چگونگی کارکرد روش معیار شدت شرطی تعمیم‌یافته

علیرضا آذربخت
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک
a-azarbakht@araku.ac.ir

گلنوش محمدی
کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک
mohammadigolnoosh@yahoo.com

کلید واژه‌ها: *انتخاب شتاب نگاشت، روش معیار شدت شرطی تعمیم‌یافته، تحلیل دینامیکی فزاینده، توزیع نرمال چند متغیره*

چکیده

ارزیابی پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها و تحلیل‌های دینامیکی اغلب مستلزم انتخاب یک مجموعه شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه متناسب با موقعیت منطقه تحت بررسی می‌باشد. برخی از محققین روش متداول جهت انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها را، تطابق طیف میانگین مجموعه رکوردهای منتخب با طیف هدف آیین‌نامه مورد استفاده در یک محدوده فرکانسی مشخص می‌دانند. با توجه به اهمیت موضوع انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها در محاسبه و برآورد پاسخ غیرخطی سازه، محققین روش‌های نوینی را برای انتخاب شتاب‌نگاشت و در نهایت برآورد دقیق‌تری ازعملکرد سازه مطرح کرده‌اند. بردلی در سال ۲۰۱۰ روشی را تحت عنوان روش معیار شدت شرطی تعمیم‌یافته (GCIM) ارائه داده است .که این روش براساس توزیع چند متغیره شرطی از سنجه های شدت زمین‌لرزه بیان شده است. تفاوت شاخص این روش با سایر روش‌های انتخاب شتاب‌نگاشت این است که ، بر خلاف روش‌های دیگر انتخاب شتاب‌نگاشت، که تنها از یک پارامتر استفاده می‌شود، در این روش مجموعه ای از هفده پارامتر که از متداول ترین پارامترهای اسکالر بیان شدت زمین‌لرزه هستند، به کار گرفته شده اند و همچنین مبنای روش GCIM در نظر گرفتن توزیع لگ‌نرمال برای تمامی سنجه‌های شدت اسکالر است و معیار گزینش شتاب‌نگاشت‌ها، نمودار تابع توزیع تجمعی (CDF) هفده پارامتر گفته شده می‌باشد. در راستای بررسی کارایی روش GCIM، همبستگی و تطابق میان پاسخ غیر خطی سازه در این روش مورد تحقیق قرار گرفته است. به این منظور در این مطالعه از نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده یک سازه چند درجه آزاد که شتاب‌نگاشت‌های ورودی مورد نیاز این تحلیل به روشی بر گرفته از روش GCIM انتخاب شده‌اند و نمودارهای IDA آن رسم شده، استفاده گردیده است. نتایج نشانگر آنست که روش پیشنهادی به کار گرفته شده، مزیت و برتری نسبت به روش‌های دیگر ندارد.

مقدمه

تحلیل سیستم‌های سازه‌ای و بررسی عملکرد سازه‌ها و پاسخ آنها در برابر زلزله‌های محتمل از مهم‌ترین موضوعات در زمینه‌ی مهندسی زلزله به حساب می‌آید. به دلیل اینکه تحلیل دینامیکی غیرخطی برآورد مناسبی از پاسخ سازه در اختیار مهندسین قرار می‌دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است .لازمه انجام این‌گونه تحلیل‌ها انتخاب تعدادی شتاب‌نگاشت با ویژگی‌های سازگار با ساختگاه مورد بررسی است.

انتخاب شتابنگاشت برای یک سیستم سازه‌ای که تحت تحلیل دینامیکی قرار می‌گیرد بسیار مهم است، چرا که انتخاب شتاب‌نگاشت می‌تواند درحجم محاسبات تأثیرگذار باشد. به دلیل آن‌که انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها از مهم‌ترین مراحل تحلیل دینامیکی غیرخطی به شمار می‌رود در آیین‌نامه‌ها طیف مشخصی را به عنوان طیف هدف معرفی کرده‌اند و انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها با تطبیق برآن طیف هدف انجام می‌شوند. انتخاب نحوه گزینش

شتاب‌نگاشت‌ها از مراحل اولیه این تحلیل‌ها به حساب می‌آید. طیف هدف در آیین‌نامه‌های مختلف تعریف شده و کاربر را ملزم به در نظر گرفتن برخی نکات می‌کند اهمیت این موضوع باعث شده است که، روش‌های مختلفی برای انتخاب شتاب‌نگاشت توسط محققین سازه مطرح گردد.

از جمله این روش‌ها می توان روش معیار شدت شرطی تعمیم‌یافته (GCIM) را نام برد. در این مطالعه انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس روشی برگرفته از روش GCIM انجام گرفته و اثر انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس روش جدید GCIM ، بر سیستم سازه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفی روش معیار شدت شرطی تعمیم‌یافته (GCIM)

در محاسبه طیف‌های هدف متداول برای انتخاب شتاب‌نگاشت به‌طور معمول تنها یکی از ویژگی‌های زمین‌لرزه در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در روش طیف میانگین شرطی (CMS) ، شتاب طیفی (Sa) به عنوان یکی از ویژگی‌های زمین‌لرزه، تنها در نظر گرفته می شود.

بردلی در تحقیقات خود بیان کرده است که شدت حرکت زمین به طور کلی به شدت، فرکانس و مدت زمان و یا به عبارت دیگر به دوام آن زمین‌لرزه بستگی دارد و با در نظر گرفتن تنها یک پارامتر نمی‌توان تمام ویژگی‌های یک زمین‌لرزه را در نظر گرفت و انتخاب مناسبی انجام داد. بنابراین روشی که ارائه داده است، این امکان را فراهم می کند که بجای این‌که برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها از یک پارامتر معمول(نظیر بزرگا (M) و فاصله از منبع تا محل وقوع (R)) استفاده شود، مجموعه ای از معیارهای خاص مربوط به بیان شدت زمین‌لرزه به کار گرفته شود.

بردلی با توجه به این دیدگاه روش GCIM را ارائه داده است که در آن از متداول‌ترین سنجه‌های شدت اسکالر استفاده شده است. این سنجه‌های شدت مجموعاً هفده پارامتر هستند که عبارت‌اند از شتاب طیفی (Sa) در ۸ دوره‌ی تناوب مختلف که شامل

T={10/0، 5/0، 2/0، 1/0، 0/5، 0/3، 0/2 ، 0/1} و همچنین 9 پارامتر دیگر شامل؛ بیشینه شتاب زمین[1] (PGA)، بیشینه سرعت زمین[2] (PGV)، شدت شتاب طیفی[3] (ASI)، شدت طیفی[4] (SI)، شدت طیفی فاصله[5] (DSI)، قدر مطلق تجمعی سرعت[6] (CAV) ،

شدت آریاس[7] (IA)، معیار دوام[8] 95 درصد و معیار دوام 75 درصد(Ds595, Ds575) است. در این روش با در نظر گرفتن این هفده پارامتر، متداولترین ویژگی ها و خصوصیات زمین‌لرزه در نظر گرفته شده است.(Bradley,. 2012)

ویژگی دیگر روش GCIM این است که فرض شده است که هر یک از این هفده پارامتر در نظر گرفته شده ،دارای تابع توزیع لگ‌نرمال هستند .به عبارتی برای تمامی پارامترهای اسکالر بیان شده، نمودار تابع توزیع احتمال (CDF) لگ‌نرمال فرض شده است و معیار انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس نمودار تابع توزیع احتمال پارامترهای مذکور می‌باشد.

روش به کار گرفته شده در این مقاله بر اساس روش GCIM می باشد که هر دو ویژگی بالا را داراست.

تحلیل دینامیکی فزاینده

یکی از شاخه‌های تحلیل دینامیکی که در دهه اخیر توسعه پیدا کرده است، تحلیل دینامیکی فزاینده است.

(Vamvatsikos and Cornell, 2002) تحلیل دینامیکی فزاینده بر مبنای تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه استوار است با استفاده از این روش‌ها و انتخاب یک الگوی مناسب بارگذاری خطی رفتار سازه به طور پیوسته، از خطی تا تسلیم و نهایتاً خرابی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. عنوان تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) با هدف تعیین ظرفیت خرابی در دستورالعمل آیین‌نامه‌ها راه یافت.

این روش علاوه بر بررسی رفتار لرزه‌ای سازه، ظرفیت سازه را نیز در اختیار ما قرار می‌دهد و می‌تواند در تعیین عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اساس کار در تحلیل دینامیکی فزاینده استفاده از یک رکورد تاریخچه زمانی شتاب است که به منظور به دست آوردن شتاب‌نگاشت‌های قوی‌تر و ضعیف‌تر، شتاب‌نگاشت‌ها را در ضریب مقیاس ضرب می‌کند، که می‌توانند باعث فروریزش سازه شوند. تحلیل دینامیکی فزاینده ازشتاب‌نگاشت‌های ملایم‌تر شروع شده و آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا سازه از ناحیه خطی وارد ناحیه غیرخطی شده و به ظرفیت نهایی خود برسد. نتیجه تحلیل دینامیکی فزاینده در قالب یک نمودار به نام منحنی IDA بیان می‌شود که با توجه به هدف تحلیل انجام‌شده پارامتر معیار شدت یا معیار خرابی مناسب از نمودار استخراج می‌شود.

[1] peak ground acceleration
[2] peak ground velocity
[3] acceleration spectrum intensity
[4] spectrum intensity
[5] displacement spectrum intensity
[6] cumulative absolute velocity
[7] arias intensity
[8] Duration

این منحنی ترسیمی است از مقادیر مختلف اندازه خرابی‌هایی (DM) که از آنالیزهای IDA به دست آمده‌اند، در مقابل شدت زمین‌لرزه‌هایی (IM) که هر یک از آن‌ها نماینده‌ای از یک رکورد مقیاس‌شده زمین‌لرزه هستند که در این تحلیل سنجه شدت در نظر گرفته شده Sa است و شدت خرابی با مقدار(θmax) Instory Drift در نظر گرفته شده است.

بکارگیری روش GCIM در تحلیل دینامیکی غیرخطی

به منظور بررسی همبستگی و تطابق میان پاسخ غیرخطی سازه از روشی برگرفته از روش GCIM، استفاده شده است. در این روش پیشنهادی، ویژگی‌های روش GCIM حفظ شده‌اند. روند گزینش شتاب‌نگاشت در این مطالعه به این صورت می‌باشد.

یک بانک شتاب‌نگاشت مرجع مشتمل بر ۲۶۷ جفت شتاب‌نگاشت افقی با بزرگای بیش از ۵/۵ و فاصله کمتر از ۱۰۰ کیلومتر، در نظر گرفته‌شده است (Baker and Cornell, 2006) و مقادیر هفده پارامتر مذکور در بخش قبل را برای این مجموعه محاسبه گردیده‌است. نمودار CDF هر یک از هفده پارامتر نام‌برده، برای تمامی داده‌های موجود رسم شده و ۸ شتاب‌نگاشت تصادفی به گونه‌ای انتخاب گردیده‌اند که نمودار CDF آن ۸ شتاب‌نگاشت تصادفی بیش‌ترین تطابق را با نمودار کل مجموعه مورد بررسی داشته باشد به بیان دیگر تابع هدف این مسئله مجموع اختلاف میان نمودارهای متناظر است که باید حداقل مقدار را داشته باشد. به منظور دستیابی به این هدف از برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک در برنامه متلب استفاده شده است. روند انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها به مانند یک روش بهینه‌سازی برای حداقل کردن تابع هدف می‌باشد. در جدول (۱) تنظیمات پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک نمایش داده شده است.

جدول ۱ : پارامترهای منتخب در الگوریتم ژنتیک

Number of total data	534
Population Size	500
Generation	300
EliteCount	30%
CrossoverFraction	75%
StallGenLimit	Inf
StallTimeLimit	Inf
Upper Bound	534
Lower Bound	1

با کمک برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک (GA) یک دسته ۸تایی از مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها انتخاب شده است که در جدول (۲) نام شتاب‌نگاشت‌های منتخب به این روش نمایش داده شده است.

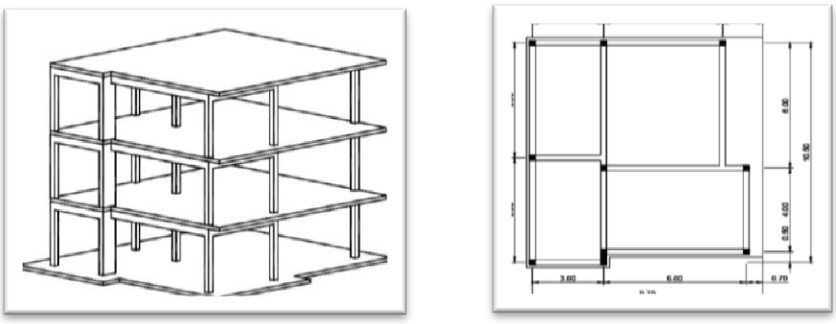
جدول ۲ : لیست شتاب‌نگاشت‌های منتخب به روش برگرفته از GCIM

PEER ID	Earthquake Name	YEAR	Station Name	Magnitude	ClstD (km)
352	Coalinga-01	1983	Parkfield - Gold Hill 3W	6.36	41.10
888	Landers	1992	San Bernardino -E & Hospitality	7.28	79.76
777	Loma Prieta	1989	Hollister City Hall	6.93	27.60
460	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #7	6.19	12.07
980	Northridge-01	1994	Huntington Beach - Lake St	6.69	77.45
988	Northridge-01	1994	LA - Century City CC North	6.69	23.41
1003	Northridge-01	1994	LA - Saturn St	6.69	27.01
31	Parkfield	1966	Cholame - Shandon Array #8	6.19	12.90

حال با توجه به اینکه مجموعه ۸ شتاب‌نگاشت، انتخاب شده منطبق بر نمودار هدف هستند، انتظار می‌رود، مقادیر پاسخ به دست آمده از این مجموعه‌ی منتخب نیز از هدف مورد بحث تبعیت کند و تطابق در مقادیر پاسخ غیرخطی سازه نیز برقرار باشد. به منظور بررسی این هدف از نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده مربوط به یک سازه چند درجه آزادی استفاده شده است.

سازه مورد مطالعه

سیستم سازه‌ای مورد بررسی در این مطالعه ساختمان سه طبقه نامنظم در پلان با قاب بتنی در نظر گرفته شده است سازه مورد مطالعه تحت عنوان SPEAR Building شناخته می شود. (Negro P. et al.,2004) سازه از جمله سازه‌های قدیمی ساخته شده در یونان است که بر اساس اصول مهندسی زلزله طراحی و ساخته نشده است. ساختمان تنها بر اساس بار ثقلی و بر اساس دستنامه طراحی سازه‌های بتنی یونان در محدوده سال های 1954 تا 1995 طرح گردیده است. این سازه در آزمایشگاه ELSA تحت آزمایش شبه دینامیکی قرار گرفته است و دوره تناوب حالت اول ارتعاش آن ۰/۸۵ ثانیه است. این سازه تنها برای بار ثقلی طراحی‌شده و علاوه بر وزن خود ساختمان بار ثقل (۰/۵KN/m2) و بار زنده (۲ KN/m2) در روند طراحی در نظر گرفته‌شده‌اند. مقدار میانگین مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده بتن برابر ۲۵ مگاپاسکال و میانگین مقاومت فولاد برای میلگردهای ۱۲ برابر ۴۵۹ MPa و برای میلگردهای ۲۰ برابر ۳۷۷ MPa به دست آمده است. نمای سه بعدی و همچنین پلان سازه در شکل (۳) نشان داده شده است. برای انجام تحلیل دینامیکی، سازه در محیط نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی شده است.(Fajfar, P. et al., 2006).

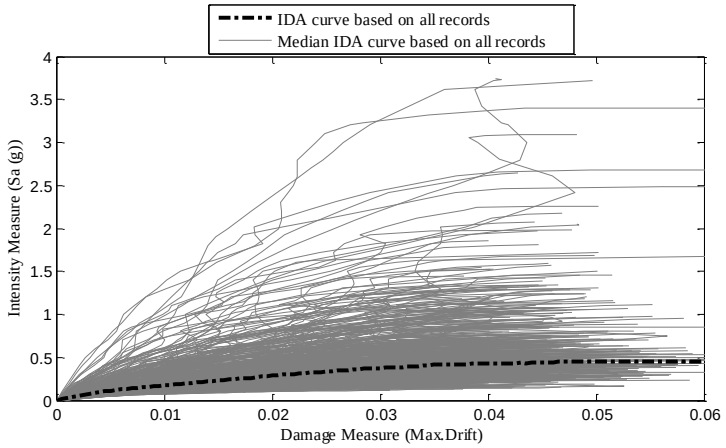


شکل ۳: نمای سه بعدی و پلان سازه بتنی مورد مطالعه (ابعاد بر حسب متر)

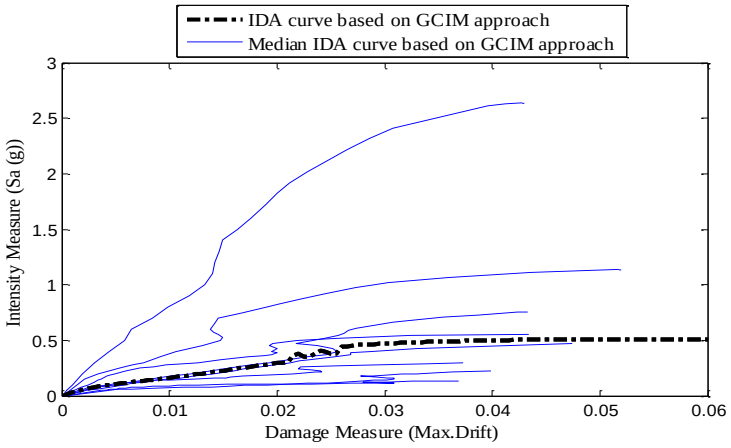
حال شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده باید به عنوان ورودی در تحلیل دینامیکی فزاینده در نظر گرفته شوند تا نهایتاً پاسخ سازه محاسبه گردد. سیستم سازه‌ای چند درجه آزاد مورد بررسی که در محیط OpenSees کدنویسی شده است، اکنون تحت شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده تحلیل می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده برای مجموعه شتاب‌نگاشت مورد مطالعه بر روی سازه مورد نظر به شکل منحنی‌های IDA خلاصه شده اند. در این بررسی سنجه شدت در نظر گرفته شده، شتاب طیفی(Sa) و شدت خرابی، مقدار حداکثر جابجایی(θmax) Instory Drift در نظر گرفته شده است. نتایج در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است.

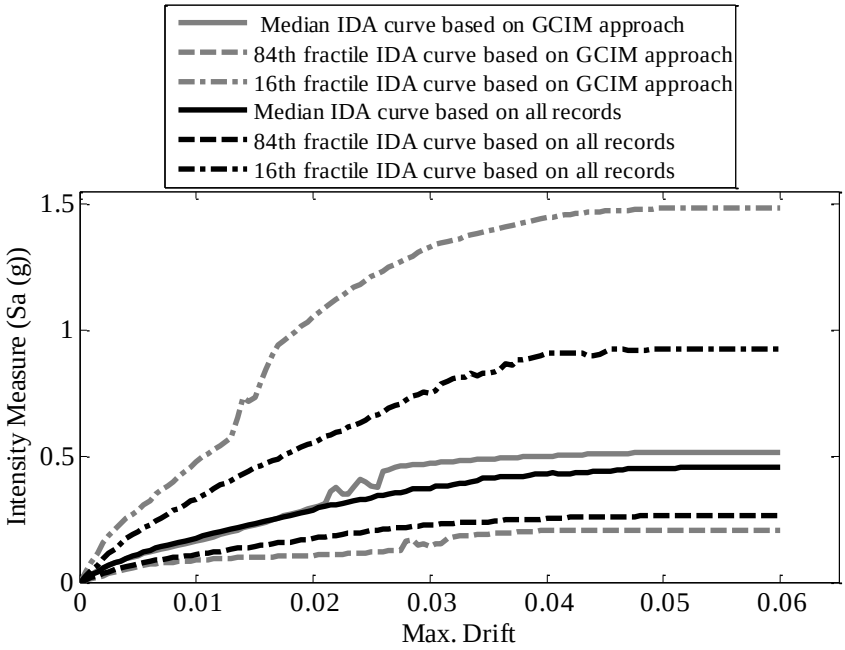


شکل ۴ : نمودار تحلیل دینامیکی فزاینده مربوط به کل مجموعه شتابنگاشت



شکل ۵ : نمودار تحلیل دینامیکی فزاینده مربوط به مجموعه شتابنگاشت منتخب به روش برگرفته شده از GCIM

در نهایت در شکل (۶) منحنی میانه‌ی پاسخ تحلیل غیرخطی و منحنی‌های ۱۶٪ و ۸۴٪ آن، برای تمامی شتاب‌نگاشت‌ها و همچنین شتاب‌نگاشت‌های منتخب، به منظور تسهیل در مقایسه بر روی یک نمودار رسم شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است تطابق مورد انتظار برقرار نیست و همبستگی که در این روش با وجود در نظر گرفتن پارامترهای بسیار انتظار می‌رفت دیده نمی‌شود. منحنی‌های ۱۶٪ و ۸۴٪ نیز اختلاف و پراکندگی را به خوبی پیش‌بینی نمی‌کنند.



شکل ۶ : نمایش عدم تطابق میان پاسخ غیرخطی سازه به روش GCIM

در نهایت نتایج این مقایسه‌ها حاکی از آن است که در این روش که برداشتی آزاد از روش GCIM بوده است، با وجود این مزیت که در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، از متداول‌ترین پارامترهای اسکالر بیان شدت زمین‌لرزه در نظر گرفته شده است، نمی‌تواند کارآمد باشد و مزیتی نسبت به سایر روش‌های انتخاب شتاب‌نگاشت ندارد.

فهرست مراجع

Vamvatsikos D and Cornell CA (2002) Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *31*(3), 491-514

Negro P , Mola E ,Molina FJ and Magonette GE (2004 August) Full-scale PSD testing of a torsionally unbalanced three-storey non-seismic RC frame. In *Proceeding of 13th World Conference on Earthquake Engineering* (Vol. 968)

Baker JW and Allin Cornell C (2006) Spectral shape epsilon and record selection Earthquake *Engineering & Structural Dynamics 35*(9) 1077-1095

Fajfar P , Dolšek M ,Marušić D and Stratan A (2006) Pre-and post-test mathematical modelling of a plan-asymmetric reinforced concrete frame building. *Earthquake engineering & structural dynamics 35*(11) 1359-1379

Bradley BA (2012) a ground motion selection algorithm based on the generalized conditional intensity measure approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *40*, 48-61