آشنایی با مفاهیم و روش شناسی تحلیل دینامیکی فزاینده IDA[1] با چند رکورد

حامد ارشدی[2]

گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، قزوین، ایران

Hamed.arshadi@ikiu.ac.ir

چکیده:

روش تحلیل افزاینده دینامیکی یک روش تحلیل لرزه ای سازه ها و بر اساس عملکرد می باشد که رفتار سازه را در طیف وسیعی از شدت های مختلف زلزله بیان می کند. همانگونه که می دانیم این روش با توجه به اینکه رفتار مصالح را غیر خطی در نظر میگیرد و نیز ماهیت دینامیکی دارد لذا در مقایسه با روشهای استاتیکی مانند تحلیل استاتیکی خطی بار افزون(پوش اور) و روشهای خطی مانند تحلیل دینامیکی طیفی دقیقترین روش در تخین رفتار سازه ها می باشد.اما منحنی IDA با یک رکورد نمی تواند رفتار سازه را برای حوادث آینده به طور کامل بیان کند. از آنجا که پاسخ تحلیل های غیر خطی و IDA می تواند به شدت به تعداد و مشخصات دینامیکی رکورد های انتخابی وابسته بوده و پاسخها از یک رکورد به رکورد دیگر به شدت تغییر می کند، لذا تعداد کافی از رکودها برای پوشش تمام نواحی پاسخ ها مورد نیاز است. در نتیجه مجبوریم که مدل سازه ای را برای مجموعه ای از رکوردهای زمین لرزه تحلیل کنیم. در این مقاله مروری بر مفاهیم و نحوه انجام تحلیل دینامیکی فزاینده IDA با چند رکورد در قالب طراحی بر اساس عملکرد و گزینه های مناسب برای انتخاب معیار شدت در این نوع تحلیل می شود.

کلمات کلیدی: روش تحلیل افزاینده دینامیکی، معیار شدت، پارامتر تقاضای مهندسی، آسیب پذیری لرزه ای، سطوح عملکرد.

1. مقدمه

رشد روز افزون قدرت پردازش کامپیوترها امکان بالا بردن دقت نتایج تحلیل سازه ها را به کمک روش های پیچیده تر را فراهم ساخته است. در نتیجه تحلیل ها از حالت استاتیکی خطی به دینامیکی خطی، استاتیکی غیر خطی و سرانجام دینامیکی غیر خطی سوق پیدا کرد. برای آخرین مورد، روش بر این منوال است که معمولا جهت کنترل سازه های طراحی شده، سازه برای یک یا چند رکورد تحلیل می شود تا یک یا چند تک نقطه بدست آید. از سوی دیگر در روش هایی همچون روش بار افزون استاتیکی غیر خطی (SPO) (ATC, 1996) یا روش طیف ظرفیت (ATC. 1996) ، با مقیاس کردن الگوی بار استاتیکی، تصویری پیوسته از رفتار سازه در تمامی نواحی از حالت الاستیک تا تسلیم و سرانجام فروپاشی سازه، بدست می آید و در نتیجه دید بهتری را به ما می دهند.[1]

1) Incremental dynamic analysis

2) کارشناس ارشد سازه- دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین

Archive of SID

www.SID.ir

همان گونه که با عبور از تحلیل استاتیکی منفرد به تحلیل بارافزون استاتیکی فزاینده می رسیم، به طور مشابه با گسترش تحلیل تاریخچه زمانی تنها به چند تحلیل تاریخچه زمانی می رسیم که در آن بار لرزه ای مقیاس می شود. مفهوم این روش در ابتدا توسط برترو(1977) [3] بیان شده است و بعدها توسط محققین زیادی استفاده شده است.[4] این روش توسط راهنماهای سازمان مدیریت بحران کل آمریکا (FEMA) نیز به عنوان تحلیل دینامیکی فزاینده IDA پذیرفته شده است و به عنوان روشی برای تعیین ظرفیت فروپاشی کل سازه به کار برده می شود.

2. IDA با چند رکورد و خلاصه آنها

مطالعه چند رکورد، مجموعه ای از مطالعات IDA با یک رکورد برای یک مدل سازه ای تحت شتاب نگاشت های مختلف می باشد. این چنین مطالعه ای مجموعه ای از منحنی های IDA را تولید می کند که با انتخاب IM ها و EDP مشابه می توانند بر روی یک شکل رسم شوند.مجموعه منحنی های IDA، دسته ای از منحنی های IDA برای یک مدل سازه ای تحت شتاب نگاشت های متفاوت می باشد که تمام آنها برای IM ها و EDP یکسان پارامتری شده اند.[1]

با توجه به اینکه هر منحنی (که مشخصات رکورد زمین لرزه و مدل سازه ای را می دهد)، کاملا به شکل جبری تعریف شده است، اگر ما بخواهیم پدیده تصادفی بودن را با توجه به رکوردی که ممکن است سازه تجربه کند، در آن به حساب آوریم؛ مجبور هستیم ویژگی های احتمالاتی را نیز در نظر بگیریم. منحنی IDA مدل سازه ای مشخص و جمعیت آماری از رکوردها، زیاد جبری نیست، یک خط یا یک تابع تصادفی به شکل EDP=f(IM) است (برای یک IM یکنوا و منفرد). در نتیجه می توانیم با داشتن میانگین، میانه و 16 و 84 درصد طیف های پاسخ به عنوان نمونه، مجموعه ای از رکوردها را جمع بندی کنیم و در نتیجه می توانیم منحنی های IDA میانگین و میانه و 16 و 84 درصد را تعریف کنیم. با این توجه برای برآورد آماری خطهای تصادفی دو بعدی (با فرض یک IM) به عنوان نمونه نیاز به روش هایی داریم[5] که به دو دسته مهم تقسیم می شوند.

اولین دسته، روش های پارامتری می باشند. در این مورد یک مدل پارامتری از EDP معلوم در برابر IM برای فراهم کردن یک نمونه از مقادیر پارامتری، فرض می شود (هر خط به طور مجزا تنظیم می شود) و سپس آمار پارامترها بدست می آید. به عنوان مثال مدل دو پارامتری قانون توان $\theta \max = a.[S_a(T_1,5\%)]^2$ توسط شم و کرنل[6] معرفی شده است که بر اساس فرضیات مستند از توزیع لگاریتمی شرطی از $\theta \max$ معلوم برای $S_a(T_1, 5\%)$ می باشد، این مدل اغلب منحنی های توضیحی قوی را فراهم می سازد که اجازه می دهد نتایج تحلیلی مهمی بدست آید (جلیر و کرنل)[7]. این خصوصیت کلی روش های پارامتری می باشد؛ در حالی که این روش ها برای بدست آوردن هر منحنی انعطاف پذیری و دقت کمی دارند، اجازه می دهند توضیحات ساده ای بدست آورده شوند.[2]

در سوی دیگر روش های غیر پارامتری هستند که اساسا از صاف کننده های شکل های پراکنده مثل میانگین حرکتی، میانه حرکتی یا منحنی صاف شونده هستی و تیبشیرانی[8] استفاده می کنند. شاید ساده ترین تمام آنها، میانه حرکتی با پنجره به طول صفر (یا میانه مقطعی عرضی)

3)Bertero (1977)

4)Luco and Cornell (1998, 2000) , Bazzurro and Cornell (1994a, b) , (1998, 2000) Dubina et al. (2000) Mehanny and Deirlein (2000) , Yun et al (2002) , Nassar and Krawinkler (1991, pg 62-155), De Matteis et al. (2000) Psycharis et al. (2000)

5) Ramsay and Silverman (1996)

6)Shome and Cornell (1999)

7)Jalayar and Cornell(2002)

8) Hastie and Tibshirani (1990)

Archive of SID

www.SID.ir

می باشد که به سادگی شامل محاسبه مقادیر EDP در هر تراز IM و سپس پیدا کردن میانگین و انحراف معیار استاندارد EDP معلوم برای تراز IM است. این روش تا جایی که اولین منحنی IDA به ظرفیت خود برسد و زمانی که EDP به سمت بی نهایت می رود خوب عمل می کند. متاسفانه اکثر هموار کننده ها از این مشکل رنج می برند اما میانه مقطع عرضی یا درصد مقطع عرضی به طور کلی قویتر عمل می کند. به جای محاسبه میانگین ها در هر تراز IM ما به طور نمونه میانه ها و درصدهای 16 و 84 درصد را محاسبه می کنیم که تنها زمانی بی نهایت می شوند که در 50 و 84 و 16 درصد از رکوردها به ترتیب فروپاشی روی دهد. مزیت دیگر آن این است که با فرضیات مناسب (مثل پیوستگی و یکنواختی منحنی ها)، خط واصل نسبت های x درصد از EDP معلوم برای IM مشابه خط واصل نسبت های (× -100) درصد از IM معلوم برای EDP می باشد. به علاوه این روش به خوبی با فرض قوی توزیع لگاریتمی $\theta \max$ معلوم برای $S_a(T_1, 5\%)$ مطابق می باشد که میانه مقدار میانی و نسبت های 16 و 84 درصد مربوط به میانه ضربدر $e^{\pm dispersion}$ می باشند (جلیر و کرنل).[9]

در نهایت یک متغییر برای نشان دادن فروپاشی ها توسط شم و کرنل [10] پیشنهاد شدهاست که از گشتاورهای قراردادی برای مشخص کردن غیر خرابی ها استفاده شده است، بنابراین بی نهایت ها حذف می شوند در حالی که احتمال فروپاشی برای IM معلوم به صورت جداگانه با یک رگرسیون منطقی جمع بندی می شود.یک مشکل ساده ولی مهم جمع بندی ظرفیت های N منحنی نمونه می باشد که یا بر اساس EDP و یا بر اساس IM بیان می شوند. چون نه خطوط تصادفی وجود دارد و نه بی نهایت، مسئله به یک موضوع آماری قراردادی کاهش می یابد و می توانیم میانگین ها و انحراف معیارهای استاندارد و نسبت ها را مانند معمول بدست آوریم. هنوز لگاریتمی بودن اطلاعات ظرفیت مشاهده شده استفاده از میانه، (یا به صورت نسبت 50 درصد برآوردی و یا به صورت میانگین غیر لگاریتیم از لگاریتم ها) و انحراف معیار استاندارد از لگاریتم ها برای پراکندگی را پیشنهاد می کند. در نهایت هنگامی که محاسبات احتمالاتی حالت های حدی انجام می شود، احتیاج به آدرس دادن وابستگی بالقوه (یا رابطه) بین تقاضا و ظرفیت است.

3. IDA در قالب PBEE[11]

قدرت IDA به عنوان یک روش تحلیلی در استفاده مناسب در چارچوب احتمالات می باشد، در جایی که ما بر روی برآورد حوادث مشابه سالیانه ای که تقاضا حالت حدی یا ظرفیت C را رد کرده است، متمرکز هستیم. این فرایند مشابه رد کردن یک حالت حدی معلوم یا رد کردن سطح کارکرد (مانند سکونت فوری یا آستانه فروریزش در FEMA) در یک دوره تناوب مشخصی از زمان می باشد. این گونه محاسبات می تواند در چارچوب معادله ای پذیرفته شده توسط مرکز مهندسی زلزله پاسیفیک Cornell and Krawinkler (2000) خلاصه شود.

$$\lambda(DV) = \iint G(DV|EDP)\,dG(EDP|IM)\,\left|d\lambda(IM)\right| \qquad (1)$$

که در آن IM و EDP و DV به ترتیب بردارهای معیارهای شدت، معیارهای خرابی و متغیرهای تصمیم می باشند. در اینجا ما معمولا از IM های عددی و EDP برای حالت حدی مورد نظر استفاده می کنیم. متغیر تصمیم در اینجا به سادگی یک متغیر مشخصه عددی تعریف می شود:

اگر حالت حدی رد شده باشد DV=1 (و در غیر این صورت مساوی صفر). (IM) λ منحنی خطر مرسوم می باشد، یعنی کثرت وقوع سالیانه میانگینی است که از IM مثلا x رد می شود. کمیت $|d\lambda(x)| = |d\lambda(x)/dx|dx$ دیفرانسیل آن می باشد (یعنی $|d\lambda(x)/dx|$

9) Jalayar and Cornell(2002)

10) Shome and Cornell(2000)

11) Peformance-based earthquake engineering

Archive of SID

www.SID.ir

چگالی سرعت میانگین است.) $\left|dG(EDP|IM)\right|$ دیفرانسیل تابع توزیع جمع شونده تکمیلی (شرطی) EDP برای IM معلوم یا $f_{DM|IM}(y|x)dy$ می باشد. در بخش های قبلی ویژگی های آماری منحنی های IDA تصادفی بررسی گردید. این توزیع ها دقیقا همین ویژگی های $\left|dG(EDP|IM)\right|$ می باشند. سرانجام در حالت حدی، هنگامی که در سمت چپ معادله 1-1 ما به دنبال $\lambda(DV=1)=\lambda(0)$ می باشیم، می شود؛ بنابراین اگر Fc(y) تابع توزیع تجمعی C، یعنی ویژگی آماری ظرفیت که در انتهای بخش قبلی بحث شد، باشد $G(0|EDP)=Fc(y)$. در حالت فروریزش کلی، برآورد ظرفیت از تحلیل IDA بدست می آید. به شکل مختصر، برای ذخیره ویزگی زلزله $\lambda(IM)$ ، با انتخاب هوشمندانه ای از IM، DM و مدل سازه ای، IDA در روشی بسیار کلی اطلاعات لازم را هم برای ویژگی تقاضای PBEE و هم برای ویژگی ظرفیت فروریزش کلی را به طور دقیق میدهد.

4. مقیاس کردن و انتخاب IM

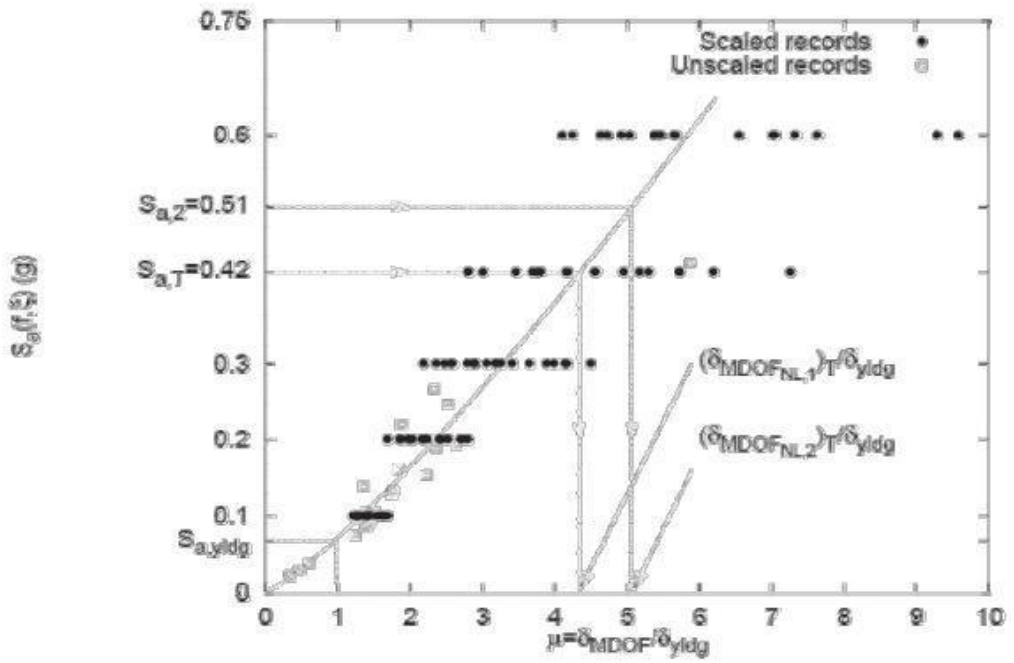
همان طور که در بالا بحث شد ما معتقدیم که دید مهندسی مفیدی با مطالعه مجموعه ای از IDA ها یا یک IDA به تنهایی بدست می آید. گرچه اغلب نگرانی درباره درستی نتایج EDP بدست آمده از رکوردهایی بیان می شود که به بالا و پایین مقیاس شده اند (کاری که در عمل و در تحقیق غیر معمول است)، در حالی که همواره به خوبی بیان نشده که معمولا نگرانی برای تحلیل با رکوردهای ضعیف تر است تا نماینده ای از رکورد قوی تر. این موضوع می تواند با دقت بیشتری در متن دو بخش قبل بدین صورت گفته شود که میانه (یا هر شاخص آماری) از EDP بدست آمده از رکوردهای مقیاس شده با سطوح مختلف IM، به درستی میانه EDP جمعیت رکوردهای مقیاس نشده با IM یکسان می باشد. به دلیل محدودیت های اطلاعات رکورد موجود (که تعداد کمی رکورد با سطح IM معلوم می توان پیدا کرد) و چون معمولا ما علاقه به محدوده ای از سطوح IM ها داریم، عملی تر و کامل تر است که بپرسیم: آیا تابع میانه (شبیه رگرسیون) EDP در برابر IM بدست آمده از رکوردهای مقیاس شده می تواند به خوبی تابع مشابه بدست آمده از رکوردهای مقیاس نشده را برآورد کند؟ در متون برای چنین سوالاتی مطالب زیادی بیان شده است[12]. به عنوان نمونه مقایسه ای از نتایج بدست آمده در تحقیقات بازرو و همکاران(1998) [13] در شکل(1)آورده شده است که دو رگرسیون بسیار به هم نزدیک می باشند، البته این تنها یکی از نتایج می باشد که در اینجا آورده شده است. برای کفایت لازم است که گفته شود به طور معمول جواب این سوال بستگی به سازه ،EDP ، IM و جمعیت مورد نظر دارد[5]. برای مثال برای مورد شکل(2) یعنی برای سازه فولادی با تناوب میانه (یک ثانیه) که EDP در آن جابجایی نسبی بیشینه طبقات و IM شتاب طیفی مود اول و برای گروه معمولی از رکوردها (با بزرگای متوسط تا برگ ولی با مسافت های تحت تاثیر جهت)، جواب مثبت است. از سوی دیگر جواب برای همین مورد که تنها IM آن با حالت قبل متفاوت است و IM و آن PGA می باشد، جواب منفی است. چرا؟ چون که سازه ای با مداول غالب، به شدت به محتوای فرکانسی نزدیک به فرکانس مود اول حساس است که این مطلب را $S_a(T_1, 5\%)$ به خوبی در نظر می گیرد در حالی که PGA نمی تواند، و همچنین همین طور که بزرگا تغییر می کند شکل طیفی نیز تغییر می کند که نشان می دهد که نسبت میانگین $S_a(T_1, 5\%)$ به PGA با بزرگا تغییر می کند. بنابراین جابجایی نسبی میانه رکورد مقیاس شده در برابر PGA وابسته به نسبت بزرگای اندازه های مختلف در نمونه دارد و ممکن است چنین منحنی را برای جمعیتی از بزرگاهای خاص نشان دهد یا ندهد. از سوی دیگر، شتاب طیفی مود اول نمی تواند برای سازه های بلند با دوره تناوب زیاد که به زمان تناوب های کوتاه تر حساس است، کار کند چون که دوباره شکل طیفی وابسته به بزرگا است.[6]

12)Shome and Cornell (1998, 1999)

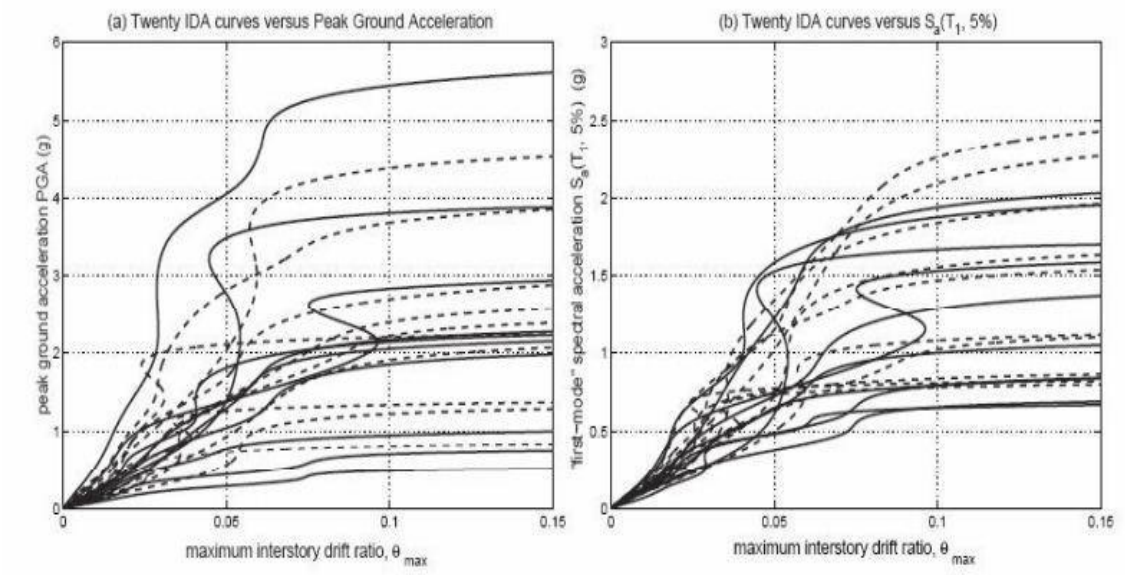
13) Bazzurro et al. (1998)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(1) پاسخ شکل پذیری بام برای قاب فولادی سه طبقه برای 20 رکورد مقیاس شده و نشده[1]



شکل(2) منحنی IDA برای ساختمان6 طبقه برای IM های متفاوت[1]

www.SID.ir

سوالات متنوعی از دقت، کارایی و عملی بودن در مورد انتخاب IM مناسب برای کاربردهای خاص وجود دارد، اما به طور کل می توان گفت که اگر IM به گونه ای انتخاب شده باشد که رگرسیون EDP روی IM , M و R به شکل موثری مستقل از M و R باشد (در ناحیه مورد نظر) مقیاس کردن رکوردها براورد خوبی از توزیع EDP برای IM مشخص می دهد. با این وجود می توان نتیجه گرفت که مقیاس کردن امری لازم است و در نهایت اینکه منحنی های IDA برآوردهای آماری مناسبی از EDP در برابر IM می دهد[14].

مطالعات IDA همچنین ممکن است دید تازه ای برای سوالات بیشتر جهت انتخاب IM موثر بدهد. برای نمونه پراکندگی کمتر EDP در برابر IM نشان می دهد که مجموعه رکوردهای کوچکتر و تحلیل های غیر خطی کمتری برای برآورد میانه EDP در برابر IM، احتیاج است. بنابراین ویژگی مورد علاقه برای گزینه IM پراکندگی کمتر است. شکل(2) منحنی های IDA برای قاب فولادی خمشی 6 طبقه که در آن EDP جابجایی نسبی بیشینه طبقات و IM در حالت PGA, a و در حالتb $S_a(T_1, 5\%)$ می باشد را نشان میدهد. حالت دوم همان طور که نتایج بر پایه IDA به وضوح نشان می دهد، پراکندگی کمتری را در تمام نواحی EDP می دهد. به علاوه IDA می تواند برای مطالعه اینکه IM های مخصوص (با چه پراکندگی) چطور می توانند ظرفیت فروپاشی را حدس بزنند، استفاده شود. دوباره $S_a(T_1, 5\%)$ نشان میدهد که برای این سازه نسبت به PGA ارجح تر است چون که مقادیر IM مربوط به قسمت صاف کمتر از قسمت اولیه می باشند.

5. نتیجه گیری

- IDA در حال حاضر روشی پر کاربرد و چند منظوره می باشد. این روش با توجه به اینکه رفتار مصالح را غیر خطی در نظر میگیرد و نیز ماهیت دینامیکی دارد لذا در مقایسه با روشهای استاتیکی مانند تحلیل استاتیکی خطی بار افزون(پوش اور) و روشهای خطی مانند تحلیل دینامیکی طیفی دقیقترین روش در تخین رفتار سازه ها می باشد.اما منحنی IDA با یک رکورد نمی تواند رفتار سازه را برای حوادث آینده به طور کامل بیان کند. از آنجا که پاسخ تحلیل های غیر خطی و IDA می تواند به شدت به تعداد و مشخصات دینامیکی رکورد های انتخابی وابسته بوده و پاسخها از یک رکورد به رکورد دیگر به شدت تغییر می کند، لذا تعداد کافی از رکودها برای پوشش تمام نواحی پاسخ ها مورد نیاز است. در نتیجه مجبوریم که مدل سازه ای را برای مجموعه ای از رکوردهای زمین لرزه تحلیل کنیم. از اهداف آن عبارتند از:
- درکی کامل از پاسخ یا تقاضای سازه در گستره ای از سطوح مختلف قدرت رکوردهای حرکت زمین.
- درکی بهتر از اثرات سازه ای در سطوح مختلف حرکت زمین با قدرت کمتر یا بیشتر.
- فهم بهتر تغییرات طبیعت پاسخ سازه با افزایش شدت حرکت زمین (به طور مثال تغییر در الگوهای جابه جایی بیشینه در ارتفاع، شروع کاهش سختی و مقاومت و الگوهای آنها).
- تهیه برآوردی از ظرفیت دینامیکی کل سیستم سازه ای.
- در نهایت، بررسی منحنی های IDA با چند رکورد و بررسی چگونگی ثابت ماندن یا تغییر تمام این موارد از یک زمین لرزه تا بقیه.

فهرست منابع

14) Shome and Cornell, (1999)

Archive of SID

www.SID.ir

1. ارشدی،حامد - استاد راهنما: ایزدی فر، رمضانعلی- استاد مشاور: پوراستکانچی، همایون- مقایسه روش تحلیل افزاینده دینامیکی و روش زمان دوام بر روی سازه های فولادی کوتاه بهسازی شده با جداساز لرزه ای، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین.1391.

2. Moghaddam H. Earthquake engineering: Theory and application, Iran, Farhang publications, 2002.

3. Naeim F. A.Martin J. Advanced Technology In Housing Construction. 2000.

4. Newmark NM. Fundamentals of earthquake engineering, Englewood Cliffs, NJ: Prentice- Hall, 1971.

5. Mehanny SS, Deierlein GG, Modeling and assessment of seismic performance of composite frames with reinforced concrete columns and steel beams, Report no. 136, Stanford: Stanford University, The John A, Blume Earthquake Engineering Center, 2000.

6 Chopra, Anil.K., Dynamics of Structurres, 2 nd New York: John Wiley & Sons, Inc, 1994.

Archive of SID

www.SID.ir