طراحی بر اساس عملکرد

دکتر محسن گرامی

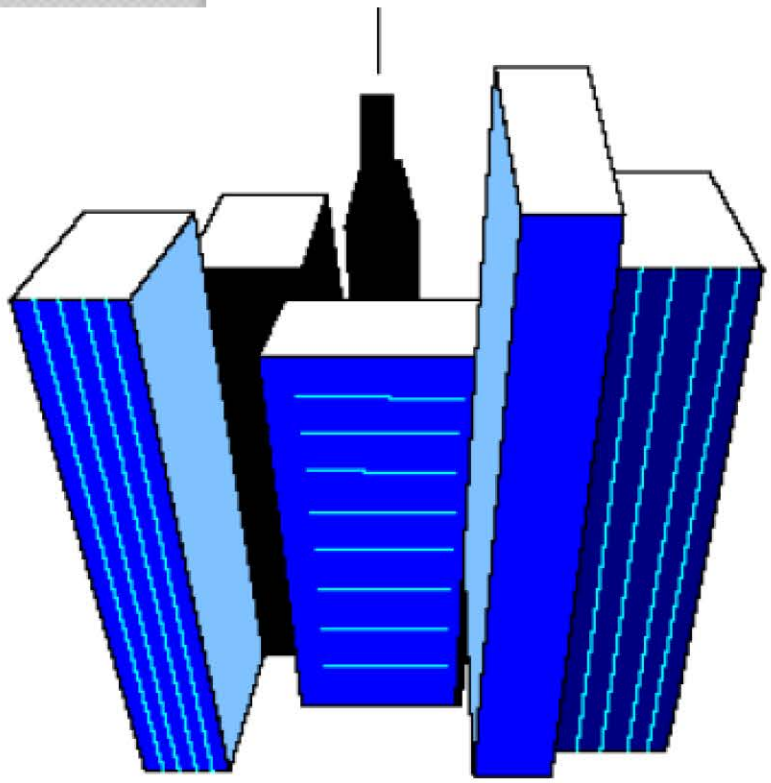
طراحی بر اساس عملکرد

بمنظور محدود کردن خسارات ناشی از یک یا چند خطر در سطوح تعریف شده قابل قبول، طراحی به طور خاص در نظر گرفته می شود

این خطرات عبارتند از:
باد ، آتش ، برف ، زلزله ، بارهای زنده و ...

طراحی ها برای رسیدن به عملکردهای زیر انجام شده است

با حداقل نمودن احتمال رخدادهای زیر ایمنی تامین شود:



- آتش سوزی غیر قابل کنترل
- تخریب سازه
- گسترش خرابی در سازه

محدود کردن عوامل ایجاد خرابی از طریق کنترل

- ارتعاشات و لرزش های سازه
- شرایط محیطی

طراحی بر اساس عملکرد

کلیات

...اما ضوابط بیشتر آیین نامه های ساختمانی بر مبنای عملکرد نمی باشند

طراحی بر اساس عملکرد

کلیات

مهندسین طراح که از این آیین نامه ها استفاده می کنند...

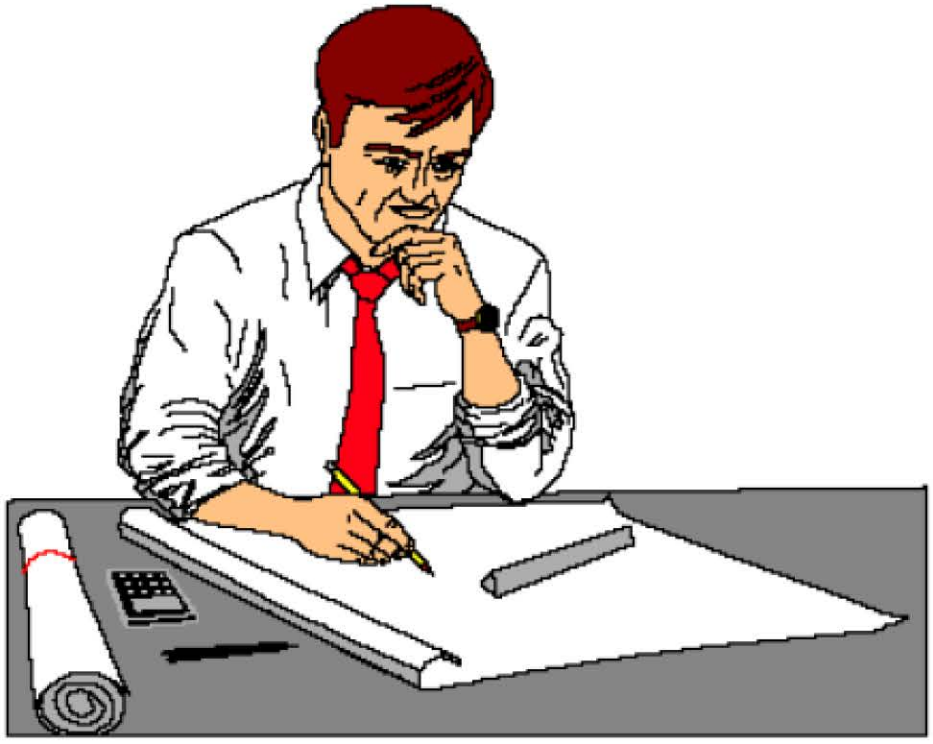
نحوه استفاده از ضوابط آیین نامه را فرا می گیرند، اما عمدتا:

-دلیل اینکه چرا برخی از ضوابط آیین نامه شرایط خاصی دارد را نمی دانند

-عملکردهای لحاظ شده در ضوابط را تشخیص نمی دهند

– نحوه در نظر گرفتن و لحاظ نمودن ضوابط آیین نامه بمنظور تامین عملکردهای مختلف را نمی دانند

طراحی بر اساس عملکرد



در طراحی بر اساس عملکرد مهندس طراح باید از موارد زیر آگاهی کامل داشته باشد:

-عملکرد مورد انتظار از سازه

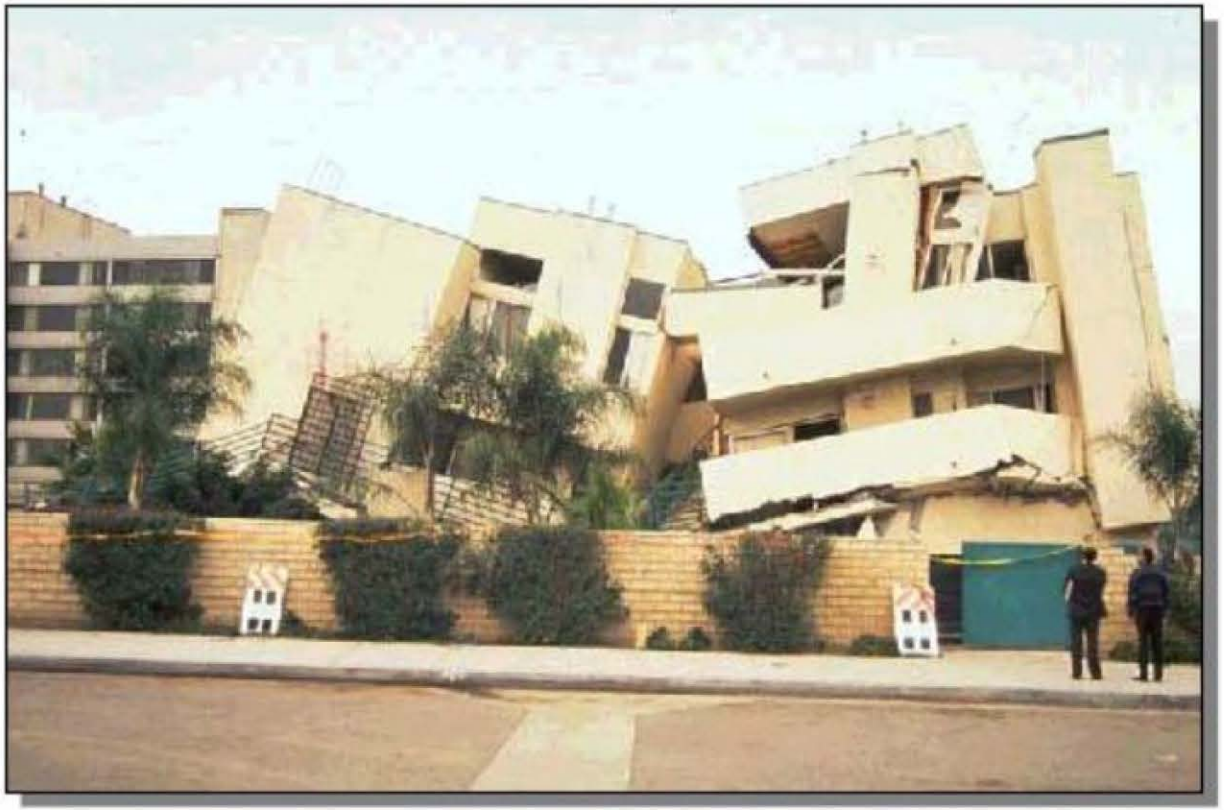
-رابطه بین ضوابط طراحی و عملکرد

به عبارت دیگر مهندس طراح باید طراحی سازه را طوری انجام دهد تا عملکرد مورد انتظار تامین گردد

دلایل استفاده از PBE (مهندسی براساس عملکرد) در اجزا سازه ای

یک گاراژمدرن در Cal State Northridge

دلایل استفاده از PBE (در اجزا سازه ای)



یک ساختمان مسکونی مدرن با قاب چوبی در Sherman Way

دلایل استفاده از PBE (در اجزا غیرسازه ای)

مرکز درمانی بازنشستگان نظامی در **Sepulveda**

دلایل استفاده از PBE

دلایل ضعف آیین نامه های موجود و اشکالات موجود در آنها

-تنها یک سطح عملکرد کنترل می شود

-تنها یک سطح نیروی لرزه ای اعمال می گردد

-استفاده از تحلیل های دینامیکی یا استاتیکی خطی

-در آنها معیارهای پذیرش برای اعضا بیان نشده است

مفاهیم گنجانده شده در PBE

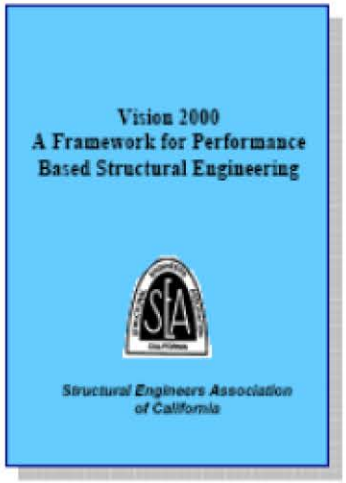
- در این روش چند سطح عملکرد کنترل می شود

- چندسطح نیروی لرزه ای اعمال می گردد

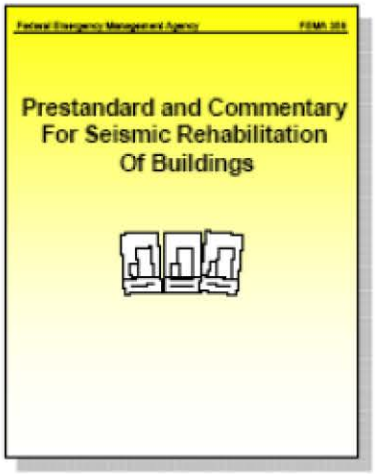
- امکان استفاده از تحلیل های غیرخطی

- معیارهای پذیرش برای اعضای سازه ای و غیرسازهای بیان شده است

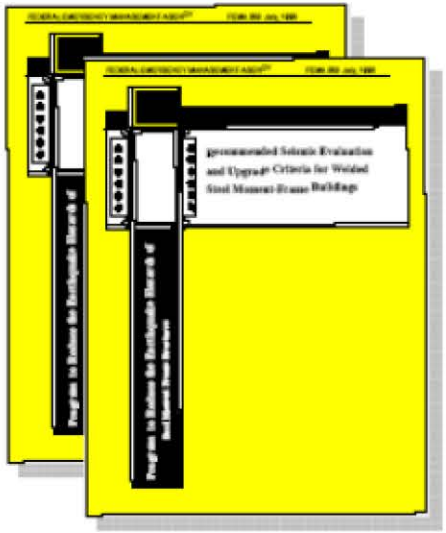
مراجع پایه طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد



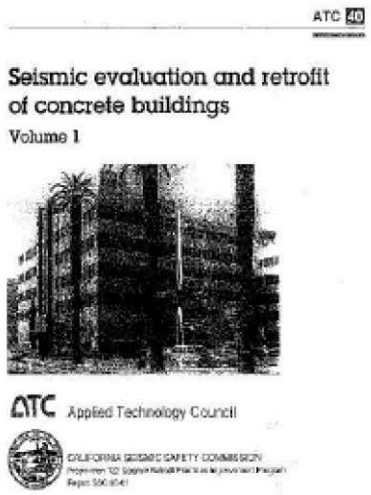
Vision 2000
(new buildings)



FEMA 273/356
(existing buildings)



FEMA 350/351
(steel moment frame
buildings)



ATC40
(existing concrete buildings)

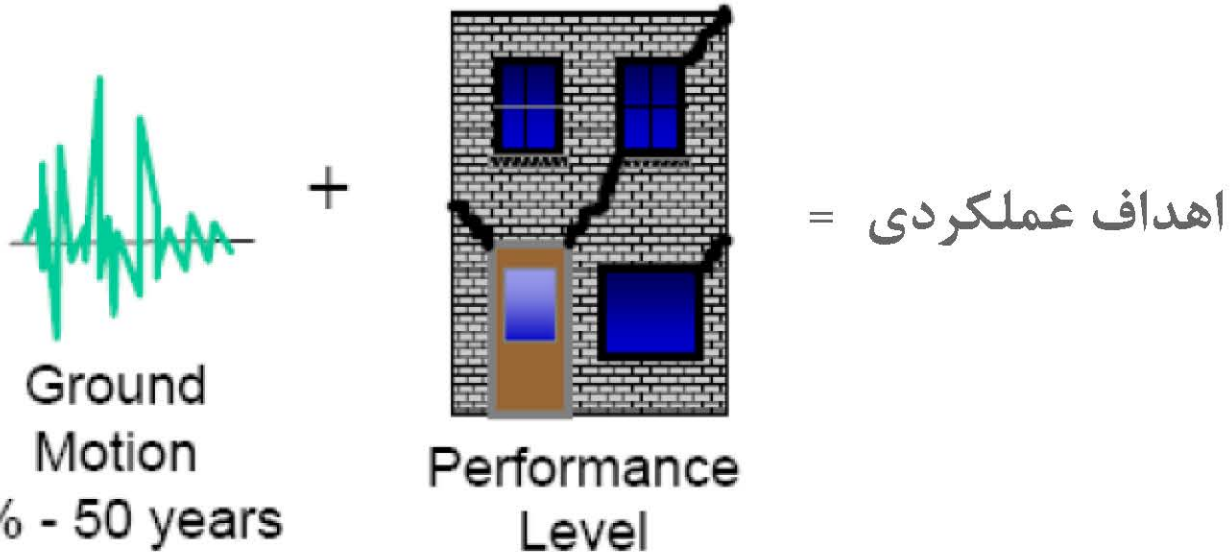
الگوریتم طراحی براساس عملکرد

اهداف عملکردی

اهداف عملکردی با توجه به دو عامل زیر مشخص می شود:

-میزان خطر طراحی (میزان ارتعاشات ناشی از زلزله)

– سطح عملکرد مورد انتظار (حداکثر خسارت قابل قبول ناشی از رخداد زلزله)



اهداف عملکردی

به منظور انجام یک طراحی برمبنای عملکرد مطلوب، رضایت کارفرما و رضایت مهندس طراح باید جلب شود

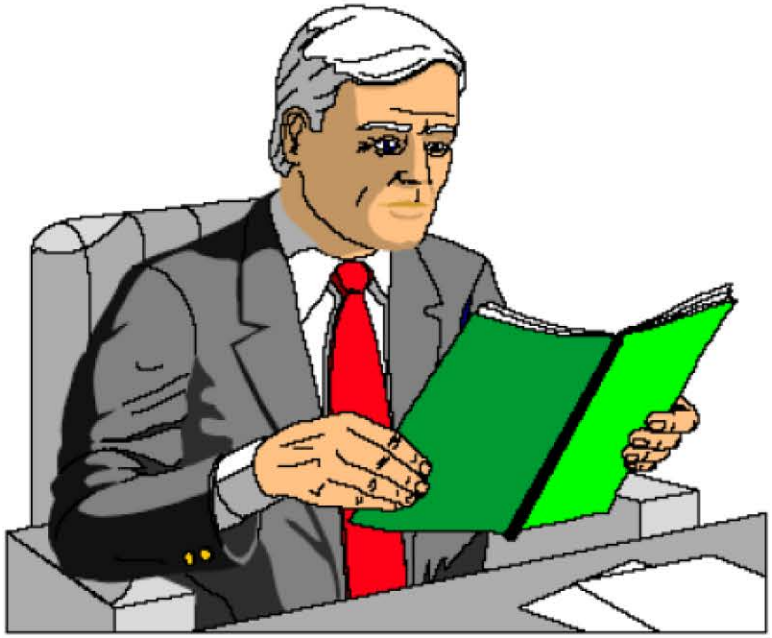
در این راستا از نظر مهندس طراح هم میزان خطر و هم عملکرد سازه باید قابل سنجش و ارزیابی باشد

اهداف عملکردی

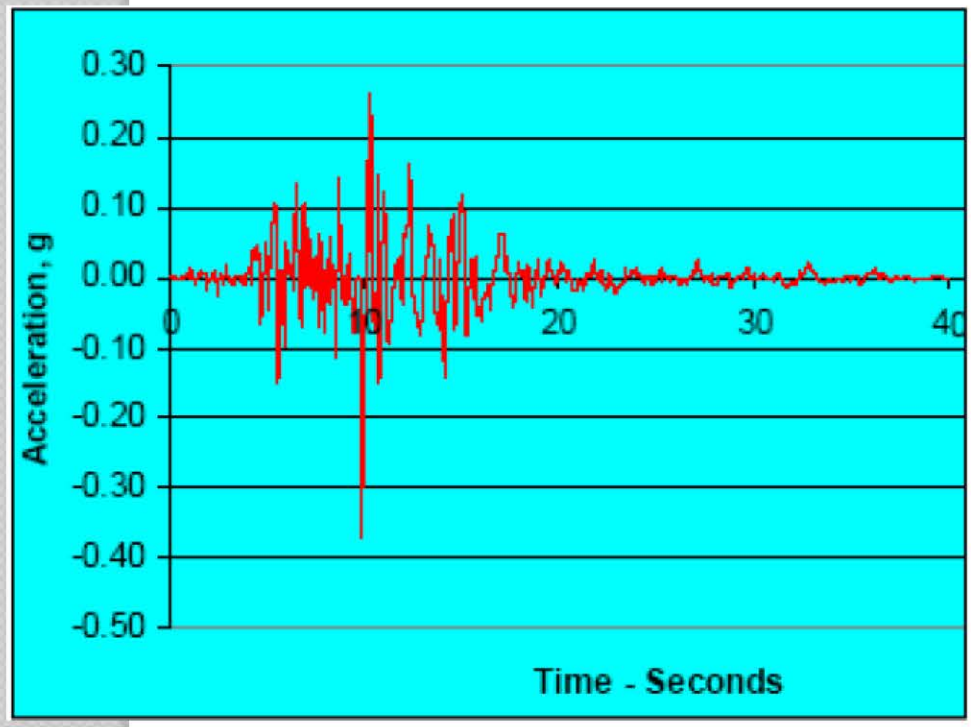
به منظور انجام یک طراحی برمبنای عملکرد مطلوب، رضایت کارفرما و رضایت مهندس طراح باید جلب شود

بنابراین کارفرما باید کاملا با مفهوم خطر و عملکرد مورد انتظار از سازه آشنا و در این راستا توجیح گردد

همچنین عملکرد ایجاد شده باید مفید و مناسب باشد

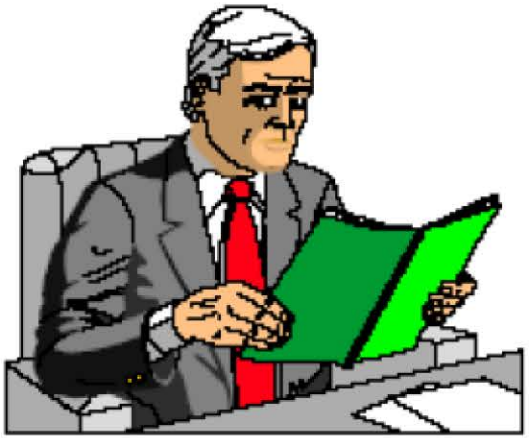


سطح خطر



سطح خطر، میزان شدت و مشخصات ارتعاشات زمین در زمان زمین لرزه می باشد که طراحی ها برای تامین مقاومت لازم در برابر آنها انجام می شود

سطح خطر

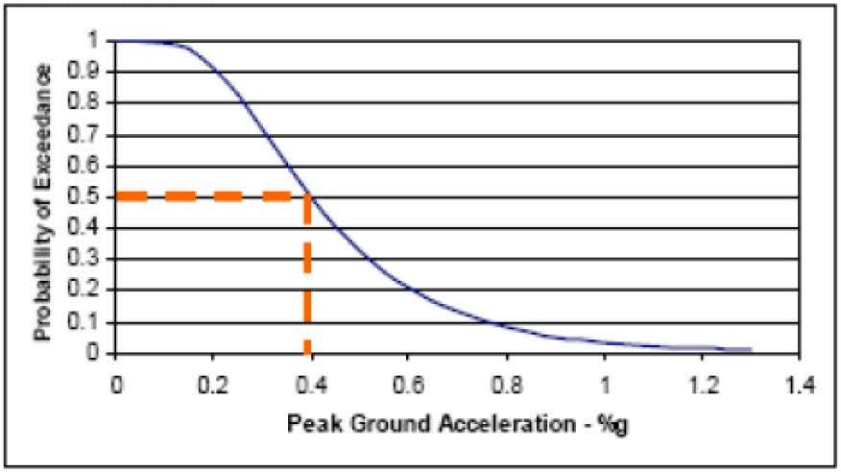


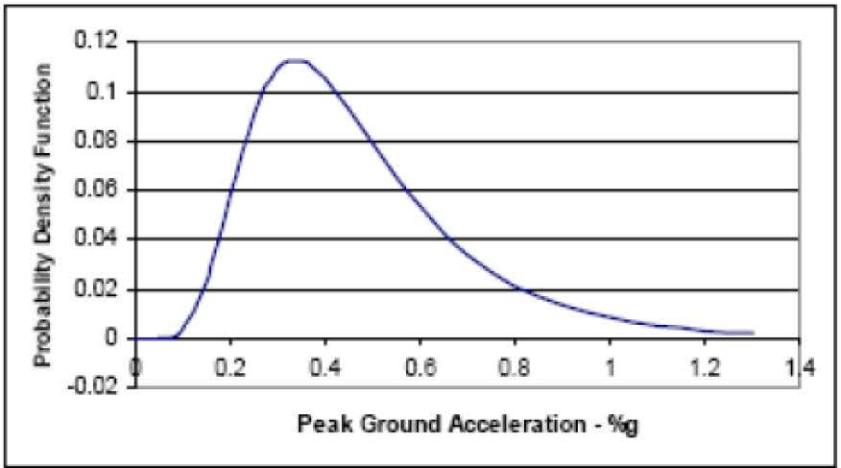
برای بیان سطح خطر دو روش وجود دارد

-روش تعینی : در این روش میزان خطر زلزله ایجاد شده از هر گسل مشخص می گردد.

-روش احتمالاتی : در این روش میزان خطر به صورت احتمال فراگذشت X% در y سال در پروسه طراحی مشخص می شود

میزان خطر به روش تعینی

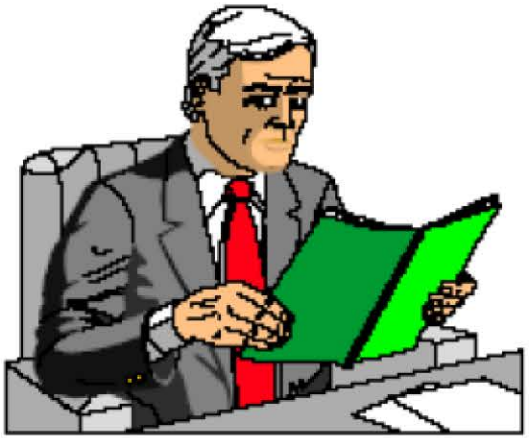




این روش روش مناسبی است اما...

عدم قطعیت های قابل ملاحظه ای وجود دارد که از چنین منابع لرزه زایی زلزله هایی تا چه اندازه بزرگ و با چه بزرگاهایی ایجاد می شود؟

میزان خطر به روش احتمالاتی



در این روش باید کارفرما را نسبت به مسائل احتمالاتی در رخداد زلزله و هزینه ها توجیح نمود تا بتواند انتخاب مناسبی داشته باشد.

در این روش عمدتا موارد زیر به صورت احتمالاتی در نظر گرفته می شود:

-میزان استفاده از سازه و کاربری آن

-میزان هزینه های ساخت

-بازگشت سرمایه

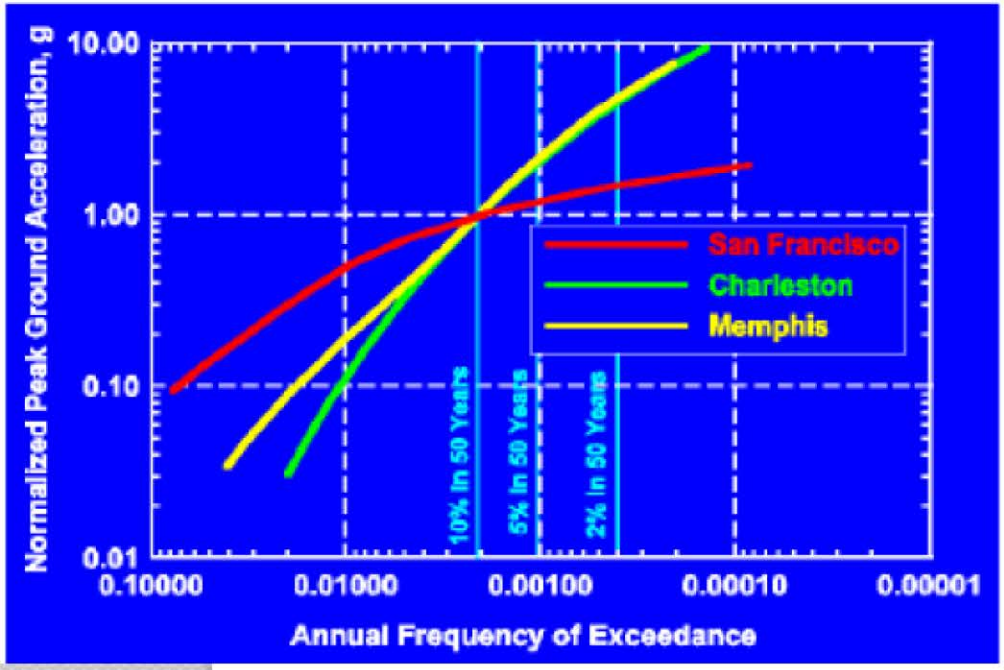
میزان خطر به روش احتمالاتی

روش احتمالاتی برمبنای تقسیم بندی های زیر استوار است:

-زلزله های کوچک به دفعات زیادی رخ می دهند

-زلزله های متوسط گهگاه رخ می دهند

-زلزله های قوی و مخرب بندرت رخ می دهند



میزان خطر به روش احتمالاتی

احتمال فراگذشت در طراحی به شرح زیر می باشد:

-۱۰٪ در ۵۰ سال : زلزله های با دوره بازگشت حدود ۵۰۰ سال که معادل با میزان خطر "ایمنی جانی" در نظر گرفته می شوند

-۲٪ در ۵۰ سال : زلزله های با دوره بازگشت ۲۵۰۰ سال که معادل با خطر "آستانه فروریزش" در نظر گرفته می شوند

-میزان خطر با توجه به ملاحظات اقتصادی و اهمیت سازه، برمبنای ملاحظات سود و هزینه برای سطوح مختلف در نظر گرفته می شود

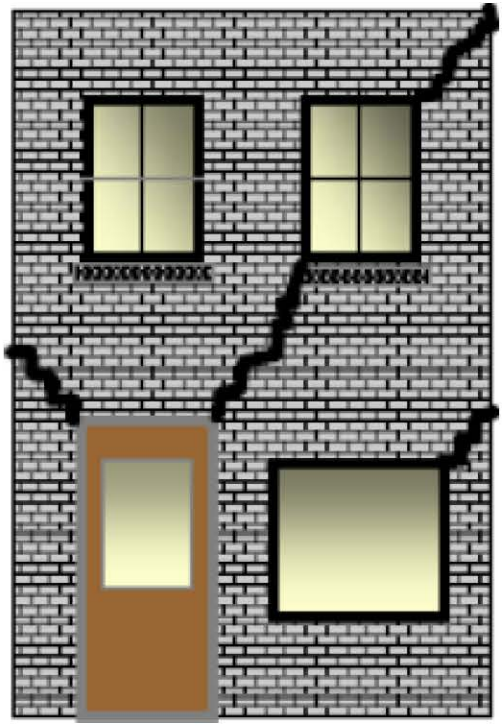
سطوح خطر لرزه ای (FEMA-273)

احتمال رخداد در ۵۰ سال	دوره بازگشت	میزان رویداد
٪۵۰	۷۲	دفعات زیاد
٪۲۰	۲۲۵	گهگاه
٪۱۰	۴۷۴	بندرت
٪۲	۲۴۷۵	بسیار نادر

سطوح خطر لرزه ای (ATC-40)

سطح مورد نظر	دوره بازگشت	احتمال رخداد در ۵۰ سال
خدمت رسانی	۷۵	٪۵۰
زلزله طرح	۵۰۰	٪۱۰
زلزله حداکثر	۱۰۰۰	٪۵

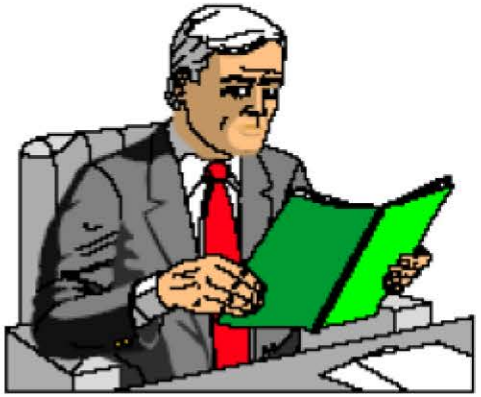
سطح عملکرد



در هر سطح خطر طراحی میزان مشخصی آسیب و خسارت در سازه مجاز می باشد که به آن سطح عملکرد گویند.

سطح عملکرد

•مهندس طراح :
مقادیر تسلیم، کمانش، ترک خوردگی، تغییر شکل های ماندگار که سازه تجربه می کند



•کارفرما
آیا سازه امن خواهد بود؟
آیا سازه پس ار زلزله قابلیت استفاده را دارد؟
هزینه تعمیر سازه چقدر خواهدبود؟
تعمیر سازه چقدر طول خواهد کشید؟

سطوح عملکرد سازه ای (ATC40)

سطوح عملکرد ساختمان						
سطوح عملکرد غیرسازه ای	سطوح عملکرد سازه ای					
	SP-1 قابلیت استفاده بی وقفه	SP-2 کنترل خسارت	SP-3 ایمنی جانی	SP-4 ایمنی محدود	SP-5 پایداری سازه ای	SP-6 در نظر گرفته نشده
NP-A کارایی	1-A کارایی	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B قابلیت استفاده بی وقفه	1-B قابلیت استفاده بی وقفه	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C ایمنی جانی	1-C	2-C	3-C ایمنی جانی	4-C	5-C	6-C
NP-D خطر کاهش یافته	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E در نظر گرفته نشده	NR	NR	3-E	4-E	5-E پایداری سازه ای	Not Applicable

سطوح عملکرد ساختمان ها در FEMA 273/356

سازه ای

(1)قابلیت استفاده بی وقفه

(2)کنترل خسارت

(3)ایمنی جانی

(4)ایمنی محدود

(5)آستانه فروریزش

غیر سازه ای

(A)کارایی

(B)قابلیت استفاده بی وقفه

(C)ایمنی جانی

(D)خطر کاهش یافته

ترکیبی

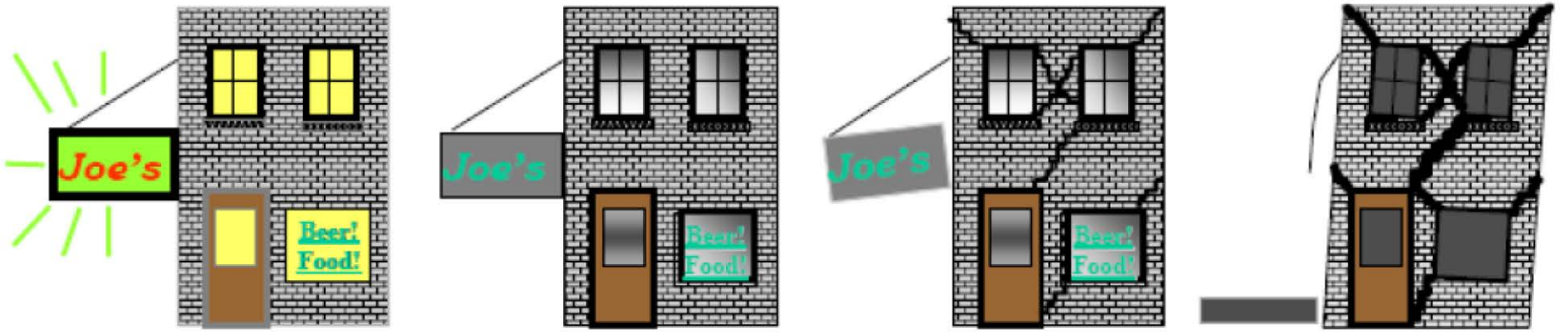
(1-A) کارایی

(1-B) قابلیت استفاده بی وقفه

(3-C) ایمنی جانی

(5-D) خطر کاهش یافته

سطوح عملکرد سازه ای استاندارد



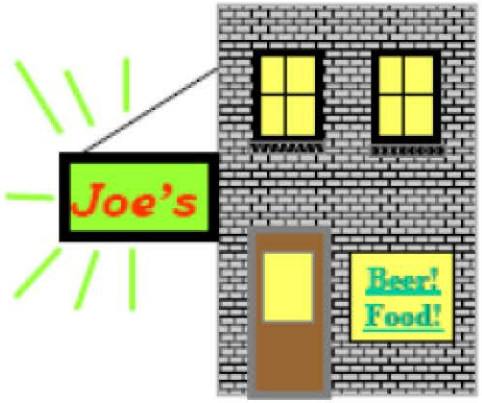
آستانه فروریزش | ایمنی جانی | قابلیت استفاده بی وقفه | کارایی

خسارت

99% | 0%

سطح عملکرد کارایی (Operational)

•این سطح عملکرد مربوط به کارایی تمام اعضاء می باشد.



کارایی

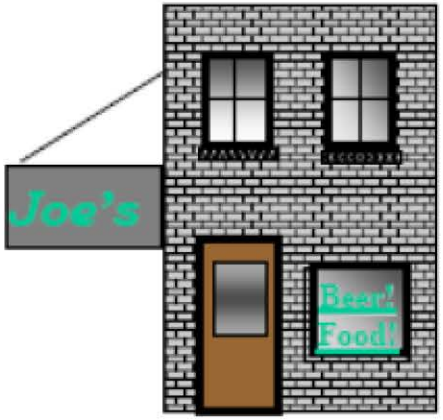
•خسارت سازه ای دراین حالت محدود و امکان استفاده ایمن از ساختمان وجود دارد.

•هرگونه تعمیراتی جزئی است واین تعمیرات می تواند بدون ایجاد وقفه در استفاده از ساختمان انجام شود.

•خسارت وارده به همه سیسمتهای غیرسازه ای و محتویات ساختمان جزئی است و منجر به خطر افتادن عملکرد ساختمان نمی شود.

•میزان خسارت کمتر از ۵٪

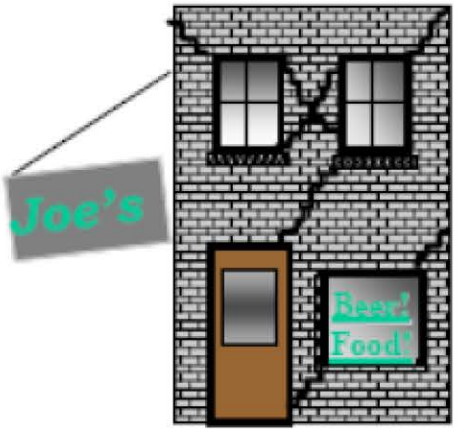
سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه
(Immediate Occupancy)



قابلیت استفاده
بی وقفه

- خسارت وارده پس از زمین لرزه دراعضای سازه ای بسیار محدود می باشد
- تغییری در ظرفیت عناصر مقاوم باربر قائم و جانبی نسبت به حالت قبل از زلزله دیده نمی شود.
- خطر صدمات جانی قابل اغماض است. سازه جهت ورود و خروج و سکونت ایمن می باشد.
- آسیب وارده به اجزای غیرسازه ای کم می باشد.
- میزان خسارت کمتر از ۱۵٪

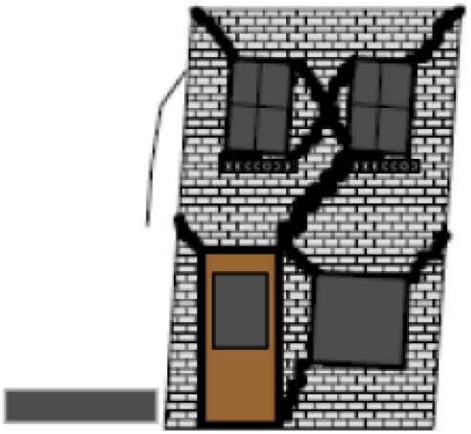
سطح عملکرد ایمنی جانی (Life Satety)



ایمنی جانی

- خسارت وارده پس از زمین لرزه به اعضای سازه ای، قابل توجه است، لیکن هنوز حاشیه ای تا فروریزش کلی یا جزئی سازه باقی مانده است.
- سطح خسارت، کمتر از مقدار مورد نظر برای سطح پایداری سازه ای می باشد.
- اعضای مهم سازه ای ازجای خود خارج نشده اند، اما برخی افراد مجروح می شوند.
- آسیب وارده به اجزای غیرسازه ای زیاد و گسترده می باشد.
- میزان خسارت کمتر از ۳۰٪

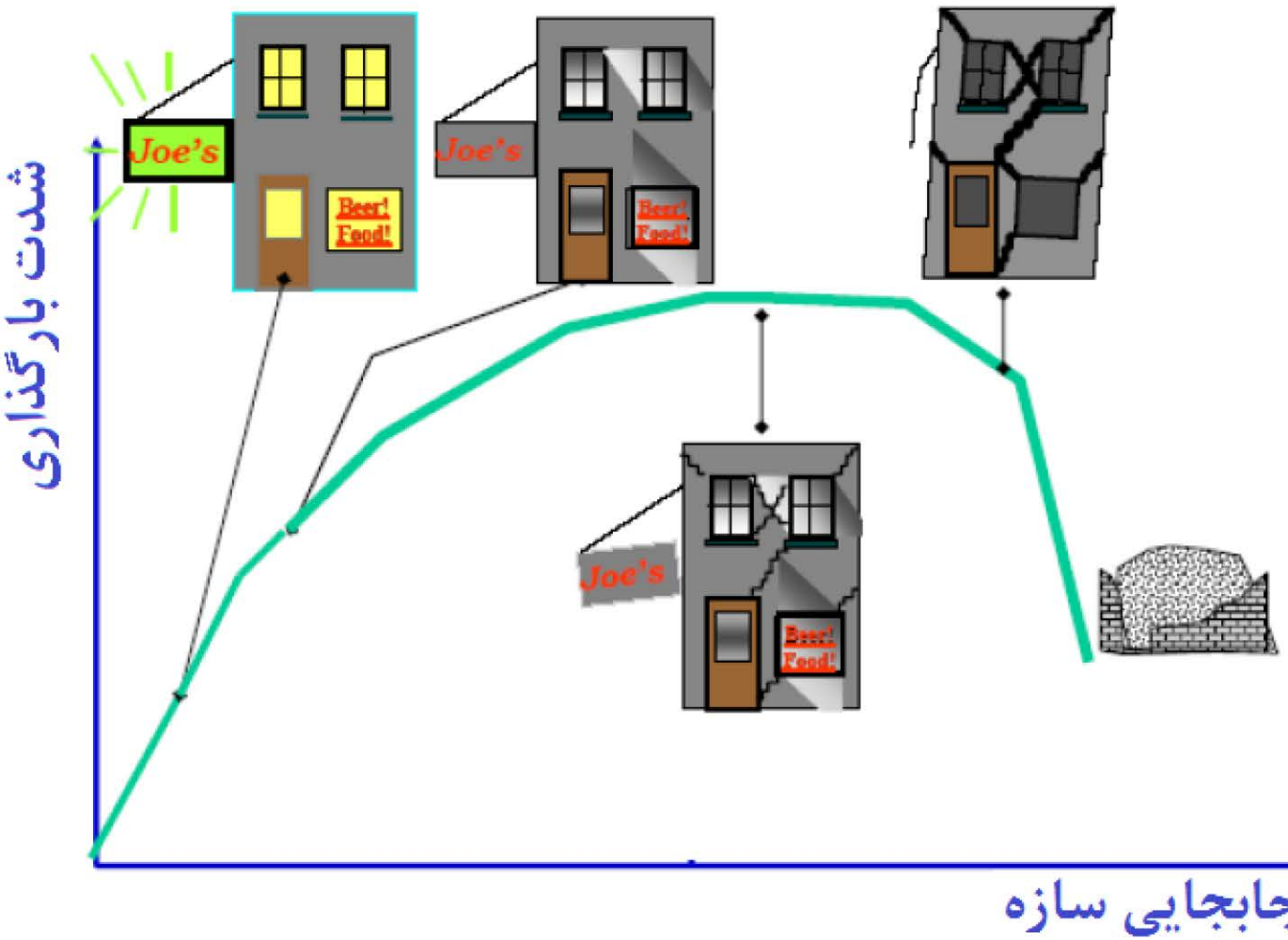
سطح عملکرد آستانه فروریزش
(Collapse Prevention)



آستانه فروریزش

- آسیب هاو خسارات گسترده سازه ای و غیر سازه ای
- افراد زیادی در ساختمان دچار آسیب دیدگی می شوند.
- سازه تا حد بسیار زیادی فاقد قابلیت استفاده
- سازه به احتمال زیاد قابل تعمیر نمی باشد
- میزان خسارت بیشتر از ۳۰٪

پاسخ کلی و عملکرد سازه

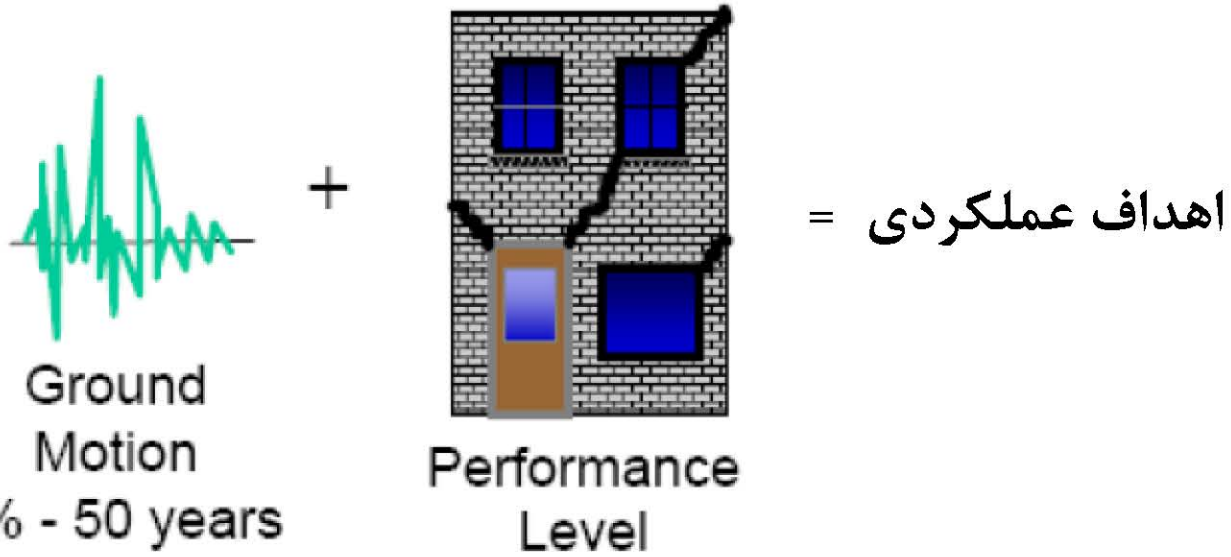


اهداف عملکردی

اهداف عملکردی با توجه به دو عامل زیر مشخص می شود:

-میزان خطر طراحی (میزان ارتعاشات ناشی از زلزله)

- سطح عملکرد مورد انتظار (حداکثر خسارت قابل قبول ناشی از رخداد زلزله)



طراحی با یک هدف عملکردی (ATC-40)

سطح عملکرد سازه				
زلزله	کارایی (OP)	قابلیت استفاده بی وقفه (IO)	ایمنی جانی (LS)	پایداری سازه ای (SS)
خدمت رسانی				
زلزله طرح				
زلزله حداکثر				

طراحی با دو هدف عملکردی (ATC-40)

سطح عملکرد سازه				
زلزله	کارایی (OP)	قابلیت استفاده بی وقفه (IO)	ایمنی جانی (LS)	پایداری سازه ای (SS)
خدمت رسانی				
زلزله طرح				
زلزله حداکثر				

طراحی با هدف عملکردی ایمنی مبنا (ATC-40)

سطح عملکرد سازه				
زلزله	کارایی (OP)	قابلیت استفاده بی وقفه (IO)	ایمنی جانی (LS)	پایداری سازه ای (SS)
خدمت رسانی				
زلزله طرح				
زلزله حداکثر				

اهداف عملکردی (FEMA-273)

سطح عملکرد ساختمان + سطح زلزله طرح = هدف عملکردی

		سطح عملکرد			
		قابلیت استفاده بی وقفه	کارایی	ایمنی جانی	آستانه فرو ریزش
زلزله	۷۲ سال	a	b	c	d
	۲۲۵ سال	e	f	g	h
	۴۷۴ سال	i	j	k	l
	۲۴۷۵ سال	m	n	o	p

هدف ایمنی مبنا
طراحی برای **K** و **P** می باشد

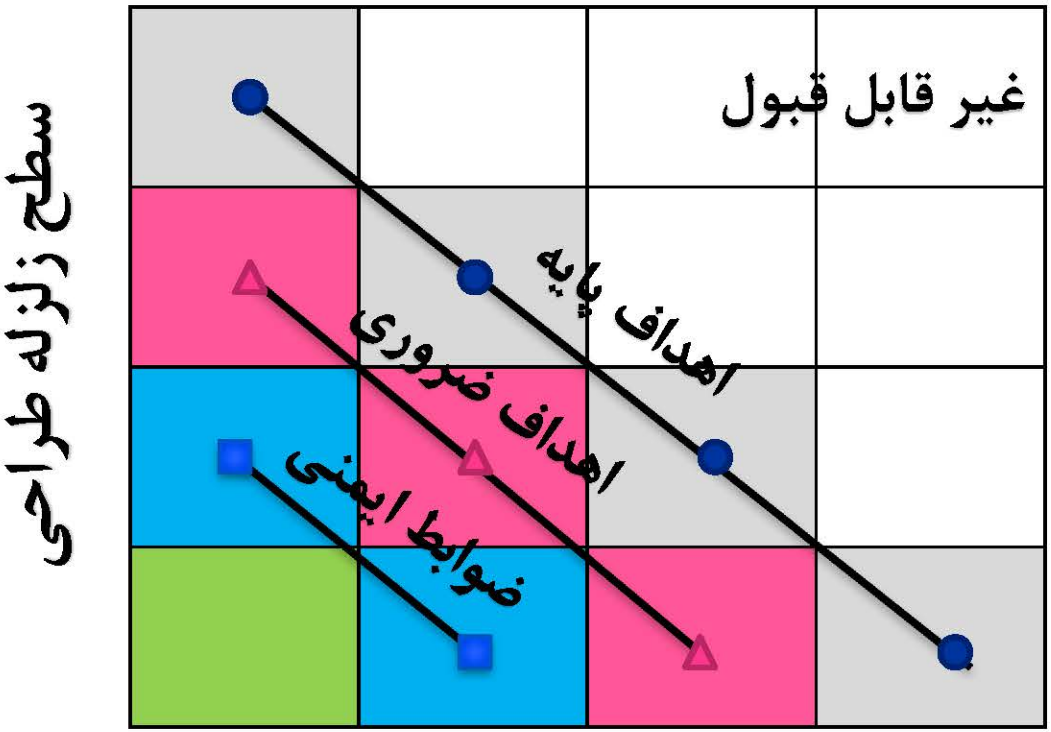
اهداف عملکردی (FEMA-273)

افزایش سطح ایمنی

		سطح عملکرد			
		قابلیت استفاده بی وقفه	کارایی	ایمنی جانی	آستانه فرو ریزش
زلزله	۷۲ سال	a	b	c	d
	۲۲۵ سال	e	f	g	h
	۴۷۴ سال	i	j	k	l
	۲۴۷۵ سال	m	n	o	p
	۵۰۰۰ سال				x

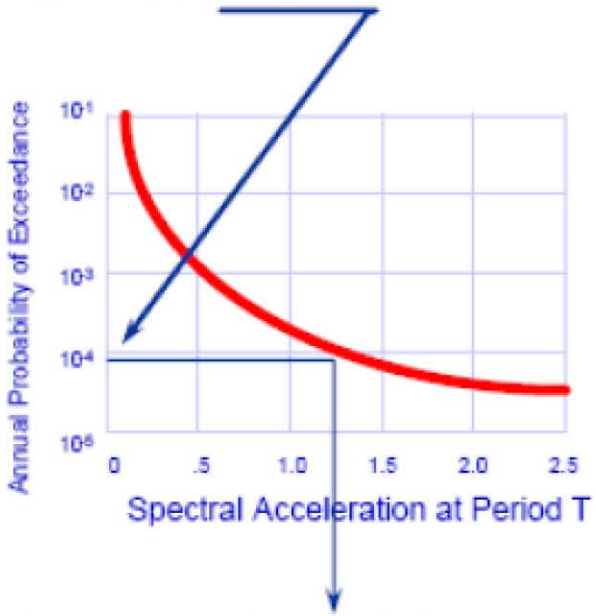
افزایش سطح ایمنی از طریق طراحی برای **j**، **o** و **x** تامین می شود

اهداف عملکردی (SEAOC's Vision 2000)



روش ارزیابی

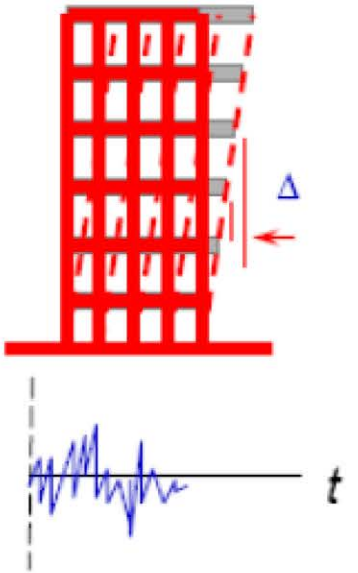
۱. انتخاب سطح خطر



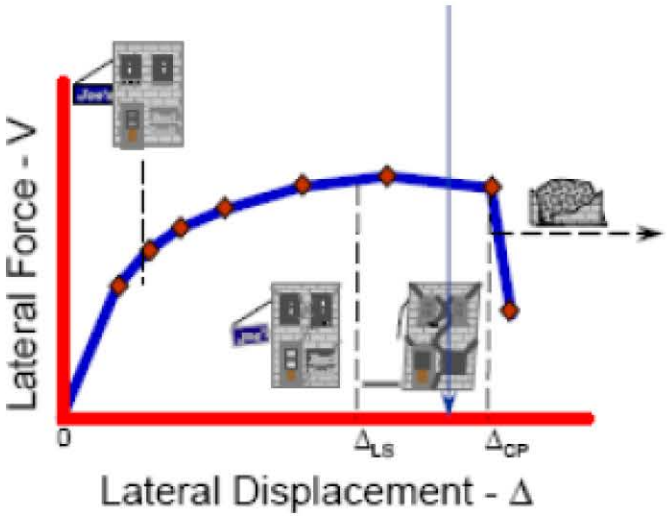
۲. تعیین شتاب سطح زمین S_a

۳. انجام تحلیل ها

۴. تعیین جابجایی ها و نیاز لرزه ای



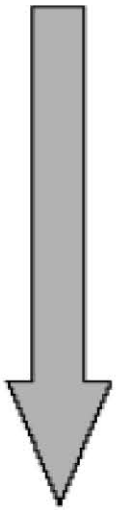
۵. تعیین عملکرد



۶. پذیرش یا رد معیار ارزیابی برمبنای بررسی کل سازه یا بخشی از آن

نحوه محاسبه جابجایی تقاضا بر اساس عملکرد

افزایش اطلاعات



FEMA273
- ✗ تحلیل استاتیکی خطی
- ✗ تحلیل طیف پاسخ مودال دینامیکی خطی
- ✗ تحلیل تاریخچه پاسخ مودال دینامیکی خطی
- ✗ تحلیل طیف پاسخ صریح دینامیکی خطی

- ✓ تحلیل بار افزون (پوش اور) استاتیکی غیرخطی FEMA273 – ATC40
- ✓ تحلیل تاریخچه پاسخ ساده دینامیکی غیرخطی FEMA273

✗ = یعنی این روش درپیش بینی خسارت قابل اعتماد نیست

کدام روش تحلیل مناسب است ؟؟؟

پاسخ این سوال بستگی دارد به :

شما می خواهید به کدام سطح عملکرد برسید؟

پیکربندی سازه چگونه است؟

چه میزان دقت مورد نیاز است؟

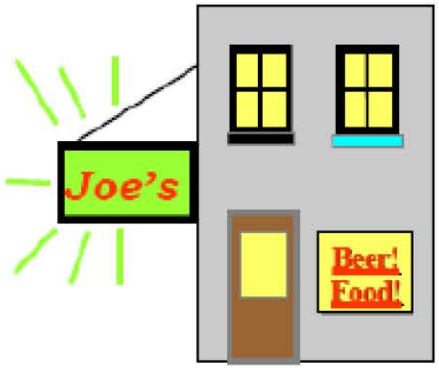
پس گزینه های زیادی قابل انتخاب می باشد

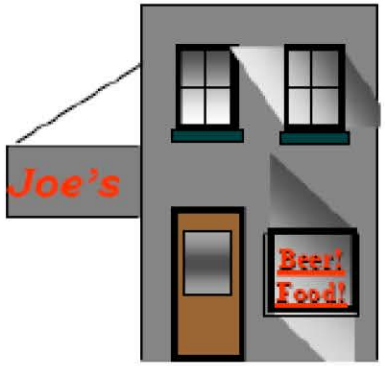
سطوح عملکردی بالاتر

در سطوح عملکرد بالاتر رفتار سازه اساسا خطی خواهد بود

در این سطوح عملکردی در ساختمان های منظم با زمان تناوب کم
- روش استاتیکی خطی مناسب می باشد

همچنین در ساختمان های منظم با زمان تناوب بالا و کلیه ساختمان های نامنظم
- روش دینامیکی خطی مناسب تر می باشد
- البته پاسخ طیفی نیز از دقت مناسبی برخوردار می باشد



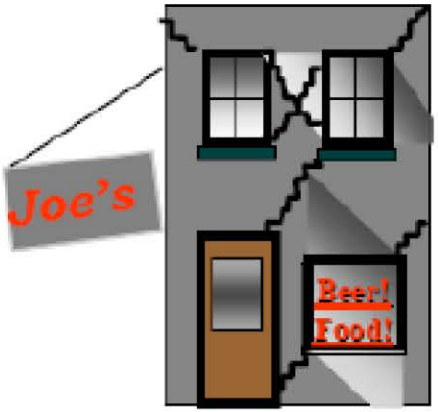


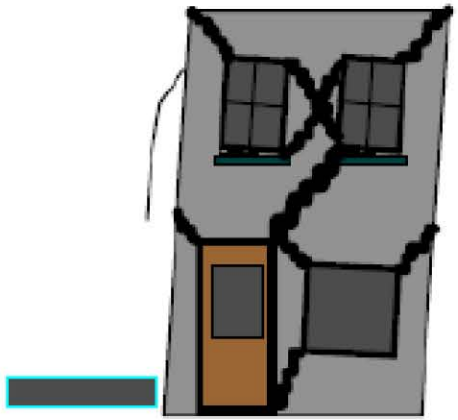
سطوح عملکردی پایین تر

رفتار غیر خطی سازه کاملا واضح بوده و استفاده از آنالیزهای خطی مجاز نمی باشد

ساختمان هایی که بیشتر متاثر از پاسخ مود اول می باشند
- تحلیل پوش اور ممکن است کافی باشد

ساختمان های عمدتا با پاسخ مودهای بالاتر
- باید از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده نمود





طراحی بر اساس عملکرد

روش های تحلیل

تحلیل های عنوان شده در

FEMA 368

		روش تحلیل			
		استاتیکی خطی	پاسخ طیفی	تاریخچه زمانی خطی	تاریخچه زمانی غیر خطی
$T \le T_s$	ساختمان های منظم	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
	ساختمان های نامنظم در پلان 1a,1b ساختمان های نامنظم در ارتفاع 1a,1b,2,3	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
	ساختمان های نامنظم در پلان ۲،۳،۴،۵ ساختمان های نامنظم در ارتفاع ۴،۵	غیر مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
	دیگر ساختمان ها	غیر مجاز	مجاز	مجاز	مجاز

طراحی بر اساس عملکرد

روش های تحلیل

تحلیل های عنوان شده در FEMA 350

(آستانه فرو ریزش)

			استاتیکی خطی	پاسخ طیفی	تاریخچه زمانی خطی	تاریخچه زمانی غیر خطی
$T \le T_s$	ساختمان منظم	ستون قوی	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
		ستون ضعیف	غیر مجاز	غیر مجاز	مجاز	مجاز
	ساختمان نامنظم	سایر شرایط	غیر مجاز	غیر مجاز	مجاز	مجاز
$T > T_s$	ساختمان منظم	ستون قوی	غیر مجاز	مجاز	غیر مجاز	مجاز
		ستون ضعیف	غیر مجاز	غیر مجاز	غیر مجاز	مجاز
	ساختمان نامنظم	سایر شرایط	غیر مجاز	غیر مجاز	غیر مجاز	مجاز

پیکربندی ساختمان

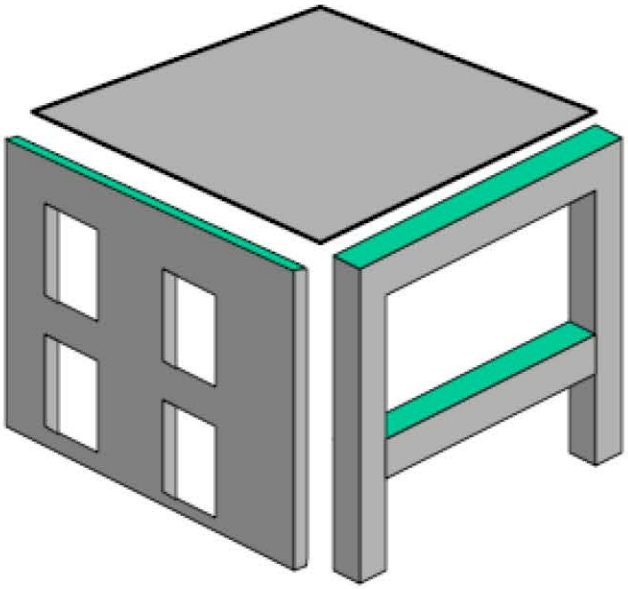
بخش های مختلفی که در مدلسازی ساختمان باید در نظر گرفته شود به ترتیب اهمیت

۱. سیستم های باربر سازه

۲. اعضای سازه

۳. تلاش ها و نیروها

سیستم باربر سازه



بخش های افقی یا قائم سازه ای که سازه را تشکیل می دهند شامل:

-قابهای بادبندی

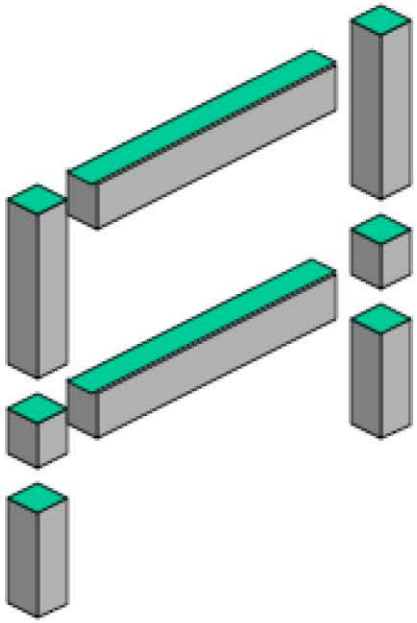
- قابهای خمشی

-دیوار برشی

-دیافراگم

اعضا

اعضایی که تشکیل دهنده هر سیستم باربر می باشند



-تیر

-ستون

-اتصالات

-بادبند

-دیوار باربر

-شالوده

-میراگر

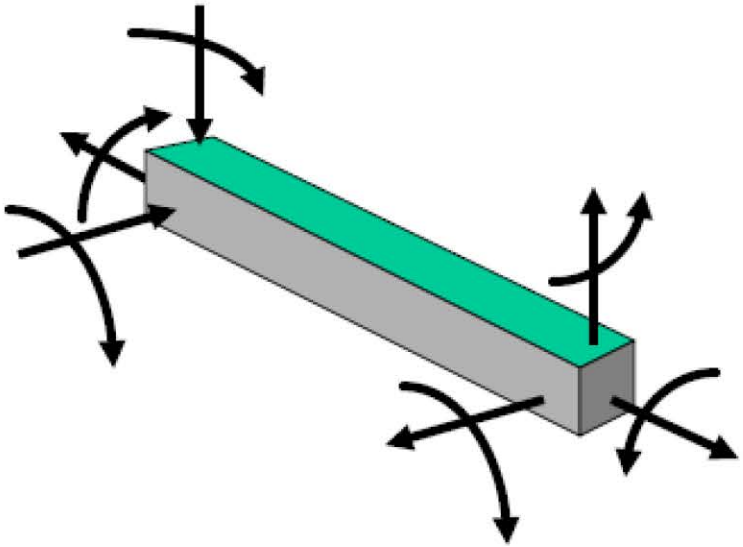
تلاش ها

نیروها و لنگرهای داخلی اعضا که همراه با تغییر شکل می باشند

-نیروی محوری در طول تیر

-لنگر خمشی به صورت دوران

-ممان پیچشی به صورت پیچش



سیستم های اولیه و ثانویه

سیستم های اولیه:

بخش هایی از سازه که نقش اساسی در تامین مقاومت جانبی ساختمان دارند

مشابه اعضایی که در آیین نامه ها تحت عنوان سیستم باربر جانبی نام برده می شوند

سیستم های ثانویه:

سایر اعضایی که نقش خیلی مهمی در تامین مقاومت جانبی ساختمان ندارند

این اعضا ممکن است مشابه سیستم های باربر جانبی باشند، اما در سازه چنین نقشی ندارند

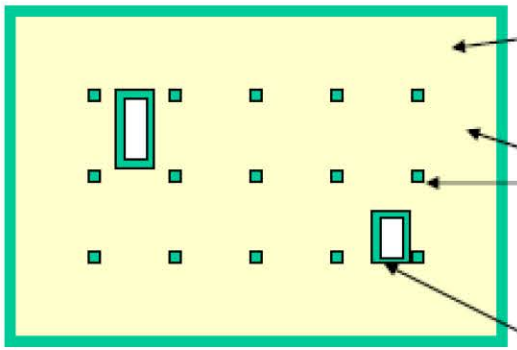
سیستم های اولیه و ثانویه

با تفکیک و مشخص نمودن این سیستم ها و بخش های سازه مهندس قضاوت مناسب تری در مورد تعیین سطح عملکرد سازه خواهد داشت.

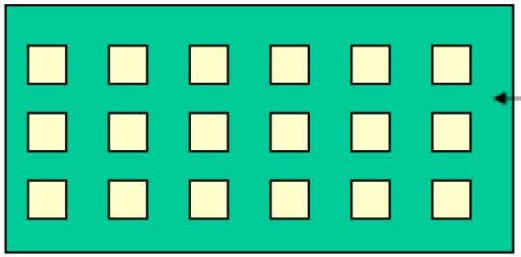
- خسارت ایجاد شده در سیستم های ثانویه نسبت به سیستم های اولیه اهمیت کمتری دارد

- ضوابط خسارت های ایجاد شده بیشتری را در سیستم های ثانویه نسبت به سیستم های اولیه مجاز می داند

سیستم های اولیه و ثانویه



Plan



Elevation

دال ها به عنوان دیافراگم (اولیه)

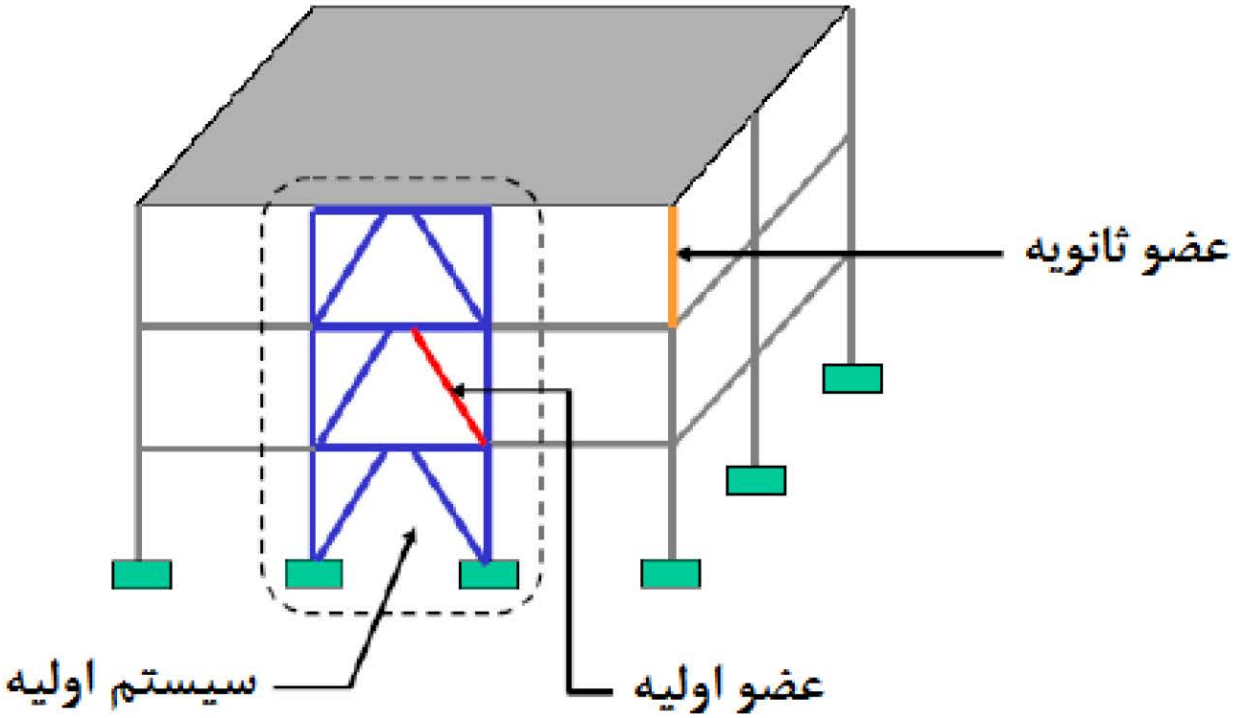
دال ها و ستون های میانی به عنوان قاب (ثانویه)

دیوارهای آسانسور و راه پله (ثانویه)

دیوارهای پیرامونی (اولیه)

تعریف سیستم و عضو

سیستم ها و اعضای اولیه در تامین مقاومت ساختمان در برابر فروریزش مهمترین نقش را دارند



مفاهیم پایه مدلسازی

بطور کلی یک مدل باید شامل موارد زیر باشد:

- سیستم خاک-سازه-فونداسیون
- سیستم ها و اعضای سازه ای (اولیه)
- سیستم ها و اعضای غیرسازه ای (ثانویه)
- سیستم های مکانیکی
- توزیع مناسب و منطبق بر واقعیت بارهای ثقلی
- اثرات P-Delta (اثرات ثانویه)
- در نظر گرفتن میرایی ذاتی بخشهای مختلف
- در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح
- در نظر گرفتن ارتعاشات زمین

مفاهیم پایه مدلسازی

- بطور کلی بهترین و کاملترین حالت مدلسازی، استفاده از مدل ۳ بعدی می باشد. اما بدلیل زمانبر بودن و محدودیت های نرم افزارها استفاده از تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی به صورت سه بعدی (بجز موارد خاص و سازه های مهم) چندان رایج نمی باشد.

مفاهیم پایه مدلسازی

- در مواردی تحلیل های غیرخطی ۲ بعدی نیز قابل قبول می باشد

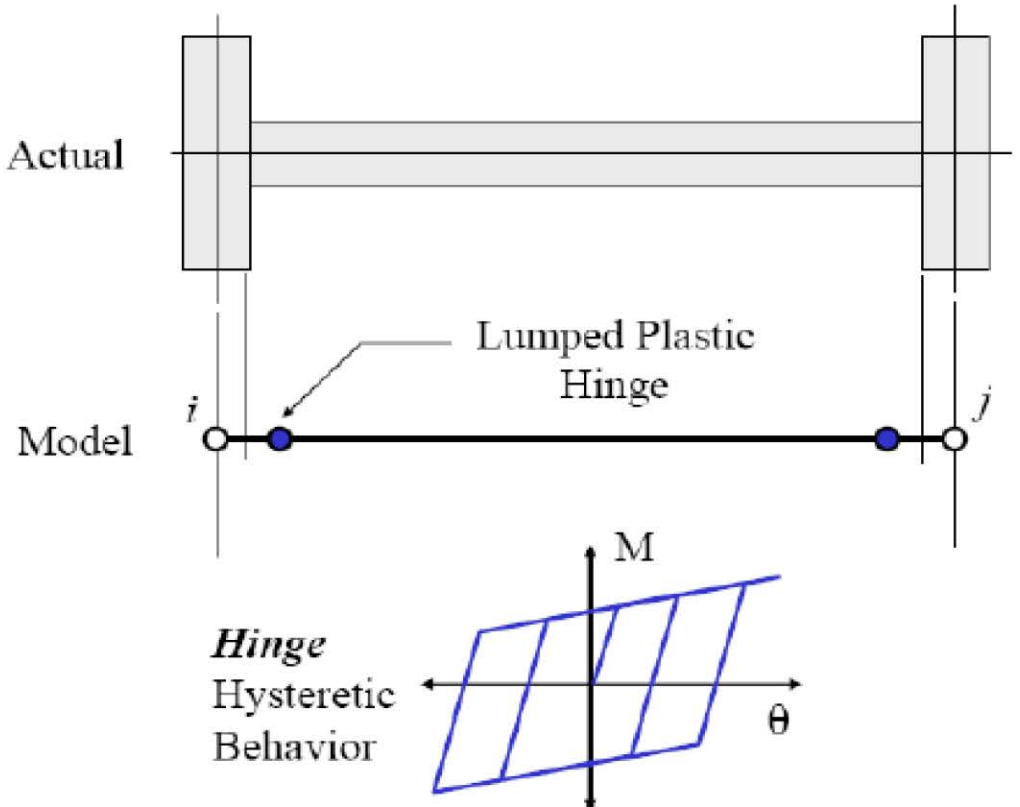
- برخی از نرم افزارهای مناسب در این زمینه عبارتند از:

OpenSees, Sap2000, Etabs2000, Perform, ABAQUS, ADINA, ANSYS

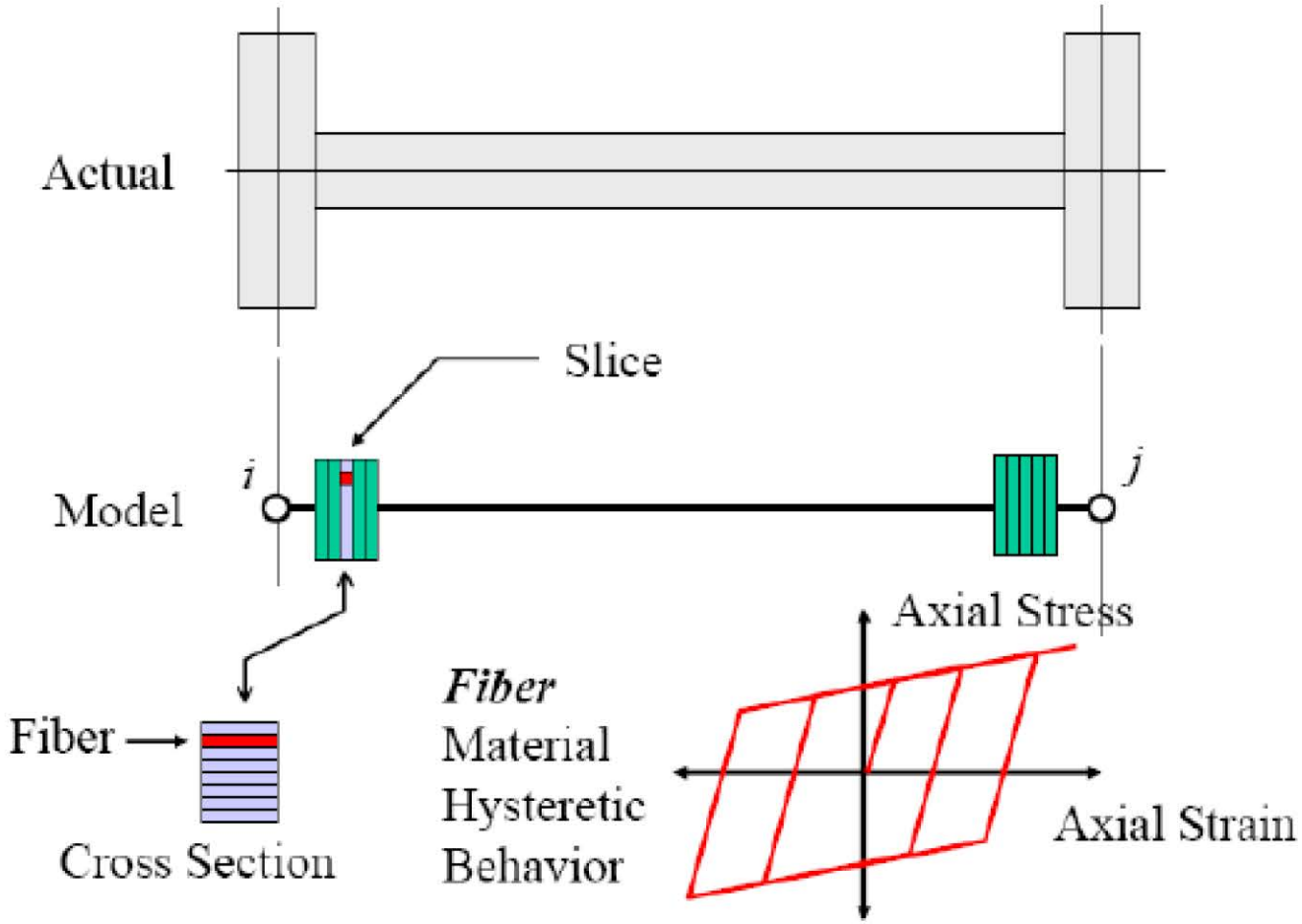
مدل وابسته به رفتار (phenomenological)

رفتار غیرخطی در محدوده تسلیم فقط در یک نقطه بطور متمرکز (مفصل پلاستیک) در نظر گرفته می شود.

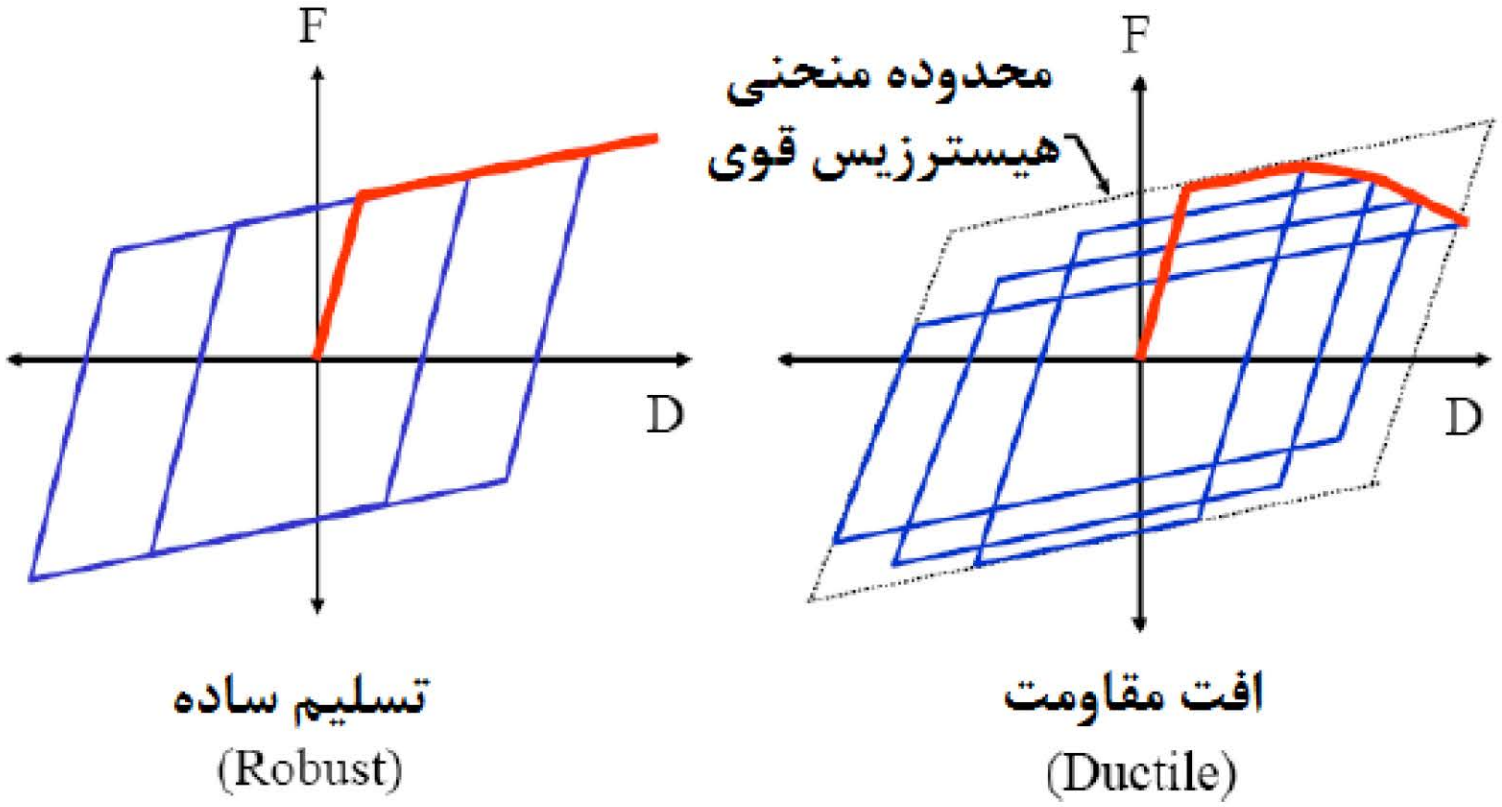
سازه های زیادی با استفاده از این پروسه مدلسازی می شوند



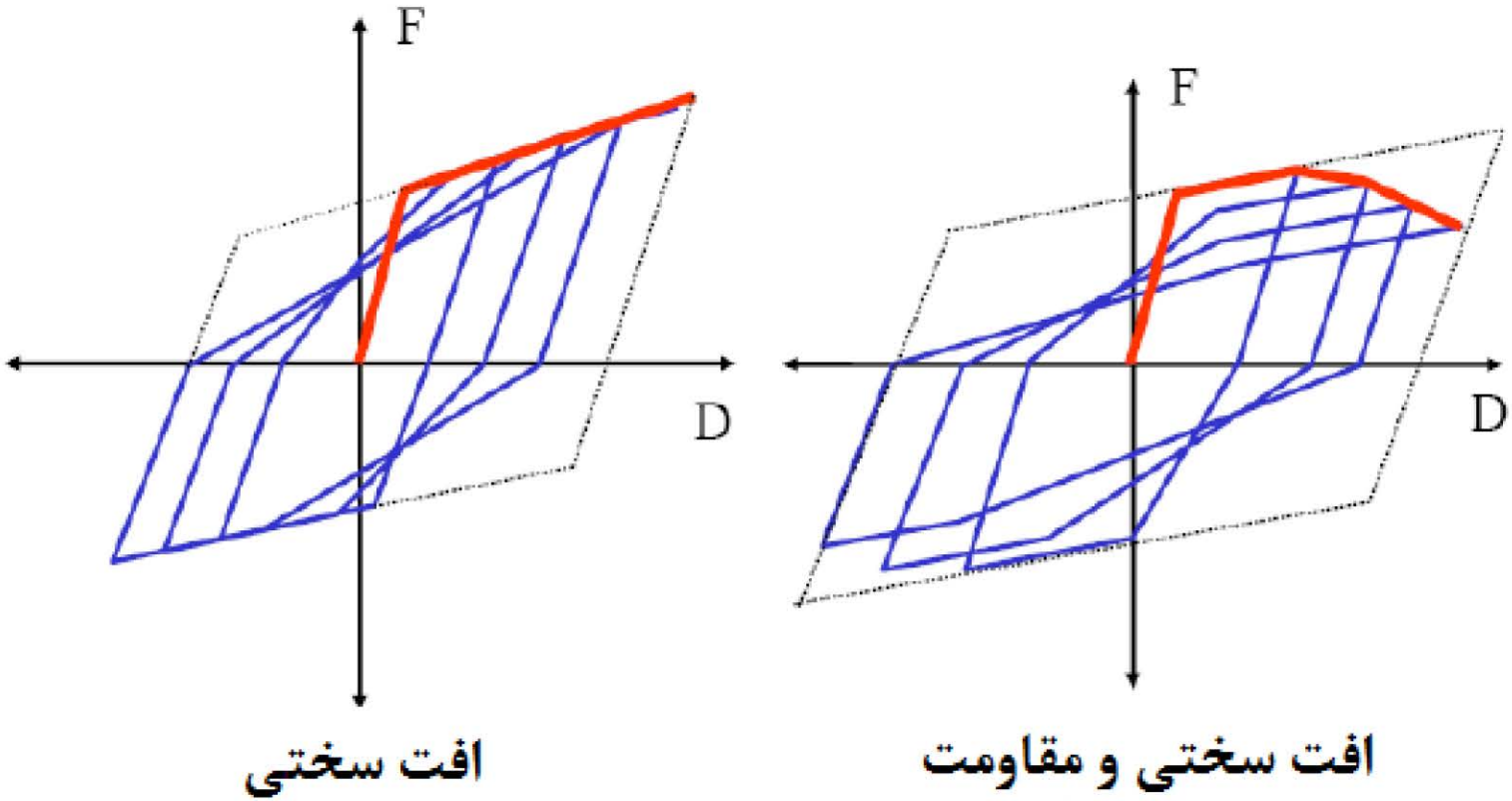
مدل ماکروسکوپی (macroscopic)



منحنی ستون فقرات و مدل های هیسترزیس معمول (۱)



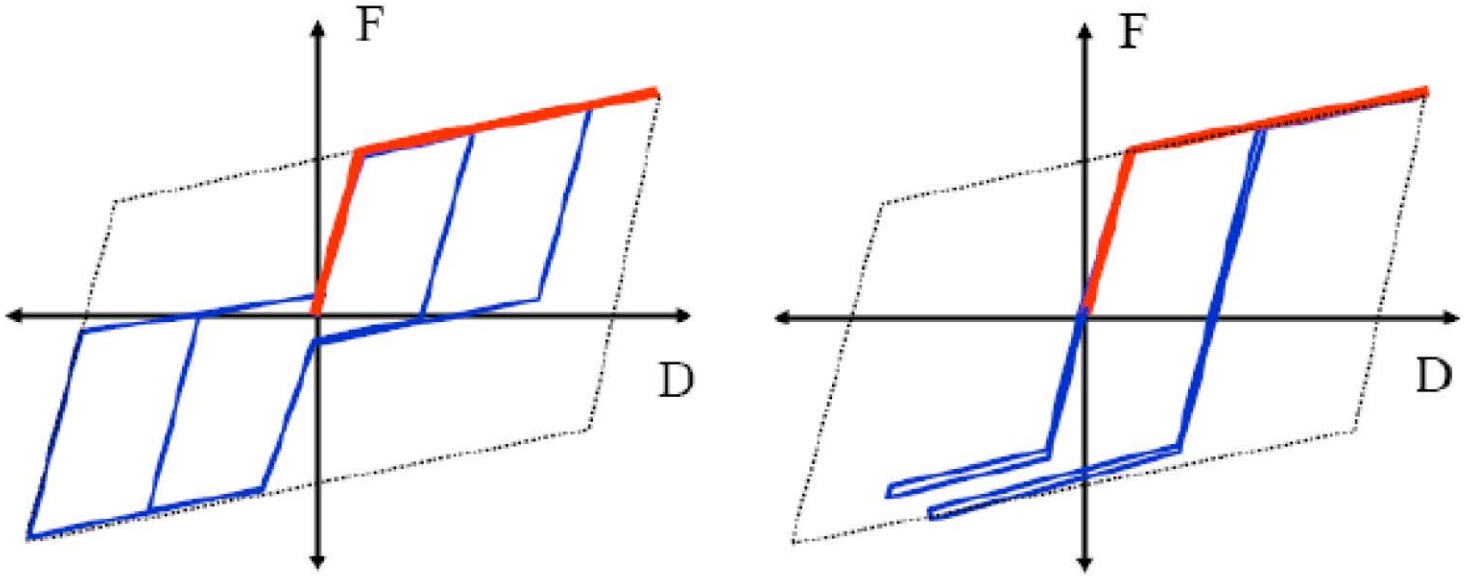
منحنی ستون فقرات و مدل های هیسترزیس معمول (۲)



افت سختی

افت سختی و مقاومت

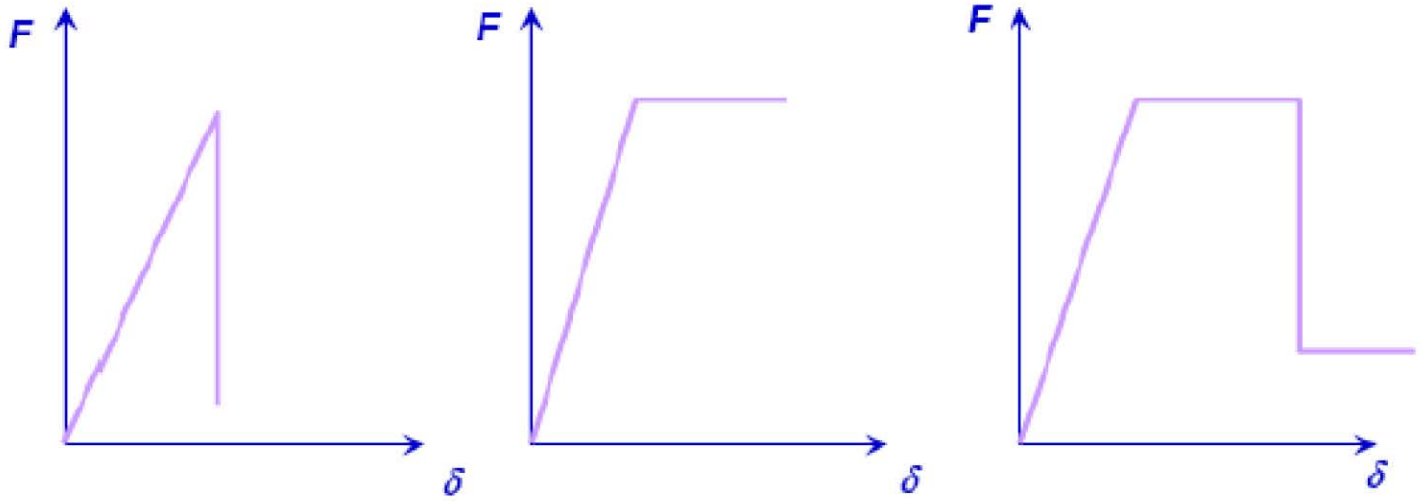
منحنی ستون فقرات و مدل های هیسترزیس معمول (۳)



باریک شدگی

کمانش

منحنی های ستون فقرات



رفتار ترد
(کنترل نیرو)

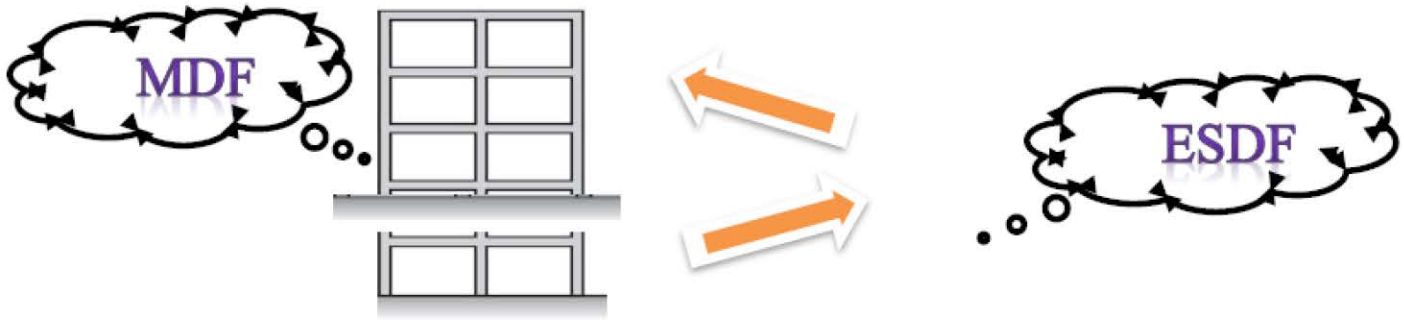
رفتار شکل پذیر
(کنترل تغییر شکل)

تحلیل بار افزون استاتیکی غیرخطی

- تحلیل بارافزون چیست؟
- چرا از این تحلیل استفاده کنیم؟
- مبانی اصلی روش بار افزون
- جزییات گام های روش بار افزون
- بحث پیرامون فرضیات
- روش های اصلاح شده

تحلیل بار افزون چیست؟

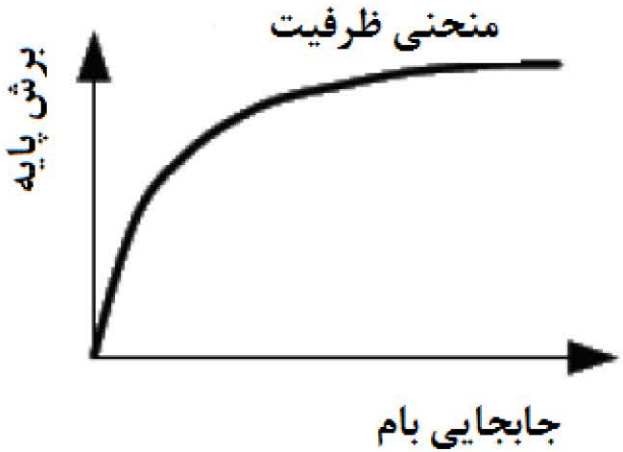
رفتار لرزه ای سیستم چند درجه آزادی (MDOF) را می توان از طریق یک سیستم یک درجه آزادی (SDOF) با دقت مناسبی تعیین نمود.



مشخصات سیستم SDF معادل (ESDF) از طریق تحلیل بار افزون محاسبه می شود

تخمین منحنی ظرفیت :

مدل سازه ای



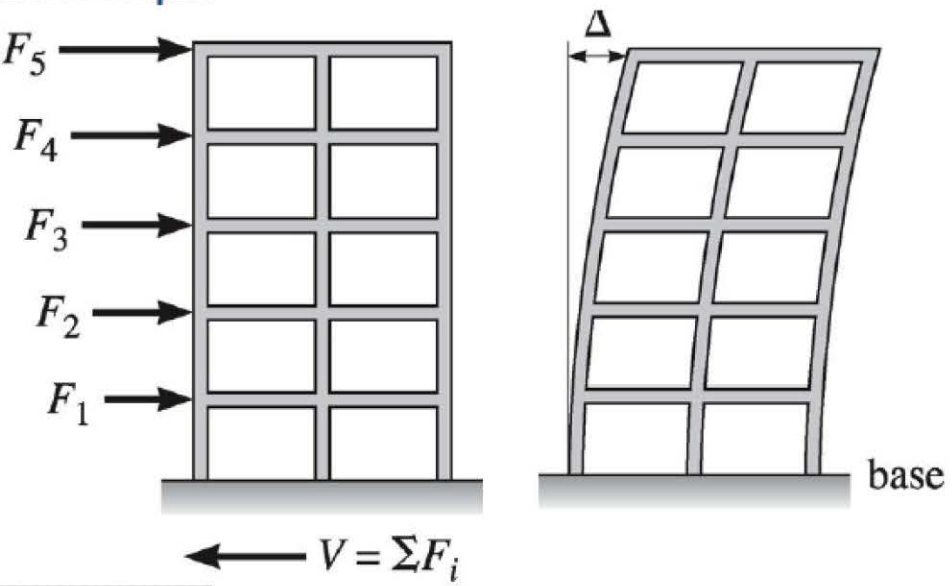
اهداف :

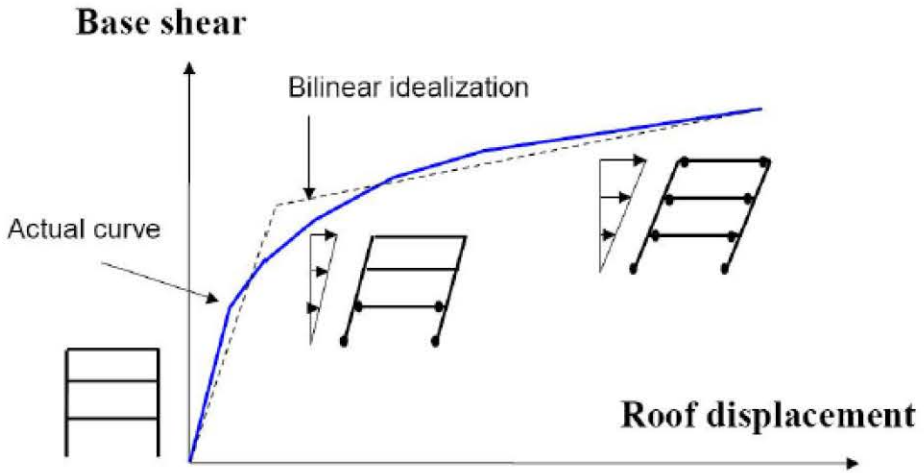
- تخمین جابجایی افقی حداکثر
- تخمین شکل پذیری سازه

تحلیل استاتیکی غیرخطی متداول:

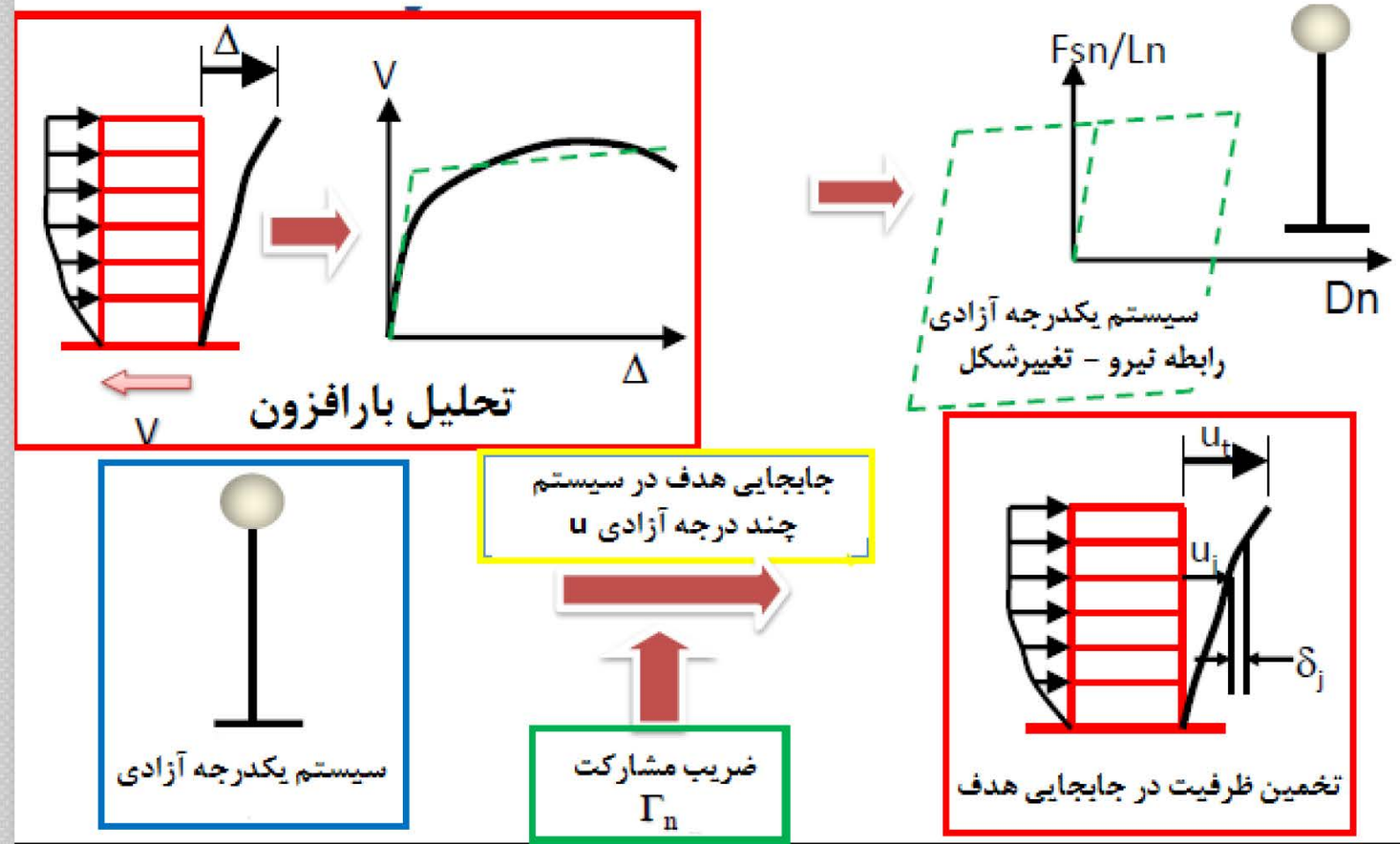
- انتخاب الگوی توزیع نیروی جانبی در ارتفاع

- تخمین شکل پذیری سازه





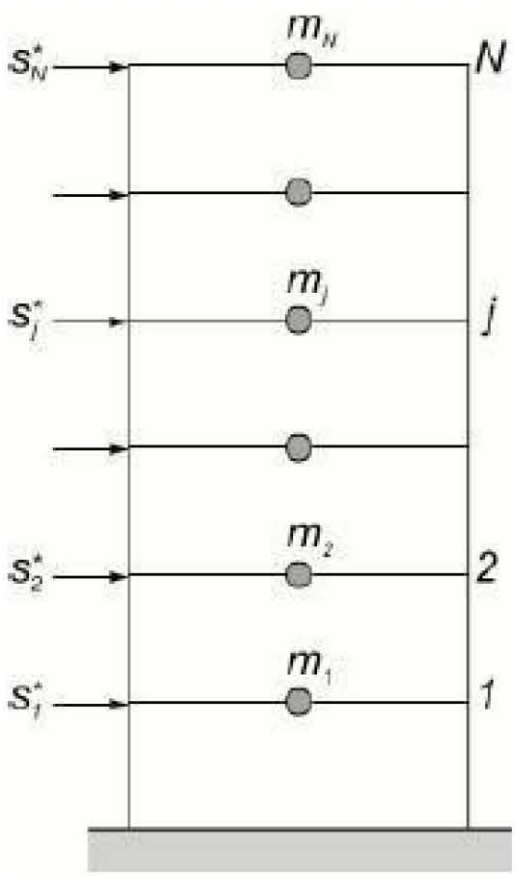
روند تحلیل استاتیکی غیرخطی



فرضیات اساسی

- پاسخ سازه چند درجه آزادی را می توان از طریق محاسبه پاسخ سیستم یکدرجه آزادی معادل تخمین زد. این پاسخ از طریق یک شکل مدی کنترل می شود و تا زمان ایجاد کمانش این شکل مدی بدون تغییر می باشد.
- توزیع نیروی جانبی ثابت می باشد.

الگوهای پیشنهادی توزیع نیروی جانبی در ارتفاع (FEMA)



$$\text{Uniform:} \quad s_j^* = m_j$$

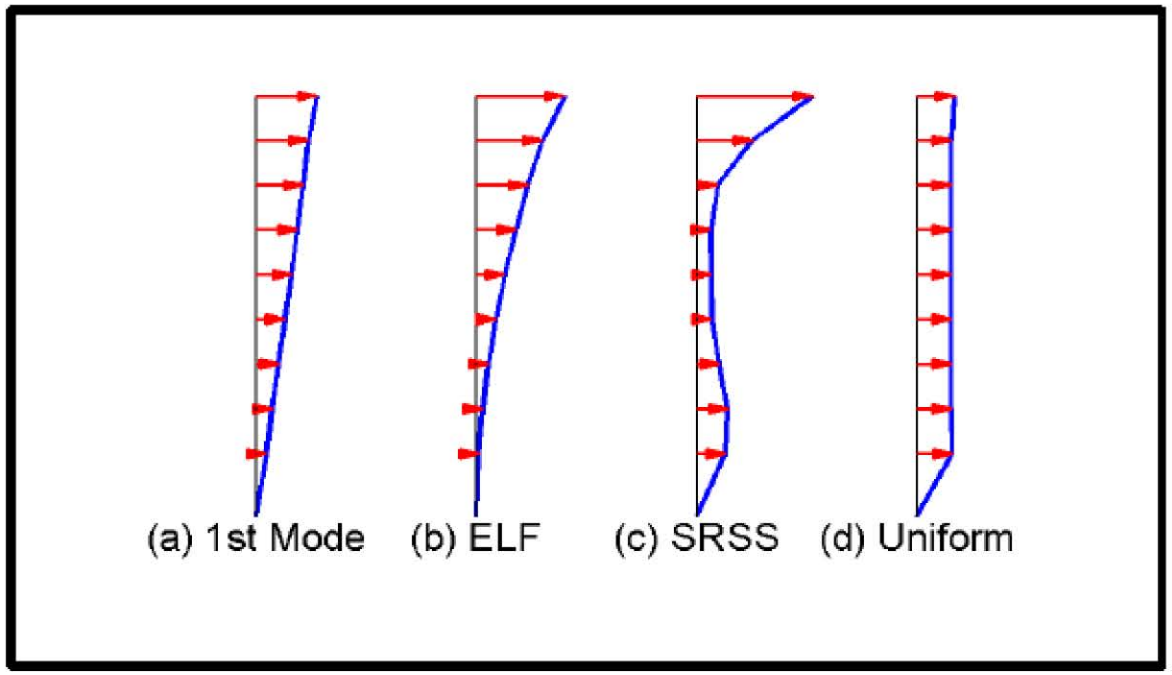
$$\text{First Mode :} \quad s_j^* = m_j \phi_{j1}$$

$$\text{ELF :} \quad s_j^* = m_j h_j^k \quad (k = 1 \text{ to } 2)$$

$$\text{SRSS :} \quad s_j^* = \text{from story shears}$$

توزیع های SRSS و ELF برای لحاظ کردن اثر مودهای بالاتر در نظر گرفته می شوند

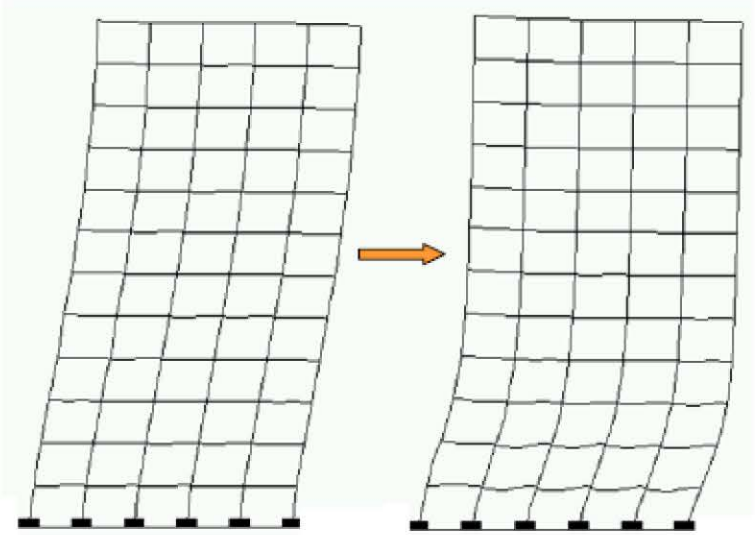
الگوهای پیشنهادی توزیع نیروی جانبی در ارتفاع (FEMA)



تمامی اشکال توزیع نیرو در طبقات در یک جهت می باشند

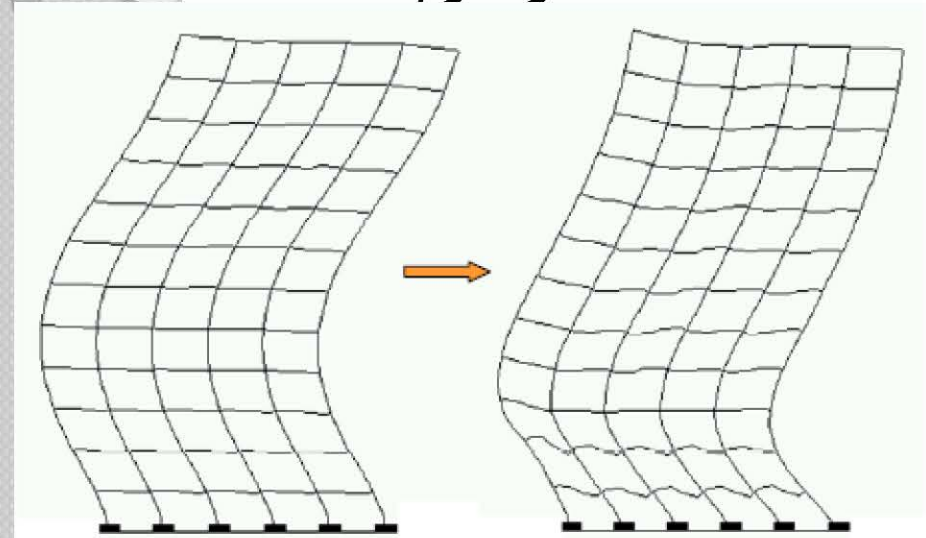
پاسخ مود بالاتر:

مود اول

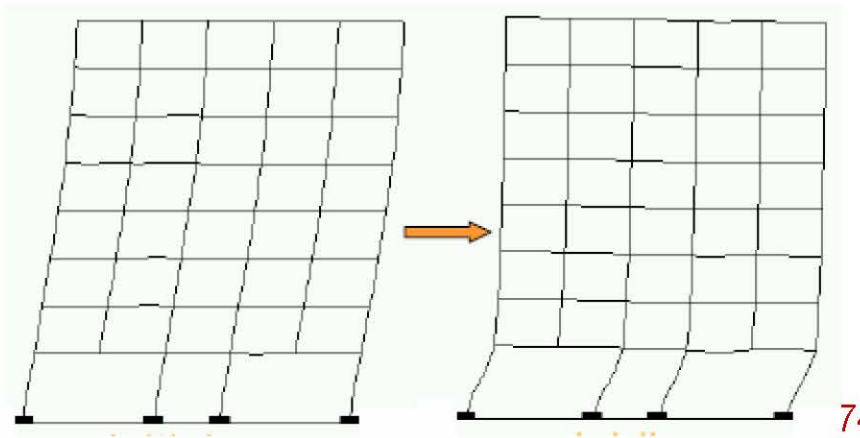


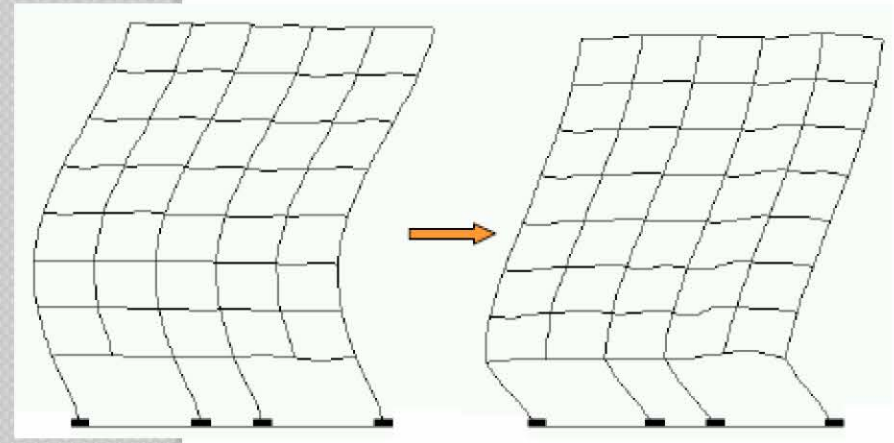
زمان جاری شدن　　شروع تحلیل

مود دوم



زمان جاری شدن　　شروع تحلیل





چرا از روش استاتیکی غیر خطی استفاده می کنیم؟

- ✓ روش هایی که مبتنی بر سطح عملکرد هستند، به تخمین قابل قبولی از تغیر شکل های غیرارتجاعی یا خسارت سازه ها نیاز دارند.
- ✓ تحلیل های ارتجاعی توانایی محاسبه تغییر شکل های غیرارتجاعی یا خسارت های سازه را ندارند.
- ✓ تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی قادر به محاسبه تغییر شکل های غیرارتجاعی یا خسارت های سازه می باشند؛ لیکن نیازمند زمان زیادی برای انجام محاسبات می باشند.

چرا از روش استاتیکی غیر خطی استفاده می کنیم؟

- ✓ تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور یا بار افزون) با تخمین مناسبی وضعیت رفتار غیرخطی سازه را مشخص می نماید.
- ✓ تحلیل بار افزون به تنهایی قادر به محاسبه حداکثر تغییرشکل سازه نمی باشد. برای این منظور، تحلیل های اضافی می بایست انجام شوند. موضوع اصلی این است: تا کجا و چقدر سازه را پوش دهیم؟ چقدر و چگونه به سازه نیرو اعمال نمائیم؟

چرا از روش استاتیکی غیر خطی استفاده می کنیم؟

- ✓ دانستن این نکته مهم است که بدانیم هدف از تحلیل بار افزون پیش بینی پاسخ واقعی سازه به زلزله نمی باشد. (بعید است که حتی تحلیل دینامیکی غیرخطی هم بتواند پاسخ واقعی سازه به زلزله را پیش بینی نماید.)
- ✓ حداقل مورد نیاز برای هر روش تحلیل از جمله روش بار افزون این است که می بایست طراحی اولیه به حد کافی خوب باشد.

نگاه اجمالی به کلیات روش بار افزون:

- ✓ تعیین منحنی ظرفیت
- ✓ پیش بینی تغییر مکان هدف:
  - روش طیف ظرفیت (ATC 40)
  - روش ضرایب (FEMA 273, NEHRP)
  - تاریخچه زمانی پاسخ مودهای مستقل
  - پوش آور مودال
  - پوش آور به روز شونده (تطبیق پذیر)

تعیین منحنی ظرفیت (روش ATC 40):

۱- تعیین مدل تحلیلی سازه شامل:

بارهای ثقلی, منشأ های ناشناخته رفتار غیر ارتجاعی, اثر P.Delta

۲- محاسبه مشخصات مودال:

دوره تناوب و شکل مودها, ضرایب مشارکت مودی, جرم مؤثر مودی

۳- فرض نمودن نحوه توزیع نیروی اینرسی جانبی

۴- ساخت منحنی پوش آور

۵- انتقال منحنی بار افزون به منحنی ظرفیت مود اول

۶- ساده سازی منحنی ظرفیت (با استفاده از نمودار دو خطی)

تعیین منحنی ظرفیت:

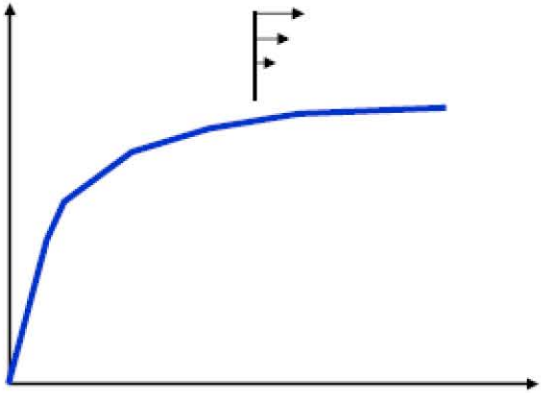
منحنی ظرفیت

شتاب مودی

تغییر مکان مودی

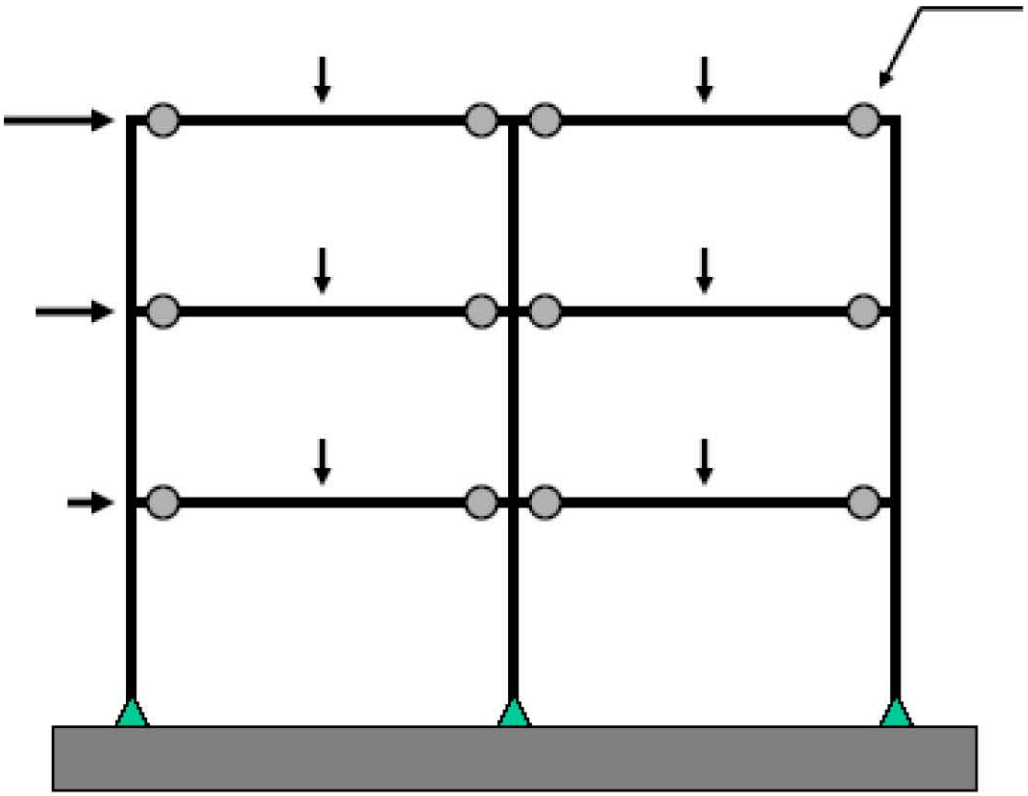
منحنی بار افزون

برش پایه



تغییر مکان بام

تعیین منحنی بار افزون:

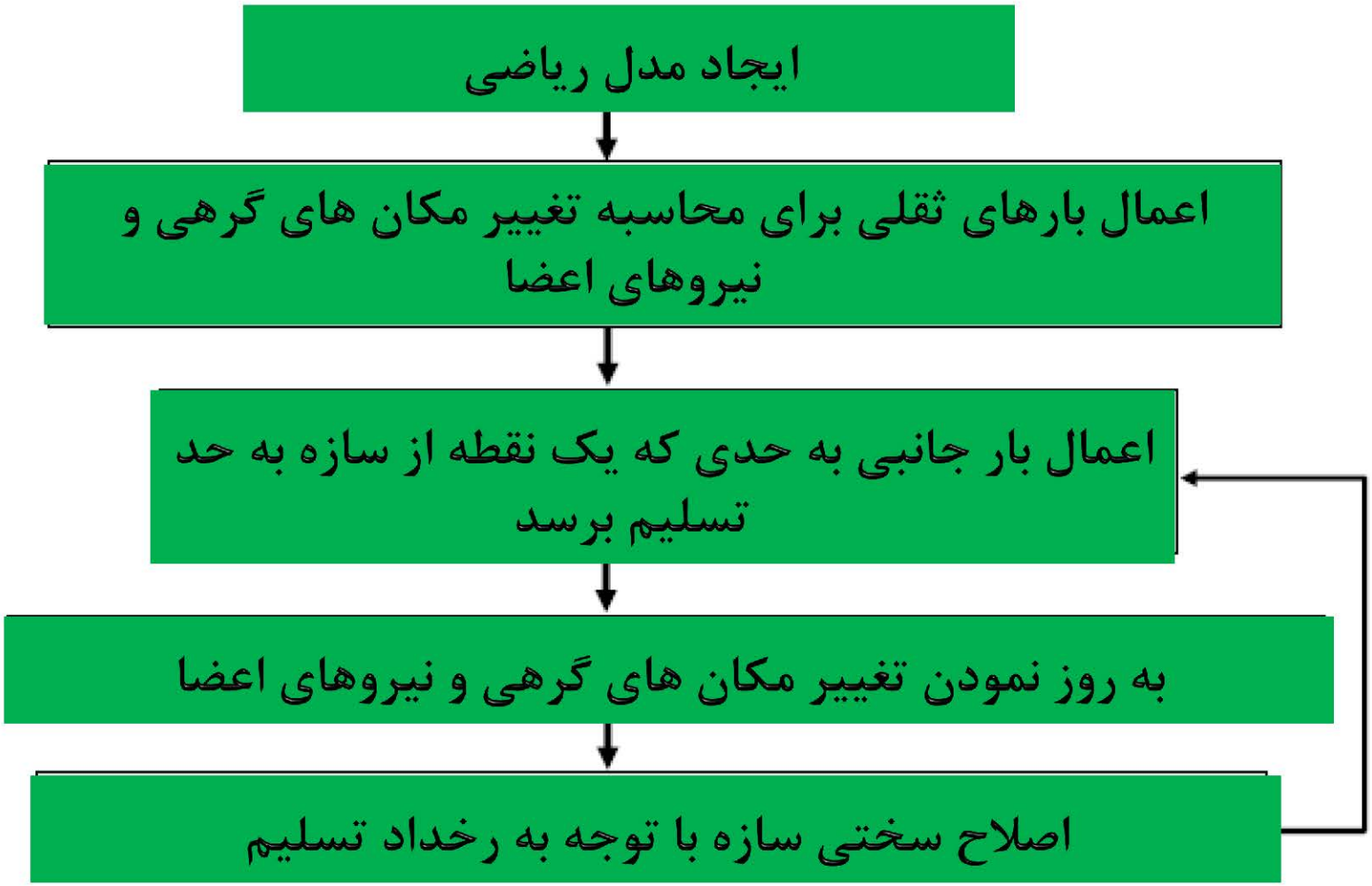


محل احتمالی مفاصل پلاستیک (می بایست به نحو صحیح پیش بینی شود)

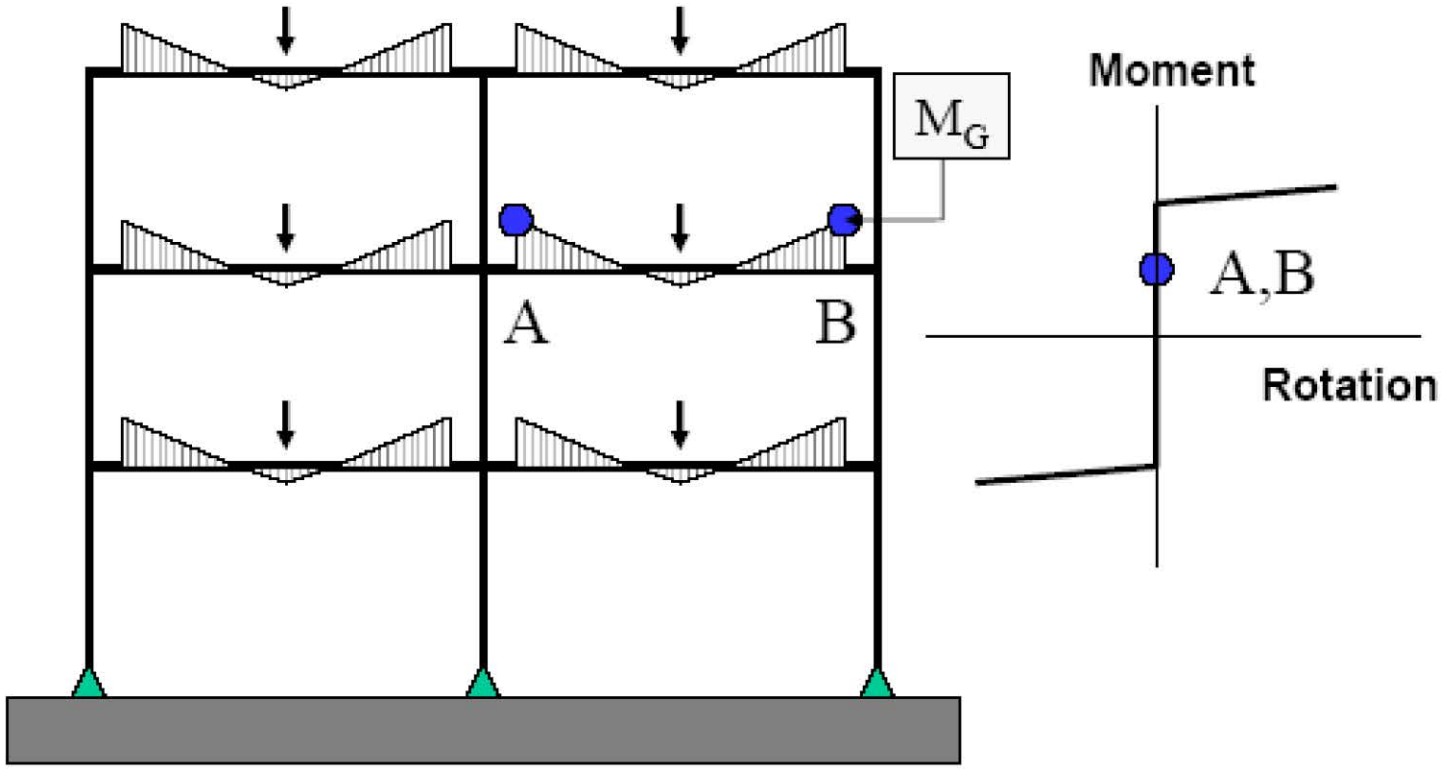
طراحی بر اساس عملکرد

تحلیل استاتیکی غیرخطی

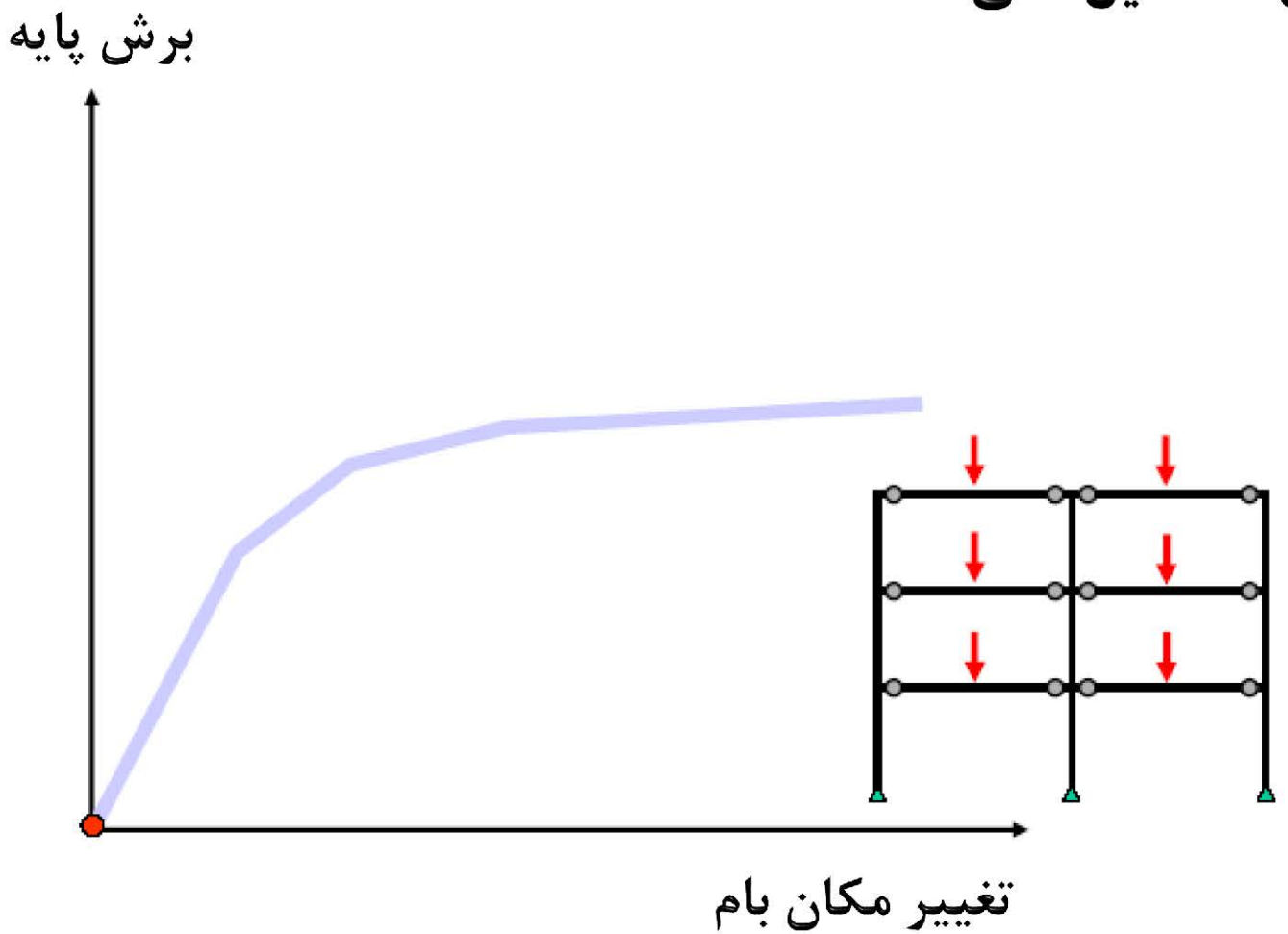
مراحل گام به گام تحلیل بار افزون:



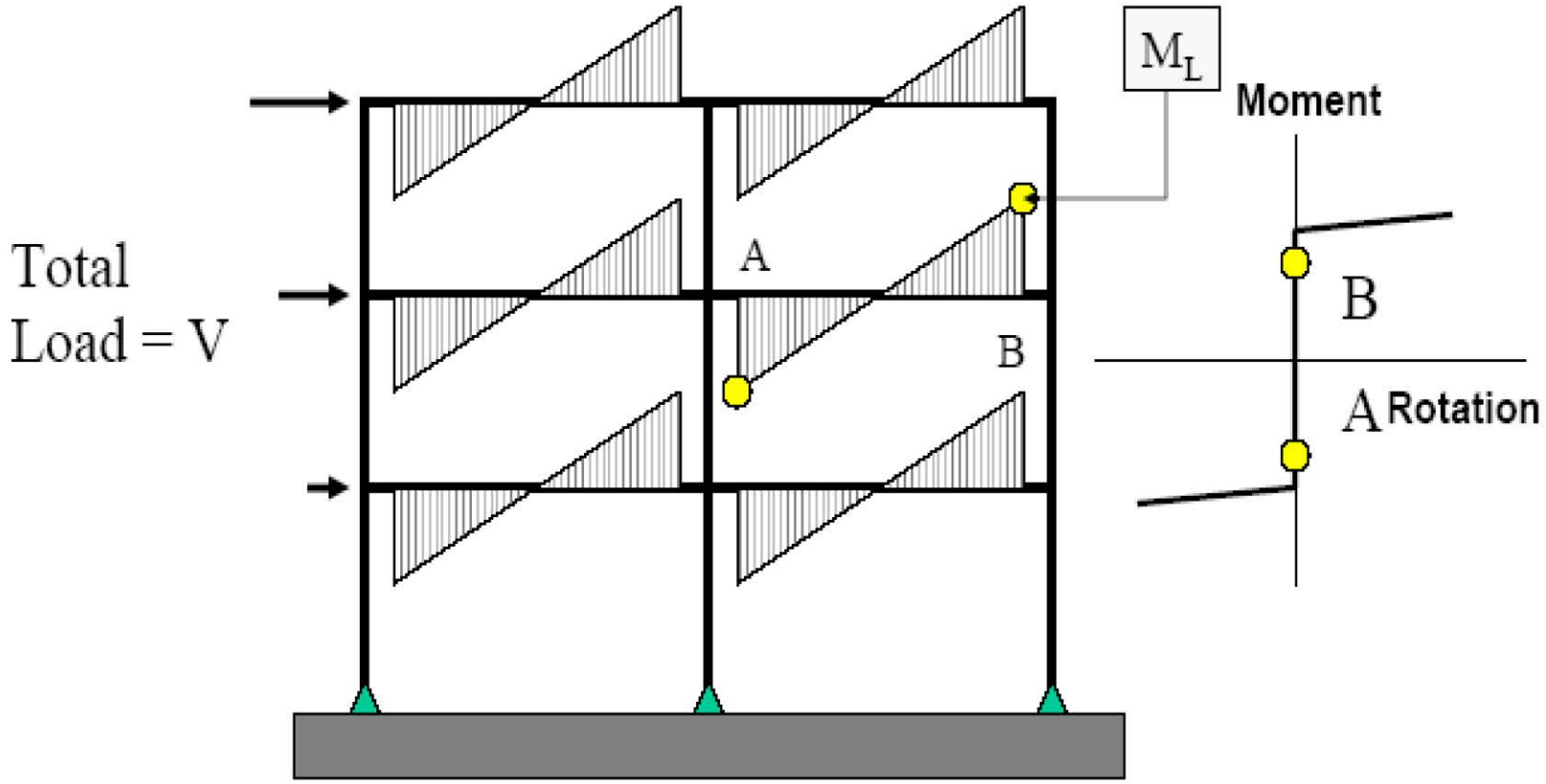
تحلیل اولیه تحت بار ثقلی:



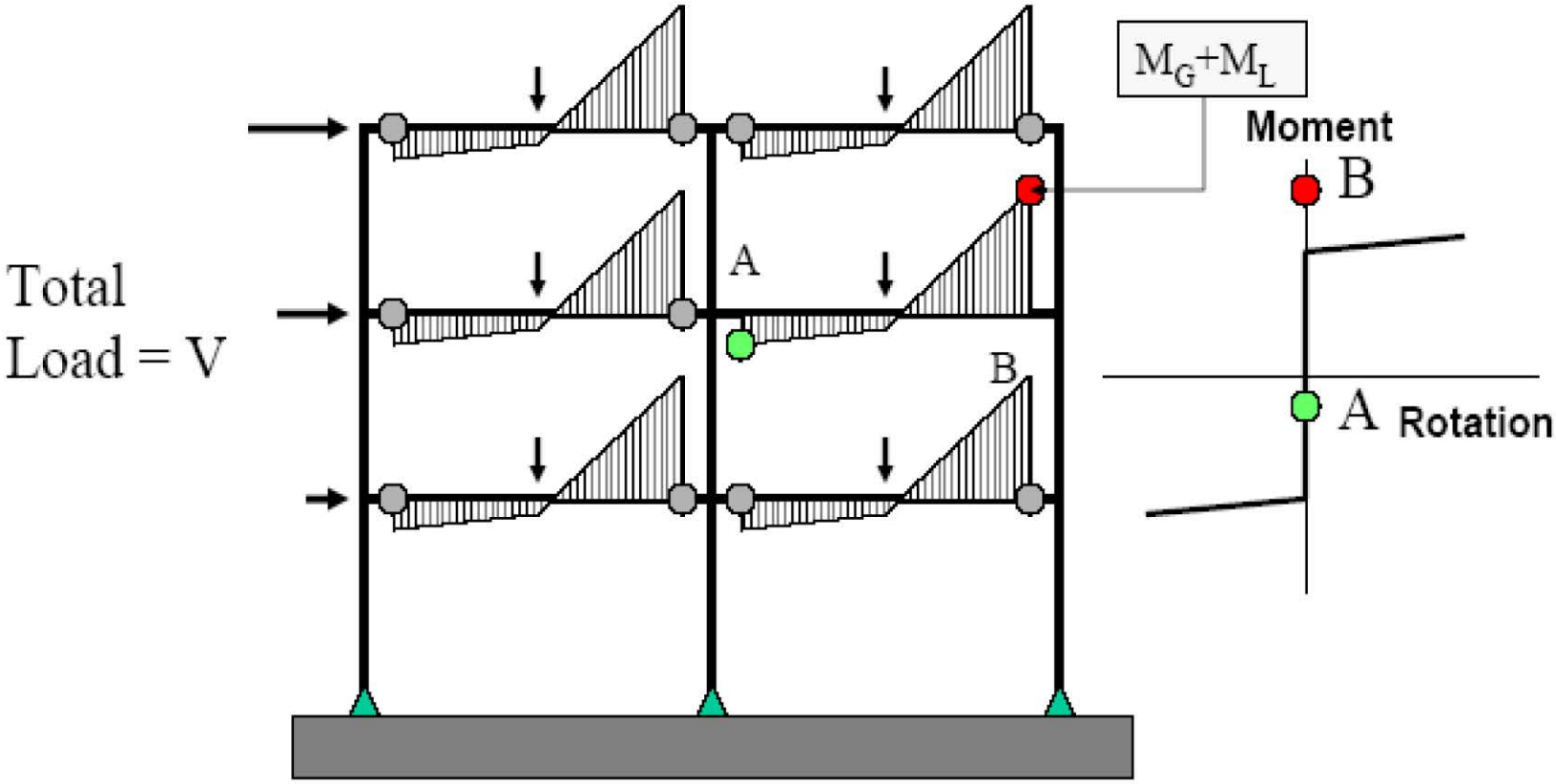
تحلیل ۱: تحلیل ثقلی:



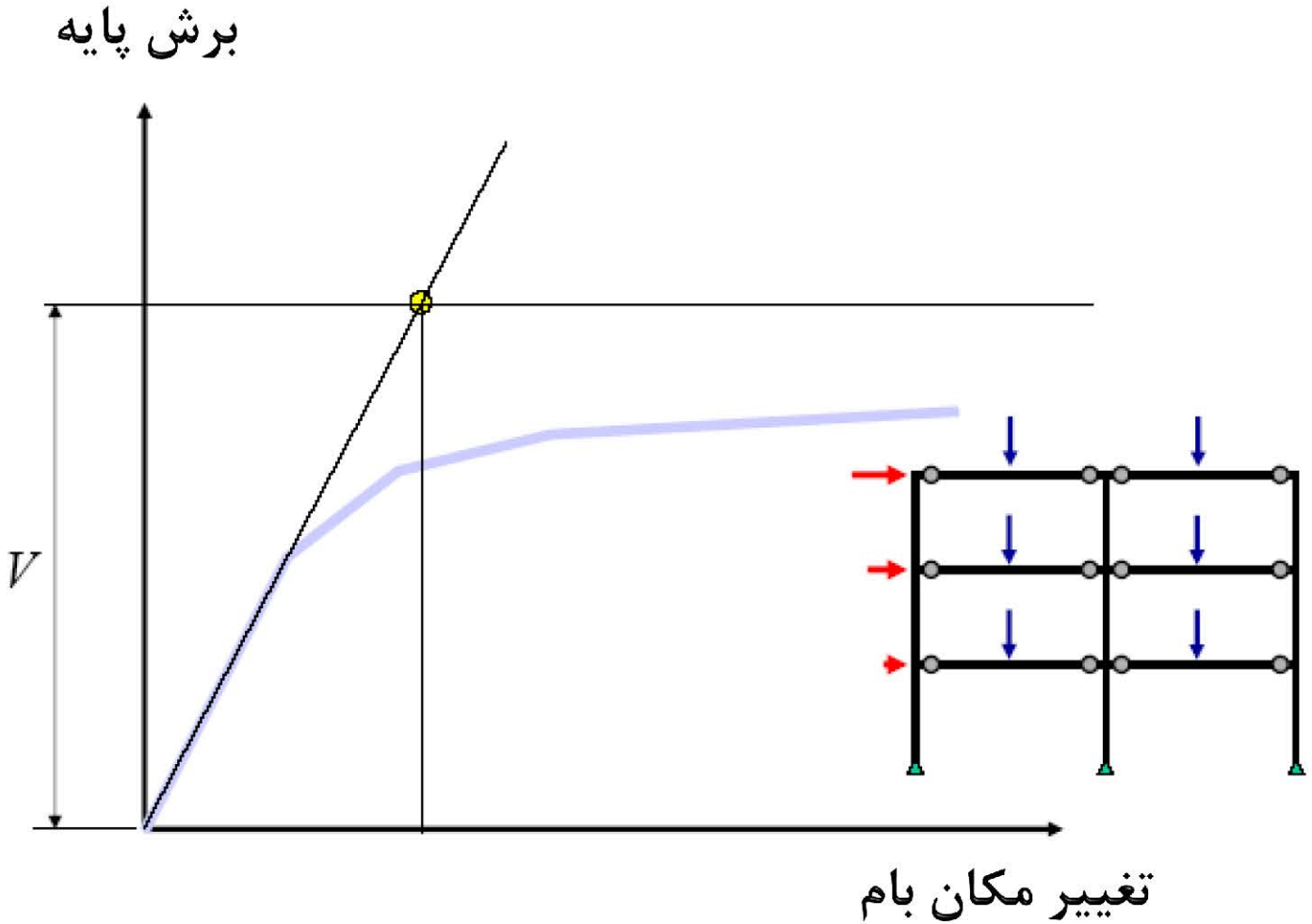
تحلیل بار جانبی (به تنهایی اعمال می شود) :



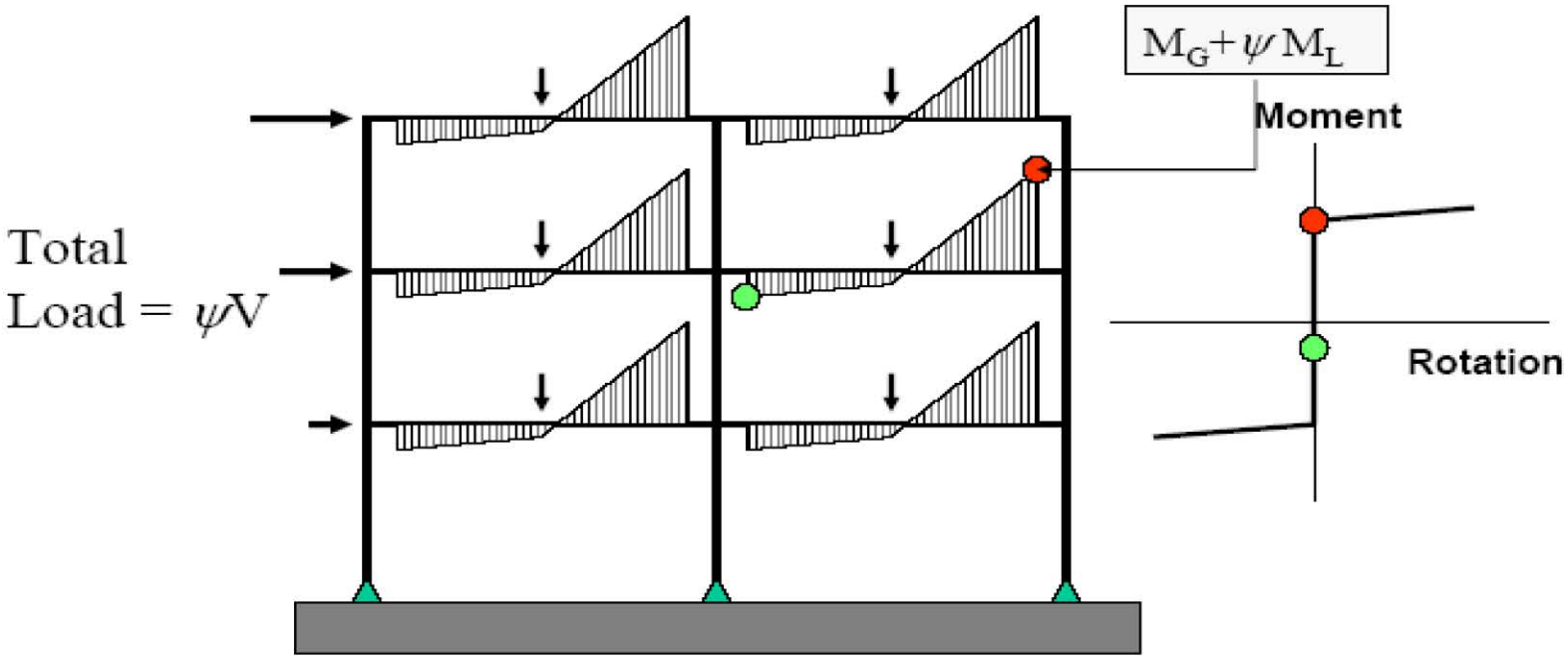
تحلیل بارهای ترکیبی شامل نیروی کل V



تحلیل 2a : اولین تحلیل جانبی



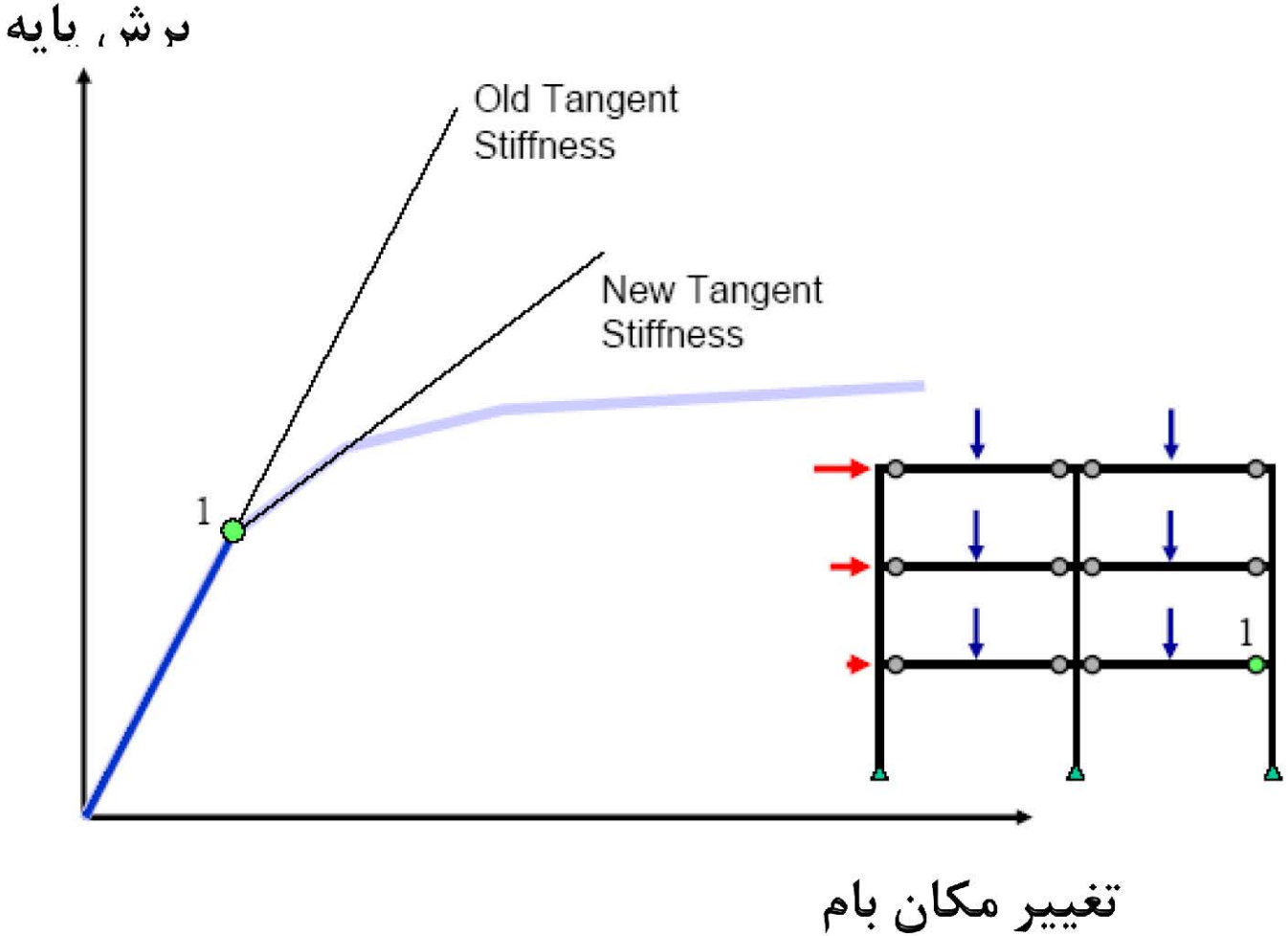
تحلیل بارهای ترکیبی:
تعیین مقدار نیروی جانبی مورد نیاز برای رخداد اولین تسلیم



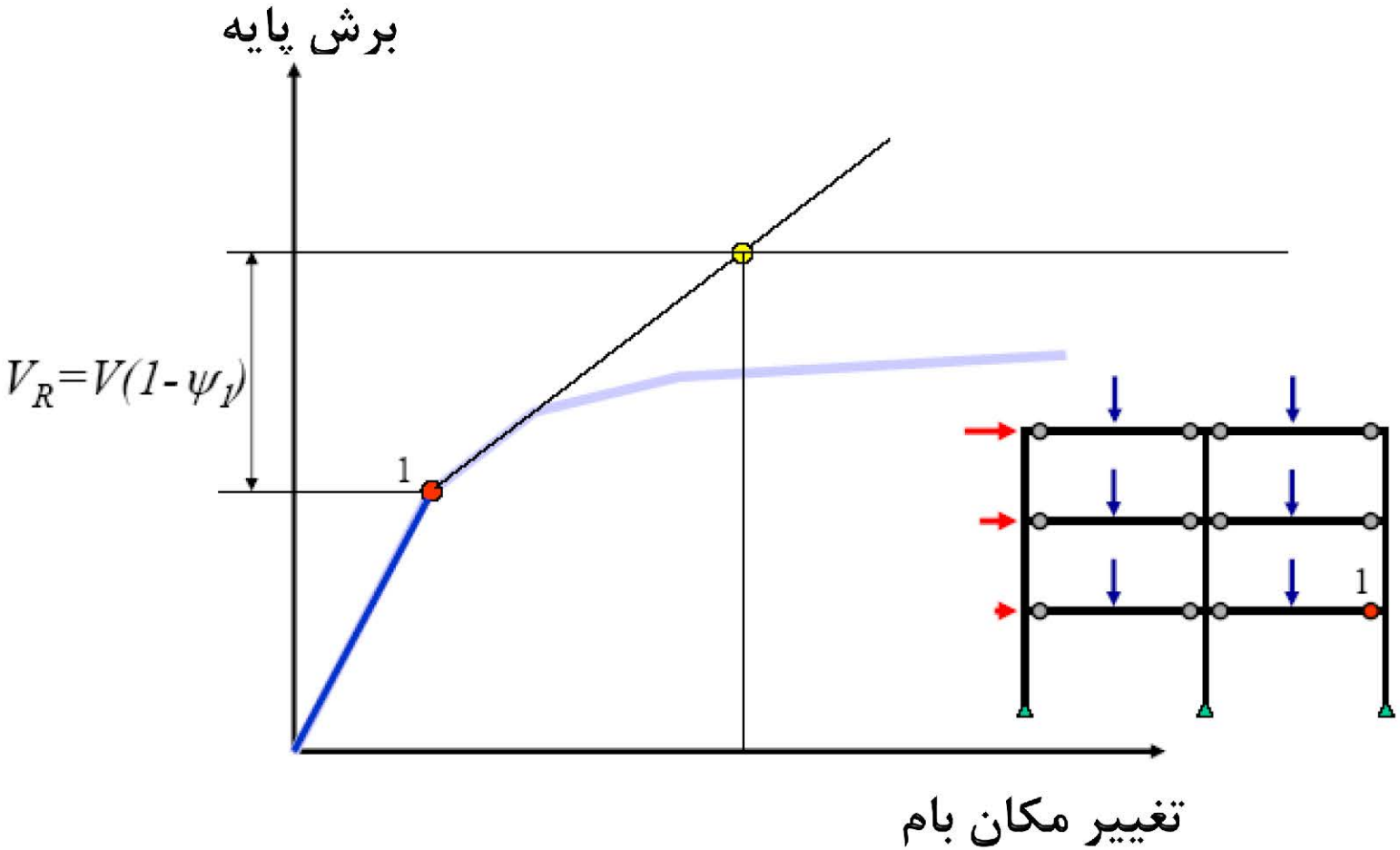
برای همه مفاصل (i)، Ψi را بدین صورت پیدا می شود:

$$M_{G,i} + \psi_i M_{L,i} = M_{P,i}$$

تحلیل 2b : اعمال بار متناظر با اولین تسلیم

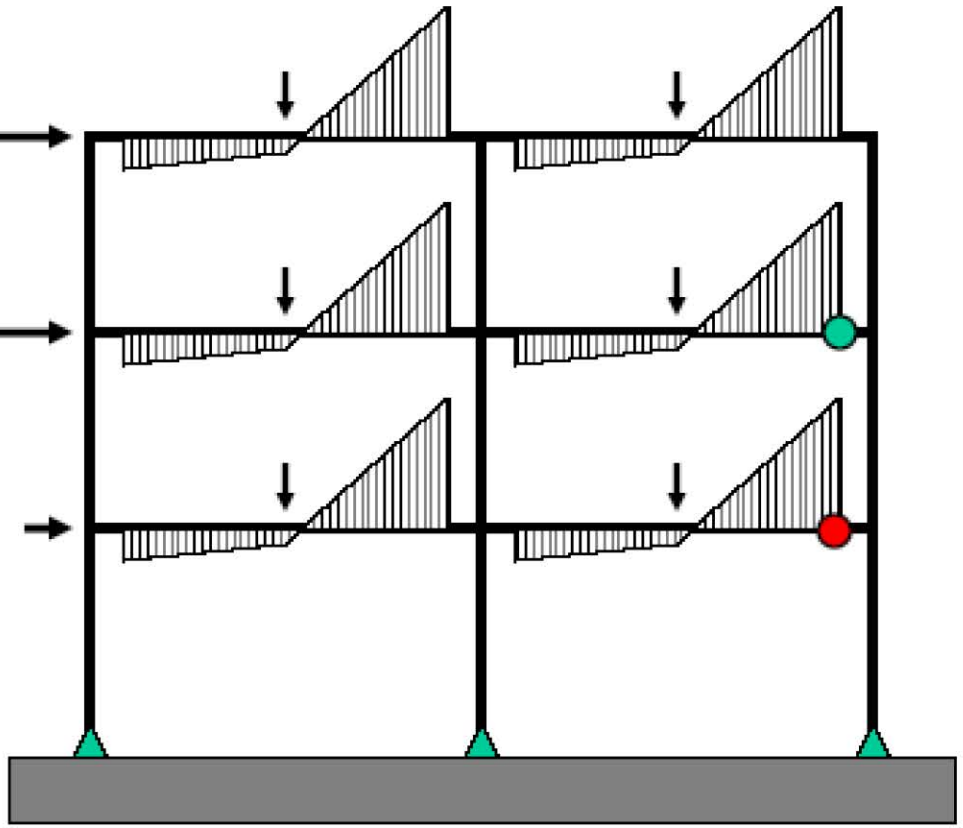


تحلیل3a : اصلاح سختی سیستم و اعمال بار باقی مانده

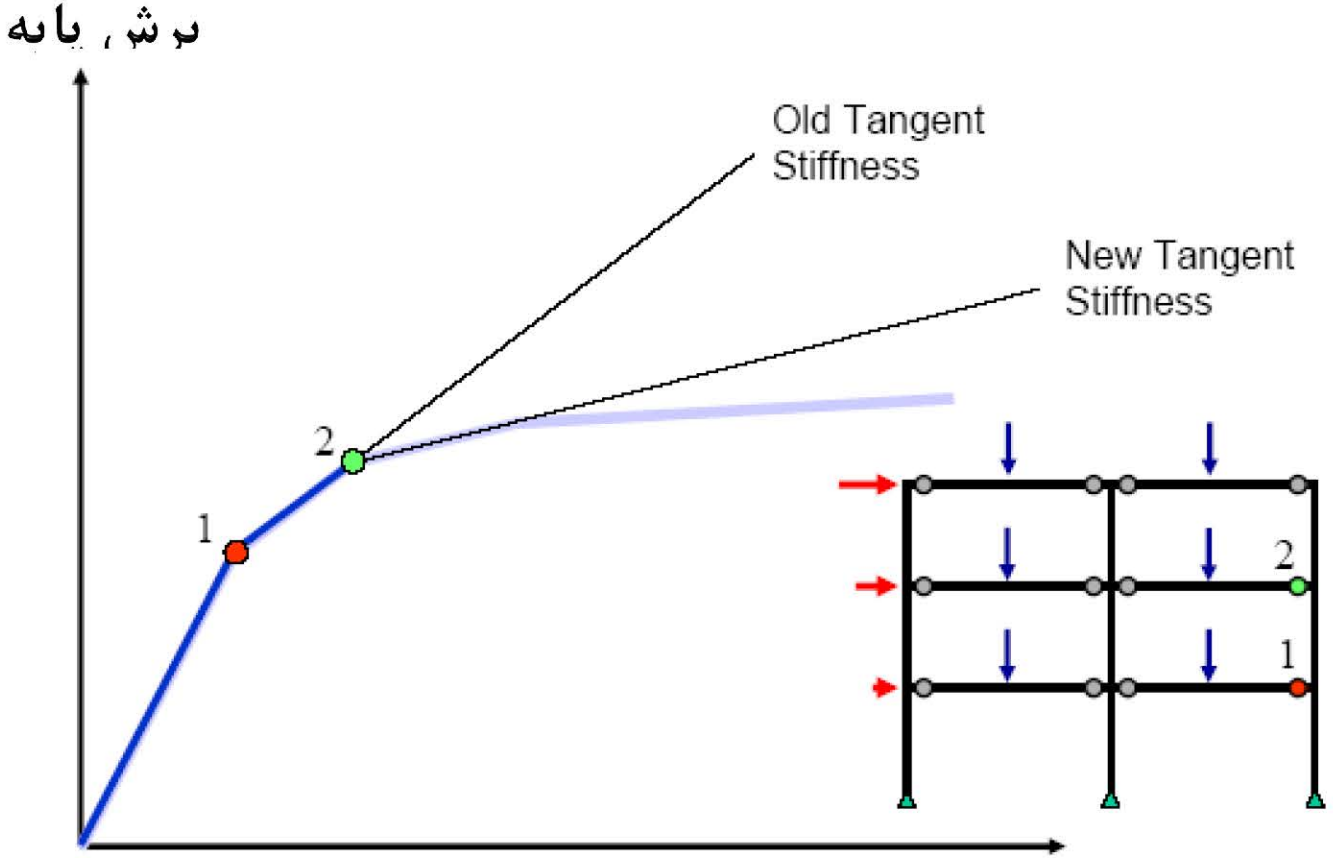


تعیین مقدار نیروی جانبی مورد نیاز برای ایجاد دومین تسلیم

Total
Load = $(1-\psi_1)V$

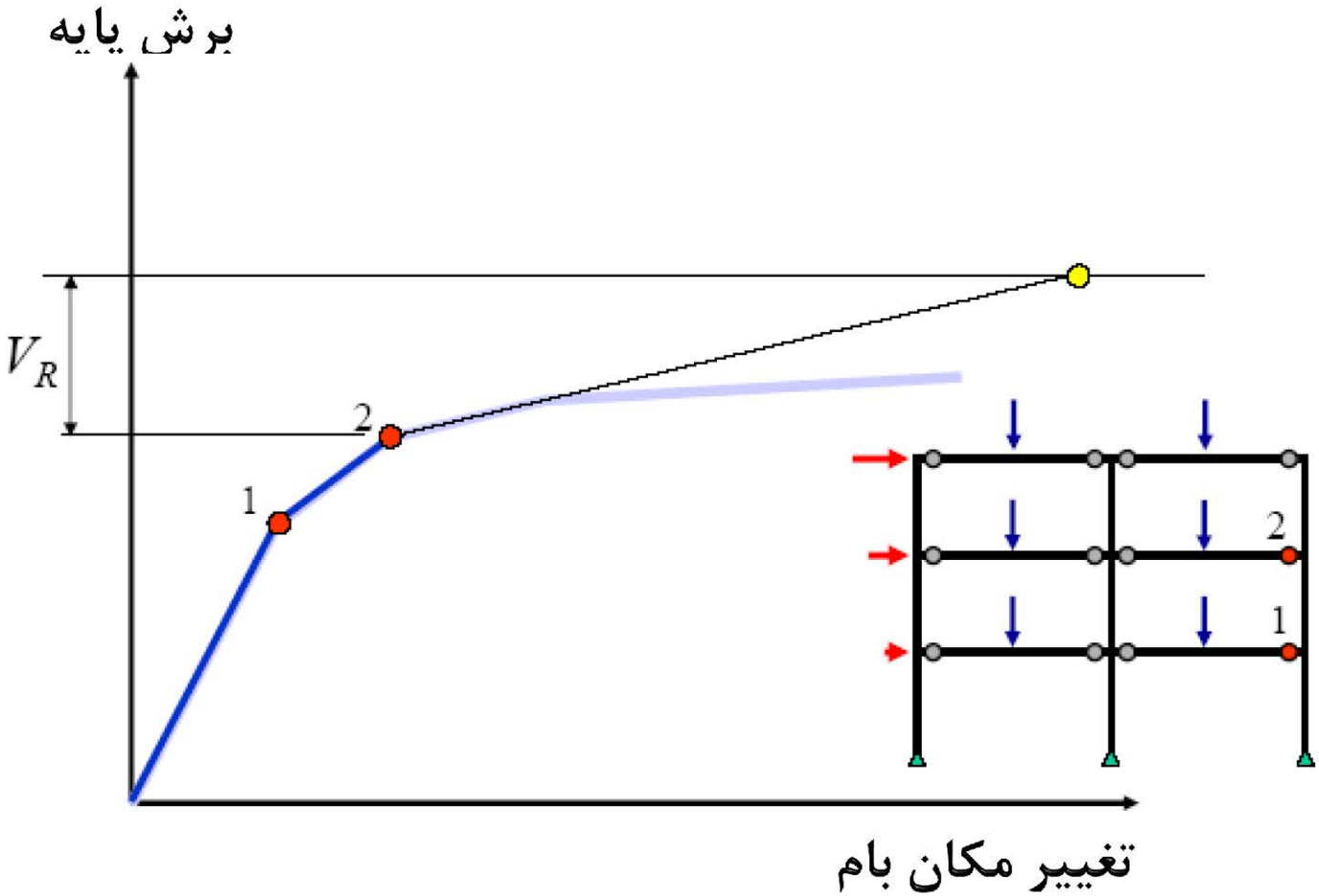


تحلیل 3b : بار متناظر با دومین تسلیم

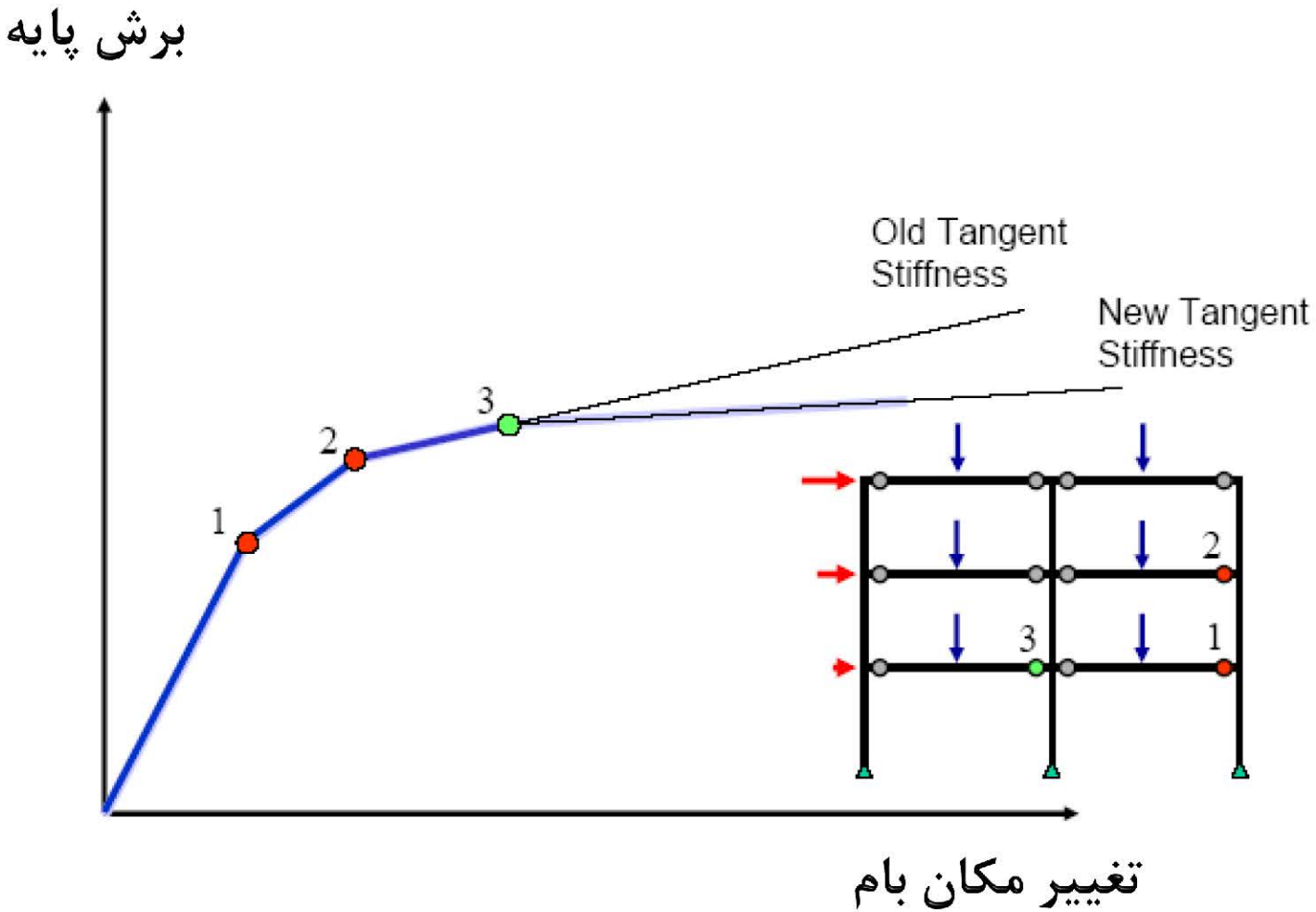


تغییر مکان بام

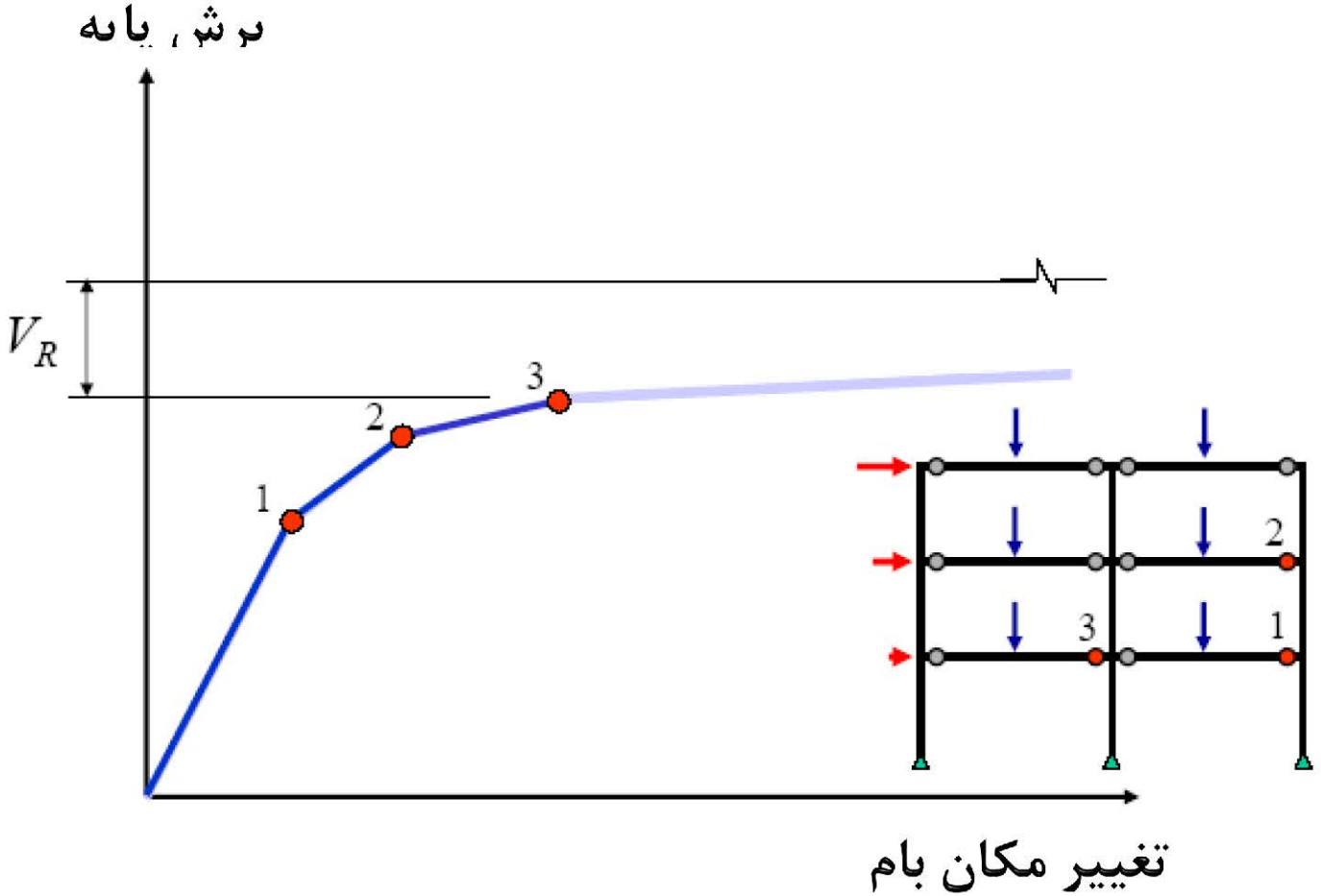
تحلیل 4a : اصلاح سختی سیستم و اعمال بار باقی مانده



تحلیل 4b : بار متناظر با سومین تسلیم

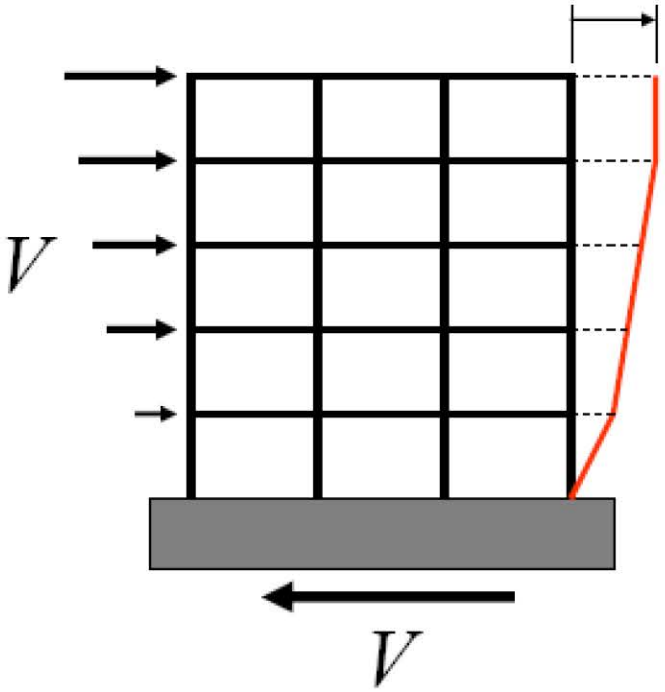


تحلیل 5a : .....

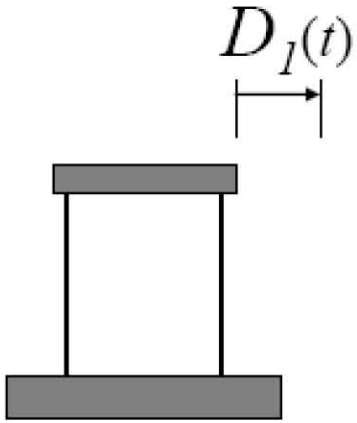


تبدیل منحنی بار افزون به منحنی ظرفیت

$$u_{1,roof}(t) = \Gamma_1 \phi_{1,roof} D_1(t)$$



مود اول سیستم (مختصات طبیعی)



مود اول سیستم یک درجه آزاد (مختصات مودی)

پاسخ مود اول به عنوان تابع پاسخ سیستم

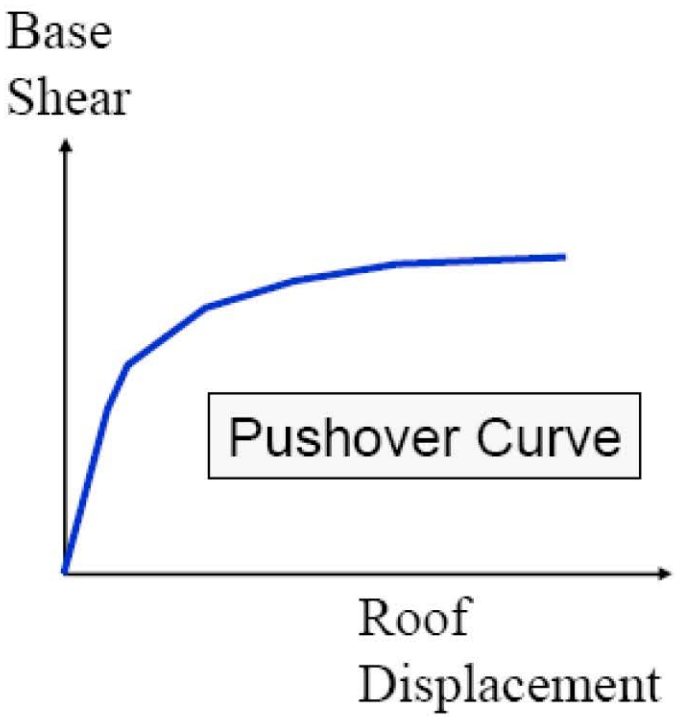
تغییر مکان مودی :

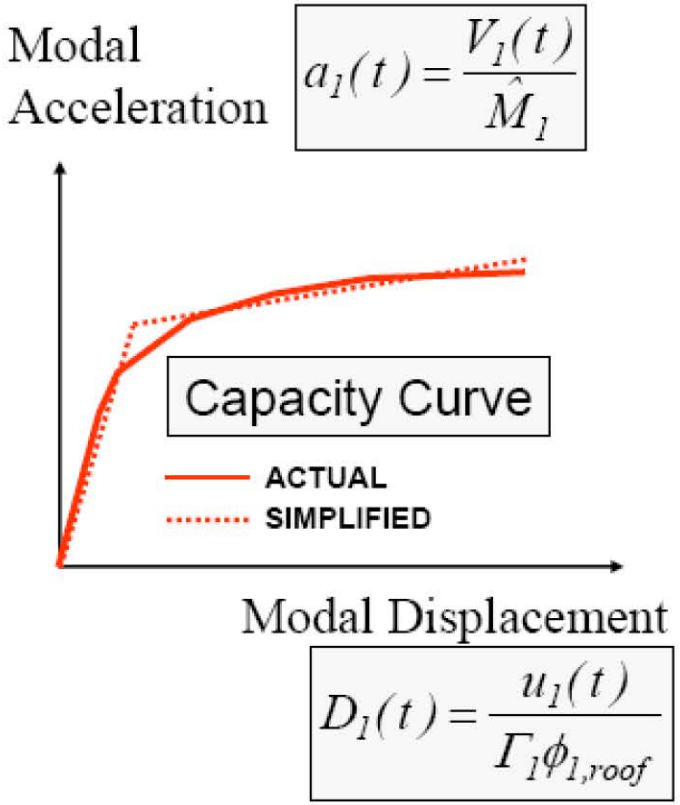
$$D_1(t) = \frac{u_{1,roof}(t)}{\Gamma_1 \phi_{1,roof}}$$

شتاب مودی :

$$a_1(t) = \frac{V_1(t)}{\hat{M}_1}$$

تبدیل منحنی بار افزون به منحنی ظرفیت





تعیین منحنی تقاضا :

۱- فرض نمودن سطح خطر لرزه ای (به عنوان مثال ٪ ۲ در ۵۰ سال)

۲- تعیین طیف پاسخ الاستیک با میرایی ٪ ۵

۳- اصلاح برای اثرات ساختگاه

۴- اصلاح برای عملکرد مورد انتظار و میرایی معادل

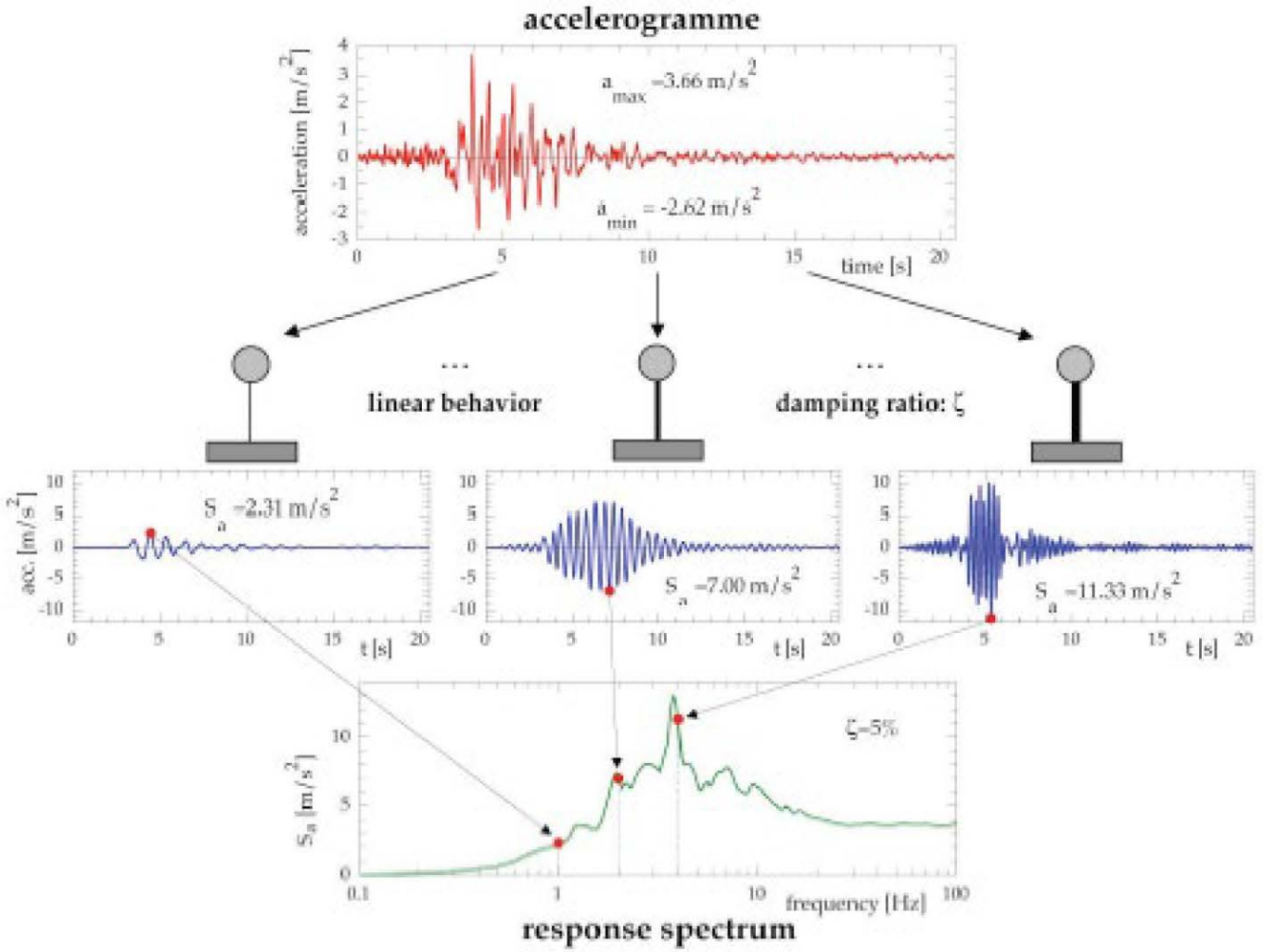
۵- انتقال به شکل تغییر مکان- شتاب

طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا (طیف پاسخ)

طیف پاسخ :

محاسبه طیف پاسخ شتاب

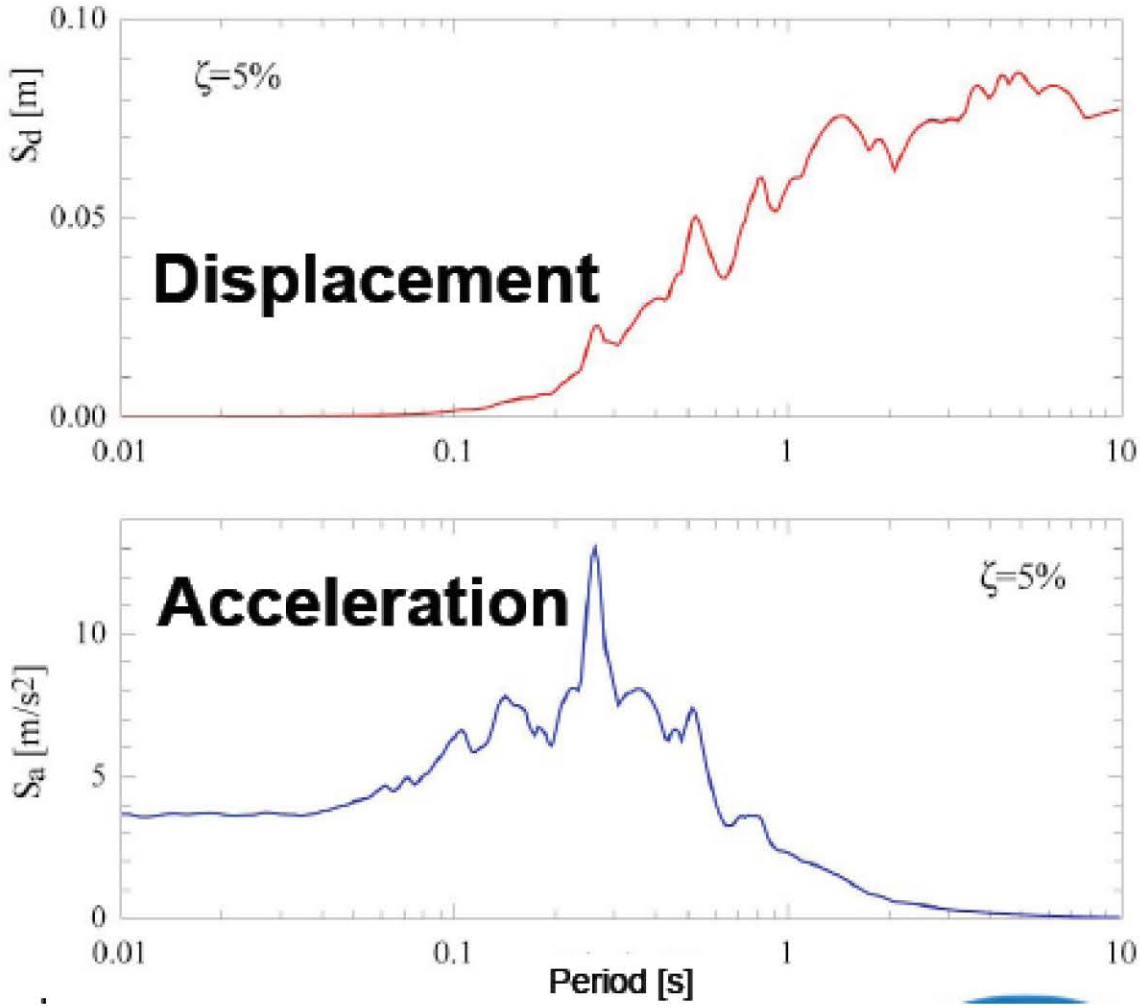


طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا (طیف پاسخ)

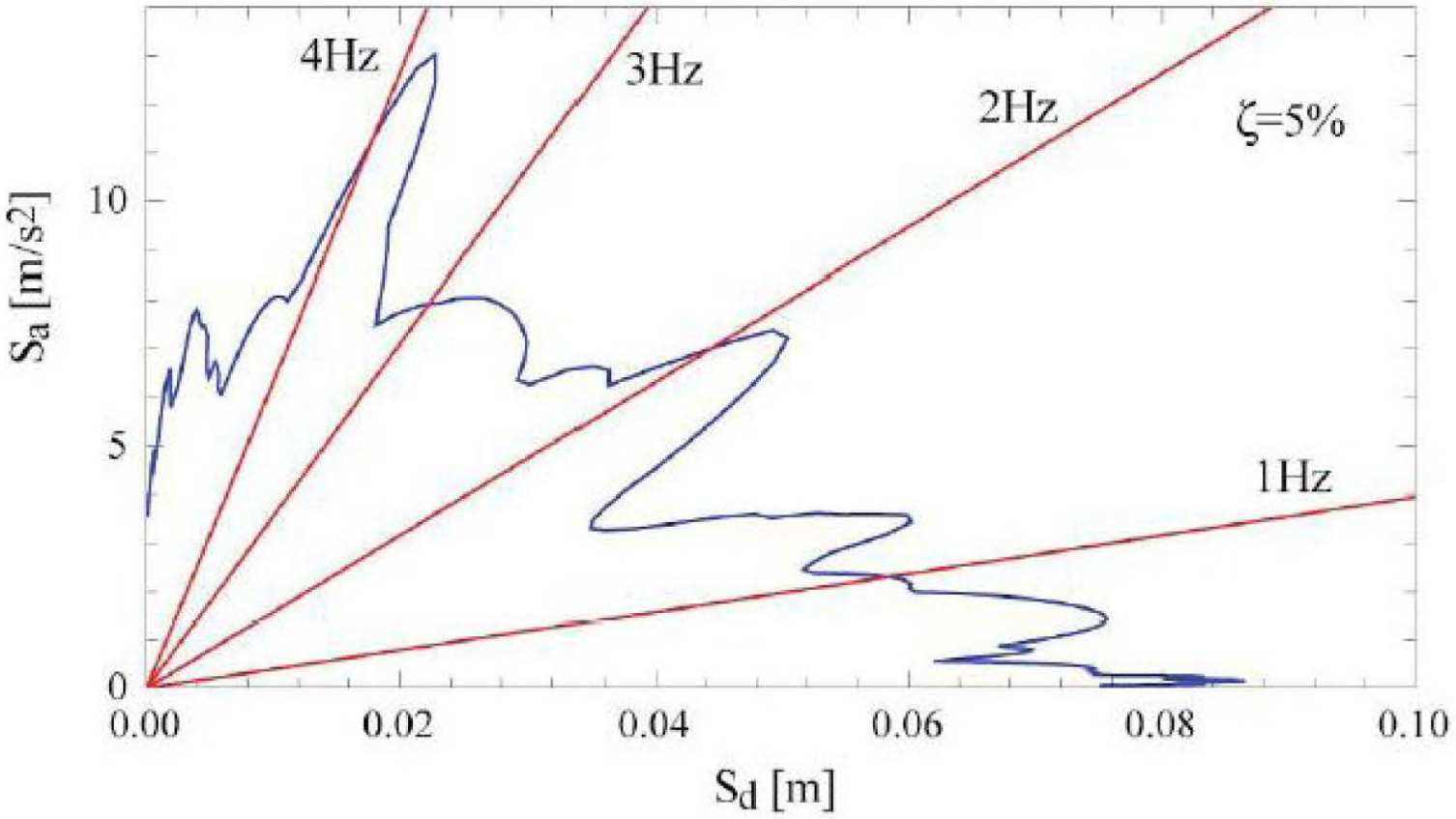
طیف پاسخ :

$$S_d \approx \frac{S_a}{\omega^2}$$



طیف پاسخ شتاب–تغییرمکان (ADRS):

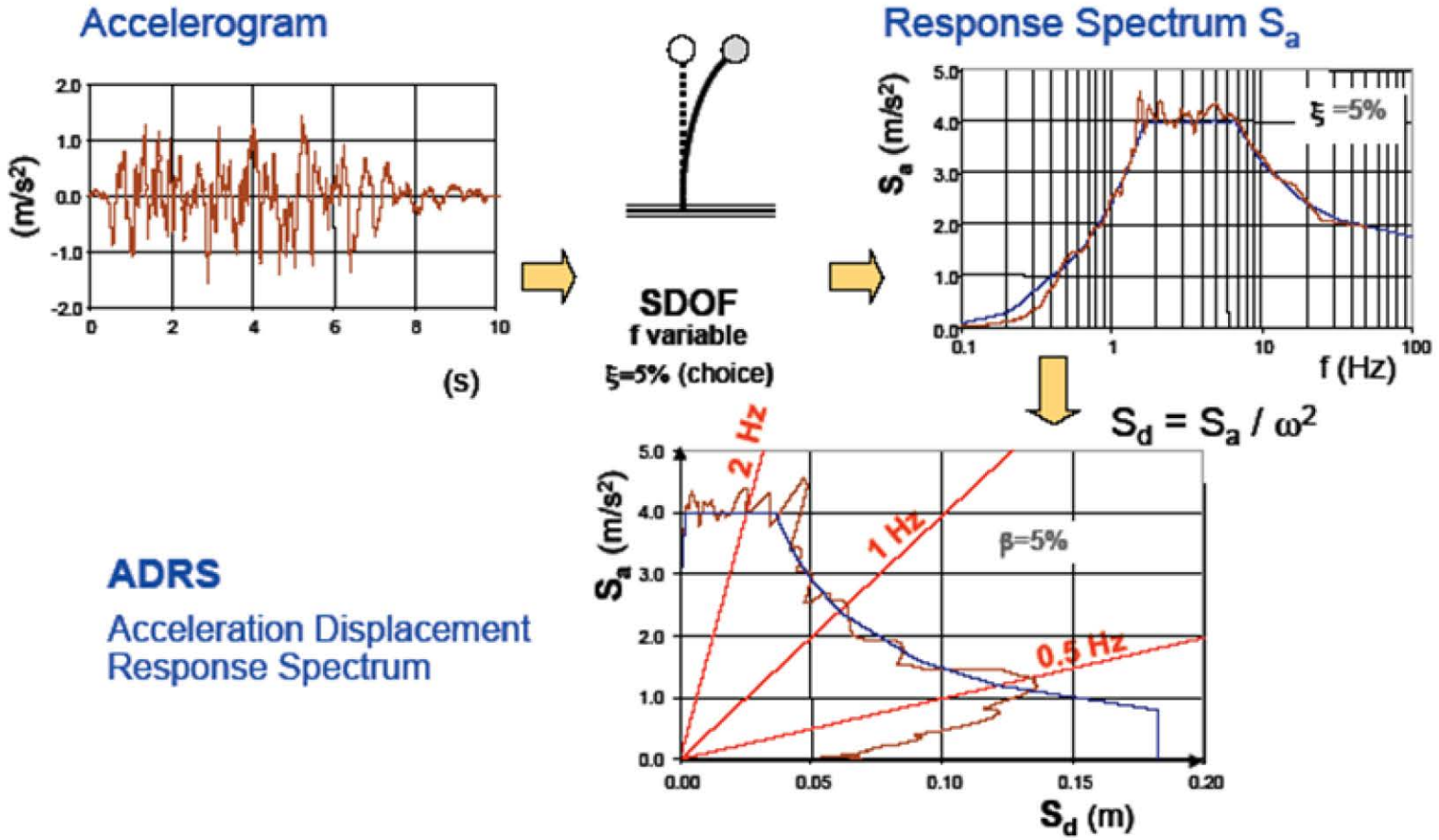
یک نمایش ترکیبی:



طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا (طیف پاسخ)

طیف پاسخ شتاب–تغییرمکان (ADRS):

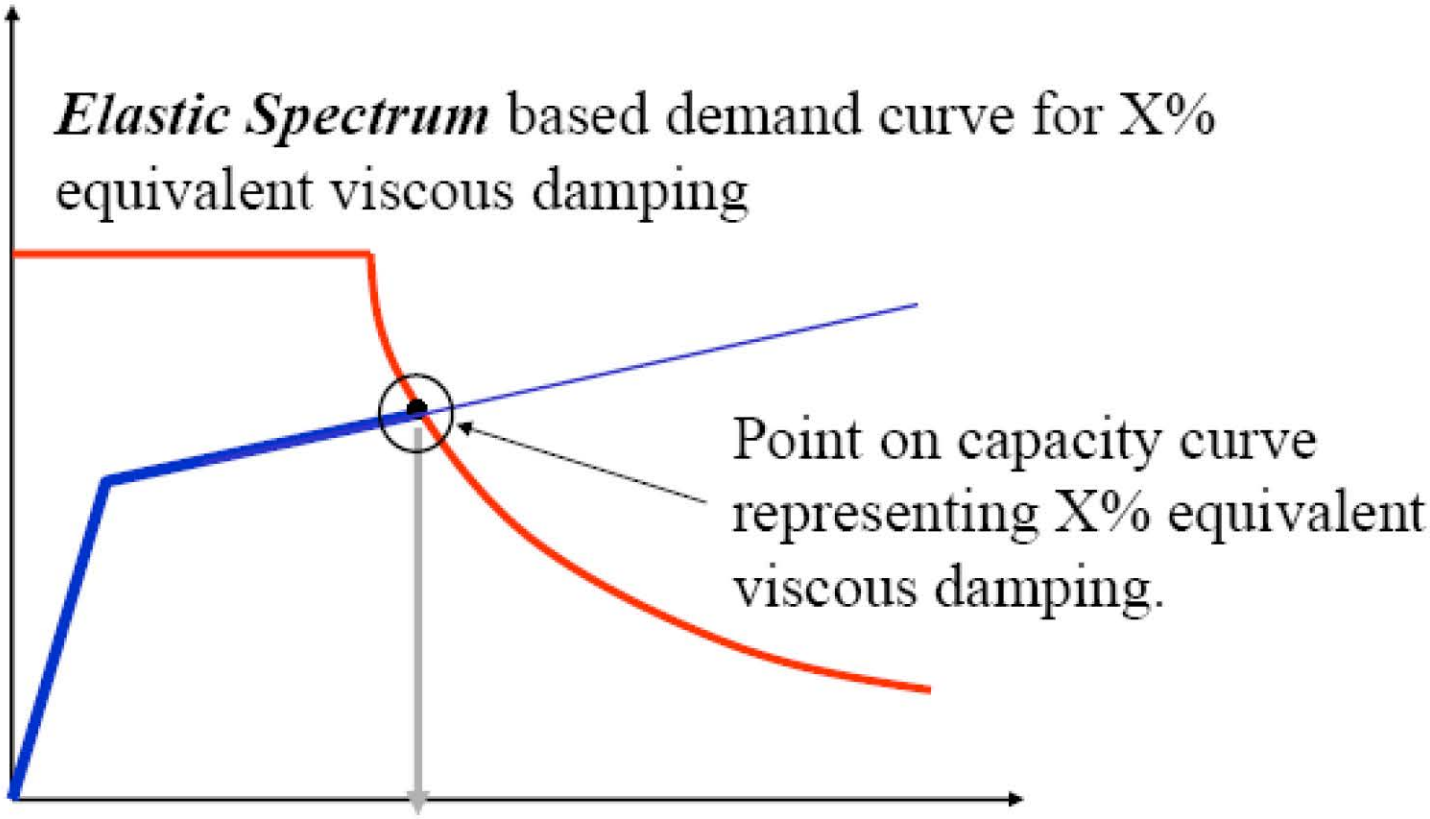


ADRS

Acceleration Displacement Response Spectrum

طیف الاستیک بر اساس تغییر مکان هدف

(g) وزن یا شبه شتاب/برش پایه

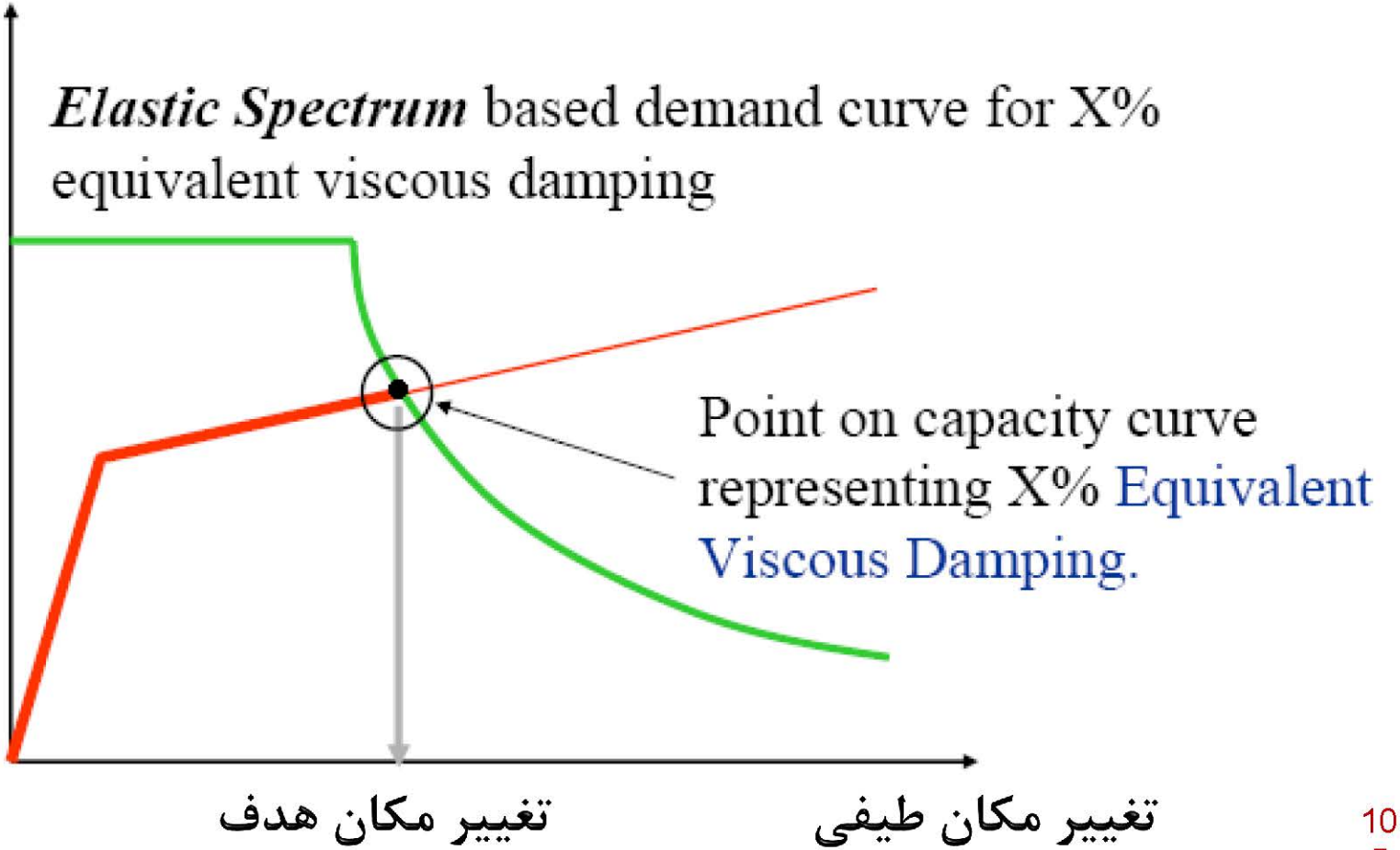


طراحی بر اساس عملکرد

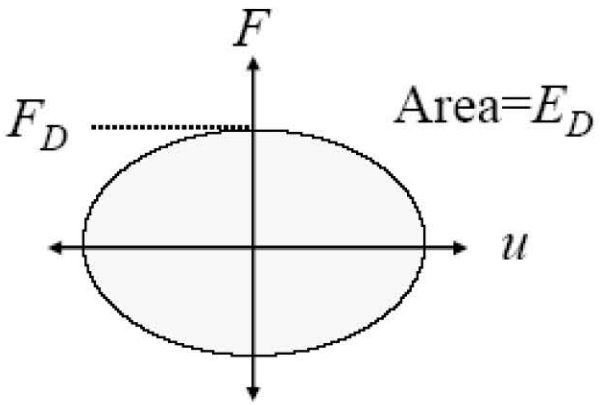
منحنی تقاضا (طیف پاسخ)

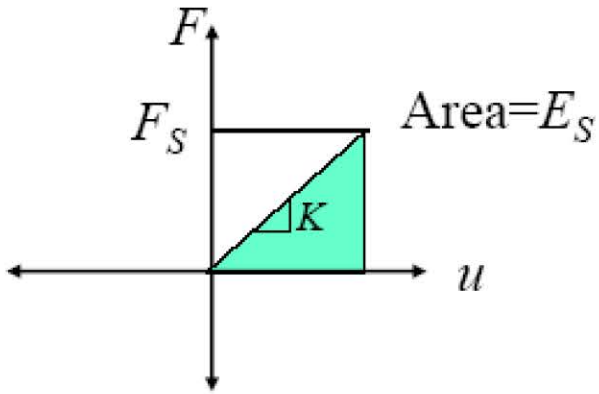
میرایی لزج معادل

(g) وزن یا شبه شتاب/برش پایه



محاسبه نسبت میرایی با استفاده از انرژی میرایی و انرژی کرنشی



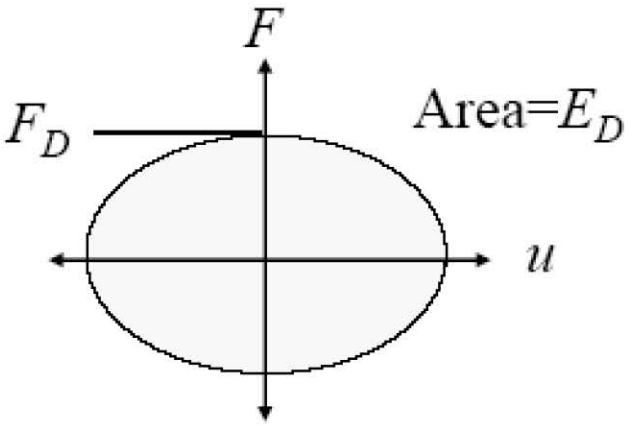


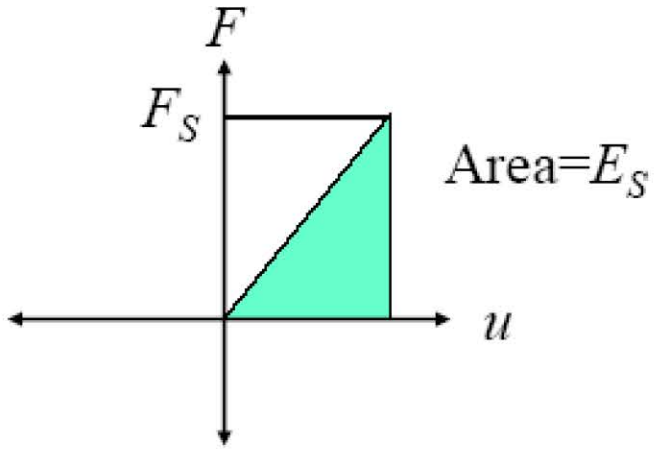
$$E_D = \pi F_D u$$
$$= \pi C u^2 \omega$$
$$= 2\pi\xi m\omega^2 u^2$$

$$E_S = 0.5 F_s u$$
$$= 0.5 K u^2$$
$$= 0.5 m\omega^2 u^2$$

$$\xi = \frac{E_D}{4\pi E_S}$$

محاسبه نسبت میرایی با استفاده از نیروی میرایی و نیروی الاستیک



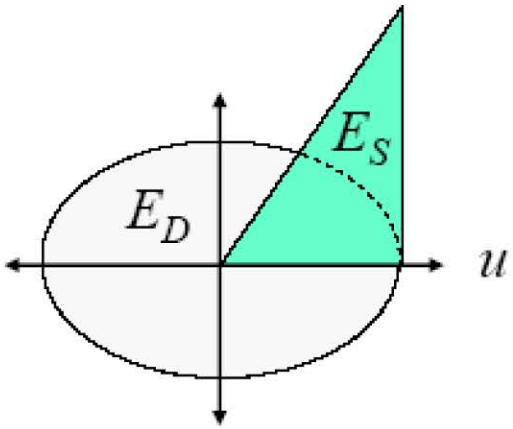


$$E_D = \pi F_D u$$

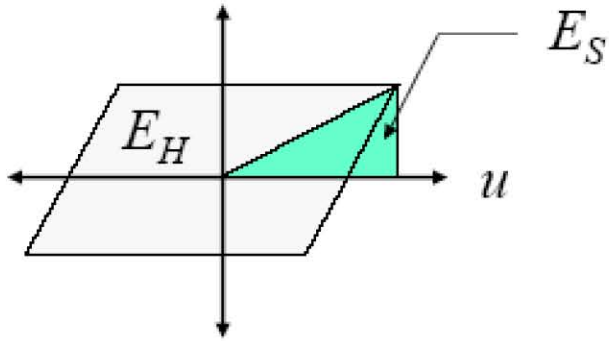
$$E_S = \frac{1}{2} F_s u$$

$$\xi = \frac{E_D}{4\pi E_S} = \frac{F_D}{2F_S}$$

محاسبه نسبت میرایی لزج معادل با استفاده از انرژی هیسترتیک بر مبنای تسلیم و انرژی کرنشی



Viscous System



Yielding System

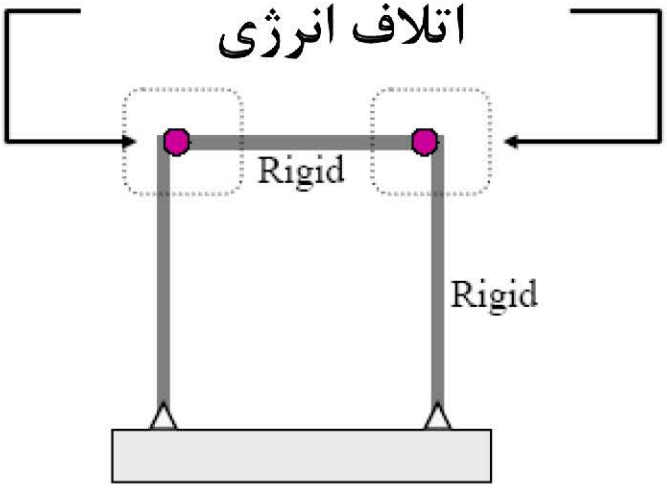
$$\xi \equiv \frac{E_H}{4\pi E_S}$$

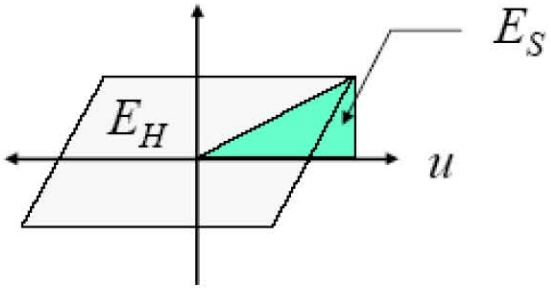
طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا

سیستم تسلیم واقعی

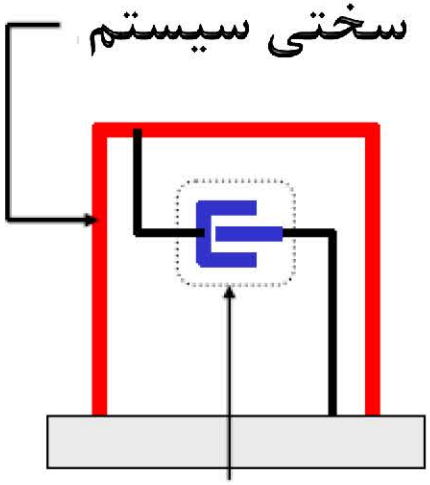
سختی سیستم و اتلاف انرژی



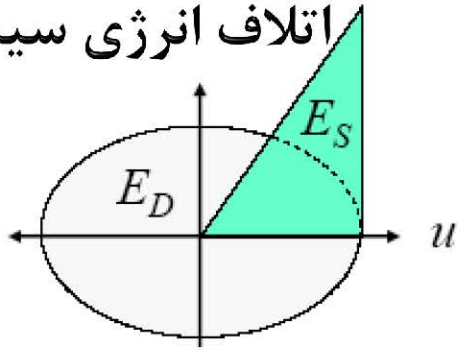


سیستم الاستیک معادل

سختی سیستم



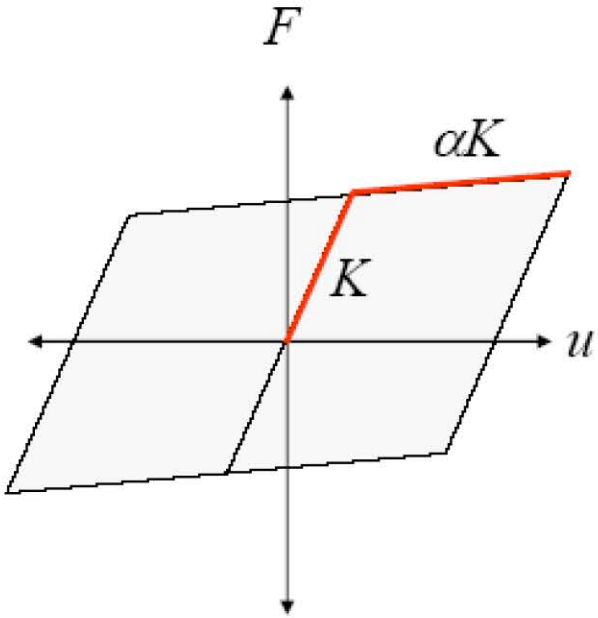
اتلاف انرژی سیستم

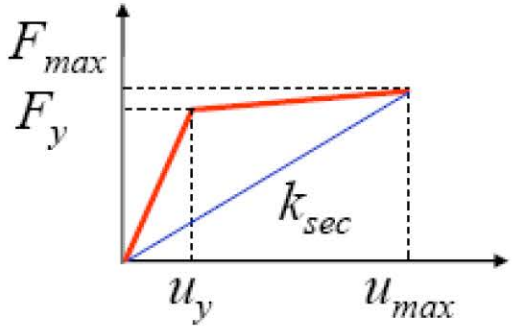


طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا

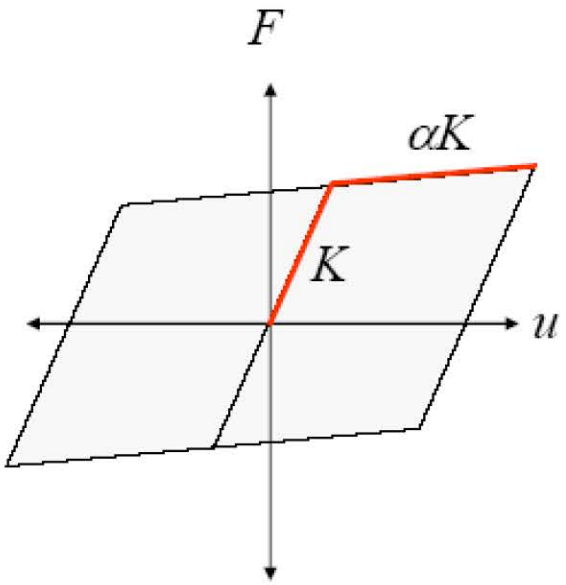
سیستم الاستیک معادل زمانی که سخت شدگی کرنشی داشته باشیم

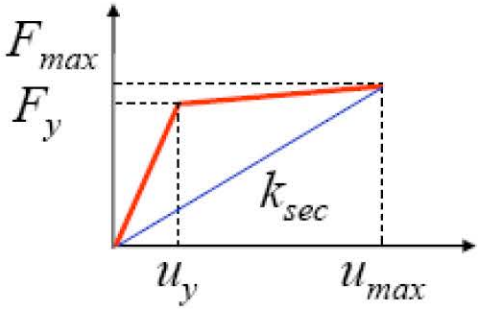




$$\xi_{\sec} \equiv 0.637 \frac{(F_y u_{\max} - F_{\max} u_y)}{F_{\max} u_{\max}}$$

سیستم الاستیک معادل زمانی که سخت شدگی کرنشی داشته باشیم





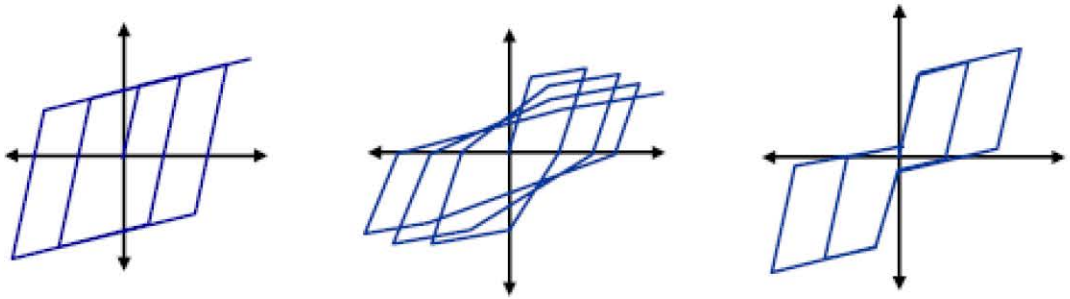
$$\xi_{Equiv} \equiv 0.637\left[\frac{F_y}{F_{\max}} - \frac{u_y}{u_{\max}}\right] = 0.637\left[\frac{1}{\alpha(\mu_\Delta - 1) + 1} - \frac{1}{\mu_\Delta}\right]$$

طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا

میرایی کل سیستم (٪ بحرانی)

$$\xi_{Total} = 5 + \kappa \xi_{Equiv}$$



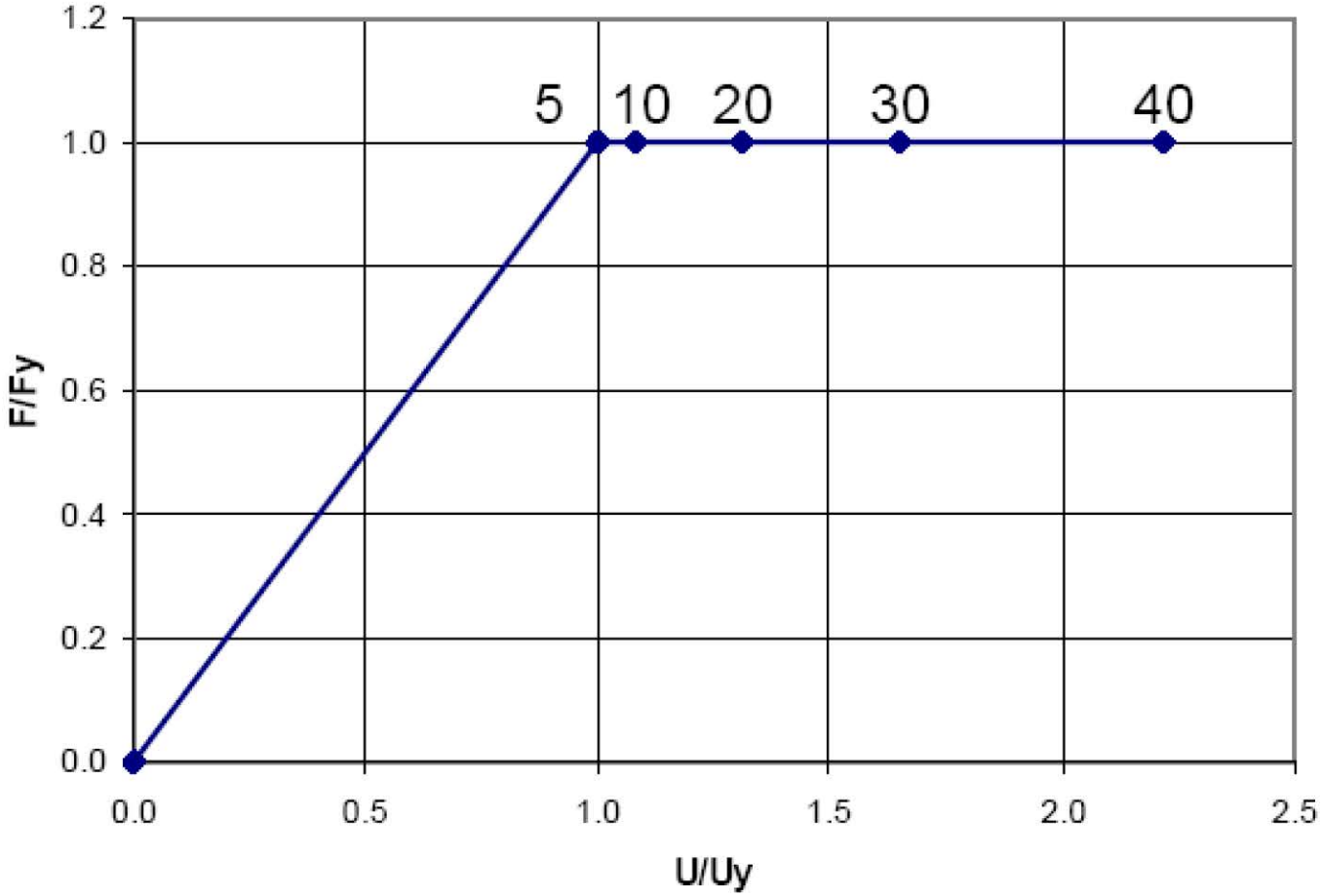
	منحنی باریک شده یا شکننده	منحنی نسبتاً چاق	منحنی چاق
مدت زمان لرزش کوتاه	$\kappa = .7$	$\kappa = .7$	$\kappa = 1$
طولانی	$\kappa = .33$	$\kappa = .33$	$\kappa = .7$

برای اطلاع از مقادیر دقیق به **Atc 40** مراجعه شود.

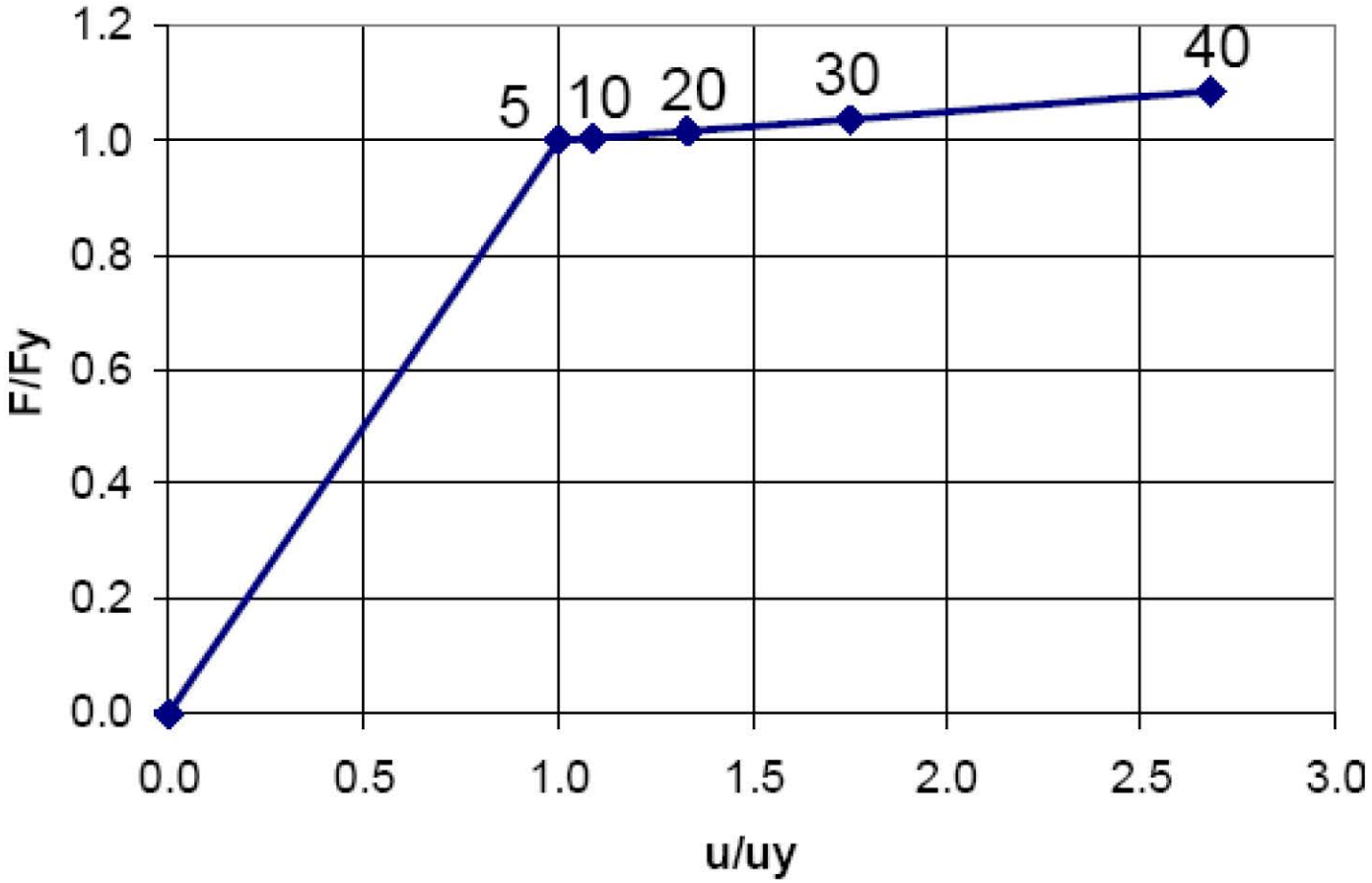
طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا

مقادیر میرایی لزج معادل برای سیستمEPP
(مقادیر نشان داده شده بر حسب درصد بحرانی می باشد.)



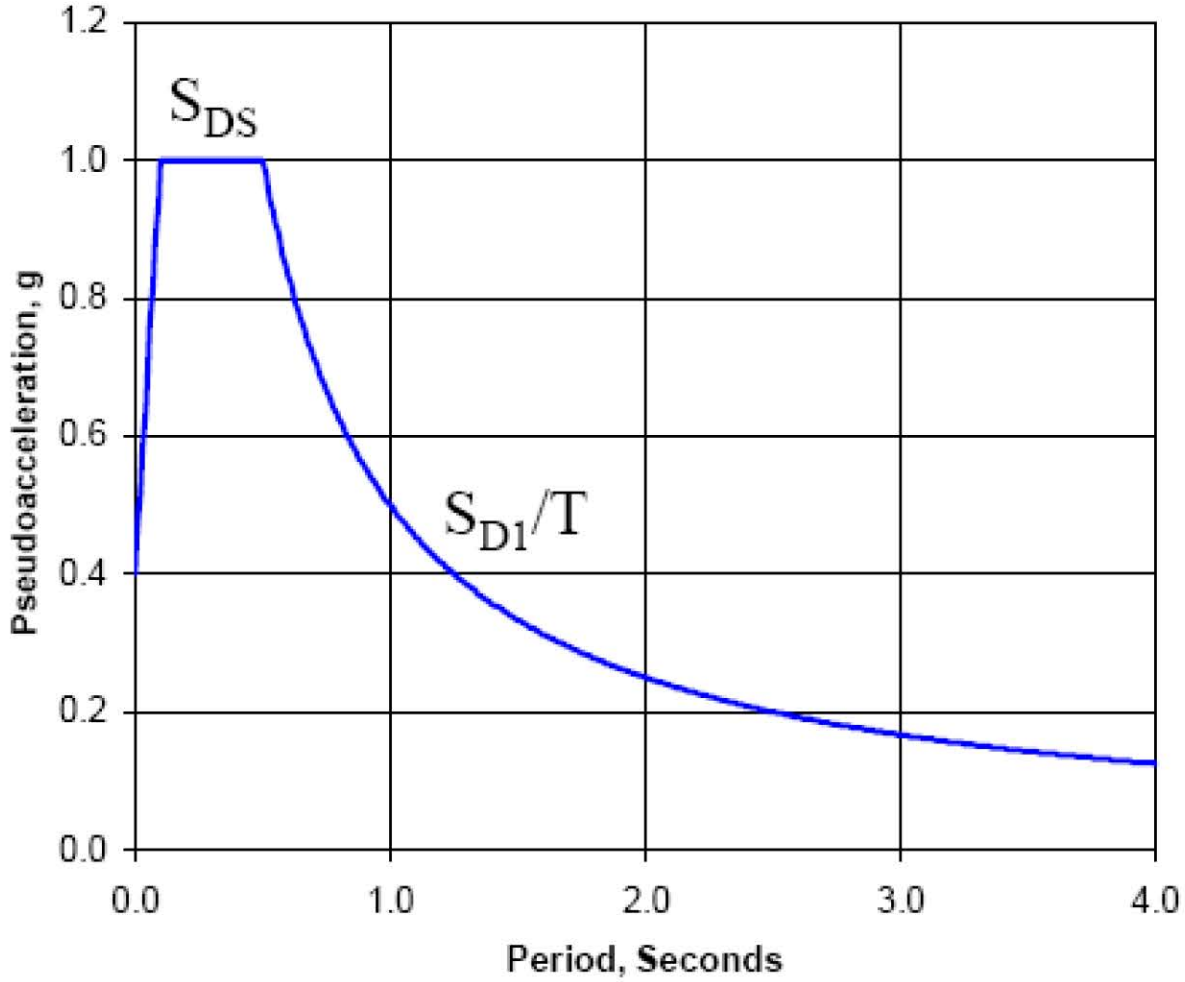
مقادیر میرایی لزج معادل برای سیستم با ضریب سخت شدگی ۵٪
(مقادیر نشان داده شده بر حسب درصد بحرانی می باشد.)



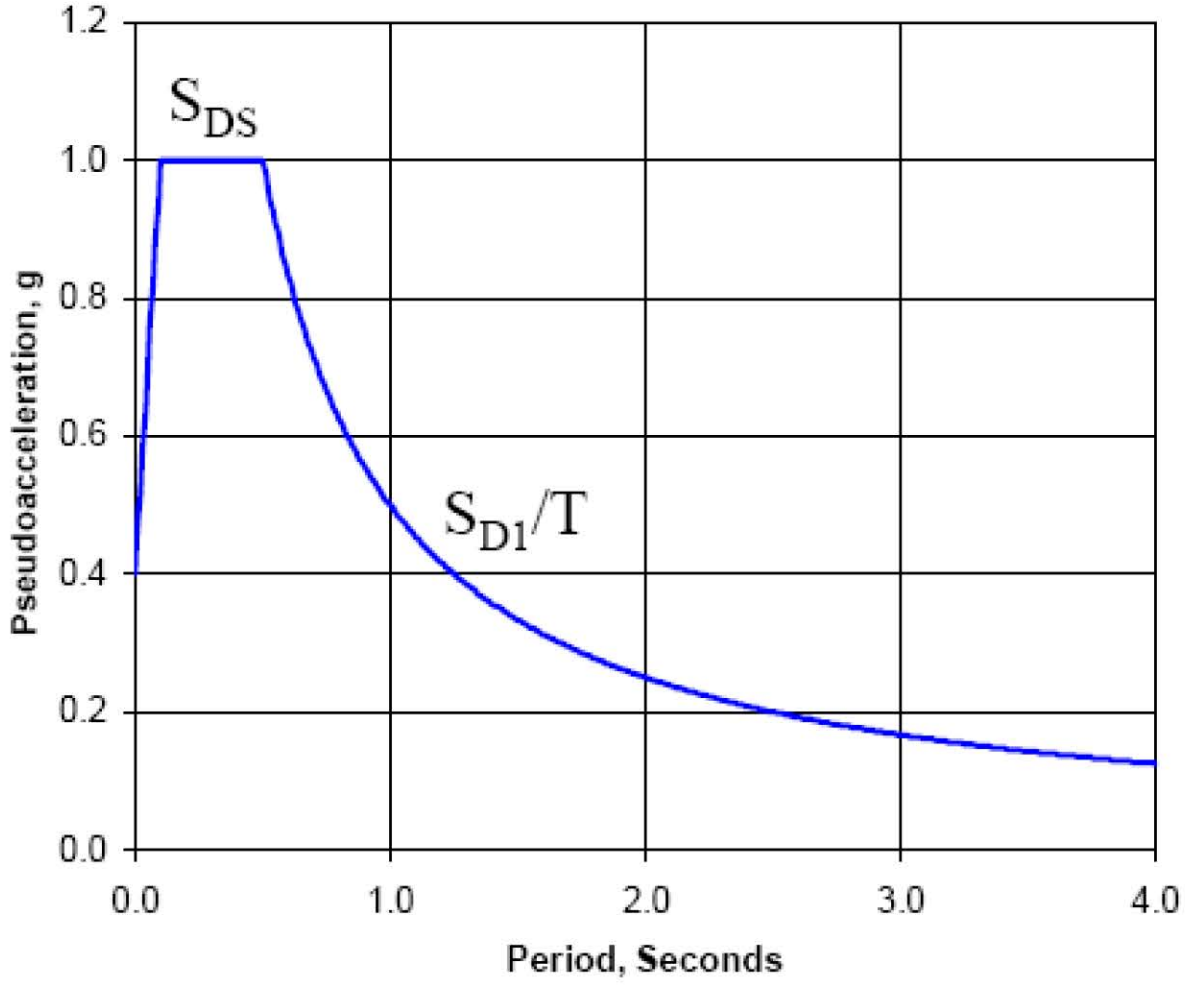
طراحی بر اساس عملکرد

منحنی تقاضا

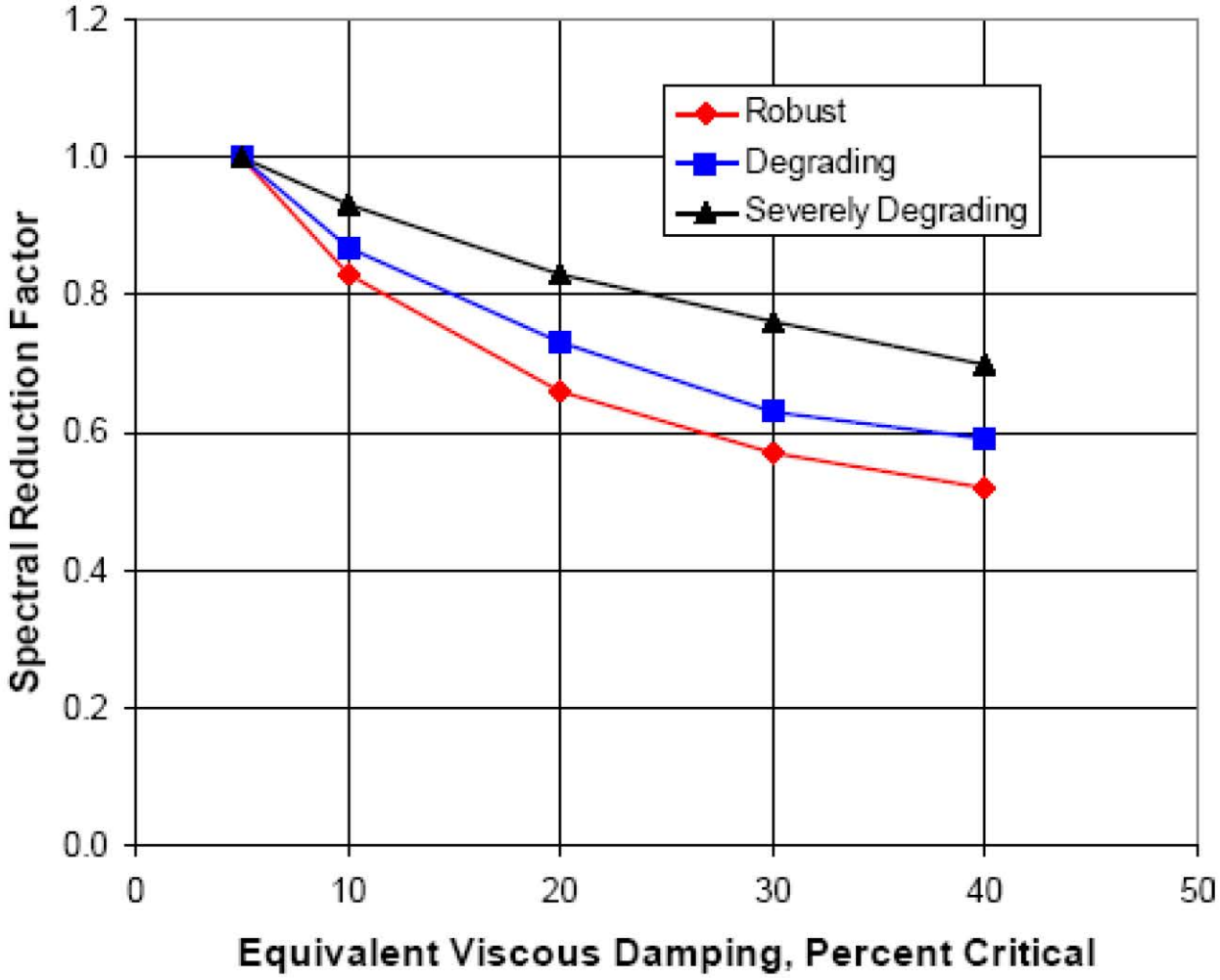
شکل عمومی طیف شبه شتاب



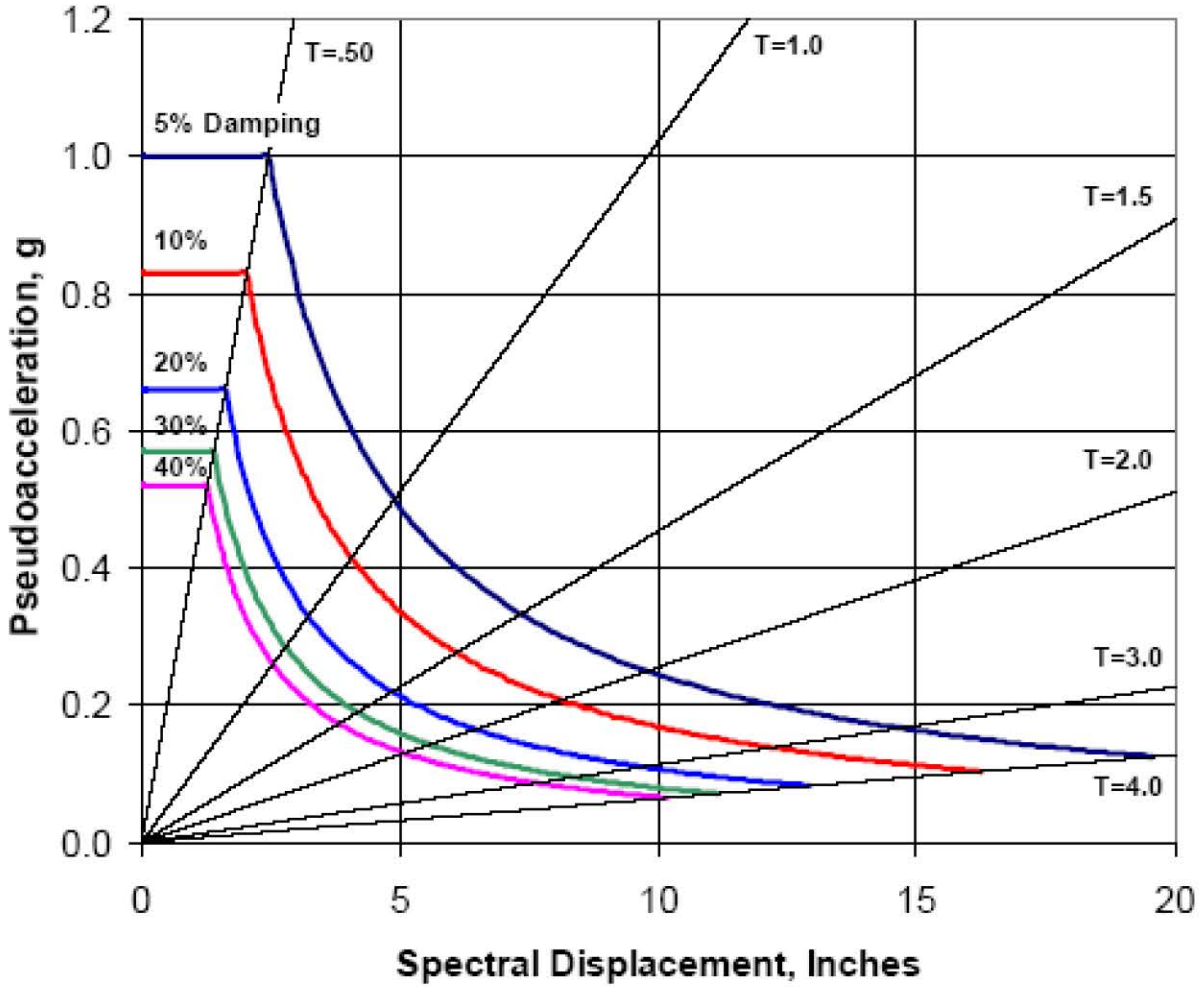
طیف شبه شتاب (تقاضا) به شکل ADRS (میرایی ۵٪)



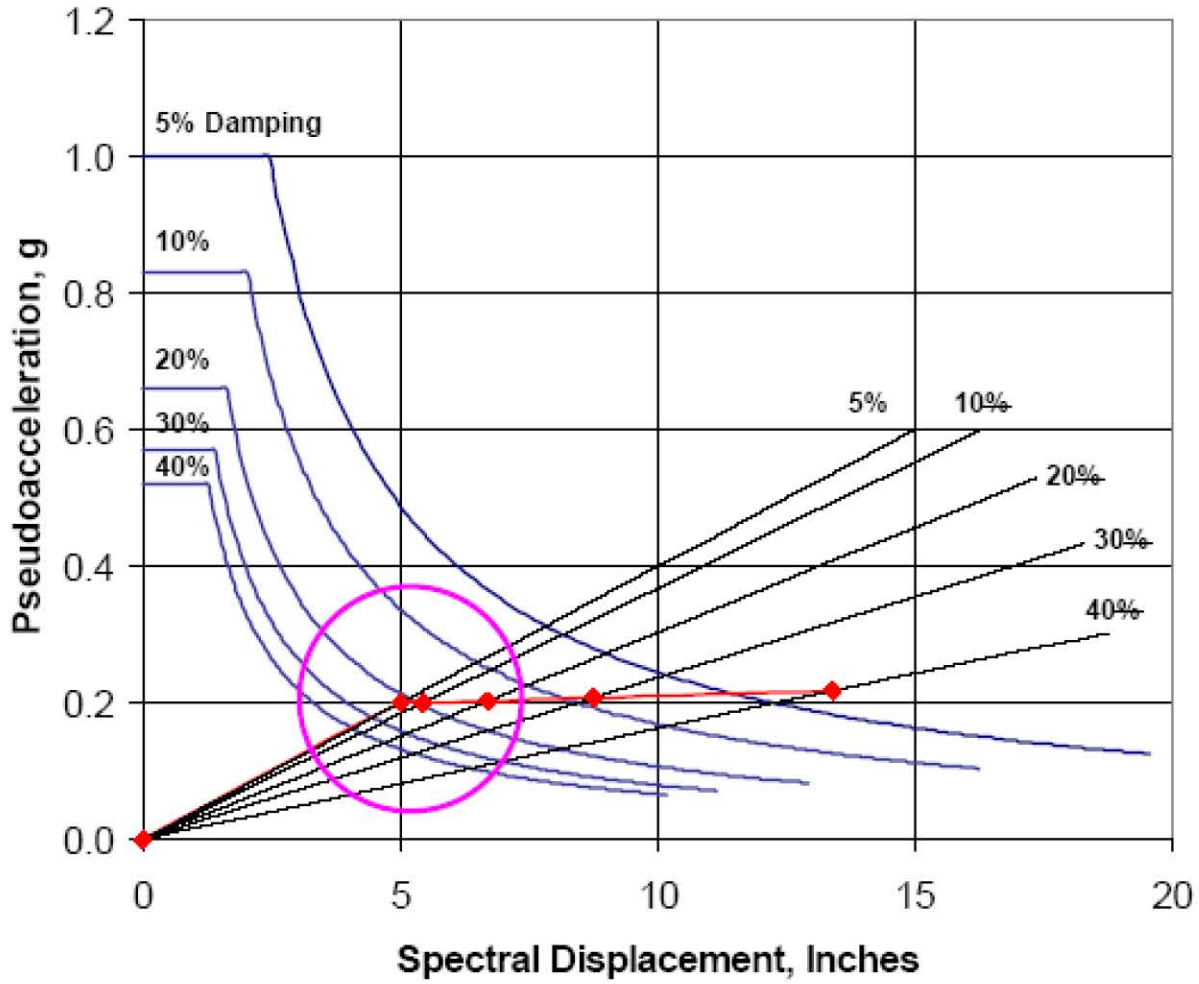
ضرایب کاهش طیفی برای میرایی معادل افزایش یافته



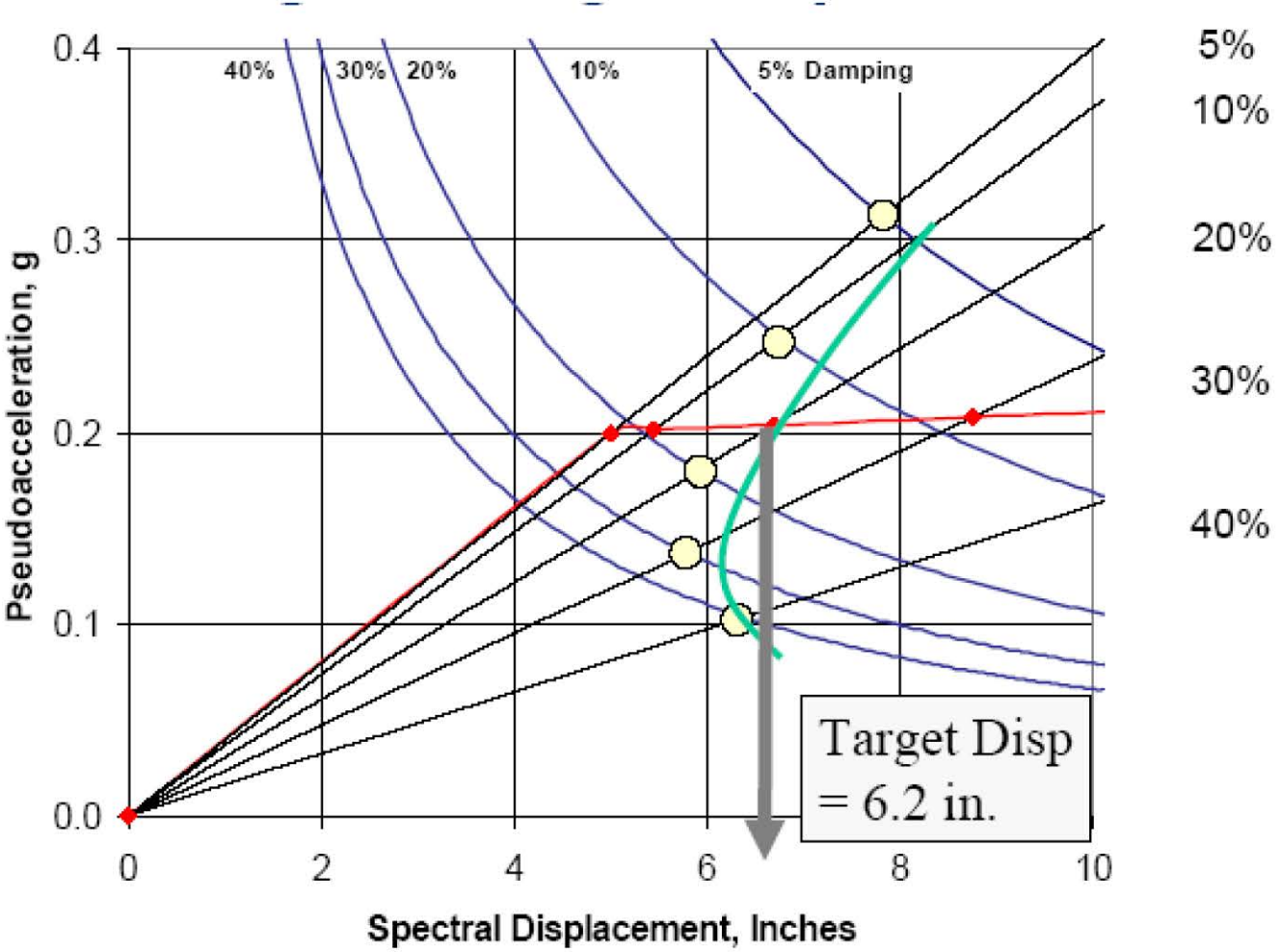
طیف تقاضا برای مقادیر مختلف میرایی



طیف ترکیبی ظرفیت – تقاضا



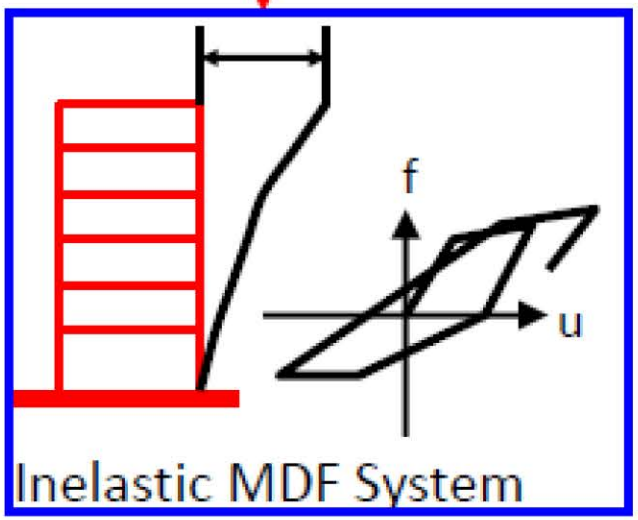
پیدا کردن تغییر مکان هدف



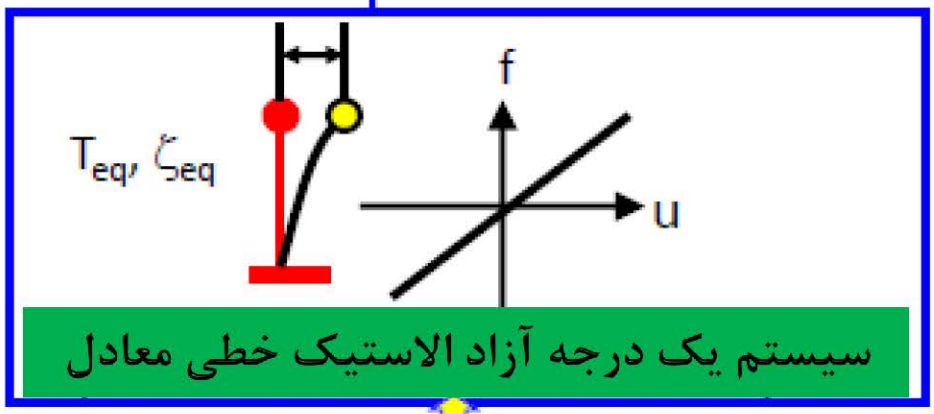
طراحی بر اساس عملکرد

روش طیف ظرفیت

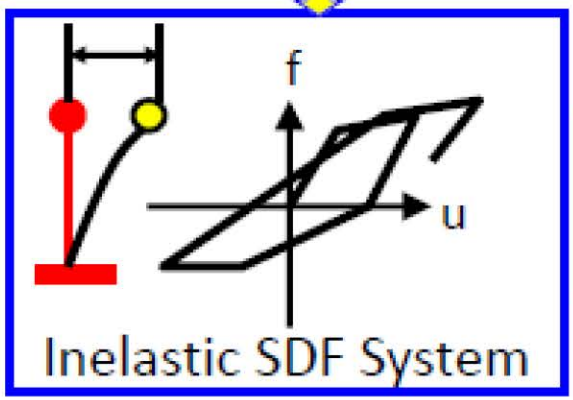
$$u_t = C_0 S_D(T_{eq}, \xi_{eq})$$



سیستم چند درجه آزاد غیرارتجاعی

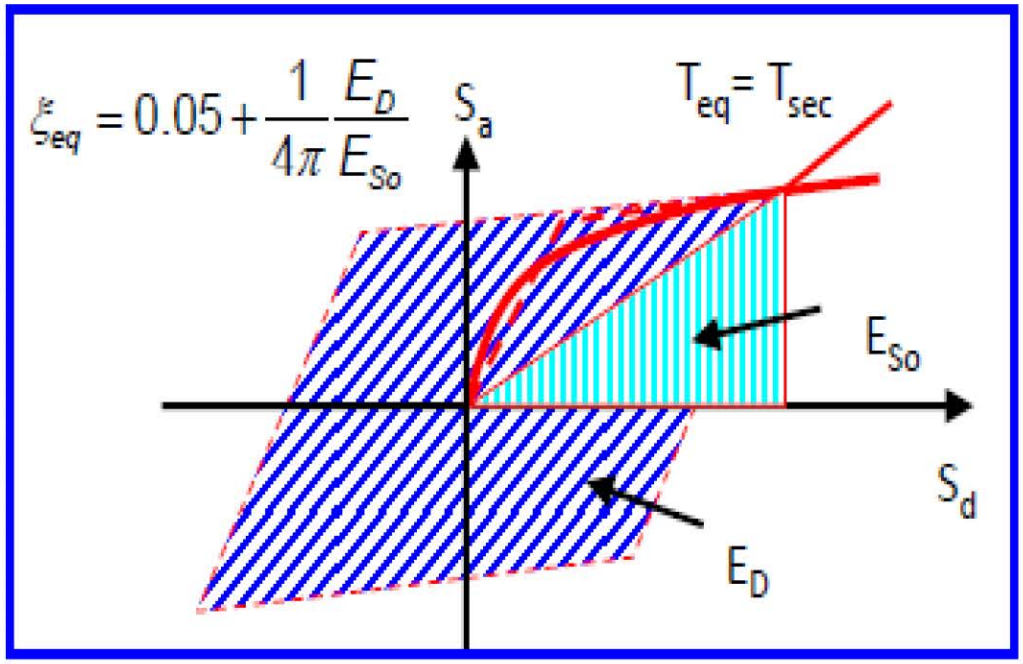


سیستم یک درجه آزاد الاستیک خطی معادل



سیستم یک درجه آزاد غیرارتجاعی

روش طیف ظرفیت – مفهوم میرایی معادل



برای سیستم های دوخطی

$$T_{eq} = T_o\sqrt{\frac{\mu}{1+\alpha\mu-\alpha}}$$

$$\zeta_{eq} = 0.05 + \kappa\frac{1}{\pi}\frac{(\mu-1)(1-\alpha)}{\mu(1+\alpha\mu-\alpha)}$$

Requires iterations to compute T_{eq} and ζ_{eq} because of unknown ductility (u_{inel} / u_{elas})

به دلیل نامشخص بودن شکل پذیری, برای محاسبه دوره تناوب معادل و میرایی معادل نیاز به تکرار می باشد.

کارهایی که هنوز انجام نشده است:

- نکته: تغییر مکان هدف در نمودار ظرفیت- تقاضا به مود اول سیستم یک درجه آزادی وابسته می باشد. از ضرب ضریب مشارکت مودی مربوط به مود اول و دامنه مودی مربوط به شکل مود اول در بام برای تعیین جابجایی یا تغییرمکان در سیستم اصلی استفاده می شود.

  دوران مفصل ها ممکن است از مقایسه شاخص عملکرد بدست آید.
- با دانستن تغییر مکان هدف, از منحنی پوش آور می توان برش پایه را بدست آورد.

روش های بار افزون ساده سازی شده : FEMA 356 (2)

تغییرمکان طیفی

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^{\,2}}{4\pi^2} g$$

$\delta_t =$ تغییر مکان هدف

$C_0 =$ ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان بام به تغییرمکان طیفی مود اول

$C_1 =$ ضریب اصلاح برای ارتباط حداکثر جابجایی غیرارتجاعی مورد انتظار با جابجایی محاسبه شده از پاسخ الاستیک (مشابه ضوابط NEHRP)

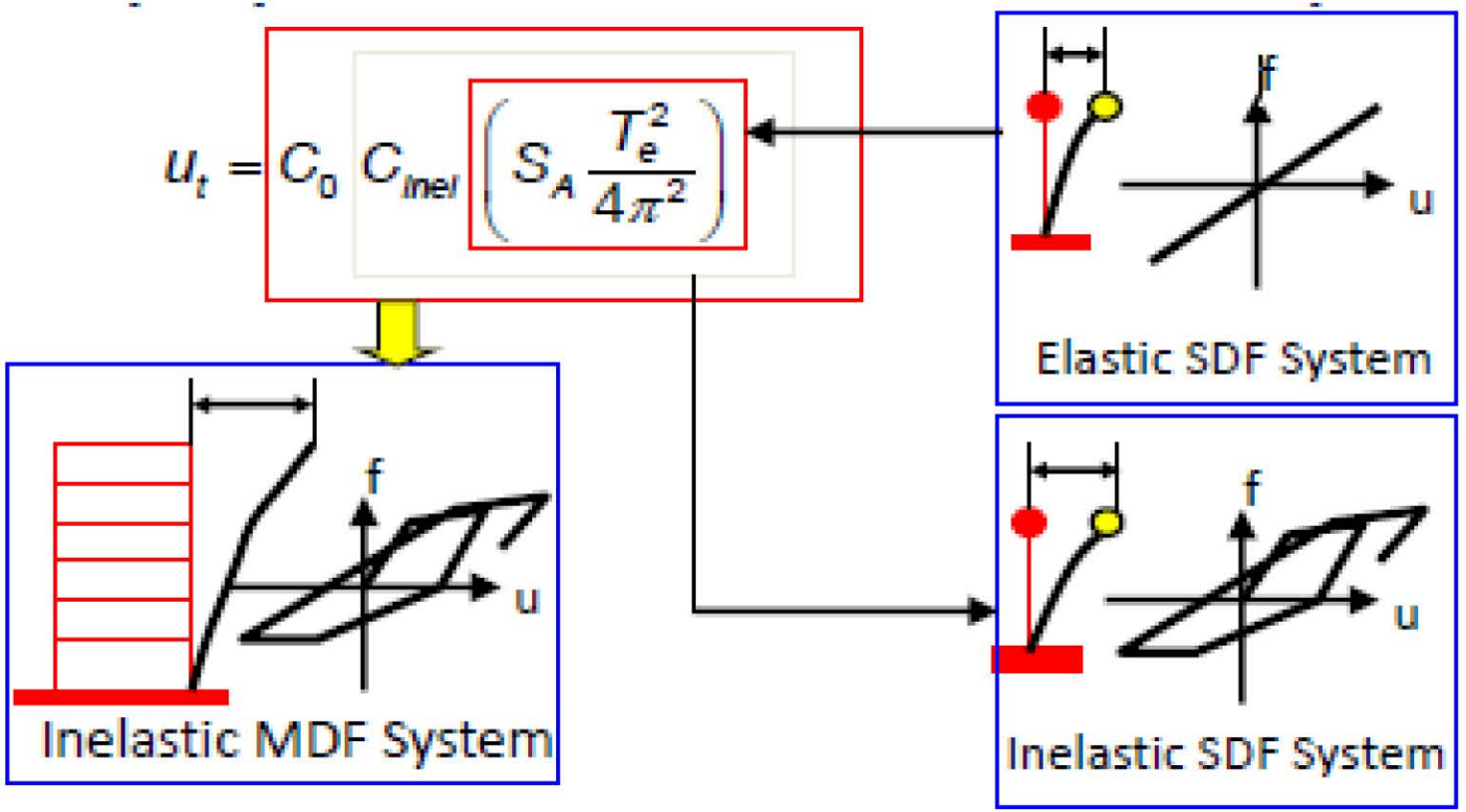
روش های بار افزون ساده سازی شده : FEMA 356 (3)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$C_2 =$ ضریب اصلاح برای اعمال اثر باریک شدگی حلقه های هیسترتیک, زوال سختی و کاهش مقاومت

$C_3 =$ ضریب اصلاح برای اعمال اثر افزایش تغییرمکان های ناشی از اثر دینامیکی P.Delta

تخمین تغییرمکان هدف (روش ضرایب جابجایی):



C_0 = ضریب برای ارتباط تغییرشکل الاستیک سیستم یک درجه آزاد به سیستم چند درجه آزاد

روش ضرایب جابجایی:

FEMA-356: $C_{inel} = C_1 C_2 C_3$

- C_1 = Ratio of inelastic and elastic SDF systems

نسبت غیرارتجاعی و ارتجاعی سیستم های یک درجه آزاد

- C_2 = Constant to account for effects of pinching, stiffness degradation, and strength deterioration

ضریب اعمال لثرات باریک شدگی, کاهش سختی و زوال مقاومت

- C_3 = Constant to account for P-Delta effects

ضریب اعمال اثرات **P.Delta**

طراحی بر اساس عملکرد

روش ضرایب جابجایی

FEMA-356: C_1 and C_3

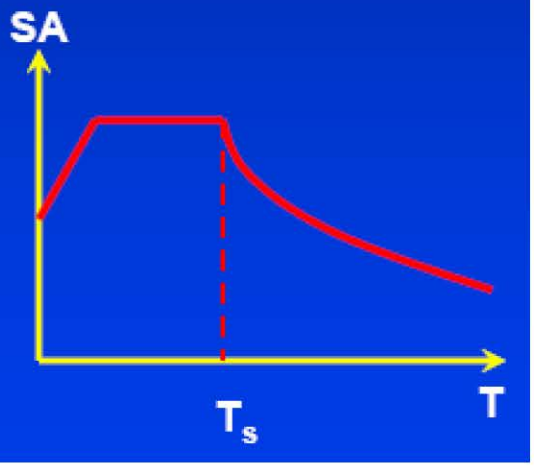
$$C_1 = \begin{cases} 1.0; & T_e \geq T_s \\ \dfrac{1.0 + (R-1)T_s/T_e}{R}; & T_e < T_s \end{cases}$$

Cap on C_1: 1.5 for T_e < 0.1 sec

R = نسبت مقاومت الاستیک و تسلیم

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

α = نسبت سختی پس از تسلیم



FEMA-356: C_2

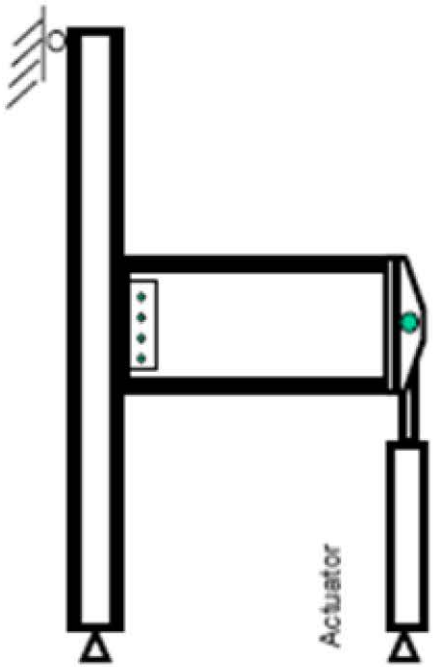
سطح عملکرد سازه ای	$T_e < 0.1$ sec		$T_e > T_s$	
	قاب نوع یک	قاب نوع دو	قاب نوع یک	قاب نوع دو
قابلیت استفاده بی وقفه؟	1.0	1.0	1.0	1.0
ایمنی جانی	1.3	1.0	1.1	1.0
آستانه فرو ریزش	1.5	1.0	1.2	1.0

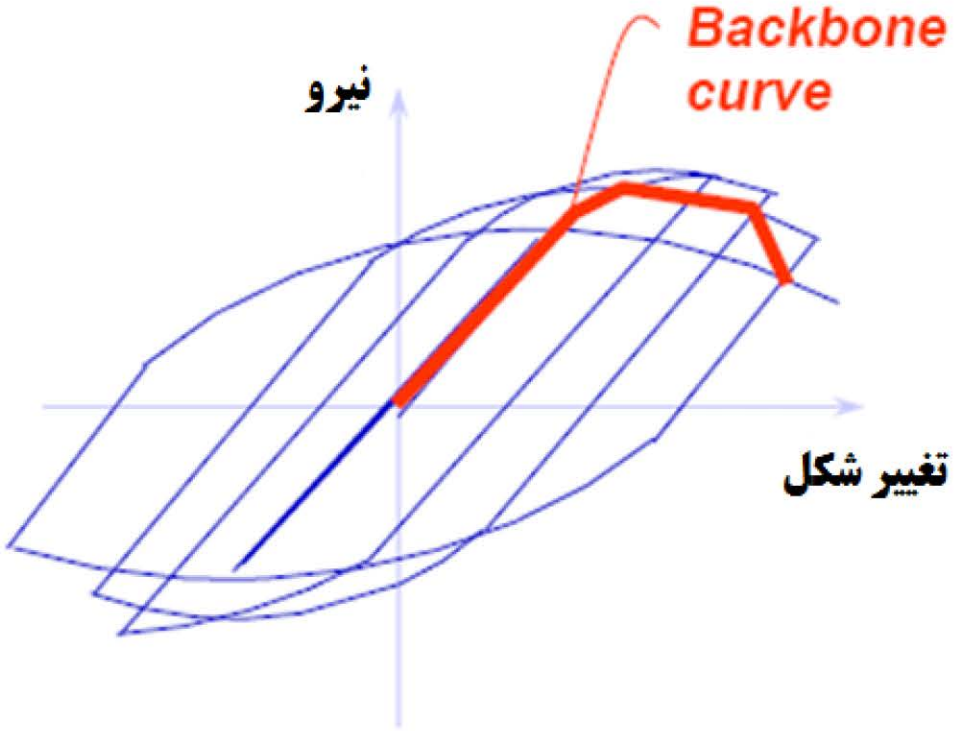
ارزیابی عملکرد

معیار های پذیرش، نماینده سطح عملکرد مناسب و پیش بینی شده می باشند:

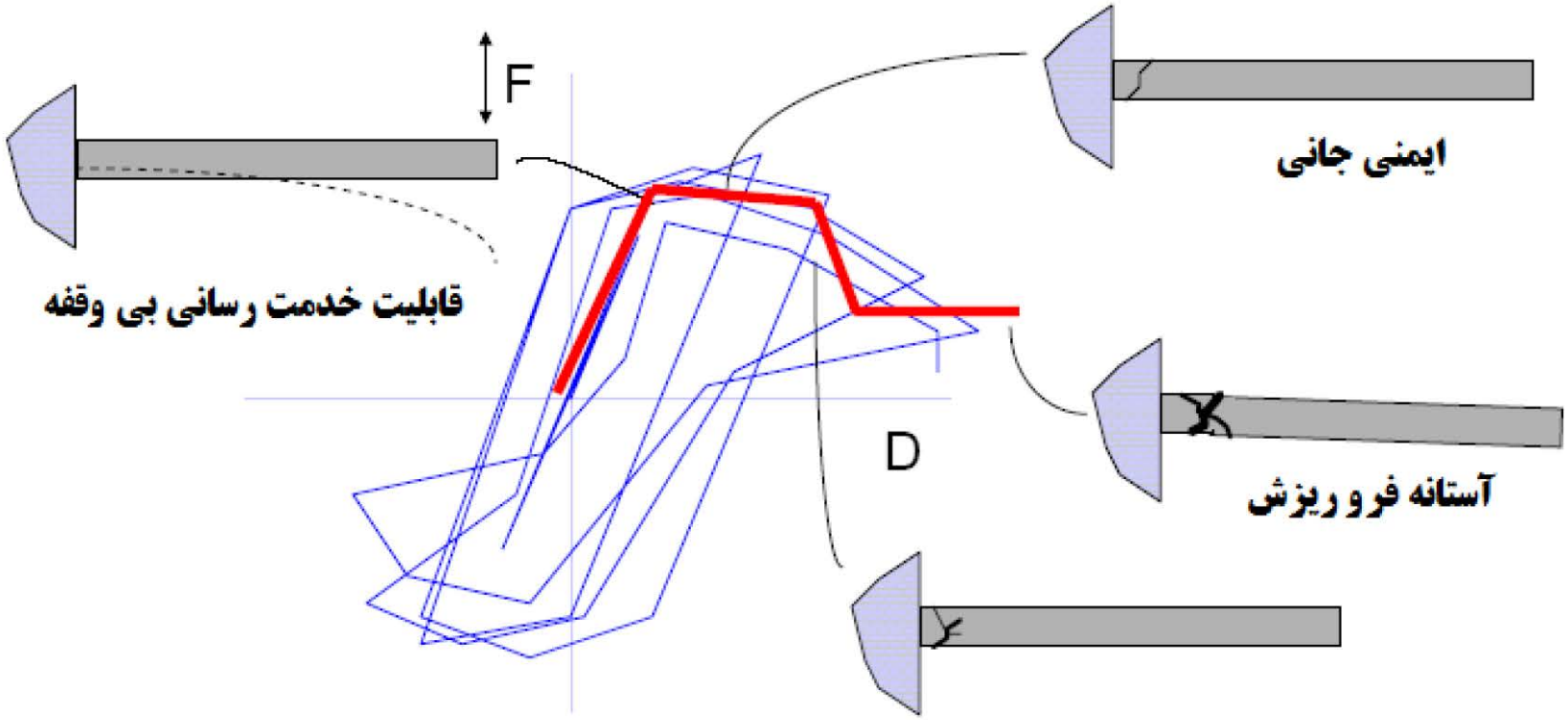
- **محلی (بر اساس اجزاء)**
- **کلی(بر اساس کلی سازه)**

پاسخ محلی و سطح عملکرد



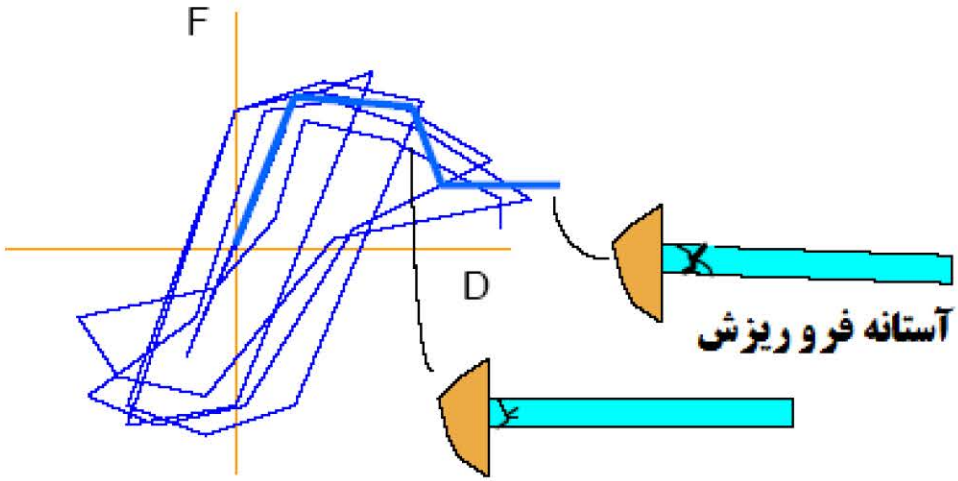


معیار پذیرش محلی (بر اساس اجزاء)

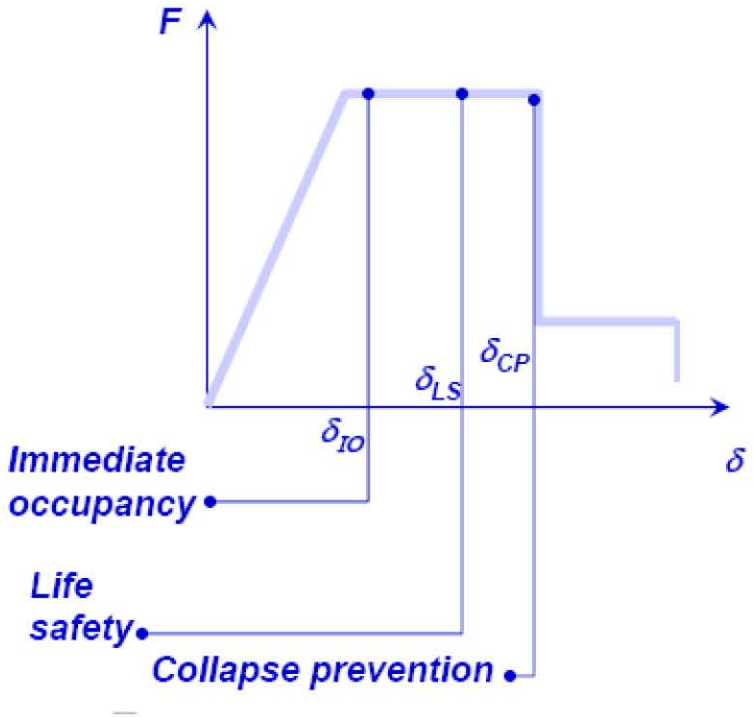


معایب معیارهای پذیرش محلی

- ضعیف ترین یا آسیب پذیرترین عضو، کنترل کننده سطح عملکرد سازه می باشد.
- تأثیر آن بر روی پایداری کلی، به سختی قابل قضاوت؟ است.



ارزیابی عملکرد اجزای اولیه

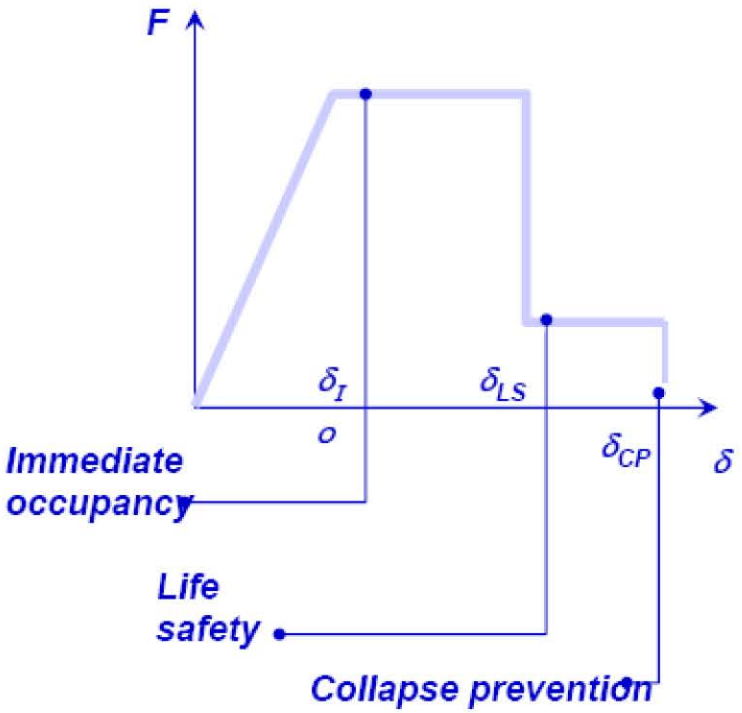


δ_{IO} - based on appearance of damage

δ_{CP} - based on loss of lateral load resisting capacity

δ_{LS} - 75 % δ_{CP}

ارزیابی عملکرد اجزای ثانویه



δ_{IO} - based on appearance of damage

δ_{CP} - based on complete failure of element

δ_{LS} - 75% δ_{CP}

بحث در مورد مفروضات

۱) اثرات دینامیکی لحاظ نشده است.

۲) اثرات مدت تکان های قوی زمین لرزه لحاظ نشده است.

۳) انتخاب الگوی بار جانبی.

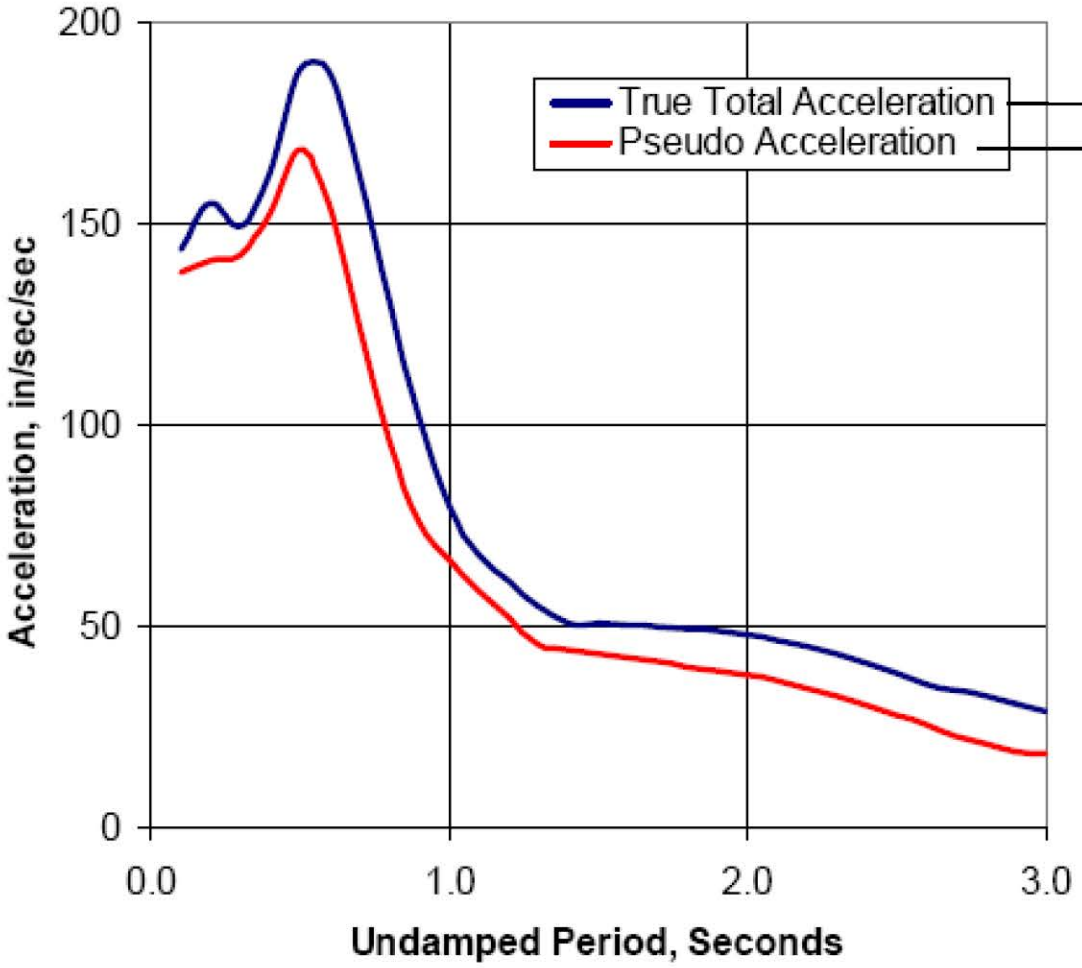
۴) صرفاً پاسخ مود اول لحاظ شده است.

۵) استفاده از طیف پاسخ الاستیک.

۶) استفاده از میرایی ویسکوز معادل.

۷) اصلاح طیف پاسخ برای میرایی بیشتر.

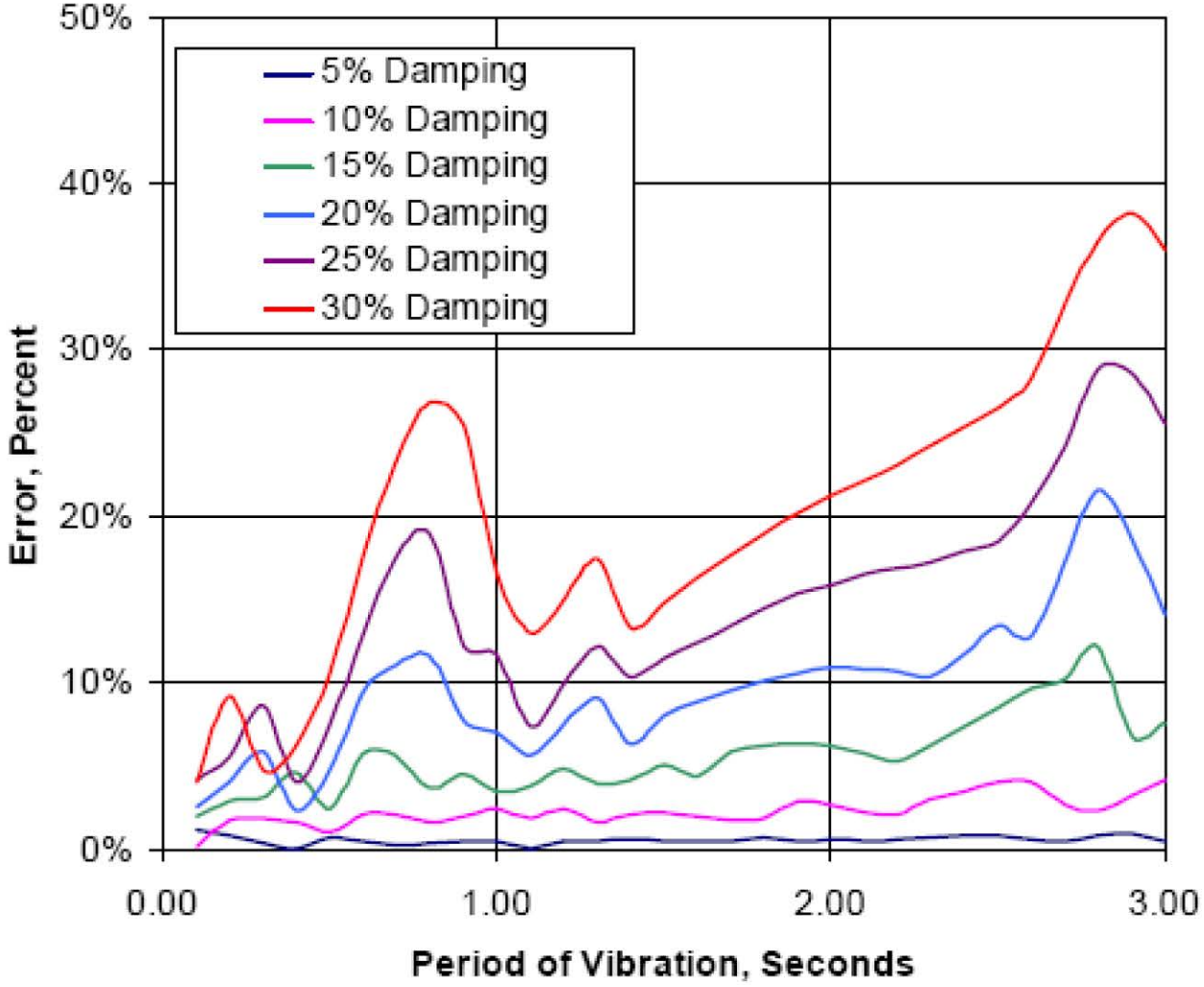
مقایسه شتاب واقعی و شبه شتاب (نسبت میرایی بحرانی ۳۰٪)



شتاب کلی واقعی

شبه شتاب

خطای نسبی بین شتاب واقعی و شبه شتاب



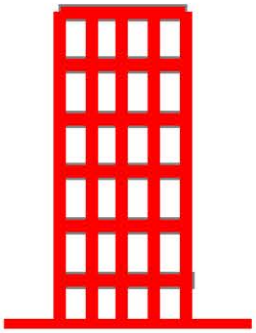
روش های بار افزون بهبود یافته

- استفاده از طیف پاسخ غیرارتجاعی
- الگوی توزیع بار به روز شونده (یا تطبیق پذیر)
- استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ سیستم یک درجه آزاد
- لحاظ اثرات مودهای بالاتر

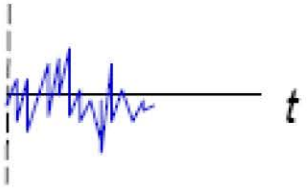
تحلیل های دینامیکی نموی

(تعیین ظرفیت محدود به پایداری کلی)

1 - مدل تحلیلی ساختمان

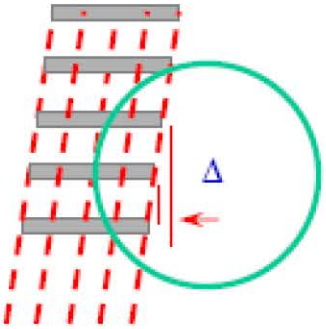


2- انتخاب رکورد

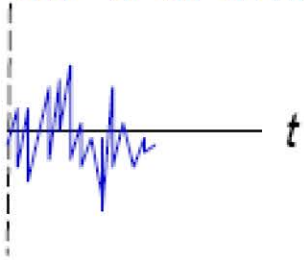


3- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

4- تعیین تغییر مکان حداکثر

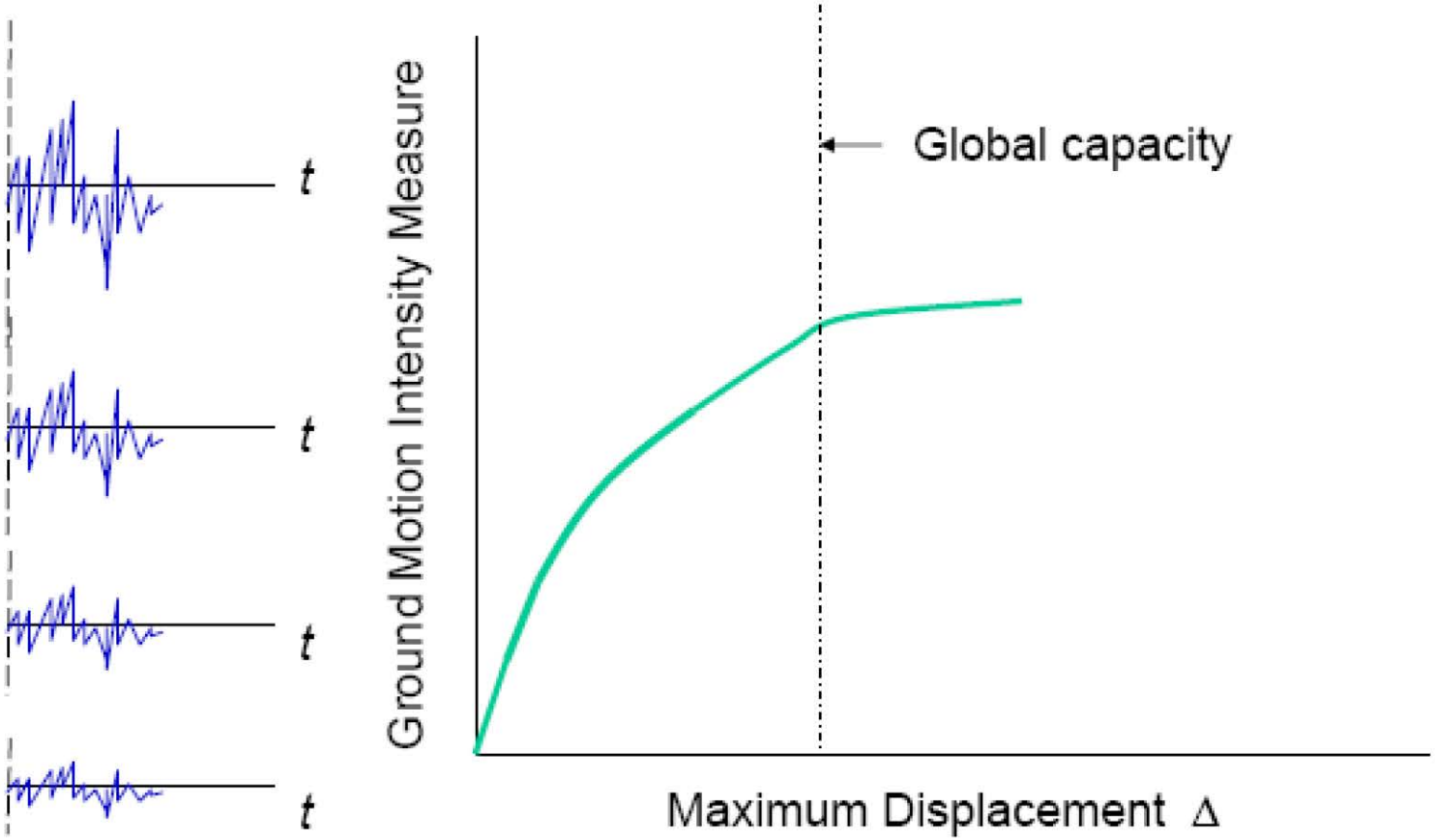


5- مقیاس سازی رکورد و تکرار



تحلیل های دینامیکی نموی

(تعیین ظرفیت محدود به پایداری کلی)



طراحی بر اساس عملکرد

طراحی احتمال اندیشانه

دریافت یک تضمین

فرض شده است که عملکـــرد قابلیـــت استفاده بی وقفـــه تأمین شود.

من از یک دستورالعمل پیروی کرده ام.

شاید باید با وکیلم تماس بگیرم.

چگونه تحقق می یابد؟

- بارگذاری که در آینده رخ خواهد داد، نامشخص است.
- مقاومت واقعی مصالح و کیفیت اجرا متغیر است.
- نه تقاضای واقعی و نه ظرفیت سازه برای پاسخگویی به نیاز ها، کاملاً مشخص و معین نیستند.

تعریف مجدد اهداف عملکردی

خیلی مطمئن هستیم
تقریباً مطمئن هستیم
خیلی مطمئن نیستیم

که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال کمتر از X% باشد.

بصورتی که آسیب ها بیشتر از سطح عملکرد {خدمت رسانی بی وقفه / آستانه فرو ریزش} باشد.

روش های احتمالاتی برای مهندسی بر مبنای عملکرد

مهمترین وظیفه: شناسایی و تعیین مقدار عدم قطعیت

مقوله تقاضا (حرکت های قوی سطح زمین):

۱- بزرگا
۲- مکانیسم منبع
۳- جهت انتشار امواج
۴- کاهندگی
۵- بزرگنمایی و اثر ساختگاه
۶- محتوای فرکانسی
۷- مدت تکان های قوی
۸- ترتیب رخداد زلزله ها (پیش لرزه و پس لرزه)

.....

روش های احتمالاتی برای مهندسی بر مبنای عملکرد

مهمترین وظیفه: شناسایی و تعیین مقدار عدم قطعیت

مقوله ظرفیت (رفتار خاک و پی و سازه):

۱- مقاومت

۲- سختی

۳- میرایی

۴- رفتار هیسترتیک

۵- بارهای ثقلی

۶- عیوب اجرایی

.....

عدم قطعیت های تحلیل

احتمال کل آسیب بیشتر از یک سطح مشخص

$$P(Damage > PerLev) = \int P\left|D > C\right|GM\left|P\left(GM\right)\right.$$

تغییرات تصادفی β_D-(حرکت زمین) b -تقاضا (جابجایی نسبی یا نیرو)= D

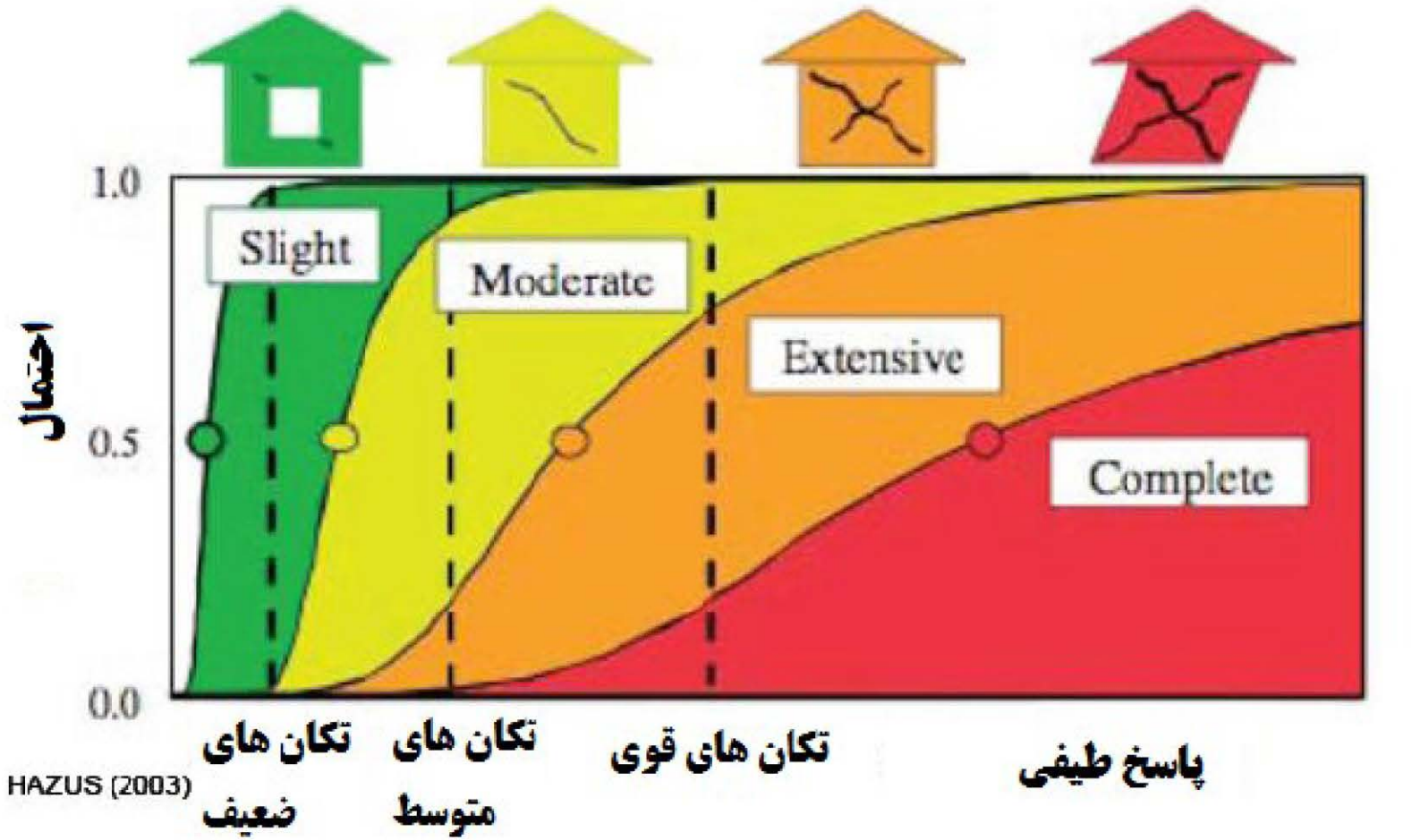
تغییرات تصادفی β_C-ظرفیت(تابعی از جابجایی نسبی یا نیرو)= C

β_D و β_C در بخش مربوط به مؤلفه های تصادفی تعریف می شوند.

مقادیر بار و مقاومت از روشهای انتگرال گیری محاسبه می شوند.

طراحی بر اساس عملکرد

منحنی های شکنندگی



پایان