

شتاب‌نگاشت‌های واقعی و ساختگی با طیف پاسخی منطبق بر طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

امید بهار (استادیار)

محمد کفاشیان (کارشناس ارشد)

بزهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

با توجه به این که کشور ایران در منطقه‌ی لرزه‌خیز واقع شده، خسارات مالی و جانی زیاد زلزله‌های اخیر اهمیت بررسی‌های بیشتر در زمینه‌ی ارزیابی روش‌های طراحی موجود را افزایش داده است. برای پیشبرد تحقیقات مربوط به زلزله، تهیه‌ی شتاب‌نگاشت‌هایی با طیف پاسخ منطبق بر طیف طرح یا طیف با سطح خطر مشخص ضروری است. هدف این مقاله ارائه‌ی روشی برای تهیه‌ی چنین شتاب‌نگاشت‌هایی از شتاب‌نگاشت‌های واقعی است. این روش مبتنی است بر تقسیم دامنه‌های پرریزیک طیف پاسخ به فواصل مشخص و یافتن ضریب مقیاس برای هر کدام از دامنه‌ها. در ادامه‌ی هفت شتاب‌نگاشت ساختگی با نرم‌افزار SIMQKE I و هفت شتاب‌نگاشت واقعی مقیاس شده با روش پیشنهادی، با طیف پاسخی منطبق بر طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، برای نوع خاک سوم و خطر خیلی زیاد تولید شده‌اند. برای ارزیابی مجموعه شتاب‌نگاشت‌های تولید شده، رفتار لرزه‌یی غیرخطی سازه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها مبین آن است که روش پیشنهادی می‌تواند بدون افزایش قابل ملاحظه‌ی انرژی ورودی، شتاب‌نگاشت‌هایی با خصوصیات مشخص تولید نماید که می‌تواند به منظور تحلیل و طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: شتاب‌نگاشت‌های منطبق بر طیف طرح، شتاب‌نگاشت‌های ساختگی، شتاب‌نگاشت‌های واقعی، ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰.

omidbahar@iiees.ac.ir
m.kaffashian@iiees.ac.ir

مقدمه

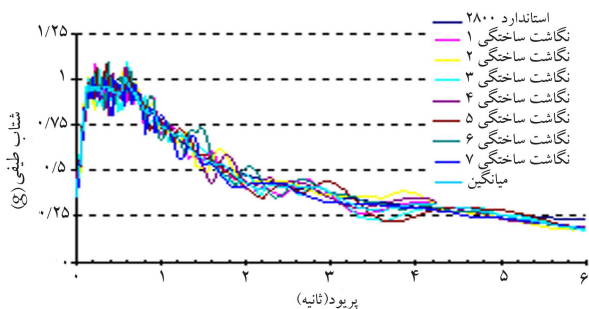
این روش یک مجموعه شتاب‌نگاشت مصنوعی تولید می‌شود که خصوصیات پایه و حتی ظاهری بسیار نزدیکی به هم دارند. دیدگاه دیگری که در آئین‌نامه‌های لرزه‌یی توصیه شده است، استفاده از شتاب‌نگاشت‌های حقیقی با طیف منطبق بر طیف طرح مورد نظر است. از آنجا که به‌طور معمول طیف‌های طرح حاوی خصوصیات میدان دور و میدان نزدیک به‌صورت توأمان‌اند، استفاده از یک ضریب عددی به‌منظور انطباق طیف‌ها منجر به تولید شتاب‌نگاشت‌های بسیار قوی خواهد شد که در نهایت با طبیعت لرزه‌یی سازگاری نداشته و منتهی به سازه‌هایی غیراقتصادی می‌شود. برای رفع این مشکل، در این نوشتار با ارائه‌ی یک روش ساده، با تقسیم بردار پرریزیک منحنی طیف به چندین قسمت، و منطبق کردن طیف شتاب‌نگاشت با طیف طرح در هر قسمت، شتاب‌نگاشت جدیدی به دست آمده است که بدون افزایش قابل توجه مقدار انرژی آن، انطباق قابل ملاحظه‌یی با طیف طرح دارد. در بخش‌های بعدی ابتدا به شتاب‌نگاشت‌های ساختگی پرداخته شده و سپس روش پیشنهادی با جزئیات ارائه می‌شود. در نهایت، تحلیل‌های غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی دو قاب دوازده طبقه‌ی بتنی که یکی با روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان^[۱] و دیگری با روش نیرویی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم طراحی شده‌اند مبنای ارزیابی عملکرد شتاب‌نگاشت‌ها قرار گرفته است.

در بسیاری از زمینه‌های مهندسی -- از جمله طراحی سازه‌های خاص، طراحی سازه در یک ساختگاه خاص -- تحلیل و ارزیابی رفتار لرزه‌یی سازه‌های موجود به‌منظور کنترل رفتار لرزه‌یی، مقاوم‌سازی، بهسازی و ترمیم، لزوم استفاده از شتاب‌نگاشت‌های منطبق با طیف طرح اجتناب‌ناپذیر است. شتاب‌نگاشت‌ها اطلاعاتی از چشمه یا گسل آزادسازی انرژی و خصوصیات مسیر طی شده تا محل ثبت را در خود جای داده‌اند. هر شتاب‌نگاشت براساس خصوصیات بزرگا، محتوای فرکانسی، انرژی و مدت‌زمان اثر به‌طور منحصر به‌فردی از دیگر شتاب‌نگاشت‌ها متمایز می‌شود. این خصوصیات مانع از امکان استفاده‌ی مستقیم از یک شتاب‌نگاشت برای تحلیل و طراحی سازه‌های دیگر می‌شود. برای رفع این مشکل معمولاً آئین‌نامه‌ها ترکیب چند شتاب‌نگاشت با خصوصیات پایه‌ی یکسان و طیف منطبق با طیف طرح را پیشنهاد می‌کنند. اما در عمل یافتن شتاب‌نگاشتی که با یک طیف طرح خاص (با تمامی مبنایی‌یی که در تدوین و تبیین آن نقش داشته‌اند) منطبق باشد و حتی به آن نزدیک باشد، به‌همین دلیل در دهه‌ی هفتاد میلادی پیشنهاد ساخت شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی با خصوصیات پایه‌ی مشخص مطرح شد.^[۱] این شتاب‌نگاشت‌ها از ترکیب موج‌های هارمونیک با اختلاف فازهای تصادفی تولید می‌شوند. در نهایت برای اعمال رفتار گذرای موج لرزه‌یی، یک منحنی پوش بر آن‌ها تحمیل می‌گردد. با استفاده از

شتاب‌نگاشت‌های ساختگی

شتاب‌نگاشت‌های ساختگی با استفاده از نرم‌افزار *SIMQKEI* منطبق بر طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ تولید شده‌اند.^[۲] در فایل ورودی این نرم‌افزار به منظور اعمال شرایط گذرای شتاب‌نگاشت، یک منحنی پوش با اطلاعاتی در مورد زمان اوج، طول مدت لرزه‌ی شدید و زمان نزول در کنار طیف طرحی که می‌خواهیم طیف پاسخ شتاب‌نگاشت منطبق بر آن باشد، داده می‌شود. در این نوشتار پوش شتاب‌نگاشت‌ها براساس مدل *Compound* انتخاب شده است.^[۱]

شکل ۱ یکی از هفت شتاب‌نگاشت ساختگی تولیدشده، و شکل ۲ محتوای فرکانسی آن را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نیز نتایج حاصل از مقایسه‌ی طیف‌های



شکل ۳. مقایسه‌ی طیف‌های پاسخ شتاب‌نگاشت‌های ساختگی با طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰.

پاسخ شتاب‌نگاشت‌های ساختگی تولیدشده با نرم‌افزار *SIMQKEI* با طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع سوم و خطر خیلی زیاد نشان داده شده‌است.

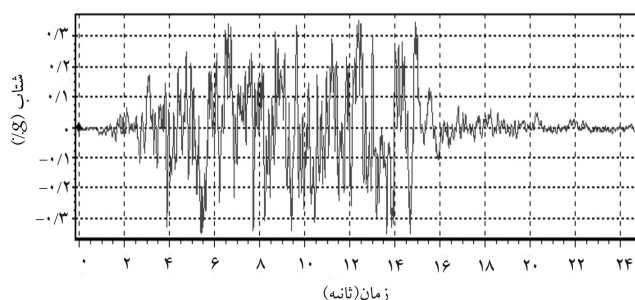
شتاب‌نگاشت‌های واقعی

برای استفاده از شتاب‌نگاشت‌های واقعی مطابق بند (۲-۴-۱-۴-۲) استاندارد ۲۸۰۰ باید شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده اصلاح شوند.^[۴] در این نوشتار به دلیل استفاده از یک مؤلفه‌ی شتاب‌نگاشت برای سازه‌های دوبعدی به جای ضریب مقیاس ۱/۴ بند (۲-۴-۱-۴-۲) آیین نامه که در واقع برآیند دو مؤلفه است از ضریب مقیاس ۱ استفاده شده است. با توجه به این که طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها اکثراً در پرونده‌های بالا بسیار کم‌تر از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ هستند، اگر همین ضریب به عنوان مقیاس بر روی کل شتاب‌نگاشت اعمال شود ناحیه‌ی ابتدایی طیف پاسخ از طیف طرح بسیار بزرگ‌تر خواهد شد. به همین دلیل و به منظور جلوگیری از این مشکل، روشی پیشنهادی برای مقایسه‌ی شتاب‌نگاشت ارائه شده است. روش پیشنهادی خلاصه‌وار در چند گام ارائه شده است:

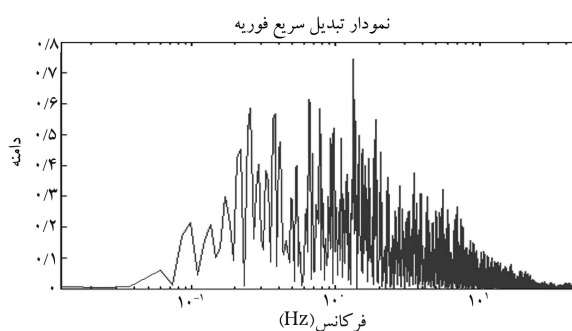
۱. طیف پاسخ خطی شتاب‌نگاشت ترسیم می‌شود؛
۲. طیف پاسخ شتاب‌نگاشت به تعداد محدوده‌ی پرویدی (در این مقاله ۱۲ ناحیه) مطابق جدول ۱ تقسیم می‌شود؛

جدول ۱. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های واقعی مورد استفاده، قبل و بعد از مقیاس.

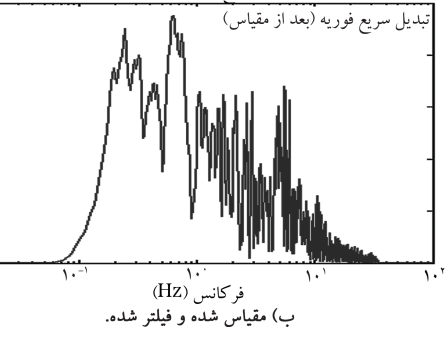
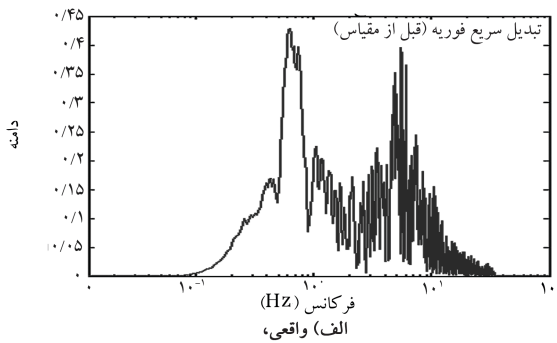
نام شتاب‌نگاشت	زمان وقوع	نام ایستگاه	بزرگا	بیشینه‌ی شتاب زمین (قبل از مقیاس)	بیشینه‌ی شتاب زمین (بعد از مقیاس)	مدت زمان شتاب‌نگاشت	فاصله زمانی شتاب‌نگاشت
آب بر	۱۹۹۰/۰۶/۲۰	abbar	۶/۴	۰/۵۱	۰/۵۵	۵۳/۵۲	۰/۰۲
بم	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	Bam	۶/۷	۰/۷۲	۰/۵۰	۶۶/۵۵	۰/۰۰۵
السترو	۱۹۴۰/۰۵/۱۸	Imperial Valley	—	۰/۳۱	۰/۴۴	۴۰	۰/۰۱
کوبه	۱۹۹۵/۰۱/۱۶	KJMA	۶/۹	۰/۸۲	۰/۳۷	۴۸	۰/۰۲
تفت	۱۹۵۲	Arvin	—	۰/۱۷	۰/۵۸	۵۴/۴	۰/۰۲
طیس	۱۹۷۸/۰۹/۱۶	۹۱۰۱ Tabas	۷/۴	۰/۸۳	۰/۴۵	۳۲/۸۴	۰/۰۲
نورتیج	۱۹۹۴/۰۱/۱۷	۲۴۴۳۶ Tarzana	۶/۷	۰/۹۹	۰/۴۴	۴۰	۰/۰۲



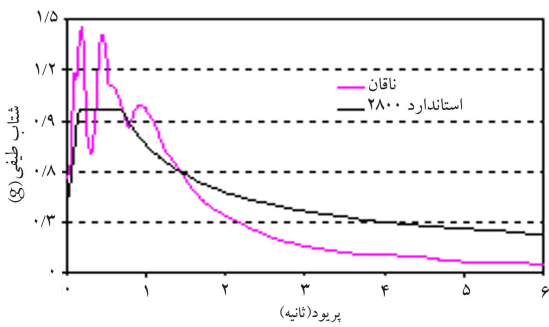
شکل ۱. شتاب‌نگاشت ساختگی با طیف پاسخ منطبق بر طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰.



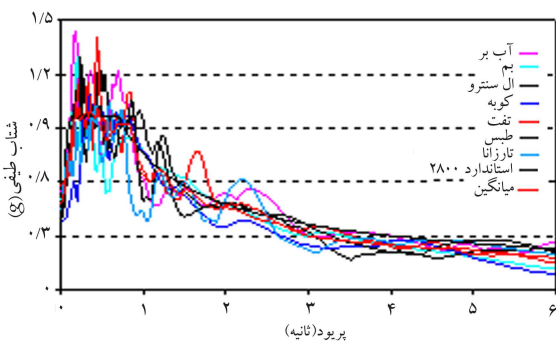
شکل ۲. محتوای فرکانسی شتاب‌نگاشت ساختگی با طیف پاسخ منطبق بر طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰.



شکل ۷. تبدیل فوری‌ی شتاب‌نگاشت بم.

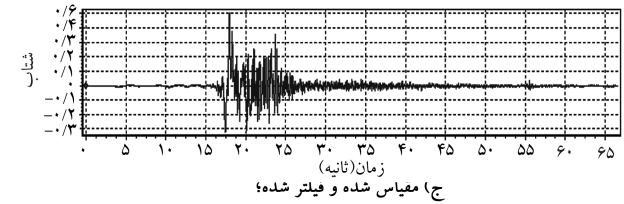
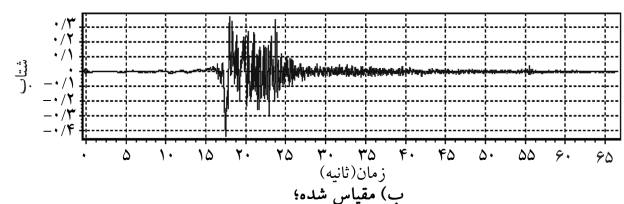
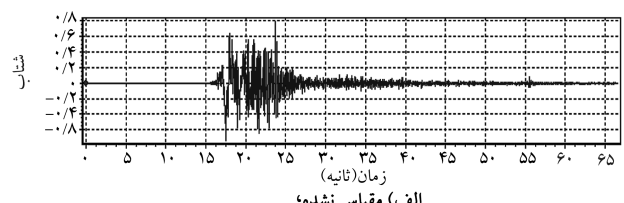


شکل ۸. مقایسه‌ی طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ با طیف پاسخ شتاب‌نگاشت ناقان بعد از مقیاس.



شکل ۹. مقایسه‌ی طیف‌های پاسخ شتاب‌نگاشت‌های واقعی مقیاس شده با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰.

انرژی ورودی آن‌ها در شکل ۱۰ به نظر می‌رسد: ۱. انطباق طیف طرح یک زلزله واقعی لزوماً انرژی ورودی آنرا افزایش نمی‌دهد (شتاب‌نگاشت‌های طیس، کوبه و بم)؛ ۲. افزایش یا کاهش بیشینه‌ی شتاب زمین در هر شتاب‌نگاشت لزوماً با انرژی



شکل ۶. شتاب‌نگاشت بم.

مقایسه‌ی انرژی ورودی دو مجموعه شتاب‌نگاشت: در این قسمت انرژی ورودی شتاب‌نگاشت‌های «ساختگی» و «واقعی مقیاس شده» با انرژی ورودی شتاب‌نگاشت‌های واقعی مقیاس شده است. برای محاسبه‌ی انرژی ورودی هر شتاب‌نگاشت از رابطه‌ی ۱ استفاده شده است: [۵]

$$\frac{E_i}{m} = 2.72 (t_{di})^{0.5} (PGV)^2 \quad (1)$$

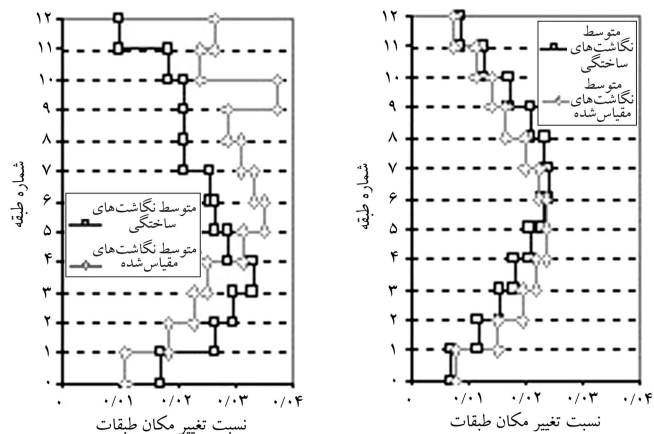
که در آن t_{di} مدت زمان مؤثر زلزله است که براساس روش *Tri funac&Brady* محاسبه می‌شود، [۶] و PGV سرعت بیشینه‌ی زمین متناظر با شتاب‌نگاشت مورد نظر در هنگام زلزله است. رابطه‌ی ۱ برای ناحیه‌ی سرعت ثابت (پریودهای متوسط) است که تقریباً بین ۰/۳۵ تا ۳ ثانیه است. از آنجا که اکثر سازه‌های معمولی در این ناحیه‌ی پریودی قرار دارند، رابطه‌ی ۱ می‌تواند معیار مناسبی از انرژی ورودی به سازه باشد. مقایسه‌ی انرژی ورودی ناشی از شتاب‌نگاشت‌های واقعی قبل و بعد از مقیاس شدن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود میانگین انرژی ورودی شتاب‌نگاشت‌های واقعی بعد از مقیاس تقریباً ۱/۶۶ برابر قبل از مقیاس است. از مقایسه‌ی مشخصات اولیه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها در جدول ۱ و مقدار

رفتار دینامیکی غیرخطی یکسانی داشت. این موضوع در قسمت های بعدی مورد بررسی قرار می گیرد.

ارزیابی عملکرد سازه‌ی ۱۲ طبقه

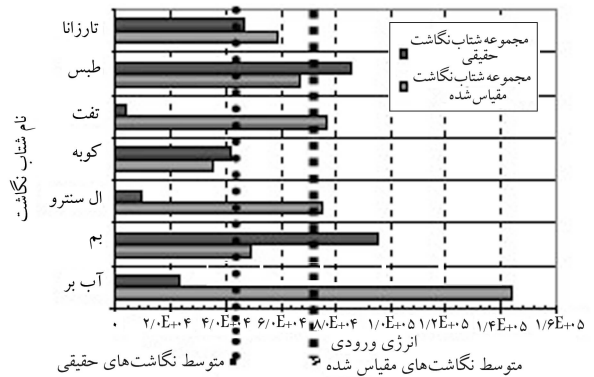
در این مطالعه‌ی قاب خمشی ۱۲ طبقه‌ی بتنی منظم با دودهانه‌ی ۶ متری به ارتفاع مشابه ۳ متر مدل شده است. وزن کل هر طبقه $40716 KN$ است. مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه 35 مگاپاسکال و مقاومت کششی آرماتورهای طولی و عرضی به ترتیب 450 مگاپاسکال و 350 مگاپاسکال است. قاب های مذکور به روش طراحی مستقیم مبتنی بر تغییر مکان^[۷] و روش طراحی مبتنی بر نیروهای استاندارد 2800 طراحی شدند. در روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان (*DBBD*) سازه از ابتدا با فرض یک تغییر شکل نهایی مشخص و از پیش تعیین شده طراحی شده است. سپس برای ارزیابی عملکرد آن، تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی با نرم افزار *OPENSEES* و تحت شتاب نگاشت های «ساختگی» و «واقعی مقیاس شده» تحلیل شده است.^[۸] برای ساده سازی آنالیزها و برای تمرکز بر اثرات خاص دینامیکی مورد نظر در این مطالعه، فرضیات زیر با توجه به مدل های مورد استفاده اعمال شده است. المان ها به صورت غیر ارتجاعی و از نوع *Nonlinear BeamColumn* است که دارای قابلیت اعمال اثر خمیرسانی به صورت گسترده در طول المان هستند. آنالیزهای انجام شده به روش اجزاء محدود و با فرض مدل *FiberSection* است. حل عددی در نظر گرفته شده نیوتن - رافسون و روش انتگرال گیری روش *Newmark* با ضرایب $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.25$ است. میرایی و ویسکوز برای آنالیز تاریخچه‌ی زمانی به روش رابلی محاسبه شده است.^[۹] اثر $P - \Delta$ با توجه به قابلیت های نرم افزار در نظر گرفته شده است. از تغییر شکل های برشی نیز صرف نظر شده است.

مقایسه‌ی نسبت تغییر مکان طبقات: نتایج نسبت تغییر مکان طبقات برای سازه‌ی ۱۲ طبقه طراحی شده به روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان و روش استاندارد 2800 در شکل ۱۳ نشان داده شده است. چنان که از شکل ۱۳ می توان دریافت، نسبت تغییر مکان طبقات حاصل از این دو مجموعه شتاب نگاشت برای سازه‌ی *DBBD* نتایج مشابهی حاصل می شود، در حالی که در مورد سازه‌ی آئین نامه‌ی نتایج بسیار متفاوت اند. اختلاف رفتاری دو سازه، اگرچه تا حد زیادی به دلیل دوری یا نزدیکی محتوای غالب فرکانسی مجموعه نگاشت ها به فرکانس غالب آن ها است، باید توجه داشت که هر دو سازه براساس یک طیف طرح طراحی شده اند. بررسی ها

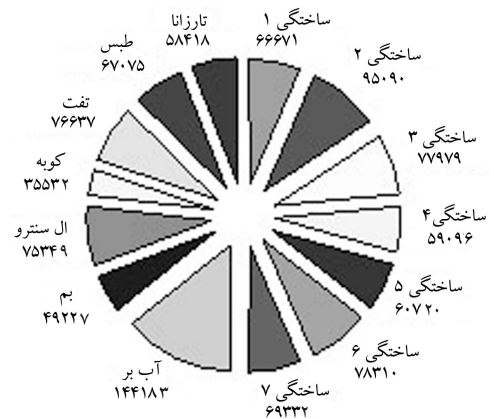


شکل ۱۳. مقایسه‌ی نسبت تغییر مکان طبقات برای سازه ۱۲ طبقه از راست به ترتیب طراحی شده به روش *DBBD* و استاندارد 2800 .

ورودی آن نسبت مستقیم ندارد (در شتاب نگاشت تارزانا با کاهش بیشینه‌ی شتاب زمین شاهد افزایش انرژی ورودی هستیم). انرژی ورودی کلیه‌ی شتاب نگاشت های «ساختگی» و «واقعی مقیاس شده» در شکل ۱۱ آورده شده است. با این که مقدار انرژی ورودی آن ها با هم متفاوت است، مشابهت قابل توجهی در میانگین کلی هر دو مجموعه دیده می شود. این مسئله را در شکل ۱۲ نیز به وضوح می توان مشاهده کرد. به عبارت ساده تر شاید بتوان گفت که اگر سازه به گونه‌ی طراحی شده باشد که مفاصل خمیری زود هنگام در ستون های آن به وجود نیاید، می توان از دو مجموعه شتاب نگاشت منطبق با طیف طرح که میانگین انرژی ورودی یکسانی دارند انتظار



شکل ۱۰. مقایسه‌ی انرژی ورودی شتاب نگاشت های واقعی قبل و بعد از مقیاس.



شکل ۱۱. مقایسه‌ی انرژی ورودی شتاب نگاشت های ساختگی و واقعی مقیاس شده.



شکل ۱۲. مقایسه‌ی میانگین انرژی ورودی شتاب نگاشت های واقعی، ساختگی، واقعی مقیاس شده.

شکل ۱۴ نشان داده شده است. مطابق انتظار، مشاهده می‌شود که در سازه‌های طراحی شده به روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان که عملکردی قابل پیش‌بینی دارند نتایج آنالیز با دو سری شتاب‌نگاشت تقریباً برهم منطبق است. درست مشابه قسمت قبل به دلیل تشکیل مفصل خمیری در موقعیت‌های متفاوت از ستون‌های سازه، توزیع نیروی جانبی بیشینه‌ی طبقات در سازه‌ی طراحی شده براساس نیروهای آئین‌نامه‌ی برای دو مجموعه شتاب‌نگاشت کاملاً با هم متفاوت است. این تفاوت باز هم نشان‌گر اهمیت انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها خصوصاً در ارزیابی‌های آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی سازه‌هایی است که با آئین‌نامه طراحی شده‌اند.

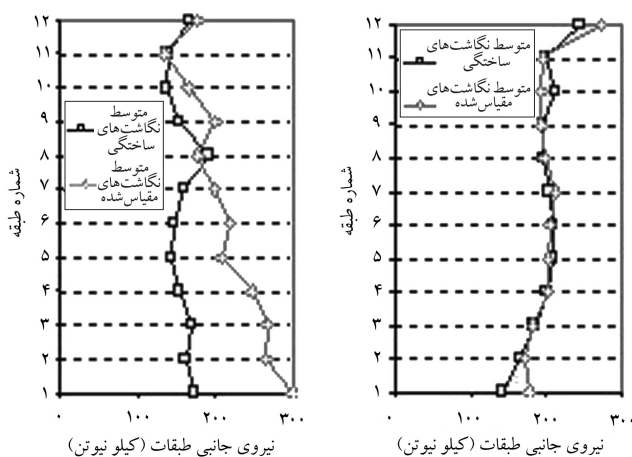
مقایسه‌ی پر یود: در شکل ۱۵ پر یودهای ارتفاعی سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی بتنی در مرحله‌ی طراحی اولیه و در مراحل ابتدا و انتهای تحلیل غیرخطی تحت شتاب‌نگاشت‌های «ساختگی» و «واقعی مقیاس شده» نشان داده شده است. تغییرات پر یود در سازه‌ی طراحی شده با *DDBD* تحت شتاب‌نگاشت‌های «ساختگی» و «واقعی مقیاس شده» به ترتیب ۳۴ و ۳۳ درصد بوده است. در حالی که در مورد سازه‌ی طراحی شده براساس نیروهای آئین‌نامه‌ی این مقادیر به ترتیب ۳۸ و ۴۴ درصد بوده است. وجود این اختلاف بازهم به رفتار متفاوت سازه در مقابل دو مجموعه شتاب‌نگاشت بازمی‌گردد که پیش‌بینی رفتار لرزه‌ی واقعی آن را مشکل می‌سازد. این در حالی است که سازه‌ی دوم با داشتن پر یود بلندتر عملاً باید نیروهای ضعیف‌تری را تجربه می‌کرد.

نتیجه‌گیری

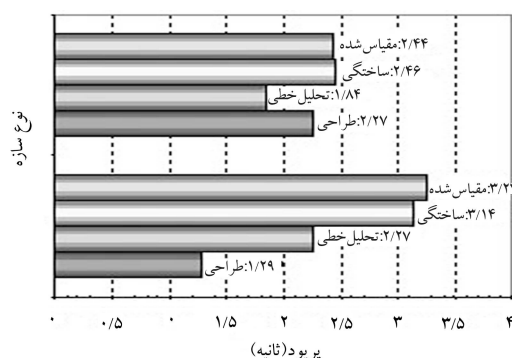
در این نوشتار روشی برای دست‌یابی به شتاب‌نگاشت‌هایی با طیف منطبق بر طیف طرح پیشنهاد شده است. روش کار بدین صورت است که دامنه‌ی فرکانس‌های مشخص طیف فوریه‌ی شتاب‌نگاشت‌های واقعی در ضریب اصلاحی که از انطباق طیف پاسخ شتاب‌نگاشت با طیف طرح در همان دامنه‌ی فرکانسی به دست آمده، اصلاح می‌شود. پس از این تغییر بسیاری از خصوصیات شتاب‌نگاشت -- از جمله بیشینه‌ی شتاب زمین، محتوای غالب فرکانسی و انرژی ورودی آن -- دستخوش تغییر می‌گردد. به منظور مقایسه، یک مجموعه شتاب‌نگاشت ساختگی نیز تولید شد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که میانگین انرژی ورودی به سازه‌ی هر دو مجموعه شتاب‌نگاشت‌های ساختگی و واقعی مقیاس شده تقریباً برابرند. به عبارت دیگر می‌توان چنین تصور کرد که انطباق با یک طیف طرح مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها را به سمت انرژی ورودی مشخصی هدایت می‌کند.

پس از آن رفتار دینامیکی غیرخطی دو سازه -- یکی طراحی شده با روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان، و دیگری طراحی شده با روش نیرویی مبتنی بر استاندارد ۲۸۰۰ -- تحت اثر این دو مجموعه شتاب‌نگاشت قرار گرفت. بررسی‌ها نشان دادند که:

۱. چنانچه رفتار سازه منسجم و یک پارچه باشد و احتمال تشکیل مفصل خمیری در ستون‌ها به حداقل برسد، از شتاب‌نگاشت‌های ساختگی نیز می‌توان برای تحلیل غیر خطی سازه‌ها استفاده کرد.
۲. در غیر این صورت مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها باید براساس محتوای غالب فرکانسی سازه یا ساخت‌گاه مورد نظر انتخاب شود. چرا که بررسی رفتار لرزه‌ی این‌گونه سازه‌ها نیاز به معیارهای قوی‌تر و کامل‌تری برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌های واقعی با محدوده فرکانسی مشخص دارد. استفاده از مجموعه شتاب‌نگاشت‌هایی با فرکانس غالب متفاوت می‌تواند به نتایج متفاوتی منتهی شود که گاه دور از واقعیت است.



شکل ۱۴. نیروهای جانبی طبقات برای سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی بتنی، از راست؛ طراحی شده به روش *DDBD* استاندارد ۲۸۰۰.



شکل ۱۵. پر یود سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی بتنی در مراحل طراحی اولیه، شروع تحلیل، و پایان مرحله‌ی تحلیل غیرخطی.

نشان داده‌اند که در هیچ‌کدام از این تحلیل‌ها، در ستون‌های سازه‌ی طراحی شده با *DDBD* مفصل خمیری تشکیل نشده است. به همین دلیل رفتار آن در مقابل هر دو مجموعه شتاب‌نگاشت، رفتاری منسجم و یکپارچه است. به عبارت دیگر در مورد سازه‌هایی که با این روش طراحی می‌شوند می‌توان در صورت نبود شتاب‌نگاشت‌های واقعی از شتاب‌نگاشت‌های ساختگی نیز بهره جست. از طرف دیگر در سازه‌ی طرح شده براساس نیروهای آئین‌نامه‌ی، وجود اختلاف در محتوای فرکانسی دو مجموعه شتاب‌نگاشت باعث تشکیل مفاصل خمیری در موقعیت‌های متفاوت در ستون‌های سازه شده است.^[۲] این مسئله از یک طرف نشان‌گر عدم انسجام در روند طراحی است و از سوی دیگر لزوم توجه به محتوای فرکانسی مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها برای بررسی رفتار لرزه‌ی سازه‌هایی از این دست را یادآور می‌شود. به عبارت دیگر در مورد این‌گونه سازه‌ها انتخاب مجموعه شتاب‌نگاشت‌هایی منطبق بر طیف طرح که مبنای ارزیابی رفتار غیرخطی سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله قرار گیرد، نیاز به معیارهای قوی‌تر و کامل‌تر دارد.

مقایسه‌ی توزیع نیروی جانبی بیشینه در ارتفاع طبقات: توزیع نیروهای جانبی بیشینه در ارتفاع طبقات برای سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی طراحی شده به روش مستقیم مبتنی بر تغییر مکان و روش نیرویی براساس نیروهای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، در

منابع

1. Jennings, P.C.; Housner, G.W. and Tsai, N.C. "Simulated earthquake motions." EERL California Institute of Technology, Pasadena, California, April, (1968).
2. Kaffashian, M. "Comparison of RC building's performances designed by DDBD and Standard-2800", MSC. Thesis, IIEES, (2006).
3. simqke. I. "A program for artificial motion generation." Civil Engineering Dept. Massachusetts Institute of Technology, Available in The NISEE ("National Information Service for Earthquake Engineering") Software Library CDROM, (1976).
4. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Building and Housing Research Center, 3rd edition, (2005).
5. FajFar, P.; Vidic, T.; and Fischinger, M. "Seismic design in medium -and long- period Structures", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **18**, pp. 1133-1144 (1989).
6. Trifunac, M.D. and Brady, A.G. "A Study on the duration of Strong earthquake ground motion", *Bull. Seism.Soc.Amer.*, **65**, pp. 581-626 (1975).
7. Kaffashian, M. and Bahar, O., "Perforce evaluation of RC buildings designed by displacement and force methods", JSEE,(last review persian).
8. "OPENSEES ver1.7.2, Pacific Earthquake Engineering Research Center [PEER]. University of California [Berkeley], (2006). Available from URL : <http://opensees.berkeley.edu>.

