بسم الله الرحمن الرحيم

سازمان نظام مهندسی ساختمان

استان آذربایجانشرقی

سیستم های جذب انرژی در

سازه های فولادی

تهیه وتنظیم :

محمدحسین متین پور

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

- 1- آشنایی با انواع مختلف سیستم های مستهلک کننده انرژی در ساختمان
- 2- آشنایی با مفاهیم طرح لرزه ای
- 3- آشنایی با انواع کنترل در سازه (کنترل فعال،غیرفعال،دوگانه)
- 4- آشنایی با مفاهیم میرایی وانواع میراگرها
- 5- آشنایی با سیستمهای جداگر لرزه ای
- 6- آشنایی با سیستم های مهاربندی اصطکاکی

مراجع:

- *AISC-341-2016, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*
- *W.F. Chen,E.M. Lui,2006, "Earthquake Engineering for structural design " ,Taylor & francis*
- *AISC-360-2016, Specification for Structural Steel Building*
- *T.T. Soong, M.C. Costantinou, 1994, " Passive & Active Structural Vibration Control ",springer*
- *Wodek K. Gawronski,2004," Advanced structural dynamics & Active control of structures,Springer*
- *D.Ivanov,2016, " Seismic resistant design & Technology ",Taylor & francis*
- *Z. Liang,G.C. Lee,G.F. Dargush,J. Song,2012, " structural damping ",Taylor & francis*
- *FEMA-356,2000," Prestandard & commentary for the Seismic Rehabilitation of buildings "*
- *FEMA-450,2003," NEHRP Recommended Provisions for Seismic regulations for new Buildings "*

- معاونت نظارت راهبردی، " **دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود** "،نشریه ۳۶۰،معاونت برنامه ریزی ونظارت راهبردی رئیس جمهور،۱۳۹۲
- معاونت نظارت راهبردی، " **راهنمای طراحی واجرای سیستم های جدا ساز لرزه ای در ساختمان ها** "،نشریه ۵۲۳،معاونت برنامه ریزی ونظارت راهبردی رئیس جمهور،۱۳۸۹
- معاونت نظارت راهبردی، " **راهنمای روش ها وشیوه های بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود وجزئیات اجرایی** "،نشریه ۵۲۴،معاونت برنامه ریزی ونظارت راهبردی رئیس جمهور،۱۳۸۹
-
-
- " **آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰** " ویرایش ۴ ، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن،۱۳۹۳
- احمد نیکنام،ابراهیم ثنایی،جواد هاشمی،حسن باجی، " **رفتارو ضوابط طراحی لرزه ای ساختمانهای فولادی** "،سالکان ۱۳۸۱
- فریبرز ناطقی الهی، " **رفتار وطراحی لرزه ای قابهای خارج از محور** " ، موسسه بین المللی زلزله شناسی ومهندسی زلزله،۱۳۷۵
- شورای راهبردی مقاوم سازی، " **دستور العمل ارزیابی وبهسازی لرزه ای ساختمانهای فولادی موجود** "، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن،۱۳۹۲
- کمیته تخصصی، " **دستور العمل طراحی ساختمان های دارای جداساز لرزه ای** "،مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن،۱۳۸۹
- جعفر کیوانی،مهدی رحیمی اصل، " **کاربرد میراگرها در مقاوم سازی سازه ها** "،سیمای دانش،۱۳۸۹

اهداف طراحی لرزه ای ساختمانها از دیدگاه آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم

- در زلزله های شدید ساختمان ایستایی خود را حفظ کرده وتلفات جانی به حداقل برسد ونیز ساختمان در برابر زلزله های خفیف ومتوسط بدون وارد شدن آسیب عمده سازه ای قادر به مقاومت باشد.
- *ساختمانهای با« **اهمیت زیاد** » در زمان وقوع زلزله خفیف ومتوسط،قابلیت بهره برداری خود را حفظ کنند ودرساختمانهای با اهمیت متوسط خسارت سازه ای وغیرسازه ای به حداقل برسد.*
- *ساختمانهای با« **اهمیت خیلی زیاد** » درزمان وقوع زلزله های شدید، بدون آسیب عمده سازه ای،قابلیت بهره برداری بدون وقفه خودراحفظ نمایند.*

- بطور خلاصه انتظار میرود ساختمانها در برابر **زلزله های خفیف ومتوسط** بدون وارد شدن آسیب عمده سازه ای ودربرابر زلزله های **شدید** بدون **فروریختن** قادر به مقاومت باشند.

- **زلزله شدید یا زلزله طرح**، زلزله ای است که احتمال وقوع آن ویا زلزله های بزرگتراز آن ، در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتراز ۱۰ درصد باشد.
- **زلزله سطح بهره برداری (زلزله خفیف یا متوسط)**، زلزله ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان ،بیشتراز ۹۹/۵ درصد باشد.

ویرایش آئین نامه	سیستم سازه ای مقاوم در برابر نیروی جانبی	ضریب رفتار	حداکثر ارتفاع مجاز
ویرایش سوم آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴)	▪ سیستم قاب ساده + مهاربند های هم محور	R=6	H=50
	▪ سیستم فضائی ساده + مهاربند های برون محور (قابهای دارای اتصالات خورجینی با رعایت ضوابط فنی جزو این نوع سیستم می باشد.)	R=7	H=50
	▪ سیستم قاب خمشی فولادی ویژه	R=10	H=150
	▪ سیستم قاب خمشی فولادی متوسط	R=7	H=50
	▪ سیستم قاب خمشی فولادی معمولی	R=5	H=15

✓ ضریب رفتار تعیین شده بر اساس طراحی به روش تنشهای مجاز می باشد.

ویرایش آئین نامه	سیستم سازه ای مقاوم در برابر نیروی جانبی	ضریب رفتار	حداکثر ارتفاع مجاز
ویرایش سوم آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴)	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه +دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	R=11	H=200
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط +دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	R=8	H=70
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه+ مهاربند هم محور فولادی	R=9	H=150
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط+ مهاربند هم محور فولادی	R=7	H=70
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه+ مهاربند برون محور فولادی	R=10	H=150
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط+ مهاربند برون محور فولادی	R=7	H=70

✓ ضریب رفتار تعیین شده بر اساس طراحی به روش تنشهای مجاز می باشد.

اهداف طراحی لرزه ای ساختمانها از دیدگاه آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم

- ۱- ساختمانها ی با « **اهمیت متوسط** » در اثرزلزله طرح ، آسیب عمده سازه ای وغیر سازه ای نبینند و تلفات جانی در آنها حداقل باشد.
- ۲- *ساختمان های با« **اهمیت زیاد** » در اثرزلزله طرح ، آسیب چندانی نبینند، بطوریکه در زمان کوتاهی قابل مرمت باشند.*
- ۳- *ساختمانهای با « **اهمیت خیلی زیاد**» در زلزله طرح ، تغییر مقاومت و سختی در اجزای سازه ای وغیر سازه ای نداشته باشند، بطوریکه بهره برداری از آنها امکان پذیر باشد.*

- ۴- کلیه ساختمانهای بلند تر از ۵۰ متر ویا بیشتر از ۱۵ طبقه و نیز کلیه ساختمانهای با اهمیت زیاد وخیلی زیاد در اثر زلزله بهره برداری آسیبی نبینند وقابلیت بهره برداری خود را حفظ نمایند.

زلزله های مبنای طراحی در آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم

- الف – ***زلزله طرح***، که مبنای طراحی بند (۱)الی(۳) هدف آیین نامه است،زلزله ای است که احتمال فرا گذشت آن در۵۰ سال ده در صد باشد.دوره بازگشت این زلزله ۴۷۵ سال پیش بینی میشود.
- ب – ***زلزله بهره برداری***، که مبنای طراحی بند (۴) هدف آیین نامه است،زلزله ای است که احتمال فرا گذشت آن در۵۰ سال ۹۹/۵ در صد باشد.دوره بازگشت این زلزله حدود ۱۰ سال پیش بینی میشود.

ویرایش آئین نامه	سیستم سازه ای مقاوم در برابر نیروی جانبی	R	Ω_0	C_d	H
ویرایش چهارم آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۹۲)	▪ سیستم قاب ساده + مهاربند های همگرای ویژه	۵/۵	۲	۵	۵۰
	▪ سیستم قاب ساده + مهاربند همگرای معمولی	۳/۵	۲	۳/۵	۱۵
	▪ سیستم قاب ساده + مهاربند های واگرای ویژه	۷	۲	۴	۵۰
	▪ سیستم قاب ساده + مهاربندهای کمانش تاب	۷	۲/۵	۵	۵۰
	▪ سیستم دیوارهای باربر متشکل از قاب سبک فولادی سرد نورد شده ومهار تسمه ای فولادی	۴	۲	۳/۵	۱۵
	▪ سیستم دیوارهای باربر متشکل از قاب سبک فولادی سرد نورد شده صفحات پوشش فولادی	۵/۵	۳	۴	۱۵

✓ ضریب رفتار تعیین شده بر اساس طراحی به روش حالت حدی(LRFD) می باشد.

ویرایش آئین نامه	سیستم سازه ای مقاوم در برابر نیروی جانبی	R	Ω	C_d	H
ویرایش چهارم آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۹۲)	▪ سیستم قاب خمشی فولادی ویژه	۷/۵	۳	۵/۵	۲۰۰
	▪ سیستم قاب خمشی فولادی متوسط	۵	۳	۴	۵۰
	▪ سیستم قاب خمشی فولادی معمولی	۳/۵	۳	۳	۱۵
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه+دیوار برشی بتن آرمه ویژه	۷/۵	۲/۵	۵/۵	۲۰۰
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط+ دیوار برشی بتن آرمه متوسط	۶	۲/۵	۴/۵	۵۰

✓ ضریب رفتار تعیین شده بر اساس طراحی به روش حالت حدی(LRFD) می باشد.

ویرایش آئین نامه	سیستم سازه ای مقاوم در برابر نیروی جانبی	R	Ω	C_d	H
ویرایش چهارم آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۹۲)	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه+مهاربند همگرای ویژه فولادی	۷	۲/۵	۵/۵	۲۰۰
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربند همگرای ویژه فولادی	۶	۲/۵	۵	۷۰
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی ویژه+مهاربند واگرای ویژه فولادی	۷/۵	۲/۵	۴	۲۰۰
	▪ سیستم مختلط قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربند واگرای ویژه فولادی	۶	۲/۵	۵	۷۰
	▪ سیستم کنسولی فولادی ویژه	۲	۱/۵	۲	۱۰

✓ ضریب رفتار تعیین شده بر اساس طراحی به روش حالت حدی(LRFD) می باشد.

تحلیل خطر زلزله مطابق استاندارد ۲۸۰۰

- حرکت زمین که در تحلیل سازه ها مورد استفاده قرار مـی گیـرد، بایـد حداقل دارای شرایط " ***زلزله طرح*** " باشد.آثار حرکت زمـین بـه یکـی ازصورت های « ***طیف بازتاب شتاب***» ویا « ***تاریخچه زمانی شـتاب*** » مشخص می شود.
- برای « ***طیف بازتاب شتاب*** » می تـوان از « ***طیف طرح استاندارد*** » ویا از « ***طیف طرح ویژه ساختگاه***» استفاده نمود.

• طیف طرح استاندارد

- این طیف همان طیف طرح هموار شده آئین نامه هاست که بر اساس خصوصیات منطقه وشرایط خاک محل بدست آمده و منعکس کننده اثر حرکت زمین برای ***زلزله طرح*** در آئین نامه است.
- *این طیف از حاصلضرب مقادیر ضریب بازتاب ساختمان B در پارامترهای : نسبت شتاب مبنای A ، ضریب اهمیت I وعکس ضریب رفتار $1/R_u$ بدست می آید.*
- در تعیین این طیف نسبت میرائی ۵٪ در نظر گرفته شده است.

• طیف طرح ویژه ساختگاه

- این طیف با استفاده از مشخصات زلزله های منطقه ساختگاه وبا توجه به ویژگی های زمین شناسی، تکتونیکی،لرزه شناسی، میزان خطر پذیری ومشخصات خاک در لایه های مختلف ساختگاه، و با بکارگیری نسبت میرائی ۵٪ تعیین می گردد.
- در صورتیکه نوع ساختمان و سطح زلزله مورد نظر نسبت میرائی متفاوتی را ایجاب کند، می توان آن را مبنای تهیه طیف قرار داد.
- مقادیر محاسبه شده این طیف باید درضریب اهمیت I وعکس ضریب رفتار $1/R_u$ ضرب گردد.
- مقادیر طیف طرح ویژه ساختگاه *نباید کمتر از ۸۰٪ مقادیر طیف طرح استاندارد* اختیار شود.

- طیف طرح ویژه را می توان در کلیه ساختمان ها به کاربرد،ولی استفاده از آن در ساختگاه هایی زیر:
- *الف- برای ساختگاه هایی که دارای خصوصیاتی غیر از زمین های نوع I تا IV هستند.*
- *ب- در ساختگاه هایی که زمین آنها متشکل از رس یا لای نرم دارای رطوبت زیاد با حداقل ضخامت ۱۰ متر و PI>40 (دامنه خمیری خاک) می باشد.*
- *پ- در ساختگاه هایی که لایه خاک با سرعت موج برشی معادل خاک های نوع III یا IV وضخامت بین ۵ تا ۲۰ متر بر روی یک لایه سخت با سرعت موج برشی بیش از ۷۵۰ m/s قرار گرفته وسرعت موج برشی این لایه سخت حداقل ۳ برابر متوسط سرعت موج برشی لایه فوقانی باشد.*
- که مطالعات ویژه ساختگاه برای آنها الزامی است ونیز در مورد ساختمان هایی زیر:
- ساختمان های منظم با ارتفاع بیش از ۵۰ متر از تراز پایه

- ساختمان های نا منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه که دارای :
- *- نامنظمی زیاد وشدید پیچشی در پلان باشند*
- *- نامنظمی جرمی، نرم وخیلی نرم در ارتفاع باشند.*
- که مشمول استفاده از روش تحلیل دینامیکی می شوند و در انها یکی از شرایط زیر موجود است، الزامی است.
- *الف- ساختمان های با ارتفاع بیش از ۱۵۰ متر از تراز پایه ویا دارای زمان تناوب اصلی نوسان T، بیشتر از ۳/۵ ثانیه*
- *ب- ساختمان های « با اهمیت خیلی زیاد و زیاد» که بر روی زمین های غیر از نوع I ، II یا III ساخته می شوند.*
- *پ- ساختمان های بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین های غیر از نوع I،II یا III ساخته می شوند.*
- *ت- ساختمان های بلندتر از ۵۰ متر که برروی زمین های نوع II وIII، با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر ساخته می شوند.*

- ***تاریخچه زمانی شتاب ،شتاب نگاشت***
- حرکت زمین در تعیین اثر زلزله بر ساختمانها را می توان مستقیماً با منظورنمودن تغییرات شتاب با زمان در تحلیل دینامیکی سازه بدست آورد.
- شتاب نگاشت هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا،در هنگام زلزله ، باشند .برای نیل به این هدف لازم است ***حداقل سه زوج شتاب نگاشت متعلق به مولفه های افقی سه زلزله مختلف ثبت شده که دارای ویژگی های زیر باشند انتخاب گردند:***
- الف- شتاب نگاشت ها متعلق به زلزله هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضا کنندودر آنها اثر: بزرگا، فاصله از گسل،سازوکار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شده باشد.

- ب- ساختگاه های شتاب نگاشت ها باید به لحاظ ویژگی های زمین شناسی،تکتونیکی،لرزه شناسی وبخصوص مشخصات لایه های خاک با زمین محل ساختمان ، تا حد امکان مشابهت داشته باشد.
- پ- مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت ها ***حداقل برابر ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه***،هر کدام بیشتر است باشد.مدت زمان حرکت شدید شتاب نگاشت ها را می توان از روشهای معتبر مانند روش توزیع تجمعی انرژی، تعیین کرد.

- ***زوج شتاب نگاشت های انتخاب شده برای تحلیل سه بعدی سازه ها باید به روش زیر به مقیاس درآورده شوند:***
- الف- هر زوج شتاب نگاشت به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند.بدین معنی که حداکثر شتاب در مولفه ای که دارای بیشینه بزرگ تری است، برابر با شتاب ثقل g گردد.
- ب- طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتاب نگاشت های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرائی ۵٪ تعیین گردد.
- پ- طیف ها ی پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده ویک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.
- ت- هر زوج شتاب نگاشت چنان مقیاس شود که برای هر پریود در محدوده ۰/۲Tالی ۱/۵T ، مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مولفه ها ، بیش از ۱۰٪ از ۱/۳ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود.
- ث- ضریب مقیاس تعیین شده باید در شتاب نگاشت های مقیاس شده در بند الف ضرب شود ودر تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.
- در مواردیکه تحلیل سازه بصورت دوبعدی است، طیف مولفه بزرگتر شتاب نگاشت باید با طیف استاندارد مقایسه شود.

اهداف طراحی لرزه ای ساختمانها از دیدگاه آیین نامه زلزله ATC-40

Applied technology council

- در این آیین نامه انتخاب روش عملکرد سازه به عهده کار فرما گذاشته شده است.
- بدین ترتیب طراح باید ساختمان را برای تآمین ایمنی مورد نظر کارفرما طراحی کند.
- در این آیین نامه سه نوع حرکت زلزله به صورت کلی زیر تعریف شده است.

- ***زلزله سطح بهره برداری(SE):***حرکت زلزله ایست که احتمال وقوع آن طی ۵۰ سال عمر مفید سازه کمتر از ۵۰٪ باشد.

- ***زلزله طراحی(DE):*** حرکت زلزله ایست که احتمال وقوع آن طی ۵۰ سال عمر مفید سازه کمتر از ۱۰٪ باشد.

- ***زلزله شدید (ME):*** حداکثر زلزله ایست که با توجه به شرایط ژئوتکنیکی محل،امکان وقوع آن انتظار میرود ویا حرکت زلزله ای که طی ۵۰ سال عمر مفید سازه احتمال وقوع آن کمتر از ۵٪ باشد.
- *سپس این آیین نامه با تعریف سطوح عملکرد مختلف این قابلیت را ایجاد میکند که کارفرما هرگونه سطح ایمنی را در خواست نماید.*

اهداف طراحی لرزه ای ساختمانها از دیدگاه دستورالعمل بهسازی سازه ها (نشریه ۳۶۰)ایران ودستورالعمل FEMA-356

Federal Emergency Management Agency

- انواع اهداف بهسازی با توجه به ضوابط دستور العمل FEMAونشریه ۳۶۰ ایران به شرح زیر می باشد:
- ***۱ - بهسازی مبنا:*** در بهسازی مبنا پیش بینی میشود که تحت زلزله «سطح خطر -۱ » ایمنی جانی ساکنین تأمین گردد.
- ***۲ - بهسازی مطلوب :*** در بهسازی مطلوب پیش بینی می شود که هدف بهسازی مبنا تأمین شده وساختمان تحت زلزله «سطح خطر - ۲» فرونریزد.

- ۳- ***بهسازی ویژه :*** بهسازی ویژه نسبت به بهسازی مطلوب از عملکرد بالاتری برخوردار است .در این نوع بهسازی پیش بینی میشود که ساختمان تحت زلزله سطح خطر -۲ عملکرد ایمنی جانی داشته باشد.
- ۴- ***بهسازی محدود :*** بهسازی محدود براساس عملکرد پائین تر از بهسازی مبنا است،به طوریکه حداقل یکی از اهداف زیر را برآورده نماید:
- *- تحت زلزله خفیف تر از زلزله «سطح خطر-۱» ایمنی جانی ساکنین تأمین گردد.*
- *- تحت زلزله خفیف تر از زلزله «سطح خطر-۱» ساختمان فرو نریزد.*

- ***۵- بهسازی موضعی :*** در این بهسازی بخشی از یک طرح بهسازی کلی بدلایلی وبا توجه به شرایط موجود اجرا میشود.در بهسازی موضعی نکات زیر رعایت میگردد.
- *- بهسازی بخشی از یک ساختمان نباید منجر به پائین آمدن سطح عملکرد کل ساختمان شود.*
- *- بهسازی نباید موجب نامنظم شدن ساختمان یا افزایش بی نظمی در آن شود.*
- *بهسازی نباید موجب افزایش نیروهای ناشی از زلزله در اعضایی باشد که قادر به تحمل نیروی ناشی از سطح خطر مورد نظر باشد.*

تحلیل خطر زلزله وطیف طراحی:

- تحلیل خطر با هدف برآورد پارامترهای حرکت قوی زمین انجام می گیرد.خطر ناشی از زلزله به دو صورت « ***طیف طرح شتاب*** » و « ***تاریخچه زمان شتاب*** » تعریف و به دو صورت « ***احتمالی*** » و « ***تعینی*** » برآورد می شود.

سطوح خطر زلزله

- سطح خطر، در صد احتمال فراگذشت زلزله ای مشخص در یک بازه زمانی معین (عمر قابل بهره برداری ساختمان)در نظر گرفته میش
- ***زلزله سطح خطر بهره برداری(SE):*** زلزله ای با بزرگی کم یا متوسط که احتمال وقوع زلزله بزرگتر ازآن در دوره ۵۰ ساله در ساختگاه مورد نظر، ۵۰٪ در صد است.(دوره بازگشت ۷۲ سال)
- ***زلزله سطح خطر-۱ یا سطح طراحی(DE) :*** زلزله ای با بزرگی نسبتاً زیاد که احتمال وقوع زلزله بزرگتر ازآن دردوره ۵۰ ساله در ساختگاه مورد نظر، ۱۰٪ است.(دوره بازگشت ۴۷۵سال)
- ***زلزله سطح خطر-۲ یا زلزله ماکزیمم (ME):*** زلزله ای با بزرگی خیلی زیاد که احتمال وقوع زلزله بزرگتر از آن در دوره ۵۰ ساله در ساختگاه مورد نظر، ۲٪ است.(دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال)

- ***زلزله نادر (Maximum credible Earthquake):***
ماکزیمم زلزله ای که در یک منطقه می تواند بوجود آید.یعنی حداکثر زلزله ای که گسلهای منطقه قادربه تولید آن باشند.(احتمال فراگذشت ۲٪)
- ***زلزله خطرانتخابی***

زلزله ای با هر احتمال وقوع در ۵۰ سال در ساختگاه مورد نظراست.این سطح خطر برای موارد خاص وبا ملاحظات ویژه، مناسب می باشد.

- ***طیف طرح شتاب***
- طیف طرح شتاب با یکی از دو فرآیند استفاده از " ***شکل طیف ثابت*** " ویا " ***شکل طیف حاصل از تحلیل ویژه ساختگاه*** " تعیین می شود.
- ***فرآیند استفاده از شکل طیف ثابت***
- فرآیند استفاده ازشکل طیف ثابت با یکی از دو روش استفاده از " ***شکل طیف استاندارد ۲۸۰۰*** " ویا استفاده از " ***شکل طیف دستورالعمل ۳۶۰*** " صورت می پذیرد.

- ***طیف استاندارد۲۸۰۰***
- طیف نمایش دهنده مجموعه ای از حداکثر پاسخ نوسانگرهای یک درجه آزادی با زمان تناوبهای مختلف ودر صد میرائی یکسان در برابر یک حرکت مشخص زمین است.
- طیف طرح استاندارد همان طیف طرح هموار شده آئین نامه هاست که براساس خصوصیات منطقه وشرایط خاک محل بدست می آید.در این روش، طیف طرح ارتجاعی شتاب ازحاصل ضرب مقادیرضریب بازتاب (B) ، شتاب مبنای طرح(A) وشتاب ثقل زمین (g) بدست می آید.طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای میرایی ۵٪ تعیین شده است.
- میزان شتاب مبنای طرح (A) مربوط به زلزله " ***سطح خطر ۱*** " با استفاده از نقشه پهنه بندی خطر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می شود.

- میزان شتاب مبنای طرح (A) مربوط به زلزله " ***سطح خطر ۲*** " با یکی از دو روش زیر تعیین می شود:
- ۱- ۱/۵ برابر ضریب A استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان هایی که برای هدف بهسازی مطلوب بهسازی می شوند.
- ۲- انجام تحلیل خطر ویژه ساختگاه برای محاسبه مقدار شتاب موثر حرکت قوی زمین در تراز پایه ساختمان برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال.

- ***طیف دستورالعمل ۳۶۰***
- تهیه طیف در این روش مستلزم برآورد شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه ۰/۲ ثانیه (S_s) ونیز مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب بلند ۱/۰ ثانیه (S_1) در سطح خطر مد نظر است. این مقادیر برای نسبت میرایی ۵٪ ودر سنگ بستر (سطح بستر لرزه ای) محاسبه می شوند. برآورد مقادیر فوق با یکی از دو روش زیر تعیین می شود:
- *۱- نقشه های معتبری که مقادیر شتاب طیفی را در سنگ بستر برای دوره بازگشت مورد نظر در اختیار قرار دهند.*
- *۲- انجام تحلیل خطر ویژه ساختگاه برای محاسبه مقادیر شتاب طیفی در سنگ بستر برای دوره بازگشت مورد نظر.*

- اثرات ساختگاهی بر مقادیر طیفی را می توان با استفاده از روابط زیر لحاظ نمود :

- $S_{xs} = F_a S_s$
- $S_{x1} = F_v S_1$

- *در این روابط F_a و F_v ضرایب نمایانگر اثرات ساختگاهی اند که از جداول (۱-۲) و (۱-۳) بر اساس نوع خاک ونیز مقادیر پارامترهای S_s و S_1 قابل برآوردند.*
- *اگر شرایط ژئوتکنیکی ویژه ای در ساختگاه حاکم باشد، استفاده از ضرایب فوق الذکر کافی نیست ولازم است با انجام مطالعات میدانی وتهیه مدل های رفتار دینامیکی مناسب ، اثر بزرگنمایی خاک را بر روی طیف بدست آمده برای سنگ بستر لحاظ نمود.*
- *هرگاه حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد، شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه ویژه تلقی می شود:*

- – خاک های مستعد فروریزش تحت بارهای لرزه ای مانند خاک های با قابلیت روانگرایی بالا ورس های بسیار حساس
- – خاک های دستی ویا خاک های متشکل از مواد آلی با ضخامت بیش از ۳ متر
- – رس های بسیار خمیری با اندیس خمیری PI>75 وضخامت بیش از ۸ متر
- – وجود لایه ای با ضخامت بیش از ۴۰ متر از رس نرم یا با سختی متوسط

جدول(۱-۲): مقادیر F_a بر حسب نوع خاک و مقدار S_S

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه، S_S				
	$S_S<0.25$	$S_S=0.50$	$S_S=0.75$	$S_S=1.00$	$S_S>1.25$
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
4	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

جدول(۱-۳): مقادیر F_v بر حسب نوع خاک و مقدار S_1

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب بلند، S_1				
	$S_1<0.1$	$S_1=0.20$	$S_1=0.3$	$S_1=0.4$	$S_1>0.50$
1	1	1	1	1	1
2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
3	2.4	2	1.8	1.6	1.5
4	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

پس از برآورد S_{XS} و S_{X1}، طیف طرح شتاب افقی مطابق شکل (۱-۱) و بر اساس روابط (۱-۳) ساخته می‌شود:

$$S_a = S_{XS}\left[\left(\frac{5}{B}-2\right)\frac{T}{T_S}+0.4\right] \qquad 0<T<T_0$$

$$S_a = S_{XS}/B \qquad T_0<T<T_S \qquad (۳-۱)$$

$$S_a = S_{X1}/(BT) \qquad T>T_S$$

که در این روابط T_S و T_0عبارتند از:

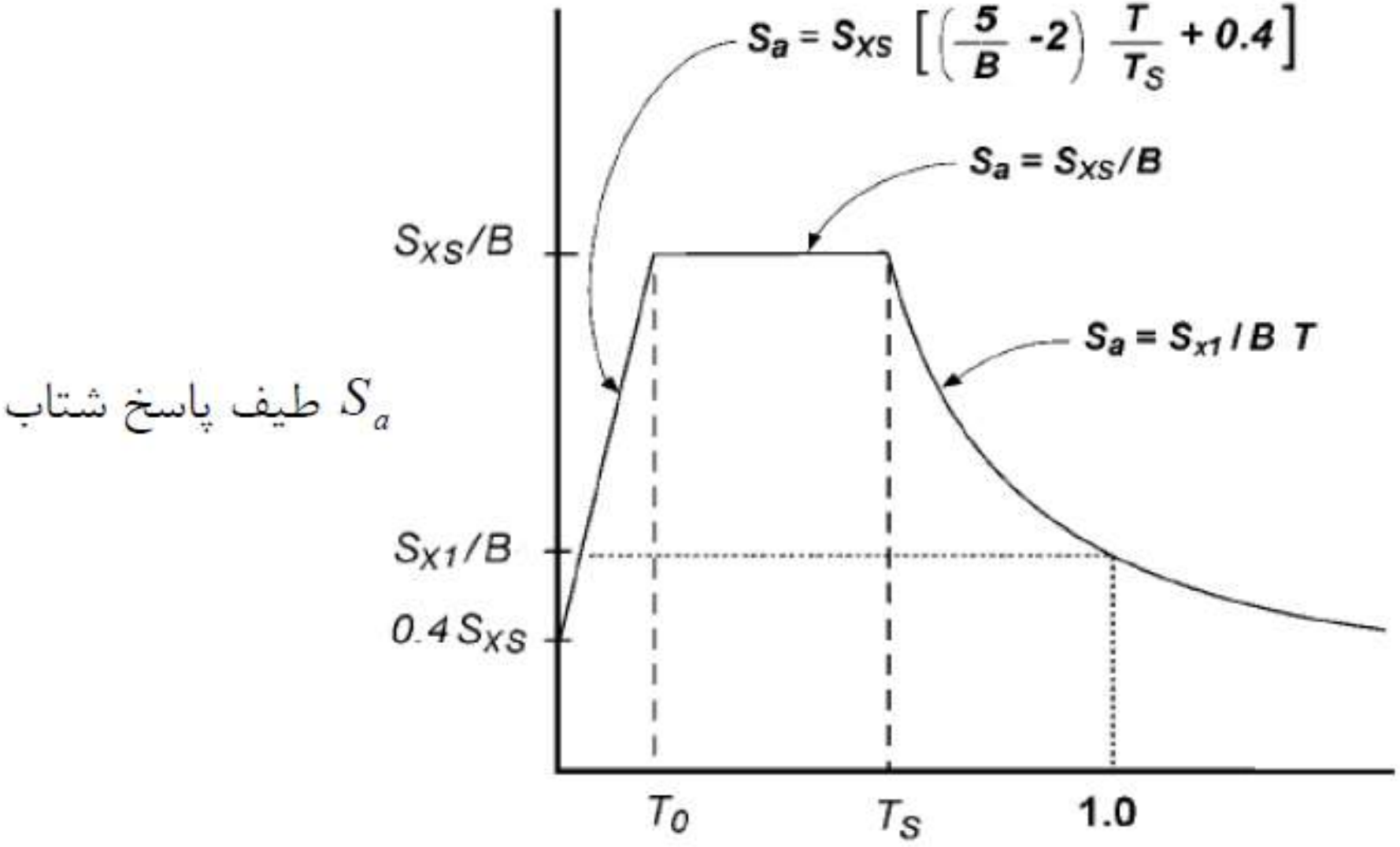
$$T_0 = 0.2T_S \qquad (۴-۱)$$

$$T_S = S_{X1}/S_{XS} \qquad (۵-۱)$$

همچنین ضریب B به صورت تابعی از نسبت میرایی موثر، β ، بیان می‌شود:

$$B = 4/\left[5.6-\ln(100\beta)\right] \qquad (۶-۱)$$

برای نسبت میرایی ۵٪ مقدار B واحد است.



شکل(۱-۱): طیف طرح شتاب افقی

- ***فرآیند استفاده از شکل طیف حاصل از تحلیل ویژه ساختگاه***

- فرآیند استفاده از شکل طیف حاصل از تحلیل خطر زلزله ویژه ساختگاه با دو روش استفاده از طیف خطر یکنواخت و استفاده از طیف طرح آماری صورت می پذیرد.
- ***طیف خطر یکنواخت***
- با انجام تحلیل خطر ویژه ساختگاه وبدست آوردن مقادیر طیف برای دوره های تناوب مختلف درسطح خطر مد نظر، طیف خطر یکنواخت محاسبه می شود.استفاده از طیف خطر یکنواخت بدست آمده به این روش به شرطی مجاز است که مقدار این طیف کمتر از ۷۰٪ طیف شکل ثابت استاندارد ۲۸۰۰ نباشد.
- برای لحاظ اثرات ساختگاهی در محاسبه طیف خطر یکنواخت روی سطح خاک می توان از دو راهکار زیر استفاده نمود:

- - برآورد طیف خطر یکنواخت در سنگ بستر ومحاسبه طیف خطر روی سطح خاک با لحاظ اثرات بزرگنمایی حاصل از مدل سازی رفتلر دینامیکی خاک.
- - برآورد مستقیم طیف خطر یکنواخت در سطح خاک با بهره گیری از روابط کاهندگی که قادر به لحاظ اثرات ساختگاهی باشند.
- ***طیف طرح آماری***
- طیف طرح آماری ویژه ساختگاه پس از تکمیل تحلیل خطر، مطابق مراحل زیر تهیه می شود:
- - انتخاب حداقل شتاب نگاشت مناسب وسازگار با زلزله کنترل کننده ونیز شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه
- - همپایه کردن شتاب نگاشت ها بر حسب حداکثر دامنه شتاب بدست آمده از تحلیل خطر ویژه ساختگاه

- - تهیه طیف پاسخ برای هریک از شتاب نگاشت ها در نسبت میرائی ۵٪ یا در صد میرائی مورد نیاز
- - تحلیل آماری وبه عنوان مثال محاسبه طیف میانگین یا میانگین بعلاوه یک انحراف معیار طیف های پاسخ، جهت تهیه طیف طرح.
- استفاده از طیف طرح میانگین یا طیف طرح میانگین بعلاوه یک انحراف معیار بشرطی مجاز است که مقدار این طیف کمتر از ۷۰٪ طیف شکل ثابت استاندارد ۲۸۰۰ نباشد.

- ***انتخاب شتاب نگاشت سازگار با خطر زلزله***
- هرگاه انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مد نظر باشد، لازم است حداقل سه جفت شتاب نگاشت افقی با رعایت شرایط زیر انتخاب ودر تحلیل مورد استفاده قرار گیرد:

➢ بزرگاء فاصله ونیز سازوکار گسلش شتاب نگاشت ها نزدیک به شرایط زلزله کنترل کننده ساختگاه باشد.

➢ با محاسبه جذر حاصل جمع مربعات طیف پاسخ هر جفت شتاب نگاشت یک طیف منفرد بدست می آید.

➢ شتاب نگاشت ها بنحوی مقیاس می شوند که طیف میانگین حاصل در محدوده زمان تناوبی ۰/۲T تا ۱/۵T کمتر از ۱/۳ برابر طیف طرح سازگار با سطح خطر مد نظر نباشد.

- ***سطوح عملکرد لرزه ای ساختمان***
- سطح عملکردی، نشان دهنده حداکثر خرابی مورد انتظار سازه می باشد، بطوریکه اگر خرابی از این حد افزایش یابد، سازه به سطح عملکرد دیگری خواهد رسید.سطوح عملکرد ساختمان برمبنای عملکرد اجزای سازه ای و غیر سازه ای مطابق بندهای زیر تعریف شده وبه اختصار با یک شماره برای عملکرد اجزای سازه ای ویک حرف برای عملکرد اجزای غیر سازه ای نشان داده می شود.

- ***سطوح عملکرد اجزای سازه ای Structure Performance Level***
- سطوح عملکرد اجزای سازه ای شامل چهار سطح عملکرد اصلی ودو سطح عملکرد میانی است.
- سطوح عملکرد اصلی عبارتند از:
- ***سطح عملکرد ۱ - قابلیت استفاده بی وقفه Immediate Occupancy Level***
- سطح عملکردی است که پیش بینی میشود در اثر وقوع زلزله، تغییر قابل توجهی در مقاومت وسختی اجزای سازه ای ایجاد نشودواستفاده بی وقفه از آن ممکن باشد.بنابراین در اعضای سازه ای سختی ومقاومت اعضاء تقریباً تغییری نمی کند وتغییر شکل ماندگار وترک خوردگی در اعضاء ایجاد نمی شود.

- **سطح عملکرد ۳ - ایمنی جانی Life Safety Level**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی ها به اندازه ای نباشد که منجر به خسارت جانی گردد.بنابراین در اعضای سازه ای سختی ومقاومت باقیمانده در تمام طبقات وجود خواهد داشت.سیستم باربر ثقلی عمل می کند وگسیختگی دیوارها در خارج از صفحه آن رخ نمی دهد.همچنین تغییر شکل ماندگار در سازه بوجود خواهد آمد.
- **سطح عملکرد ۵- آستانه فرو ریزش Collapse Prevention Level**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی گسترده در سازه ایجاد شود، اما ساختمان فرو نریزد وتلفات جانی به حداقل برسد.

- **سطح عملکرد ۶- لحاظ نشده Not Considered**
- در این مورد برای عملکرد اجزای سازه ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نمی شود.
- سطوح عملکرد میانی عبارتند از:
- **سطح عملکرد ۲ - خرابی محدود Damage Control Performance**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی درسازه به میزان محدود ایجاد شود، به گونه ای که پس از زلزله با انجام مرمت بخش های آسیب دیده ، ادامه بهره برداری از ساختمان میسر باشد.
- **سطح عملکرد ۴ - ایمنی جانی محدود Limited Safety Performance**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی درسازه ایجاد شود، اما میزان خرابی ها به اندازه ای باشد که خسارت جانی به حداقل برسد.

- ***سطوح عملکرد اجزای غیر سازه ای Non-Structure Performance Level***
- سطوح عملکرد اجزای غیرسازه ای شامل پنج سطح عملکرد به شرح زیر می باشد:
- ***سطح عملکرد A– خدمت رسانی بی وقفه Operational Performance Level***
- سطح عملکردی است که پیش بینی میشود در اثر وقوع زلزله، اجزای غیر سازه ای دچار خرابی بسیار جزئی شوند، بنحوی که خدمت رسانی ساختمان بطور پیوسته انجام شود.بنابراین در اعضای غیر سازه ای تمام سیستم های لازم برای عملکرد ساختمان فعال باقی می مانند ودیوارهای داخلی ونما وسقف ها ترک نمی خورند.خرابی های ناچیزایجاد میشود وسیستم تاسیسات وبرق رسانی فعال باقی می مانند.

- **سطح عملکرد B– قابلیت استفاده بی وقفه Immediate Occupancy Performance Level**
- سطح عملکردی است که پیش بینی میشود در اثر وقوع زلزله، اجزای غیر سازه ای دچار خرابی جزئی شوند، به گونه ای که پس از زلزله راه های دسترسی وفرار مانند در ها، راهروها، پله ها،آسانسورها، و روشنایی آنها مختل نشده واستفاده از ساختمان بی وقفه میسر باشد.بنابراین اعضای غیر سازه ای همانند آسانسورها قابل استفاده مجدد باقی می مانند وتجهیزات اطفای حریق قابل استفاده اند.تأسیسات ساختمان دچار خرابی ناچیز میشوند ولی با تعمیرات جزئی قابل استفاده خواهند بود.
- **سطح عملکرد C - ایمنی جانی Life Safety Performance Level**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی اجزای غیر سازه ای خطر جدی برای جان ساکنین بوجود نیاورد.بنابراین در اعضای غیر سازه ای از خطرات فروریزش اشیاء جلوگیری می شود، اما بسیاری ازتأسیسات ساختمان وعناصر معماری صدمه خواهند دید.

- **سطح عملکرد D - ایمنی جانی محدود Hazards Reduced Performance Level**
- سطح عملکردی است که پیش بینی می شود در اثر وقوع زلزله خرابی اجزای غیر سازه ای به میزانی باشد که خسارت جانی به حداقل برسد.
- **سطح عملکرد E - لحاظ نشده Not-Considered**
- در این مورد برای عملکرد اجزای غیرسازه ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نمی شود.

- ***سطوح عملکرد کل ساختمان***
- سطوح مختلف عملکرد کل ساختمان که در بهسازی مبنا، مطلوب و ویژه بکار میروند، برحسب سطوح عملکرد سازه ای وغیر سازه ای مطابق بندهای زیر تعریف می شوند:
- ***سطح عملکرد A-1– خدمت رسانی بی وقفه Operational Performance Level***
- ساختمانی دارای سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه است که اجزای سازه ای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی وقفه) واجزای غیر سازه ای آن دارای سطح عملکرد A (خدمت رسانی بی وقفه) باشند.در مجموع می توان گفت در سطح عملکردی A-1 خسارت کلی ساختمان بسیار کم است.

- **سطح عملکرد B-1– قابلیت استفاده بی وقفه Immediate Occupancy Performance Level**
- ساختمانی دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه است که اجزای سازه ای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی وقفه) واجزای غیر سازه ای آن دارای سطح عملکرد B (قابلیت استفاده بی وقفه) باشند.در مجموع می توان گفت در سطح عملکردی B-1 خسارت کلی ساختمان کم است.
- **سطح عملکرد C-3– ایمنی جانی Life Safety Performance Level**
- ساختمانی دارای سطح عملکرد ایمنی جانی است که اجزای سازه ای آن دارای سطح عملکرد ۳ (ایمنی جانی) واجزای غیر سازه ای آن دارای سطح عملکرد C (ایمنی جانی) باشند.در مجموع می توان گفت در سطح عملکردی C-3 خسارت کلی ساختمان متوسط است.

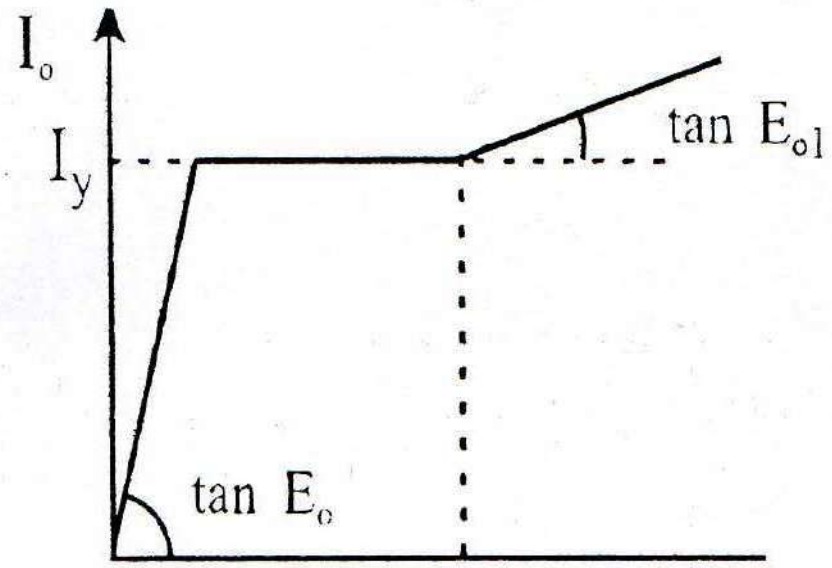
- **سطح عملکرد E-5– آستانه فرو ریزش Collapse Prevention Performance Level**
- ساختمانی دارای سطح عملکرد آستانه فروریزش است که اجزای سازه ای آن دارای سطح عملکرد ۵ (آستانه فروریزش) ومحدودیتی برای سطح عملکرد اجزای غیر سازه ای آن وجود نداشته باشد E (سطح عملکرد لحاظ نشده). در مجموع می توان گفت در سطح عملکردی E-5خسارت کلی ساختمان شدید است.

سطوح عملکرد ساختمان

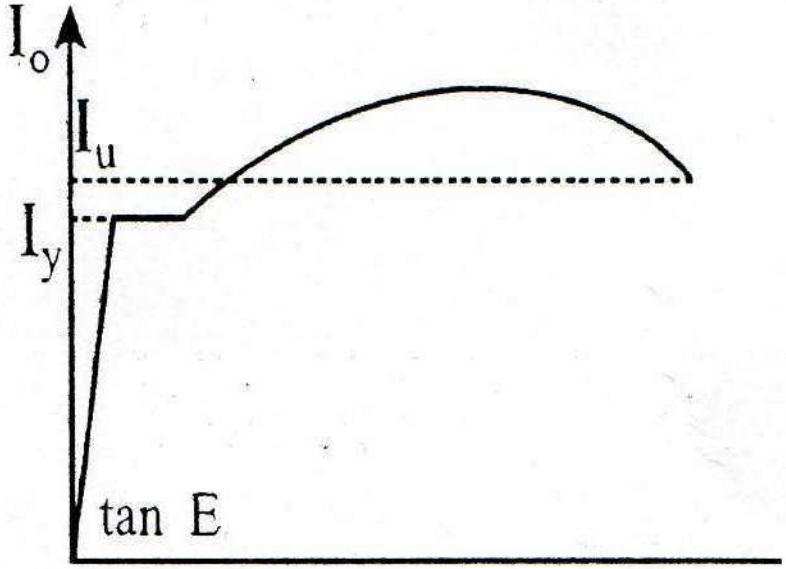
سطوح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای	سطوح عملکرد سازه					
	قابلیت استفاده بی‌وقفه S-1	خرابی محدود S-2	ایمنی جانی S-3	ایمنی جانی محدود S-4	آستانه فروریزش S-5	لحاظ نشده S-6
خدمت‌رسانی بی‌وقفه N-A	خدمت‌رسانی بی‌وقفه A-1	A-2	*	*	*	*
قابلیت استفاده بی‌وقفه N-B	قابلیت استفاده بی‌وقفه B-1	B-2	B-3	*	*	*
ایمنی جانی N-C	C-1	C-2	ایمنی جانی C-3	C-4	C-5	C-6
ایمنی جانی محدود N-D	*	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
لحاظ نشده N-E	*	*	*	E-4	آستانه فروریزش E-5	ارزش بهسازی ندارد

*این سطوح عملکرد به دلیل اختلاف زیاد بین سطح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، توصیه نمی‌شود.

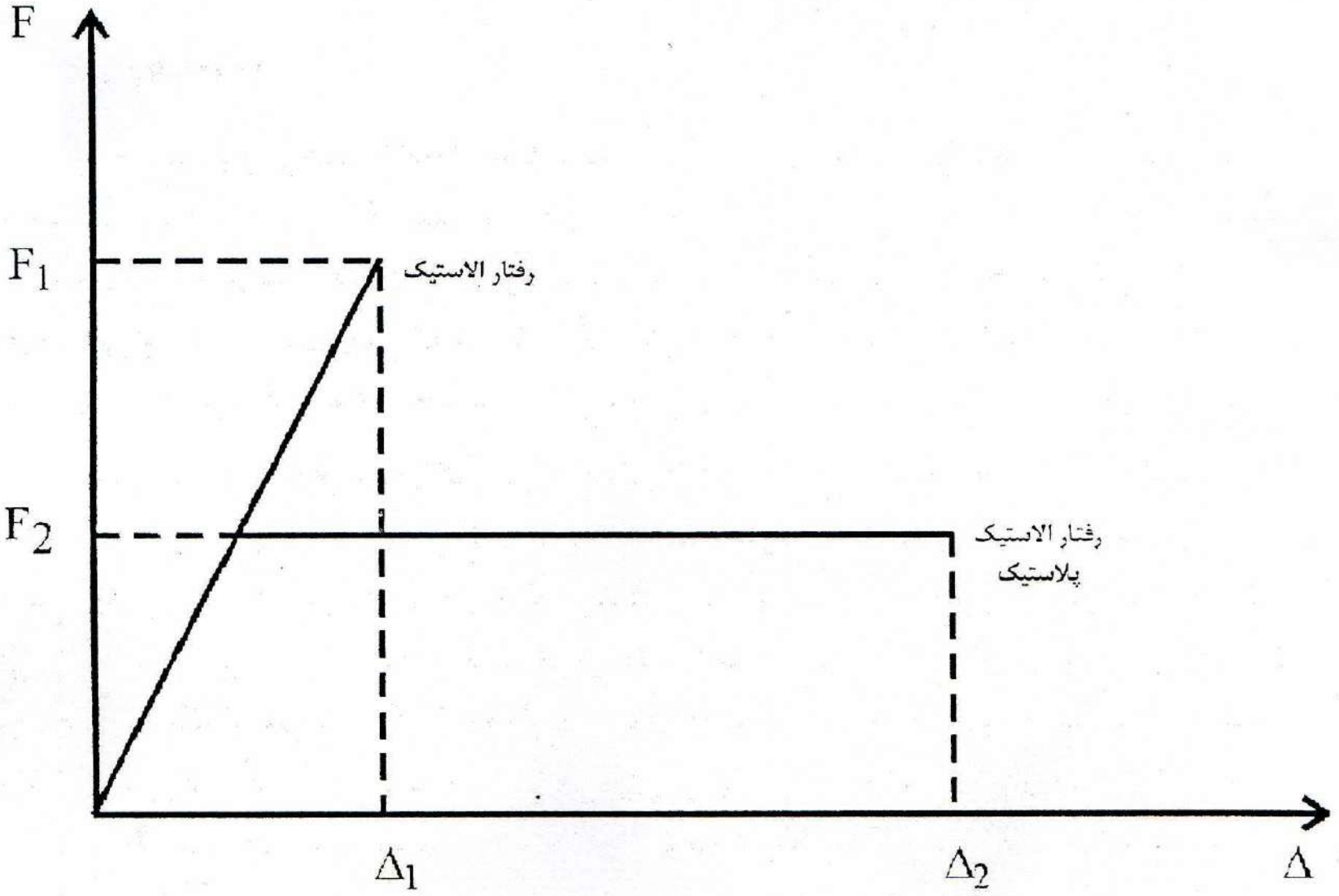
آنچه در طراحی لرزه ای ساختمانها باید مد نظر قرار گیرد:



منحنی ایده‌آل تنش-کرنش فولاد



منحنی واقعی تنش-کرنش فولاد



مقایسهٔ رفتار خطی و غیر خطی ایده‌آل سیستم‌های مقاوم ساختمانی

- از مقایسه دو نوع رفتار خطی وغیر خطی این نتیجه بدست میآید که اگر در یک سیستم با رفتار خطی بخواهد انرژی زلزله را جذب کند باید دارای ظرفیت باربری به اندازه F_1 باشد. در این صورت سازه تغییر مکان ماکزیممی برابر Δ_1 را تجربه خواهد کرد.
- در سیستم غیر خطی با حد جاری شدن F_2، سیستم سازه ای باید برای نیروی معادل F_2 طراحی شود ولی تغییر مکان Δ_2 را تجربه خواهد کرد.طراحی سازه برای نیروی کمتر F_2 منجر به اقتصادی شدن مقاطع می شود، ولی باید با تدابیر ویژه امکان پذیرش تغییر مکانهای زیاد در اعضاء را فراهم کرد.

- *بطور خلاصه آنچه در طراحی سازه باید مد نظر قرار گیرد عبارتند از:*
- ***با ایجاد سختی ومقاومت کافی بتوان تغییر مکان های جانبی بوجود آمده را کنترل نمود.***
- ***- با ایجاد شکل پذیری کافی و در نتیجه افزایش قدرت جذب ودفع انرژی در سازه وکاهش نیروی وارد به آن بتوان از فروریزی سازه در اثر زلزله های شدید جلوگیری کرد.***

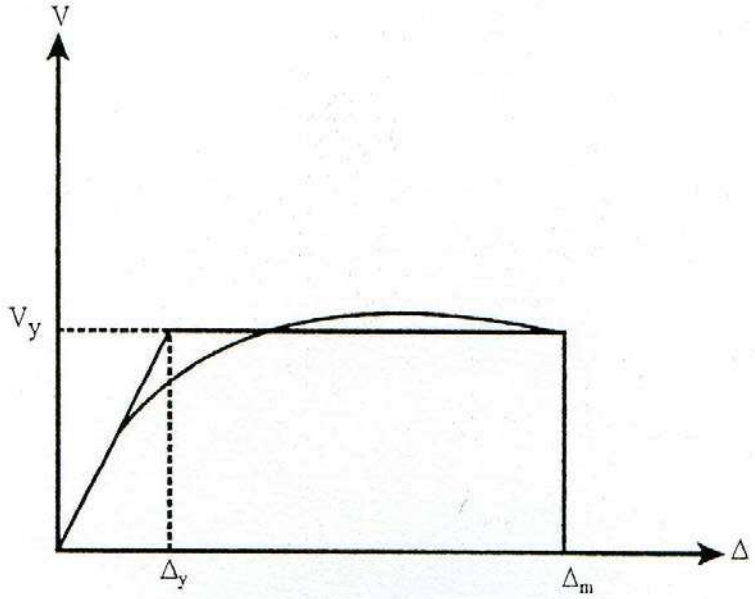
پارامترهای لرزه ای

- ضریب شکل پذیری

قابلیت یک سازه در تحمل تغییر شکلهای غیر ارتجاعی بدون انهدام را شکل پذیری نامند.

برای سازه ای با یک درجه آزادی، نسبت تغییر مکان جانبی حداکثر Δ_m به تغییر مکان جانبی تسلیم Δ_y ، ضریب شکل پذیری نامیده می شود.

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}$$



منحنی ایده‌آل و واقعی نیرو - تغییر مکان یک سیستم

- در واقع ضریب شکل پذیری بیانگر میزان ورود سازه در ناحیه غیرخطی است.
- در سازه های با چند درجه آزادی تعریف شکل پذیری قدری مشکل تر است، به علت اینکه در این نوع سازه ها برای هر درجه آزادی می توان شکل پذیری جداگانه ای معرفی کرد.عموماً شکل پذیری یک قاب را به صورت نسبت تغییر مکان حداکثر به تغییر مکان تسلیم در بالاترین نقطه سازه را پیشنهاد می نمایند.

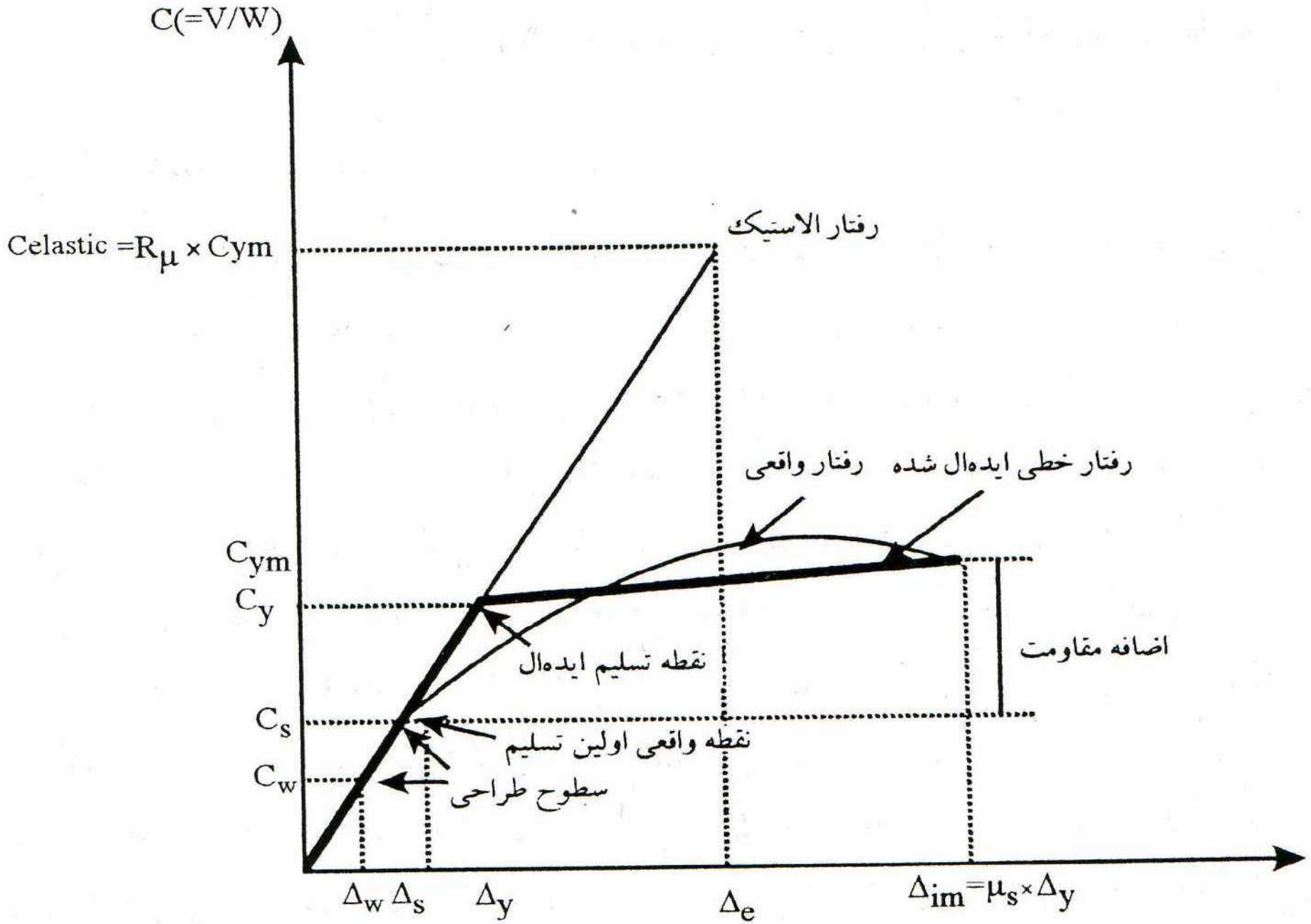
▪ ضریب کاهش مقاومت در اثرشکل پذیری سازه

- طبق تعریف ضریب کاهش مقاومت(کاهش در مقاومت مورد نیاز بعلت رفتار چرخه ای سازه)، نسبت مقاومت مورد نیاز حالت ارتجاعی به مقاومت مورد نیاز حالت غیر ارتجاعی است.

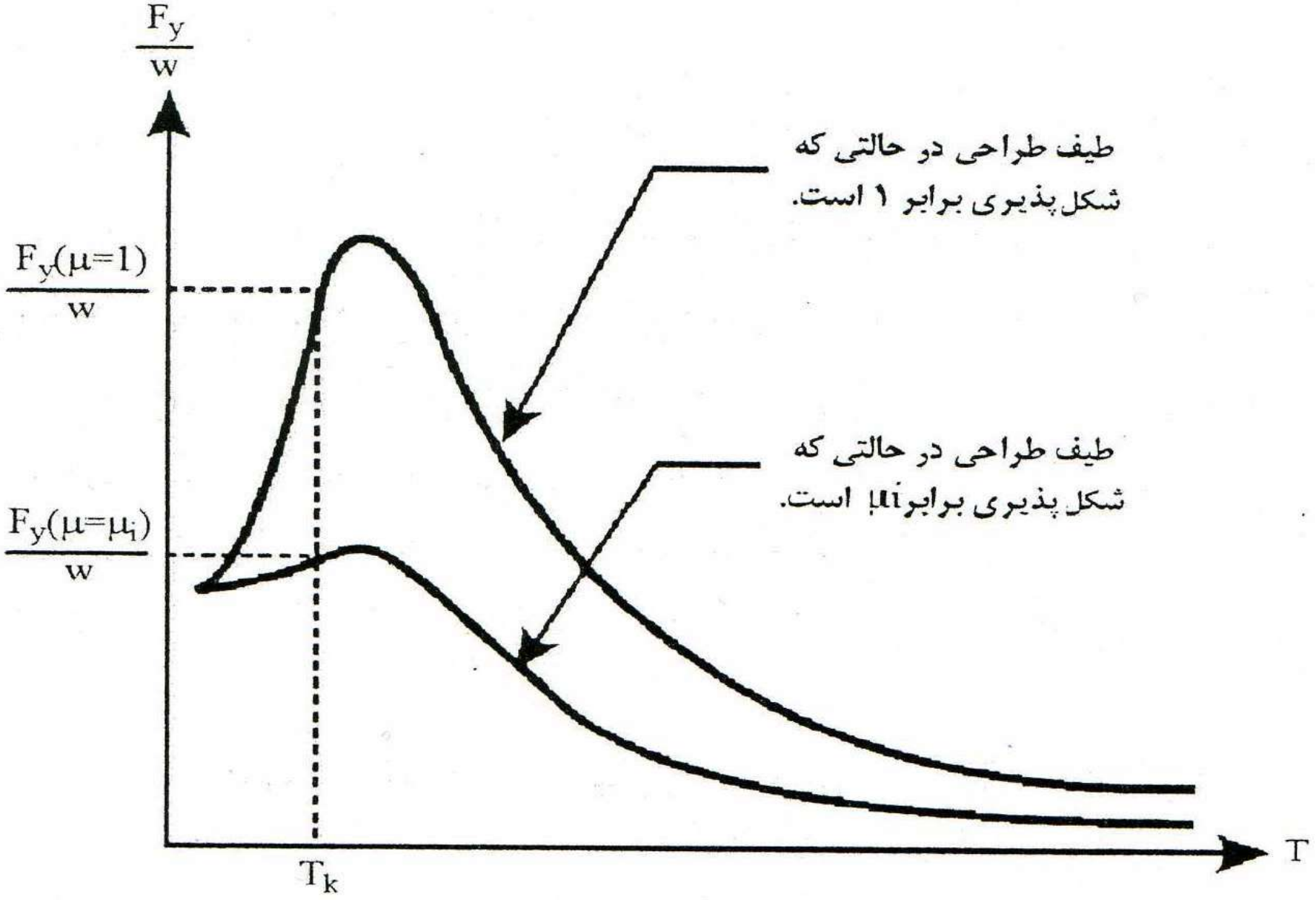
$$R_\mu = \frac{F_y(\mu = 1)}{F_y(\mu = \mu_i)} \qquad R_\mu = \frac{C_e}{C_{ym}}$$

- $F_y(\mu = 1)$ حداقل مقاومت حد تسلیم مورد نیاز برای جلوگیری از تسلیم یک سازه دریک زلزله معین
- $F_y(\mu = \mu_i)$ مقاومت حد تسلیم مورد نیاز در حالتی که شکل پذیری برابر μi باشد.

- ضریب رفتار،ضریب اصلاح طیف بازتاب مقاومت در حالت غیرارتجاعی است.
- ضریب کاهش Rμ به عوامل متعددی همچون نوع سیستم سازه ای،کیفیت اتصالات،تعداد طبقات و... بستکی دارد.



تغییر مکان طبقه



شکل ۱-۲: طیف بازتاب ارتجاعی و غیرارتجاعی با شکل‌پذیری ثابت

▪ ضریب اضافه مقاومت (R_s (Ω_0)

- نسبت مقاومت ترازجاری شدن واقعی سازه به مقاومت ترازاولین جاری شدن سازه را ضریب اضافه مقاومت گویند.

$$R_s = \frac{C_{ym}}{C_s}$$

- وبه عواملی چون :
- - امکان باز پخش مجدد نیروها بعلت درجه نا معینی
- - مقاومت بالاتر از حد مشخص شده مصالح
- - سخت شدگی کرنشی
- - ضوابط حداقل آیین نامه ها جهت رعایت ابعاد وجزئیات قطعات
- - اثرات مجموعه بارگذاری های مختلف
- - اثرات اجزاء غیر سازه ای

▪ ضریب تنش مجاز Y

- نسبت مقاومت ترازاولین جاری شدن سازه، به مقاومت تراز مربوط به نیروی طراحی را ضریب تنش مجازگویند.

$$Y = \frac{C_s}{C_w} = \frac{M_p}{M_w} \approx 1.4$$

ضریب رفتار ساختمان

- به منظور اعمال اثر رفتار غیر خطی واتلاف انرژی در اثر رفتار هیسترزیس ، میرایی واثر اضافه مقاومت در طراحی سازه ها، بار موثر ناشی از زلزله بر پایه تحلیل های الاستیک خطی با ضریب رفتار ساختمان R کاهش یافته وبدین وسیله به بار طراحی تبدیل میگردد.

$$R = \frac{C_{elastic}}{C_{design}}$$

- در رابطه فوق
- $C_{elastic}$ مقاومت الاستیک مورد نیاز زلزله و
- C_{design} مقاومت طراحی سازه میباشد که برای روش طراحی حدی C_s وبرای روش طراحی با تنشهای مجاز C_w را به خود اختصاص می دهد.بنابراین

$$R_u = \frac{C_e}{C_s} \qquad R_w = \frac{C_e}{C_w}$$

- که در آن Ru ضریب رفتار بر مبنای طراحی به روش حالت حدی وRw ضریب رفتار بر مبنای طراحی به روش تنش های مجاز هستند.

برای مشخص شدن نقش ضریب کاهش مقاومت در اثرشکل پذیری وضریب اضافه مقاومت در ضریب رفتار، میتوان روابط فوق را به صورت زیر نوشت.

$$R_u = \frac{C_e}{C_s} = \frac{C_e}{C_{ym}} \times \frac{C_{ym}}{C_s} = R_\mu \times R_s$$

$$R_w = \frac{C_e}{C_w} = \frac{C_e}{C_{ym}} \times \frac{C_{ym}}{C_s} \times \frac{C_s}{C_w} = R_\mu \times R_s \times Y$$

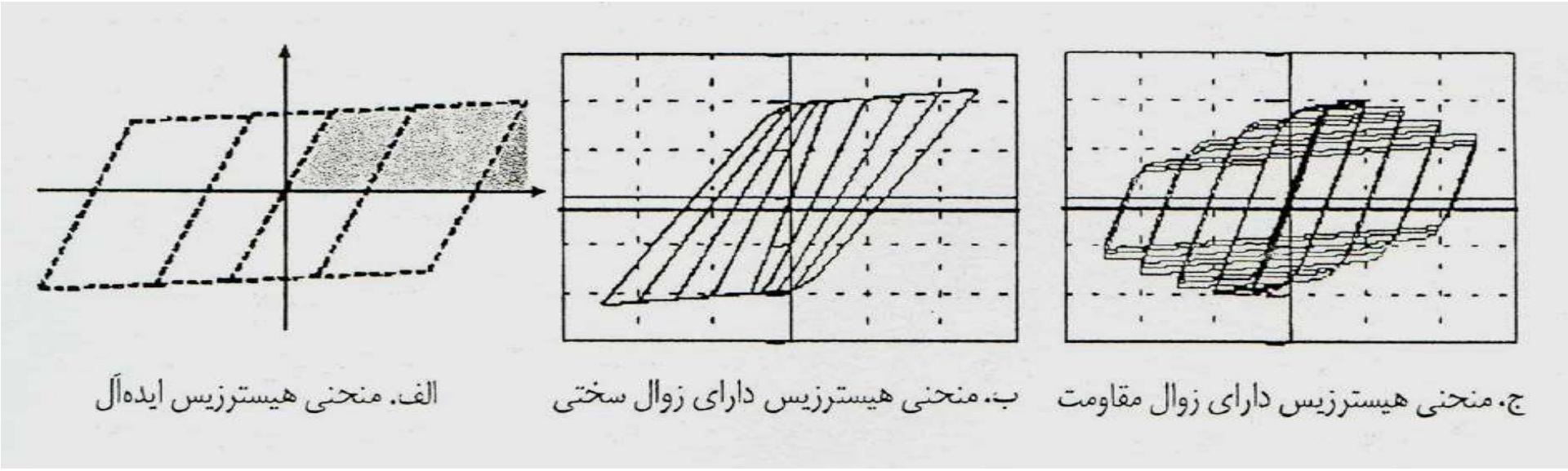
$$R_w = Y \times R_u$$

ضریب تبدیل جابجایی خطی به غیر خطی

- در طراحی لرزه ای، جابجایی جانبی غیرخطی(واقعی) یک سازه ناشی از زلزله های شدید را می توان با اعمال ضریبی به نام ضریب افزایش تغییر مکان،Cd، به جابجایی های حاصل از تحلیل خطی سازه تحت اثر بارهای جانبی آیین نامه ای، تخمین زد.
- تخمین جابجایی واقعی سازه(پاسخ غیر خطی) میتواند در تعیین درز انقطاع دو ساختمان مجاور،تعیین محدودیت جابجایی نسبی طبقات به منظور کنترل کرنش در مصالح واجزاء غیر سازه ای وتاسیساتی و... کاربرد داشته باشد.

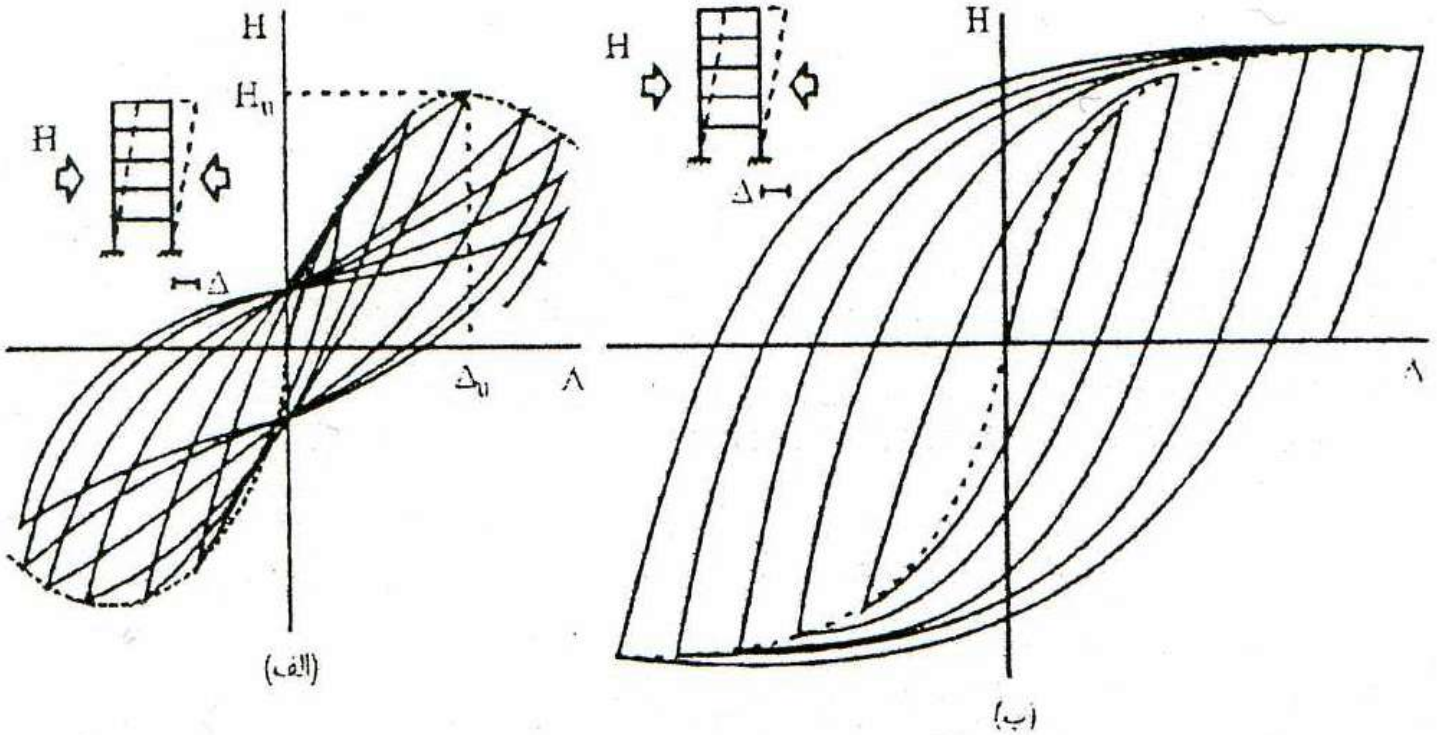
▪ منحنی هیسترزیس ورفتار چرخه ای سازه ها

- اگر یک میله را تحت کشش محوری رفت وبرگشتی قرار دهیم منحنی ایده آل الاستوپلاستیک نیرو تغییر مکان آن مطابق شکل زیر خواهد بود.



- کل انرژی انتقالی به میله سطح ذوذنقه است، که سطح مثلث بیانگر انرژی است که دراثرباربرداری برگشت داده شده وسطح متوازی الاضلاع باقیمانده، بیانگر انرژی جذب شده توسط المان است.

- *سطح زير منحني نمودار هيسترزيس بيانگر ميزان انرژي مستهلك شده ناشي از زلزله ميباشد، هرچه ميزان اين سطح بزرگتر باشد، بيانگر ميزان شكل پذيري بيشتر است.*
- *تقارن در نمودار هيسترزيس بيانگر يكسا ن بودن رفتار سازه در بارهاي رفت و برگشتي است، هر چه ميزان تقارن در اين نمودار بيشتر باشد،رفتار يكنواخت تري از سازه در زلزله مورد انتظار است.*
- چنانچه شيب نمودار در سيكل هاي متوالي كاهش پيدا كند، سازه داراي زوال سختي ميباشد.
- چنانچه ارتفاع نمودار در سيكل هاي متوالي كاهش پيدا كند، سازه داراي زوال مقاومت ميباشد.
- چنانچه ارتفاع نمودار در سيكل هاي متوالي افزايش پيدا كند، سازه داراي سخت شدگي ميباشد.
- چنانچه نمودار در يك سيكل مسير يكنواختي را طي نكند سازه داراي لغزش مي باشد.
- تعداد سيكل هاي نمودار بيانگر عملكرد سازه در زلزله مي باشد.



رفتار سازه‌ها تحت بار دوره‌ای. الف- رفتار نامناسب، ب- رفتار مناسب

از اتصال نقاط اوج منحنی ها در یک مجموعه منحنی بارگذاری وباربرداری، منحنی پوش هیسترزیس(منحنی اسکلتون) بدست می آید.

بطور معمول اگر بارگذاری به صورت افزایشی ویک طرفه انجام شود،منحنی برش پایه-تغییرمکان با تقریب مناسب منطبق برمنحنی اسکلتون خواهد بود.

جمع بندی معیارهای طراحی وپارمترهای کنترل کننده

- برای یک سازه مقاوم در برابر زلزله باید سه عامل مقاومت،سختی وشکل پذیری در معادله عمومی طراحی (نیاز< ظرفیت) صدق کند.
- **سختی :** برای محدود کردن تغییر مکان نسبی طبقات در حد بهره برداری در برابر زلزله های خفیف، به منظور جلوگیری از تغییر مکان زیاد طبقات در برابر زلزله های متوسط وشدید، به منظور کاهش اثرات P-Δ وکنترل تنش ها وکرنشهای ایجاد شده در سازه، سختی باید تا حد مورد نیاز افزایش یابد.
- **شکل پذیری :** جهت کاهش نیروهای زلزله وارده به سازه وایجاد طرحی اقتصادی از طریق جذب واستهلاک انرژی در ناحیه پلاستیک باید مقدار این مشخصه را تا مقدار مورد نیاز افزایش داد.توجه به این نکته که حرکات زلزله به صورت رفت وبرگشتی بوده وسازه می تواند در هر سیکل مقداری از انرژی زلزله را به صورت هیسترسیس مستهلک نماید، حائز اهمیت است.

- **مقاومت :** جهت کنترل تنش های ایجاد شده در سازه در اثر زلزله بطوریکه این تنش ها از حد مقاومت نهایی یا مجاز مصالح تشکیل دهنده وسازه بالاتر نرود تا ایمنی کلی سازه به خطر نیفتد.
- *تأمین نشدن هر یک ازاین سه عامل فوق باعث کاهش ایمنی سازه در برابر زلزله خواهد شد.اشکال اساسی این است که مطابق اکثر آیین نامه ها طراحان بحث شکل پذیری را در مرحله تعیین مقدار نیروی وارده به سازه،با تقسیم نیروی زلزله به R در نظر میگیرند ودر مرحله کنترل سازه نیز، به جای کنترل شکل پذیری مورد نیاز، تغییر مکانها ویا نیروهای داخلی اعضاء کنترل می گردد.به همین دلیل اکثر مهندسین جهت کنترل تغییر مکان سازه سعی در سخت کردن آن دارند، که این موضوع باعث افزایش نیاز شکل پذیری خواهد بود.*

- مطلب مهم دیگر این است که افزایش سختی علاوه بر افزایش نیروی وارده ممکن است باعث کاهش مقاومت نیز گردد.مثلاً در یک قاب خمشی اگر بدون تقویت تیر وستونها ، مهاربند واگرا نیز اضافه شود، باعث تمرکز لنگر در محل اتصال بادبند به تیر شده وباعث انهدام سازه تحت نیروی کمتری می شود.