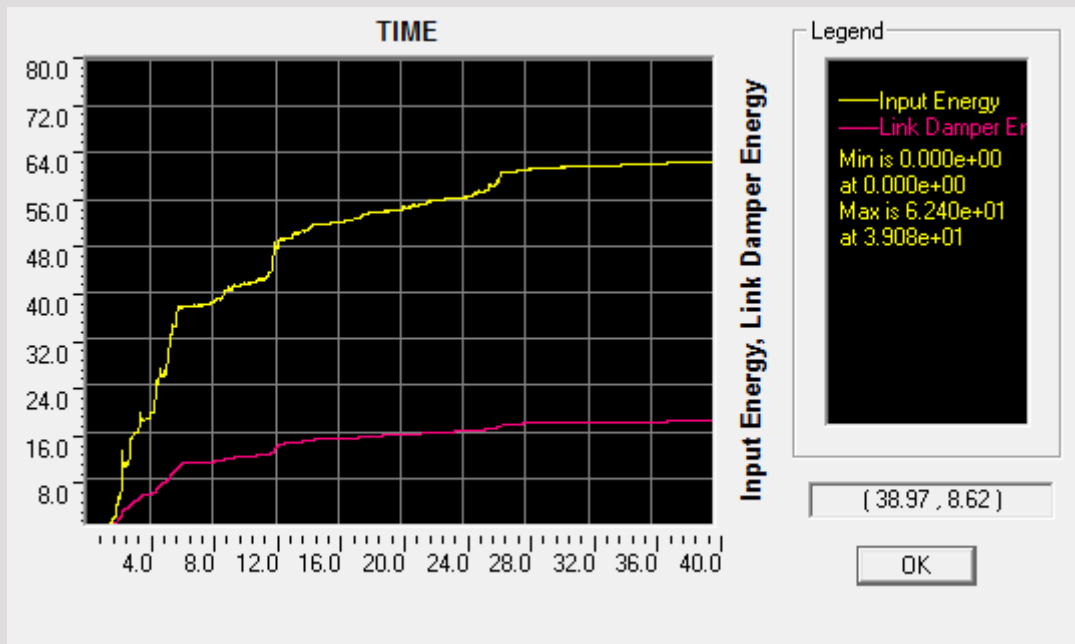
شکل ۲-۱۰: نسبت تنش قاب ۴

۲-۶-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE

برای مشاهده نمودارهای انرژی ورودی و انرژی تلف شده توسط میراگر ابتدا به زیر منوی Show Plot Function از منوی Display رفته و سپس مانند شکل زیر عمل نمایید و در آخر تمام پنجره ها را Ok نمایید.



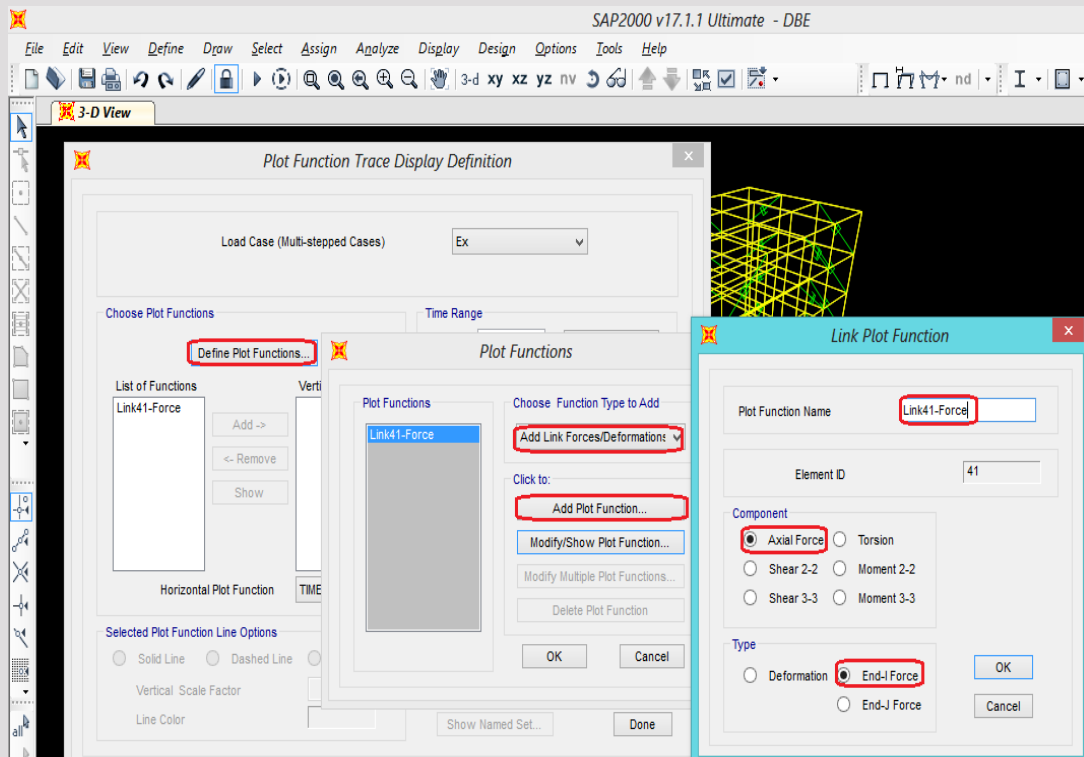
شکل ۲-۱۱ تنظیمات نمایش نمودارهای انرژی

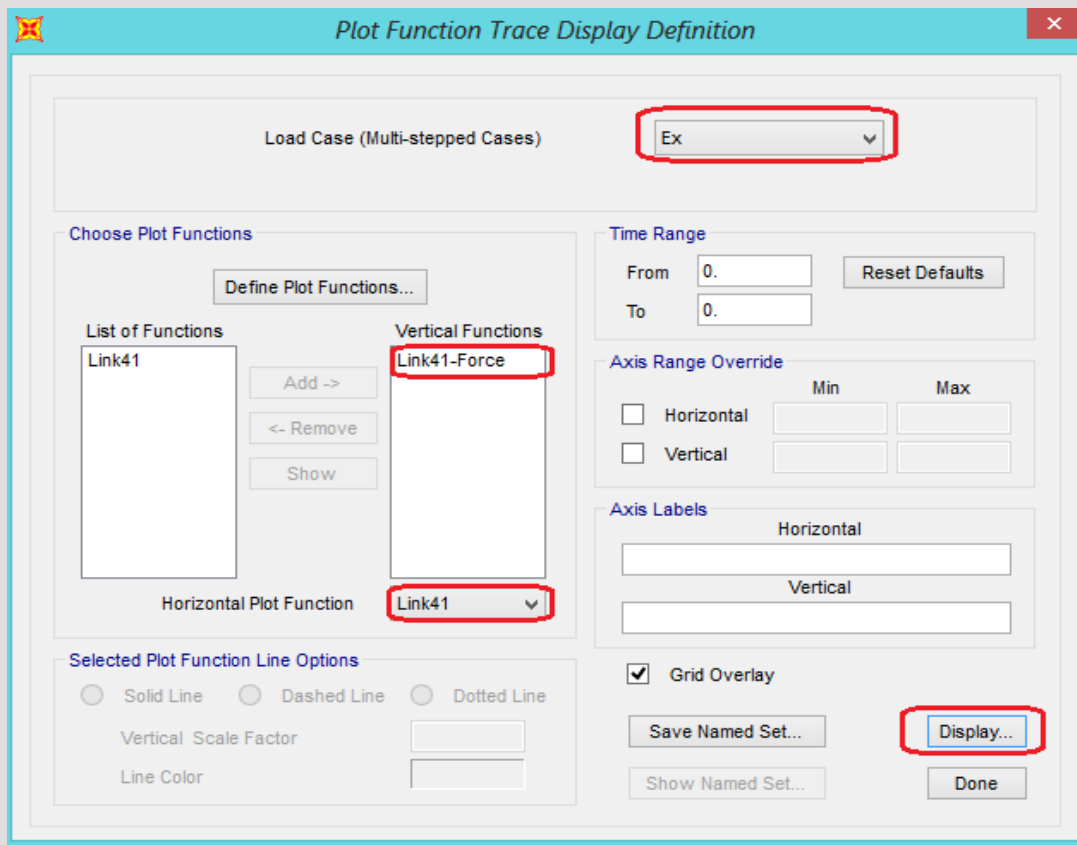
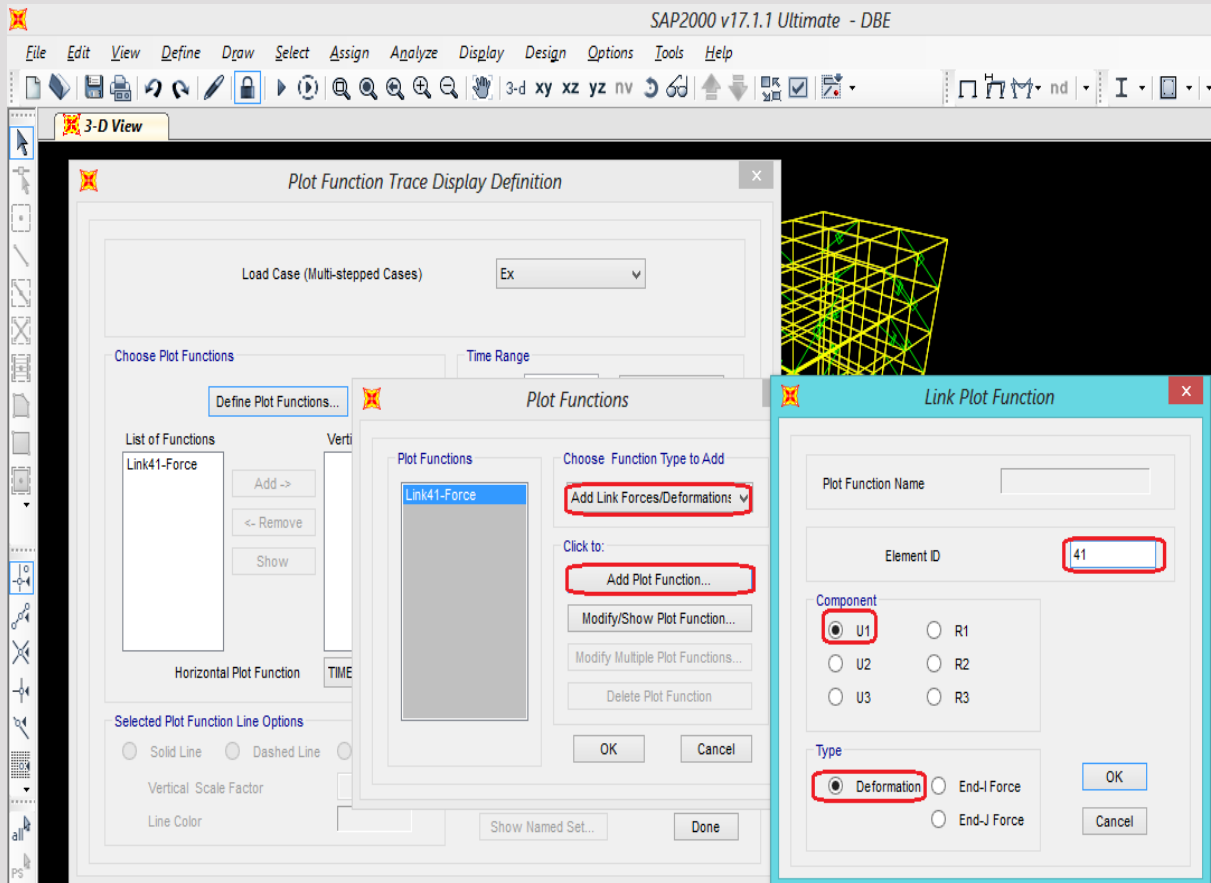


شکل ۲-۱۱: انرژی ورودی، انرژی جنبشی، انرژی تلف شده توسط میراگرها

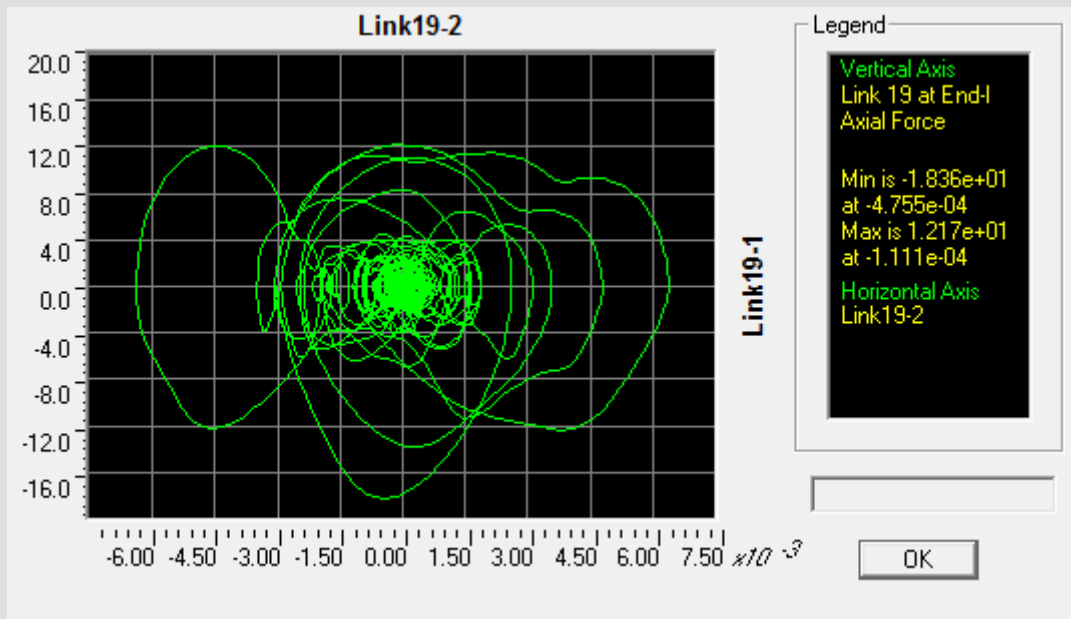
## ۲-۶-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE

برای مشاهده نمودار نیرو-جابجایی میراگر، پس از انتخاب میراگر مورد نظر و در همان پنجره Show Plot Function مطابق با شکل‌های پایین عمل کرده و سپس تمام پنجره‌ها را Ok نمایید.





شکل ۲-۱۲: تنظیمات نمایش نمودار نیرو-جابجایی میراگر



شکل ۲-۱۲: نمودار نیرو-جابجایی میراگر

مراجع

[1] NEHRP2000, "NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.

[2] J.-S. Hwang, "Seismic Design of Structures with Viscous Dampers," International Training Program for Seismic Design of Building Structures.

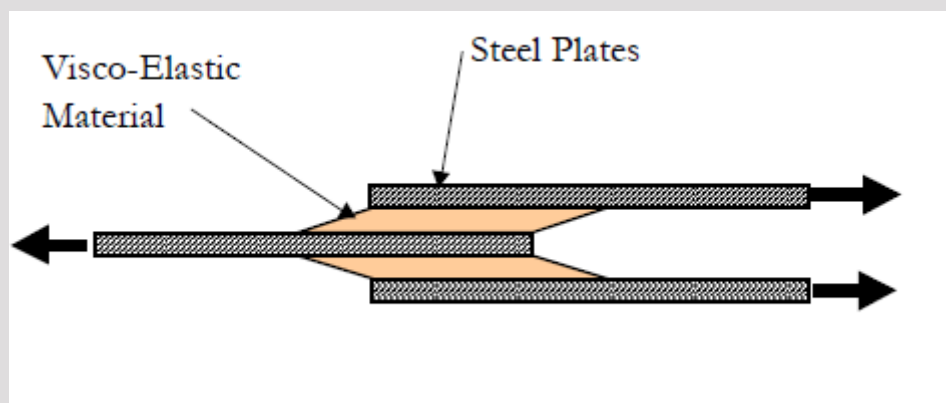
## فصل سوم

### طراحی سازه به همراه میراگر ویسکوالاستیک

#### ۳-۱- میراگر ویسکوالاستیک

اخیرا طراحی سازه‌های جدید و مقاوم سازی سازه‌های موجود در برابر زلزله، توسط المان‌هایی که انرژی ورودی به سازه را جذب می‌کنند و مانع از ورود المان‌های اصلی سازه به ناحیه غیر خطی می‌شوند، بسیار متداول گشته است. یکی از المان‌های جاذب انرژی، میراگرهای ویسکوالاستیک هستند که با توجه به مزایایی که دارند، از جمله اجرای آسان و قیمت مناسب، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی بر روی میراگرهای ویسکوالاستیک نشان می‌دهند که این المان‌ها در محدوده وسیعی از درجه حرارت محیط، می‌توانند در کاهش نیروی ناشی از زلزله موثر واقع شوند. از طرفی چون استفاده از این میراگرها تا حد خیلی زیادی سازه را در برابر بارهای لرزه‌ای وارده، حفظ کرده و مانع از ورود آن به ناحیه غیر خطی می‌شود، لذا نیاز به شکل پذیری سازه کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۱: نحوه ی عملکرد میراگر ویسکوالاستیک



مشخصات فنی میراگرهای ویسکوالاستیک عموماً توسط 3 پارامتر  $G'$  (Storage Modulus)،  $G''$  (Loss Modulus) و  $\eta_v$  (Loss Factor) بیان می‌گردد. در این پروژه از ماده ویسکوالاستیک با نام تجاری 3M ISD 110 بعنوان میراگری ویسکوالاستیک استفاده شده است که مشخصات فنی آن طبق روابط زیر بیان می‌گردد.

$$G' = e^{10.17443} \cdot T^{-3.10205} \cdot F^{0.475466}$$

$$\eta_v = 1.2$$

### ۳-۲- طراحی سازه اولیه بدون میراگر

سازه اولیه را با توجه به برش ارائه شده در مقاله بدست می‌آوریم:

$$V_0 = \frac{\eta_{v-b} - 2 \zeta_i}{\eta_{v-b}} \times \frac{1}{B} \times V$$

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش ۲-۲ و ۳-۲ با فرض میرایی ۰.۱۵٪ به عنوان هدف ضریب  $B$  از جدول ۱-۳-۳-۱۳ آیین نامه NEHRP 2000 بدست می‌آید:

$$B = 1.35$$

$$\eta_{v-b} = \frac{\frac{k_b}{k_v}}{\eta_v^2 + \frac{k_b}{k_v} + 1} \eta_v = \frac{40}{1.2^2 + 40 + 1} \times 1.2 = 1.131$$

$$V_0 = \frac{1.131 - 2 \times 0.15}{1.131} \times \frac{1}{1.35} \times V = 0.55 V$$

از آنجا که مقدار ۰.۵۵ برش بالا از مقدار حداقلی ۰.۷۵ اشاره شده در آیین نامه کمتر است بنابراین سازه بدون میراگر باید برای ۰.۷۵ برش طراحی شود. این کار در فصل قبلی صورت گرفت که نتایج ابعاد تیر و ستون‌ها در شکل ۳-۲ قابل مشاهده می‌باشد.

	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40
C 40x40 - 15 F 20	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40	B 30x40
C 40x40 - 20 F 20	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 45x45 - 24 F 20	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40	B 40x40
C 45x45 - 24 F 20	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 45x45 - 24 F 20	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 50x50 - 24 F 22	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50	B 40x50
C 50x50 - 24 F 22	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60	B 40x60
C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22	C 55x55 - 28 F 22

شکل ۲-۳: ابعاد سازه ی دارای میزگر

### ۳-۳- طراحی میراگر ویسکوالاستیک

روش انرژی کرنشی در تعیین نسبت میرایی ( $\zeta$ )، بصورت وسیع توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است. این روش در تعیین نسبت میرایی سازه‌های دارای میراگر ویسکوالاستیک نتایج قابل قبولی را ارائه داده است

اگر نسبت میرایی سازه‌ی اولیه مقدار ناچیزی باشد، مقدار نسبت میرایی سازه‌ای که توسط میراگر ویسکوالاستیک مقاوم سازی (طراحی) می‌گردد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\zeta_i = \frac{\eta_{v-b}}{2} \left( 1 - \frac{\phi_i^T K_0 \phi_i}{\phi_i^T K_S \phi_i} \right)$$

که در رابطه فوق :

$\zeta_i$  : نسبت میرایی مود  $i$  ام سازه

$K_0$  : ماتریس سختی سازه بدون میراگر ویسکوالاستیک

$K_S$  : ماتریس سختی سازه که با استفاده از میراگر ویسکوالاستیک مقاوم سازی (طراحی) شده

$\phi_i$  : شکل مودی مود  $i$  ام سازه‌ی مقاوم سازی (طراحی) شده با استفاده از میراگر ویسکوالاستیک

$\eta_{v-b}$  : ضریب اتلاف موثر میراگر ویسکوالاستیک که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\eta_{v-b} = \frac{\frac{k_b}{k_v}}{\eta_v^2 + \frac{k_b}{k_v} + 1} \eta_v$$

که در رابطه فوق،  $\eta_v$  ضریب اتلاف میراگر ویسکوالاستیک،  $K_b$  سختی بادبند متصل به میراگر و  $K_v$  سختی میراگر می‌باشند.

اگر از تغییراتی که در اثر اضافه کردن میراگر ویسکوالاستیک در شکل مودی سازه بوجود می‌آید صرف نظر گردد، می‌توان نسبت میرایی را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\zeta_i = \frac{\eta_{v-b}}{2} \left( 1 - \frac{\omega_i^2}{\omega_{si}^2} \right)$$

که در رابطه فوق  $\omega_i$  و  $\omega_{si}$  به ترتیب  $i$  امین فرکانس طبیعی سازه‌ی بدون میراگر و سازه‌ی با میراگر هستند.

**گام اول:** تعیین نسبت میرایی مورد نیاز برای سازه

در این قسمت هدف رسیدن به نسبت میرایی ۱۵ درصد می‌باشد.

**گام دوم:** فرض اولیه برای تعیین نسبت سختی بادی بند به سختی میراگر

در این قسمت با توجه به توصیه منبع مطالعه شده این نسبت برابر ۴۰ در نظر گرفته می‌شود.  $\left( \frac{K_b}{K_v} = 40 \right)$

**گام چهارم:** تعیین  $K_{v-b}$  با استفاده از روش انرژی کرنشی

ابتدا لازم است تا  $\eta_{v-b}$  بصورت زیر محاسبه گردد.

$$\eta_{v-b} = \frac{\frac{k_b}{k_v}}{\eta_v^2 + \frac{k_b}{k_v} + 1} \eta_v = \frac{40}{1.2^2 + 40 + 1} \times 1.2 = 1.131$$

سپس با فرض اینکه شکل مودی سازه پس از اضافه کردن میراگر ویسکوالاستیک تغییر نمی‌کند خواهیم داشت.

$$\zeta_1 = \frac{\eta_{v-b}}{2} \left( 1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_{s1}^2} \right)$$

$$0.15 = \frac{1.131}{2} \left( 1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_{s1}^2} \right) \rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_{s1}} = 0.85 \rightarrow \omega_{s1} = 1.17 \omega_1$$

$$\text{From Modal Analysis} \rightarrow \omega_1 = 2.95 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{s1} = 1.17 \times 2.95 = 3.44$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K_0}{m}} \rightarrow K_0 = 8.7 \text{ m}$$

$$\omega_{s1} = \sqrt{\frac{K_0 + K_{v-b}}{m}} \rightarrow K_{v-b} = 3.14 \text{ m}$$

$$K_{v-b} = 3.14 \times 364252 = 1146 \text{ Ton/m}$$

**گام پنجم:** محاسبه سختی هر کدام از میراگرهای ویسکوالاستیک

با توجه به رابطه زیر، سختی هر کدام از میراگرهای ویسکوالاستیک قابل محاسبه است.

$$K_v = \frac{[(1 + \eta_v^2) + \frac{K_b}{K_v}][1 + \eta_{v-b}^2]}{\frac{K_b}{K_v}(1 + \eta_v^2)} K_{v-b} = \frac{[(1 + 1.2^2) + 40][1 + 1.131^2]}{40 \times (1 + 1.2^2)} \times 1146 = 1136.5 \text{ Ton/m}$$

**گام ششم:** تعیین سختی بادبند با توجه به گام پنجم و فرض انجام شده در گام دوم

$$\frac{K_b}{K_v} = 40 \rightarrow K_b = 40 \times 1136.5 = 45458.15 \text{ Ton/m}$$

حال با توجه به سختی بدست آمده برای بادبندها و با توجه به اینکه بادبندها به صورت Chevron در نظر گرفته شده و در هر جهت دو بادبند قرار داده شده است مساحت بادبند ها بصورت زیر بدست می آید:

$$K_b = \frac{EA}{L} \cos^2 \theta$$

جهت اطمینان از طول بادبندهای طبقه اول برای محاسبه استفاده شده است شایان ذکر است در جهت اطمینان از کاهش طول ناشی از نصب میراگر در طول بادبندها صرف نظر شده است.

$$L = \sqrt{2.5^2 + 4.57^2} = 5.2 \text{ m}, E = 2.1 \times 10^7 \text{ Ton/m}^2$$

$$A = \frac{45458.1 \times 5.2}{4 \times 2.1 \times 10^7 \times 0.8076^2} \times 10^4 = 43 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ UNP } 180$$

**گام هفتم:** تعیین ابعاد ماده ویسکوالاستیک

تعیین ضخامت ماده ویسکوالاستیک با توجه به بیشینه مقدار تغییر شکلی که می تواند انجام دهد محاسبه می-

گردد. در این پروژه همانند مطالب ارائه شده در قسمت مستهلک کننده های ویسکوز، مقدار دریافت طبقات به 2

درصد ارتفاع هر طبقه محدود می‌گردد. مقدار بیشینه مجاز تغییر مکان هر میزگر از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\Delta_{max} = 0.02 \times 3.65$$

که در رابطه فوق عدد 3.65 ارتفاع طبقات است که در جهت اطمینان برابر ارتفاع طبقات فوقانی در نظر گرفته شده است.

$$\Delta_{max} = 0.02 \times 365 = 7.3 \text{ cm}$$

با فرض اینکه میزگر قرار است در دمای 30 درجه سانتیگراد عمل نماید و حداکثر کرنش مجاز ماده ویسکوالاستیک در این دما 150% باشد، ضخامت ماده ویسکوالاستیک بصورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$h = \frac{7.3}{1.5} = 4.9 \text{ cm}$$

ضخامت 5 cm انتخاب می‌گردد.

سطح ماده ویسکوالاستیک با فرض استفاده‌ی دو لایه از این ماده، از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$A = \frac{k_v h}{N n G'} = \frac{1136.5 \times 5 \times 100}{2 \times 2 \times 0.513 \times 100} = 2733 \text{ Cm}^2$$

$$VEDF : 80 \times 40 \times 5 \text{ Cm}$$

### ۳-۴-مدلسازی در SAP2000

#### ۳-۴-۱- تعیین ضریب میرایی ماده ویسکوالاستیک (C)

ضریب میرایی ماده ویسکوالاستیک به ابعاد ماده ویسکوالاستیک، مدول اتلاف و فرکانس بارگذاری وابسته است که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد. شایان ذکر است که رابطه زیر تنها زمانی کاربرد دارد که سازه تحت تاثیر بار هارمونیک قرار گرفته است، لیکن در مراجع عنوان شده است در صورتیکه محدوده فرکانسی بار وارده از وسعت کمی برخوردار باشد نیز می‌توان از این رابطه استفاده نمود. در ارتباط با بارگذاری زلزله، شایسته است که فرکانس غالب زلزله مورد استفاده قرار گیرد، اما یادآوری این نکته ضروری است که شرایط بحرانی زمانی اتفاق

می‌افتد که فرکانس غالب زلزله نزدیک به فرکانس طبیعی سازه بوده و باعث ایجاد تشدید در سازه گردد، از این رو در این قسمت نیز از فرکانس طبیعی سازه که در گام چهارم محاسبه گردید استفاده می‌شود.

$$G' = e^{10.17443} \cdot T^{-3.10205} \cdot F^{0.475466}$$

$$\omega_{s1} = 3.44 \rightarrow F = 0.534$$

$$\eta_v = 1.2$$

با فرض استفاده از ماده ویسکوالاستیک 3M ISD 110 در دمای 30 درجه سانتیگراد و فرکانس 0.534 Hz با کرنش 20 درصد، مشخصات فنی ذکر شده مقادیر زیر را دارا خواهند بود.

$$G' = 0.513 \text{ Mpa} , \eta_v = 1.2$$

$$G'' = \eta_v G' = 0.616 \text{ Mpa}$$

$$C = \frac{G'' A}{F_{s1} h}$$

$$C = \frac{2 \times 0.616 \times 100 \times 2733}{0.534 \times 5} = 728 \frac{\text{Ton.Sec}}{m}$$

Link/Support Type:

Property Name:

Property Notes:

---

Total Mass and Weight

Mass:  Rotational Inertia:

Weight:  Rotational Inertia:

---

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs

---

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> R1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> R2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> R3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

**Link/Support Directional Properties**

Identification

Property Name:

Direction:

Type:

NonLinear:

---

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness:

Effective Damping:

---

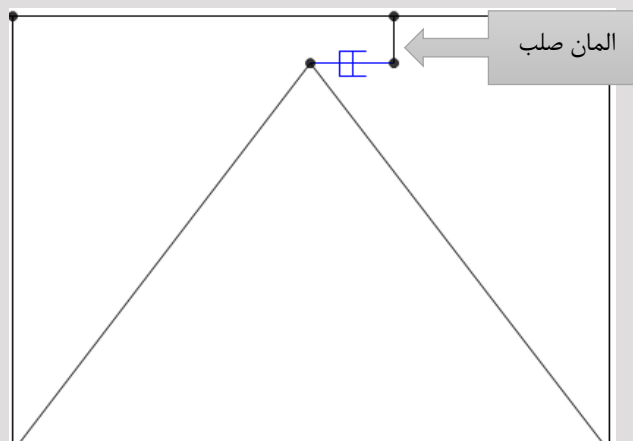
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness:

Damping Coefficient:

Damping Exponent:

شکل ۳-۳: استفاده از لینک Damper برای مدلسازی میراگر ویسکوالاستیک در sap2000



شکل ۳-۴: مدل هندسی میراگر ویسکوالاستیک در sap2000



### ۳-۵-ارزیابی سازه تحت زلزله سطح DBE

در این قسمت سازه دارای میراگر ویسکوالاستیک را تحت رکورد زلزله El-Centro در شرایط بهره برداری DBE مورد بررسی قرار گرفت. ضریب مقیاسی که بایستی به رکورد این زلزله اعمال شود تا این رکورد را به سطح DBE انتقال دهد با توجه به صورت پروژ به برابر 0.67 می باشد.

از آنجایی که با اضافه کردن میراگر ویسکوالاستیک انتظار می رود سازه در محدوده خطی باقی بماند، لذا ضریب رفتار برابر واحد اختیار می گردد ( $R=1$ ). با توجه به اینکه رکورد زلزله به شتاب گرانش زمین تقسیم شده است، و سازه دارای ضریب اهمیت  $I=1$  است، مقدار ضریب مقیاس (Scale Factor) بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$Scale Factor = \frac{9.8 \times 0.67 \times 1}{1} = 6.566$$

### ۳-۵-۱-کنترل دریفت طبقات:

با توجه به بند 13A.7.2 و جدول 5-2-8 آیین نامه NEHRP 2000، مقدار دریفت مجاز برای سازه‌هایی که در *Siesmic group I* قرار دارند برابر 2 درصد ارتفاع طبقات است که باید در  $\frac{R}{C_d}$  ضرب شود. جداول ۱-۳ و ۲-۳ مقادیر دریفت‌های بدست آمده از تحلیل غیر خطی سازه تحت رکورد زلزله‌ی El-Centro را نمایش می دهد.

$$\frac{C_d \Delta_s}{R h} = 0.02$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 4.57 = 0.108 m$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 3.65 = 0.084 m$$

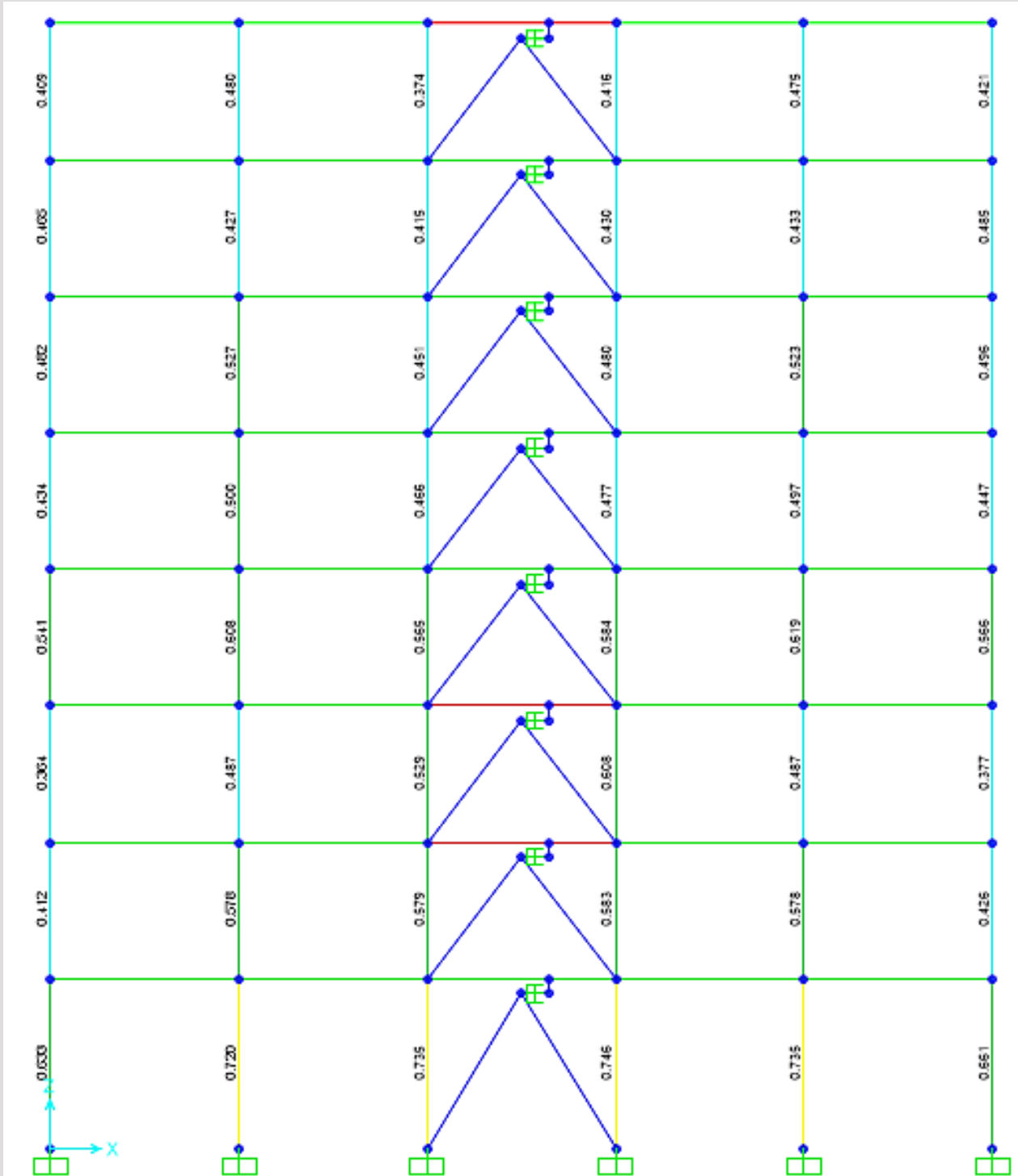
جدول ۳-۱: دریفت طبقات در جهت X سطح لرزه ای DBE

Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.01019	0.003517	0.0031	0.009	0.00956	0.00901	0.0073	0.0037
Ey	0.00022	0.000057	0.0001	-0.0009	1.9E-05	0.00023	0.0002	4E-05
UDCON1	4.4E-05	0.000017	2E-05	7E-05	0.00011	0.00012	0.0001	9E-05
UDCON2	7.1E-05	0.000028	3E-05	1E-04	0.00017	0.00019	0.0002	0.0001
UDCON3	0.01454	0.005019	0.0045	0.013	0.01374	0.01297	0.0105	0.0054
UDCON4	0.01024	0.003534	0.003	0.009	0.00945	0.00889	0.0071	0.0037
UDCON5	0.00034	0.00009	0.0002	-0.0002	0.00014	0.00042	0.0004	0.0001
UDCON6	0.00035	0.000093	0.0002	9E-05	9.7E-05	0.00012	0.0003	0.0001
UDCON7	0.01435	0.004954	0.0042	0.012	0.01329	0.0125	0.01	0.0052
UDCON8	0.01424	0.004941	0.0045	0.012	0.01354	0.01278	0.0103	0.0054
UDCON9	0.00037	0.000101	0.0002	1E-04	0.00015	0.00019	0.0003	0.0002
UDCON10	0.00036	0.000101	0.0002	2E-05	0.00021	0.00049	0.0005	0.0002
Max	0.01454	0.005019	0.0045	0.013	0.01374	0.01297	0.0105	0.0054

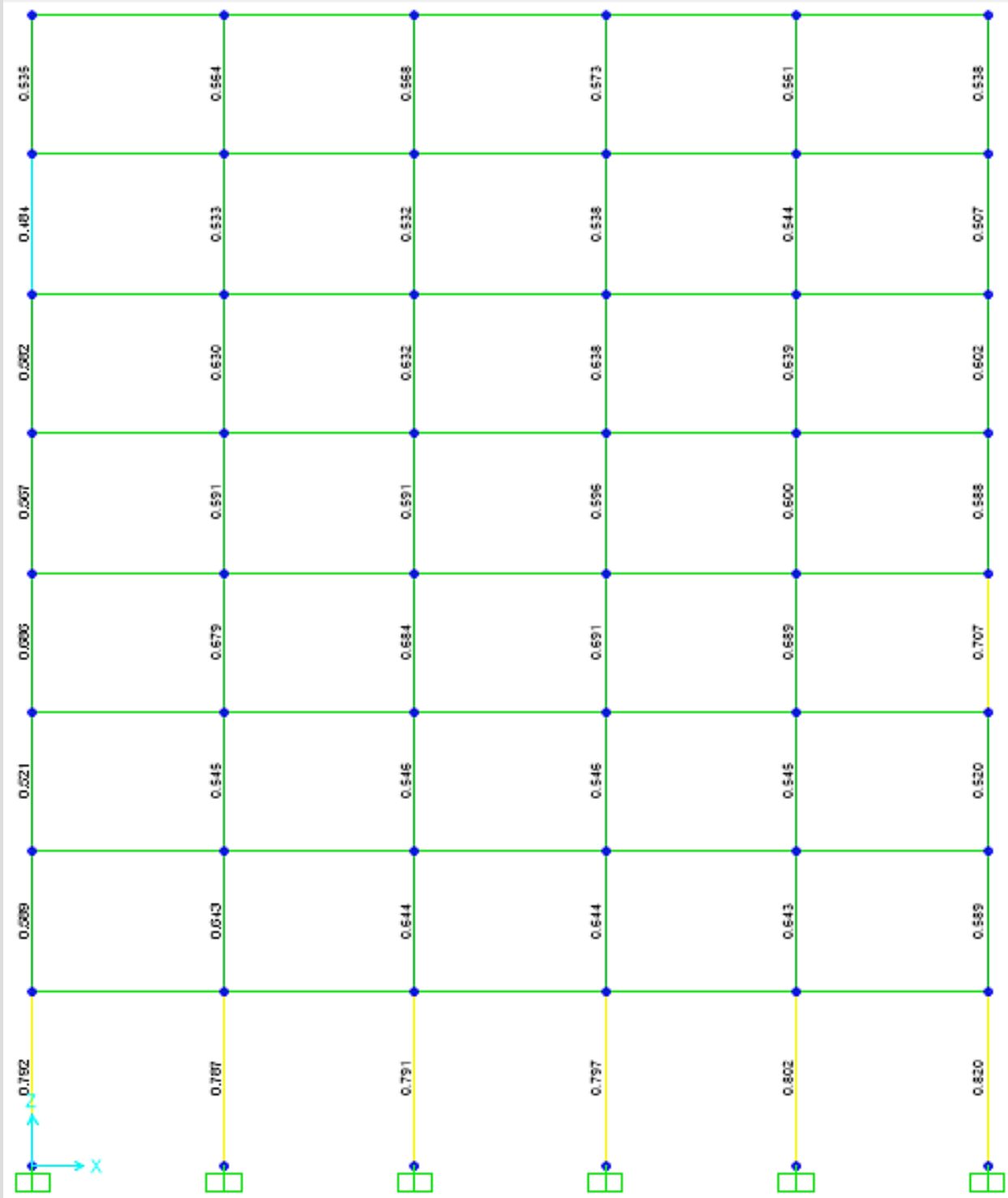
جدول ۳-۲: دریافت طبقات در جهت Y سطح لرزه ای DBE

Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.00019	0.00016	0.0002	-5.1E-05	4.1E-05	0.00021	0.0002	7E-05
Ey	0.00888	0.00315	0.0025	0.008232	0.01022	0.01021	0.00752	0.0013
UDCON1	3.1E-05	4E-06	2E-05	0.000115	0.00018	0.00019	0.00017	4E-05
UDCON2	4.7E-05	2E-06	3E-05	0.000162	0.00025	0.00027	0.00022	5E-05
UDCON3	0.00026	0.00027	0.0003	1E-06	0.00018	0.00043	0.00039	0.0001
UDCON4	0.00023	0.00012	0.0002	0.000111	0.00014	0.00028	0.00026	8E-05
UDCON5	0.01271	0.0045	0.0035	0.01163	0.0145	0.01447	0.01065	0.0018
UDCON6	0.01267	0.0045	0.0035	0.011915	0.01474	0.01472	0.01086	0.0019
UDCON7	0.00031	0.00017	0.0003	0.000114	0.00013	0.00032	0.00029	0.0001
UDCON8	0.00026	0.00027	0.0003	5E-05	0.00025	0.0005	0.00045	0.0001
UDCON9	0.01241	0.00441	0.0034	0.01178	0.01453	0.01451	0.01072	0.0018
UDCON10	0.01249	0.00441	0.0035	0.011289	0.01413	0.01409	0.01036	0.0017
Max	0.01271	0.0045	0.0035	0.011915	0.01474	0.01472	0.01086	0.0019

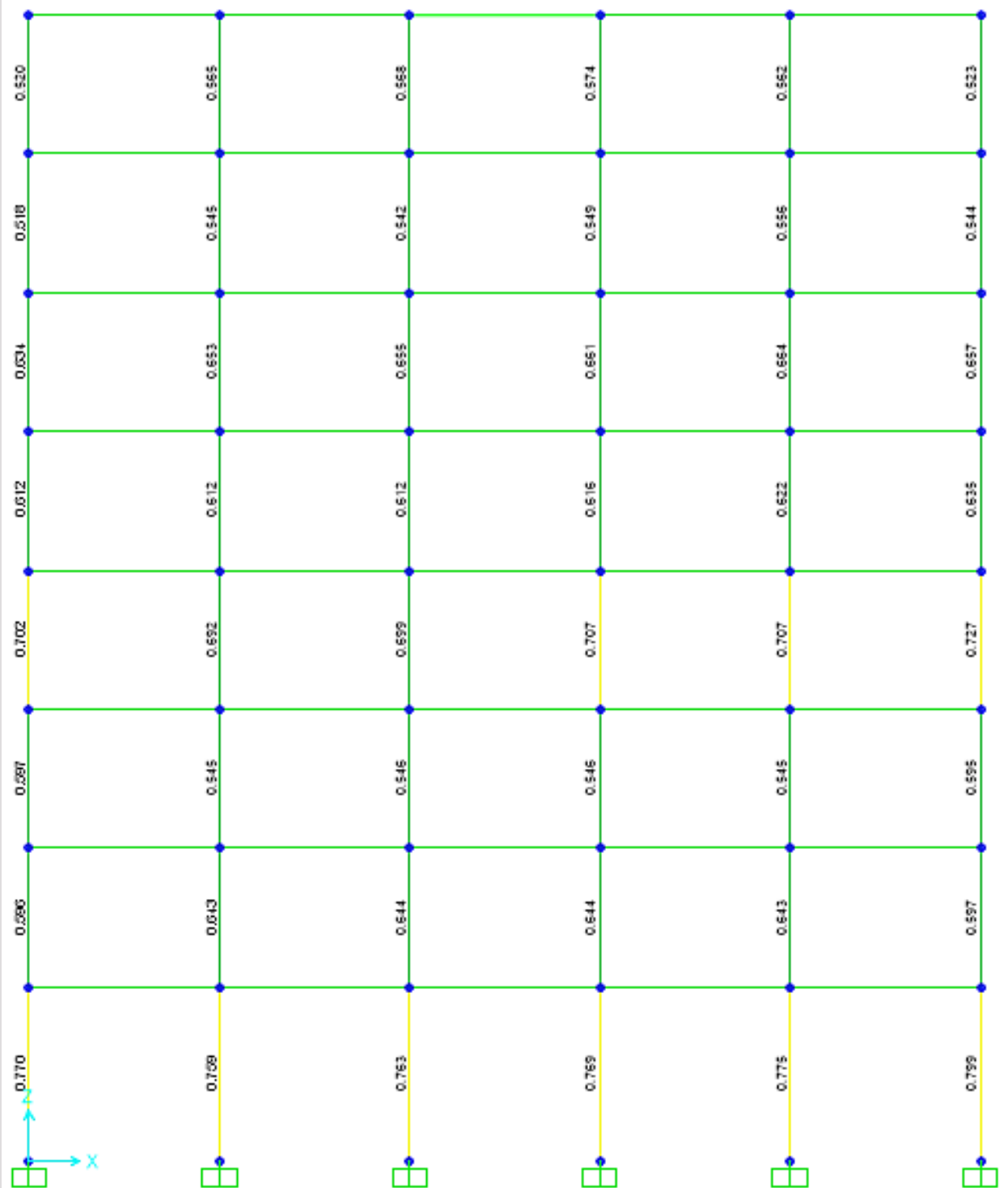
۲-۵-۳- نسبت تنش اعضا



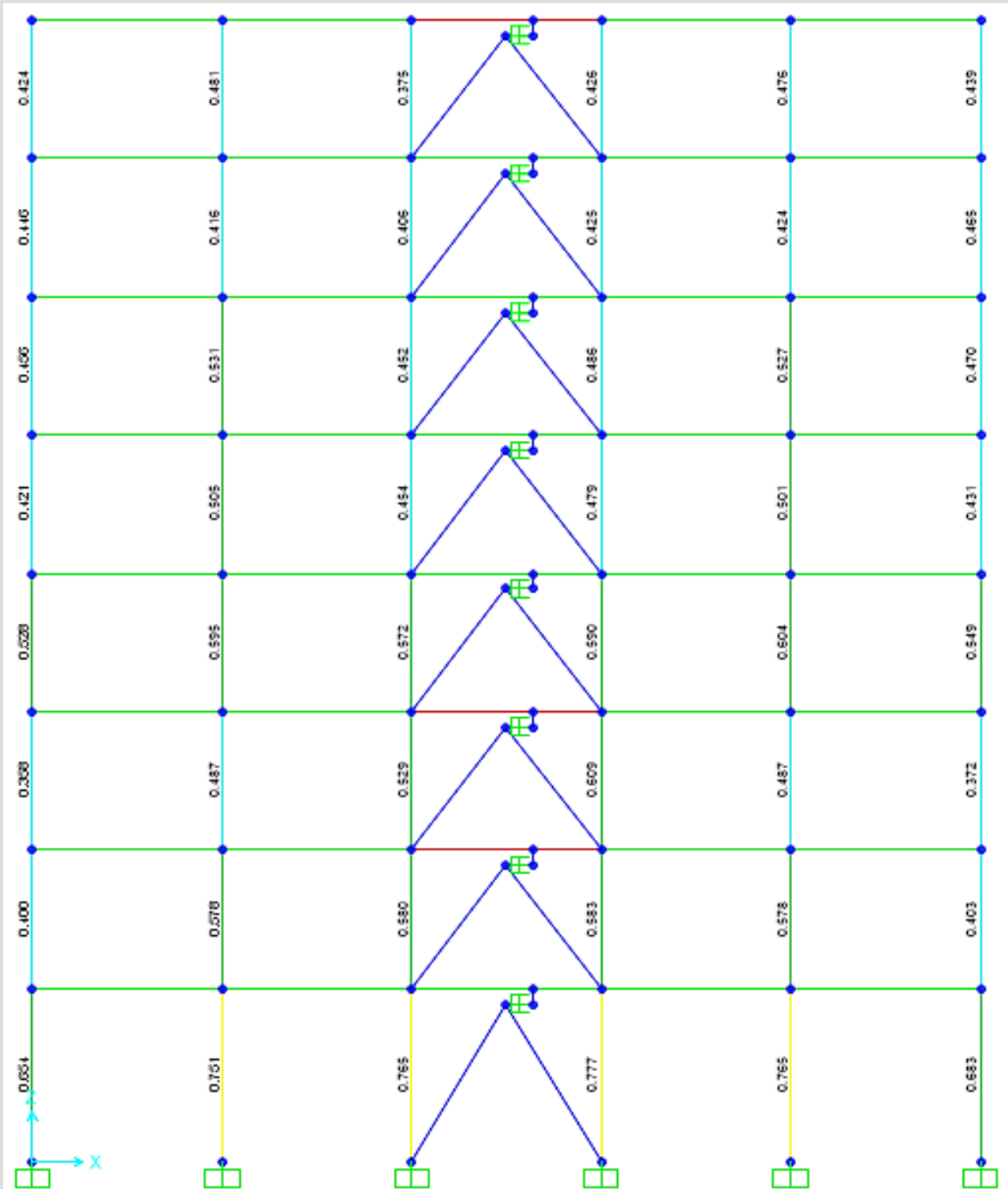
شکل ۲-۵: نسبت تنش قاب ۱



شکل ۲-۶: نسبت تنش قاب ۲



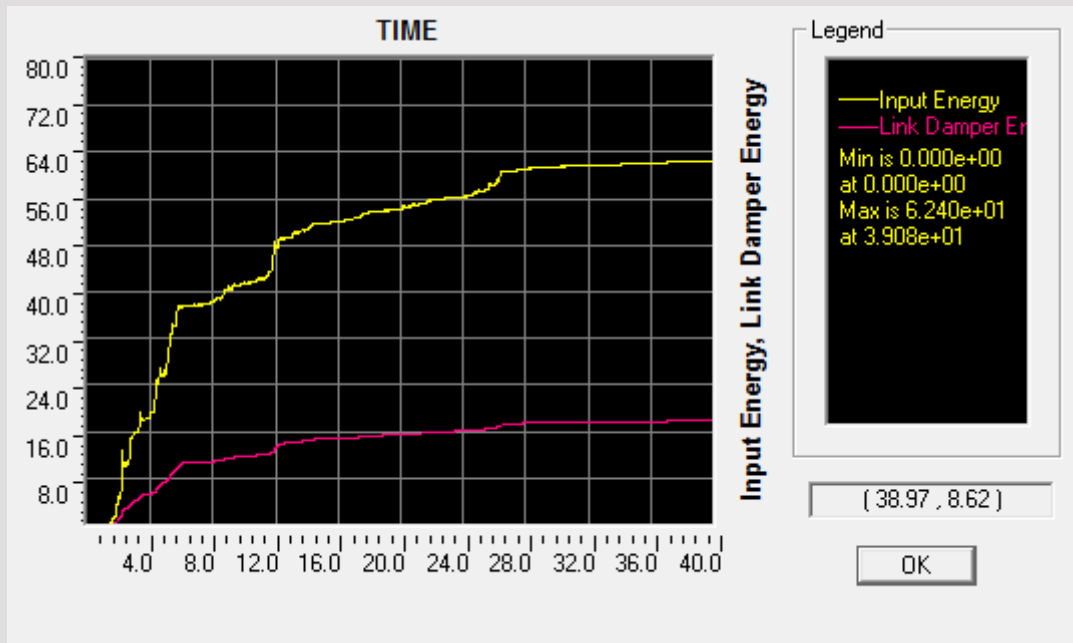
شکل ۳-۷: نسبت تنش قاب ۳



شکل ۳-۸: نسبت تنش قاب ۴

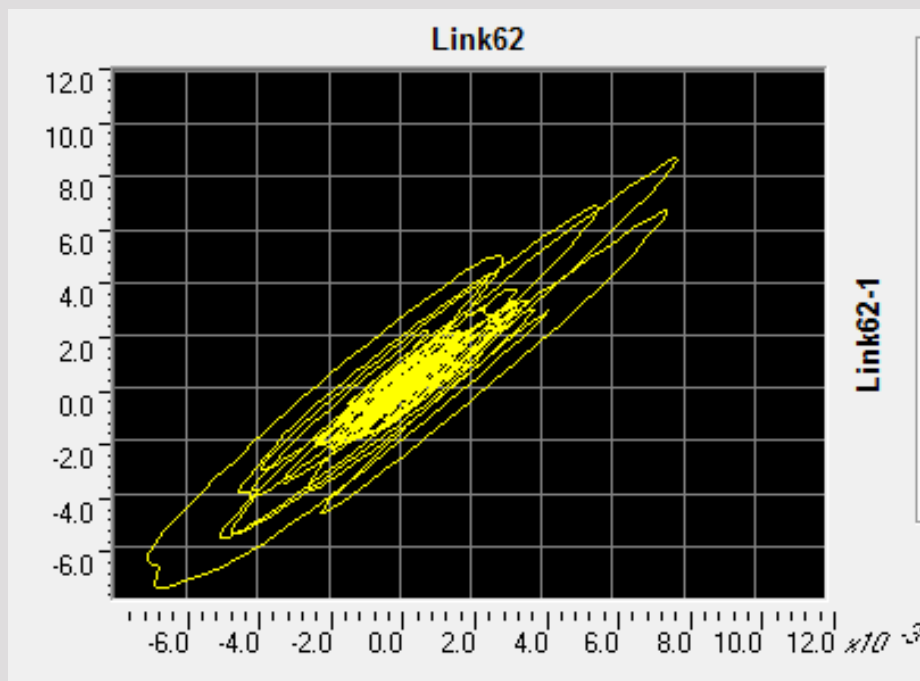
تیرهای قرمز به این علت قرمز شده اند که مقطع بزرگی به المان قائمی که در مرکز تیر قرار دارد به جهت تامین صلبیت اختصاص داده ایم.

۳-۵-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE



شکل ۳-۹: انرژی ورودی، انرژی جنبشی، انرژی تلف شده توسط میراگرها

۳-۵-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE



شکل ۳-۱۰: نمودار نیرو-جابجایی میراگر



مراجع

[1] K. C. Chang, Y. Y. Lin, and M. L. Lai, "Seismic Analysis and Design of Structures with Viscoelastic Dampers," *ISET Journal of Earthquake Technology*, vol. 4(35), pp. 143-166, 1998.

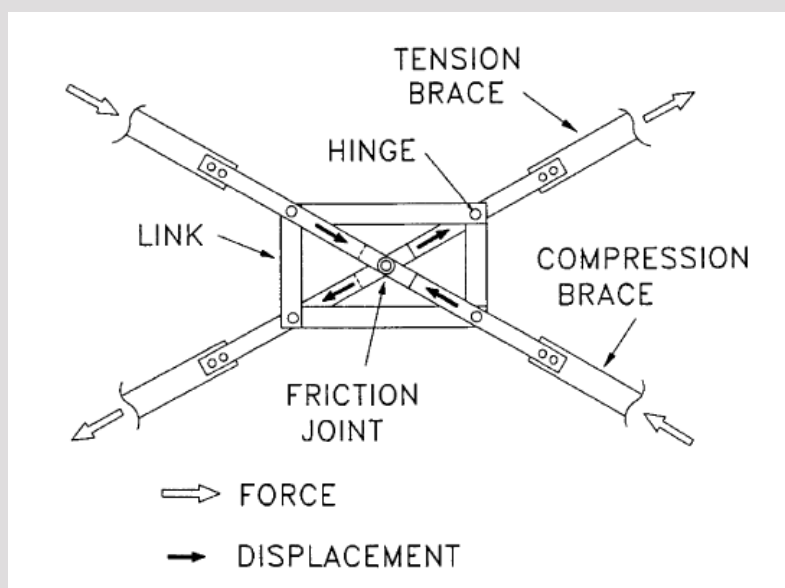
## فصل چهارم

### طراحی سازه به همراه میراگر اصطحکاکی پال

#### ۴-۱- مدل سازی و طرح لرزه‌ای سازه با استفاده از میراگر اصطحکاکی پال

در سال ۱۹۸۲ میلادی، سیستم سازه‌ای جدیدی برای مقابله با نیروهای زلزله توسط آقایان پال و مارش پیشنهاد گردید. مکانیسم عملکرد این سیستم بر پایه‌ی اصطکاک بین دو صفحه فولادی استوار بود و این امر باعث شد تا این سیستم مقاوم لرزه‌ای بتواند با هزینه‌ی کم عملکرد مطلوبی را از خود به نمایش گذارد. از امتیازات ویژه این سیستم میراگر می‌توان به منحنی هیستریزیس آن اشاره نمود که تا حد زیادی شبیه به مستطیل بوده و این امر موجب می‌شود تا توانایی خوبی در جذب انرژی ورودی ناشی از زلزله را دارا باشد.

در مقابل تحریک‌های زلزله‌های شدید، صفحات مربوط به این نوع میراگر، با رسیدن نیرو به یک حد از پیش تعیین شده، نسبت به هم حرکت کرده و از ایجاد تسلیم در سایر المان‌های سازه‌ای جلوگیری می‌کنند. لغزش صفحات میراگر نسبت به هم، باعث تغییر در فرکانس طبیعی سازه می‌شود و این امر موجب می‌گردد تا انرژی ورودی به سازه با توجه به مکانیسم اصطکاک، مستهلک گردد.



شکل ۴-۱: میراگر اصطحکاکی

#### ۴-۲- مفهوم بار لغزشی بهینه

انرژی مستهلک شده در سازه‌های مهاربندی شده‌ای که در آنها از میراگرهای اصطکاکی استفاده شده است، بستگی زیادی به مقدار نیروی لغزش (مقدار نیروی حداقلی که نیاز است تا دو صفحه میراگر نسبت به هم جابجا شوند) و جابجایی ایجاد شده بین دو صفحه دارد. اگر مقدار نیروی لغزش خیلی زیاد باشد، مقدار انرژی مستهلک شده برابر صفر خواهد بود زیرا دو صفحه مربوط به میراگر نمی‌توانند نسبت به هم حرکتی داشته باشند و عملاً سازه همانند یک سازه‌ی مهاربندی شده‌ی معمولی کار می‌کند. در طرف مقابل اگر نیروی لغزش بسیار کوچک باشد، مقدار جابجایی بین دو صفحه زیاد بوده و عملاً مقدار انرژی مستهلک شده برابر صفر خواهد بود که می‌توان تصور نمود سازه همانند یک قاب خمشی معمولی رفتار می‌کند. در میان دو حالت حدی عنوان شده، مقدار نیروی لغزشی وجود خواهد داشت که با توجه به آن مقدار انرژی مستهلک شده در سازه بیشینه خواهد بود. این مقدار نیروی لغزشی به نیروی لغزش بهینه موسوم است.

نکته بسیار قابل توجه در ارتباط با این نوع میراگرها این است که طراح باید کنترل نماید تا نیروی لغزش میراگر از مقدار نیروی باد وارد بر سازه بیشتر باشد، در غیر اینصورت صفحات میراگر تحت اثر نیروی باد نسبت به هم جابجا شده و دیگر کارایی قابل انتظار را در برابر زلزله از خود به نمایش نخواهند گذاشت.

### ۴-۳- طراحی سازه با میراگر اصطکاکی پال

#### ۴-۳-۱- طراحی ساختمان بدون بادبند

ابتدا لازم است تا یک سازه جدید با سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی برای تحمل بارهای ثقیلی متعارف و معمول طراحی گردد. در این قسمت لازم نیست تا اثرات مربوط به زلزله در طراحی سازه لحاظ گردند. امامطابق با بند 13A.2.4.1 آیین نامه NEHRP 2000 در طراحی سازه‌هایی که در آنها از سیستم های استهلاک انرژی استفاده شده است، فرض می‌گردد که سازه بدون میراگر حداقل ۰,۷۵ درصد برش پایه طراحی آیین نامه را بتواند تحمل نماید. طراحی سازه ای که تحمل ۰,۷۵ برش پایه آیین نامه داشته باشد در بخش ۲-۳ صورت پذیرفته است.

#### ۴-۳-۲- انتخاب ابعاد بادبند قطری

در این قسمت ابتدا باید پریود ارتعاشی غالب سازه‌ی اولیه (با سیستم قاب خمشی بدون بادبند) تعیین گردد، که با آنالیز مودال این مقدار برابر  $2.1 \text{ sec}$  بدست می‌آید.

سپس بایستی سازه اولیه بگونه‌ای بادبندی گردد که نسبت پریود سازه بادبندی شده به پریود سازه اولیه در صورت امکان و با ملاحظات اقتصادی کمتر از 0.4 گردد. در این پروژه سازه مورد نظر بادبندی گردید و پریود مود اول آن برابر  $1.3 \text{ sec}$  بدست آمد.

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	1.298106	0.77035	4.8403	23.428
MODAL	Mode	2	1.295724	0.77177	4.8492	23.514
MODAL	Mode	3	0.988786	1.0113	6.3544	40.379
MODAL	Mode	4	0.411353	2.431	15.274	233.31
MODAL	Mode	5	0.405675	2.465	15.488	239.88
MODAL	Mode	6	0.305992	3.2681	20.534	421.64
MODAL	Mode	7	0.21813	4.5844	28.805	829.72
MODAL	Mode	8	0.214073	4.6713	29.351	861.46
MODAL	Mode	9	0.160106	6.2459	39.244	1540.1
MODAL	Mode	10	0.147588	6.7756	42.572	1812.4
MODAL	Mode	11	0.143799	6.9542	43.694	1909.2
MODAL	Mode	12	0.122484	8.1643	51.298	2631.5
MODAL	Mode	13	0.120682	8.2862	52.064	2710.7
MODAL	Mode	14	0.120246	8.3163	52.253	2730.4
MODAL	Mode	15	0.11834	8.4502	53.094	2819
MODAL	Mode	16	0.117381	8.5193	53.528	2865.7

شکل ۴-۲: نتایج آنالیز Modal

$$\frac{T_b}{T_u} = 0.67$$

ابعاد بادبند ها در کل طبقات یکسان و از ۲ پروفیل UNP180 استفاده شده است.

#### ۴-۳-۳- تعیین پریود غالب ارتعاش زمین و شتاب مبنای طرح

حال بایستی پریود غالب ارتعاش زمین ( $T_g$ ) و شتاب مبنای طرح ( $a_g$ ) مشخص گردند.

برای محاسبه پریود غالب زمین از رابطه تجربی زیر استفاده می‌گردد.

$$T_g = \frac{2\pi}{65-7.5M_l}$$

با توجه به اینکه قرار است عملکرد سازه تحت اثر زلزله El-Centro مورد بررسی قرار گیرد، لذا مقدار  $M_l$  در رابطه فوق برابر بزرگای این زلزله (6.9) در نظر گرفته می‌شود. در اینصورت پریود غالب زمین برابر خواهد بود با:

$$T_g = \frac{2\pi}{65-7.5 \times 6.9} = 0.474 \text{ sec}$$

در زلزله ال سنترو مقدار شتاب حداکثر زمین برابر با :

$$a_g = 0.32g$$

#### ۴-۳-۴- کنترل محدودیت های روش طراحی

در این مرحله بایستی محدودیت‌های روش طراحی ارائه شده کنترل گردند.

$$a) 0.2 \leq \frac{T_b}{T_u} = 0.67 \leq 0.8 \quad O.K$$

$$b) 0.05 \leq \frac{T_g}{T_u} = \frac{0.474}{1.94} = 0.244 \leq 20 \quad O.K$$

$$c) 0.005 \leq \frac{a_g}{g} = 0.32 \leq 0.4 \quad O.K$$

$$d) NS = 8 \leq 10 \quad O.K$$

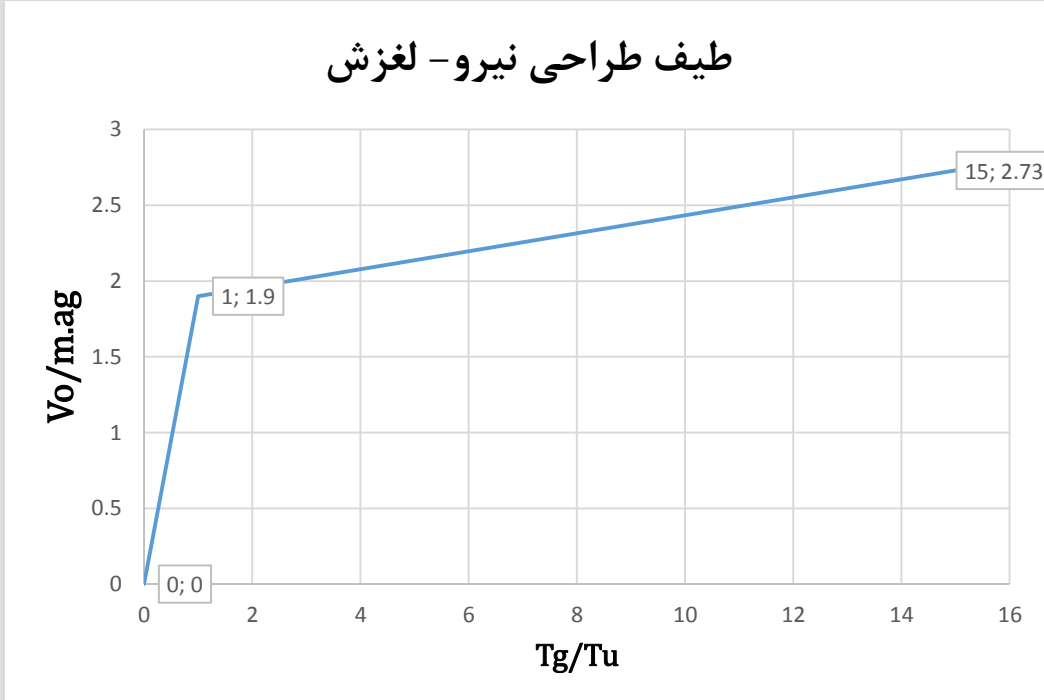
۴-۳-۵- تعیین ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  و رسم طیف طراحی بار-لغزش

$$\alpha = \frac{(-1.24NS - 0.31)T_b}{T_u} + 1.04NS + 0.43$$

$$\alpha = (-1.24 \times 8 - 0.31) \times 0.54 + 1.04 \times 8 + 0.43 = 1.9$$

$$\beta = \frac{(-1.07NS - 0.1)T_b}{T_u} + 1.01NS + 0.45$$

$$\beta = (-1.07 \times 8 - 0.1) \times 0.54 + 1.01 \times 8 + 0.45 = 2.73$$



شکل ۴-۳: طیف نیرو-لغزش

۴-۳-۶- تعیین نیروی لغزشی کل

در این مرحله با توجه به طیف رسم شده در گام پیشین، نیروی لغزش کل محاسبه شده و به صورت یکنواخت در طبقات توزیع می‌گردد.

$$\frac{V_0}{m a_g} = 1.9 \frac{T_g}{T_u} = 1.9 \times 0.244 = 0.4636$$

$$V_0 = 0.4636 m \times a_g = 0.886 \times 347470 \times 0.32 \times 9.81 = 505.7 \text{ ton}$$

$$V_{si} = \frac{V_0}{NS} = \frac{505.7}{8} = 63.2 \text{ ton}$$

۴-۳-۶- توزیع نیروی لغزشی بین میراگرها

حال باید نیروی برشی لغزشی ای که برای هر طبقه بدست آمد را بین میراگرهای هر طبقه توزیع گردد. با توجه به آرایش میراگرها در سازه، مشاهده می‌شود که در هر طبقه 2 عدد میراگر اصطکاکی موجود است.

$$\sum_{j=1}^{N_{Di}} 2P_{0ij} \cos \alpha_{ij} = V_{si}$$

طبقه اول :

$$\cos \alpha = 0.738$$

$$2 \times 0.738 \times (2 \times P_{01}) = 63211 \text{ kg}$$

$$P_{01} = 21413 \text{ Kg}$$

سایر طبقات :

$$\cos \alpha = 0.8076$$

$$2 \times 0.8076 \times (2 \times P_{0i}) = 63211 \text{ kg}$$

$$P_{0i} = 19568 \text{ Kg} \quad i = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$$

۴-۳-۷- کنترل عدم لغزش میراگرها تحت بار باد

در این گام بایستی نیروی لغزش میراگرها با نیروی باد وارد به سازه مقایسه گردد. اساس این گام بر این مهم استوار است که میراگر اصطکاکی نباید در برابر نیروهای ناشی از باد فعال گردد، لذا لازم است تا نیروی لغزش میراگر از نیروی باد وارده بیشتر باشد. قابل توجه است که در این پروژه فرض بر این است که نیروی باد تعیین کننده نبوده و اثری در طراحی نخواهد داشت.

۴-۳-۸- کنترل عدم جاری شدن بادبندها قبل از لغزش میراگرهای اصطکاکی

در این گام باید نیروی تسلیم بادبندهای نصب شده در سازه با نیروی لغزش میراگرها مقایسه گردند. این امر بدان جهت است که بادبندها نباید قبل از عمل کردن میراگرها به تسلیم برسند. لذا لازم است تا نیروی تسلیم بادبندها بزرگتر از نیروی لغزش میراگرها باشد.

$$P_{0ij} \leq \frac{A_{bij}\sigma_{yij} + P_{(Cr)ij}}{2}$$

$$A_{bij}\sigma_{yij} = 56 \times 3500 = 196000 \text{ Kg}$$

$$P_{(Cr)ij} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 2038901 \times 27.28}{6.7738^2} = 11963000 \text{ kg}$$

$$P_{0ij} = 21413 \text{ kg}$$

چون  $P_{0ij} \leq P_{(Cr)ij}$  بنابراین:

$$P_{0ij} \leq A_{bij}\sigma_{yij}$$

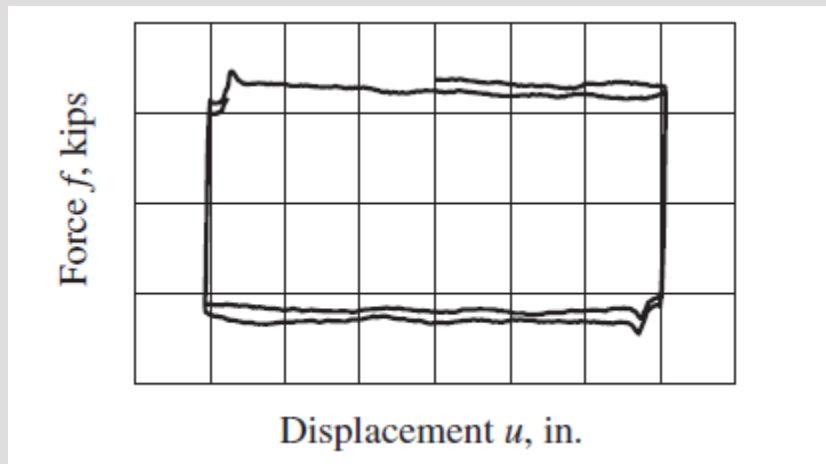
$$21413 \text{ kg} \leq 196000 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

همانطور که مشاهده می شود نیروی برشی لغزش میراگر اصطکاکی کمتر از نیروی تسلیم بادبندهای نصب شده در سازه است و این بدین معنی است که قبل از تسلیم بادبندها، میراگرها فعال می شوند.

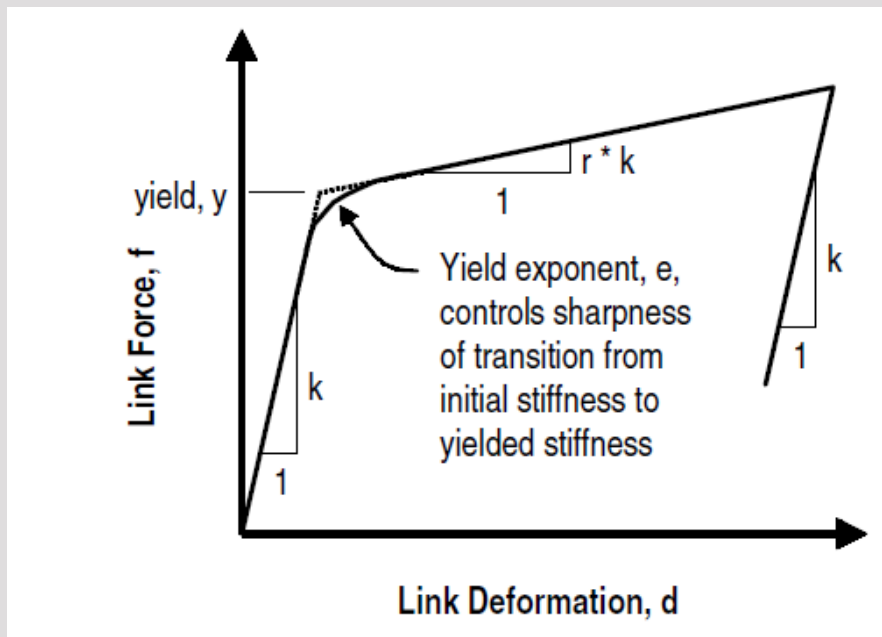


۴-۴-مدلسازی در SAP2000

از آنجا که در نرم افزار SAP2000 امکان مدل سازی مستقیم میراگر اصطحکاکي وجود ندارد آن را با المان دیگری با رفتار هیسترتیک مشابه می توان مدل نمود. بنابراین می توان برای مدل کردن این نوع از میراگر از المان لینک Plastic Wen استفاده نمود.



شکل ۴-۴: منحنی هیسترتیک میراگر اصطحکاکي



شکل ۴-۵: رفتار هیسترتیک میراگر تسلیمی Plastic Wen

رفتار نیرو-جابجایی این المان یک نمودار دو خطی است که با ۴ پارامتر سختی اولیه، سختی پس از جاری شدن، بار تسلیم و Yield Exponent تعیین می گردد. این پارامترها باید به گونه ای تعیین گردند که شکل مستطیلی حلقه های هیسترتیک میزگر اصطحاکاکی را بسازند.

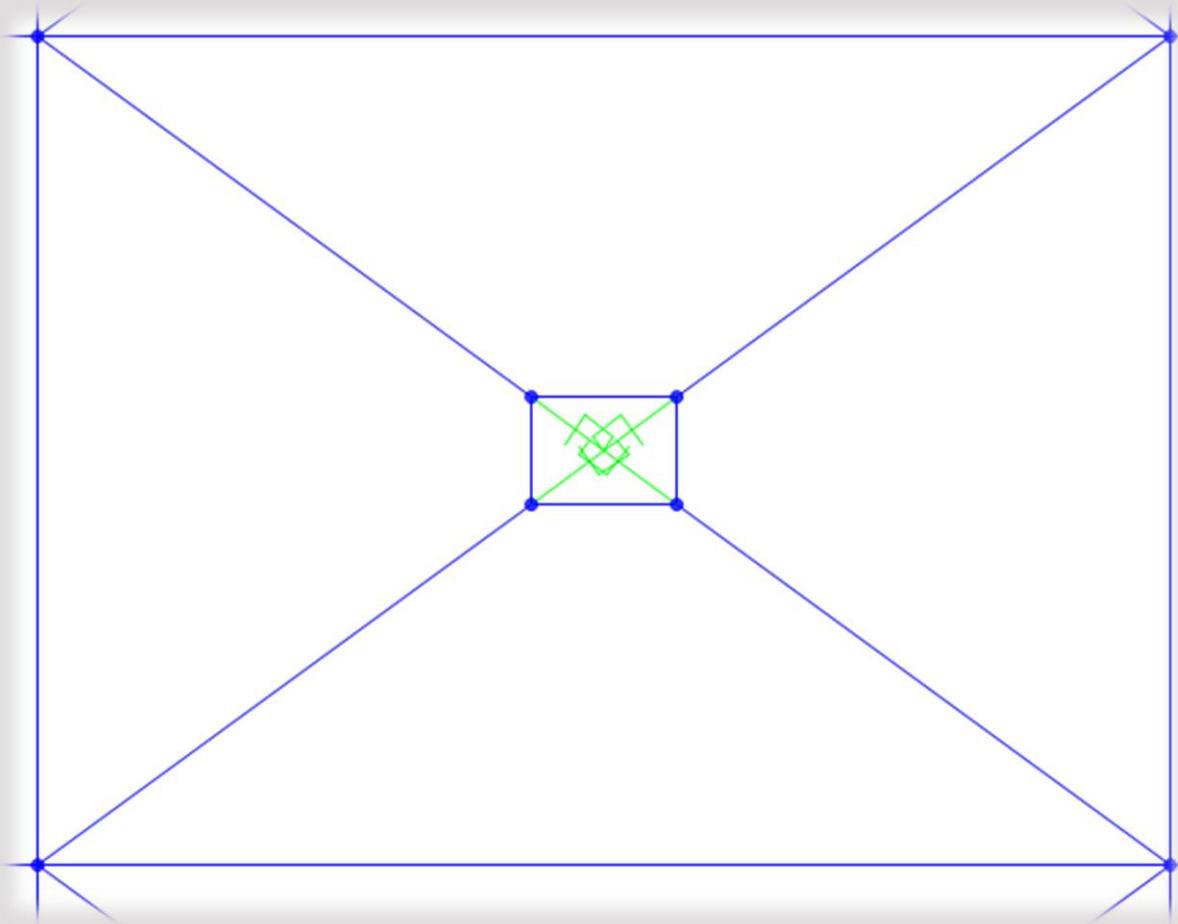
شکل ۴-۶: المان لینک Plastic Wen در Sap

با توجه به شکل K سختی اولیه،  $r \cdot K$  سختی پس از جاری شدن،  $F_y$  با تسلیم و e که میزان تیز بودن محل شکست را تعیین میکند.

برای مدلسازی میراگر اصطحکاکی با استفاده از این لینک باید سختی اولیه یک عدد بسیار بزرگ ، سختی پس از جاری شدن برابر صفر ، بار تسلیم برابر بار لغزش میراگر و  $e$  را برابر ۱ در نظر گرفت.

شکل ۴-۷: مقادیر منحنی هیسترتیک برای مدلسازی رفتار هیسترتیک میراگر اصطحکاکی

از منوی draw و با استفاده از ابزار draw 2 joint link دو لینک را بصورت زیر بین بادبند ها رسم می نماییم.



شکل ۴-۸: رسم میاگر اصطحکاک‌کی در sap2000

#### ۴-۵- تعیین عملکرد سازه با میراگر اصطحکاکی تحت زلزله DBE

در این قسمت سازه دارای میراگر اصطحکاکی را تحت رکورد زلزله El-Centro در شرایط بهره برداری DBE مورد بررسی قرار گرفت. ضریب مقیاسی که بایستی به رکورد این زلزله اعمال شود تا این رکورد را به سطح DBE انتقال دهد با توجه به صورت پروژه برابر 0.67 می باشد.

از آنجایی که با اضافه کردن میراگر اصطحکاکی انتظار می رود سازه در محدوده خطی باقی بماند، لذا ضریب رفتار برابر واحد اختیار می گردد ( $R=1$ ). با توجه به اینکه رکورد زلزله به شتاب گرانش زمین تقسیم شده است، و سازه دارای ضریب اهمیت  $I=1$  است، مقدار ضریب مقیاس (Scale Factor) بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$Scale\ Factor = \frac{9.8 \times 0.67 \times 1}{1} = 6.566$$

#### ۴-۵-۱- کنترل دریفت طبقات

با توجه به بند 13A.7.2 و جدول 5-2-8 آیین نامه NEHRP 2000، مقدار دریفت مجاز برای سازه‌هایی که در *Siesmic group I* قرار دارند برابر 2 درصد ارتفاع طبقات است که باید در  $\frac{R}{C_d}$  ضرب شود. جداول ۱-۴ و ۲-۴ مقادیر دریفت‌های بدست آمده از تحلیل غیر خطی سازه تحت رکورد زلزله‌ی El-Centro را نمایش می دهد.

$$\frac{C_d \Delta_s}{R h} = 0.02$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 4.57 = 0.108\ m$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 3.65 = 0.084\ m$$

جدول ۴-۱: دریفت طبقات در جهت X سطح لرزه ای DBE

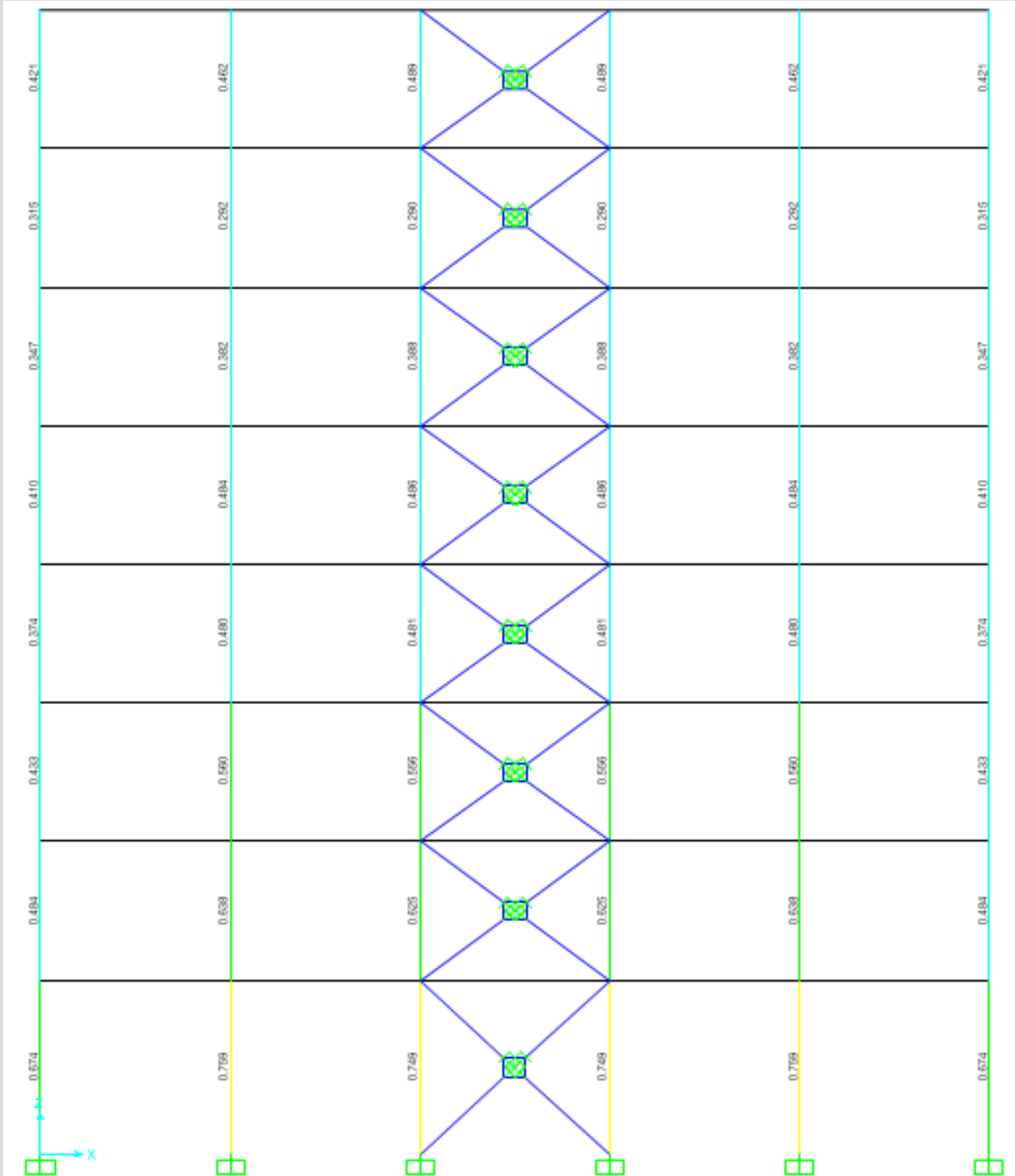
Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.01046	0.01069	0.010605	0.01015	0.00846	0.005091	0.002416	0.000568
Ey	4.7E-09	8.3E-10	-3.3E-09	2.7E-10	-3E-10	2.82E-09	2.82E-10	-2.2E-09
UDCON1	0.01142	0.01115	0.00998	0.00823	0.01019	0.006652	0.00214	-0.00072
UDCON2	-0.01467	-0.01499	-0.01487	-0.0142	-0.01187	-0.00714	0.158915	0.000795
UDCON3	0.01467	0.01499	0.014873	0.01423	0.01187	0.007141	0.003389	0.000795
UDCON4	6.6E-09	1.2E-09	-4.7E-09	3.8E-10	-4.3E-10	3.95E-09	3.96E-10	-3.1E-09
UDCON5	6.6E-09	1.2E-09	-4.7E-09	3.8E-10	-4.3E-10	3.95E-09	3.96E-10	-3.1E-09
UDCON6	6.7E-09	1.2E-09	-4.8E-09	3.9E-10	-4.4E-10	4.03E-09	4.03E-10	-3.2E-09
UDCON7	6.7E-09	1.2E-09	-4.8E-09	3.9E-10	-4.4E-10	4.03E-09	4.03E-10	-3.2E-09
UDCON8	0.01495	0.01528	0.015165	0.01451	0.0121	0.00728	0.003456	0.000811
UDCON9	0.01495	0.01528	0.015165	0.01451	0.0121	0.00728	0.003456	0.000811
UDCON10	2E-16	2.1E-16	2.36E-16	2.7E-16	2.5E-16	1.67E-16	8.6E-17	1E-17
Max	0.01495	0.01528	0.015165	0.01451	0.0121	0.00728	0.158915	0.000811

جدول ۴-۲: دریفت طبقات در جهت Y سطح لرزه ای DBE

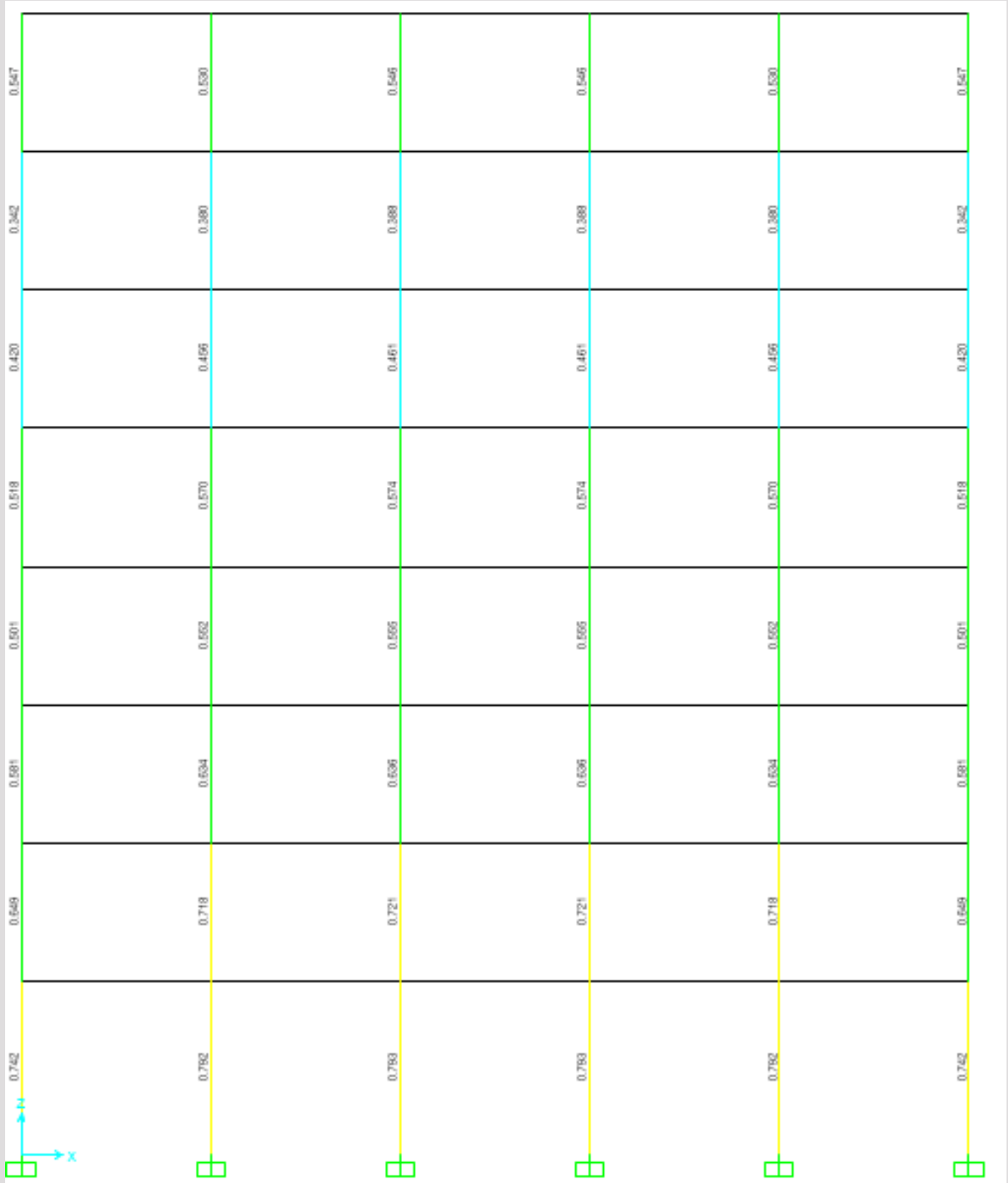
Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	5E-09	7.1E-10	-3E-09	-6E-10	1E-09	1.9E-09	-4E-10	-1E-09
Ey	0.0091	0.01044	0.0108	0.0105	0.0087	0.00537	0.0026	0.0007
UDCON1	6E-09	1.5E-09	-4E-09	-2E-09	1E-09	3E-09	2E-10	-3E-09
UDCON2	-6E-09	-9E-10	3.8E-09	9.1E-10	-2E-09	-3E-09	1E-08	-2E-09
UDCON3	6E-09	1E-09	-4E-09	-9E-10	2E-09	2.6E-09	-5E-10	-2E-09
UDCON4	0.0128	0.01465	0.01515	0.01472	0.0122	0.00753	0.0036	0.0009
UDCON5	0.0128	0.01465	0.01515	0.01472	0.0122	0.00753	0.0036	0.0009
UDCON6	0.013	0.01494	0.01545	0.01501	0.0125	0.00767	0.0037	0.0009
UDCON7	0.013	0.01494	0.01545	0.01501	0.0125	0.00767	0.0037	0.0009
UDCON8	7E-09	1E-09	-4E-09	-9E-10	2E-09	2.7E-09	-5E-10	-2E-09
UDCON9	7E-09	1E-09	-4E-09	-9E-10	2E-09	2.7E-09	-5E-10	-2E-09
UDCON10	2E-16	2.1E-16	2.5E-16	2.8E-16	3E-16	2.7E-16	2E-16	1E-16
Max	0.013	0.01494	0.01545	0.01501	0.0125	0.00767	0.0037	0.0009

همانطور که ملاحظه می شود مقادیر دریفت طبقات کنترل شده می باشند.

۴-۵-۲- نسبت تنش ستون ها

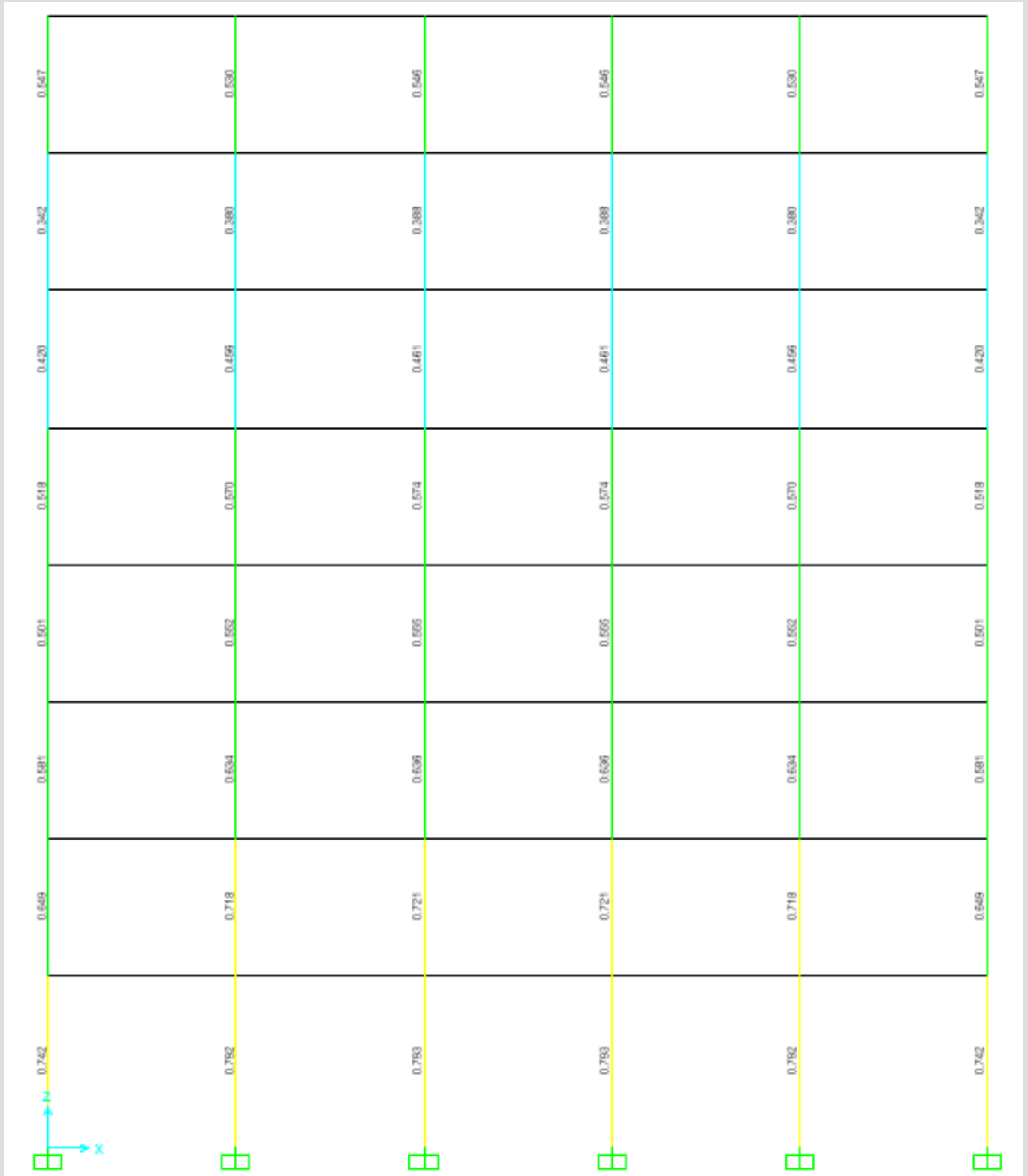


شکل ۴-۸ : نسبت تنش قاب ۱

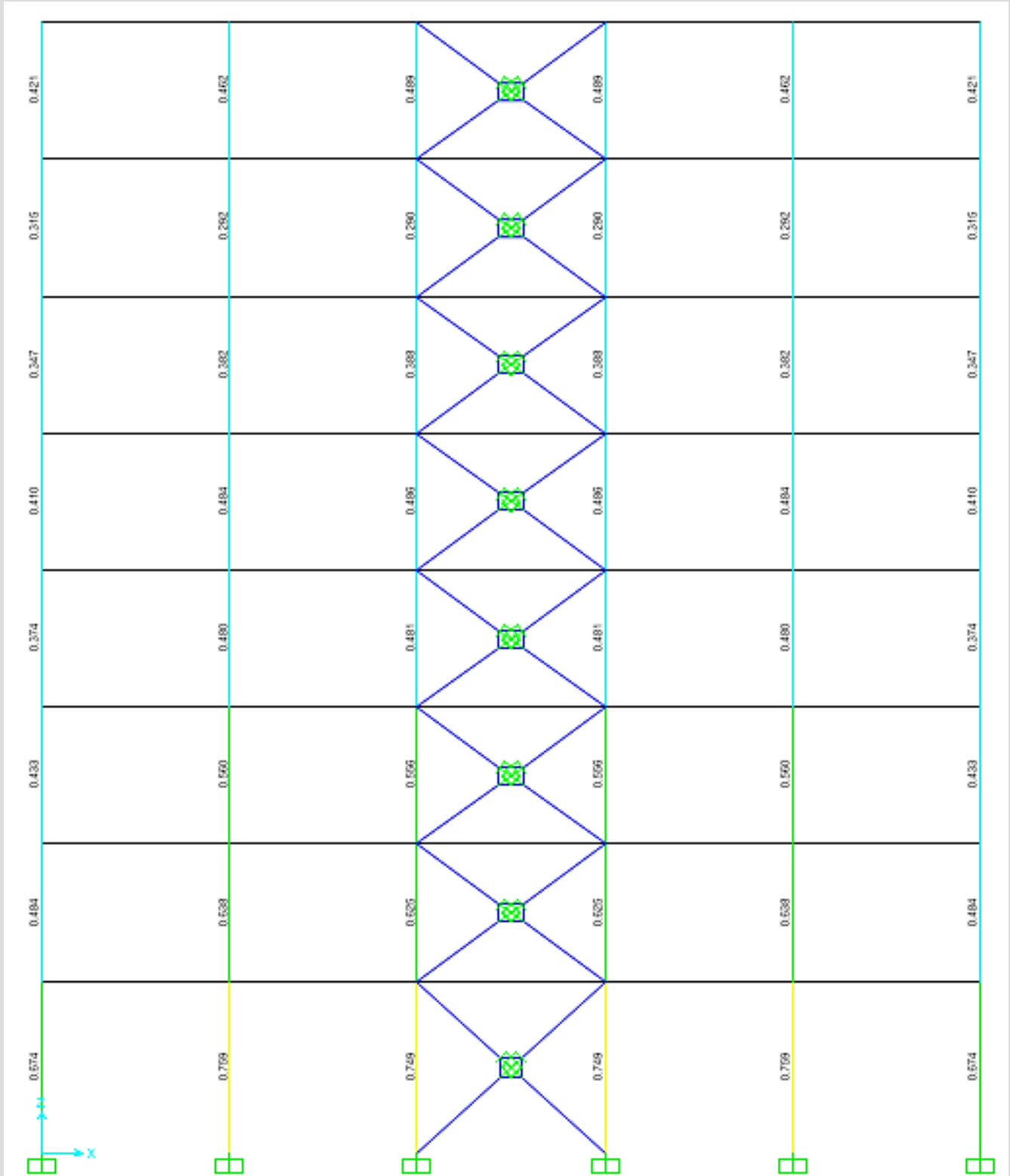


شکل ۴-۹: نسبت تنش قاب ۲



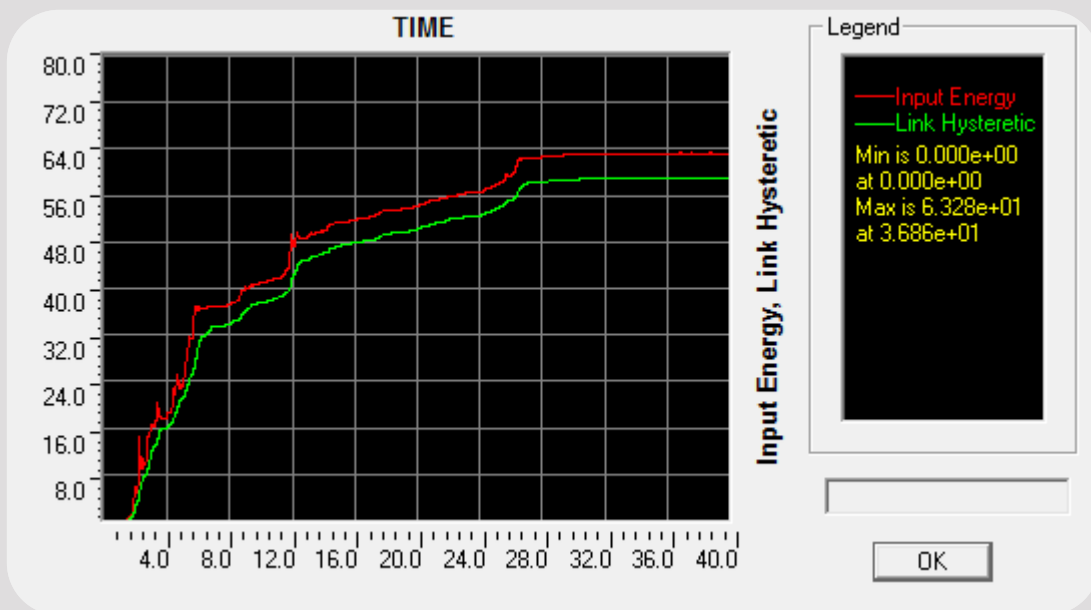


شکل ۴-۱۰: نسبت تنش قاب ۳



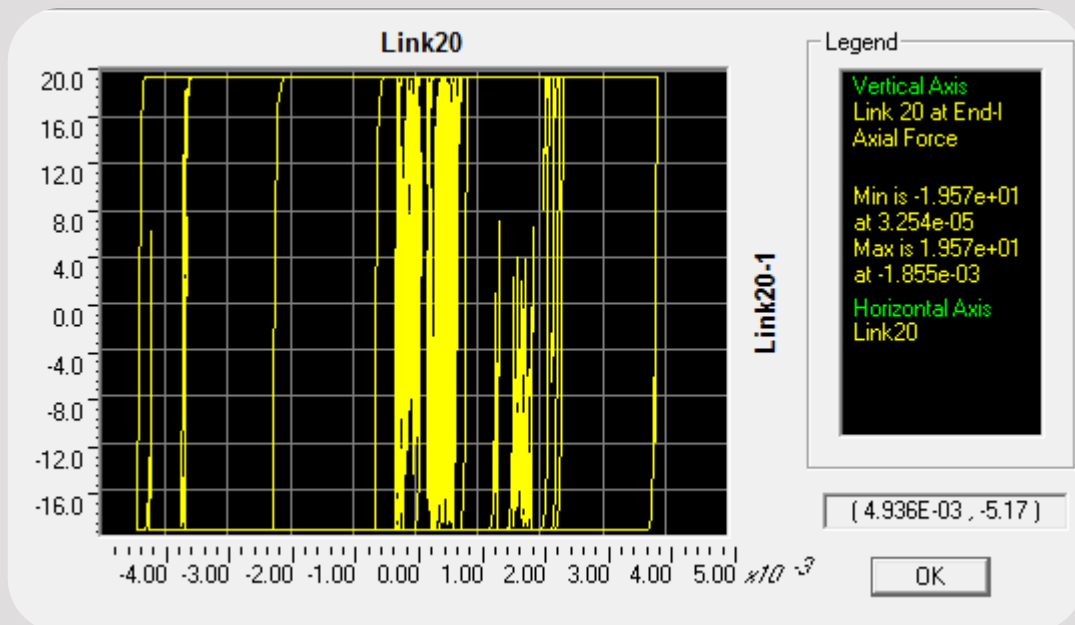
شکل ۴-۱۱ : نسبت تنش قاب ۴

۴-۵-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE:



شکل ۴-۱۲: انرژی ورودی، انرژی تلف شده توسط میراگرها

۴-۵-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE:



شکل ۴-۱۳: منحنی هیسترتیک میراگر اصطکاکی

[1] Filiatrault, A., and Cherry, S. (1990). " Seismic Design Spectra for Friction-Damped Structures." *Journal of Structural Engineering*, Vol. 116, No. 5, May, 1990. ©ASCE

## فصل پنجم

### طراحی سازه به همراه میراگر تسلیمی T-ADAS

#### ۵-۱- طراحی ساختمان بدون میراگر

آیین‌نامه NEHRP اذعان می‌دارد، سازه‌ای که قرار است با استفاده از میراگر، انرژی ورودی ناشی از زلزله را جذب نماید، بایستی بتواند به تنهایی 0.75 نیروی زلزله را تحمل کند، این بدان معنی است که ضریب کاهش برش پایه در اثر استفاده از میراگر (B)، حداکثر می‌تواند برابر 1.35 باشد که این ضریب معادل میرایی 15% است. در واقع بایستی عنوان نمود که با بیشتر شدن میرایی از 15%، برش پایه تغییری نمی‌کند، بدین معنی که برای کوچک کردن مقاطع نمی‌توان با ایجاد میرایی، برش پایه‌ای کمتر از 0.75V را در نظر گرفت.

سازه‌ی اولیه‌ی طراحی شده در این پروژه، برای 75 درصد برش پایه حاصل از طیف آیین‌نامه NEHRP طراحی شده است.

#### ۵-۲- محاسبه‌ی برش پایه بر اساس NEHRP2000

$$R = 3, \Omega_0 = 3, C_d = 2.5$$

$$S_{MS} = F_a S_S = 0.8 \times 1.6 = 1.28$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0.85$$

$$C_S = \frac{S_{DS} \times I}{R} = \frac{0.85 \times 1}{3} = 0.28$$

طبق آئین‌نامه لازم نیست که این عدد از مقدار بدست آمده در روابط زیر بیشتر باشد. در محاسبات زیر چون هنوز ساختمان طراحی نشده است از رابطه تقریبی آئین‌نامه برای محاسبه‌ی پریود استفاده شده است.

$$S_{M1} = F_V \times S_1 = 0.8 \times 0.5 = 0.4$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.27$$

$$T_a = C_u C_r h_n^x = 0.0466 \times 30.12^{0.9} = 0.9985$$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times I}{R \times T} = \frac{0.27 \times 1}{3 \times 0.9985} = 0.09$$

### ۵-۳- طراحی میراگرهای هیستریزیس با المان T-ADAS

اساس طراحی المانهای T-ADAS بر پدیده خستگی استوار است، لذا در گام نخست بایستی تعداد سیکلی که این المانها می‌توانند بدون از دست دادن پایداری خود تحمل نمایند، برای سطوح مختلف زمین لرزه معین شوند.

بیشینه کرنشی که در المانهای T-ADAS، بر اثر تعداد سیکلی که باعث خرابی آنها می‌شود، بوجود می‌آید از رابطه‌ی تجربی زیر که مبنای طراحی قرار می‌گیرد، قابل محاسبه است.

$$\varepsilon_{max} = 0.08 N_f^{-0.3}$$

برای زلزله سطح طراحی (دوره بازگشت 475 ساله، DBE)، معمولا تعداد سیکلهایی که منجر به خرابی می‌شوند برابر ۱۰۰ سیکل در نظر گرفته می‌شود، از این رو بیشینه کرنش ایجاد شده در این المانها از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\varepsilon_{max} = 0.08 \times 100^{-0.3} = 0.02$$

شکل پذیری هر کدام از المانهای T-ADAS، طبق تعریف مفهوم شکل پذیری، از تقسیم بیشینه تغییر مکان ایجاد شده در المان، بر تغییر مکان تسلیم بدست می‌آید. این مقدار معادل  $\frac{2}{3}$  برابر حاصل تقسیم کرنش بیشینه به کرنش تسلیم نیز می‌باشد که ضریب  $\frac{2}{3}$  به دلیل شکل مثلثی این المانها ظاهر شده است.

$$\mu_d = \frac{D_{max}}{D_y} = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_y} = \frac{2}{3} \times \frac{0.02 \times 2 \times 10^6}{3500} = 7.62$$

با توجه به آیین‌نامه NEHRP، جابجایی ماکزیمم ( $D_{max}$ ) ایجاد شده در المان T-ADAS بر مبنای محدودیت بیشینه دریافت طبقات قابل محاسبه است.

$$Drift_{max} = \frac{R}{C_d} \times 0.02 \times h$$

$$D_{max} = Drift_{max} = \frac{3}{2.5} \times 0.02 \times 3.65 = 8.76 \text{ cm}$$

از طرفی مقدار تغییر مکان بیشینه ایجاد شده در المان T-ADAS بصورت زیر قابل محاسبه است.

$$D_{max} = \frac{\epsilon_{max} h^2}{t} = \frac{0.02 \times h^2}{t}$$

با توجه به مطالب عنوان شده، بایستی رابطه زیر برقرار باشد.

$$\frac{0.02h^2}{t} = 8.76 \rightarrow \frac{h^2}{t} = 438 \text{ cm}$$

با توجه به رابطه فوق و ورق‌های متعارف موجود، ضخامت و ارتفاع المان‌های T-ADAS بصورت زیر انتخاب می‌شوند.

$$t = 2 \text{ cm}, h = 30 \text{ cm}$$

عرض المان‌های T-ADAS (b) از ارتفاع آنها کمتر انتخاب می‌شود، از طرفی با توجه به اینکه این المان‌ها بایستی به تیر طبقه فوقانی متصل شوند، لذا عرض آنها نباید از عرض تیر فوقانی بیشتر اختیار گردد. در این پروژه با در نظر گیری موارد یاد شده، عرض این المان‌ها برابر  $b = 25 \text{ cm}$  اختیار می‌شود.

با مشخص بودن ابعاد این المان‌ها و با استفاده از رابطه زیر می‌توان برش تسلیم متناظر با هر کدام از المان‌های T-ADAS را تعیین نمود.

$$V_d = \frac{F_y b t^2}{4h} = \frac{3500 \times 25 \times 2^2}{4 \times 30} = 2916.7 \text{ kg}$$

$$k_{di} = \frac{E b t^3}{6h^3} = \frac{2 \times 10^6 \times 25 \times 2^3}{6 \times 30^3} = 2469.1 \text{ kg/cm}$$

حال باید برای هر طبقه یک تعداد ورق فرض کنیم و در انتها این تعداد ورقها را چک کنیم. تعداد ورقها بر اساس برشی که در هر طبقه هر سیستم میراگر باید تحمل کند، بدست می‌آید.

باید  $V_y$  ساختمان طراحی شده را پیدا کنیم و با فرض درصدی از این برش که باید سیستم میراگر در حالت الاستیک تحمل کند، تعداد ورقها را به گونهای بیابیم که به تسلیم نرسند.

$$V_y = V \Omega_0 \frac{C_d}{R} = \frac{2.5 \times 3}{3} V = 2.5 V$$

$$V = C_s W = 0.09 \times 3405198 = 306467.8 \text{ kg}$$

$$V_y = 2.5 \times 306467.8 = 766167.5 \text{ kg}$$

فرض میکنیم که سیستم میراگر در حالت الاستیک بتواند  $0.25 V_y$  را تحمل کند. البته در انتها این فرض چک میشود.

$$0.25 V_y = 191542.4 \text{ kg}$$

بدین منظور، مقدار برش هر طبقه محاسبه شده و متناسب با برش طبقات تعداد این مستهلک کنندهها تعیین می شود. لازم به ذکر است که برای محاسبه برش طبقات از توزیع مثلثی برش پایه در ارتفاع مطابق رابطه زیر استفاده شده است.

$$F_i = V \times \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

با فرض ۴ میراگر در هر جهت تعداد ورقهای هر میراگر بدست می آید.

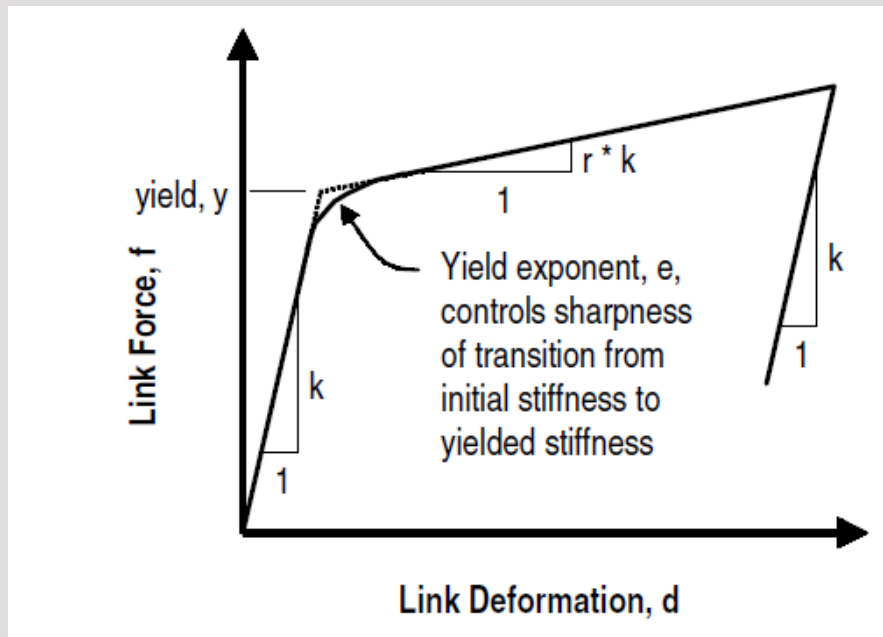


جدول ۵-۱: تعداد ورق های میراگرها با توجه به برش طبقات

Story	mass	Weight	height	$W_i \times h_i$	$F_i$	$V_i$	n
1	47300.94	463549.2	4.57	2118420	31563.86	191542.4	16
2	45515.09	446047.9	3.65	1628075	24257.85	159978.5	14
3	45287.38	443816.3	3.65	1619930	24136.49	135720.7	12
4	45086.46	441847.3	3.65	1612743	24029.41	111584.2	10
5	42096.55	412546.2	3.65	1505794	22435.9	87554.77	8
6	42096.55	412546.2	3.65	1505794	22435.9	65118.88	6
7	42096.55	412546.2	3.65	1505794	22435.9	42682.98	4
8	37989.66	372298.7	3.65	1358890	20247.08	20247.08	2

۴-۵- مدل سازی میراگرهای تسلیمی در نرم افزار SAP2000

برای مدل سازی میراگرهای تسلیمی در نرم افزار SAP2000 از المان لینک Plastic (Wen) استفاده شده است.



شکل ۵-۱: رفتار هیسترتیک میراگر تسلیمی Plastic Wen

با توجه به شکل  $K$  سختی اولیه ،  $r*K$  سختی پس از جاری شدن ،  $F_y$  با تسلیم و  $e$  که میزان تیز بودن محل شکست را تعیین میکند.

**Link/Support Property Data**

Link/Support Type: Plastic (Wen)

Property Name: H1

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0.0

Weight: 0.0

Rotational Inertia 1: 0.0

Rotational Inertia 2: 0.0

Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.0

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.0

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input checked="" type="checkbox"/> R1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> R2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> R3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters

Advanced...

OK

Cancel

شکل ۵-۲: امان لینک Plastic Wen در Sap

بدین منظور نیروی تسلیم میراگرهای هر طبقه و سختی آنها، برابر مجموع نیروی تسلیم و سختی المان‌های T-ADAS موجود در آن طبقه است. لازم به ذکر است که سختی المان‌های میراگر در هر طبقه از رابطه زیر قابل محاسبه است.

نتایج مربوط به نیروی تسلیم و سختی المان‌های میراگرها در هر طبقه در جدول 24 قابل رویت می‌باشد.

جدول ۵-۲: نیروی تسلیم و سختی هر میراگر

Story	$K = n \times K_i \frac{ton}{m}$	$V_d = n \times V_i$
1	3950.56	46667.2
2	3456.74	40833.8
3	2962.92	35000.4
4	2469.1	29167
5	1975.28	23333.6
6	1481.46	17500.2
7	987.5	11666.8
8	493.82	5833.4

**Link/Support Directional Properties**

**Identification**

Property Name: H1

Direction: U1

Type: Plastic (Wen)

NonLinear: Yes

**Properties Used For Linear Analysis Cases**

Effective Stiffness: 0.

Effective Damping: 0.

**Properties Used For Nonlinear Analysis Cases**

Stiffness: 3950.56

Yield Strength: 46.6672

Post Yield Stiffness Ratio: 0.

Yielding Exponent: 1.

OK Cancel

شکل ۵-۳: مشخصات ورودی المان لینک Plastic Wen در Sap

### ۵-۵- طراحی بادبندهای Chevron

همانطور که گفته شد، سختی بادبند باید نسبتاً زیاد باشد تا هم قبل از میراگر به تسلیم نرسد و هم اینکه قبل به تسلیم رسیدن میراگر کمانش نکند. توجه به زیادتر بودن سختی بادبند Chevron نسبت به میراگر و همچنین سری بودن سختی آنها، بادبند همانند یک جسم صلب با سختی زیاد عمل میکند که سختی مجموعه بادبند و میراگر را همان سختی میراگر میتوان در نظر گرفت. بنابراین طراحی بادبند وابسته به مشخصات میراگر است.

#### ۵-۵-۱- نیروی بادبند ها

در هر طبقه و در هر راستا ۴ بادبند Chevron داریم که هر دو عضو بادبند قبل از تسلیم میراگر نباید کمانش کنند.

$$\sum_{j=1}^{N_{Di}} 4P_i \cos \alpha_{ij} = V_{di}$$

طبقه اول :

$$\cos \alpha = 0.738$$

سایر طبقات :

$$\cos \alpha = 0.8076$$

جدول ۵-۳: نیروی داخلی هر بادبند

Story	$V_b$ (kg)
1	7904.336
2	6320.239
3	5417.348
4	4514.456
5	3611.565
6	2708.674
7	1805.783
8	902.8913

۵-۵-۲- کنترل عدم کمانش بادبندها قبل از تسلیم میراگرها

طبقه اول :

$$P_{(cr)} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 2e10 \times I}{5.2^2} \geq 7404.336$$

$$I = 3.2e - 5 \quad 2 \text{ UNP180}$$

سایر طبقات :

$$P_{(cr)} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 2e10 \times I}{4.42^2} \geq 6320.24$$

$$I = 6.2E - 7 \quad 2 \text{ UNP180}$$

۵-۵-۳- کنترل عدم جاری شدن بادبندها قبل از تسلیم میراگرها

بادبندهای کششی نباید قبل از تسلیم میراگرها به تسلیم برسند به این منظور باید:

$$P_i \leq A_{bi} \sigma_{yi}$$

$$A_{bi} \sigma_{yi} = 56 \times 3500 = 196000 \text{ Kg}$$

با مقایسه دیده میشود که در کلیه طبقات نیروی تسلیم میراگرها کمتر از نیروی لازم برای جاری شدن بادبندهای کششی است. بنابراین بادبندها قبل از به تسلیم رسیدن میراگر جاری نمیشوند.

۵-۶- طراحی ساختمان دارای میراگر

در این مرحله باید ساختمان همراه با بادبند و میراگر هیسترتیک مدل کنیم و پس از آنالیز مودال پیروی و همچنین شکل مودی مود اول ساختمان دارای میراگر را پیدا کنیم و در ادامه به چک کردن مقاطع بپردازیم

۵-۶-۱- پاسخ های مود اول

$$T_1 = 1.97 \text{ sec}$$

$$\varphi_{i1} = \{1, 0.919, 0.8, 0.67, 0.52, 0.365, 0.22, 0.98\}$$

$$\bar{W}_1 = \frac{(\sum w_i \varphi_{i1})^2}{\sum w_i \varphi_{i1}^2} = 2691281 \text{ kg}$$

$$\Gamma_1 = \frac{\bar{W}_1}{\sum w_i \varphi_{i1}} = 1.33$$

۵-۶-۲- ضریب اصلاح حلقه های هیسترتیز

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.27}{0.85} = 0.317$$

$$q_H = 0.67 \frac{T_s}{T_1}$$

$$q_H = 0.67 \frac{0.317}{1.97} = 0.108$$

این مقدار باید بین ۰.۵ و ۱ باشد که آن را ۰.۵ اختیار میکنیم.

با توجه به اینکه  $\mu_{max}$  سازه های قاب خمشی معمولی بتنی را برابر ۱ می شود ( $R = \Omega_0 = 3$ ) که در ادامه  $\beta_{HD}$  را برابر صفر میکند بنابراین در این قسمت فرض می شود سازه ی ما سازه های قاب خمشی متوسط بتنی که مقدار  $\mu_{max}$  زیر را نتیجه می دهد.

$$T_1 \geq T_s \quad \mu_{max} = \frac{R}{\Omega_0 I} = \frac{5}{3} = 1.67$$

$$T_{1D} = T_1 \sqrt{\mu_D} = 2.55$$



۵-۶-۳- مقدار میرایی هیسترتیک

$$\beta_{HD} = q_H (0.64 - \beta_I) \left(1 - \frac{1}{\mu_D}\right)$$

$$\beta_{HD} = 0.5 \times (0.64 - 0.05) \left(1 - \frac{1}{1.67}\right) = 0.11$$

$$\beta_{1D} = \beta_{HD} + \beta_I = 0.11 + 0.05 = 0.16$$

Effective Damping, $\beta$	Period of the Structure $\geq T_s/5$
$\leq 2\%$	0.8
5%	1.0
10%	1.2
20%	1.5
30%	1.8
40%	2.1
50%	2.4
60%	2.7
70%	3.0
80%	3.3
90%	3.6
$\geq 100\%$	4.0

مقدار  $B_{1D}$  برابر ۱,۳۵ میشود.

مقدار برش پایه ساختمان دارای میراگر را با مقادیر بدست آمده به صورت زیر حساب میکنیم.

$$C_{SI} = \left(\frac{R}{C_d}\right) \frac{S_{DI}}{T_{1D}(\Omega_o B_{1D})} \cdot 0.35 = 0.0313$$

بنابراین مقدار برش پایه در مود اول :

$$V_1 = C_{s1} \bar{W}_1 = 84432.32$$

مقدار جابجایی طبقه آخر ساختمان:

$$D_{1D} = \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma_1 \frac{S_{D1} T_{1D}}{B_{1D}} \leq \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma_1 \frac{S_{DS} T_{1D}^2}{B_{1D}}$$

$$D_{1D} = \frac{9.8}{4\pi^2} \times \frac{1.33 \times 0.27 \times 2.55}{1.35} = 0.17 \text{ m}$$

مقدار جابجایی تسلیم:

$$D_Y = \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \left( \frac{\Omega_o C_d}{R} \right) \Gamma_1 C_{s1} T_1^2$$

$$D_Y = \frac{9.8}{4\pi^2} \times \frac{3 \times 2.5 \times 1.33 \times 0.0313 \times 1.97 \times 1.97}{3} = 0.1 \text{ m}$$

مقدار جدید شکل پذیری:

$$\mu_D = \frac{D_{1D}}{D_Y} = 1.7$$

با توجه به اختلاف کم شکل پذیری جدید با مقدار قبلی پاسخ همگرا شده است.

۵-۶-۴- پاسخ های مودهای باقیمانده:

$$\bar{W}_R = W - \bar{W}_1$$

$$\bar{W}_R = 3405198 - 2691281 = 713917 \text{ kg}$$

$$\Gamma_R = 1 - \Gamma_1 = 1 - 1.33 = -0.66$$

$$T_R = 0.4 T_1 = 0.4 \times 1.97 = 0.788$$

$$\phi_{iR} = \frac{1 - \Gamma_1 \phi_{i1}}{1 - \Gamma_1}$$

$$\phi_{iR} = \{1, 0.67, 0.212, -0.3, -0.919, -1.55, -2.14, -2.63\}$$

$$D_{RD} = \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma_R \frac{S_{D1} T_R}{B_R} \leq \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma_R \frac{S_{DS} T_R^2}{B_R}$$

$$D_{RD} = \frac{9.8}{4\pi^2} \times \frac{|-0.66| \times 0.27 \times 0.788}{1} = 0.035 \text{ m}$$

$$C_{SR} = \left( \frac{R}{C_d} \right) \frac{S_{DS}}{\Omega_o B_R}$$

$$C_{SR} = \frac{3 \times 0.85}{2.5 \times 3 \times 1} = 0.34$$

$$V_R = C_{SR} \bar{W}_R = 0.34 \times 713917 = 242731.8 \text{ kg}$$

۵-۶-۵- جمع SRSS پاسخهای مود اول و مودهای باقیمانده:

نیروی جانبی که به هر طبقه وارد میشود، از جمع SRSS نیروی جانبی ناشی از مود اول و مودهای باقیمانده بدست می آید .

$$F_{i1} = w_i \phi_{i1} \frac{\Gamma_1}{W_1} V_1$$

$$F_{iR} = w_i \phi_{iR} \frac{\Gamma_R}{W_R} V_R$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

برای توزیع نیروها با توجه به پریود سازه  $k = 2$  اختیار می گردد.

جدول ۴-۵ : ترکیب نیروهای مد اول و مد باقی مانده

FRi	Fi1	Total
104020.4	19341.82	105803.4
67584.26	17111.73	69716.88
21177.25	14900.68	25894.13
-30148.3	12470.95	32625.86
-85094.5	9016.696	85570.9
-144318	6284.364	144454.6
-198074	3804.247	198110.9
-220274	1517.396	220278.8

این نیروها را باید به صورت دستی به طبقات در sap وارد کنیم و سازه را طراحی می نماییم.

$$V = \sum \sqrt{F_R^2 + F_1^2} = 917655.9 \text{ kg}$$

۵-۷-کنترل فرض اولیه انجام شده در مورد تعداد ورقهای هر میراگر

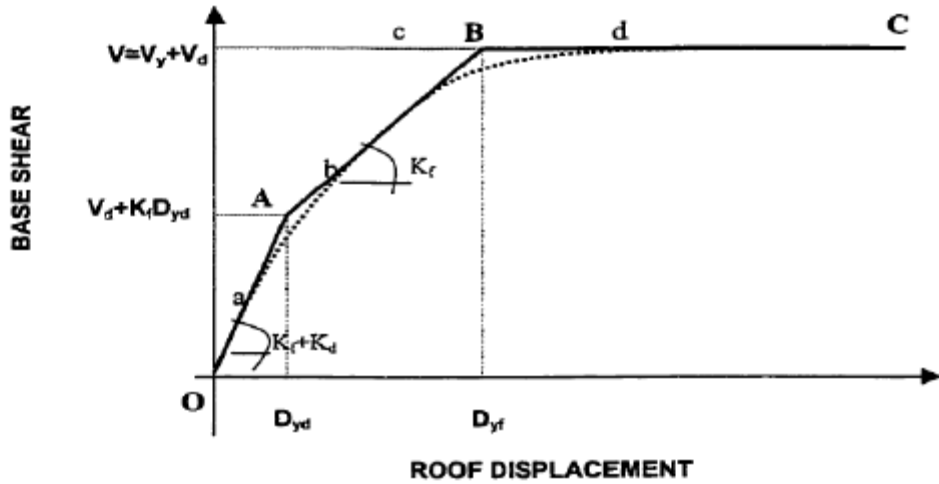


FIGURE C-6 Trilinear Representation of Pushover Curve of Building with Yielding Damping System

شکل ۴-۵: منحنی پوش اور سه خطی سازه با میراگر تسلیمی

$$V = 917655.9 \times \Omega_0 \times \frac{C_d}{R} = 917655.9 \times 3 \times \frac{2.5}{3} = 2294140 = V_y + V_d$$

در ساختمان بدون میراگر  $V_y$  برابر است با:

$$V_y = 766167.5 \text{ kg}$$

$$D_{yf} = \frac{g}{4\pi^2} \Gamma_1 C_{s1} \Omega_0 \frac{C_d}{R} T_1^2 = \frac{g}{4\pi^2} \times 1.33 \times \frac{V_y}{W_1} \times T_1^2$$

$$D_{yf} = \frac{9.8}{4\pi^2} \times 1.33 \times \frac{766167.5}{2691281} \times 1.97^2 = 36.5 \text{ cm}$$

پس از بدست آوردن نقطه ای ه اعضای خود ساختمان به تسلیم می رسند حال باید نقطه ای را که میراگر به تسلیم می رسد هم بدست آورد..

$$D_{yd} = \max \left( \frac{\Delta_y}{\varphi_r} \right)_j$$

در رابطه بالا  $\phi_r$  دریفت مودی و  $\Delta_y$  برابر است با جابجایی تسلیم ورق با:

$$\Delta_y = \frac{3}{2} \left( \frac{F_y}{E} \cdot \frac{h^2}{t} \right) = \frac{3}{2} \left( \frac{3500}{2 \times 10^6} \cdot \frac{30^2}{2} \right) = 1.18 \text{ cm}$$

به دلیل اینک جنس و ابعاد ورق های در تمام طبقات ثابت است بنابراین در کمترین دریفت مودی ماکزیمم  $D_{yd}$  رخ می دهد:

جدول ۵-۵: دریفت مودی

Story	Modal Disp.	Normalized Modal Disp.	Modal Drift
8	0.0826	1	0.077482
7	0.0762	0.922518	0.113801
6	0.0668	0.808717	0.123487
5	0.0566	0.68523	0.151332
4	0.0441	0.533898	0.154964
3	0.0313	0.378935	0.142857
2	0.0195	0.236077	0.124697
1	0.0092	0.11138	0.11138

$$T_1 = 1.98 \text{ sec}$$

$$\bar{W}_1 = 2647616 \text{ kg}$$

$$\Gamma_1 = 1.37$$

$$D_{yd} = \frac{0.0118}{0.077} = 15.32 \text{ cm}$$

$$V_d + K_f D_{yd} = \left( \frac{4\pi^2}{gT_1^2} \right) \left( \frac{D_{yd}}{\Gamma_1} \right) \bar{W}_1$$

$$V_d + K_f D_{yd} = \left( \frac{4\pi^2}{9.8 \times 1.98^2} \right) \left( \frac{0.1532}{1.37} \right) 2647616 = 304208.1 \text{ kg}$$

در نتیجه مقدار  $V_d$  برابر است با:

$$K_f = \frac{766167.5 - 304208.1}{0.365 - 0.1532} = 751804.5 \frac{kg}{m}$$

$$V_d = 304208.1 - 751804.5 \times 0.1532 = 159031.6 \text{ kg}$$

$$V_d < 0.25V_y \quad Ok$$

۵-۸- تعیین عملکرد سازه با میراگر تسلیمی تحت زلزله DBE:

در این قسمت سازه دارای میراگر اصطحکاکی را تحت رکورد زلزله El-Centro در شرایط بهره برداری DBE مورد بررسی قرار گرفت. ضریب مقیاسی که بایستی به رکورد این زلزله اعمال شود تا این رکورد را به سطح DBE انتقال دهد با توجه به صورت پروژ به برابر 0.67 می باشد.

از آنجایی که با اضافه کردن میراگر اصطحکاکی انتظار می رود سازه در محدوده خطی باقی بماند، لذا ضریب رفتار برابر واحد اختیار می گردد (R=1). با توجه به اینکه رکورد زلزله به شتاب گرانش زمین تقسیم شده است، و سازه دارای ضریب اهمیت I=1 است، مقدار ضریب مقیاس (Scale Factor) بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$Scale \ Factor = \frac{9.8 \times 0.67 \times 1}{1} = 6.566$$

۵-۸-۱- کنترل دریافت طبقات:

با توجه به بند 13A.7.2 و جدول 5-2-8 آیین نامه NEHRP 2000، مقدار دریافت مجاز برای سازه هایی که در *Siesmic group I* قرار دارند برابر 2 درصد ارتفاع طبقات است که باید در  $\frac{R}{C_d}$  ضرب شود. جداول ۵-۶ و ۵-۷ مقادیر دریافت های بدست آمده از تحلیل غیر خطی سازه تحت رکورد زلزله El-Centro را نمایش می دهد.

$$\frac{R \Delta_s}{C_d h} = 0.02$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 4.57 = 0.108 \text{ m}$$

$$\Delta_s = 1.2 \times 0.02 \times 3.65 = 0.084 \text{ m}$$

جدول ۵-۶: دریفت طبقات در جهت X سطح لرزه ای DBE

Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.01122	0.01018	0.01135	0.01142	0.01002	0.0073	0.0115	0.01117
Ey	2.4E-05	2.7E-05	2.9E-05	0.00003	0.00003	3E-05	2E-05	1.1E-05
UDCON1	3.2E-05	5.2E-05	5.8E-05	5.9E-05	5.3E-05	5E-05	4E-05	7E-06
UDCON2	0.00004	6.6E-05	7.1E-05	0.00007	0.00006	5E-05	4E-05	3E-06
UDCON3	0.0157	0.01422	0.01613	0.01607	0.0141	0.0103	0.0156	0.01566
UDCON4	0.01576	0.01432	0.01571	0.01597	0.01401	0.0102	0.0167	0.01566
UDCON5	6.3E-05	8.7E-05	9.5E-05	9.4E-05	8.5E-05	7E-05	6E-05	2.1E-05
UDCON6	6.4E-05	8.7E-05	9.3E-05	9.4E-05	8.8E-05	7E-05	6E-05	1.8E-05
UDCON7	0.01602	0.01452	0.01638	0.01637	0.01437	0.0105	0.0161	0.01596
UDCON8	0.01606	0.01459	0.01609	0.0163	0.0143	0.0104	0.0169	0.01597
UDCON9	5.4E-05	7.2E-05	7.9E-05	8.1E-05	7.5E-05	6E-05	6E-05	2.3E-05
UDCON10	5.5E-05	7.2E-05	7.8E-05	0.00008	7.8E-05	7E-05	6E-05	2.2E-05
Max	0.01606	0.01459	0.01638	0.01637	0.01437	0.0105	0.0169	0.01597

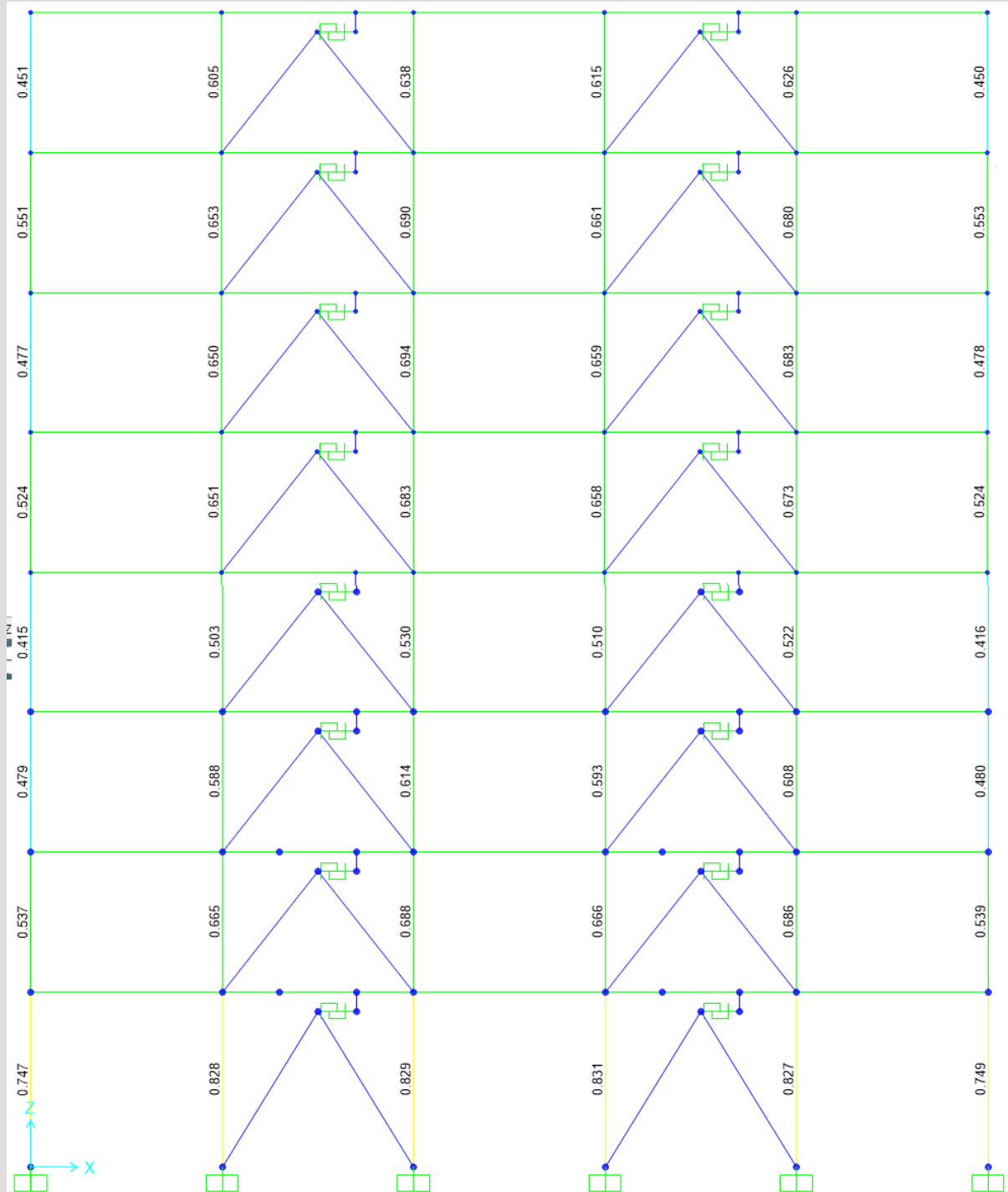
جدول ۵-۷: دریفت طبقات در جهت Y سطح لرزه ای DBE

Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	2E-05	1.8E-05	1.7E-05	1.6E-05	1E-05	1.2E-05	1E-05	9E-06
Ey	0.01	0.01003	0.01157	0.01169	0.0102	0.00792	0.0114	0.0134
UDCON1	3E-05	4.7E-05	5.2E-05	5.2E-05	5E-05	4.1E-05	4E-05	2E-05
UDCON2	4E-05	0.00007	7.7E-05	7.4E-05	7E-05	5.8E-05	5E-05	3E-05
UDCON3	6E-05	7.9E-05	8.1E-05	7.6E-05	7E-05	5.8E-05	5E-05	3E-05
UDCON4	6E-05	7.9E-05	8.1E-05	7.7E-05	7E-05	6.1E-05	6E-05	3E-05
UDCON5	0.014	0.01401	0.01646	0.01646	0.0144	0.01115	0.0154	0.0188
UDCON6	0.0141	0.01412	0.016	0.01635	0.0143	0.01106	0.0166	0.0188
UDCON7	4E-05	5.7E-05	5.7E-05	5.5E-05	5E-05	4.1E-05	4E-05	2E-05
UDCON8	4E-05	5.6E-05	5.9E-05	5.5E-05	5E-05	4.5E-05	4E-05	3E-05
UDCON9	0.0143	0.01431	0.01668	0.01676	0.0147	0.01135	0.016	0.0192
UDCON10	0.0143	0.01437	0.01642	0.01669	0.0146	0.0113	0.0167	0.0192
Max	0.0143	0.01437	0.01668	0.01676	0.0147	0.01135	0.0167	0.0192

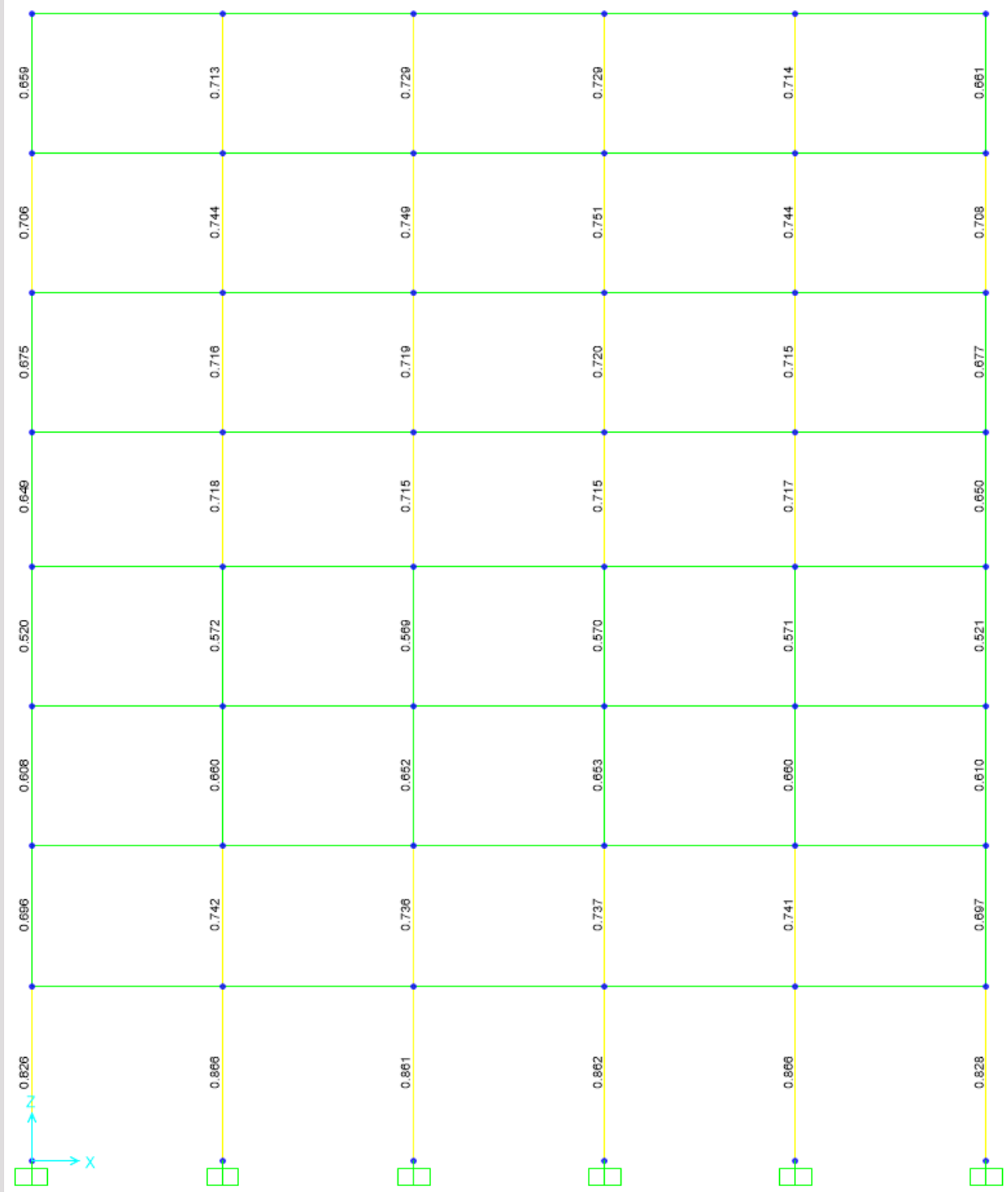
همانطور که ملاحظه می شود مقادیر دریفت طبقات کنترل شده می باشند.



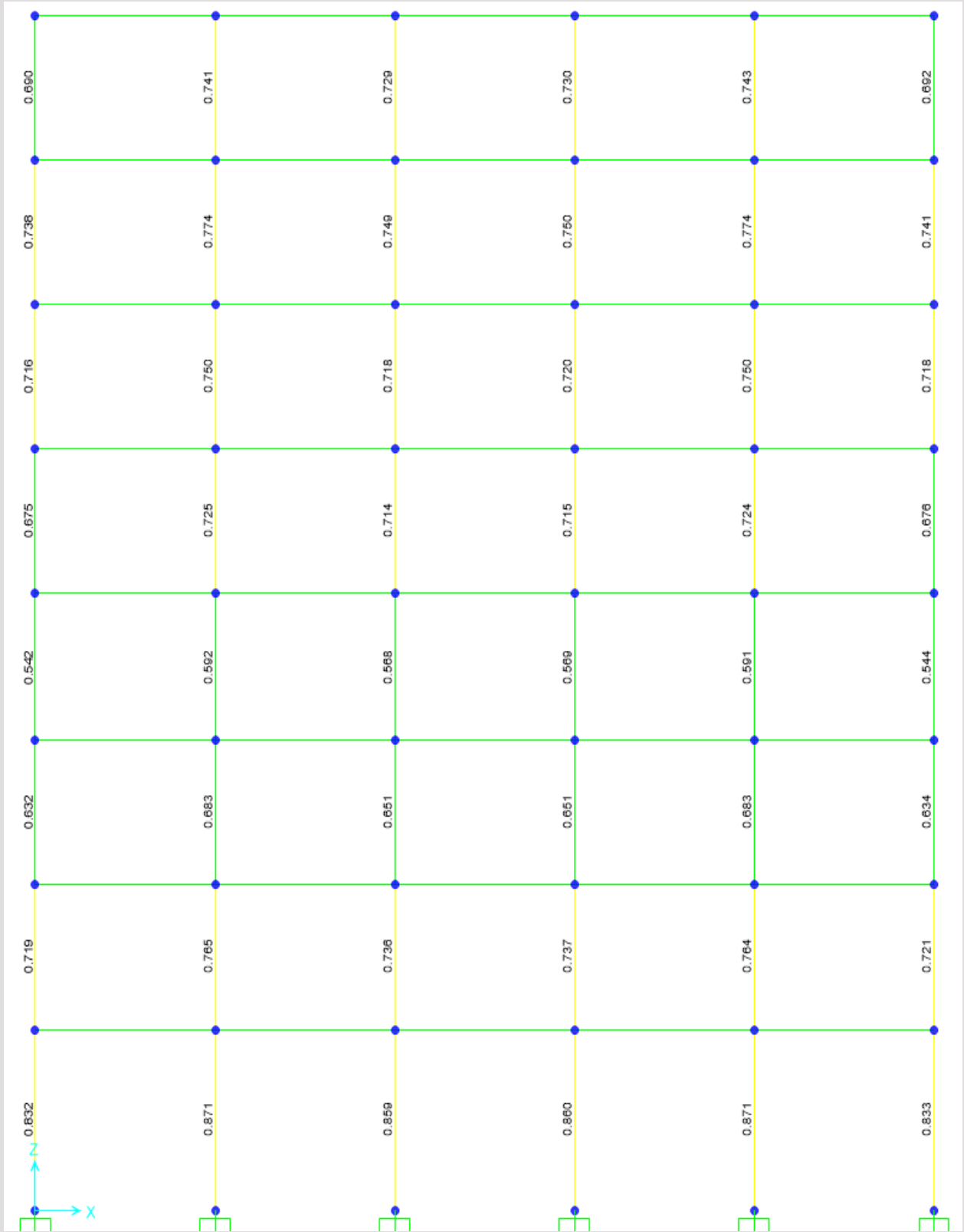
۵-۸-۲-نسبت تنش ستون ها :



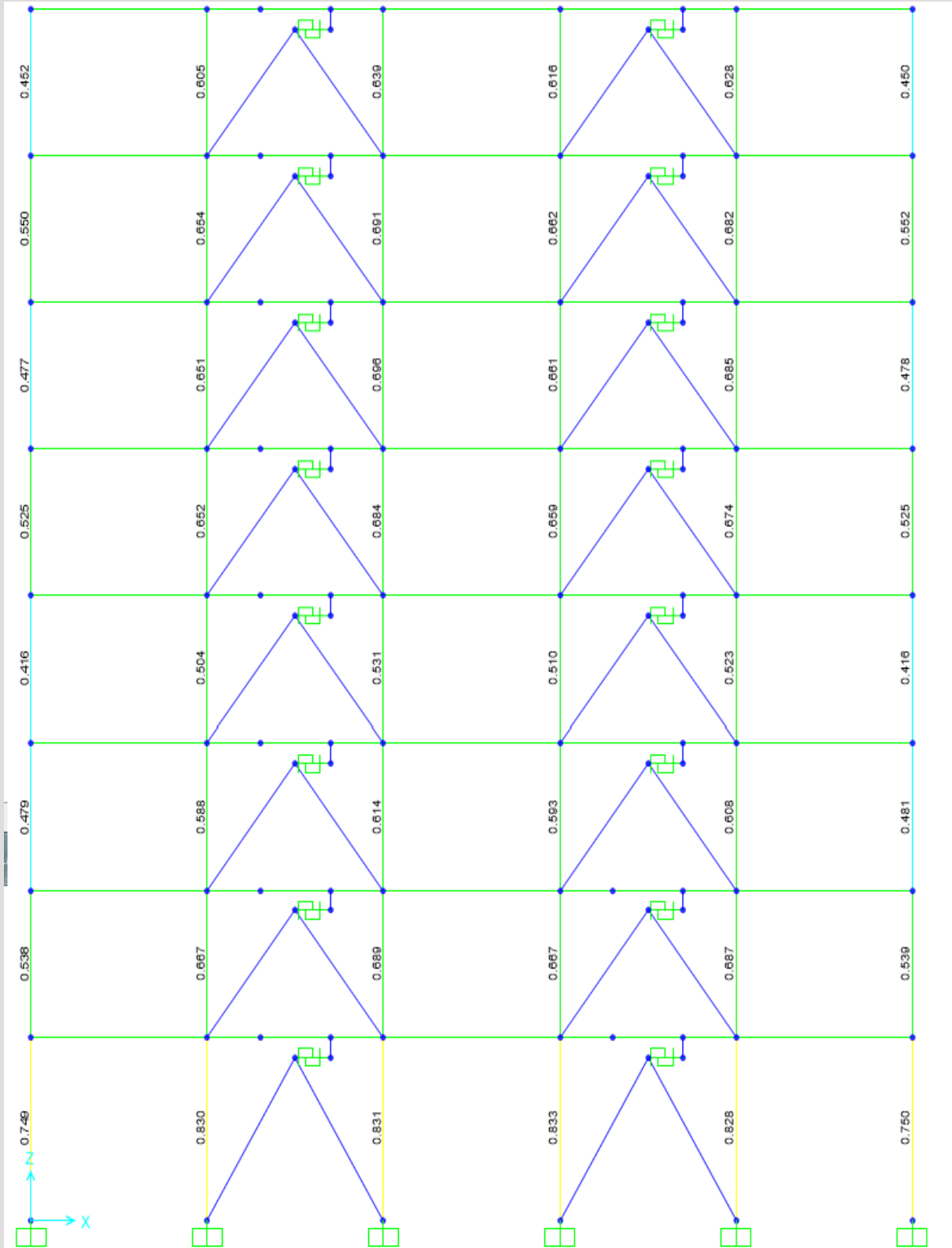
شکل ۵-۵ : نسبت تنش قاب ۱



شکل ۵-۶: نسبت تنش قاب ۲

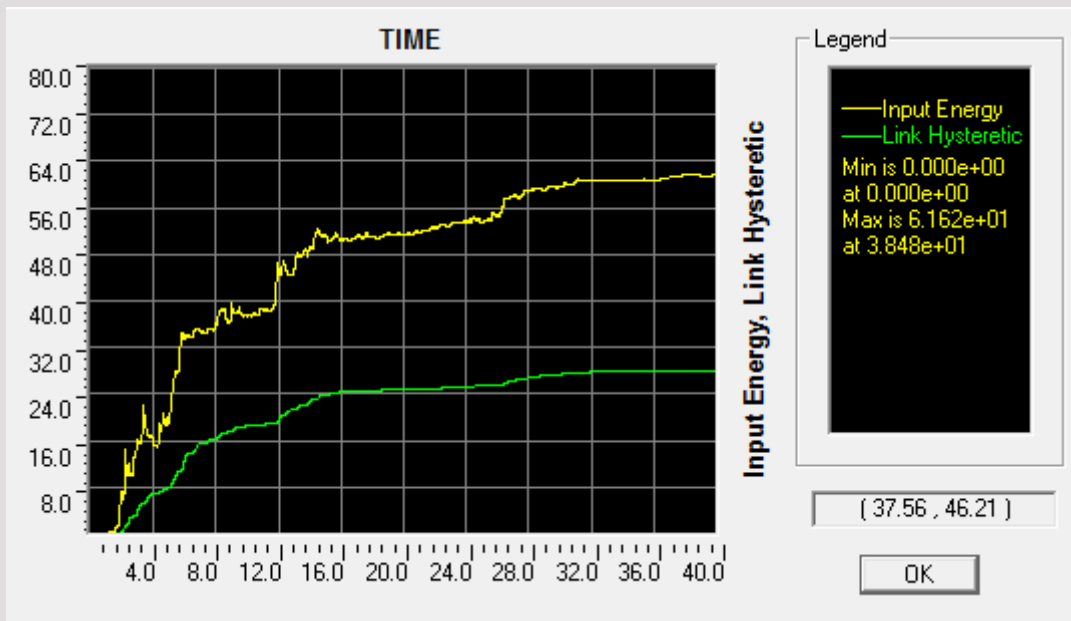


شکل ۵-۷ : نسبت تنش قاب ۳



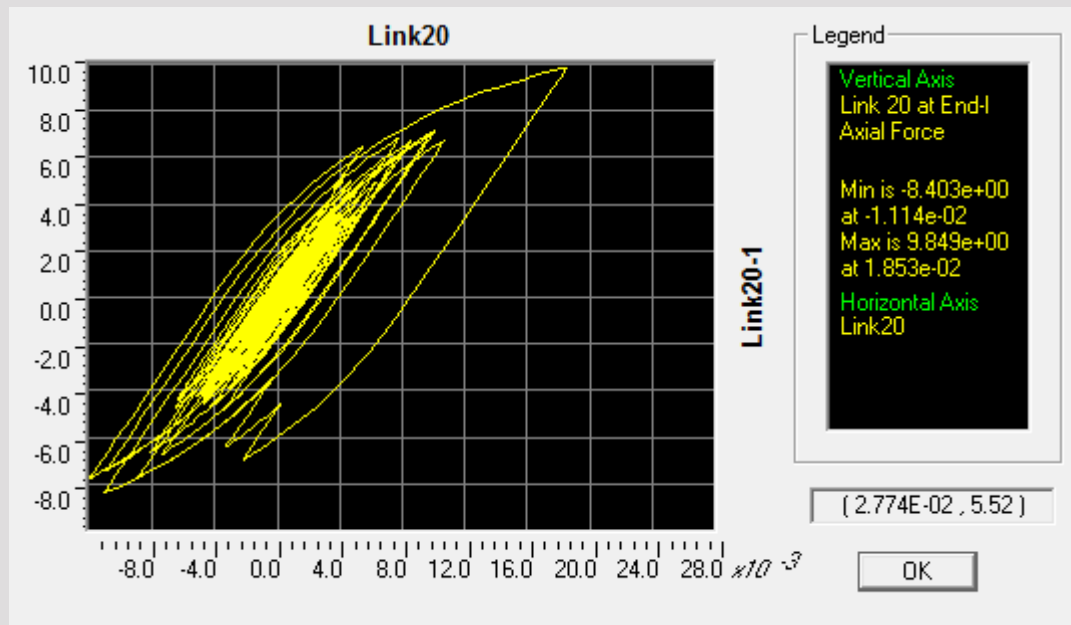
شکل ۵-۸: نسبت تنش قاب ۴

۵-۸-۳- انرژی ورودی به سازه و انرژی تلف شده توسط میراگر تحت زلزله DBE



شکل ۵-۹: انرژی ورودی، انرژی تلف شده توسط میراگرها

۵-۸-۴- نمودار نیرو-جابجایی میراگر تحت زلزله DBE



شکل ۵-۱۰: منحنی هیسترتیک میراگر اصطحاکاکی

مراجع

[1] NEHRP 2000 " Recommendation Provisions for Seismic Regulations for New Building and other Structures" Part I, Provisions (FEMA 368)

[2] O. M. Ramirez, "Development and Evaluation of Simplified Procedures for the Analysis and Design of Buildings with Passive Energy Dissipation Systems." vol. Ph.D. dissertation: State University of New York at Buffalo.2000

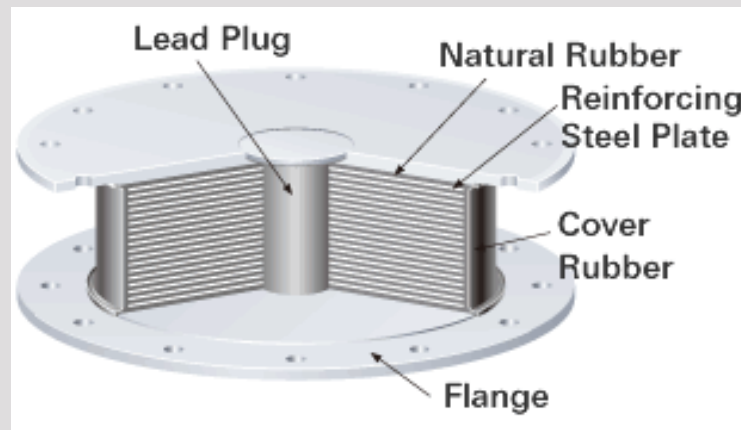
## فصل ششم

### طراحی سازه به همراه جداگر لرزه ای LRB

#### ۱-۶- جداگر لرزه ای (LRB) Lead Rubber Bearing

برای بالا بردن میرایی موثر جداسازهای الاستومری که از لاستیک با میرایی اندک ساخته می شوند از یک یا چند هسته سربی در مرکز و گوشه های آنها استفاده می شود، هسته سربی که با فشار یا تزریق در داخل سوراخ تکیه گاه قرار داده شده است تحت اثر برش های ناشی از زمین لرزه در تنشهای پایین تقریباً ۸ الی ۱۰ مگا پاسکال در دمای معمولی جاری شده و تغییر شکل فیزیکی می دهد در این حالت سرب به صورت یک ماده الاستیک - پلاستیک و یا مانند نورد گرم متبلور شده عمل می کند به این ترتیب تحت سیکلهای متوالی با تشکیل حلقه های هیستریزس رفتار دو خطی از خود نشان می دهد.

میله سربی به همراه لاستیک سختی اولیه را برای بارهای سرویس بوجود آورده و انرژی را در اثر بارهای جانبی مستهلک میکند در اکثر موارد سختی ثانویه یا پلاستیک از یک دهم الی یک ششم سختی اولیه یا الاستیک برخوردار است.



شکل ۱-۶ : جداگر LRB

## ۶-۲- طراحی ساختمان دارای جداگر لرزه ای LRB

در ساختمان پروژه ی مورد نظر به علت داشتن ۲۴ ستون از ۲۴ عدد جداگر LRB یکسان در زیر هر یک از ستونها استفاده می شود.

ساختمان دارای جداگر با استفاده از فصل 13 آئین نامه NEHRP 2000 طراحی شده است. با توجه به ۸ طبقه بودن ساختمان روش طراحی انتخاب شده روش دینامیکی است. در این طراحی از روش ELF برای یک طراحی اولیه استفاده میشود.

### ۶-۱-۱- محاسبه جابجایی طراحی:

ابتدا باید یک پیروود و میرایی مؤثر برای ساختمان دارای جداگر در نظر بگیریم. در این طراحی پیروود مؤثر را ۳ برابر پیروود بدست آمده از رابطه ی آیین نامه و برابر ۳ ثانیه و میرایی مؤثر را 15 % در نظر میگیریم در نتیجه با استفاده از رابطه (13.3.3.1) آیین نامه :

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

$$S_{M1} = F_V \times S_1 = 0.8 \times 0.5 = 0.4$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.27$$



Effective Damping, $\beta$ (percentage of critical)	$B_{v+l}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$ )
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
$\geq 100$	4.0

$$\beta = 15\% \rightarrow \text{با درون یابی} \rightarrow B_D = 1.35$$

$$D_D = \frac{9.8}{4\pi^2} \times \frac{0.27 \times 3}{1.35} = 15 \text{ cm}$$

۶-۱-۲- محاسبه جابجایی ماکزیمم

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{S_{M1} \times T_M}{B_M}$$

$$D_M = \frac{9.8}{4\pi^2} \times \frac{0.4 \times 3}{1.35} = 22 \text{ cm}$$

۶-۱-۳- محاسبه جابجایی کل:

طبق آئین نامه برای محاسبه جابجایی کل هر یک از جداگرها باید اثر پیچش ذاتی و تصادفی در نظر گرفته شود. با توجه به پلان متقارن ساختمان و همینطور توزیع یکنواخت جداگرها در زیر هر یک از ستونها، مرکز جرم ساختمان و مرکز سختی جداگرها روی هم می‌افتند و فقط باید اثر پیچش تصادفی را که آیین نامه آن را مقدار ۰.۵٪ تعیین کرده در نظر گرفته شود.

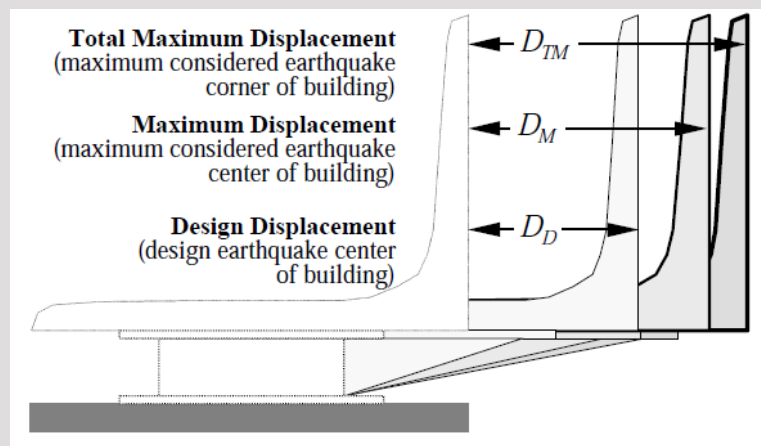
$$D_{TD} = D_D \left[ 1 + y \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + y \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

$$D_{TD} = 15 \times \left[ 1 + 1250 \left( \frac{12 \times 0.05 \times 2500}{2500^2 + 1500^2} \right) \right] = 15 \times 1.22 = 18.3 \text{ cm}$$

$$D_{TM} = 22 \times 1.22 = 26 \text{ cm}$$

طبق آئین نامه میتوان مقادیر محاسبه شده در بالا نباید از ۱.۱ برابر  $D_D$  و  $D_M$  کمتر باشد که در بالا ۱.۲۲ برابر می باشد.



شکل ۶-۲: جابجایی طراحی، ماکزیمم و کل

۶-۱-۴- محاسبه سختی مؤثر مینیمم و ماکزیمم

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{g} \times \frac{W}{T_D^2}$$

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{9.8} \times \frac{3405198}{3^2} = 1524080 \frac{kg}{m}$$

و سپس سختی هر جداگر برابر است با:

$$k_{Dmin} = \frac{1524080}{24} = 63503.35 \frac{kg}{m}$$

در محاسبه سختی مؤثر جداگر از آزمایش نمونه، مقدار آن از یک سیکل به سیکل دیگر تغییر میکند و بر همین اساس مفهوم سختی مؤثر ماکزیمم و مینیمم بوجود آمده است. طبق آئین نامه، در طی سه سیکل در جابجایی طراحی، مقدار سختی مؤثر ماکزیمم نباید بیشتر از 30% بزرگتر از مقدار سختی مؤثر مینیمم باشد. بر همین اساس مقدار سختی مؤثر ماکزیمم ۱,۳ برابر سختی مؤثر مینیمم در نظر گرفته میشود.

$$K_{Dmax} = 1.3 K_{Dmin} = 1981305 \frac{kg}{m}$$

۶-۱-۵- محاسبه نیروی جانبی لازم برای طراحی سیستم جداگر لرزه ای و اجزاء زیر آن

$$V_b = K_{Dmax} \times D_D = 1981305 \times 15 = 297195.7 \text{ kg}$$

۶-۱-۶- محاسبه نیروی جانبی لازم برای کنترل پایداری و ظرفیت نهایی سیستم جداگر

$$V_{MCE} = K_{Dmax} \times D_M = 1981305 \times 22 = 435887.02 \text{ kg}$$

۶-۱-۷- محاسبه نیروی جانبی لازم برای طراحی ساختمان بالای سیستم جداگر

$$V_s = \frac{V_b}{R_I}$$

$$R_t = \frac{3}{8} R = \frac{3}{8} \times 3 = 1.125 < 2 \quad Ok$$

$$V_s = \frac{297195.7}{1.125} = 264173.95 \text{ kg}$$

طبق بند 13.3.4.3 این نیرو نباید از مقادیر زیر کمتر در نظر گرفته شود:

- نیروی جانبی لازم برای طراحی ساختمان بدون جداگر با وزن و پیرو برابر با ساختمان دارای جداگر

$$S_{MS} = F_a S_S = 0.8 \times 1.6 = 1.28$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0.85$$

$$C_s = \frac{S_{DS} \times I}{R} = \frac{0.85 \times 1}{3} = 0.28$$

طبق آئین نامه لازم نیست که این عدد از مقدار بدست آمده در روابط زیر بیشتر باشد.

$$T_a = C_u C_r h_n^x = 0.0466 \times 30.12^{0.9} = 0.9985$$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times I}{R \times T_a} = \frac{0.27 \times 1}{3 \times 0.9985} = 0.09$$

$$V_s = 3405198 \times 0.09 = 306467.8 \text{ kg}$$

- نیروی باد طراحی:

فرض می شود که در این طراحی بار زلزله کنترل کننده نیست.

- نیروی جانبی لازم برای بطور کامل فعال کردن جداگر:

$$V_a = 1.5 K_e D_Y$$

۶-۱-۸- توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان بالای سیستم جداگر و طراحی ساختمان

براساس رابطه 13.3.5 آیین نامه توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان به صورت جدول ۶-۱ خواهد بود.

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V_s$$

جدول ۶-۱: توزیع نیروهای بدست آمده روش ELF در ارتفاع

Story	$W_i$	$h_i$	$W_i h_i$	$F_i$
1	463549.2	4.57	2118420	11317.08
2	446047.9	8.22	3666514	19587.35
3	443816.3	11.87	5268100	28143.38
4	441847.3	15.52	6857470	36634.16
5	412546.2	19.17	7908510	42249.06
6	412546.2	22.82	9414304	50293.35
7	412546.2	26.47	10920098	56337.64
8	372298.7	30.12	11213636	58905.79
sum				306467.8 kg

ابعاد تیر و ستون‌های ساختمان بالای جداگر تحت نیروهای بدست آمده در بالا و کنترل دررفت صورت می‌گیرد.

## ۲-۶- طراحی گام به گام جداگر Lead Rubber Bearing (LRB)

### ۱-۲-۶- انتخاب خصوصیات ماده مورد نظر

جدول نمونه از مشخصات یک نمونه ی لاستیک که در سال 1990 توسط شرکت بریجستون منتشر شده است جدول، رابطه ی بین سفتی الاستومر و سایر مشخصات آن را در موارد آزمایش شده نشان می دهد.

جدول ۲-۶: خصوصیات انواع لاستیک

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

از لاستیک IRHD-50 در این پروژه استفاده می شود که دارای خصوصیات زیر می باشد:

Young's Modulus $E$ (N/cm <sup>2</sup> )	220
Shear Modulus $G$ (N/cm <sup>2</sup> )	64
Modified Factor $k$	0.73

### ۲-۲-۶- محاسبه ارتفاع کل لایه های لاستیک

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

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{max}} = \frac{15}{0.5} = 30 \text{ cm}$$

۳-۲-۶- طراحی هسته سربی (Lead Plug)

هسته ی سربی برای تامین سختی اولیه ی مورد نیاز در تکیه گاه و از بین بردن انرژی ارتعاشی در زلزله های نسبتا شدید و شدید از طریق فرایند تسلیم سرب طراحی می شود . در طراحی هسته ی سربی با در نظر گرفتن سختی پیش از تسلیم و سختی پس از تسلیم و رفتار دو خطی نیرو - تغییر مکان ، بین مقاومت مشخصه  $Q_d$  با میزان انرژی مستهلک شده  $W_d$  یا نسبت میرایی موثر  $\xi_{eff}$  رابطه ی زیر برقرار می گردد:

انرژی تلف شده در هر سیکل برابر است با:

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

$$W_D = 2\pi \times 63503.35 \times 0.15^2 \times 0.15 = 1346.6 \text{ kg.m}$$

مساحت حلقه ی هیسترتیک برابر است با:

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

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

$$Q_d \cong \frac{W_D}{4D} = \frac{1346.6}{4 \times 0.15} = 2244.33 \text{ kg}$$

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} = \frac{2244.33}{882000} = 0.255E - 2 = 25.5 \text{ cm}^2$$

$f_{py}$  مقاومت تسلیم برشی هسته ی سربی است که برابر 8.82 MPa در نظر گرفته می شود.

بنابراین قطر هسته را برابر با 6 cm در نظر می گیریم.

$$A_p = 28.27 \text{ cm}^2$$

$$Q_d = 0.002827 \times 882000 = 2493.72 \text{ kg}$$

۴-۲-۶- محاسبه مساحت A هر لایه لاستیک

۱-۴-۲-۶- محاسبه ضریب شکل S

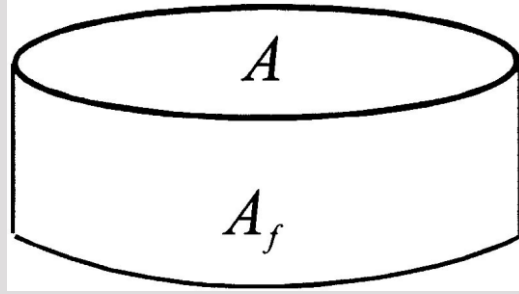
$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c \cdot A}{t_r}}{\frac{G \cdot A}{t_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E \cdot (1 + 2kS^2)}{G} \geq 400$$

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

$$S = \frac{A}{A_f} \geq 8.9 \quad \& \quad S > 10 \quad \rightarrow \quad S = 15$$

مدول فشاری قائم لاستیک و فولاد برابر است با:

$$E_c = E(1 + 2k S^2) = 22 \times (1 + 2 \times 0.73 \times 15^2) = 7249 \frac{kg}{cm^2}$$



۲-۴-۲-۶- محاسبه سطح مقطع مؤثر  $A_0$  بر اساس تنش محوری مجاز

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

با مدلسازی ساختمان و اعمال بارگذاری مرده و زنده:

$$P_{DL+LL} = 208740 \text{ kg}$$

$$A_0 = \frac{208740}{80} = 2609.25 \text{ cm}^2$$

۳-۴-۲-۶- محاسبه سطح مقطع مؤثر  $A_1$  از کرنش برشی ناشی از نیروی قائم (بارگذاری مرده و زنده):

$$\gamma_c \Big|_{DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

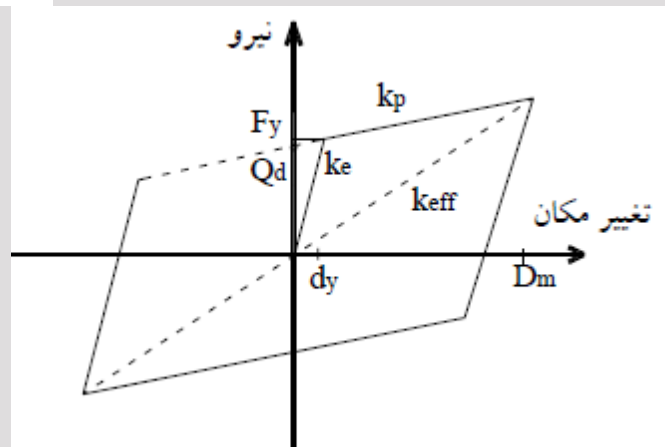
$$6 \times 15 \times \frac{208740}{7249 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \quad \rightarrow \quad A_1 = 1555 \text{ cm}^2$$



۴-۴-۲-۶- محاسبه سختی الاستیک تکیه گاه  $K_r$

سختی پس از تسلیم تکیه گاه معمولاً بیشتر از سختی تکیه گاه بدون هسته ی سربی است . این سختی به شکل زیر معرفی می شود. به همین دلیل ضریب داخل پرانتز همواره بزرگتر از یک می باشد.

$$K_d = K_r \left( 1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right)$$



شکل ۳-۶: رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته ی سربی

سختی هسته ی سربی:

$$K_{pd} = \frac{Q_d}{D} = \frac{2493.72}{0.15} = 16624.8 \frac{kg}{m}$$

$$K_d = K_{eff} - K_{pd} = 63503.35 - 16624.8 = 46878.53 \frac{kg}{m}$$

$$46878.53 = K_r \left( 1 + 12 \times \frac{28.27}{2609.25} \right)$$

$$K_r = 41484.9 \frac{kg}{m}$$

۴-۴-۲-۶-۵- محاسبه سطح مقطع مینیمم  $A_{sf}$  از گسیختگی برشی جداگر :

$$A_{sf} = \frac{K_r \cdot t_r}{G} = \frac{41484.9 \times 0.3}{64000} = 1945 \text{ cm}^2$$

$$d = 49.7 \text{ cm}$$

حال سطح مقطع موثر  $A_2$  را با عنوان سطح مقطع کاهش یافته بدست می آوریم:

$$A_{re} = \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta) \text{ for a circular bearing}$$

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

$$\beta = 2.53$$

$$A_{re} = 1209.7 \text{ cm}^2$$

۶-۲-۴-۶- محاسبه مساحت نهایی:

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(2609.25, 1555, 1209.7)$$

$$A = 2609.25 \text{ cm}^2$$

$$A_{total} = A_{rub} + A_{total}$$

$$A_{total} = 2609.25 + 28.27 = 2637.52 \text{ cm}^2$$

قطر انتخابی برابر است با:

$$d = 60 \text{ cm}$$

$$A = 2827 \text{ cm}^2$$

حال مقادیر زیر را آپدیت می کنیم:

$$\beta = 2.63$$

$$A_{re} = 1937 \text{ cm}^2$$

۶-۲-۵- محاسبه ضخامت  $t$  هر لایه لاستیک

$$S = \frac{d}{4t} \rightarrow t = \frac{60}{4 \times 15} = 1 \text{ cm}$$

۶-۲-۶- محاسبه تعداد کل لایه های لاستیک

$$N = \frac{t_r}{t} = \frac{30}{1} = 30$$

۶-۲-۷- محاسبه ضخامت ورق های فولادی

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

$$F_S = 0.6F_y \rightarrow \text{For A36} \rightarrow F_S = 0.6 \times 2800 = 1680 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$t_s > \frac{2 \times (1 + 1) \times 208740}{1937 \times 1680} = 2.56 \text{ mm}$$

$$t_s = 3 \text{ mm}$$

ارتفاع کلی جداگر با در نظر گرفتن دو پلیت ۲,۵ سانتی در بالا و پایین برابر است با:

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

$$h = 2 \times 2.5 + (30 - 1) \times 0.3 + 30$$

$$h = 43.7 \text{ cm}$$

۶-۲-۸- کنترل کرنش برشی

$$\gamma_{c,DL+LL} = 6S \cdot \epsilon_c = 6S \cdot \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

$$\gamma_c = 6 \times 15 \times \frac{208740}{7249 \times 2827} = 0.92 \leq \frac{5}{3} = 1.67 \quad Ok$$

۶-۲-۹- کنترل پایداری جداگر

کمانش جداساز در مواردی مانند جداسازی سازه های نسبتا سبک اهمیت بی ش تری می یابد. متوسط تنش ایجاد شده در جداساز نباید از تنش بحرانی تجاوز کند:

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

L برای جداگرهای با مقطع دایره ای برابر قطر دایره می باشد.

$$\frac{P}{2827} \leq \frac{64 \times 15 \times 60}{2.5 \times 30} = 768$$

۶-۲-۱۰- کنترل نسبت ابعاد هسته ی سربی

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

$H_p$  برابر با ارتفاع موثر هسته و  $d_p$  قطر هسته می باشد.

$$1.5 \leq \frac{30}{8} = 3.75 \leq 5 \quad Ok$$

۶-۲-۱۱- کنترل کرنش برشی برای بار زلزله

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

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

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

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r}$$

$$\theta = \frac{12De}{b^2 + d^2}$$

$\gamma_{sc}$	= shear strain under compression, same as in Equation 17.18, except that $P_{DL+LL}$ is replaced by $P_{DL+LL+EQ}$
$P_{DL+LL+EQ}$	= combination of dead load, live load, and earthquake load
$\gamma_{eq}$	= shear strain under earthquake
$\gamma_{sr}$	= shear strain under rotation
$\theta$	= rotation angle of the bearing induced by earthquake
$e$	= actual eccentricity + 5% of accidental eccentricity
$b, d$	= dimensions of the structure with rectangular plan

$$\gamma_{eq} = \frac{15}{30} = 0.5$$

$$\theta = \frac{12 \times 15 \times 0.05 \times 2500}{2500^2 + 1500^2} = 2.64E - 3$$

$$\gamma_{sr} = \frac{60 \times 60 \times 2.64E - 3}{2 \times 1 \times 30} = 0.1584$$

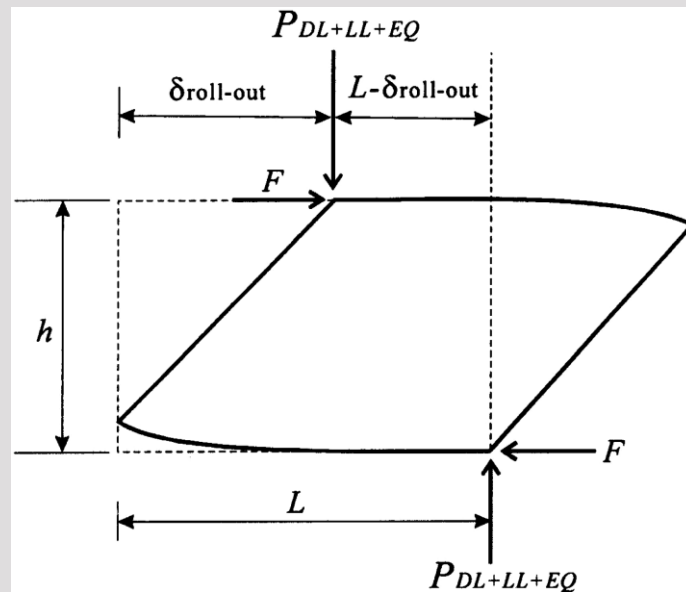
$$P_{DL+LL+EQ_{MCE}} = 259416 \text{ kg}$$

$$\gamma_{sc} = 6 \times 0.15 \times \frac{250416}{7249 \times 0.2827} = 1.1$$

$$0.5 + 0.1584 + 1.1 = 1.67 \leq 0.75 \times 5 = 3.75 \quad \text{Ok}$$

### ۶-۲-۱۲- کنترل Rollout جداگر

جابجایی جانبی جداگر نیز باید کنترل گردد تا از وقوع ناپایداری Rollout در آن جلوگیری شود. در واقع جداگر باید در حالت زیر پایدار باشد.



شکل ۶-۴: حالت حدی پایداری جداگر در اثر زلزله

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L}{P_{DL+LL+EQ} + K_d \cdot h}$$

$$D_M = 22 \text{ cm} < \delta_{roll-out} = \frac{250416 \times 0.6}{250416 + 46878.53 \times 0.437} = 55 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$

۳-۶- مدلسازی جداگر در Sap2000

برای مدلسازی جداگر از لینک Rubber isolator استفاده شده است. برای مدلسازی خطی جداگر باید پارامترهای زیر را به نرم افزار بدهیم:

$$K_{eff} = 63503.35 \frac{kg}{m}$$

$$C_{eff} = \frac{4\pi}{T_D g} W \beta = \frac{4\pi}{3 \times 9.81} \times W \times 0.15 = 218092.3 \text{ kg. sec/m}$$

$$Naeim \& Mayes \rightarrow K_1 \approx 10 K_d$$

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{2493.72}{10 \times 46878.53 - 46878.53} = 0.6 \text{ cm}$$

$$F_y = Q + K_2 \times D_y = 2493.72 + 46878.53 \times 0.006 = 2770 \text{ kg}$$

**Link/Support Property Data**

Link/Support Type: Rubber Isolator

Property Name: LRB

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0. Rotational Inertia 1: 0.

Weight: 0. Rotational Inertia 2: 0.

Rotational Inertia 3: 0.

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input checked="" type="checkbox"/> R1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> R2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> R3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters

Advanced...

OK

Cancel

Fix All

Clear All

شکل ۶-۵- الف: تعریف خصوصیات جداگر در نرم افزار Sap2000

Link/Support Directional Properties
✕

**Identification**

Property Name	<input type="text" value="LRB"/>
Direction	<input type="text" value="U2"/>
Type	<input type="text" value="Rubber Isolator"/>
NonLinear	<input type="text" value="Yes"/>

**Properties Used For Linear Analysis Cases**

Effective Stiffness	<input type="text" value="63.5"/>
Effective Damping	<input type="text" value="218.1"/>

**Shear Deformation Location**

Distance from End-J	<input type="text" value="0."/>
---------------------	---------------------------------

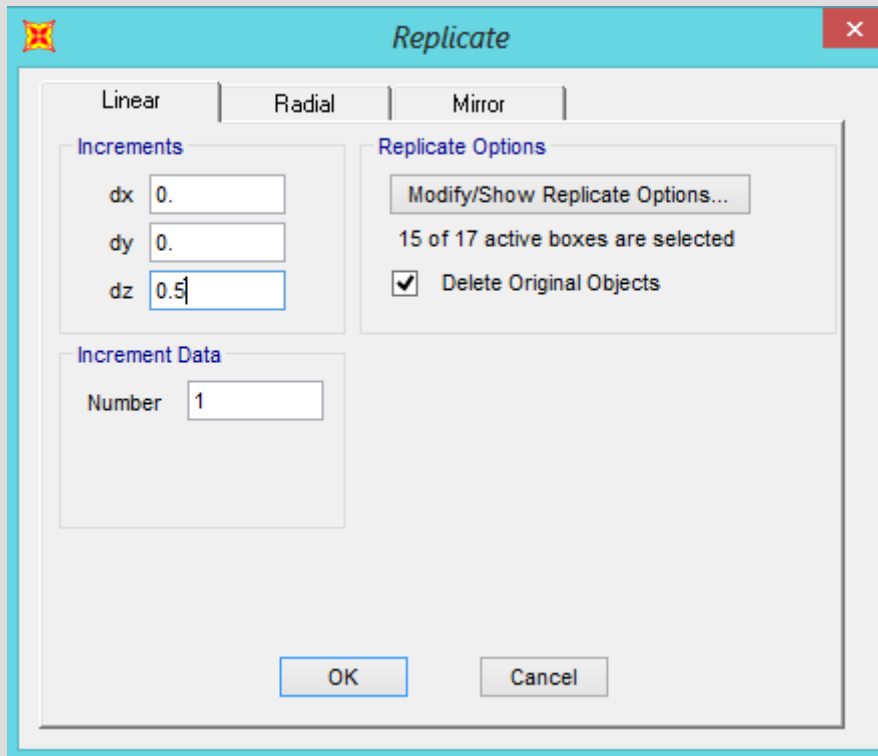
**Properties Used For Nonlinear Analysis Cases**

Stiffness	<input type="text" value="468."/>
Yield Strength	<input type="text" value="2.77"/>
Post Yield Stiffness Ratio	<input type="text" value="0.1"/>

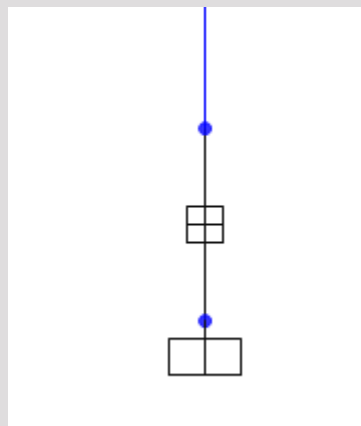
شکل ۵-۶ ب : تعریف خصوصیات جداگر در نرم افزار Sap2000



برای مدلسازی ابتدا کل سازه را انتخاب کرده و سپس با فشردن Ctrl+R در پنجره باز شده مطابق با شکل زیر مقداری در dz وارد نموده و سپس Ok نمایید.

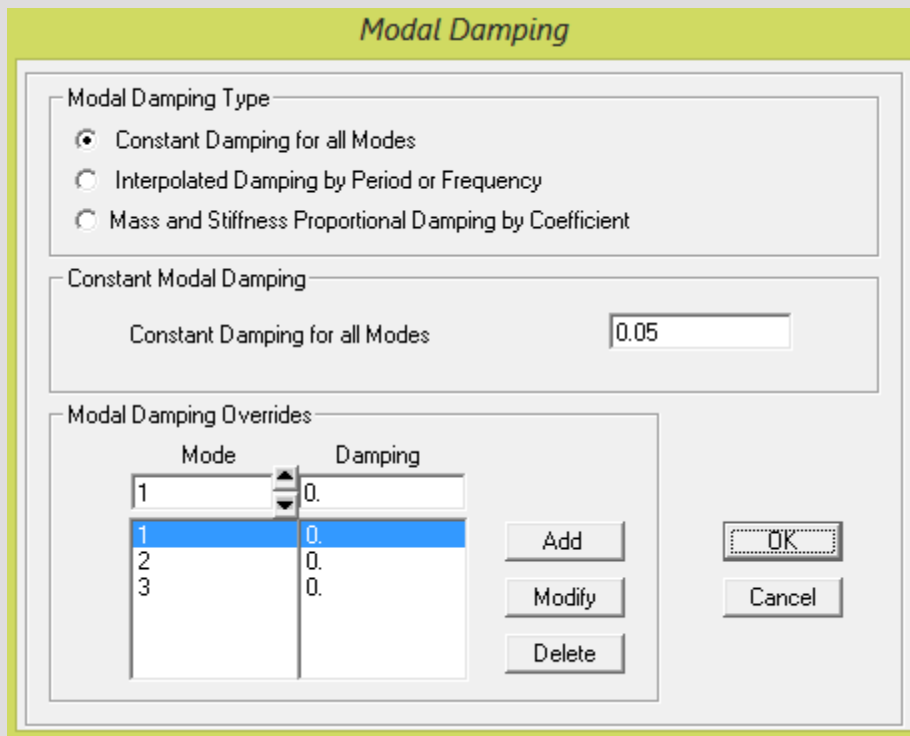


در زیر گره انتهایی ستون‌های طبقه اول در حد فاصل ایجاد شده تا Base لینک جداگر را رسم نمایید.



شکل ۶-۶: مدل هندسی جداگر در نرم افزار Sap2000

نکته مهم در آنالیز Modal Nonlinear Dynamic Analysis این است که با توجه به مثال‌های خود نرم افزار چون مد های اول تا سوم مربوط به جداگر است باید مقدار میرایی این مد ها برابر صفر قرار داده شود.



شکل ۶-۷: میرایی صفر مد های اول تا سوم

۴-۶- تعیین عملکرد سازه با جداگر تحت زلزله DBE

در این قسمت سازه دارای جداگر را تحت رکورد زلزله El-Centro در شرایط بهره برداری DBE مورد بررسی قرار گرفت. ضریب مقیاسی که بایستی به رکورد این زلزله اعمال شود تا این رکورد را به سطح DBE انتقال دهد با توجه به صورت پروژه برابر 0.67 می باشد.

از آنجایی که با اضافه کردن جداگر انتظار می رود سازه در محدوده خطی باقی بماند، لذا ضریب رفتار برابر واحد اختیار می گردد ( $R=1$ ). با توجه به اینکه رکورد زلزله به شتاب گرانش زمین تقسیم شده است، و سازه دارای ضریب اهمیت  $I=1$  است، مقدار ضریب مقیاس (Scale Factor) بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$Scale\ Factor = \frac{9.8 \times 0.67 \times 1}{1} = 6.566$$

۴-۶-۱- کنترل دریفت طبقات:

با توجه به بند 13-3-6 و جدول 5-2-8 آیین نامه NEHRP 2000، مقدار دریفت مجاز برای سازه های جداسازی شده برابر  $0.015 h$  می باشد که  $h$  ارتفاع طبقات است. مقادیر دریفت محاسبه شده باید در  $R = 1.125$  ضرب شود.

$$R \frac{\Delta_s}{h} = 0.015$$

$$\Delta_s = 0.9 \times 0.015 \times 4.57 = 0.06\ m$$

$$\Delta_s = 0.9 \times 0.015 \times 3.65 = 0.048\ m$$

جدول ۳-۶: دریفت طبقات در جهت X سطح لرزه ای DBE

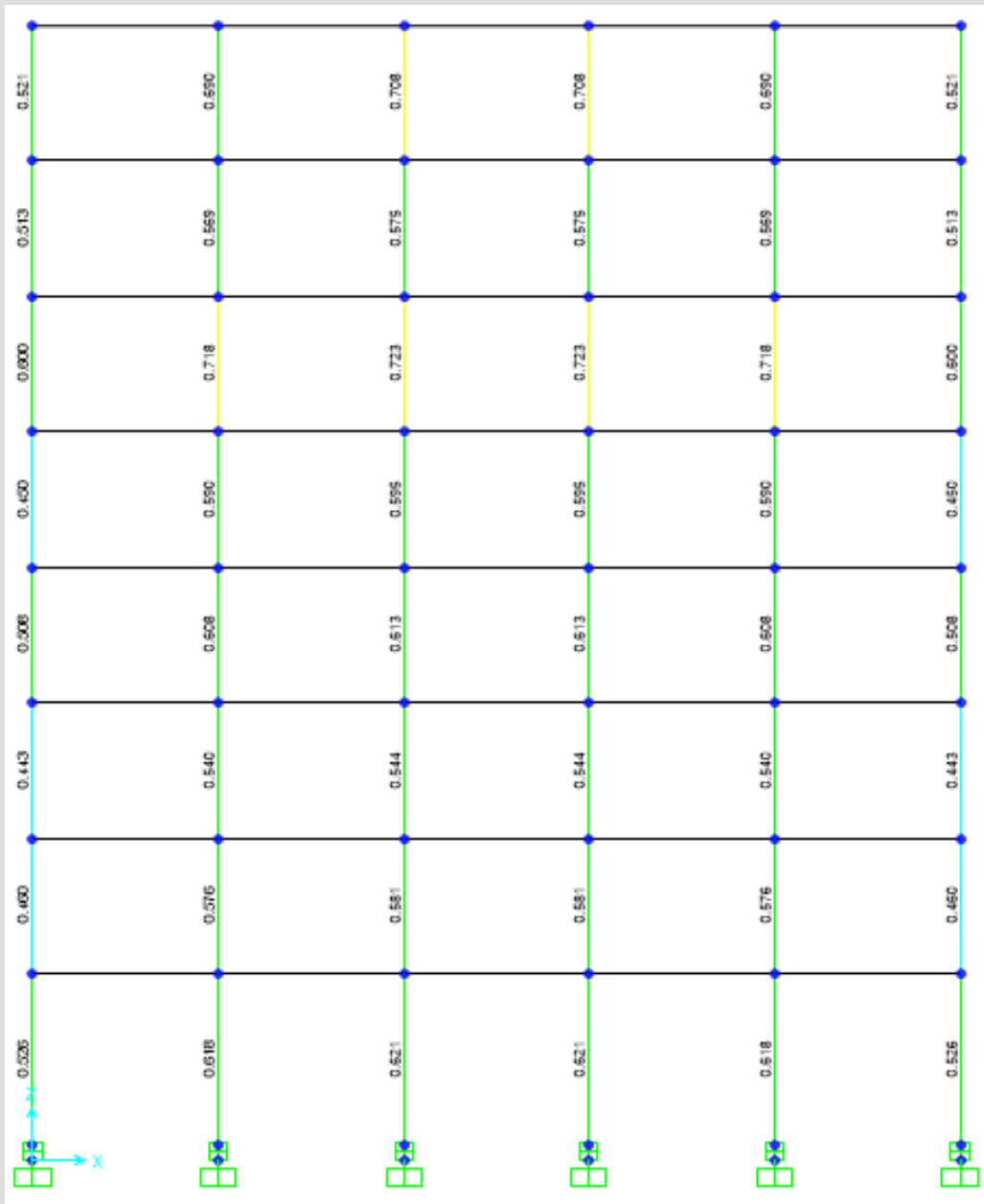
Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	0.0067	0.00713	0.007909	0.00946	0.00925	0.012918	0.014677	0.012122
Ey	2.4E-10	9.1E-11	4.54E-10	-4E-11	1.4E-10	4.15E-10	1.28E-10	1.19E-09
UDCON1	-5.3E-18	-1.5E-17	-1.4E-17	-2E-18	4.6E-18	3.14E-17	5.58E-17	9.87E-18
UDCON2	-9.3E-18	-2.5E-17	-2E-17	-2E-18	3.2E-18	5.05E-17	9.53E-17	2.23E-17
UDCON3	0.0094	0.01	0.011092	0.01327	0.01297	0.018117	0.020585	0.017002
UDCON4	0.0094	0.01	0.011092	0.01327	0.01297	0.018117	0.020585	0.017002
UDCON5	3.3E-10	1.3E-10	6.38E-10	-5E-11	2E-10	5.82E-10	1.8E-10	1.67E-09
UDCON6	3.3E-10	1.3E-10	6.38E-10	-5E-11	2E-10	5.82E-10	1.8E-10	1.67E-09
UDCON7	3.4E-10	1.3E-10	6.5E-10	-5E-11	2E-10	5.94E-10	1.83E-10	1.7E-09
UDCON8	3.4E-10	1.3E-10	6.5E-10	-5E-11	2E-10	5.94E-10	1.83E-10	1.7E-09
UDCON9	0.00958	0.0102	0.01131	0.01353	0.01322	0.018472	0.020988	0.017335
UDCON10	0.00958	0.0102	0.01131	0.01353	0.01322	0.018472	0.020988	0.017335
Max	0.00958	0.0102	0.01131	0.01353	0.01322	0.018472	0.020988	0.017335

جدول ۴-۶: دریفت طبقات در جهت Y سطح لرزه ای DBE

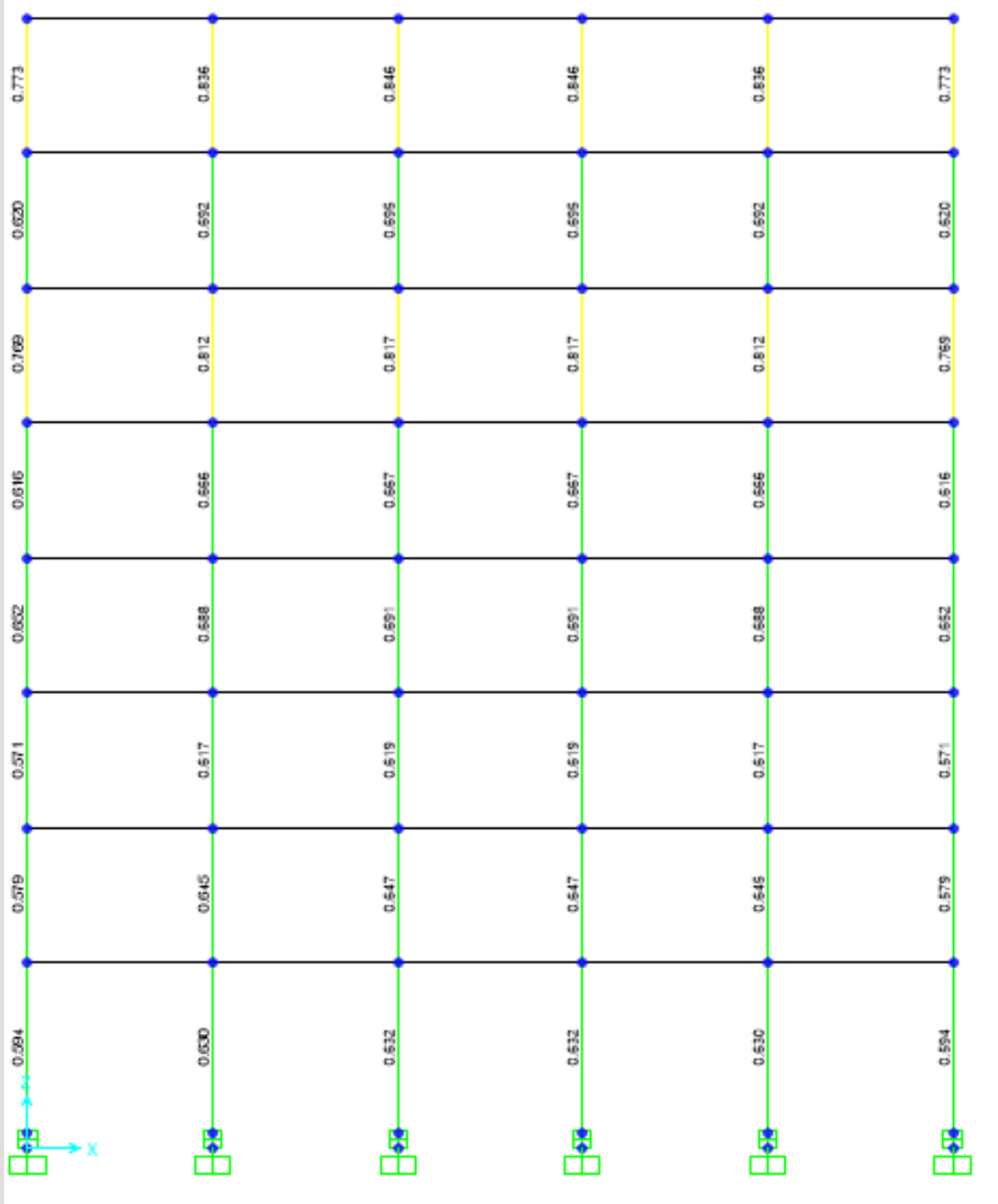
Load Comb/Case	Story 1	Story 2	Story 3	Story 4	Story 5	Story 6	Story 7	Story 8
Ex	5E-10	-6E-11	-2E-10	2.1E-10	5E-10	4.8E-10	-6E-10	2E-09
Ey	0.006	0.00717	0.00839	0.01006	0.0101	0.01324	0.0149	0.0122
UDCON1	-3E-18	-1E-17	-1E-17	-2E-18	4E-18	1.7E-17	3E-17	1E-17
UDCON2	-6E-18	-1E-17	-1E-17	-2E-18	4E-18	2.7E-17	5E-17	2E-17
UDCON3	7E-10	-9E-11	-2E-10	3E-10	7E-10	6.7E-10	-8E-10	2E-09
UDCON4	7E-10	-9E-11	-2E-10	3E-10	7E-10	6.7E-10	-8E-10	2E-09
UDCON5	0.0084	0.01006	0.01177	0.0141	0.0142	0.01856	0.0209	0.0172
UDCON6	0.0084	0.01006	0.01177	0.0141	0.0142	0.01856	0.0209	0.0172
UDCON7	0.0085	0.01026	0.012	0.01438	0.0145	0.01893	0.0213	0.0175
UDCON8	0.0085	0.01026	0.012	0.01438	0.0145	0.01893	0.0213	0.0175
UDCON9	7E-10	-9E-11	-2E-10	3E-10	7E-10	6.8E-10	-8E-10	2E-09
UDCON10	7E-10	-9E-11	-2E-10	3E-10	7E-10	6.8E-10	-8E-10	2E-09
Max	0.0085	0.01026	0.012	0.01438	0.0145	0.01893	0.0213	0.0175

همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر دریفت طبقات کنترل شده می‌باشند.

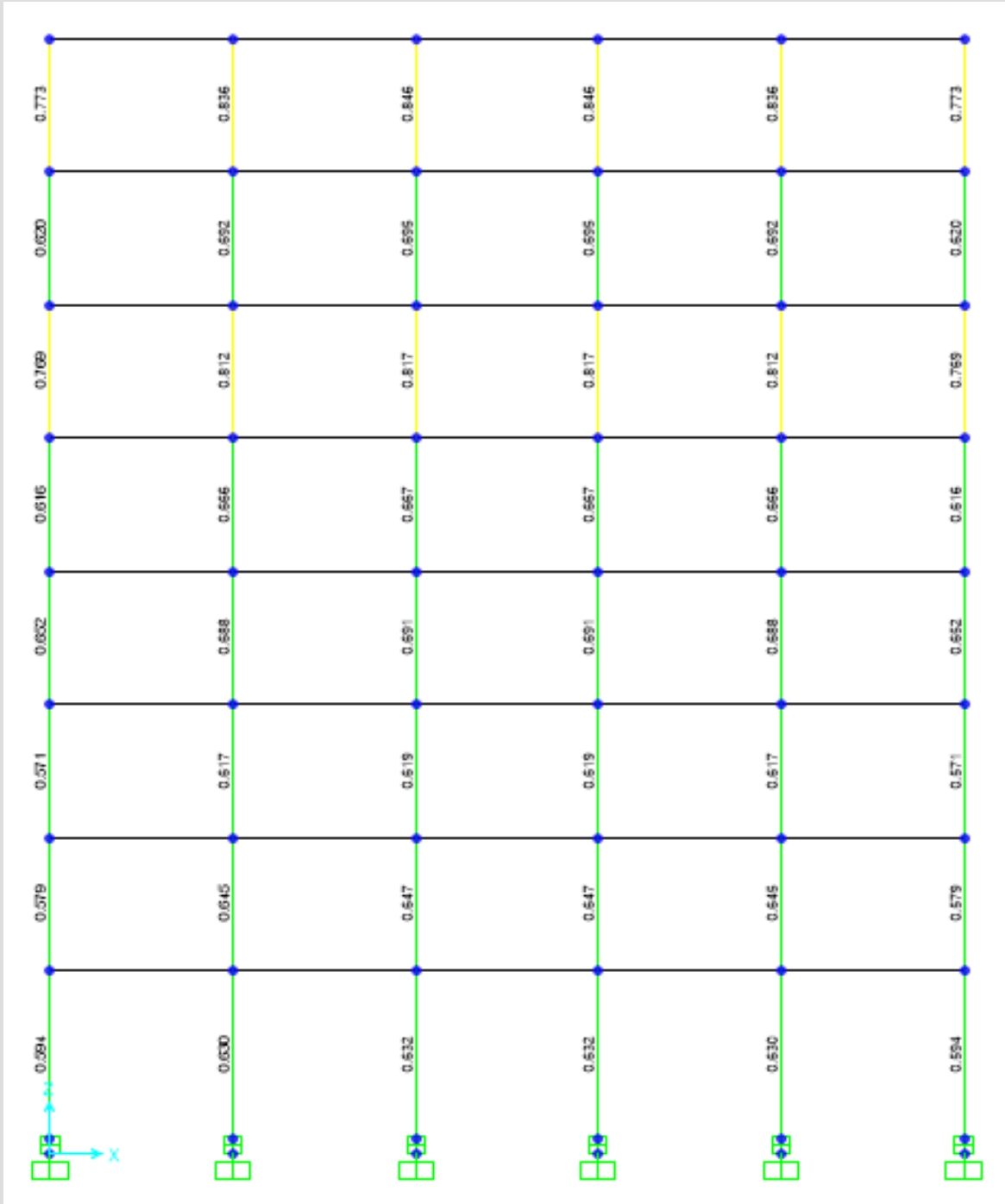
۶-۴-۲- نسبت تنش ستون ها :



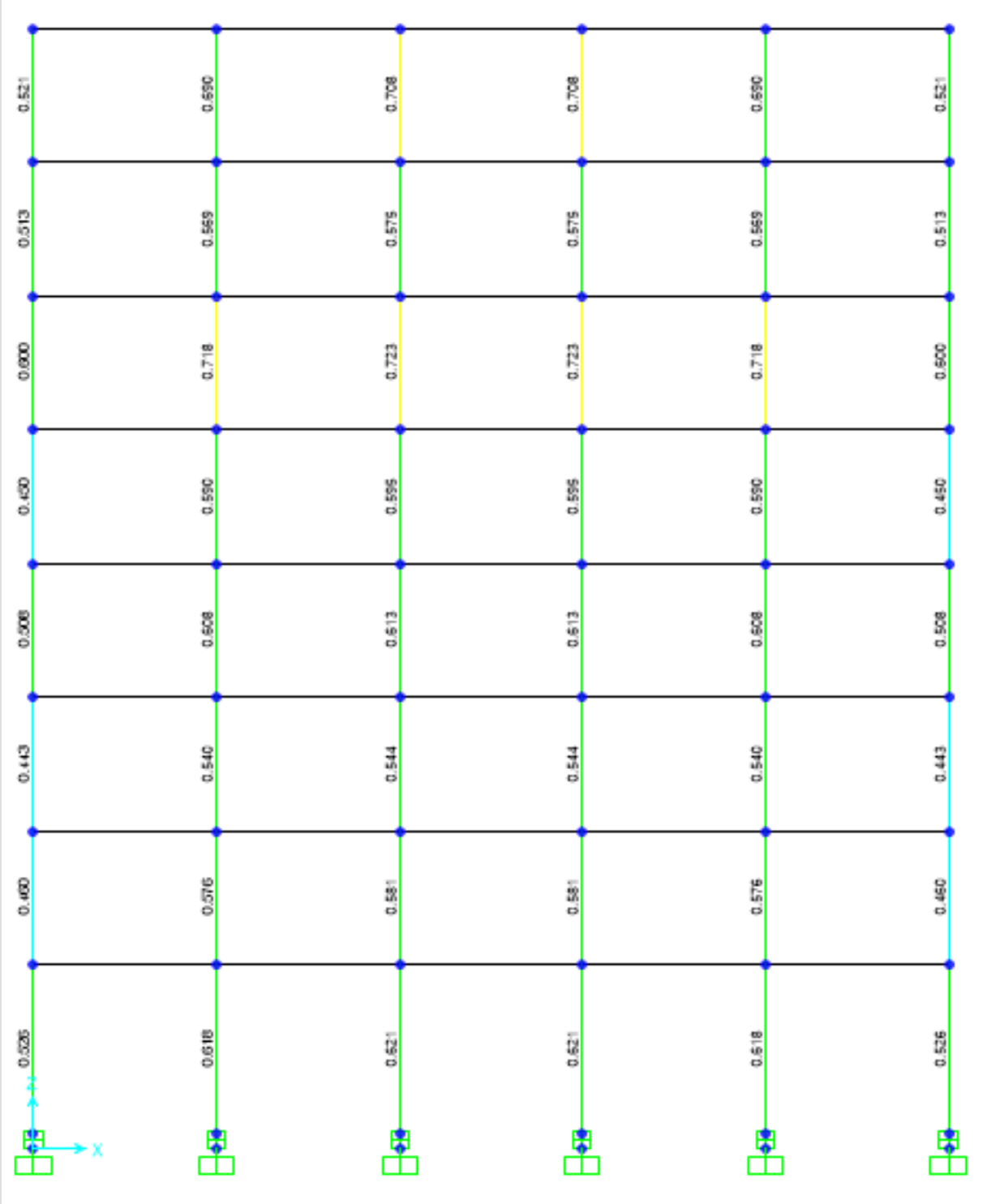
شکل ۶-۸: نسبت تنش قاب ۱



شکل ۶-۹: نسبت تنش قاب ۲



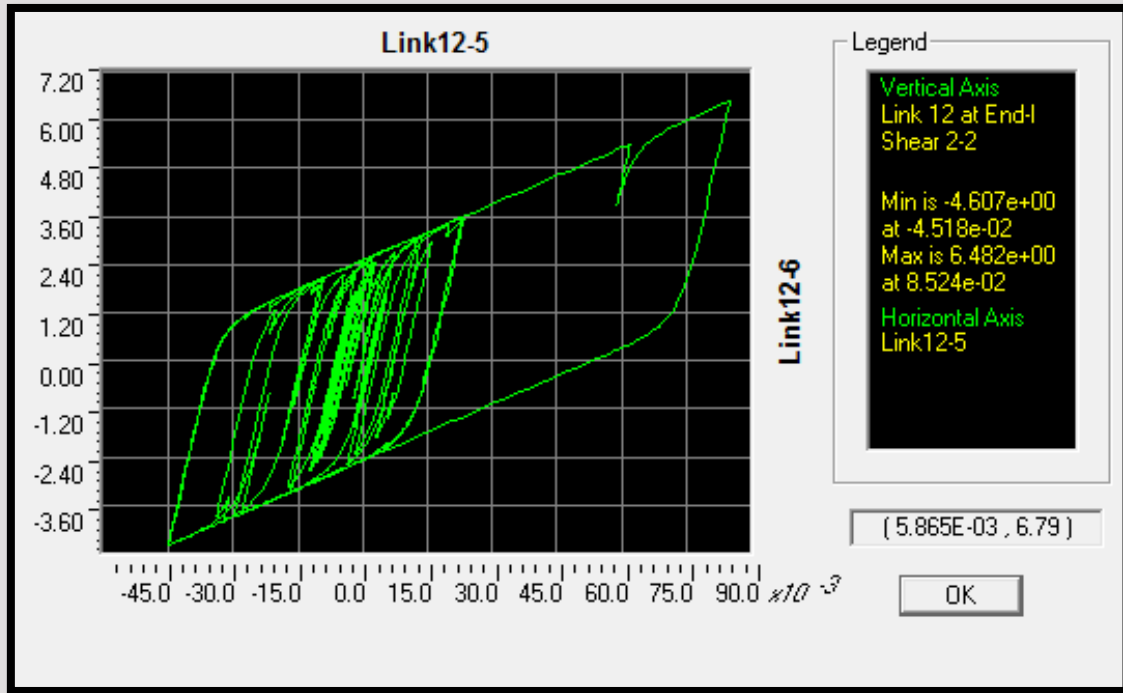
شکل ۶-۱۰: نسبت تنش قاب ۳



شکل ۶-۱۱: نسبت تنش قاب ۴



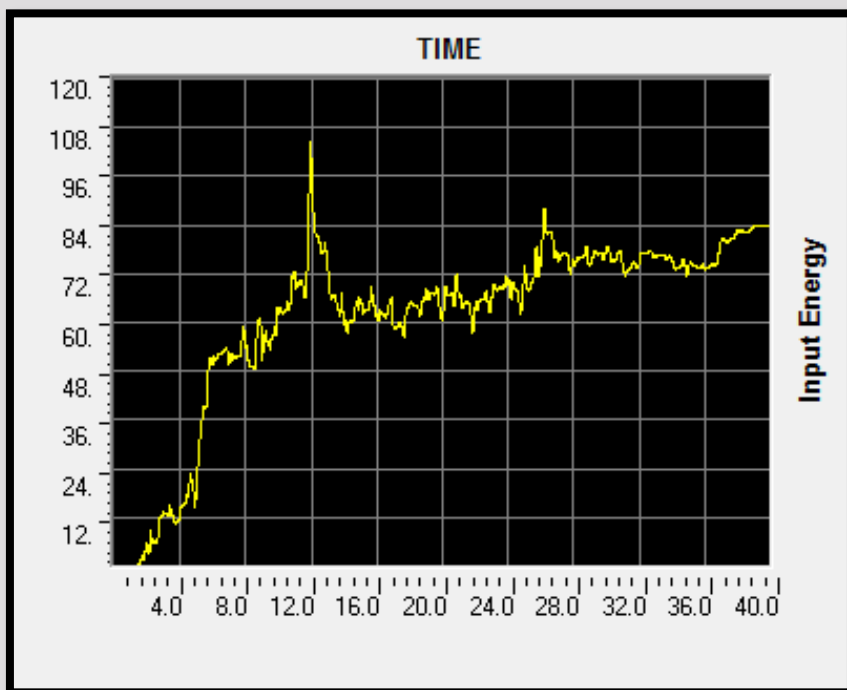
۶-۴-۳- نمودار نیرو-جابجایی جداگر تحت زلزله DBE:



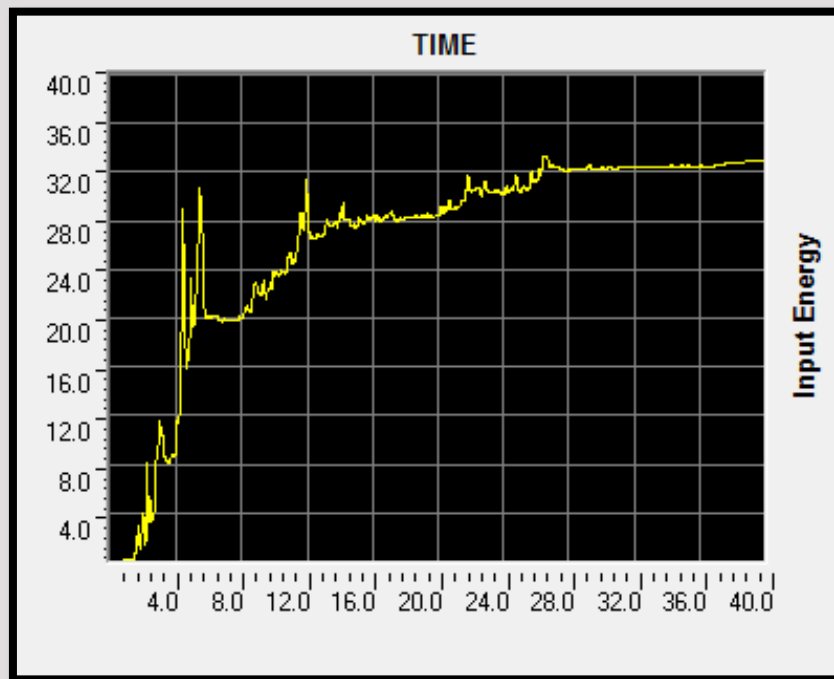
شکل ۶-۱۲: منحنی هیسترتیک جداگر

۴-۴-۶- مقایسه انرژی ورودی به سازه در دو حالت با و بدون جداگر لرزه ای

همانطور که از نمودارهای زیر می توان مشاهده نمود با بکارگیری جداگر بخش قابل توجهی از انرژی زلزله در بدو ورود در پای سازه مستهلک شده و به سازه وارد نمی شود.



شکل ۶-۱۳: انرژی ورودی بدون جداگر



شکل ۶-۱۴: انرژی ورودی بدون جداگر

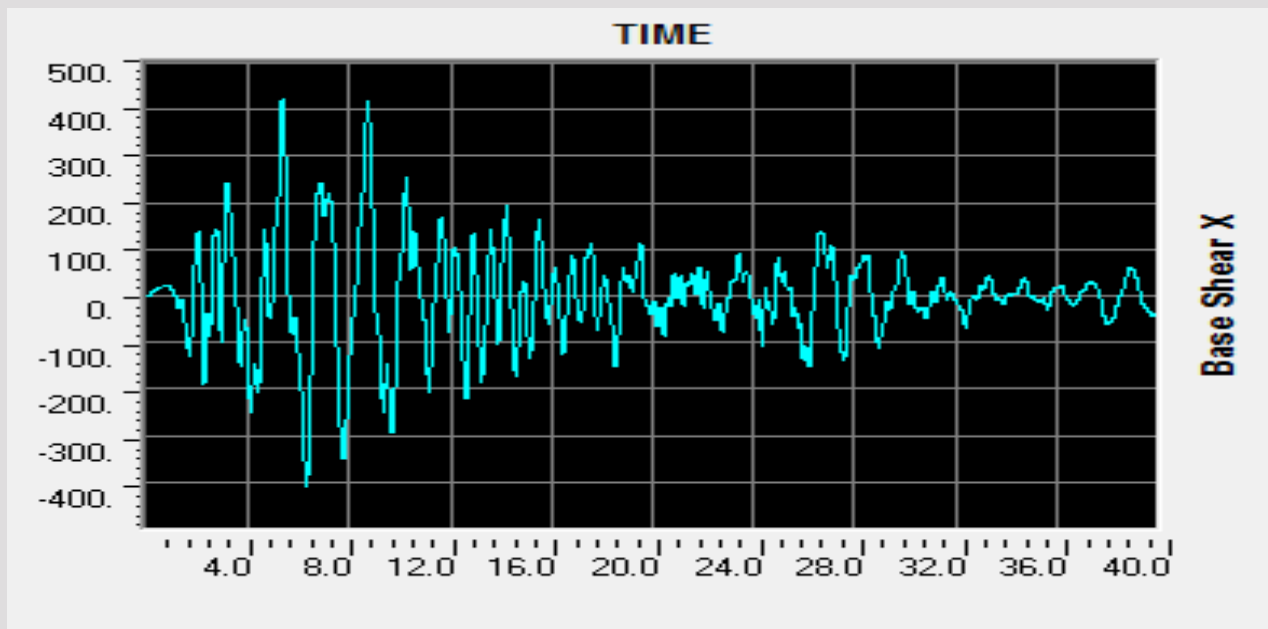
- [1] Yeong-Bin Yang and Kuo-Chun Chang, Jong-Dar Yau . "Earthquake Engineering Handbook", 2002.
- [2] FEMA 451, NEHRPH Recommended Provisions, Chapter 11: Seismically Isolated Structures. Charles A. Kircher.
- [3] FEMA 368, "NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.
- [4] SAP2000, "EXAMPLE 6-010: LINK – SUNY BUFFALO EIGHT-STORY BUILDING WITH RUBBER ISOLATORS ", 1999.

فصل هفتم

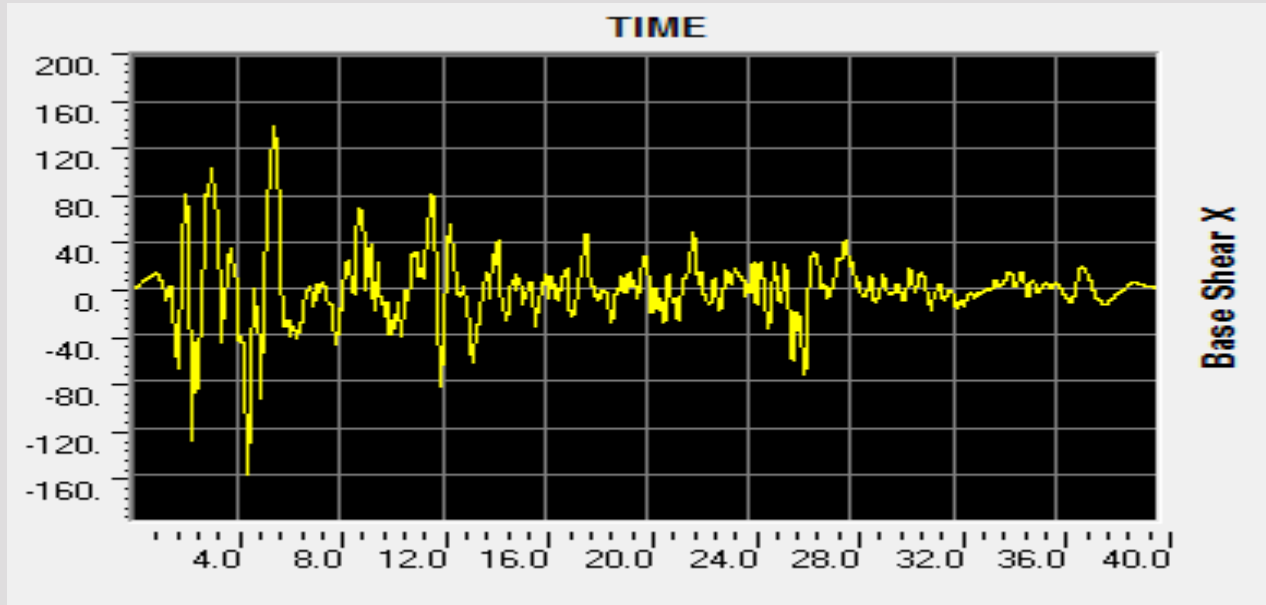
مقایسه سیستم های استهلاک انرژی

۱-۷- مقایسه ماکزیمم برش پایه در زلزله سطح طراحی

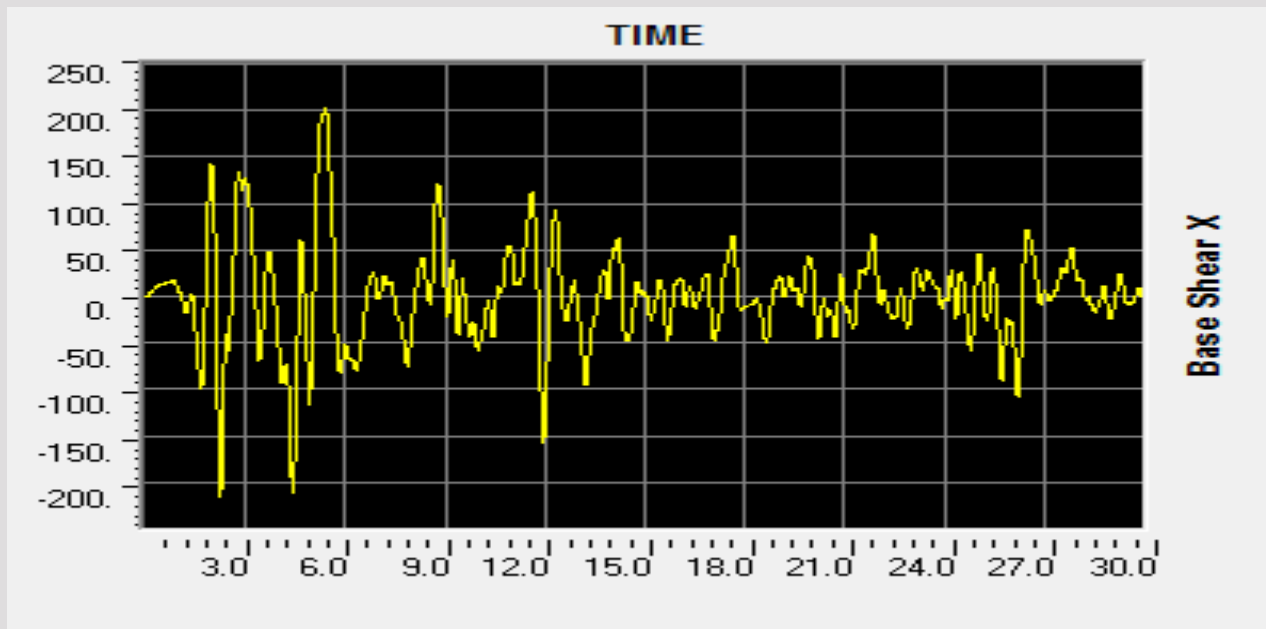
در این قسمت سازه های بدون میراگر و با میراگر و جداگر طرح شده در فصول ۱ تا ۶ تحت زلزله سطح طراحی یا به تعبیری زلزله ی السنترو با مقیاس ۰,۶۷، قرار گرفت . نمودار تاریخچه ی زمانی برش پایه ی آن ها در اشکال ۱-۷ تا ۶-۷ مشاهده می شود.



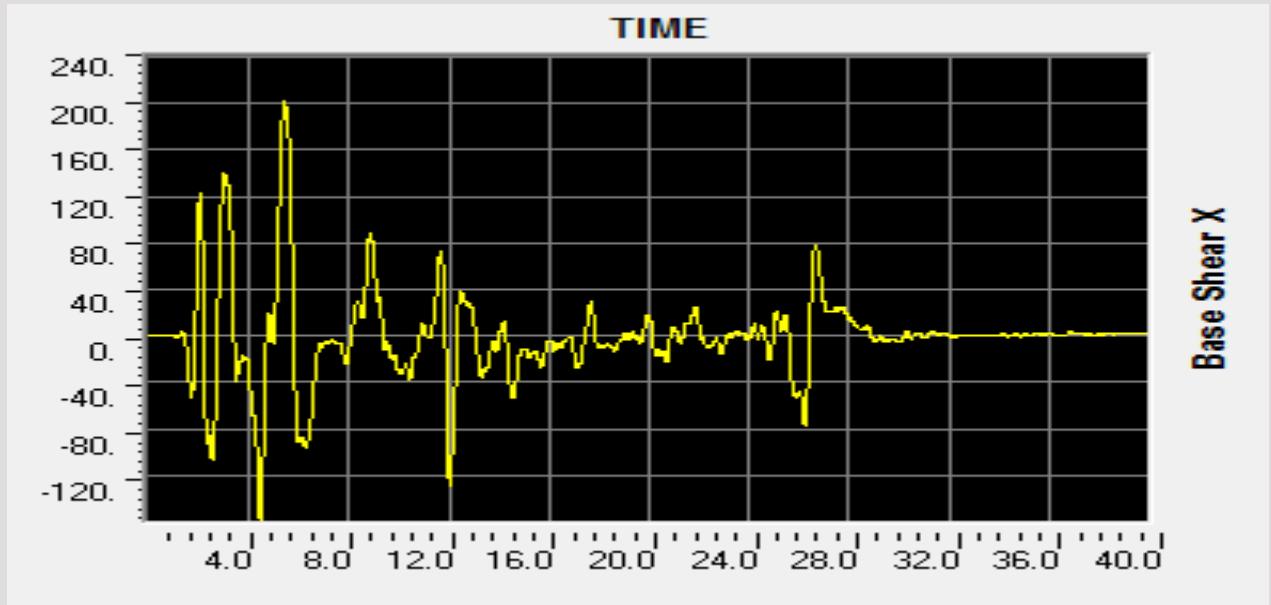
شکل ۱-۷: نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی بدون مستهلک کننده



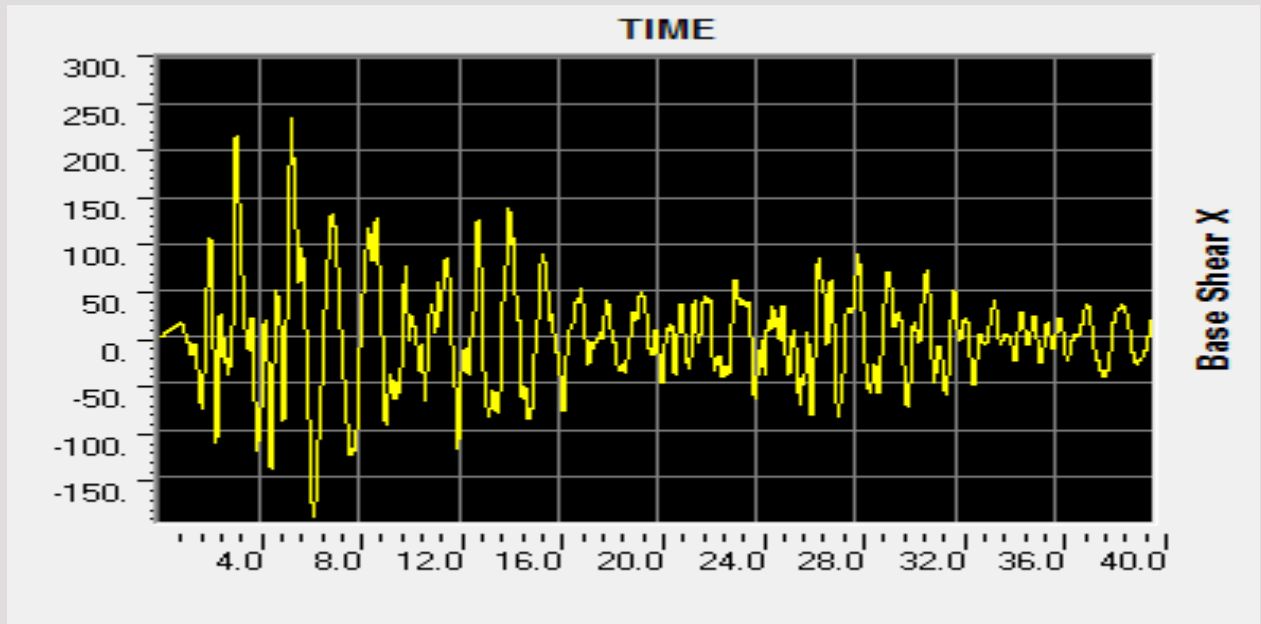
شکل ۲-۷: نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی با میراگر ویسکوز



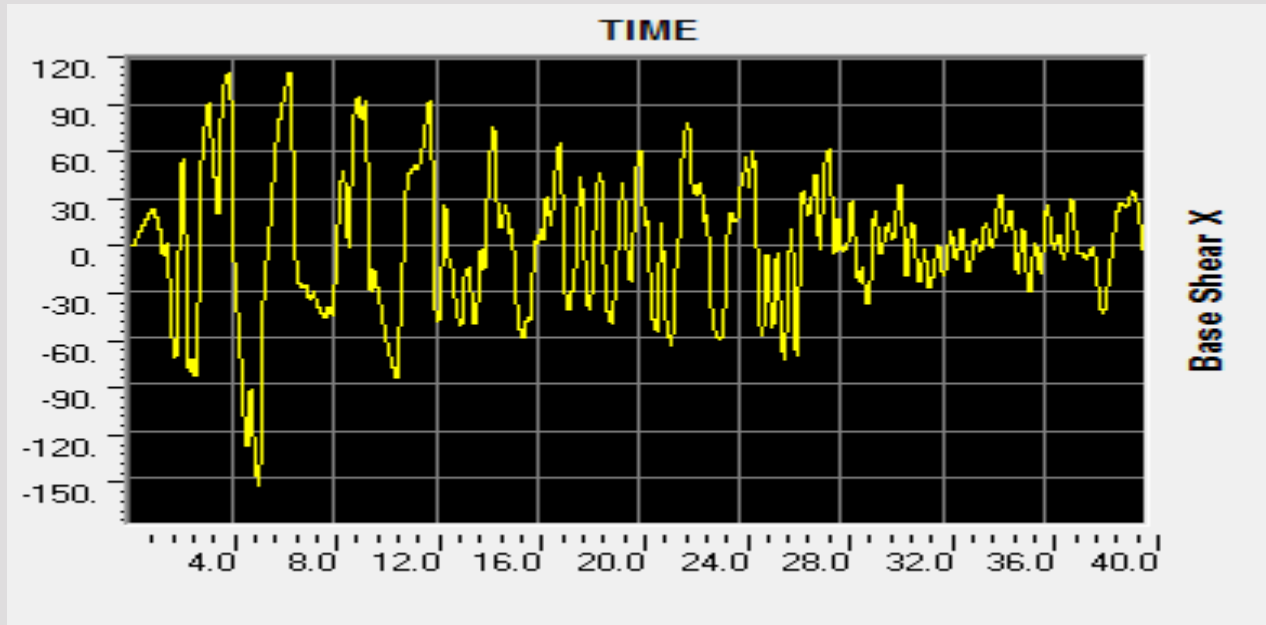
شکل ۳-۷: نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی با میراگر ویسکوالاستیک



شکل ۴-۷: نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی با میراگر اصطحاککی



شکل ۵-۷: نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی با میراگر تسلیمی



شکل ۶-۷ : نمودار تاریخچه زمانی برش پایه سازه ی با جداگر LRB

جدول ۱-۷ : برش پایه ماکزیمم سیستم های مختلف طراحی شده

نوع سیستم	ماکزیمم برش پایه (ton)
سازه بدون مستهلک کننده انرژی	419
سازه با میراگر ویسکوز	160
سازه با میراگر ویسکوالاستیک	215
سازه با میراگر اصطحاکاکی	202
سازه با میراگر تسلیمی	238
سازه با جداگر	155

با توجه به نتایج بالا می‌توان دریافت که سازه به همراه میراگر ویسکوز نسبت به سایر سیستم‌ها برش پایه کمتری تولید می‌کند. البته سیستم جداگر لرزهای در کل دارای برش پایه کمتری است. این در حالی است که سیستم جداگر لرزه‌ای از طریق افزایش پیوند برش پایه را کاهش می‌دهد در صورتی سایر سیستم‌ها از طریق افزایش میرایی و سختی (که باید سهم میرایی بیشتر باشد چون سختی منجر به کاهش پیوند سازه و در نتیجه افزایش برش پایه خواهد شد) اقدام به کاهش برش پایه میکنند.

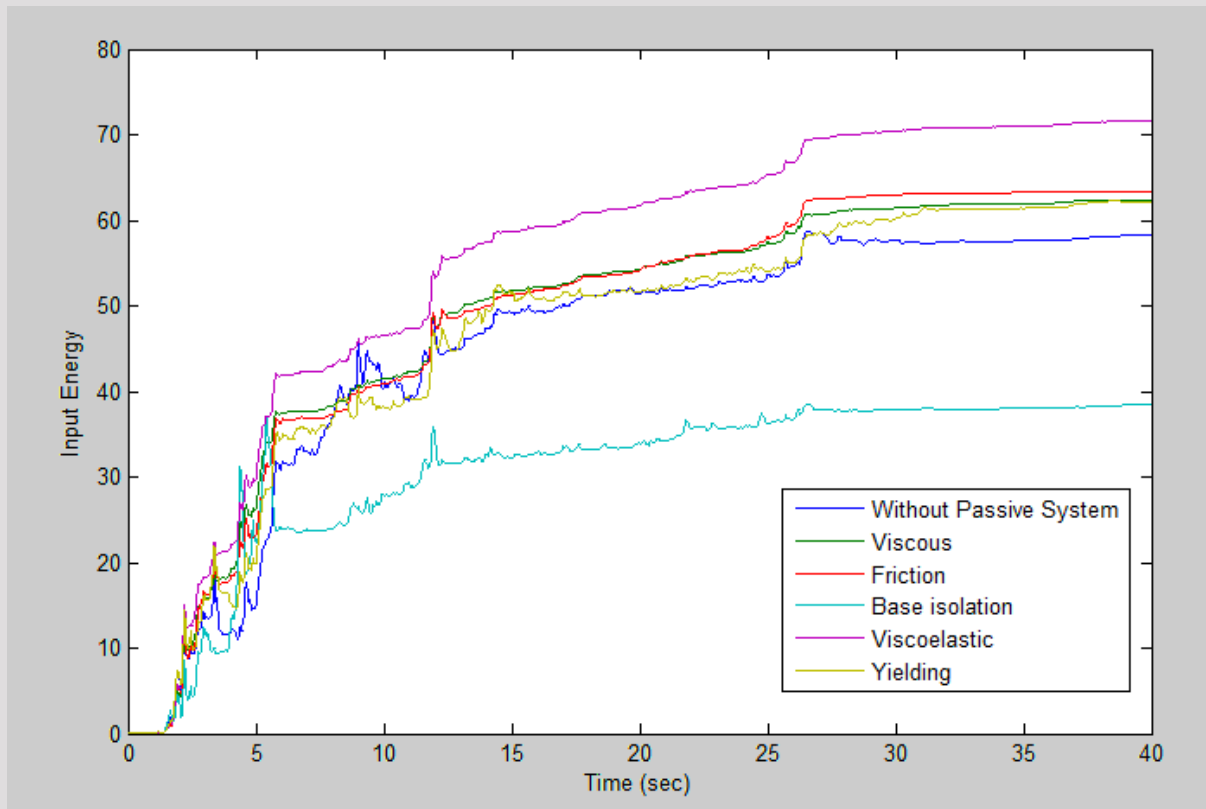
همانطور که ملاحظه می‌گردد در سیستم‌های استهلاک انرژی که نقش افزایش سختی ناشی از بادبندی سازه بیشتر است برش پایه مقدار بیشتری نسبت به سیستم ویسکوز دارد.



۷-۲- مقایسه انرژی ورودی به سازه

در این قسمت انرژی ورودی به سازه های طرح شده در فصول قبل ناشی از زلزله ی سطح طراحی با هم مقایسه گردیده است. همانطور که ملاحظه می شود به طور کلی با اضافه سیستم های کنترل غیر فعال (به جز جداگر لرزه ای) به علت ماهیت نصب به همراه بادبند آنها، مقداری سختی سیستم افزوده می شود که این افزایش سختی موجب کاهش پریود، به دنبال آن افزایش شتاب طیفی و در نتیجه افزایش انرژی ورودی را در پی دارد.

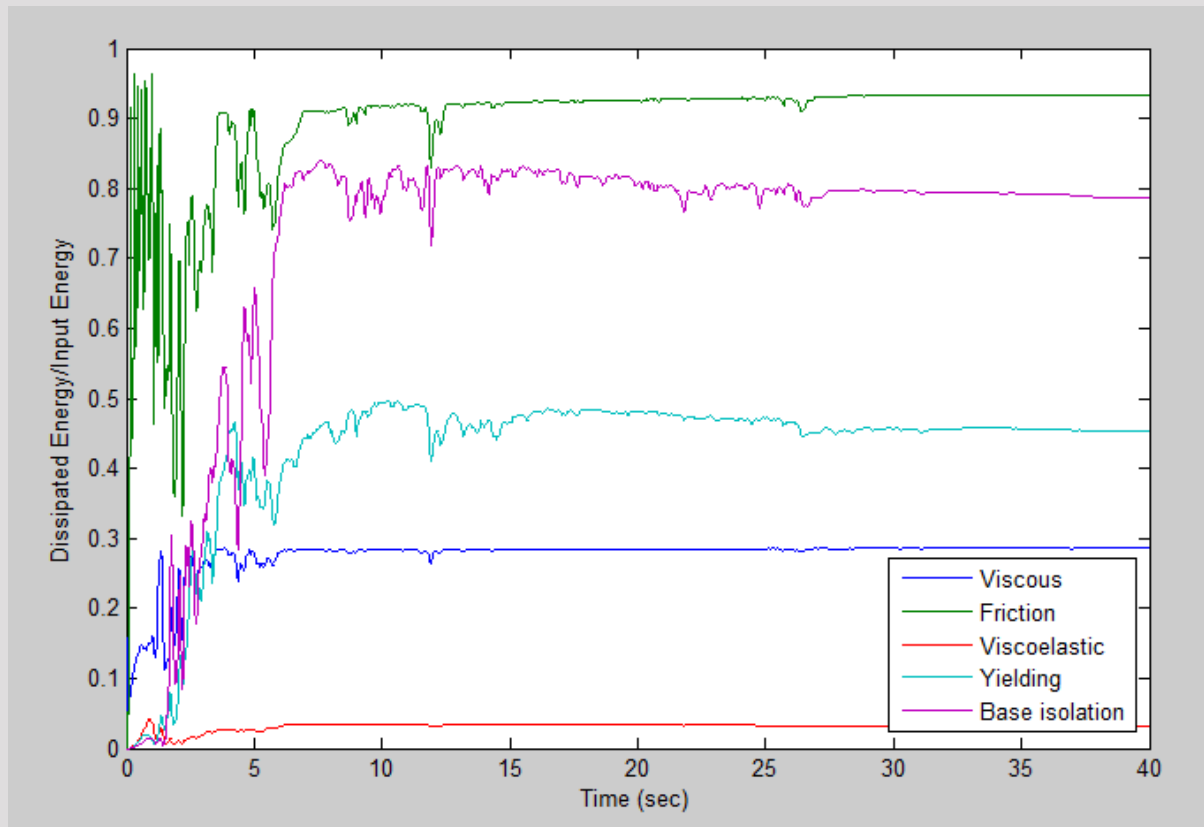
در مورد سیستم جداگر لرزه ای ما با افزایش پریود سیستم روبرو هستیم که به طبع آن انرژی ورودی به مقدار قابل قبولی کاهش داده است.



شکل ۷-۲: انرژی ورودی سازه های طرح شده

۷-۳- مقایسه انرژی تلف شده

در شکل ۷-۸ درصد انرژی تلف شده نسبت به انرژی ورودی نشان داده شده است. همانور که ملاحظه می شود سیستم اصطحکاکی دارای عملکرد بسیار مطلوبی نسبت به سایر سیستم ها است.

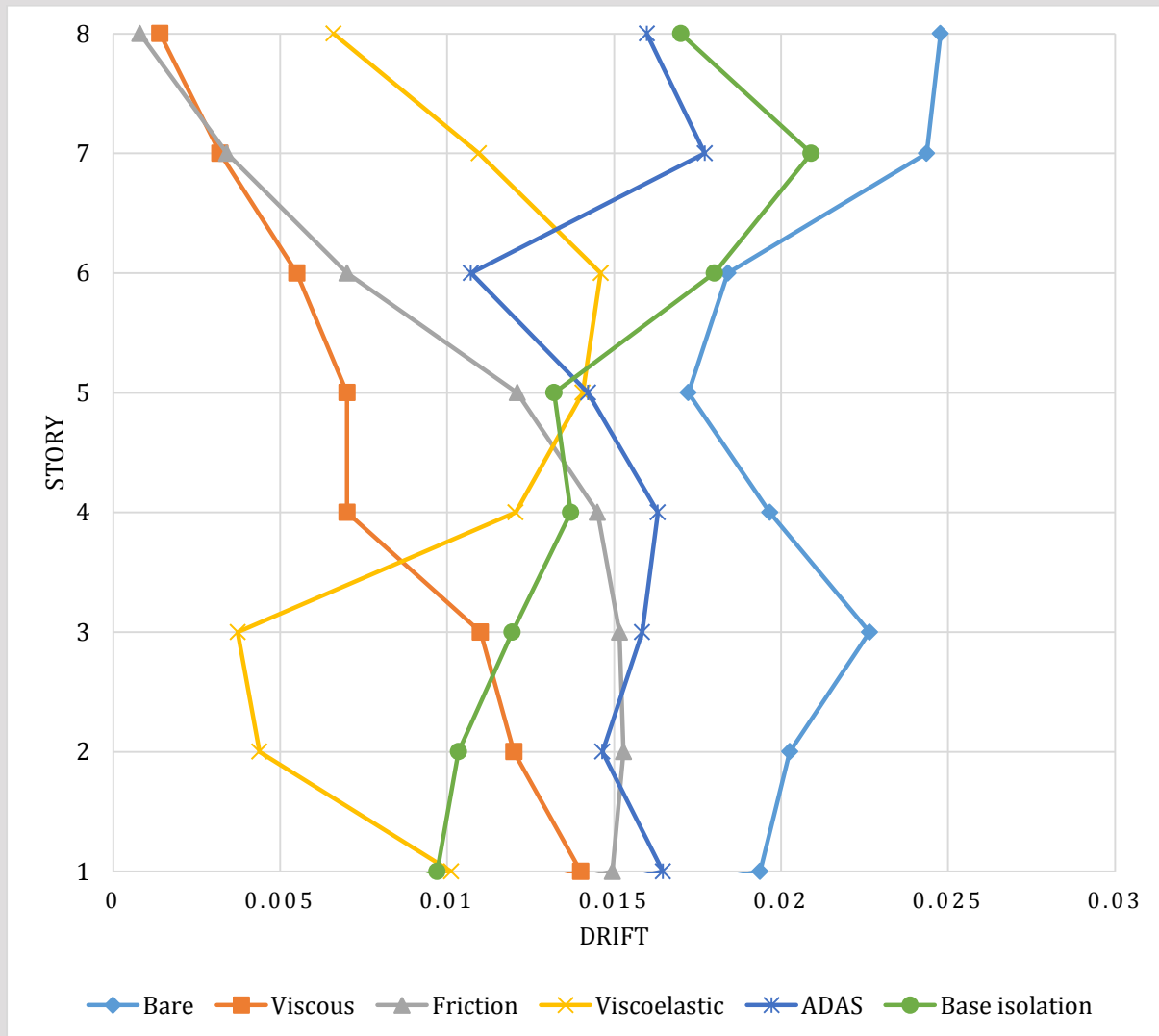


شکل ۷-۸: درصد انرژی تلف شده سیستم های مختلف

۴-۷- توزیع دررفت در ارتفاع

در شکل ۹-۷ ملاحظه می گردد که در سازه ی جداسازی شده دررفت طبقات پایین کمتر از دررفت طبقات بالاتر است.

در سازه ی به همراه میراگر های ویسکوز و اصطحکاکی دررفت طبقات بالایی نسبت به سایر سیستم ها کمتر است و به طور کلی میتوان گفت که در سیستم ویسکوز دررفت در تمام طبقات از مقادیر کمتری برخوردار است.

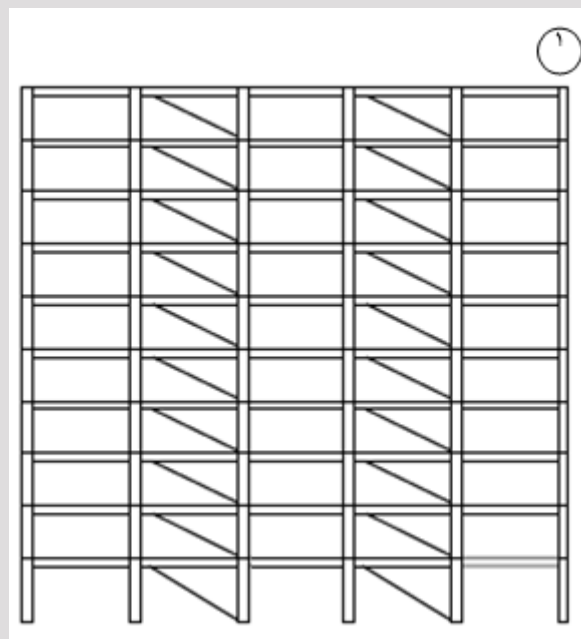


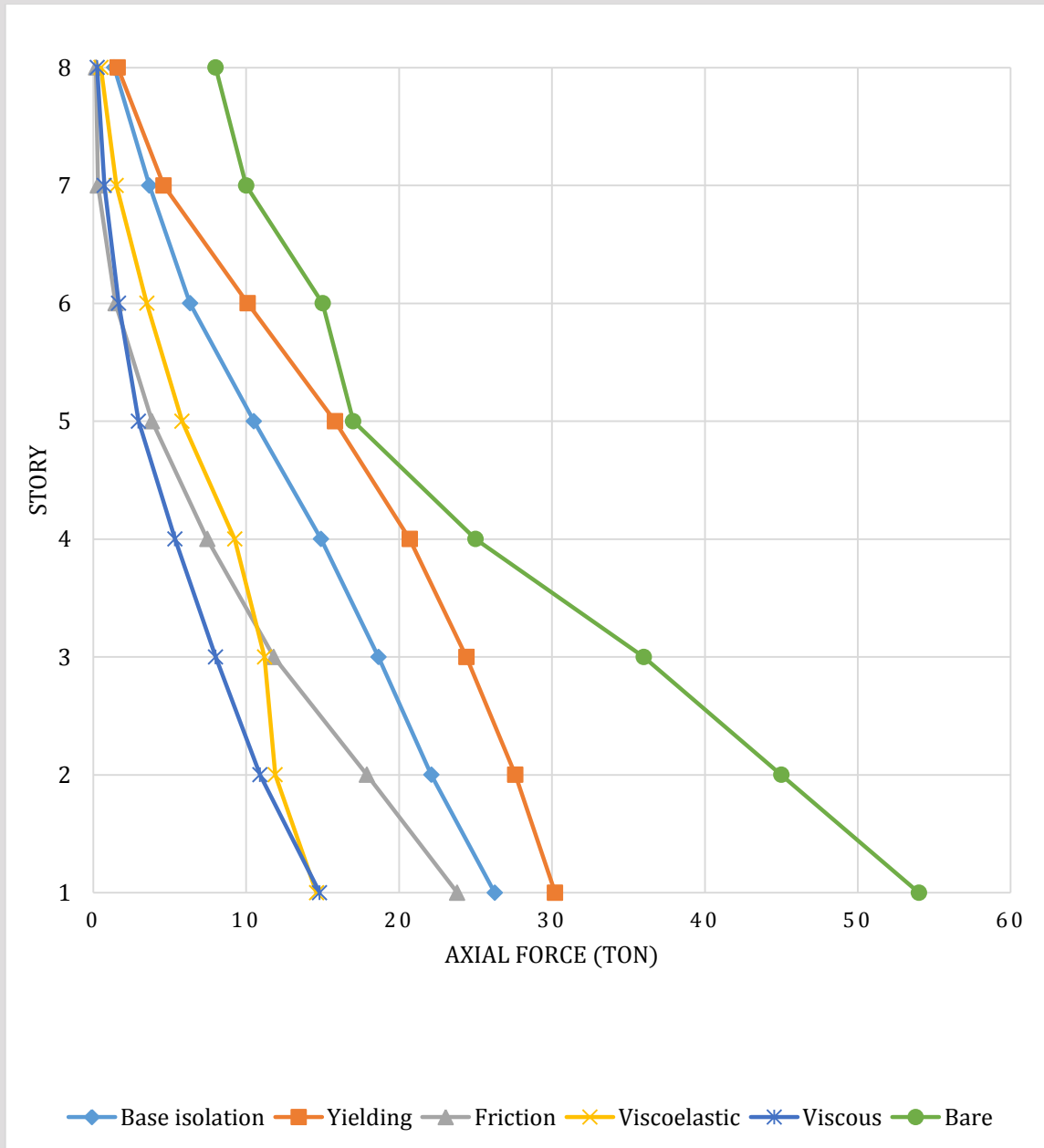
شکل ۹-۷ : توزیع ماکزیمم دررفت در ارتفاع برای سیستم های مختلف

۷-۵- توزیع ماکزیمم نیروی محوری ستون کناری ۱ در ارتفاع

سازه های طرح شده در فصول ۱ تا ۶ تحت زلزله ی سطح DBE قرار گرفتند و نیروی ماکزیمم ناشی از بار زلزله در ستون نشان داده شده در شکل و توزیع آن در ارتفاع استخراج گردید.

در نمودار های شکل ملاحظه می شود که در یک زلزله ی یکسان میراگر های ویسکوز و اصطحاککی عملکرد بهتری داشته و نیروی کمتری در ستون ها تولید می کنند که در صورت عدم وجود معیار برش حداقلی آیین نامه این سیستم ها کمترین ابعاد اعضای سازه ای را نسبت به سایر سیستم ها را متوانستند منجر شوند.





شکل ۷-۱۰: توزیع ماکزیمم نیروی محوری ستون های کناری در ارتفاع برای سیستم های مختلف

## ۶-۷-۶-نمودار پوش اور (Pushover) و برش تسلیم

در این بخش سازه های طرح شده با سیستم های مختلف استهلاک انرژی و هم چنین سازه ی اولیه بدون مستهلک کننده انرژی تحت آنالیز پوش اور از نوع کنترل شونده توسط تغییر مکان قرار گرفت.

## ۶-۷-۱-خلاصه ای از مراحل انجام تحلیل بار افزون در نرم افزار

الف) تعریف ترکیب بارهای ثقلی مطابق با آیین نامه

Gravity Load Case : 1.1 (DL + 0.2 LL)

ب) تعریف الگوهای بار جانبی مطابق با آیین نامه

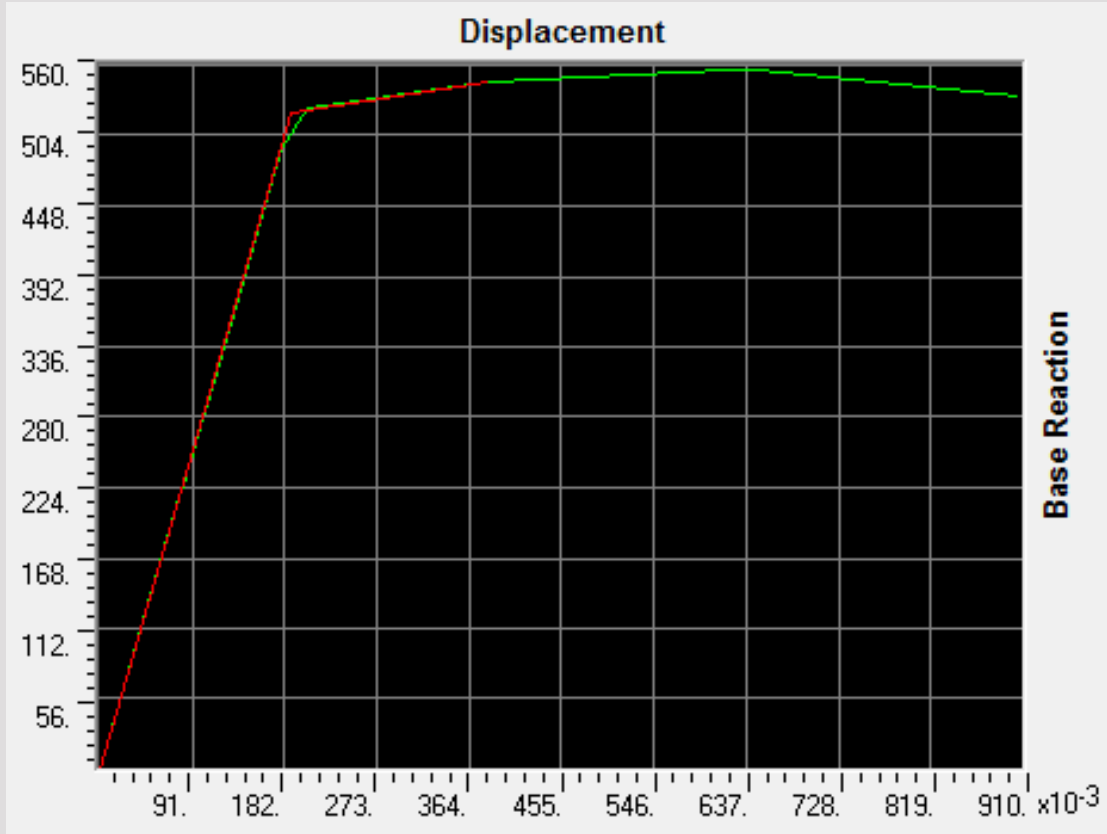
در این پروژه از الگوی توزیع بار جانبی مطابق با مود اول نوسان استفاده گردیده است.

ج) اختصاص مفاصل پلاستیک به المان های مربوطه

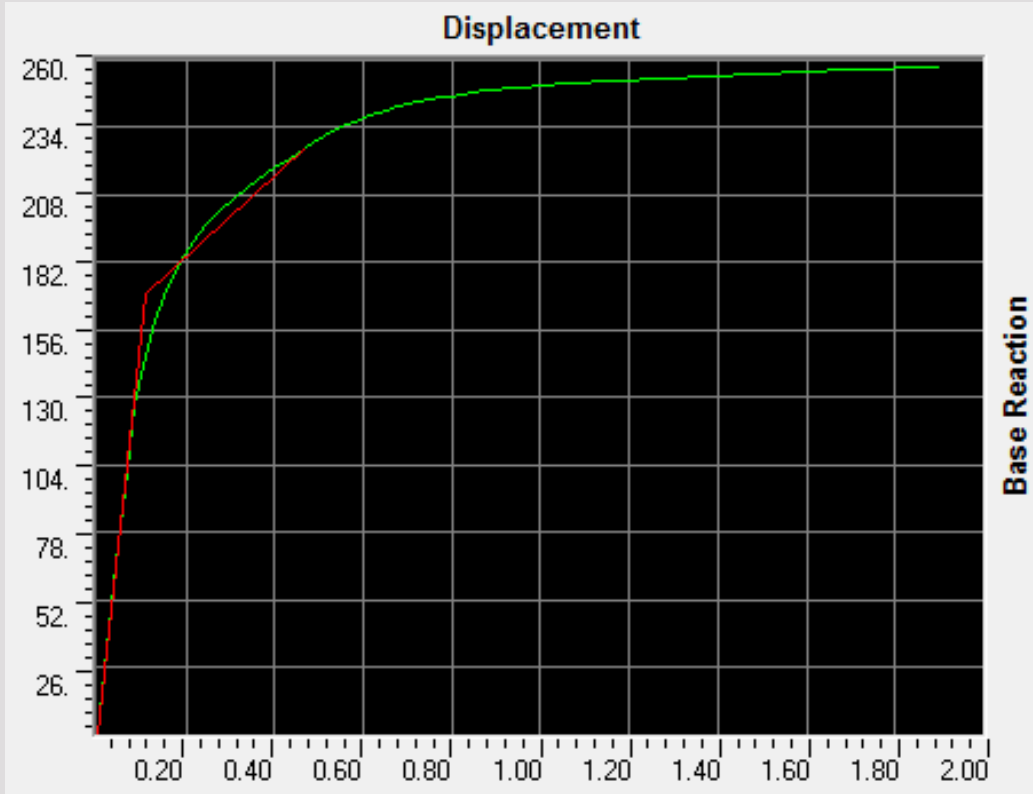
در این قسمت از مفاصل خودکار برنامه برای تیر ها و ستون ها استفاده گردیده است که بر اساس جداول ۶-۷ و ۶-۸ FEMA356 بدست می آید.

د) آنالیز پوش اور سازه

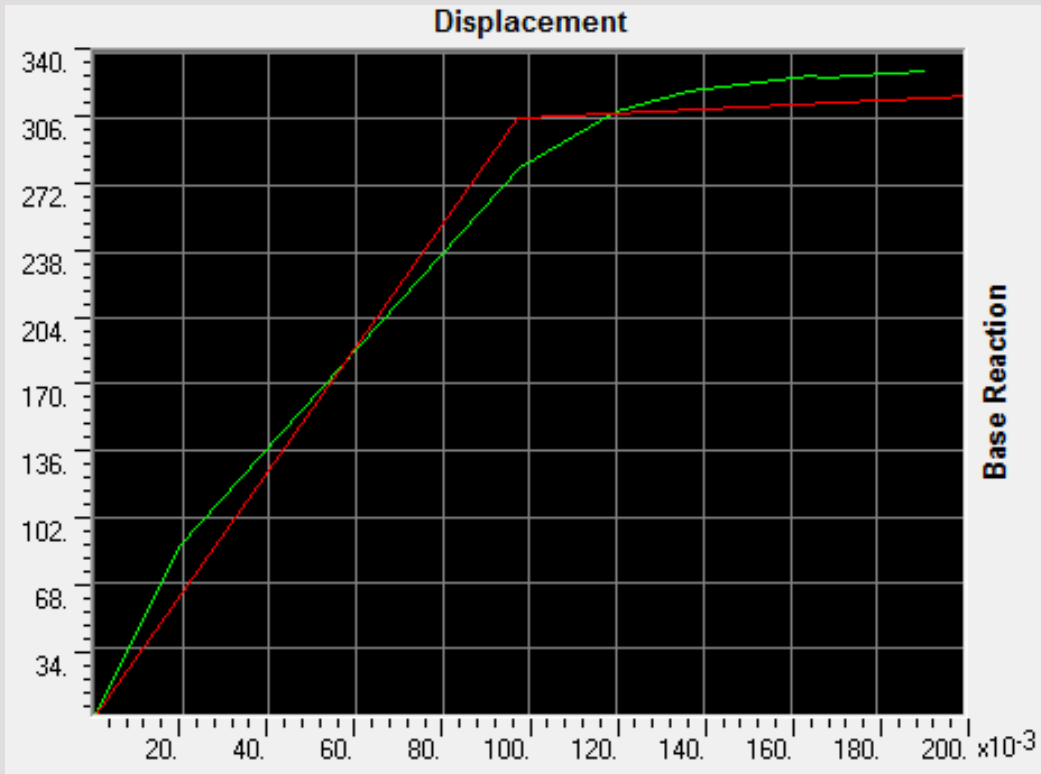
۶-۷-۲- نمودارهای ظرفیت سازه



شکل ۷-۱۱: نمودار پوشش اور سازه بدون میراگر

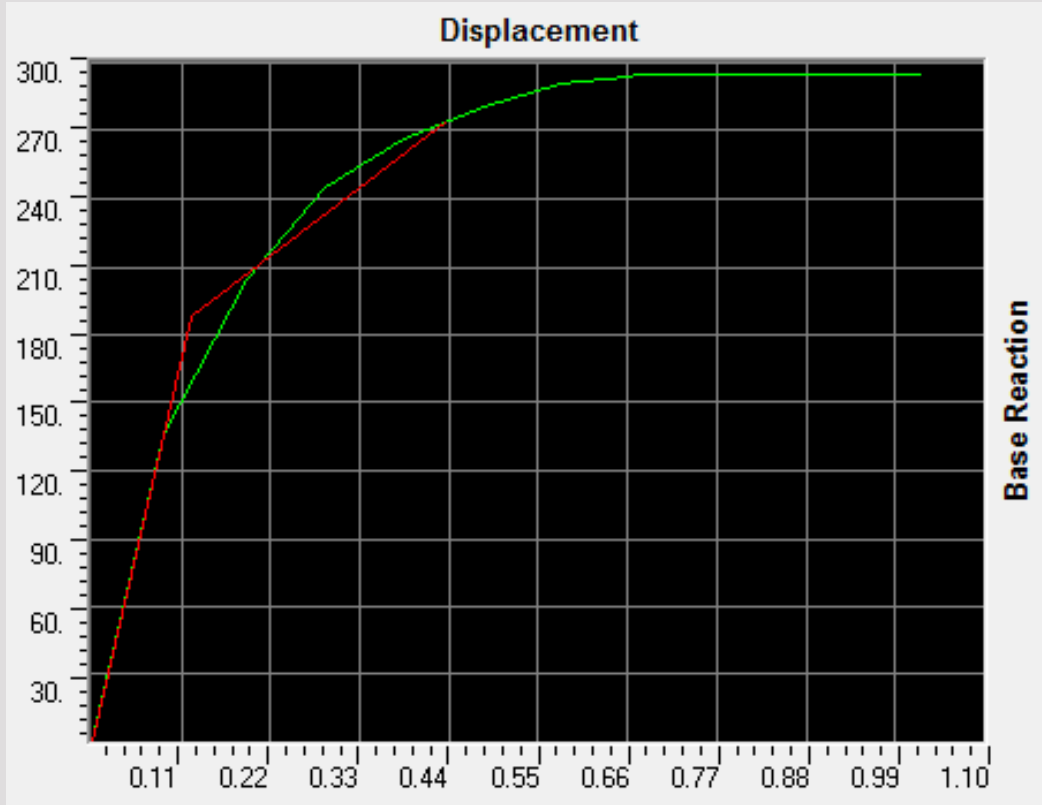


شکل ۷-۱۲: نمودار پوش اور سازه به همراه میراگر ویسکوز

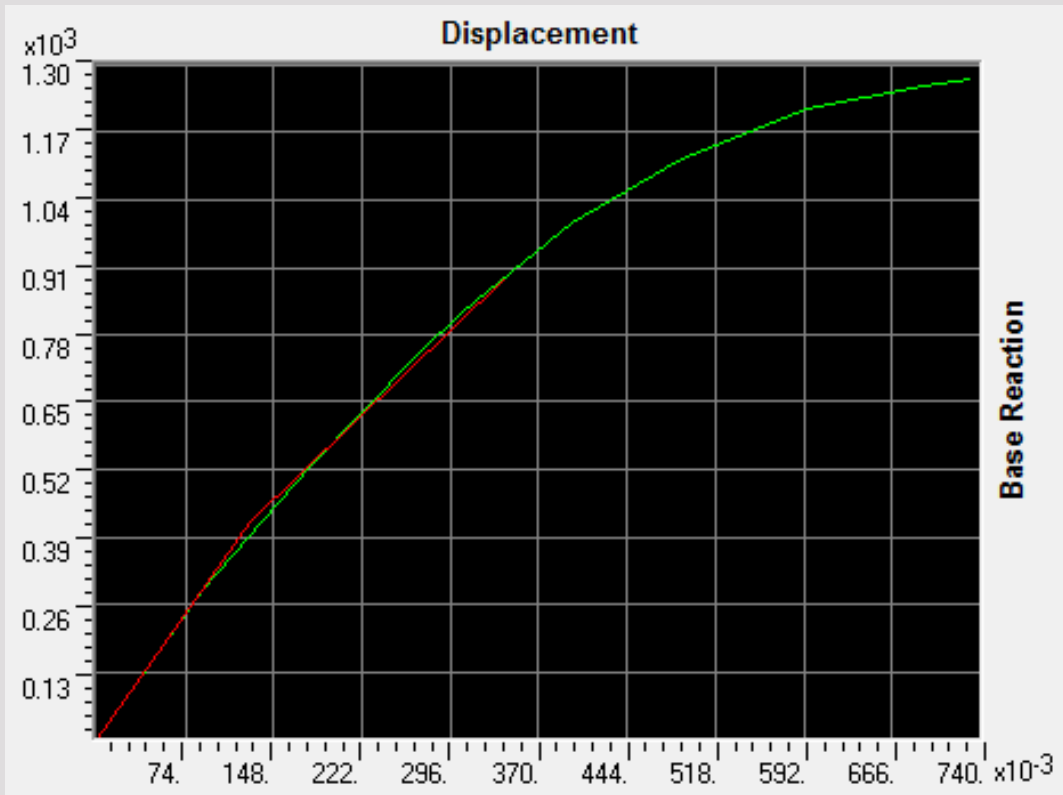


شکل ۷-۱۳: نمودار پوش اور سازه به همراه میراگر اصطحاککی





شکل ۷-۱۴: نمودار پوش اور سازه به همراه میراگر ویسکوالاسٹیک



شکل ۷-۱۵: نمودار پوش اور سازه به همراه میراگر تسلیمی

جدول ۷-۲: برش تسلیم سیستم های مختلف

نوع سیستم	برش پایه تسلیم (ton)
سازه بدون مستهلک کننده انرژی	521
سازه با میراگر ویسکوز	187
سازه با میراگر ویسکوالاستیک	188
سازه با میراگر اصطحاکاکی	306.7
سازه با میراگر تسلیمی	417

✓ قابل ذکر است که ابعاد سازه بدون مستهلک کننده با سایر سازه های دارای میراگر متفاوت می باشد.