

ششمین
همایش بین المللی
مهندسی سازه



IRAST 2022

تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۱۸ و ۱۹ آبان ماه ۱۴۰۱

گواهی پذیرش مقاله



انجمن مهندسی سازه ایران

کد مقاله؛ 4-A-1046

نویسنده/نویسندگان محترم **فاطمه یوسف پور، هاشم شریعتمدار**

مقاله؛ بررسی و ارزیابی طیف های طرح غیر الاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و طیف های غیر الاستیک به دست آمده از طیف الاستیک انواع خاک ها

بدینوسیله گواهی می شود مقاله فوق از سوی کمیته علمی همایش مورد پذیرش جهت ارائه در ششمین همایش بین المللی مهندسی سازه واقع شده است. ادامه موفقیت ها و پیشرفت های علمی شما عزیزان را از خداوند متعال خواهانیم.

دکتر غلامرضا هوائی

دبیر علمی همایش

www.isse.ir
www.irastconf.com





IRAST 2022

ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی سازه

۱۹-۱۸ آبان ماه ۱۴۰۱

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



کد مقاله: IRAST-????

بررسی و ارزیابی طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های غیرالاستیک به دست آمده از طیف الاستیک انواع خاک‌ها

فاطمه یوسف پور^۱، هاشم شریعتمدار^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

shariatmadar@um.ac.ir

*نویسنده مسئول

چکیده

با توجه به ورود رفتار سازه در محدوده غیرخطی در اثر تکان‌های شدید زلزله و اهمیت پاسخ حداکثر، تهیه طیف پاسخ غیرخطی برای بررسی اثرات رفتار غیرالاستیک سازه ضروری است. راه حل کلی برای ارزیابی رفتار غیرخطی سیستم‌های سازه‌ای، تحلیل دینامیکی غیرخطی است. اما از آنجا که در نظر گرفتن رفتار غیرالاستیک سازه و تولید طیف‌های غیرالاستیک بر اساس تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی کاری بسیار دشوار و وقت‌گیر است؛ برای تولید طیف‌های غیرالاستیک بر مبنای ساده‌سازی‌های صورت گرفته، از تقسیم مقادیر طیف پاسخ الاستیک سازه بر ضریب شکل‌پذیری استفاده می‌کنند. این ضریب نشان‌دهنده رفتار غیرالاستیک سازه بوده و به پارامترهای مختلفی بستگی دارد مشخصات خاک بستر ساختمان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده در تولید طیف‌های غیرالاستیک بوده و همچنین با توجه به رفتار متفاوت سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک‌گسل و دور از گسل در این پژوهش سعی شده است این موارد مد نظر قرار گیرد. برای این منظور ابتدا رکوردهای مناسب برای انواع خاک‌ها در دو حوزه نزدیک‌گسل و دور از گسل انتخاب شده، سپس طیف‌های غیرالاستیک حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی برای شکل‌پذیری ویژه و همچنین طیف‌های غیرالاستیک به دست آمده از تبدیل طیف الاستیک برای شکل‌پذیری متوسط و ویژه با میرایی ۵٪ به دست آمده و تبدیل به طیف‌های طرح میانگین به علاوه انحراف معیار می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند چنانچه در طیف‌های غیرخطی تاریخچه زمانی، حاشیه اطمینان اعمال شود، تقریباً به طیف طرح سیستم ویژه نزدیک می‌شویم. مقدار این حاشیه اطمینان از نوع زلزله به نوع دیگر و از نوع خاک به نوع دیگر متفاوت می‌باشد.

کلمات کلیدی:

تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، طیف غیرالاستیک، ضریب شکل‌پذیری، نزدیک‌گسل، دور از گسل

۱- مقدمه

نظر به این که در هنگام وقوع زلزله‌های شدید، سازه وارد رفتار غیرارتجاعی شده و متحمل تغییرشکل‌های فراارتجاعی می‌شود؛ لذا به منظور پیش‌بینی واقعی‌ترین رفتار سازه در هنگام وقوع زلزله، از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده می‌شود. تحلیل دینامیکی سازه‌ها در برابر تحریک‌های دلخواه، منجر به حصول تاریخچه پاسخ‌ها می‌شود. بدین ترتیب که در هر لحظه از زمان می‌توان مقادیر پاسخ‌ها را برآورد نمود. در ارزیابی پاسخ سیستم‌ها، با محدود کردن تاریخچه پاسخ‌ها به مقادیر حداکثر می‌توان از حجم و زمان مورد نیاز برای انجام محاسبات کاست و مسئله را ساده‌تر نمود. به همین منظور از مفهوم طیف پاسخ^۱ که نمودار

^۱ Response Spectrum



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

حداکثر یک پاسخ انتخابی (نظیر تغییرمکان، سرعت یا شتاب) به ازای زمان‌های تناوب طبیعی متفاوت (با کمیت‌های وابسته، نظیر ω یا f) ولی با میرایی داخلی یکسان برای یک سیستم یک درجه آزادی در برابر یک تحریک خاص است؛ استفاده می‌شود. به دلیل ماهیت پیچیده و پرحمت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تحقیقات اخیر بیشتر بر روی تولید طیف پاسخ غیرالاستیک که پاسخ‌های اوج سازه را به طور دقیق تخمین بزنند، متمرکز شده‌اند [۱]. روش متداول تهیه طیف پاسخ غیرالاستیک اعمال ضریب شکل‌پذیری R_{μ} بر روی طیف پاسخ الاستیک می‌باشد. این ضریب به عواملی مانند بزرگا، فاصله از کانون زلزله، شرایط خاک ساختگاه، رابطه نیرو- تغییرشکل و پیوند سازه بستگی دارد. میزان تاثیر هر کدام از این عوامل در به‌دست آوردن طیف طرح غیرالاستیک یکسان نبوده و از برخی از آن‌ها در جهت ساده‌سازی می‌توان صرف نظر کرد.

شتاب طیفی، ابزاری رایج برای بیان میزان اثرات شدت نیروی زلزله بر روی سازه است که آیین‌نامه‌هایی هم‌چون IBC^۱ آمریکا [۲] و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۳] مبنای طراحی خود را بر این اساس قرار داده‌اند. به دلیل مشخصات متفاوت شتاب‌نگاشت‌های نزدیک-گسل با دور از گسل و هم‌چنین با توجه به این‌که بسیاری از شهرها در محدوده نزدیک‌گسل واقع شده‌اند که می‌تواند منجر به خرابی و خسارات فراوانی علی‌الخصوص در مناطق پرجمعیت شهری شوند، از این‌رو شناسایی ماهیت ویرانگر جنبش زمین در نزدیک‌گسل و بررسی ویژگی‌های مربوط به پاسخ سازه‌های ساخته‌شده در این منطقه تحت چنین تحریکات لرزه‌ای از موضوعات موردتوجه مهندسی سازه و زلزله بوده است.

طبق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ زمین ساختگاه‌ها، از نظر نوع سنگ و خاک براساس متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه (V_s) در چهار نوع خاک دسته‌بندی می‌شوند: خاک نوع I سنگ و شبه سنگ با متوسط سرعت موج برشی بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه، خاک نوع II خاک خیلی متراکم یا سنگ سست با متوسط سرعت موج برشی بین ۳۷۵ و ۷۵۰ متر بر ثانیه، خاک نوع III خاک متراکم تا متوسط با متوسط سرعت موج برشی بین ۱۷۵ و ۳۷۵ متر بر ثانیه و درنهایت خاک نوع IV خاک متوسط تا نرم با متوسط سرعت موج برشی کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه.

با توجه به تأثیر متفاوت پارامترهای مختلف بر شتاب‌نگاشت‌های حاکم بر منطقه و به دنبال آن طیف پاسخ زلزله مانند خاک منطقه، بزرگای زلزله، مدت دوام زلزله، فاصله تا محل وقوع و ویژگی‌های چشمه لرزه‌زا مثل سازوکار گسل‌های مورد بررسی، منطقی است که مبنای طراحی سازه‌ها را صرفاً طیف پاسخ یک زلزله قرار نداد و لازم است برای اهداف طراحی از ترکیب آماری احتمالاتی طیف‌های پاسخ زلزله‌های مختلف همچون میانگین و یا میانگین به‌اضافه انحراف معیار استفاده کرد.

۲- کارهای انجام شده

با معرفی مفهوم طیف پاسخ غیرالاستیک به‌وسیله ولتسوس^۲ و همکارانش، محققین روابط متعددی را به منظور تعیین ضریب کاهش مقاومت پیشنهاد کرده که این روابط عمدتاً به صورت تابعی از ضریب شکل‌پذیری و پیوند سازه است (روابط $R_{\mu} - \mu - T$) [۴]. تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که از اثر شدت، بزرگای زلزله و فاصله تا کانون زلزله ناچیز و در عوض شرایط خاک ساختگاه پارامتری مهم در برآورد طیف غیرالاستیک محسوب می‌شود. بر همین اساس در راستای مطالعه‌ای که محمدمهدی مداح [۵] به بررسی اثر نوع خاک ساختگاه بر روی طیف غیرالاستیک پرداخت، به این نتیجه رسید که نوع خاک ساختگاه اثر قابل توجهی در رفتار غیرالاستیک سازه و به تبع آن ضریب شکل‌پذیری و طیف غیرالاستیک دارد.

در پی مطالعات روش‌های متفاوت محاسبه R_{μ} توسط افرادی مانند کاپوس^۳ و همکارانش [۶] و هم‌چنین برونو^۴ و همکارانش [۷]، با توجه به رفتار متفاوت سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک‌گسل (که دارای ماهیت ضربه‌ای بوده و دارای جابجایی‌های بزرگ می‌باشند [۸]) و دور از گسل، زلزله‌ها بر مبنای فاصله ایستگاه‌ها تا کانون زلزله دسته‌بندی شده و تاثیر این پارامتر بر روی نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

¹ International Building Code

² Veletsos

³ Kappos

⁴ Bruno



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

نیومارک^۱ و هال^۲ روابط (۱)، (۲) و (۳) را برای سیستم‌های تک درجه آزاد الاستوپلاستیک در بازه‌های پیرودی مختلف برای R_μ پیشنهاد دادند که در این پژوهش نیز از این روابط استفاده شده است [۹]:

$$R_\mu = 1.0 \quad (۱) \quad \text{زمان‌های تناوب کمتر از } 0.3/ \text{ثانیه (فرکانس‌های بالای } 33 \text{ هرتز)}$$

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (۲) \quad \text{زمان‌های تناوب بین } 0.12/ \text{ تا } 0.5/ \text{ثانیه (فرکانس‌های بین } 2 \text{ و } 8 \text{ هرتز)}$$

$$R_\mu = \mu \quad (۳) \quad \text{زمان‌های تناوب بزرگتر از یک ثانیه (فرکانس‌های کوچکتر از } 1 \text{ هرتز)}$$

بررسی روش‌های متفاوت محاسبه R_μ نشان می‌دهد مشخصات خاک بستر ساختمان بر روی دامنه، محتوای فرکانسی و مدت‌زمان زمین‌لرزه‌ها، یک عامل تأثیرگذار بر روی رفتار غیرالاستیک سازه و در نتیجه طیف غیرالاستیک است.

کراوینکلر^۳ و همکارانش [۱۰ و ۱۱] تحلیل‌های خود را برای ۱۵ رکورد زلزله بر روی ساختمان سنگی و سخت در محدوده بزرگای از ۵/۷ تا ۷/۷ ریشتر با سه مدل هیستریسیس الاستوپلاستیک کامل، دوطرفی با شیب سخت‌شوندگی ۲٪ و ۱۰٪ برای سیستم یک درجه آزادی با فرض میرایی معادل ۵٪ میرایی بحرانی انجام دادند و در نهایت رابطه پیشنهادی آن‌ها به صورت زیر است:

$$R_\mu = [c(\mu - 1) + 1]^{1/c} \quad (۴)$$

که مقدار c از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$c = \frac{T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T} \quad (۵)$$

در این رابطه α سختی بعد از تسلیم بوده و به صورت درصدی از سختی ارتجاعی بیان می‌شود. برای نسبت‌های سخت‌شوندگی کرنشی متفاوت (α) مقادیر زیر برای دو پارامتر رگرسیونی a و b ارائه شده است:

$$\text{برای } \alpha = 0\%: a = 1.00, b = 0.42$$

$$\text{برای } \alpha = 2\%: a = 1.00, b = 0.37$$

$$\text{برای } \alpha = 10\%: a = 0.80, b = 0.29$$

میراندا^۴ و برترو^۵ [۱۲]، طی با تحقیق و بررسی بر روی مطالعات قبلی، با تهیه یک مجموعه ۱۲۴ تایی از رکوردهای انتخابی آن‌ها را براساس شرایط ساختمانی به سه گروه تقسیم کردند: رکوردهای ثبت شده بر روی ساختمان سنگی، رکوردهای ثبت شده بر روی ساختمان آبرفتی و رکوردهای ثبت شده بر روی ساختمان خاکی بسیار نرم. ضرایب کاهش مقاومت را به ازای شکل‌پذیری‌های ۲ تا ۶ و برای سیستم‌های یک درجه آزادی با رفتار هیستریسیس دوطرفی و ضریب میرایی ۵٪ محاسبه کرده و سپس میانگین ضرایب کاهش مقاومت هر گروه را محاسبه کردند. آن‌ها به این نتیجه دست یافت که برخلاف بزرگی و فاصله کانونی، نوع ساختمان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی ضرایب کاهش مقاومت (به خصوص در ساختمان‌های خاکی نرم) دارد. وی براساس ضرایب کاهش مقاومت، رابطه ساده زیر را برای محاسبه طیف پاسخ غیرالاستیک پیشنهاد داد.

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \geq 1$$

که در آن، ϕ تابعی از ضریب شکل‌پذیری μ و پیرودی T بوده و برای ساختمان‌های مختلف با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp \left[-\frac{3}{2} \left(\ln T - \frac{3}{5} \right)^2 \right] \quad \text{برای ساختمان سنگی}$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp \left[-2 \left(\ln T - \frac{1}{5} \right)^2 \right] \quad \text{برای ساختمان آبرفتی}$$

$$\phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} \exp \left[-3 \left(\ln \frac{T}{T_g} - \frac{1}{4} \right)^2 \right] \quad \text{برای ساختمان خاکی نرم}$$

در روابط فوق، T_g پیرودی غالب حرکت زمین است.

¹ Newmark

² Hall

³ Krawinkler

⁴ Miranda

⁵ Bertero



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های نزدیک‌گسل دارای یک یا چند پالس با پررود بلند و دارای یک یا چند اوج سرعت می‌باشند که عمده انرژی زلزله در این پالس‌ها جمع می‌شوند. از طرفی بسیاری از مناطق شهری در محدوده نزدیک‌گسل واقع شده‌اند که اعمال ناگهانی این انرژی به سازه می‌تواند منجر به خسارات فراوان شود. تحقیقات بر روی سایت دانشگاه یوتا^۱ نشان داد که مقادیر تحلیل طیفی غیرخطی پاسخ که بر اساس روش ناسار^۲ و کراوینکلر^۳ [۱۳] مورد استفاده قرار گرفت؛ تخمین کمتری از مقادیر شتاب و جابجایی بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ارائه می‌دهد. این تغییرات به‌ویژه زمانی که مقادیر شکل‌پذیری بالا است بیشتر نیز می‌شود [۱۴].

۳- روش پژوهش

انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب و مقیاس کردن آن‌ها

در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین به‌صورت تابعی از زمان در تراز پایه و محاسبه پاسخ مدل ریاضی سازه که دربرگیرنده رفتار فرا ارتجاعی آن است، انجام می‌شود. در این مدل تکیه‌گاه سازه می‌تواند صلب فرض شود.

برداشت شتاب‌نگاشت‌های مذکور از سایت پایگاه داده PEER^۴ [۱۵] صورت گرفته است. برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی و برآورد طیف طرح، از ۲۸ شتاب‌نگاشت برای چهار نوع خاک با تنظیم متوسط سرعت موج‌برشی در انواع خاک‌ها بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای دو حوزه نزدیک‌گسل (پالس گونه) و دور از گسل استفاده شده است. مشخصات رکوردهای انتخابی برای انواع خاک‌ها بر اساس جداول شماره ۱ تا ۴ است.

در این پژوهش مدل‌سازی سازه به صورت دوبعدی است و مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها مطابق بند ۲-۵-۳-۳ ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای میرایی ۵ درصد با استفاده از نرم افزار SeismoSignal 2016 صورت گرفته است.

جدول ۱: مشخصات رکوردهای انتخابی برای خاک نوع I برای دو حوزه نزدیک‌گسل و دور از گسل

| Event | Year | Station | Mag | Mechanism | Rjb(km) | Rrup(km) | Vs30(m/s) | D5-95(s) | |
|-----------------|------|------------------------------|------|-----------------|---------|----------|-----------|----------|------------|
| Tabas, Iran | 1978 | Tabas | 7.35 | Reverse | 1.79 | 2.05 | 766.77 | 16.5 | نزدیک‌گسل |
| Landers | 1992 | Lucerne | 7.28 | Strike Slip | 2.19 | 2.19 | 1369.0 | 13.8 | |
| Kocaeli, Turkey | 1999 | Izmit | 7.51 | Strike Slip | 3.62 | 7.21 | 811.0 | 15.1 | |
| Chi-Chi, Taiwan | 1999 | CHY102 | 7.62 | Reverse Oblique | 36.06 | 37.72 | 804.36 | 36.2 | دور از گسل |
| Loma Prieta | 1989 | So.San Francisco, Sierra Pt. | 6.93 | Reverse Oblique | 63.03 | 63.15 | 1020.62 | 12.1 | |
| Duzce, Turkey | 1999 | Lamont1060 | 7.14 | Strike Slip | 25.78 | 25.88 | 782.0 | 18.6 | |
| Iwate, Japan | 2008 | AKTH05 | 6.9 | Reverse | 37.45 | 39.41 | 829.46 | 25.9 | |

جدول ۲: مشخصات رکوردهای انتخابی برای خاک نوع II برای دو حوزه نزدیک‌گسل و دور از گسل

| Event | Year | Station | Mag | Mechanism | Rjb(km) | Rrup(km) | Vs30(m/s) | D5-95(s) | |
|-----------------|------|----------|------|-----------------|---------|----------|-----------|----------|-------|
| Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU068 | 7.62 | Reverse Oblique | 0.0 | 0.32 | 487.34 | 13.2 | نزدیک |
| Cape Mendocino | 1992 | Petrolia | 7.01 | Reverse | 0.0 | 8.18 | 422.17 | 17.7 | |

¹ Utah

² Nassar

³ Krawinkler

⁴ Pacific Earthquake Engineering Research



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

| Event | Year | Station | Mag | Mechanism | Rjb(km) | Rrup(km) | Vs30(m/s) | D5-95(s) | |
|-----------------|------|----------------------|------|-----------------|---------|----------|-----------|----------|------------|
| Northridge-01 | 1994 | Pacoima Kagel Canyon | 6.69 | Reverse | 5.26 | 7.26 | 508.08 | 10.1 | |
| Kocaeli, Turkey | 1999 | Iznik | 7.51 | Strike Slip | 30.73 | 30.73 | 476.62 | 19.5 | دور از گسل |
| Tabas, Iran | 1978 | Bajestan | 7.35 | Reverse | 119.77 | 120.81 | 377.56 | 25.9 | |
| Chi-Chi, Taiwan | 1999 | CHY042 | 7.62 | Reverse Oblique | 24.47 | 28.17 | 665.2 | 37.1 | |
| Northridge-01 | 1994 | LA-Temple & Hope | 6.69 | Reverse | 28.82 | 31.48 | 452.15 | 14.6 | |

جدول ۳: مشخصات رکوردهای انتخابی برای خاک نوع III برای دو حوزه نزدیک گسل و دور از گسل

| Event | Year | Station | Mag | Mechanism | Rjb(km) | Rrup(km) | Vs30(m/s) | D5-95(s) | |
|--------------------|------|-------------------------|------|-----------------|---------|----------|-----------|----------|------------|
| Kobe, Japan | 1995 | Takatori | 6.9 | Strike Slip | 1.46 | 1.47 | 256.0 | 11.3 | نزدیک گسل |
| Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU065 | 7.62 | Reverse Oblique | 0.57 | 0.57 | 305.85 | 28.6 | |
| Loma Prieta | 1989 | Saratoga-W Valley Coll. | 6.93 | Reverse Oblique | 8.48 | 9.31 | 347.9 | 11.1 | |
| Loma Prieta | 1989 | Hollister City Hall | 6.93 | Reverse Oblique | 27.33 | 27.6 | 198.77 | 17.5 | دور از گسل |
| Tabas, Iran | 1978 | Ferdows | 7.35 | Reverse | 89.76 | 91.14 | 302.64 | 24.2 | |
| Northern Calif-01 | 1941 | Ferndale City Hall | 6.4 | Strike Slip | 44.52 | 44.68 | 219.31 | 15.5 | |
| Imperial Valley-06 | 1979 | Coachella Canal #4 | 6.53 | Strike Slip | 49.1 | 50.1 | 336.49 | 11.1 | |

جدول ۴: مشخصات رکوردهای انتخابی برای خاک نوع IV برای دو حوزه نزدیک گسل و دور از گسل

| Event | Year | Station | Mag | Mechanism | Rjb(km) | Rrup(km) | Vs30(m/s) | D5-95(s) | |
|--------------------------|------|------------------------|------|-----------------|---------|----------|-----------|----------|------------|
| Darfield, New Zealand | 2010 | Christchurch Resthaven | 7.0 | Strike Slip | 19.48 | 19.48 | 141.0 | 30.5 | نزدیک گسل |
| Christchurch New Zealand | 2011 | Christchurch Resthaven | 6.2 | Reverse Oblique | 5.11 | 5.13 | 141.0 | 11.2 | |
| Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #3 | 6.53 | Strike Slip | 10.79 | 12.85 | 162.94 | 14.1 | |
| Coalinga-01 | 1983 | Parkfield-Cholame 2WA | 6.36 | Reverse | 48.83 | 44.72 | 173.02 | 17.8 | دور از گسل |
| Chuetsu-oki, Japan | 2007 | ISK004 | 6.8 | Reverse | 109.16 | 109.21 | 139.13 | 14.6 | |
| Loma Prieta | 1989 | APEEL 2-Redwood City | 6.93 | Reverse Oblique | 43.06 | 43.23 | 133.11 | 11.8 | |
| Northridge-01 | 1994 | Carson-Water St | 6.69 | Reverse | 45.44 | 49.81 | 160.58 | 23.4 | |

مدلسازی، تحلیل و طراحی اولیه

مدلسازی، بارگذاری و طراحی اولیه به صورت سه بعدی با ۵ دهنه در هر جهت، طول هر دهنه ۶ متر و ارتفاع طبقه ۳ متر در نرم افزار Etabs v16.2.1 انجام گرفته است. برای بارگذاری ثقلی از ویرایش چهارم مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۸) [۱۶] و برای بارگذاری لرزه‌ای از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است. همچنین طراحی قاب‌های فولادی بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای مندرج در ویرایش چهارم مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و به روش حدی صورت گرفته است [۱۷].

تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

کد مقاله: IRAST-????

در روش تحلیل دینامیکی غیرخطی (تاریخچه زمانی غیرخطی)^۱، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه محاسبه می‌شود. در این روش با توجه به آن که ماتریس سختی و میرایی در طول زمان می‌تواند تغییر کند، پاسخ مدل تحت شتاب زلزله به روش‌های عددی برای گام‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود [۱۸]. در سیستم‌های غیرالاستیک، منحنی بارگذاری اولیه در دامنه‌های بزرگتر تغییر شکل غیرخطی است و منحنی‌های باربرداری و بارگذاری مجدد با شاخه بارگذاری اولیه تفاوت دارند. معادله تعادل به شرح زیر است:

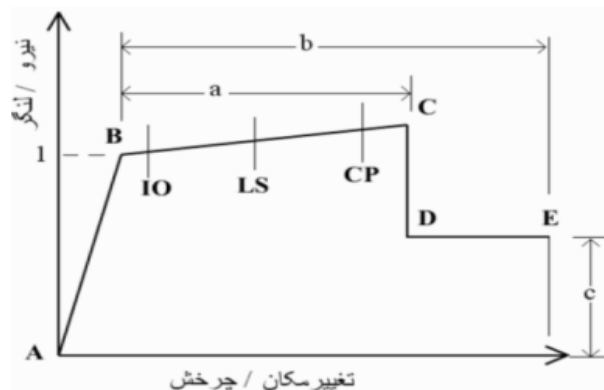
$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، M ماتریس جرم، C ماتریس میرایی، K ماتریس سختی، $\ddot{u}(t)$ بردار شتاب، $\dot{u}(t)$ بردار سرعت و $u(t)$ بردار تغییر مکان هستند. $F(t)$ نیز بردار نیروی خارجی را نشان می‌دهد.

برای بررسی رفتار واقعی اعضای سازه در زلزله‌های مختلف، رفتار غیرخطی از طریق اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرها و ستون‌ها براساس نشریه نشریه ۳۶۰ و آیین‌نامه ASCE 41-13 [۱۹] در نظر گرفته شد. پارامترهای بیان شده در جدول ۵ تعیین‌کننده مقدار مجاز نسبت نیرو- تغییر مکان (و یا لنگر- چرخش) به مقدار تسلیم متناظر برای سطوح مختلف عملکرد سازه‌ای بوده و در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. IO^۲ معرف سطح عملکرد استفاده بی وقفه، LS^۳ معرف سطح عملکرد ایمنی جانی، CP^۴ معرف آستانه فروپاشی، D مرحله خطر و در نهایت E شکست المان است. همچنین قابل ذکر است سخت‌شوندگی کرنشی پس از تسلیم ۰/۰۳ فرض شده است.

جدول ۵: مشخص پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش در روش‌های غیرخطی- اجزای سازه فولادی

| معیارهای پذیرش | | | | پارامترهای مدلسازی | | | جزء/ تلاش | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|----------------------------|--------------|-------------|---|
| زاویه‌ی چرخش خمیری، رادیان | | | | نسبت تنش پس ماند | زاویه‌ی چرخش خمیری، رادیان | | | |
| اعضای غیراصلی | | اعضای اصلی | | | c | b | | a |
| CP | LS | CP | LS | IO | | | | |
| تیرها- در خمش | | | | | | | | |
| $11\theta_y$ | $9\theta_y$ | $8\theta_y$ | $6\theta_y$ | θ_y | ۰/۶ | $11\theta_y$ | $9\theta_y$ | $\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ |



شکل ۱: پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش در روش‌های غیرخطی- اجزای سازه فولادی [۲۰]

¹ Nonlinear Time History Analysis (NTHA)

² Immediate Occupancy Performance

³ Life Safety Performance

⁴ Collapse Prevention Performance



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

در نرم افزار SAP 2000 دو نوع تحلیل تاریخچه زمانی وجود دارد. اولین نوع تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از نوع انتگرال گیری مستقیم^۱ بوده که در آن هم خصوصیات غیرخطی اعضا و هم غیرخطی لینک های^۲ تعریف شده (المان لینک برای تعریف میراگر به کار می رود) دیده می شود. اما مدت زمان تحلیل و فضای مورد نیاز برای ذخیره خروجی های تحلیل بسیار زیاد می باشد. نوع دوم، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مودال^۳ می باشد که در آن فقط اثر غیرخطی ناشی از لینک ها دیده می شود. در این حالت نرم افزار مفاصل پلاستیک معرفی شده توسط کاربر برای اعضا را تحلیل نمی نماید. به همین خاطر دارای سرعت بالاتری بوده که به علت سرعت بالاتر این نوع تحلیل به آن تحلیل FNA^۴ نیز می گویند [۲۱].

رایلی (Rayleigh) جهت به دست آوردن میرایی در تحلیل دینامیکی غیرخطی رابطه (۲) را پیشنهاد کرده است. این میرایی برای هر سازه با هر تعداد طبقه به صورت تابعی از ماتریس جرم و ماتریس سختی سازه بیان می شود [۲۲].

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (7)$$

روابط ضرایب α و β به شرح زیر است:

$$\alpha = \xi \frac{2w_1w_2}{w_1+w_2} \quad (8)$$

$$\beta = \xi \frac{2}{w_1+w_2} \quad (9)$$

w_1 فرکانس زاویه ای مود اول و w_2 فرکانس زاویه ای مود دوم سازه هستند. ξ برای سازه های مختلف بتنی و یا فولادی براساس ضرایب پیشنهادی در نظر گرفته می شود. اصلاح ماتریس سختی در روابط بالا با در نظر گرفتن خواص پلاستیسیته مواد به صورت لحظه به لحظه انجام می شود. به همین دلیل در روش رایلی جهت نزدیک شدن به شرایط واقعیت، محاسبه میرایی به طور لحظه ای متناسب با تغییر مکان و سرعت، تغییرات آن انجام می شود.

علت این که در گام اول برای همه ی سازه ها تحلیل مودال انجام می شود نیز همین هست. پس از این مرحله فرکانس زاویه ای مود اول و فرکانس زاویه ای مود دوم برای هر سازه به دست آورده می شود و ضرایب α و β محاسبه می شوند.

مقدار نسبت میرایی برای سازه های فولادی بین ۰.۲ تا ۰.۷ پیشنهاد شده است [۲۳].

در این پژوهش برای انجام تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی (NTHA) از نوع انتگرال گیری مستقیم (Direct-Integration)، روش Hilber-Hoghes-Taylor، با نسبت میرایی ۰.۵٪ و تحت ۱۲ رکورد زلزله نزدیک گسل و ۱۶ رکورد دور از گسل برای چهار نوع خاک استفاده شده است.

با انجام تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی و برداشت نقاط ماکزیمم شتاب در هر پیروید برای هر رکورد زلزله در دو حوزه نزدیک گسل و دور از گسل نتایج برای هر چهار نوع خاک به دست آمده است. سپس با توجه به این که به طور کلی در تمام انواع خاک ها می توان بیان نمود که برای جمیع رکوردهای زلزله ای که متناسب با ساختگاه انتخاب شده اند، طیف میانگین به اضافه یک انحراف معیار با اختلاف بسیار ناچیز با طیف طرح با احتمال فراگذشت ۱۰٪ که به روش آماری از پراکندگی و توزیع نرمال داده های لرزه ای به دست آمده است نزدیکی و تطابق بیشتری دارد [۲۴]. این طیف های پاسخ تبدیل به طیف های طرح میانگین به اضافه یک انحراف معیار شده اند

طیف های طرح غیرالاستیک حاصل از تبدیل طیف الاستیک به غیرالاستیک با استفاده از شکل -

پذیری

استفاده از ضریب کاهش مقاومت به منظور کاهش طیف طراحی الاستیک به سطح مقاومت طیف طراحی غیرالاستیک، روش متداولی برای تهیه طیف پاسخ غیرالاستیک است. این ضریب به عوامل مختلفی بستگی دارد که از مهم ترین این عوامل می توان به شکل پذیری اشاره کرد.

• ضریب رفتار

¹ Direct-Integration

² Link

³ Modal

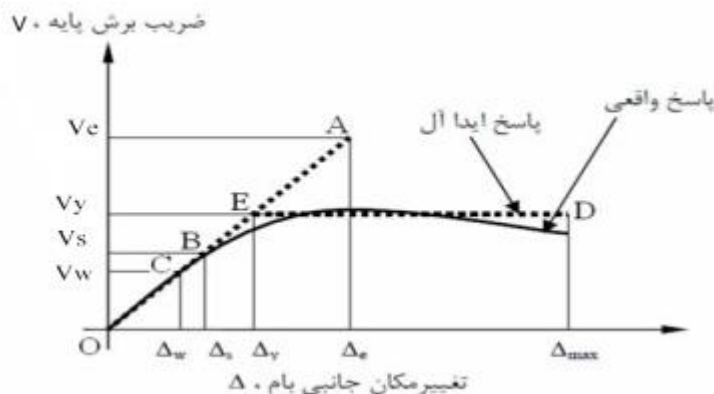
⁴ Fast Nonlinear Analysis

کد مقاله: IRAST-????

آیین‌نامه‌ها اجازه می‌دهند که، در صورتی که رفتار سازه الاستیک فرض شود، مقدار نیروی وارده در اثر زلزله به سازه می‌تواند با یک ضریب کاهش داده شود. مزیت اصلی استفاده از این روش این است که طراح قادر خواهد بود با استفاده از تحلیل‌های خطی (الاستیک) و سپس استفاده از آیین‌نامه‌های جاری مصالح (بتن و فولاد)، ابعاد قطعات و جزئیات اجرایی را تعیین نماید. از معایب استفاده از تحلیل خطی براساس نیروی کاهش یافته با ضریب R در آن است که، اولاً طراح قادر نخواهد بود مقاومت واقعی سازه را تعیین کند، به عبارت دیگر مقایسه R واقعی طرح با R پیشنهاد شده در آیین‌نامه برای طراح امکان‌پذیر نیست، ثانیاً مقادیر تغییرمکان‌های غیرالاستیک سازه را نمی‌توان با یک تحلیل خطی محاسبه نمود. به همین دلیل در اکثر آیین‌نامه‌های زلزله برای تخمین مقدار تغییرمکان واقعی از یک ضریب تشدید برای تغییرمکان‌ها استفاده می‌شود [۲۵].

در اکثر آیین‌نامه‌های زلزله، ضریب R به عنوان ضریب رفتار ساختمان نام‌گذاری شده و در برگیرنده آثار عواملی از قبیل تنش مجاز، درجه نامعینی، اضافه مقاومت موجود و شکل‌پذیری در سازه است.

در روش پیشنهادی یوانگ^۱ ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری و ضریب اضافه‌مقاومت پارامترهای تشکیل دهنده ضریب رفتار هستند $R = R_{\mu} \times \Omega$ که پارامترهای R_{μ} و Ω از نمودار دوخطی (ایده‌آل) شکل ۲ به دست می‌آیند [۲۶]. R_{μ} ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری در سازه است و با استفاده از رابطه $R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y}$ محاسبه می‌گردد. در این رابطه V_e حداکثر برش پایه در حالت ارتجاعی سازه و V_y مقاومت سازه در آستانه تسلیم است.



شکل ۲: رفتار کلی یک سازه متعارف [۲۷]

• ضریب شکل‌پذیری

توانایی ورود سازه به رفتار غیرالاستیک به شرط عدم کاهش قابل توجه در سختی و مقاومت را شکل‌پذیری گویند. این ضریب با توجه به شکل ۲ برابر است با:

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (10)$$

که Δ_{max} تغییر مکان نهایی سازه و Δ_y تغییرمکان لحظه تسلیم سازه می‌باشد. به هر میزان که شکل‌پذیری و متعاقباً ضریب رفتار سازه بیشتر باشد، ظرفیت تحمل تغییرشکل‌های غیرارتجاعی سازه افزایش یافته و قابلیت جذب انرژی آن بیشتر می‌شود.

• ضریب اضافه مقاومت

¹ Uang



IRAST 2022



کد مقاله: IRAST-????

مقدار مقاومت ذخیره شده در سازه از زمان تشکیل اولین مفصل پلاستیک تا مقاومت حد تسلیم را اضافه مقاومت گویند که از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\Omega_0 = \frac{V_y}{V_s} \quad (11)$$

این مقاومت در اثر عوامل مختلفی در سازه ذخیره می‌شود و از فروریزش سازه جلوگیری می‌کند. برخی از عوامل تاثیرگذار بر ضریب رفتار عبارتند از:

- بیشتر بودن مقاومت واقعی مصالح نسبت به مقاومت اسمی آنها
- اضافه مقاومت سازه به علت بازتوزیع نیروهای داخلی در محدوده غیرالاستیک (نامعینی سازه)
- محدودیت‌های آیین نامه‌ای مربوط به تغییرمکان جانبی نسبی طبقات
- بزرگ‌تر در نظر گرفتن مقاطع نسبت به مقاطع مورد نیاز به علت تیپ‌بندی
- ترکیبات بارگذاری غیر لرزه‌ای
- لحاظ اجزای سازه‌ای که اثر آنها در مقاومت جانبی در نظر گرفته نشده است [۲۷].

باتوجه به این که یک طیف دارای سه ناحیه تغییرمکان ثابت (یا ناحیه حساس به تغییرمکان) برای رنج‌های پریودی بلند، ناحیه شتاب ثابت (یا ناحیه حساس به شتاب) برای رنج‌های پریودی کوتاه و ناحیه سرعت ثابت (یا ناحیه حساس به سرعت) برای رنج‌های پریودی متوسط می‌باشد، محققین روابط متعددی را به منظور تعیین ضریب کاهش مقاومت پیشنهاد کردند. این روابط عموماً به صورت تابعی از ضریب شکل‌پذیری و پیوند سازه بیان شده‌اند (روابط $R_{\mu} - \mu - T$). یکی از ساده‌ترین این پیشنهادات که در این پایان نامه نیز از آن استفاده شده است، رابطه نیومارک^۱ و هال^۲ می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری برای سیستم‌های ارتجاعی-خمیری، در طی رابطه‌های (۱) تا (۳) محاسبه نمود.

در این بخش نیز با استفاده از همان ۲۸ رکورد اولیه انتخاب شده ابتدا طیف‌های الاستیک هر رکورد زلزله با استفاده از نرم‌افزار SeismoSignal بدست آمده، سپس برای هر نوع خاک در حالت‌های نزدیک‌گسل و دور از گسل و همچنین ترکیب زلزله‌های نزدیک‌گسل و دور از گسل، این طیف‌ها تبدیل به طیف‌های طرح الاستیک میانگین به علاوه یک انحراف معیار شده‌اند. در مرحله بعد با توجه به این که طبق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای سازه‌های قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط و ویژه ضریب رفتار (R_{μ}) به ترتیب برابر با ۵ و ۷/۵، همچنین ضریب اضافه مقاومت (Ω_0) برای هر دو سیستم سازه‌ای، ۳ می‌باشد؛ R_{μ} براساس رابطه پیشنهادی یوانگ به‌دست آمده و سپس با توجه به رابطه ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری نیومارک و هال برای رنج‌های پریودی مختلف این طیف‌های طرح الاستیک تبدیل به طیف‌های طرح غیرالاستیک شده‌اند.

۴- نتایج به‌دست آمده

مقایسه و تحلیل طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف-های غیرالاستیک به‌دست آمده از طیف‌های الاستیک با استفاده از ضریب کاهش شکل‌پذیری در انواع خاک‌ها برای حوزه نزدیک گسل و دور از گسل و همچنین ترکیب زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل

باتوجه به این که مدل‌سازی، اختصاص مفاصل پلاستیک و تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی در نرم‌افزار SAP 2000 برای انواع خاک‌ها منطبق بر رفتار ویژه اتصال است، با توجه به اشکال ۳ تا ۱۳ مشاهده می‌شود که در خاک‌های نوع I و II، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، منحنی با سطح افقی گسترده‌تری را نسبت به طیف حاصل از تبدیل الاستیک به غیرالاستیک با استفاده از شکل‌پذیری ارائه می‌دهد. همچنین در تمامی انواع خاک‌ها برای هر دو حوزه نزدیک گسل و دور از گسل و همچنین ترکیب زلزله‌های نزدیک گسل و دور از گسل، طیف غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بسیار نزدیک به رفتار غیرالاستیک

¹ Newmark

² Hall

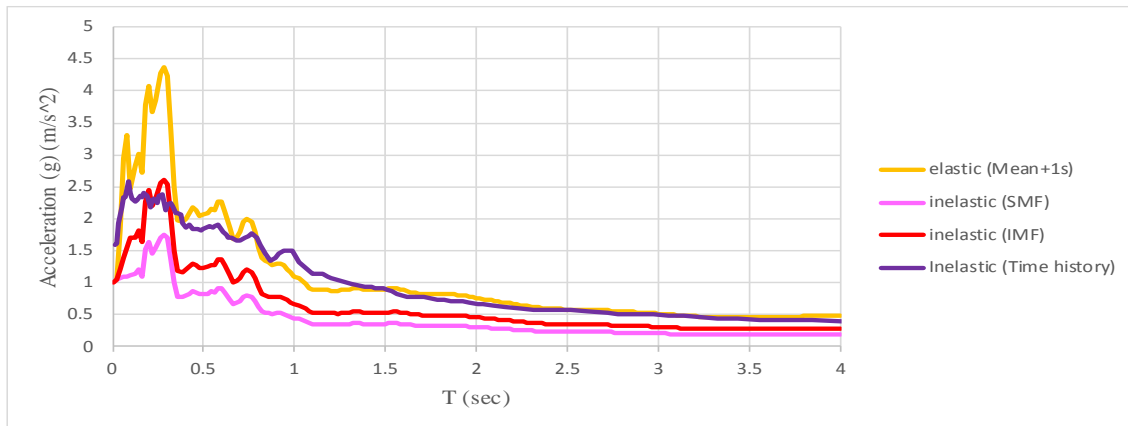


IRAST 2022

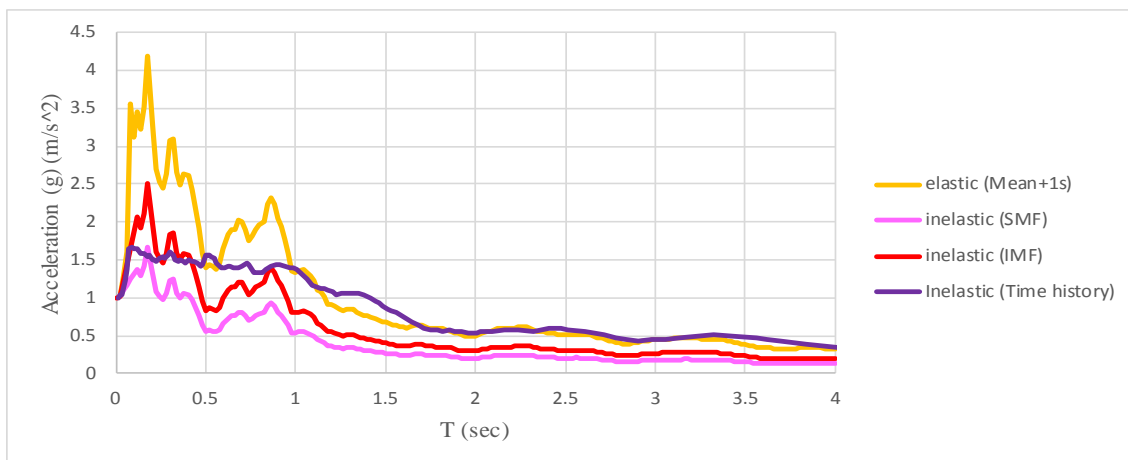


کد مقاله: IRAST-????

شکل پذیری متوسط ($R_u = 5$) بوده ولی از رفتار غیرالاستیک شکل پذیری ویژه ($R_u = 7.5$) خیلی دور نمی باشد و تقریباً حد بالای آن می باشد و این صحیح می باشد زیرا طیف های غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی چون براساس زلزله های گذشته بر سازه اعمال شده اند، رفتار واقعی تری را نشان می دهند و سازه های امن تر را ایجاد می کنند. اگر بخواهیم در دامنه امن باشیم، لازم است ضریب اطمینان^۱ کافی در مقابل شرایط عملی فراهم گردد. به عبارتی اگر ضریب اطمینانی بر طیف تاریخچه زمانی غیرخطی اعمال گردد که این ضریب کمتر از یک می باشد، به طیف غیرالاستیک شکل پذیری ویژه ($R_u = 7.5$) آیین نامه نزدیک می شویم. مقدار این ضریب اطمینان از نوع زلزله به نوع زلزله دیگر و از نوع خاک به نوع خاک دیگر متفاوت می باشد. تقریباً در تمامی انواع خاک ها در حالت نزدیک گسل طیف غیرالاستیک شکل پذیری ویژه ($R_u = 7.5$) خیلی پایین تر از طیف غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بوده، بنابراین ریسک کمتری در حالت نزدیک گسل باید کرد و ضریب کاهشی باید بزرگتر باشد. در حالت دور از گسل طیف غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف غیرالاستیک شکل پذیری ویژه به هم نزدیک می شوند. در حالت کلی هر چه از طیف دور از گسل به سمت طیف ترکیبی نزدیک گسل و دور از گسل و در نهایت به سمت طیف نزدیک گسل برویم، ضریب تبدیل طیف تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به غیرالاستیک ویژه افزایش می یابد.



شکل ۳: مقایسه طیف های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف های به دست آمده با استفاده از ضریب شکل پذیری، خاک نوع I نزدیک گسل



شکل ۴: مقایسه طیف های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف های به دست آمده با استفاده از ضریب شکل پذیری، خاک نوع I دور از گسل

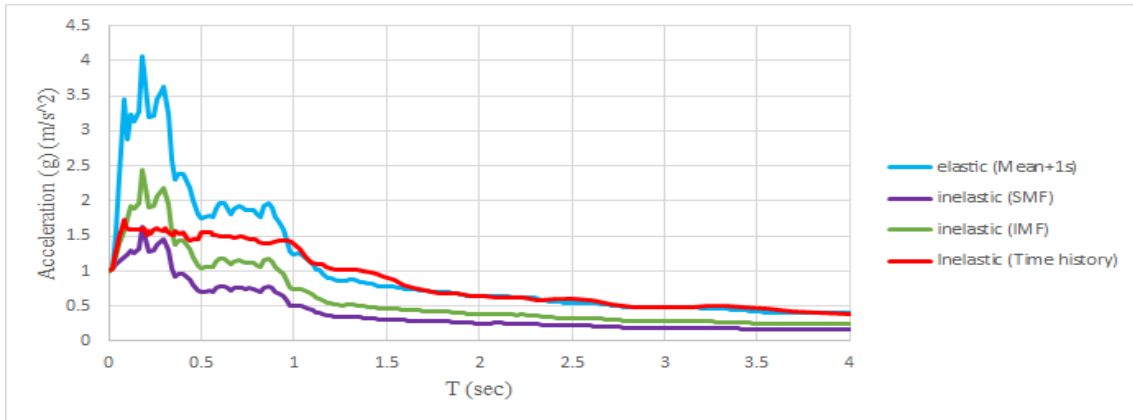
¹ Safety Factor



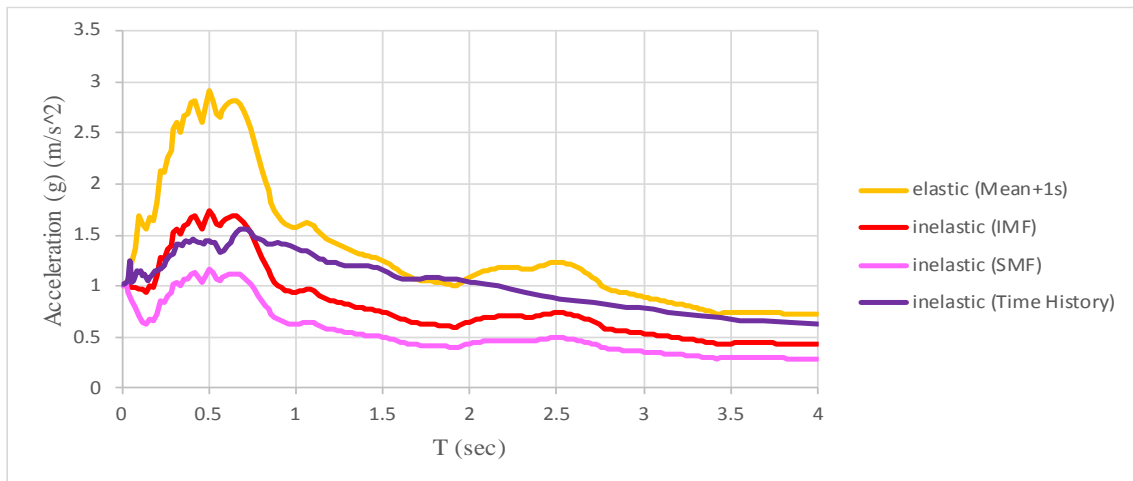
IRAST 2022



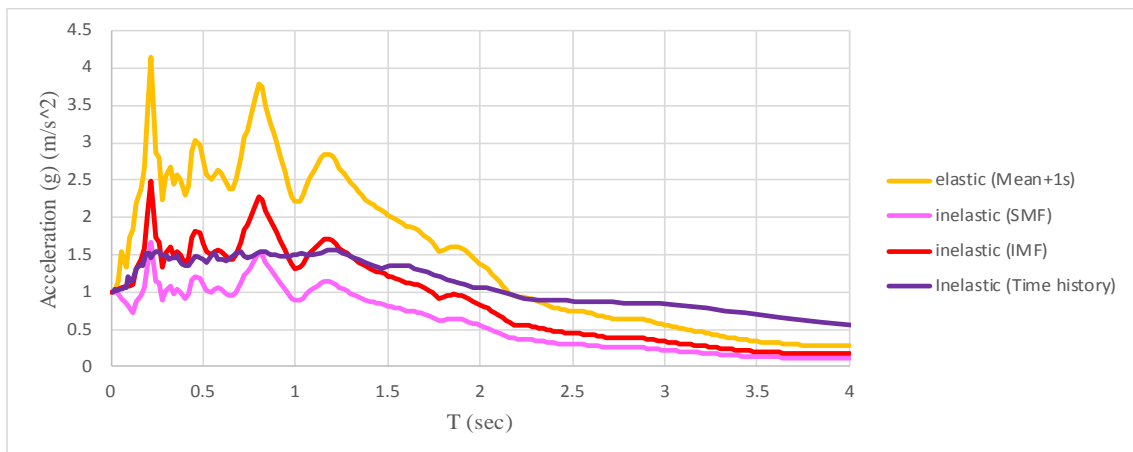
کد مقاله: IRAST-????



شکل ۵: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع I ترکیب نزدیک گسل و دور از گسل



شکل ۶: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع II نزدیک گسل



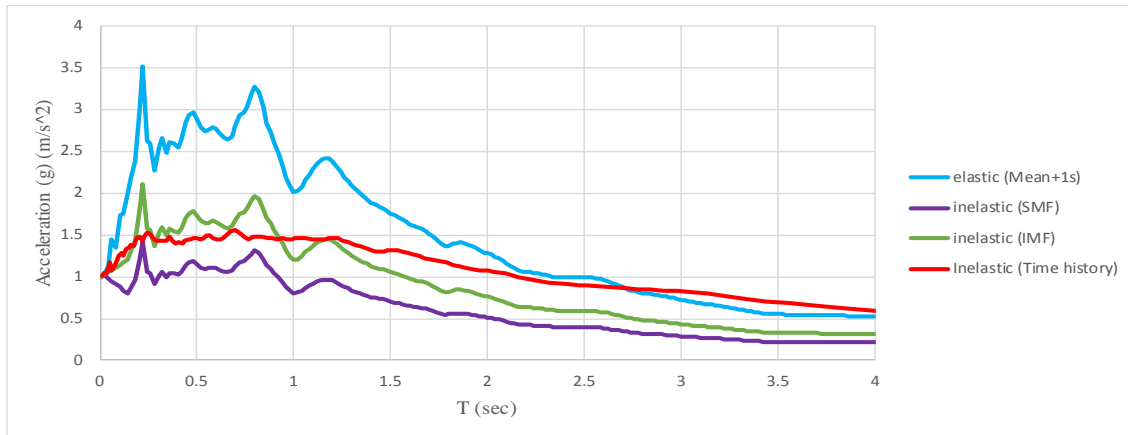
شکل ۷: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع II دور از گسل



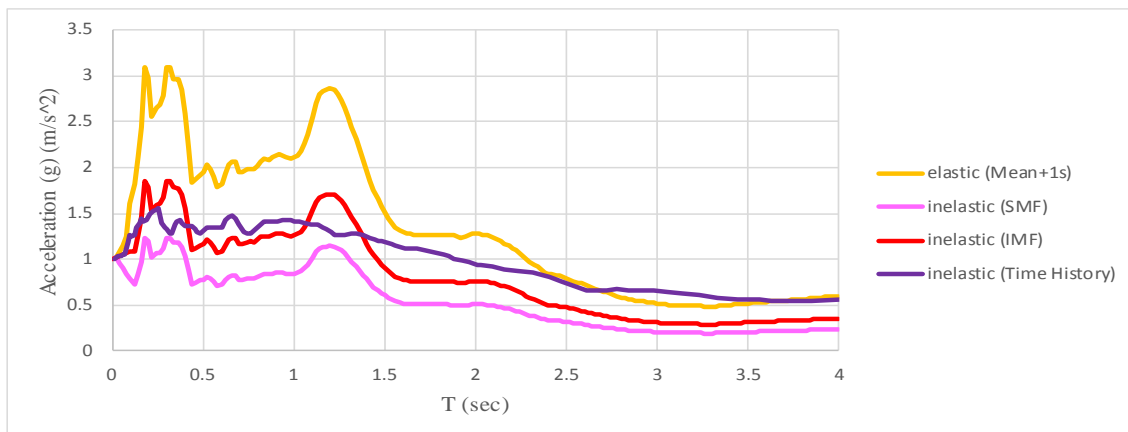
IRAST 2022



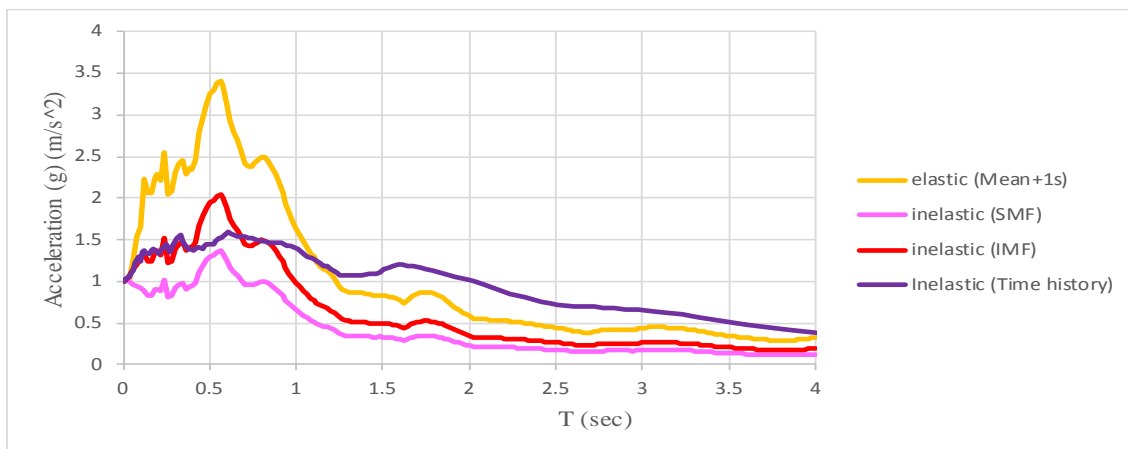
کد مقاله: IRAST-????



شکل ۸: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع II ترکیب نزدیک گسل و دور از گسل



شکل ۹: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع III نزدیک گسل



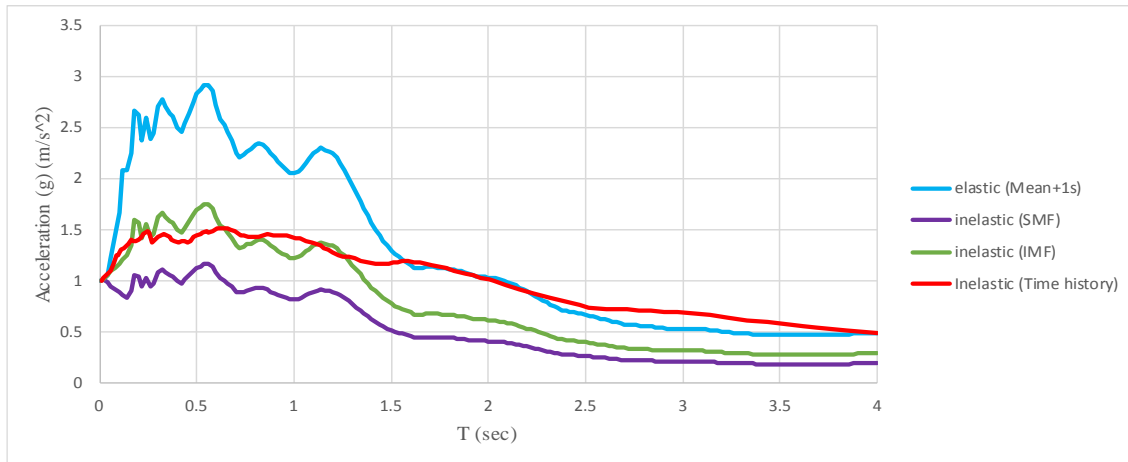
شکل ۱۰: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع III دور از گسل



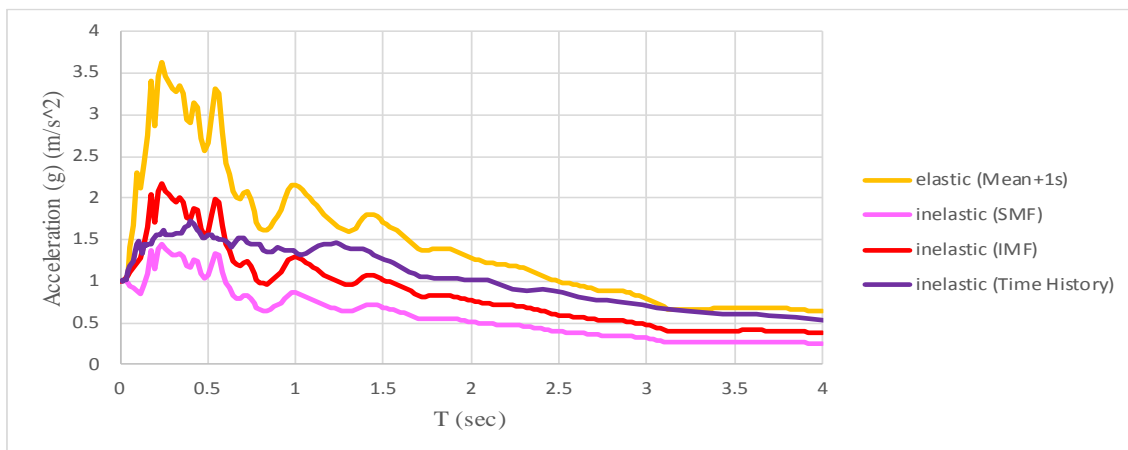
IRAST 2022



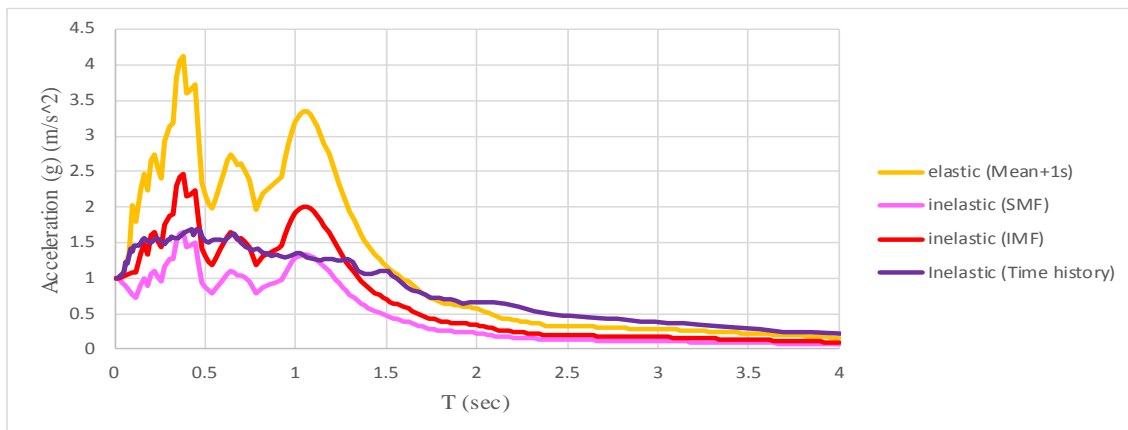
کد مقاله: IRAST-????



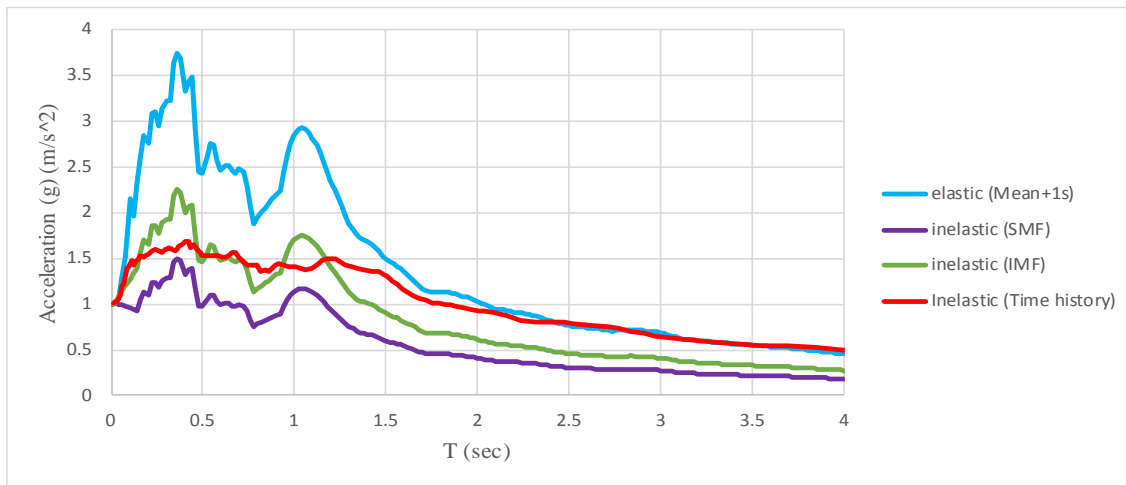
شکل ۱۱: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع III ترکیب نزدیک گسل و دور از گسل



شکل ۱۲: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع IV نزدیک گسل



شکل ۱۳: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع IV دور از گسل



شکل ۱۳: مقایسه طیف‌های طرح غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های به‌دست‌آمده با استفاده از ضریب شکل‌پذیری، خاک نوع IV ترکیب نزدیک گسل و دور از گسل

۵- نتیجه گیری

ورود به رفتار غیرخطی سازه در هنگام وقوع زلزله‌های شدید امری اجتناب‌ناپذیر است. با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه و اهمیت پاسخ حداکثر، از طیف پاسخ غیرالاستیک استفاده می‌شود. برای این منظور تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام می‌شود. بر زحمت بودن و وقت‌گیر بودن انجام محاسبات، مهم‌ترین عیب این نوع روش تحلیل سازه‌ها است. روش متداول تهیه طیف پاسخ غیرالاستیک، استفاده از ضریب کاهش مقاومت به‌منظور کاهش طیف طراحی الاستیک به سطح مقاومت طراحی غیرالاستیک است. در این حالت از تقسیم مقادیر طیف پاسخ الاستیک سازه بر ضریب شکل‌پذیری R_H ، طیف غیرالاستیک حاصل می‌شود. علی‌رغم این‌که نتایج حاصل از این روش‌ها تقریبی هستند، سادگی و امکان تهیه پاسخ غیرالاستیک از طیف‌های طراحی آیین‌نامه‌ای، استفاده از آن‌ها را توجیه‌پذیر می‌نماید. از پارامترهای تاثیرگذار در ضریب شکل‌پذیری می‌توان به پارامترهایی مانند خصوصیات زلزله از قبیل بزرگی و فاصله از کانون زلزله، شرایط ساختمانی، رابطه نیرو- تغییرشکل، ظرفیت استهلاک و پرپود سازه اشاره کرد. میزان تاثیر هر کدام از این عوامل یکسان نبوده و حتی طبق تحقیقات گذشته می‌توان از برخی از آن‌ها صرف نظر کرد. در این پژوهش تاثیر دو پارامتر شرایط خاک ساختمانی و فاصله از کانون زلزله (نزدیک‌گسل و دور از گسل) در نظر گرفته شده است.

نتایج به‌دست آمده از مقایسه طیف‌های غیرالاستیک حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و طیف‌های غیرالاستیک به‌دست‌آمده از تبدیل طیف الاستیک به غیرالاستیک حاکی از آن است: در اکثر مواقع باتوجه به مدل قاب سازه یعنی قابل خمشی ویژه، ملاحظه می‌کنیم طیف‌های غیرخطی برای تمام خاک‌ها و تمام زلزله‌ها (نزدیک‌گسل، دور از گسل و ترکیب نزدیک گسل و دور از گسل)، طیف غیرخطی به شدت به طیف‌های قاب خمشی متوسط نزدیک می‌شود و بالاتر از طیف‌های ویژه ناشی از شکل‌پذیری قرار می‌گیرد. چنان‌چه در طیف‌های غیرخطی تاریخچه زمانی، حاشیه اطمینان اعمال شود، تقریباً به طیف طرح سیستم ویژه نزدیک می‌گردد. مقدار این حاشیه اطمینان از نوع زلزله به نوع دیگر و از نوع خاک به نوع خاک دیگر متفاوت می‌باشد. مقایسه طیف‌های دور از گسل، طیف ترکیبی نزدیک گسل و دور از گسل و در نهایت طیف نزدیک گسل نشان می‌دهد که ضریب تبدیل طیف تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به غیرالاستیک ویژه افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] Swensen, S. and Wong, K. (2011). Evaluation of peak structural responses based on consistent elastic and inelastic design spectra. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 20(2), 164-176.

¹ Ductility Factor



IRAST 2022

ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی سازه

۱۴۰۱ آبان ماه ۱۸-۱۹

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



کد مقاله: IRAST-????

[2] IBC, I. (2006). *International building code*. International Code Council, Inc.(formerly BOCA, ICBO and SBCCI), 4051, 60478-5795.

[3] Standard 2800. (2015). *Design of Buildings to the Earthquaks Code*. 4th Edition. Tehran: Road, House and Urban Researchs Center.

[4] Veletsos, A. S., Newmark, N. M. and Chelapati, C. V. (1965). Deformation spectra for elastic and elastoplastic systems subjected to ground shock and earthquake motions. *In Proceedings of the 3rd world conference on earthquake engineering*, Vol. 2, pp. 663-682.

[5] Maddah, M. M. (2011). Investigation of Methods for Preparation of Inelastic Response Spectra. Master of Science in Civil Engineering. Iran University of Science and Technology, Iran.

[6] Athanassiadou, C. J., Karakostas, C. Z., Margaris, B. N. and Kappos, A. J. (2011). Displacement spectra and displacement modification factors, based on records from Greece. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(12), 1640-1653.

[7] Mollaioli, F. and Bruno, S. (2008). Influence of site effects on inelastic displacement ratios for SDOF and MDOF systems. *Computers & Mathematics with applications*, 55(2), 184-207.

[8] Tabeshpoor, M. R. and Ebrahimian, H. (2009). Earthquake engineering, applied in design and improvement. Tehran: Fadak Isatis.

[9] Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. Engineering monographs on earthquake criteria.

[10] Krawinkler, H. and Nassar, A. A. (1992). Seismic design based on ductility and cumulative damage demands and capacities. In *Nonlinear seismic analysis and design of reinforced concrete buildings*, pp. 31-48). CRC Press.

[11] Fajfar, P., & Krawinkler, H. (Eds.). (1992). *Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings: Workshop on Nonlinear Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings*, Bled, Slovenia, Yugoslavia, 13-16 July 1992. CRC Press.

[12] Miranda, E. and Bertero, V. V. (1994). Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design. *Earthquake spectra*, 10(2), 357-379.

[13] Krawinkler, H. and Nassar, A. (1990). Strength and ductility demands for SDOF and MDOF systems subjected to Whittier Narrows earthquake ground motions. CSMIP-1990, California Dept. of Conservation, Sacramento, CA, USA.

[14] Swensen, S. and Wong, K. (2011). Evaluation of peak structural responses based on consistent elastic and inelastic design spectra. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 20(2), 164-176.

[15] Peer Ground Motion Database, (2022). Searching, selecting and downloading ground motion data. [online] Available at: <https://ngawest2.berkeley.edu/>.

[16] The Sixth Subject of National Building Regulations (2018). loads on buildings. 4th edition. Tehran: Road, House and Urban Researchs Center.

[17] The Tenth Subject of National Building Regulations (2012). loads on buildings. 4th edition. Tehran: Road, House and Urban Researchs Center.



IRAST 2022

ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی سازه

۱۸-۱۹ آبان ماه ۱۴۰۱

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



کد مقاله: IRAST-????

- [18] Publication No. 360. (2013). Guidelines for Seismic Improvement of Existing Buildings. Deputy for Strategic Supervision of Technical System Affairs.
- [19] ASCE/SEI 41-13. (2013). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. 1801 Alexander Bell Drive American Society of Civil Engineers.
- [20] AmirzadehShams. H. (2008). Numerical Study of Using Diamond Metallic Damper for Seismic Retrofit of Medium-rise Steel Frames. *Modeling in engineering*. 15, 9-12.
- [21] Sepehri, A. (2015). Analysis and design of seismic dampers and isolators based on ASCE 7-10 in Opensees, SAP 2000 and Perform 3D. Tehran: Elmeh Omran.
- [22] Chopra, A.K. Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering. 4th edition, New Delhi: Prentice-Hall of Private Limited M-97.
- [23] FEMA 356, F. E. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency: Washington, DC, USA.
- [24] Eidi, M. M. (2018). Probability - statistical investigation of design earthquake and different characteristics of site design spectrum. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- [25] Asghari, A. (2013). Dynamics of Structures (Basis and Applications to Earthquake Engineering). Fifth Edition. Tehran: Amirkabir University of Technology.
- [26] Ebadi, P. and Nouri, P. Investigating the increase in the number of bracing openings on the behavior coefficient of steel buildings. *2nd International Congress On Structure, Architecture and Urban Development, Tabriz*.
- [27] Mahmoudi Sahebi, M. and zare, M. (2011). Behavior coefficient of structures from definition to determination. *Journal of Civil Engineering and Environment, Volume 41(1)*.