

## مطالعه و بررسی تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی (IDA) (کد 9A)

سید علی موسوی داودی

فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی عمران - دانشکده فنی ساری امام محمد باقر (ع)

Email: Ali\_mousavii@yahoo.com

**چکیده:** به طور کلی برای سیستم هایی که انتظار می رود رفتار غیر خطی داشته باشند نیروها و تغییر شکلها را می توان با استفاده از تحلیل های دقیق بدست آورد به همین منظور برای انجام تحلیل دقیق یک سازه می توان از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده نمود که در این روش ابتدا مشخصات غیر خطی اعضای سازه تعریف شده و سپس با استفاده از شتاب نگاشت ها تحلیل مورد نظر صورت می پذیرد که این نوع تحلیل خود نیز می تواند به یکی از دو روش تحلیل دینامیکی افزایشی و یا تحلیل تاریخچه زمانی انجام می پذیرد. تحلیل دینامیکی افزایشی، یک تحلیل پارامتری لرزه ای برای بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه تحت بارهای دینامیکی زلزله می باشد. این روش که به عنوان روش تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) معرفی شده، یک روش پارامتریک می باشد که اخیراً به منظور تخمین عملکرد لرزه ای سازه ها به وجود آمده است. این روش شامل اثر دادن یک یا چند رکورد زمین لرزه بر روی سازه است، هر یک از این رکورد ها تا رسیدن به یک شدت خاصی مقیاس شده اند. تحلیل دینامیکی افزایشی تصویری کامل از رفتار سازه از حالت کشسان تا جاری شدن و ناپایداری سازه را تحت بارهای دینامیکی زلزله نمایش می دهد، اما حجم بالای عملیات و صرف وقت فراوان برای انجام این تحلیل، از مهم ترین عللی است که کاربران تمایلی به استفاده از آن برای تخمین ظرفیت سازه در بحث طراحی عملکردی ندارند. این روش علاوه بر بررسی رفتار لرزه ای سازه، ظرفیت سازه را نیز در اختیار ما قرار می دهد و می تواند در تعیین عملکرد لرزه ای سازه ها مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله سعی شده که ابتدا تعریفی جامع از مبانی کلی تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی ارائه گردد و سپس در ادامه نیز در مورد مزایا و معایب این روش نسبت به روش های دیگر تحلیل دینامیکی غیر خطی مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تحلیل غیر خطی، تحلیل غیر خطی دینامیکی افزایشی، ترکیب منحنی

## Increased study of nonlinear dynamic analysis (IDA)

(CODE 9A)

Seyed Ali Mousavi Davoudi

Graduate of Civil Engineering - Technical University of Sari

Email: Ali\_mousavii@yahoo.com

**Abstract:** On the whole the systems which are expected to be non-linear behavior of the forces and deformations can be achieved using detailed analyzes. Therefore, to perform an accurate analysis of nonlinear dynamic analysis method can be used for one year In this method, non-linear profile defined structural components And then use the momentum mapping analysis to be made This type of analysis can also be in one of two incremental or dynamic analysis Dynamic Analysis incremental time history analysis is done, a parametric analysis of seismic capacity of buildings under dynamic loads to get the curves earthquake. The method as incremental dynamic analysis (IDA) has been introduced, is a parametric method to estimate the seismic performance of structures have recently been created. This method includes the effect of earthquakes on structures one or more records, each of these records have to reach a certain intensity scale. Full image enhancement dynamic analysis of the structural behavior of the current state of elastic structures under dynamic loads and seismic instability of the show. But the volume of operations, time to do this analysis, the most important reasons is that users tend to use it to estimate the structural capacity in functional design are discussed. This method has a review of seismic behavior of structures, structural capacity also puts at our disposal and can be used in determining the structural seismic performance. This paper is the first comprehensive definition of the general principles of the nonlinear dynamic analysis yields, And then went on the advantages and disadvantages of this method compared to other methods nonlinear dynamic analysis to be studied.

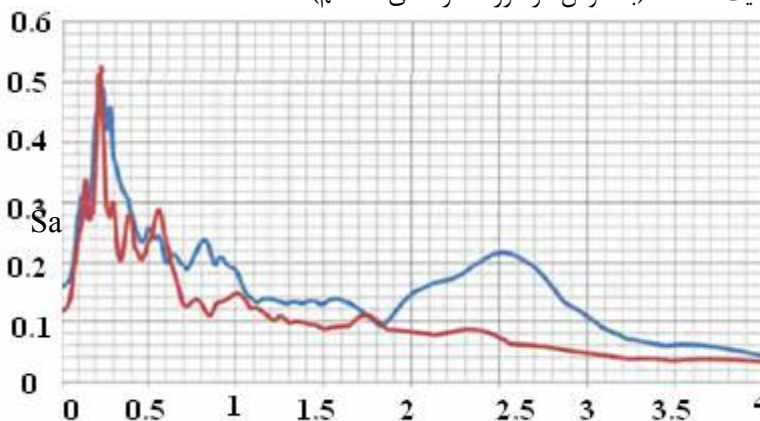
**Key words:** non-linear analysis, nonlinear dynamic analysis to increase, compound curves

## • مقدمه :

گسترش کاربرد روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در طراحی عملکردی سازه ها باعث به وجود آمدن یک ایده نو در بکارگیری آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی گردیده است. این روش که به عنوان روش تحلیل دینامیکی افزایش IDA معرفی شده روش آنالیزی است که اخیراً در انواع مختلف سازه ها، جهت محاسبه عملکرد سازه تحت بارهای لرزه ای توسعه داده شده است، علاوه بر بررسی رفتار لرزه ای سازه، ظرفیت سازه را نیز در اختیار ما قرار می دهد و می تواند در تعیین عملکرد لرزه ای سازه ها مورد استفاده قرار گیرد. از مزایای این روش میتوان به ارزیابی عملکرد سازه در برابر شتاب نگاشت زلزله های با شدت مختلف و لحاظ نمودن عدم قطعیت های حاصل از استفاده از این شتاب نگاشتها اشاره نمود. در برابر تمام مزایا، این روش دارای کاستی هایی نیز میباشد که در این مقاله به آنها پرداخته شده است. مشکل اصلی این است که در این روش به منظور افزایش شدت زلزله ها آنها را مقیاس میکنند. علاوه بر مشکلات مربوط به مقیاس کردن شتاب نگاشت ها، تحلیل خطر لرزه ای نشان میدهد مشخصات زلزله ها با تغییر سطح شدت، تغییر میکند.

## • مبانی تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)

مانند گذر از تحلیل استاتیکی به تحلیل استاتیکی بار افزون، این ایده مطرح شد که تحلیلهای تاریخچه زمانی نیز به صورت افزایشی با مقیاس نمودن شتابنگاشتها انجام شوند. این ایده منجر به ارائه روش تحلیل دینامیکی افزایشی گردید. این روش که توسط کرنل و ومواسیتیکوس در سال 2002 به صورت قانون مند ارائه گردید، هم اکنون به عنوان یک روش چند هدفه با کاربردهای گسترده در حال استفاده است. در سال های اخیر این روش جهت محاسبه عملکرد سازه تحت بارهای لرزه ای توسعه داده شده است. در روش IDA یک رکورد تاریخچه زمانی شتاب به عنوان یک بردار  $\alpha 1$  که دارای المانهای شتاب  $\alpha 1(t_i)$  و  $t \in \{0, t_1, \dots, t_{n-1}\}$  است در نظر گرفته میشود. به منظور بدست آوردن شتاب نگاشت زمین لرزه های با شدت کمتر یا بیشتر، این بردار را به ضریب مقیاس  $\lambda \in (0, \infty)$  ضرب میکنیم ( $a = \lambda \alpha 1$ ) این عمل میتواند به صورت مقیاس کردن طیف شتاب کشسان بوسیله ضریب  $\lambda$  و یا مقیاس دامنه های شکل فوریه شتابنگاشت در طول همه فرکانسها انجام گیرد. در مرحله بعد سازه مورد مطالعه را با استفاده از این شتابنگاشتهای مقیاس شده تحلیل کرده که نتیجه این تحلیل اندازه خرابی (DM) را برای مقادیر مختلف شدت های زمین لرزه (IM) در اختیار ما قرار میدهد. از این مسئله میتوان به عنوان اصلی ترین کاربرد تحلیل دینامیکی افزایشی یاد کرد که در هر سطح از شدت زمین لرزه، میزان خرابی را پیش بینی می نماید شدت زمین لرزه می تواند به شکلهای مختلفی از جمله بیشینه شتاب زمین (PGA) بیشینه سرعت زمین (PGV) و شتاب طیفی مود اول سازه ( $Sa(T0)$ ) باشد. اندازه خرابی، نشان دهنده پاسخ سازه در مقابل زمین لرزه مقیاس شده است که می تواند. به صورت مقدار حداکثر برش پایه، حداکثر دوران گرهی سازه، حداکثر جابجایی نسبی پشت بام، حداکثر جابجایی نسبی بین طبقات به صورت زاویه چرخش طبقه بیان گردد. نتایج تحلیل های انجام شده برای یک شتابنگاشت با ضرایب مقیاس متفاوت در یک منحنی که منحنی IDA نام دارد. ترسیم می گردند. در این منحنی مقادیر مختلف IM در برابر DM متناظر آن نشان داده می شود. هر یک از IM ها نماینده یک رکورد مقیاس شده زمین لرزه است. با ترسیم این منحنی برای چند شتابنگاشت ملاحظه می گردد رفتار دینامیکی غیر خطی سازه وابستگی زیادی به رکورد انتخاب شده دارد. یکی از علل این تفاوت را میتوان در تفاوت در شکل طیف شتابنگاشتها دانست. برای مثال در شکل ۱ طیف دو شتابنگاشت دیده می شود اگر سازه های دارای پرپود مود اول ۱,۷ ثانیه باشد  $Sa(T1)$  در هر دو این شتابنگاشت ها برای این سازه برابر خواهد بود اما پاسخ بسیار متفاوت است. علت تفاوت پاسخ این است که زمانی که سازه وارد مرحله غیر خطی می گردد با تسلیم شدن اعضا پرپود مود اول سازه بیشتر میشود و شتاب طیفی در پرپودهای بزرگتر نیز اهمیت خواهد یافت. همچنین شتاب طیفی در پرپودهای مربوط به مودهای دوم و سوم نیز دارای اهمیت هستند. (بخصوص در مورد سازه های نامنظم)

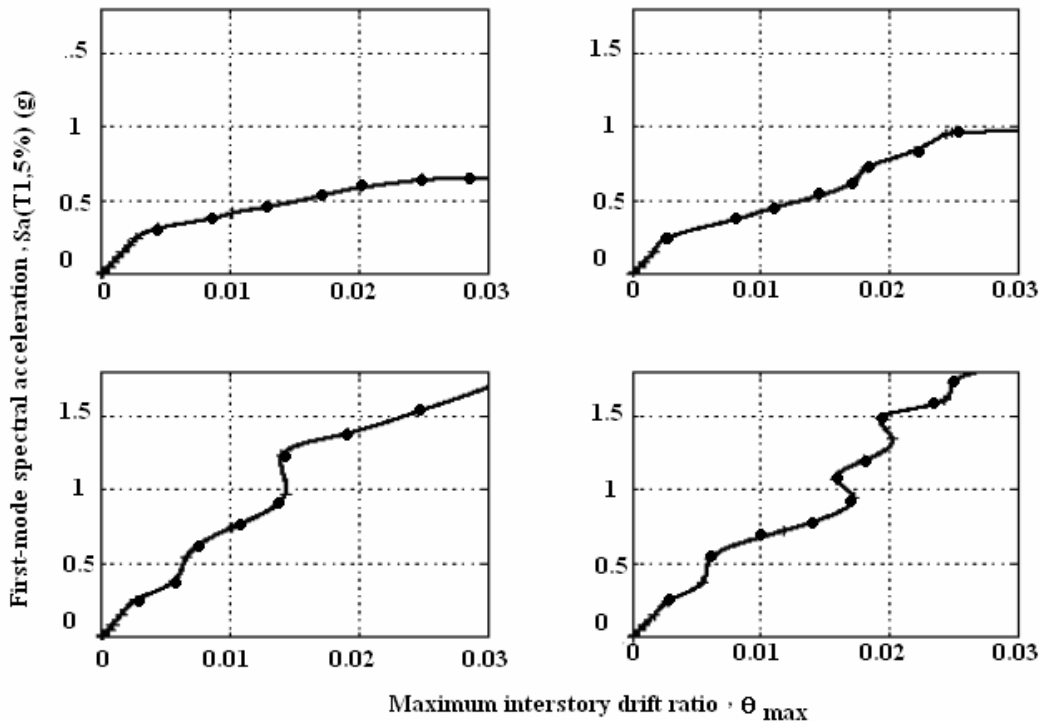


شکل ۱: مقایسه طیف دو شتابنگاشت

در نتیجه یک منحنی IDA به تنهایی نمیتواند رفتار واقعی سازه را برای رویدادهای دیگر زمینلرزه پیش بینی کند. بنابراین بایستی تعداد مناسبی از رکوردهای زمین لرزه انتخاب گردد تا بتواند محدوده پاسخهای سازه را پوشش دهد. بایستی منحنی IDA برای هر یک از این رکوردها ترسیم گردد. پس از ترسیم این منحنی ها ساده ترین روش که برای عمومیت دادن به نتایج این تحلیل پیشنهاد شده استفاده از مقادیر میانگین های ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ می باشد.

• **منحنی IDA:**

این منحنی ترسیمی است از مقادیر DM هایی که از آنالیز های بدست آمده اند در مقابل IM هایی که هر یک از آنها نماینده ای از یک رکورد مقیاس شده زمین لرزه هستند. منحنی IDA می تواند به صورت دو بعدی یا چند بعدی با توجه به پارامترهای IM که انتخاب می شود ترسیم گردد. ساده ترین شکل این منحنی به صورت دو بعدی است و تاکید بیشتر محققین نیز بر این شکل منحنی IDA می باشد. برای ایجاد تشابه بین این منحنی و منحنی های دیگر که در علم مهندسی بکار می رود، مانند منحنی تنش-کرنش، نیرو-جابجایی یا پوش آور، مقدار متغیر مستقل IM که تصویری از نیرو را ایجاد می نماید در محور قائم رسم می گردد. باید توجه داشت شکل منحنی IDA برای یک سازه مشخص که در معرض رکورد زمین لرزه های مختلف قرار می گیرد، متفاوت است. به طور مثال شکل (۲) منحنی IDA یک سازه ۵ طبقه را نشان می دهد که رفتار سازه را در قسمت خطی، غیر خطی تا فروریزش کامل، نمایش می دهد.



شکل ۲: منحنی های IDA برای قاب ۵ طبقه (T=1.8sec)

همانطور که مشاهده می گردد تمام این منحنی ها دارای یک قسمت کشسان هستند که می تواند نماینده ای از رفتار خطی سازه باشد و با مشاهده اولین رفتار غیر ارتجاعی اعضای سازه ای این قسمت منحنی پایان می یابد. شیب IM/DM این قسمت از منحنی می تواند به عنوان سختی کشسان سازه معرفی می گردد. سرانجام با این دید که بتوان هر یک از منحنی های IDA را به عنوان نماینده ای از رفتار سازه فرض کرد و با بررسی مقادیر مختلف پاسخ های سازه را بدست آورد، قسمت نهایی منحنی ها مورد بررسی قرار می گیرد. بخش هموار نهایی هنگامی اتفاق می افتد که نرخ افزایش پاسخ ها خیلی سریع و نرخ افزایش شدت زمین لرزه بسیار کند گردد. به بیان دیگر با فرض جابجایی به عنوان پاسخ سازه، این قسمت از منحنی زمانی اتفاق می افتد که با مقادیر شدت های تقریباً ثابت، جابجایی های نسبتاً بزرگی روی می دهد که اخطاری بر ناپایداری سازه می باشد.

### • ترکیب منحنی

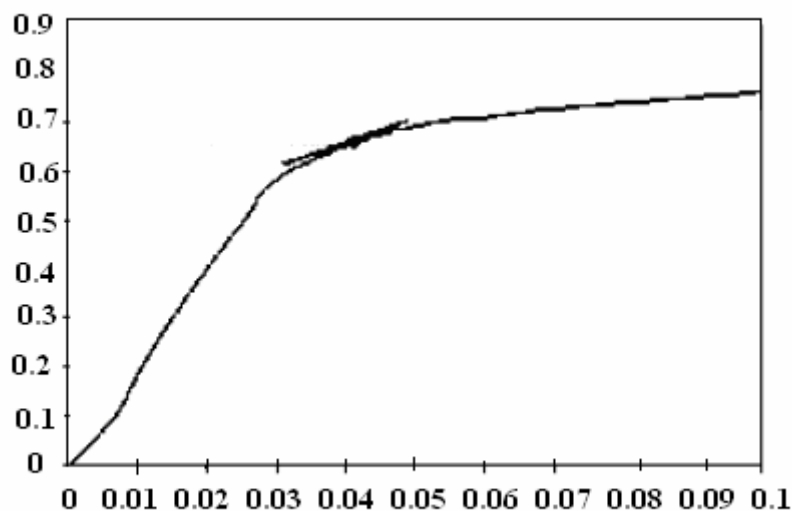
همانطور که در قسمت های قبل مشخص شد یک منحنی IDA ترسیم می شود از رفتار دینامیکی غیر خطی یک سازه مشخص تحت اثر یک رکورد زمین لرزه مشخص می باشد و به این علت که این منحنی وابستگی زیادی به رکورد زلزله انتخاب شده دارد. به تنهایی نمی تواند رفتار واقعی ساختمان را برای رویدادهای دیگر زمین لرزه پیش بینی کند. بنابراین بایستی تعداد مناسبی از رکورد های زمین لرزه انتخاب گردد تا بتواند محدوده پاسخ های سازه را پوشش دهد. با اینکه هر منحنی برای یک مدل سازه ای و رکورد زمین لرزه مشخص به صورت قطعی و کامل مشخص می گردد، اگر بخواهیم احتمال اینکه کدام رکورد زمین لرزه ممکن است در طول عمر سازه بر آن اثر کند را وارد مسله کنیم خصوصیات احتمالاتی وارد مسله می گردد پس از آن دیگر منتخب IDA حالت قطعی ندارد پس به صورت تابع احتمالاتی در می آید. ساده ترین روشی که برای عمومیت دادن به نتایج این تحلیل پیشنهاد شده است استفاده از مقادیر میانگین های ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ می باشد.

### • تعیین تراز های عملکردی و نقطه ظرفیت سازه

ترازهای عملکردی و حالات حدی موارد مهمی هستند که در طراحی لرزه ای براساس عملکرد مورد توجه قرار می گیرند. این خصوصیات را با استفاده از منحنی IDA می توان استخراج کرد. البته لازم است تا اطلاعات بدست آمده از این منحنی را از حالات حسی به یک حالت عددی و ریاضی در آورد به طور مثال عبارت یا قانونی ایجاد کرد تا وقتی آن قانون ارضا شد خطاری برای یک حالت حدی خاص باشد. به عنوان نمونه مقدار DM به عنوان علامتی از خرابی مشخص می شود، یعنی هنگامی که DM از یک مقدار مشخص تجاوز کردف حالت حدی به وجود می آید. این مقدار می تواند به وسیله آزمایش، تئوری یا تجارب مهندسی بدست آید. علاوه بر ترازهای عملکردی یکی از نقاط مهمی که در بررسی عملکردی سازه ها اهمیت فراوانی دارد، نقطه ظرفیت سازه است. یک حالت، این است که در آخرین نقطه منحنی را به عنوان نقطه ظرفیت انتخاب کنیم، که زیاد منطقی به نظر نمی رسد. حالت نقطه ای از منحنی که تانژانت شیب آن ۲۰٪ آخرین نقطه منحنی باشد به عنوان نقطه ظرفیت انتخاب می شود. این شیوه بر این پایه قرار دارد که افقی شدن منحنی نشانه ای از ناپایداری دینامیکی سازه است.

### • صحت و تایید نتایج روش تحلیل IDA

مهمترین مسئله ای که در ارزیابی صحت این مقدار این روش بیان می گردد، این است که آیا مقدار میانگین پاسخ ها که با استفاده از رکوردهای مقیاس شده زمین لرزه بدست آمده اند می تواند با مقادیر واقعی آنها که از زمین لرزه های واقعی بدست می آید یکسان باشد. با توجه به این موضوع که حجم زیادی از پژوهش ها به این امر اختصاص یافته ، به علت محدودیت رکورد های زمین لرزه که دارای IM مساوی هستند، پاسخ به این سوال مشکل است. در حالت عمومی پاسخ به این سوالات بستگی به سازه، مقادیر DM و IM و جمعیت رکوردهایی که استفاده می کنیم دارد. با این حال پاسخ هایی که از این روش بدست می آید می تواند شاهد مناسبی برای صحت فرضیات باشد. به طور مثال در شکل (۳) مقدار پارامتر DM،  $\theta_{MAX}$  و مقدار پارامتر IM، مقدار PGA و Sa (T1) می باشد. به راحتی مشاهده می شود که Sa (T1) پراکندگی کمتری در محدوده مقادیر DM نشان می دهد. پس در این مورد Sa (T1) مناسب تر از PGA برای این سازه به نظر می رسد. به این ترتیب تعداد زیادی مسائل حل نشده هنوز در مورد مناسب بودن استفاده از روش IDA وجود دارد.



شکل ۳: تعیین نقطه ظرفیت سازه به کمک منحنی IDA

• معایب روش تحلیل دینامیکی افزایشی

• مقیاس کردن شتاب نگاشتها

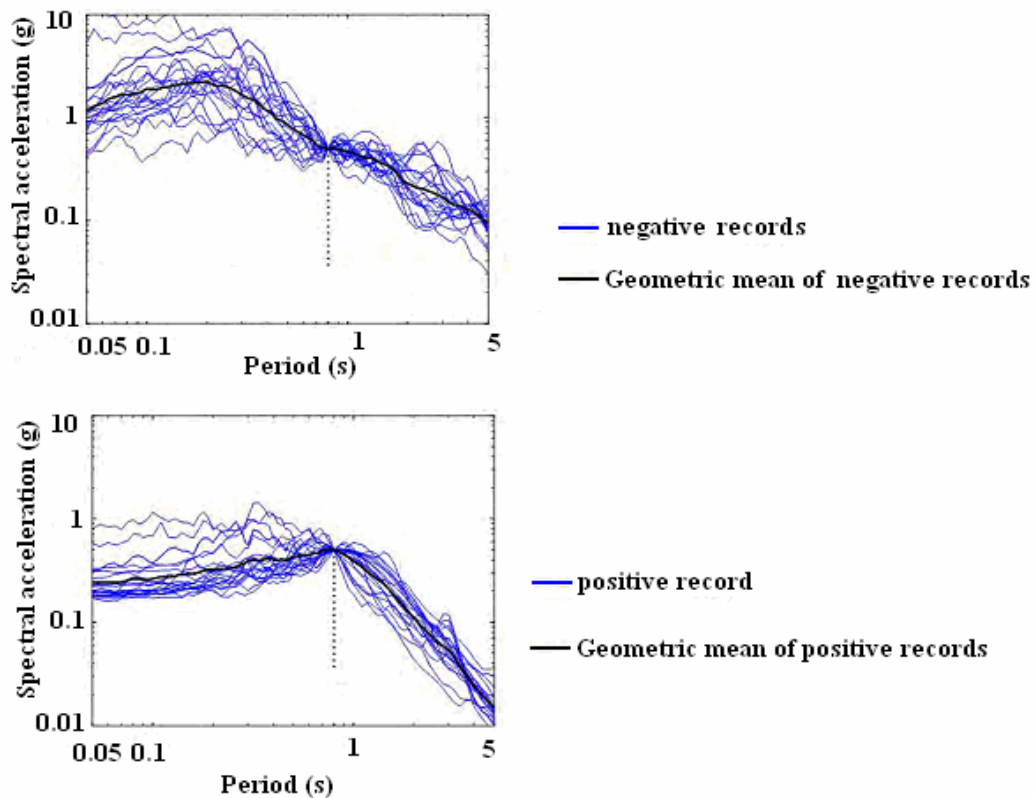
همانطور که گفته شد در روش تحلیل دینامیکی افزایشی به منظور افزایش یا کاهش شدت شتابنگاشت زمین لرزه، تمام مقادیر شتاب ها را در یک ضریب مقیاس ضرب می کنیم. هرچند به نظر می رسد این ایده بسیار کارگشا است ولی نباید از این نکته غفلت کرد که ضرب کردن یک عدد بزرگتر از یک (کوچکتر از یک) در یک سیگنال، تنها باعث افزایش (کاهش) دامنه می گردد و محتوای فرکانسی متناظر با آن بدون تغییر خواهد ماند. ولی محتوای فرکانسی شتابنگاشت ها نقش مهمی در پاسخ تحلیل دینامیکی غیر خطی خواهد داشت. در نتیجه پاسخ بدست آمده حاصل از شتاب نگاشتهای مقیاس شده با خطا همراه خواهند بود.

• تفاوت در مشخصات شتابنگاشتهای با شدت متفاوت

شتابنگاشت های رکورد شده دارای مشخصاتی هستند که در زمان انجام تحلیل دینامیکی می بایست به آنها توجه نمود برخی از این مشخصات عبارتند از: بزرگی زلزله، فاصله تا گسل، مکانیزم گسلش، نوع خاک، شکل طیف الاستیک و برخی از این مشخصات در شدت های مختلف شتابنگاشت متفاوت است. به عبارت دیگر هر شتاب نگاشت با توجه به مشخصات آن توانایی ایجاد سطح مشخصی از شدت را خواهد داشت. پیش از بحث در مورد موضوع تفاوت مشخصات در سطوح مختلف ابتدا در مورد یکی از مشخصات بیان شده که شکل طیف می باشد توضیح بیشتری داده می شود. به منظور کمی کردن این موضوع از پارامتری به نام اپسیلون استفاده شده است. اپسیلون با تعداد انحراف استانداردهایی که مقدار  $\ln Sa$  با میانگین پیش بینی شده  $\ln Sa$  برای مقادیر ارائه شده بزرگی و فاصله  $(M,R)$  اختلاف دارند تعریف می شود. به صورت ریاضی مینویسیم:

$$\varepsilon(T) = [\ln Sa(T) - \mu_{\ln Sa(M,R,T)}] / \sigma_{\ln Sa} \quad (1)$$

که  $\sigma_{\ln Sa}$  و  $\mu_{\ln Sa}(M,R,T)$  به ترتیب میانگین پیش بینی شده برای بزرگا و فاصله ای مشخص و انحراف استاندارد با  $\ln Sa(T)$  در پیرودی مشخص است و  $\ln Sa(T)$  لگاریتم شتاب طیفی زلزله مورد نظر است. به زبان ساده تر میتوان گفت اپسیلون بیان کننده میزان اختلاف با مقدار میانگین است. برای مشاهده میزان توانایی این پارامتر برای پیش بینی شکل طیف نیز میتوان شکل ۴ را مشاهده نمود. در این شکل طیف دو دسته رکورد رسم شده است. در دسته اول رکوردها دارای اپسیلون مثبت در پیرود ۱ ثانیه و در دسته دوم دارای اپسیلون منفی در پیرود ۱ ثانیه خواهند بود. از شکل (۴) می توان نتیجه گرفت هر مقدار که اپسیلون بزرگتر باشد شکل طیف بیشتر شبیه قله خواهد بود.



شکل ۴: مقایسه طیف شتاب نگاشتهایی با اپسیلون مثبت و منفی

با دقت در شکل میتوان این ادعا را مطرح نمود که پارامتر شکل طیف یا اسپیلون یکی از مهمترین عوامل برای پیش بینی پاسخ سازه نیز میباشد. با استفاده از تفکیک خطر لرزه ای میتوان مشخصات شتاب نگاشتهای متناظر برای هر سطح از شدت (یا هر سطح خطر) را محاسبه نمود.

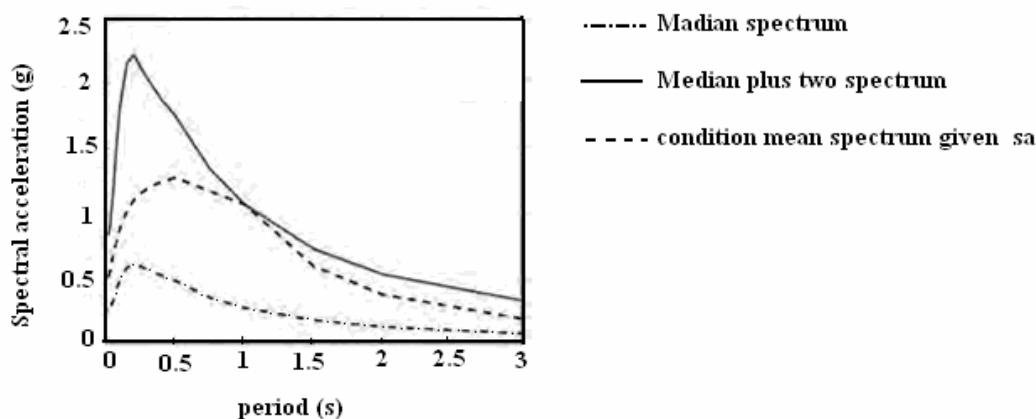
### • روش تحلیل دینامیکی افزایشی بهنگام شونده (AIDA)

#### - ارائه روش تحلیل دینامیکی افزایشی بهنگام شونده

بیان گردید که تحلیل دینامیکی افزایشی متداول دارای دو مشکل اصلی است، هدف اصلی از این مقاله ارائه روشی برای حل این دو مشکل است. در این روش بر خلاف روش تحلیل IDA که برای تمام سطوح شدت از یک دسته شتابنگاشت ثابت استفاده می شود، در هر سطح از شدت، شتابنگاشت های متناظر با آن سطح انتخاب میگردد. پاسخ سازه را با استفاده از این شتابنگاشتها بدست می آوریم؛ با رسم مقادیر میانگین پاسخ های بدست آمده می توان یک منحنی شبیه منحنی IDA بدست آورد. علت نامگذاری این روش به "بهنگام شونده" این است که در هر سطح از شدت شتابنگاشت های جدید و متناظر آن سطح انتخاب می گردد.

#### - روشهای انتخاب شتاب نگاشت

در روش تحلیل دینامیکی افزایشی بهنگام شونده لازم است که شتابنگاشتهای با شدت برابر که دارای مشخصات متناظر با آن سطح شدت هستند انتخاب گردند. روشهای مختلفی برای انتخاب شتابنگاشت با شدت یکسان وجود دارد. در اغلب این روش ها با استفاده از تطابق طیف شتابنگاشت ها با یک طیف هدف شتابنگاشت انتخاب می گردد. طیف یکنواخت خطر (UHS) یکی از این طیف های هدف است که می توان با توجه به میزان همخوانی طیف شتاب نگاشت ها با این طیف هدف شتابنگاشت ها را انتخاب نمود. از آنجا که طیف UHS در تمام پریودها شتاب طیفی زلزله های نادر را همراه دارد می توان گفت شتاب نگاشتهای انتخاب شده با استفاده از این طیف هدف دست بالا انتخاب شده اند. طیف دیگری که می تواند به عنوان طیف هدف استفاده گردد طیف میانگین شرطی (CMS) است. طیف میانگین شرطی برای بزرگا، فاصله و شتاب طیفی غالب محاسبه می گردد و هدف از کلمه شرطی در آن مشروط بودن این طیف به مقدار شتاب طیفی در یک پریود است ( $T^*$ ) در واقع در پریود  $T^*$  مقدار CMS و UHS برابر هستند. در شکل (۵) طیف هدف CMS همراه با UHS مشاهده میگردد ( $T^*=1\text{sec}$ ) مقدار میانگین نیز در این شکل مشاهده می گردد؛ از اختلاف میان مقدار میانگین و CMS مشخص است که مقدار اسپیلون در پریود یک ثانیه مثبت است. (اسپیلون برابر ۲ است)



شکل ۵: مقایسه میان طیفهای هدف CMS و UHS

روند بدست آوردن طیف CMS در اینجا به صورت خلاصه بیان میگردد به منظور توضیحات جامع تر به مرجع ابتدا با مقید کردن مقدار شتاب طیفی در یک پریود و استفاده از محاسبات آماری در مورد تعداد زیادی شتاب نگاشت رابطه ای برای محاسبه مقدار شتاب طیفی در دیگر پریودها حدس می زنیم. بیکر و همکاران. این رابطه را با استفاده از میانگین گیری از

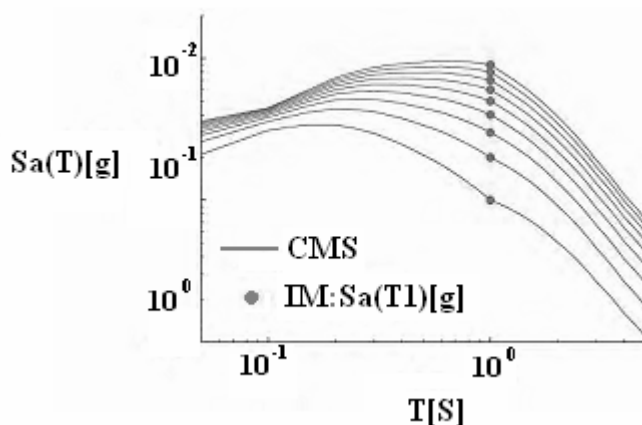
اپسیلون ها در پریوهای مختلف به شکل زیر ارائه کرده اند. با استفاده از این رابطه میزان وابستگی اپسیلونها در دو پرئود بدست می آید.

$$\rho(T_{min}, T_{max}) = 1 - \cos[(\pi/2) - (0.395 + 0.163 I_{(T_{min} < 0.189)} \ln(T_{min}/0.189))] \ln(T_{max}/T_{min}) \quad (1)$$

در اینجا  $I(T_{min} < 0.189)$  یک تابع شاخص است که برای  $T_{min} < 0.189$  برابر ۱ و برای مقادیر دیگر برابر صفر است  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب نشان دهنده کوچکترین و بزرگترین پریودهای مورد نظر است که می خواهیم پیوستگی بین آنها را بدست آوریم. پس از بدست آوردن مقادیر  $\rho$ ، از رابطه زیر مقادیر اپسیلون در تمام پریودها محاسبه می گردد.

$$\mu \varepsilon(T_i) / \varepsilon(T^*) = \rho(T_i, T^*) \varepsilon(T^*) \quad (2)$$

اینجا  $\mu \varepsilon(T_i) / \varepsilon(T^*)$  نشان دهنده مقدار میانگین  $\varepsilon(T_i)$  به شرط وجود  $(T^*)$  است. پس از بدست آمدن اپسیلون در تمام پریودها طیف CMS قابل محاسبه است. در شکل ۶ میتوان طیف CMS را برای مقادیر مختلف شدت مشاهده کرد. همانطور که مشخص است طیف هدف در سطوح مختلف متفاوت خواهد بود.



شکل ۶: طیف میانگین شرطی در سطوح مختلف شدت

مشخص است که در صورت انتخاب شتابنگاشت ها با استفاده از روش طیف میانگین شرطی در هر سطح از شدت مشکل مربوط به عدم همخوانی مشخصات شتابنگاشت ها با سطح شدت مورد مطالعه از بین خواهد رفت. در مورد مشکل مربوط به مقیاس کردن شتاب نگاشت نیز بیان شده است که پاسخ حاصل از شتابنگاشت های انتخاب شده در صورت رعایت شکل طیف متناظر با سطح شدت مورد مطالعه مانند پاسخ شتابنگاشت های مقیاس نشده می باشد. با این وجود در انتخاب شتابنگاشتها مقدار حداکثر ضریب مقیاس را به ۴ محدود ساخته ایم.

#### • نتیجه گیری :

نتایج بدست آمده از تحلیل IDA توسط پژوهشگران مختلف نشانگر این مطلب است که این روش تحلیل می تواند کارایی بسیار مناسبی در ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه ها داشته باشد. در این مقاله مبانی کلی این روش تحلیل معرفی گردیده و نشان داده شده است که این روش با در اختیار قرار دادن اطلاعاتی چون، محدوده پاسخ سازه در مقابل محدوده شدت های محتمل زمین لرزه، رفتار سازه در مقابل زمین لرزه های نادر و شدید، پاسخ طبیعی سازه به افزایش تدریجی شدت زمین لرزه و تخمین ظرفیت دینامیکی سیستم سازه ای دید مناسبی از رفتار سازه و ظرفیت عملکرد لرزه ای آن در اختیار ما قرار می دهد. بنابراین به نظر می رسد علی رغم محدودیت هایی که در این روش وجود دارد در چند سال آینده این روش تحلیل به علت نقاط قوتی که دارد، جایگزین روش های معمول و تقریبی چون تحلیل بار افزون شود. تحلیل دینامیکی افزایشی متداول نیز دارای دو نقص اساسی از جمله مقیاس کردن شتابنگاشتها و استفاده از یک دسته شتابنگاشت ثابت برای تمام سطوح شدت است. نقص دوم نیز این موضوع می باشد که در سطوح متفاوت شدت، مشخصات شتابنگاشت های متناظر آن سطح رعایت نگردند. (به صورت خاص رعایت نشدن شکل طیف برای سطوح شدت مختلف) به منظور حل این دو نقص، با استفاده از انتخاب شتابنگاشت در هر سطح از

شدت بار منفی روش تا حدودی کاهش می یابد. در ضمن بیان شده است که در صورت رعایت شکل طیف مقیاس کردن شتاب نگاشتها باعث ایجاد خطا در پاسخ بدست آمده نخواهد شد. که همان روش بهنگام شونده نامیده می شود. پاسخ بدست آمده در روش AIDA در قسمت های خطی نزدیک به پاسخ حاصل از روش IDA است. ولی با افزایش شدت ورود سازه به مرحله غیر خطی نتایج متفاوت خواهد بود. و همچنین مطالعات نشان می دهد در اکثر موارد مقادیر پاسخ AIDA کوچکتر از مقادیر حاصل از روش IDA است. علت اصلی این موضوع عدم رعایت شکل طیف در روش IDA و استفاده از ضرایب مقیاس است.

• مراجع :

- Federal Emergency management agency, fema 440, Washington, D.C
- Dimitrios Vamvastikos and C.A.Cornell, seismic performance, capacity and Reliability of structures as seen through incremental Dynamic Analysis" Report No, 151, August 2005
- Federal Emergency Management Agency (FEMA 1997), Nehrp Guideline for the seismic rehabilitation of Buildings, fema 273
- Shome, N. and Cornell, C.A (1998) Normalization and scaling Accelograms for Nonlinear Structural Analysis Proceedings of the 6(th) U.S. National Conference on Earthquake Engineering, paper No. 243
- مهدوی، نویده (۱۳۸۵) ارزیابی و مقایسه روش عملکردی استاتیکی و دینامیکی در سیستم MRF، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر احمد نیکنام، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران.