

چکیده

رخدادهای نزدیک گسل، همواره، از موضوعات مورد توجه مهندسين سازه و زلزله بوده‌اند. شناسایی ماهیت ویرانگر آنها و بررسی ویژگیهای مربوط به پاسخ سازه‌های مهندسی تحت چنین تحریکات لرزه‌ای، موضوع تحقیقات متعددی در ادبیات فنی - مهندسی زلزله است. در این مقاله، ابتدا تبدیل S به عنوان جایگزین قابل قبولی برای تبدیل موجک و تبدیل فوری کوتاه در سایر رشته‌های مهندسی، شناخته و به عنوان ابزار جدیدی برای شناسایی مشخصات محلی طیفی سیگنال‌های نامانای مربوط به حرکت زمین معرفی شده است. سپس، با استفاده از روش پیشنهادی مبتنی بر این تبدیل، نگاهشهای پالس گونه ثبت شده در حوزه نزدیک پردازش و مطالعه شده است. برای این منظور، هفت شتابنگاشت پالس گونه به صورتی انتخاب شده‌اند که ضمن پوشش حداکثری ویژگیهای حوزه نزدیک، امکان مقایسه روش پیشنهادی با روشهای قبلی فراهم شود. پس از جداسازی بخش پالس گونه، سازه‌های قابی شکل بتنی به صورت سه بعدی و در دو ارتفاع 6 و 9 طبقه مدلسازی و تأثیر پالس های جدا شده در تخمین منحنی تحلیل دینامیکی فراینده ارزیابی شده است. همچنین، اثر تغییر پریرود طبیعی ارتعاش سازه بر نتایج با مدلسازی دو قاب خمشی فولادی دوبعدی 3 و 12 طبقه مورد مطالعه بیشتر قرار گرفته است. نتایج مطالعه امکان معرفی پالس با فرکانس کم به عنوان نماینده شتابنگاشت پالس گونه را در تخمین پاسخ دینامیکی سازه‌ها، بویژه، در صورت لحاظ کردن رفتار غیر خطی مورد تردید قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: زلزله نزدیک گسل، پالس سرعت، تبدیل S، محتوای فرکانسی

بررسی ماهیت پالس گونه زلزله‌های نزدیک گسل با استفاده از تبدیل S

غلامرضا قدرتی امیری

استاد مرکز پژوهشهای بنیادین در مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران،
دانشگاه علم و صنعت ایران

سالار آرین مقدم (نویسنده مسؤل)

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
s.arianmoghaddam@iiees.ac.ir

1- مقدمه

سابقه تاریخی توجه به رخدادهای لرزه‌ای در حوزه نزدیک گسل به زلزله‌های پارکفیلد در سال 1966 و سان‌فرناندو در سال 1971 باز می‌گردد. در واقع، حضور متمرکز جمعیت در نواحی زلزله زده در این رخدادهای ماهیت ویرانگر زلزله‌های نزدیک گسل را بیش از پیش برای مهندسين سازه و زلزله روشن ساخت [1].

وقوع زلزله‌های 1994 نورتریج و 1995 کوبه نقطه آغاز تلاشها برای تغییر در آیین‌نامه‌ها و الزامات طراحی سازه‌ها برای لحاظ نمودن آثار زلزله‌های حوزه نزدیک بود. تلاشهایی که با وقوع زلزله‌های پر آسیب چی‌چی و ازمیت، سرعت بیشتری گرفت و طیف گسترده‌ای از محققان مهندسی زلزله و سازه تا لرزه‌شناسی مهندسی و مسائل مربوط به فیزیک زمین و انتشار امواج را به خود

مشغول ساخته است.

سامرویل [2 و 3] به منظور کمی‌سازی ویژگیهای زلزله‌های نزدیک گسل مطالعات نسبتاً جامعی نموده است. این ویژگیها به اختصار به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- وجود پالس‌های بزرگ در نگاشت سرعت حرکت زمین (مربوط به پدیده جهت‌داری، Directivity)؛
- مشاهده تغییرشکل‌های ماندگار در نواحی مجاور گسلها (مربوط به پدیده لگدزدگی، Fling Step)؛
- محتوای فرکانسی غنی.

در هنگام وقوع زلزله، چنانچه سرعت انتشار گسلش به سوی یک ساختمان قابل مقایسه با سرعت موج برشی در خاک آن ساختمان

باشد، مقدار قابل توجهی از انرژی به صورت تجمعی و در قالب یک مؤلفه پالس گونه در نگاشت سرعت حرکت زمین ظاهر خواهد شد. بدیهی است، آزادسازی این مقدار انرژی در مدت زمان اندک موجب تحمیل تقاضای لرزه‌ای بزرگی به سازه‌های مهندسی موجود خواهد شد. از سوی دیگر، تغییرشکل‌های ماندگار نیز در نواحی نزدیک به گسلش، میزان تقاضای تغییر مکان را افزایش می‌دهند. البته، به دلیل اینکه محدوده اثر پدیده اخیر کم است، در درجه دوم اهمیت قرار دارد. پالس‌های یکطرفه ناشی از جهت‌داری نیز در نگاشت سرعت، عملاً، تولیدکننده این تغییرشکلها هستند؛ گرچه، برای تخمین دقیق این پدیده، اخیراً، روشهایی برای تفکیک آن از آثار جهت‌داری ارائه شده‌است [4]. در این مقاله و با این فرض که پالس‌های جهت‌داری نماینده قابل قبولی برای ارزیابی نگاشتهای نزدیک گسل هستند، این نگاشتها به صورت کمی و کیفی بررسی شده‌اند.

در دو دهه اخیر، مطالعات گوناگونی در زمینه کمی‌سازی رفتار سازه‌های گوناگون تحت تحریکات پالس گونه نزدیک گسل صورت پذیرفته است [5]. بسیاری از محققان با پذیرش این نکته که وجود پالس سرعت، شاخص مناسبی برای تبیین ماهیت نگاشتهای نزدیک گسل است، مدل‌هایی برای تقریب‌زدن این بخش پالس گونه از نگاشت و به دنبال آن بررسی پارامترهای مربوط به پاسخ کشسان و غیر کشسان سازه‌ها به این نگاشتها ارائه نموده‌اند. از این رو، مدل‌های ریاضی بسیاری برای نیل به این اهداف تهیه شده‌اند [1 و 5].

از سوی دیگر، برخی محققان به استفاده از روشهای پردازش سیگنال‌های نامانا برای جداسازی مؤلفه‌های نگاشتهای حوزه نزدیک، روی آورده‌اند. در سال 2007، بیکر [6] از تحلیل تبدیل موجک برای به دست آوردن پالس‌های سرعت و تشخیص نگاشتهای پالس گونه در بانک داده‌های لرزه‌ای NGA، استفاده نمود. هدف اصلی وی کاربرد مفهوم "احتمال وقوع پالس" در مطالعات مربوط به تحلیل خطرپذیری ساختگاه بوده‌است. قهاری و همکاران [7] از روش میانگین متحرک بر پایه تبدیل فوریه کوتاه برای تقسیم 91 نگاشتی که توسط بیکر، پالس‌دار شناخته شده بودند، به دو مؤلفه "پالس گونه" با فرکانس کم و "زمینه" با فرکانس زیاد، استفاده نموده‌اند. همچنین، روش تجزیه تجربی مدها

2- تبدیل S

سیگنال‌های ثبت شده از حرکت زمین به عنوان سریهای زمانی با ماهیت نامانا شناخته می‌شوند. بر این اساس، روشهای سنتی تحلیل طیفی سیگنال‌ها، که عموماً بر مبنای تبدیل فوریه طراحی می‌شوند، در آشکارسازی تغییرات زمانی مشخصه‌های طیفی این سیگنال‌ها مشکل ذاتی دارند.

برای حل این مشکل و ارائه یک طیف محلی شده که قادر باشد تصویر صحیح‌تری از نامانایی موجود ارائه نماید، تبدیل فوریه کوتاه (Short Time Fourier Transform, STFT) پیشنهاد شده‌است. معادله (1) تبدیل فوریه کوتاه از یک سیگنال $x(t)$ را ارائه می‌کند:

$$STFT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t-\tau)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

در این معادله، $w(t)$ پنجره با عرض ثابت، f فرکانس و τ بیان‌کننده محل پنجره در دامنه زمان است. به طور خلاصه، این تبدیل با ضرب یک پنجره در سیگنال اصلی، که قابل انتقال در محور زمان است، امکان محلی‌سازی را در محاسبه تبدیل فوریه فراهم می‌آورد.

مشکل اصلی در کاربرد این تبدیل، ثابت بودن عرض پنجره است. به عبارت دیگر، عرض پنجره باید به گونه‌ای انتخاب شود که تأمین‌کننده دقت کافی در حوزه‌های زمان و فرکانس باشد. حال آنکه، دستیابی به دقت زیاد به طور همزمان در این دو حوزه ناممکن است [11]. در حقیقت، برای تأمین دقت کافی در حوزه زمان عرض پنجره مذکور باید کاهش یابد؛ در حالی که، برای داشتن نتایج دقیق در حوزه فرکانس به یک پنجره عریض‌تر نیاز است.

برای غلبه بر نقاط ضعف تبدیل فوریه کوتاه، تحلیل موجک و فرمول‌بندی وضوح چندگانه ارائه شده است [11]. به بیان دیگر، استفاده از یک تابع موجک که قابلیت اتساع و انتقال در حوزه زمان

روشهای مبتنی بر تقریبات ریاضی با فرم بسته [1] برای کمی سازی مطالعه پارامترهای پاسخ سازه‌ها در حوزه نزدیک به کار می‌روند. همچنین، چنانچه بحث ایجاد مؤلفه‌های پالس گونه در تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی مد نظر باشد، استفاده از این فرم‌های ریاضی در کنار روشهای برازش خطی و غیرخطی می‌تواند راهگشا باشد [13]. برای شناخت هر چه دقیقتر مشخصات ذاتی نگاشت‌های حرکت زمین مانند پالس دار بودن، روشهای مبتنی بر استخراج سیگنال‌های حقیقی نگاشت ارجحیت دارند [6 و 7].

برخی روشها نیز صرفاً برای تخمین پریود پالس کاربرد دارند [9]. گفتنی است تحقیقات گسترده از نظر مهندسی سازه بر اهمیت این پارامتر در کنترل رفتار سازه‌ها تأکید دارند [7 و 11].

در مقاله حاضر، روشی جدید و مبتنی بر پردازش سیگنال‌های زلزله و تا حدی مشابه با روشهای میانگین متحرک و تحلیل موجک معرفی شده است؛ اما، در این روش با تکیه بر برتری به اثبات رسیده تبدیل S در برابر تبدیل فوریه کوتاه و تبدیل موجک، برخی نواقص موجود در روشهای قبلی بهبود یافته و در ادامه، این نواقص به اختصار تشریح شده است:

1- استفاده از مدل‌های ریاضی با حل بسته گرچه ممکن است با توجه به روشهای پیشرفته برازش منحنی از نظر ظاهری تقریب قابل قبولی برای سیگنال پالس گونه ارائه دهد، در عمل، به سبب استفاده از یک مؤلفه هارمونیک با یک فرکانس معین به جای سیگنال حقیقی، که ممکن است متشکل از چندین ناحیه فرکانسی باشد، محاسبات را با خطا توأم می‌سازد (توضیحات بیشتر در این زمینه در بخش 7-4 ارائه شده است).

2- استفاده از تحلیل موجک در جداسازی سیگنال‌ها [6] تصویر واقعی تری از اجزای موجود در سیگنال اصلی فراهم می‌سازد. لیکن، مشکل اساسی این روش در انتخاب موجک مادر است. مطالعه نسبتاً جامعی که روی تأثیر تغییر این موجک در نتایج نهایی انجام شده است [14]، به صورت کمی، تأیید می‌کند که انتخاب موجک مادر تأثیر زیادی در محصول پردازش سیگنال خواهد داشت. گفتنی است بیکر [6]، به روشنی عنوان کرده است که برای جداسازی پالس‌های سرعت از موجک دیشر بهره می‌برد، چرا که این موجک بیشترین شباهت عمومی را به پالس‌های جهت‌داری دارد.

و فرکانس را داراست، توانایی تحلیل همزمان تغییرات زمانی و فرکانسی را با دقت قابل قبول فراهم می‌سازد.

چنانچه $y(t)$ یک تابع انتگرال پذیر باشد، معادله (2)، تبدیل موجک آن را ارائه می‌کند:

$$WT(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)Y_{a,b}^*(t)dt \quad (2)$$

در معادله (2)، a عامل کنترل کننده اتساع، b عامل انتقال و Y^* مبنی مزدوج مختلط تابع مادر می‌باشد که در معادله (3) آمده است:

$$Y_{a,b}^* = \frac{1}{\sqrt{|a|}} Y\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

تبدیل موجک قادر به محاسبه اطلاعات مربوط به فاز سیگنال به صورت محلی نیست. علاوه بر آن، خروجی تحلیل موجک برای ارتباط یافتن با حوزه فرکانس نیازمند تفسیر و البته آگاهی از مشخصات تابع مادر انتخابی است.

استاکول و همکاران در سال 1996 ابزار جدیدی در زمینه تحلیل‌های زمان-فرکانس سیگنال‌ها معرفی نمودند [12]. این ابزار که به تبدیل S یا استاکول (Stockwell) معروف شده، به عنوان یک تبدیل فوریه کوتاه وابسته به فرکانس و یا یک تبدیل موجک اصلاح شده برای محاسبه فاز شناخته می‌شود.

معادله (4) محاسبه این تبدیل را برای فرکانس f و با استفاده از پنجره گوسی g به مرکزیت τ در محور زمان، ارائه می‌کند:

$$ST(f,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)g(t-\tau)e^{-i2\pi ft} dt \quad (4)$$

پنجره گوسی از معادله (5) حاصل می‌شود:

$$g(t,f) = \frac{f}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} \quad (5)$$

3- جداسازی مؤلفه‌ها

تاکنون روشهای متنوعی برای دستیابی به بخش پالس گونه نگاشت‌های سرعت ثبت شده در نزدیک گسل معرفی شده‌اند. در بکارگیری این روشها باید به تفاوت‌های ذاتی آنها توجه داشت. به عبارت دیگر، آگاهی از اینکه هر کدام از این روشها به چه منظوری طراحی شده‌اند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با انجام فرآیند فیلتر کردن و پس از یافتن مؤلفه‌های پالس گونه و زمینه، با رسم نمودارهایی مانند آنچه در بخش 7 ارائه شده است مقدار جدیدی برای $(\frac{T_N}{T_P})_{cr}$ حاصل می‌شود. این فرآیند تکراری تا رسیدن به نقطه همگرایی با دقت مورد نظر ادامه می‌یابد. برای انجام مرحله فیلتر کردن، از خواص تبدیل S به شرح زیر بهره برده شده است.

برای یک سیگنال گسسته، خروجی محاسبه تبدیل S به صورت یک ماتریس مختلط ST خواهد بود. برای فیلتر کردن بخش مورد نظر کافی است ماتریس فیلترکننده M به گونه‌ای طراحی شود که درایه‌های متناظر با بخشهای مورد نظر حاوی عدد یک و سایر درایه‌های آن باشد. البته، در نواحی مرزی برای رفع آثار قطع ناگهانی، اعداد با شیب ملایمی (به عنوان مثال، کسینوسی) بین 0 و 1 تغییر می‌کنند. سپس با استفاده از معادله (7) ماتریس سیگنال هدف F به دست می‌آید. با انجام تبدیل معکوس S طبق معادله (8) بخش فیلتر شده، حاصل می‌شود. با کم کردن این بخش از سیگنال اصلی، قسمت باقیمانده به دست می‌آید:

$$ST(\tau, f) = M(\tau, f) * ST(\tau, f) \quad (7)$$

$$x(t)_{filtered} = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} F(\tau, f) dt \right) e^{i2\pi ft} df \quad (8)$$

در این مقاله برای شروع فرآیند سعی و خطا از مقدار زیر استفاده می‌شود:

$$(f_{cutoff})_{filtering} = 1Hz$$

5- تعیین پریود پالس

روشهای متعددی در ادبیات فنی برای تخمین مقدار پریود پالس وجود دارد (اطلاعات جزئی‌تر در مورد این روشها در مرجع 9). در حقیقت، هر یک از مدل‌هایی که برای مطالعه پالس‌های نزدیک گسل ارائه شده‌اند، به ناچار، راهکاری برای محاسبه این پارامتر مهم در نظر گرفته‌اند. همچنین، تاکنون، چندین رابطه تجربی برای توصیف ارتباط بین پریود پالس و مشخصات زلزله نزدیک گسل عرضه شده‌اند [7]. این روشها، بجز تفاوت‌های اساسی از دیدگاه محاسباتی، عموماً نتایج نزدیک به هم تولید می‌کنند [10]. دلیل اصلی این تشابه را می‌توان در یکسان بودن بانک داده‌های مورد

3- برای بررسی اثر و سهم بخشهای متفاوت محتوای فرکانسی زلزله در پاسخ سازه‌ها، روش صحیح‌تر این است که تقسیم‌بندی فرکانسی یا فرآیند فیلتر کردن در سراسر دامنه زمان انجام گیرد. با این رویکرد، تشخیص پالس‌های چندگانه نیز تسهیل می‌شود. مدل‌های ریاضی و تحلیل موجک عموماً بازه زمانی از پیش تعیین شده وقوع پالس را مورد تمرکز قرار می‌دهند.

4- روش فیلتر کردن

فرآیند فیلتر کردن در سراسر دامنه زمان انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، پس از کاربرد موفق جایگزینی تبدیل موجک با تبدیل S در مرجع [10]، در این مقاله، از این تبدیل برای تعمیم روش معرفی شده در مرجع [7] استفاده شد؛ اما، تعیین بازه مربوط به فرکانس چندان ساده نخواهد بود. اگر نگاهت حرکت زمین با یک روش سنتی مانند فیلترهای متداول بالاگذر و پایین گذر، به بخشهایی با فرکانس کم و زیاد تقسیم شود (به عنوان مثال، فرکانس جداکننده‌ای برابر دو هرتز در نظر گرفته شود) باید انتظار داشت که در پاسخ سازه یک درجه آزادی، نقطه متناظر با پریود حوالی 0/5 ثانیه بیان کننده تغییر در غلبه رفتار طیفی توسط مؤلفه‌های پالس گونه (دارای فرکانس زیر دو هرتز) یا زمینه (دارای فرکانس‌های بیش از دو هرتز) باشد؛ بنابراین، گرچه در برخی مراجع، فرکانسی در حدود یک هرتز به عنوان مرز بین فرکانس کم و زیاد معرفی شده است، انتخاب پیشاپیش چنین مرزی صحیح نخواهد بود. در مرجع [7]، از نسبت بحرانی پریود طبیعی سازه به پریود پالس به عنوان شاخصی برای تحلیل میزان شدت پدیده نزدیک گسل یاد شده است. برای مقادیر بزرگتر از این نسبت بحرانی، رفتار سازه‌ها توسط پالس و برای مقادیر کمتر به وسیله مؤلفه زمینه کنترل می‌شود.

در این مطالعه نیز از روش مشابهی بهره گرفته شده است و بازه فرکانسی فیلتر کردن به روشی تکراری مشخص شده است. به این منظور، مقدار اولیه‌ای برای $(\frac{T_N}{T_P})_{cr}$ در نظر گرفته می‌شود که در آن T_N پریود بحرانی به عنوان نقطه‌ای از محور افقی طیف پاسخ کشسان است که سهم مؤلفه‌های پالس گونه و زمینه از پاسخ طیفی منسوب به شتابنگاشت اصلی تغییر می‌کند. حال، با دانستن T_P ، مقدار T_N و متعاقب آن f_N مشخص می‌شود. اگر:

$$(f_{cutoff})_{filtering} = f_N \quad (6)$$

پالس گونگی به کار رفته است، مجذور سرعت جمععی (Cumulative Squared Velocity, CSV)، که در معادله (9) ارائه شده است، به عنوان عاملی که میزان انرژی حمل شده توسط سیگنال را نشان می‌دهد، به کار می‌رود:

$$CSV(t) = \int_0^t V^2(t) dt \quad (9)$$

بر این اساس، از میان 10 نگاشت مذکور، تنها دو نگاشت مربوط به رخدادهای طبس و بم قابلیت تقسیم‌بندی به عنوان پالس گونه را داشته‌اند. این دو نگاشت در مقاله حاضر بیشتر مطالعه شده‌اند. مشخصات نگاشتهای مورد استفاده در این مقاله در جدول (1) آورده شده است.

جدول (1): مشخصات نگاشتهای مورد استفاده

رویداد	سال	ایستگاه	نزدیکترین فاصله (کیلومتر)	نام اختصاری	پریود پالس (s)
سان فرناندو	1971	Pacoima Dam	1/8	San	1/6
نورت پالم اسپرینگز	1986	North Palm Springs	4	Nsp	1/4
نورت ریچ	1994	Rinaldi	6/5	Nor	0/95
کوبه	1995	Takarazuka	0/3	Kob	1/11
چی - چی	1999	TCU075	0/9	Chi	3/6
طبس	1978	طبس	1/2	Tab	5/91
بم	2003	بم	1	Bam	2/18

6-2- فیلتر کردن نگاشتهای

با انجام الگوریتم پیشنهادی بر روی نگاشتهای ذکر شده در قسمت قبلی، نتایج نهایی پس از همگرا شدن روش تکراری در تعیین نسبت پریود بحرانی، در اشکال (1) تا (4) برای چهار نگاشت از جدول (1)، ارائه شده است. با بررسی اجمالی این اشکال، واضح است که اثر نگاشت زمینه با فرکانس زیاد در شکل ظاهری تاریخچه زمانی شتاب حرکت زمین در حوزه زمان قابل توجه تر است. همین امر برای مؤلفه پالس گونه در مورد تاریخچه زمانی سرعت صادق است.

برای بررسی ویژگیهای پاسخ سازه‌ها در قبال این مؤلفه‌ها، نمودارهای طیف پاسخ کشسان سه‌جانبه لگاریتمی با میرایی 5%، در اشکال (1) تا (4) رسم شده‌اند. برای تعیین نسبت بحرانی پریود سازه به پریود پالس، مطابق اشکال (5) تا (8) از مقادیر مقیاس شده شبه سرعت طیفی (Pseudo Spectral Velocity, PSV) استفاده می‌شود.

استفاده دانست، که به نوبه خود، موجب ایجاد شباهت در منحنی‌های برازش شده به نتایج می‌شود.

روش پیشنهادی این مقاله در گروه روشهای مبتنی بر پردازش سیگنال قرار می‌گیرد؛ بنابراین برای محاسبه پریود پالس و استفاده از آن در بخش قبلی، مراجع [6] و [7] در نظر گرفته شد؛ ولی به دلیل تشابه مذکور در این نتایج، از مقادیر محاسبه شده توسط تحلیل موجک در مرجع [6] بهره برده شد. باید توجه داشت که تشخیص دقیق مقدار پریود پالس نقش تعیین کننده‌ای در نتیجه نهایی فرآیند جداسازی پیشنهادی در این مقاله نخواهد داشت؛ بلکه، تخمین توأم با خطای این پارامتر می‌تواند به افزایش زمان محاسبات و تعداد سعی و خطای لازم برای همگرایی منجر شود.

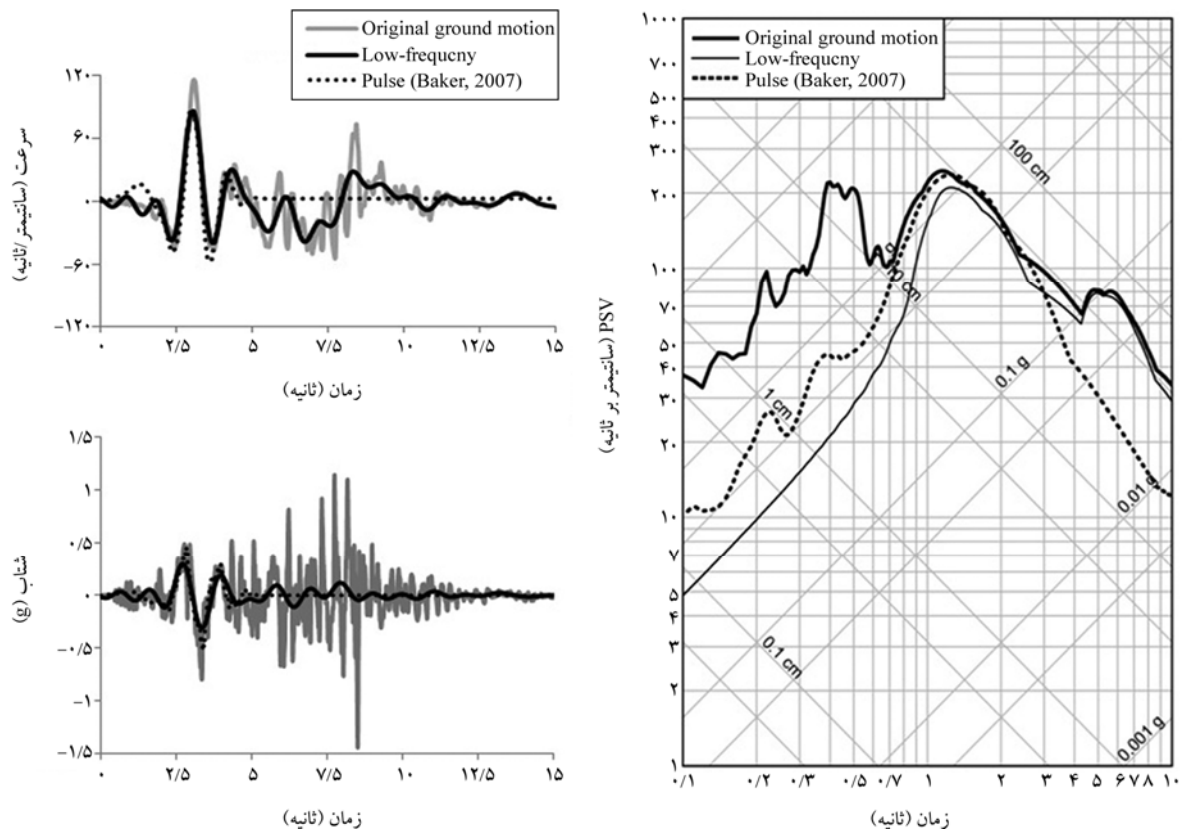
6- مثالهای عددی

در این بخش، فرآیند تشریح شده به عنوان روش پیشنهادی این مقاله در بخشهای گذشته، در قالب چندین مثال عددی بررسی شده است. به این منظور، تعدادی نگاشت پالس گونه انتخاب و بخشهای با فرکانس کم و زیاد آنها جداسازی شده‌اند.

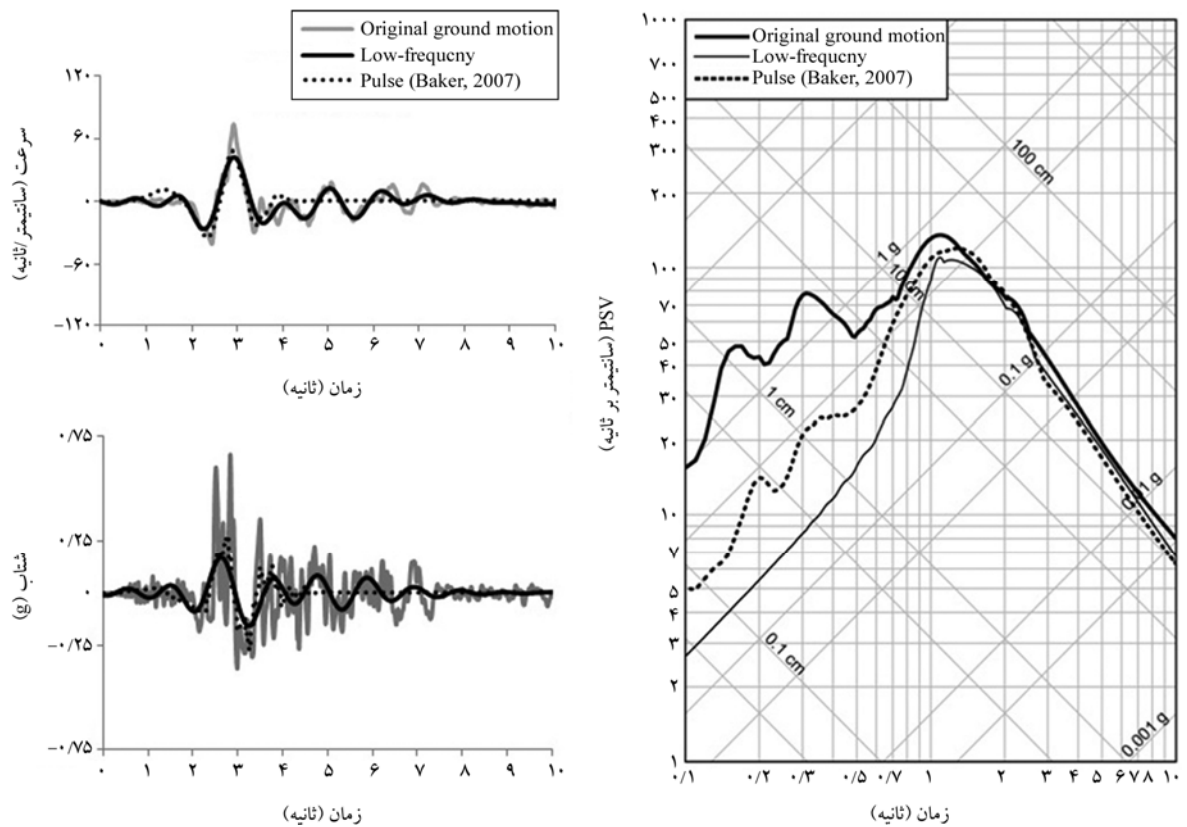
6-1- نگاشتهای مورد استفاده

برای انجام روش پیشنهادی، هفت نگاشت، که توسط تحقیقات قبلی به عنوان نگاشتهای پالس دار شناخته شده‌اند، برگزیده شده‌اند. پنج نگاشت از مجموعه 91 نگاشت پالس دار موجود در بانک داده‌های NGA با شاخص پالس گونگی نزدیک به یک انتخاب شده‌اند، تا امکان مقایسه نتایج با روشهای قبلی و بویژه، روش تحلیل موجک فراهم شود. همچنین دو نگاشت متعلق به داده‌های ثبت شده در زلزله‌های طبس و بم بررسی شده‌اند. در این قسمت، پس از تقسیم نگاشتهای مذکور به دو مؤلفه پالس گونه (با فرکانس کم) و زمینه (با فرکانس زیاد)، برخی گزاره‌ها و نتایج مطرح شده در مطالعات قبلی، ارزیابی شده‌اند.

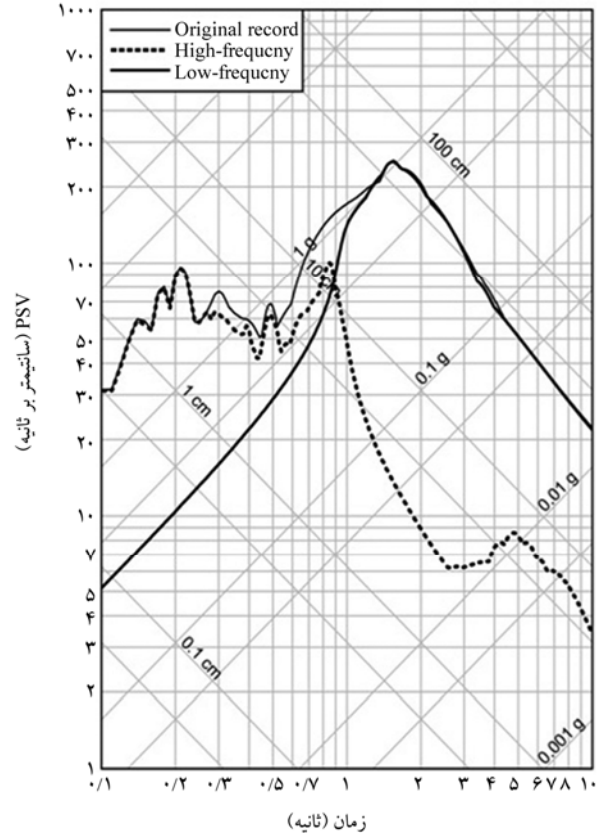
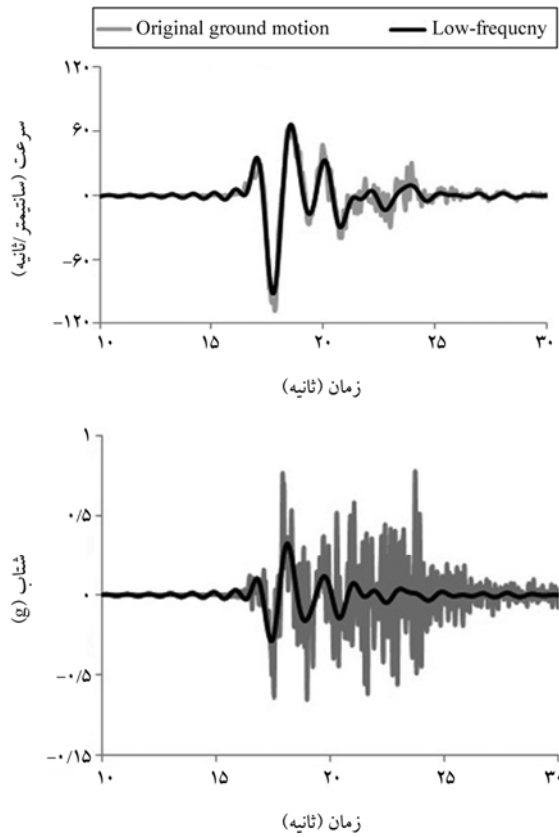
در سال 2010، یغمایی سابق [14] ده نگاشت ثبت شده در حوزه نزدیک در ایران را از دیدگاه لرزه‌شناسی و با استفاده از روش تحلیل موجک ارائه شده در مرجع [6] ارزیابی نموده است. معیار گزینش این ده نگاشت مقدار نزدیکترین فاصله تا گسل کمتر از 15 کیلومتر، در نظر گرفته شده است. در رابطه‌ای که برای تعیین شاخص



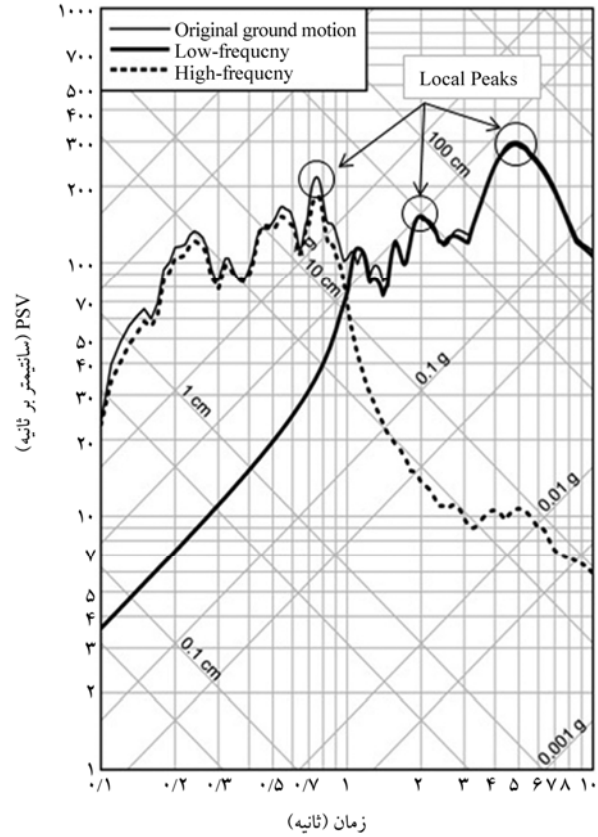
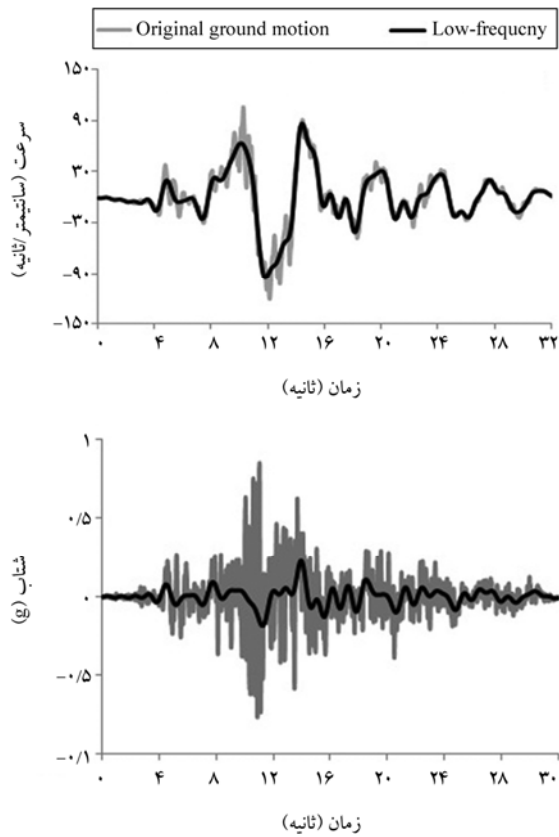
شکل (1): نتایج فیلتر کردن برای تکاشت San



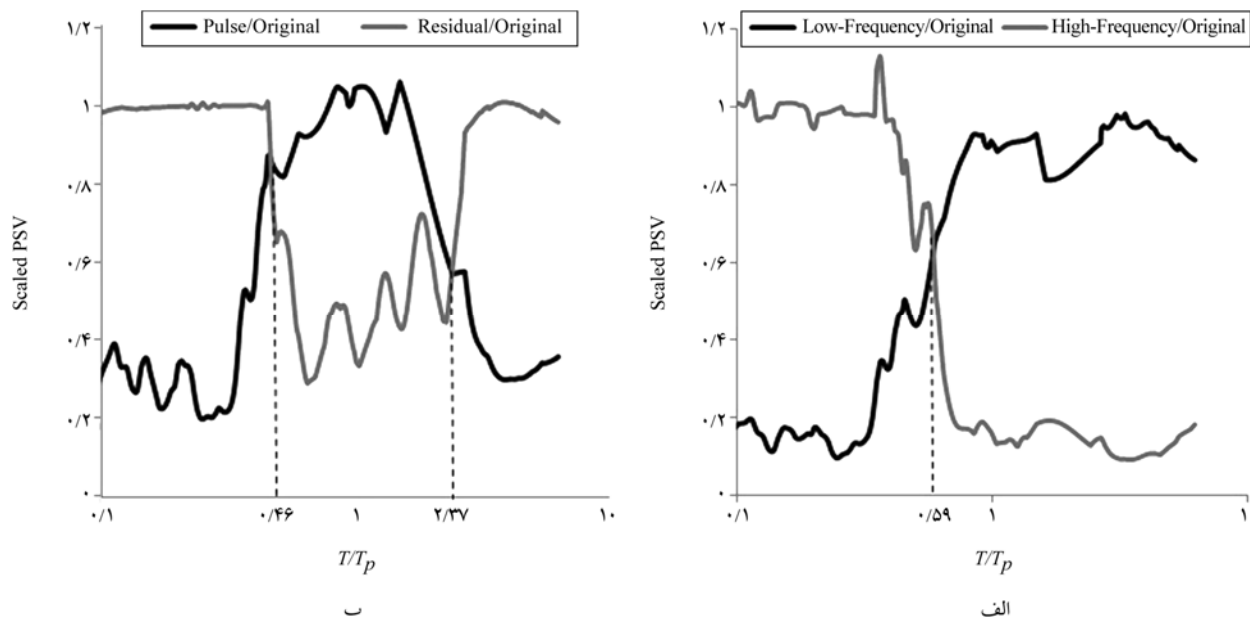
شکل (2): نتایج فیلتر کردن برای تکاشت Nsp



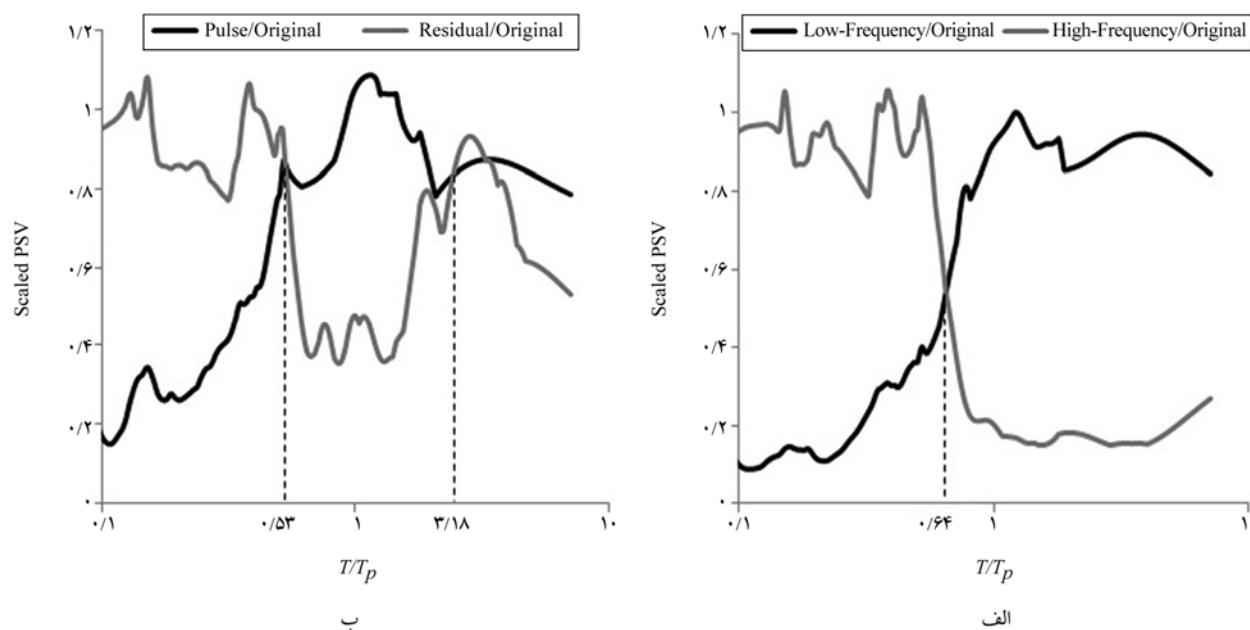
شکل (3): نتایج فیلتر کردن برای تکاشت Bam



شکل (4): نتایج فیلتر کردن برای تکاشت Tab



شکل (5): شبه سرعت مقیاس شده نداشت San



شکل (6): شبه سرعت مقیاس شده نداشت Nsp

خواص طیف پاسخ در فرآیند مرحله به مرحله جداسازی است. به بیان دیگر، معیار "حمل بیشترین انرژی" توسط مؤلفه پالس گونه با معیار بیشترین "تأثیر گذاری در تولید پاسخهای طیفی" جایگزین شده است.

برای کمی سازی ویژگیهای تاریخچه های زمانی مربوط به حرکت زمین، پارامترهای گوناگونی پیشنهاد شده اند. در این مطالعه و تنها به منظور تخمین شدت سیگنال های مورد بررسی، از مقادیر حداکثر شتاب

شایان ذکر است، تجربیات موفقی در زمینه کاربرد فیلتر تبدیل S در پردازش شتابنگاشتهای پالس گونه وجود داشته است [15]؛ اما، توجه اصلی در این مراجع معطوف به ادغام یک پالس ساده ریاضی با شتابنگاشت مصنوعی برای تولید شتابنگاشت مصنوعی پالس گونه و یا مطالعه پاسخ دینامیکی سازه ها در حوزه زمان-فرکانس بوده است [16 و 17]. ایده اصلی روش پیشنهادی در مقاله حاضر مربوط به جداسازی بخشهای گوناگون شتابنگاشت با دخیل ساختن

7- گزاره‌های موجود در ادبیات فنی در زمینه نگاشتهای

نزدیک گسل

با عنایت به سابقه تحقیقات متمرکز بر پدیده رخدادهای نزدیک گسل، در ادامه مهمترین دستاوردهای این تحقیقات در مورد شتابنگاشتهای انتخاب شده در پژوهش حاضر مورد راستی آزمایی قرار گرفته است.

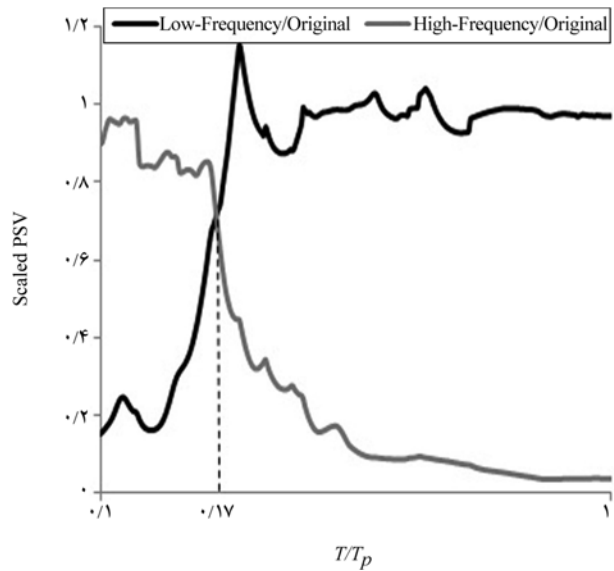
1-7- شکل طیفی

وجود بیش از یک قله متمایز در طیف کشسان مربوط به نگاشتهای نزدیک گسل، توسط محققان قبلی [7] به اثبات رسیده است. دلیل این پدیده را می‌توان مربوط به غنای محتوای فرکانسی در فواصل نزدیک به گسلش دانست. به عبارت دیگر، در این فواصل طیف گسترده‌ای از امواج با فرکانس‌های گوناگون، که هنوز فرصتی برای کاهش نیافته‌اند، حضور دارند. قهاری و همکاران [7] با بررسی کمی این پدیده، نتیجه‌گیری کردند که شکل طیفی برای این نگاشتهای توسط دو بخش متمایز پالس گونه و زمینه کنترل می‌شود. در مورد نگاشت طیس در شکل (4) سه نقطه بیشینه یا قله موضعی قابل تشخیص هستند.

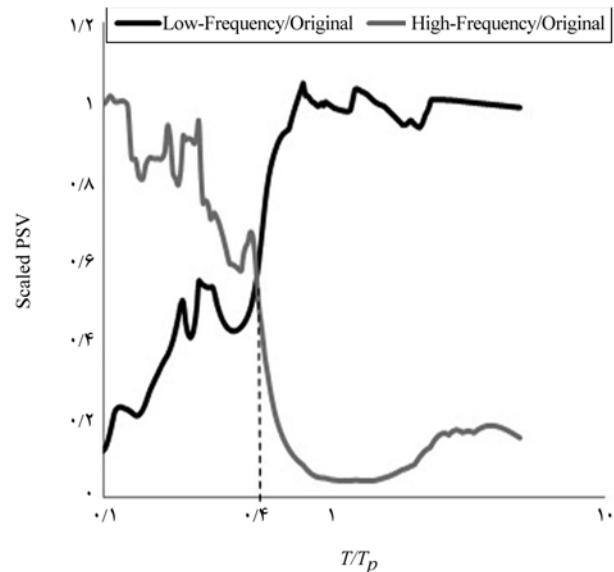
2-7- نسبت پرپود پالس به پرپود سازه

علوی و کراوینکلر [5] با بررسیهای گسترده در زمینه پاسخ سازه تحت زلزله‌های نزدیک گسل بازه 0/375 تا 3 را برای نسبت بحرانی پرپود معرفی کردند. بر این اساس سیستم‌های ساختمانی که پرپود طبیعی ارتعاش آنها در این بازه واقع شود، رفتار آنها تحت غلبه پالس خواهد بود. قهاری و همکاران [7] مقدار 0/38 را به عنوان آستانه رفتار کنترل‌شونده توسط مؤلفه پالس گونه پیشنهاد کرده‌اند.

اشکال (5) تا (8)، نشان می‌دهد که این توصیه‌ها در مورد نگاشتهای مورد استفاده در این مقاله بجز نگاشت زلزله طیس، صادق است. در مورد این نگاشت، حضور سه ناحیه بارز فرکانسی در مؤلفه پالس گونه، موجب می‌شود که نقطه تغییر رفتار طیفی جابه‌جا شود. به عبارت دیگر، گرچه، پرپود پالس برابر 5/91 ثانیه در نظر گرفته می‌شود، اما، حضور مؤلفه قوی دیگری با پرپود حوالی 2 ثانیه موجب تغییر در نسبت بحرانی شده است (جزئیات بیشتر در قسمت 7-4 ارائه شده است)؛ به طوری که اگر نمودار با استفاده از



شکل (7): شبه شتاب مقیاس شده نگاشت Tab



شکل (8): شبه شتاب مقیاس شده نگاشت Bam

حرکت زمین (Peak Ground Acceleration, PGA)، حداکثر سرعت حرکت زمین (Peak Ground Velocity, PGV)، مجذور سرعت جمع‌ی CSV، شدت آریاس (Arias Intensity) و معیار شدت طیفی هاوسنر (Housner Intensity) ارائه شده در معادله (10) بهره برده شده است:

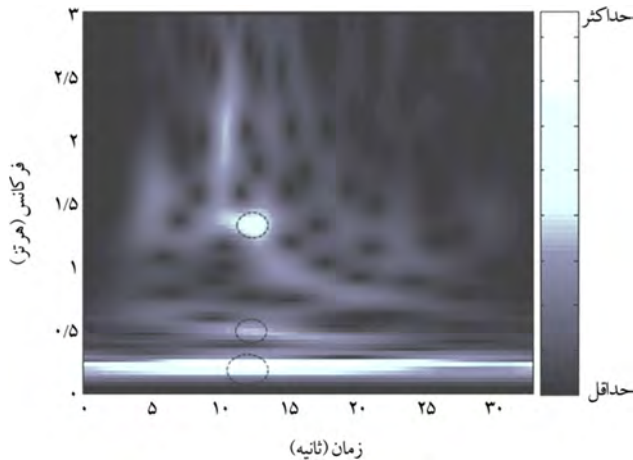
$$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(T, \zeta) dt \quad (10)$$

مقادیر محاسبه شده برای مؤلفه‌های فیلتر شده در قیاس با سیگنال اصلی در بخش بعدی بیشتر مورد بحث قرار گرفته است.

موجود باشد، قابل استخراج به طور مشابه با پالس اول خواهند بود. البته، تعیین این پریود برای پالس دوم خود چالش دیگری است.

4-7- امکان تقریب با پالس های ساده

با توجه به اینکه قسمت پالس گونه سیگنال های زلزله در حوزه نزدیک از نظر محتوای فرکانسی به صورت نوار باریک (Narrow Band) در نظر گرفته می شود، استفاده از پالس های ساده مثلثی، مربعی و یا سینوسی با یک پریود معین برای مطالعه پاسخ سازه ها تحت این زلزله ها و یا تولید شتابنگاشت های مصنوعی توصیه شده است. بررسی دقیق خروجی های زمان - فرکانس، صحت این مدعا را مورد تردید قرار می دهد (شکل 9). با مراجعه به این شکل، حضور سه ناحیه فرکانسی در زمان وقوع پالس به خوبی قابل ملاحظه است.



شکل (9): محتوای فرکانسی نگاشت طیس در زمان

شکل (4) نشان می دهد که نقاط سه گانه قله موضعی در نمودار طیف پاسخ کشسان دقیقاً متناظر با این سه ناحیه فرکانسی در نگاشت زلزله اند. این قله های نسبی در پریودهای 0/7، 2 و 5 ثانیه رخ داده اند. به عبارت دیگر، در مدتی که در تاریخچه زمانی حرکت زمین در نگاشت طیس شاهد وقوع مؤلفه پالس گونه ایم، سه فرکانس 0/22، 0/52 و 1/35 هرتز (به ترتیب معادل با پریود 4/54، 1/92 و 0/74 ثانیه) بیشترین شدت را از خود نشان می دهند؛ بنابراین، پالس های تک پریود، احتمالاً، تصویر کاملی از پالس حقیقی در موارد مشابه ارائه نخواهند کرد. با مراجعه به شکل (10)، مشخص است که شتابنگاشت باقیمانده در روش بیکر، بهتر از شتابنگاشت زمینه حاصل از تبدیل k، شتابنگاشت اصلی را نمایندگی می کند. روش بیکر اقدام

پریود پالس برابر 2 ثانیه رسم شود، مقدار 0/48 برای این نسبت به دست می آید.

برای تخمین پریود پالس، در این مقاله از رابطه پیشنهادی بیکر [6] بهره برده شده است. این رابطه بر اساس جداسازی مؤلفه های تشکیل دهنده تاریخچه زمانی سرعت حرکت زمین پایه گذاری شده است. بیکر بخشی را به عنوان پالس معرفی کرده است که در تحلیل موجک بیشترین میزان حمل انرژی سیگنال را از خود نشان می دهد. به عبارت دیگر، در هنگام جداسازی بخش پالس گونه قیدی برای مقدار پریود مؤلفه ها و یا زمان وقوع آنها در تاریخچه زمانی قرار داده نمی شود. سرانجام، آنچه را به عنوان جمعی از مؤلفه های سازنده پالس جدا نموده است، در معرض تبدیل فوریه قرار داده و با توجه به حداکثر دامنه فوریه پالس جدا شده، "پریود پالس" را تخمین می زند و معرفی می کند.

3-7- پالس های چند گانه

گرچه، تعداد پالس های چند گانه ثبت شده در مراجع معتبر نگاشت های پالس گونه نزدیک گسل چندان زیاد نیست، اما، احتمال وجود چنین شرایطی و کنترل کارایی روش در این شرایط باید مورد بحث قرار گیرد. باید توجه داشت که موضوع مورد اشاره به عنوان یک چالش در تمام روش های پیشنهادی مشابه [7] مطرح بوده است. با توجه به توضیحات بخش قبل در مورد وجود چندین مؤلفه کم فرکانس قوی و متمایز در نگاشت طیس، در مورد پالس های چند گانه نیز می توان گفت که روش بیکر در قیاس با راهکارهای مشابه، گرچه، تمایز بین دو پالس را به صورت مستقیم لحاظ نخواهد کرد، اما، به طور ضمنی تأثیر حضور یک پالس ثانویه بر انرژی را در تخمین پریود پالس در نظر می گیرد.

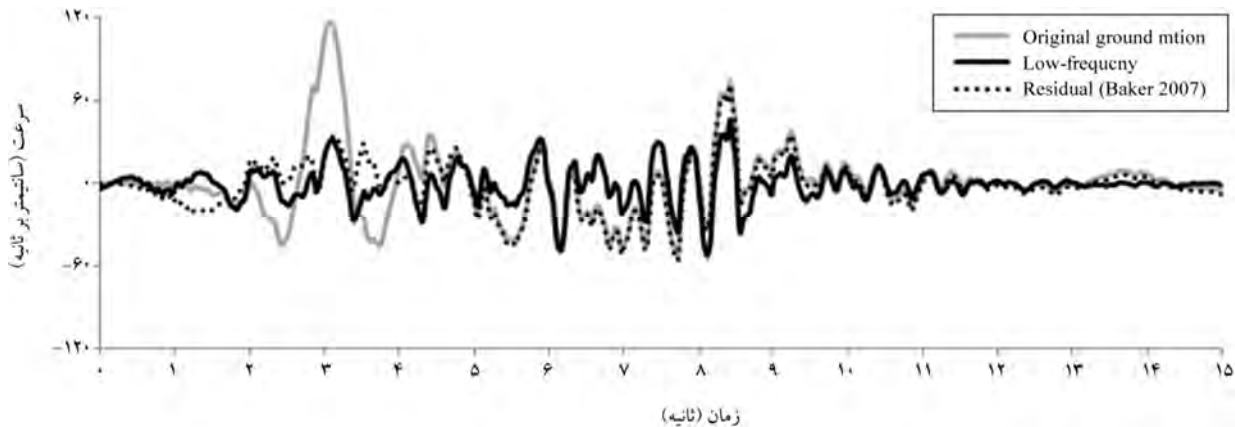
مطابق فرآیند پیشنهادی در این مقاله، چنانچه، بیش از یک پالس مهم موجود باشد، مرز جدا کننده در فرآیند فیلتر کردن به سمت مهم ترین پالس از دیدگاه طیف پاسخ تمایل پیدا می کند. چنانچه پالس های موجود در اولویت های بعدی دارای پریود بیش از اولین پالس جدا شده باشند، بر اساس منطق جداسازی به صورت خود به خود در بخش پالس گونه یا کم فرکانس حضور خواهند داشت. در غیر این صورت، یک راهکار پیشنهادی می تواند انجام دوباره مجموعه فرآیند پیشنهادی بر روی بخش با فرکانس زیاد جدا شده از نگاشت اصلی باشد. چنانچه، پالس های بعدی در این بخش به جا مانده باشند و تخمین مناسبی از پریود آنها

این زلزله‌ها را تحت غلبه بخش فرکانسی خاصی قلمداد کرد. مقایسه پارامترهای شدت در شکل (12)، مشخص می‌کند که بخشهای کم فرکانس یا پالس‌های جدا شده با دقت خوبی برخی از مشخصات نگاشت اصلی را نمایندگی می‌کنند؛ اما، در تولید برخی دیگر از سنج‌های شدت ناتوانند. به عبارت دیگر، مقادیر حداکثر سرعت حرکت زمین یا انرژی حمل شده توسط سیگنال و شدت طیفی هاورنر تا حد زیادی متأثر از بخش پالس‌گونه شتابنگاشت است. شایان ذکر است که شواهد موجود در ادبیات فنی از تأثیرگذاری این پارامترها در پیش‌بینی رفتار دینامیکی سازه خبر می‌دهد [18]. از سوی دیگر، مقادیر بیشینه شتاب حرکت زمین و یا شدت آریاس وابسته به محتوای فرکانسی بالا در شتابنگاشت خواهد بود؛ گرچه، رویکرد جدید طراحی بر اساس عملکرد و بحث تخمین ظرفیت غیرخطی سازه عملاً، از اهمیت پارامتر PGA در مهندسی سازه کاسته است [19].

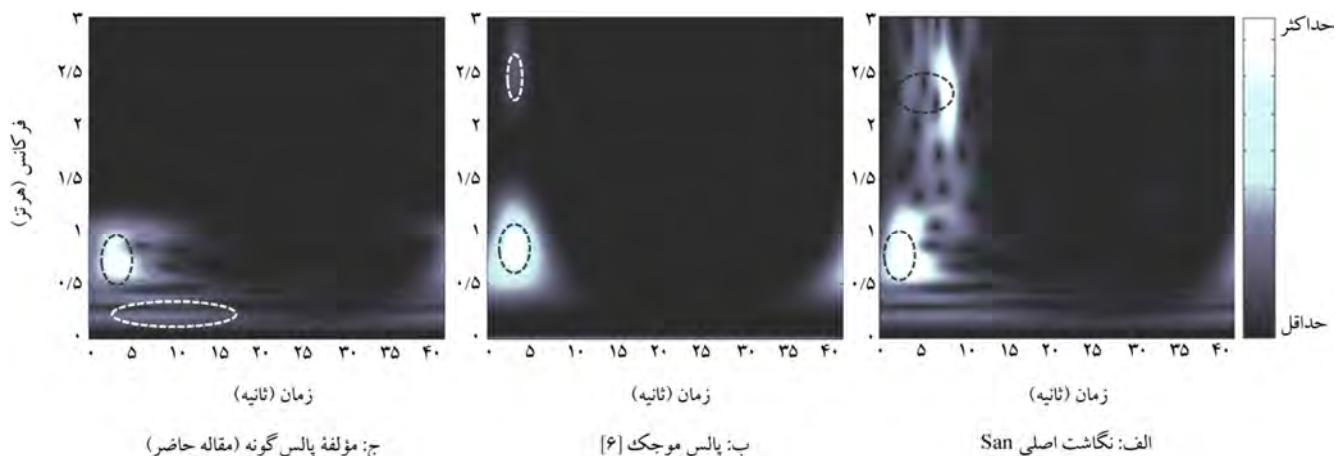
به جداسازی 10 موجک منتخب با بیشترین قابلیت حمل انرژی نموده است و باقیمانده نگاشت در این روش، به طور بدیهی، شباهت بیشتری چه در حوزه زمان و چه در حوزه فرکانس با نگاشت اصلی خواهد داشت. حال آنکه، روش مورد استفاده در این مقاله، به منزله یک فیلتر پایین‌گذر در سراسر دامنه زمان عمل می‌کند و نگاشت زمینه در این روش حاصل حذف تمام مؤلفه‌های با فرکانس کم از نگاشت اصلی است. مشاهده شکل (11) به درک این مسأله کمک می‌کند.

5-7- محتوای فرکانسی غنی

با عنایت به موارد ذکر شده در بخش 7-1 و بررسی اشکال (5) تا (8)، مشخص می‌شود که هیچ یک از دو مؤلفه معرفی شده در این مقاله (پالس‌گونه و زمینه)، به تنهایی، قادر به نمایندگی خواص نگاشت اصلی نیستند. به عبارت دیگر، وجود گستره‌ای از مؤلفه‌های فرکانسی در نگاشت اصلی باعث می‌شود تا نتوان پاسخ سازه تحت



شکل (10): مقایسه مؤلفه با فرکانس زیاد با نگاشت باقیمانده حاصل از تحلیل موجک نگاشت San

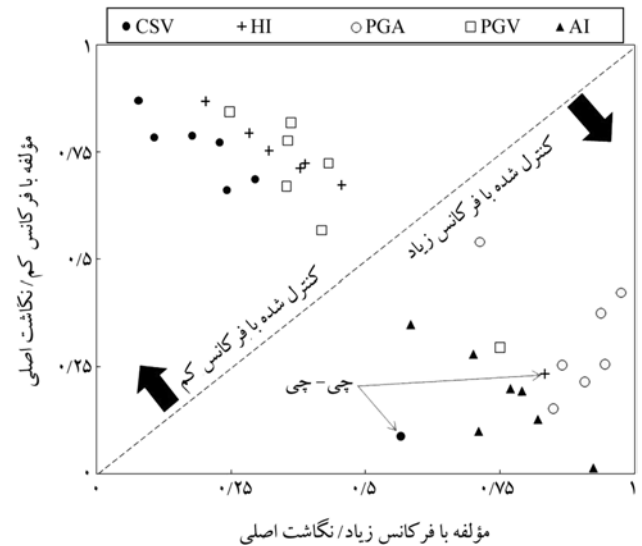


شکل (11): مقایسه تغییرات حوزه زمان - فرکانس

تداوم تقریباً مشابهی دارند؛ بنابراین، در سنج‌های شدتی که محاسبه آنها وابسته به انتگرال‌گیری در دامنه زمان است و در نتیجه به زمان تداوم سیگنال‌ها وابسته است، الگوی متفاوتی برای شتابنگاشت چی-چی وجود دارد.

8- توانایی بخش پالس گونه در تخمین رفتار دینامیکی سازه‌ها

در این بخش، نتیجه حاصل در قسمت 7-4 در مورد ایده کاربرد قسمت‌های پالس گونه شتابنگاشت به جای شتابنگاشت اصلی در تحلیل‌های دینامیکی عمیق‌تر بررسی شده است. به منظور ارزیابی توانایی پیش‌بینی رفتار دینامیکی سازه‌ها با مؤلفه‌های تولید شده از یک شتابنگاشت پالس گونه به روش پیشنهادی در این مقاله، در این بخش، دو سازه بتنی 6 و 9 طبقه مدلسازی سه‌بعدی شده‌اند. سازه‌های قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط، سطح خطر لرزه‌ای متوسط و نوع خاک شماره 3 بر اساس آیین‌نامه 2800 ویرایش سوم و در انطباق با آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی ACI05 طراحی شده است. شکل (13) نمایی از مدل‌های سازه‌ای در نرم‌افزار اجزای محدود SeismoStruct را به تصویر می‌کشد [20]. جزئیات مشخصات دینامیکی سازه‌ها در جدول (3) آورده شده است. برای تخمین ظرفیت سازه، دو سازه و تحت سه مجموعه هفت‌تایی از شتابنگاشت‌های تولید شده با روش پیشنهادی مقاله تحلیل دینامیکی فزاینده انجام شده است: شتابنگاشت‌های اصلی، شتابنگاشت‌های پالس مربوط به مؤلفه با فرکانس کم و شتابنگاشت‌های زمینه مربوط به مؤلفه با فرکانس زیاد. در تحلیل‌ها از پاسخ طیفی شتابنگاشت در پریود مد اول سازه $Sa(T_1)$ ،

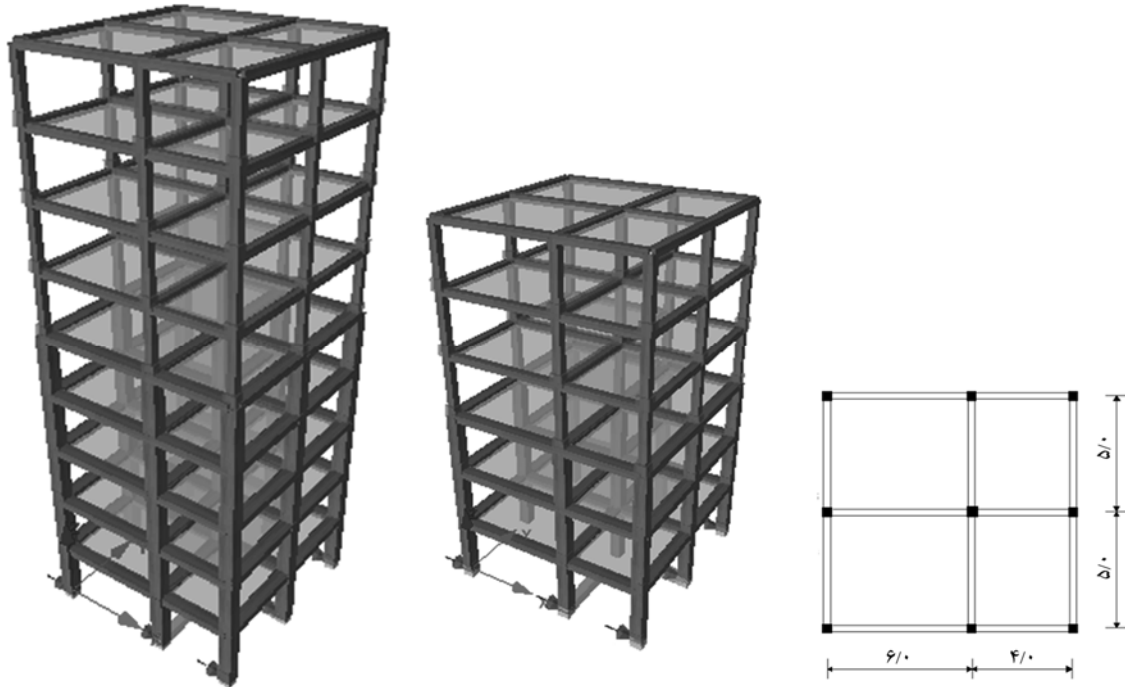


شکل (12): مقایسه سنج‌های شدت حرکت زمین برای مؤلفه با فرکانس کم و زیاد به صورت تراز شده به مقادیر محاسبه شده برای شتابنگاشت اصلی

تنها مورد استثنا در این روش، مربوط به شتابنگاشت چی-چی است. در این مورد خاص، مشخص شده است، تمام سنج‌های شدت توسط بخش با فرکانس زیاد شتابنگاشت کنترل می‌شود. این مورد را می‌توان به ماهیت متفاوت و البته جالب این سیگنال، که منجر به نتایج حاصل از شکل (12) شده است، منسوب نمود. با مقایسه مقادیر پریود میانگین و زمان تداوم حرکت شدید در جدول (2)، ملاحظه می‌شود که مؤلفه زمینه و شتابنگاشت اصلی هر دو با مدت زمان بیش از 27 ثانیه با محتوای فرکانسی بسیار نزدیک به هم موجب ارتعاش سازه‌ها خواهند شد؛ در حالی که مؤلفه پالس گونه کمتر از 4 ثانیه تداوم داشته است. در مورد شتابنگاشت طبس، هر دو مؤلفه فیلتر شده و سیگنال اصلی، زمان

جدول (2): مقایسه سنج‌های محتوای فرکانسی برای شتابنگاشت‌های مورد استفاده

نام	پریود میانگین (ثانیه)		زمان تداوم حرکت شدید (ثانیه)		
	شتابنگاشت اصلی	مؤلفه با فرکانس کم	مؤلفه با فرکانس زیاد	شتابنگاشت اصلی	مؤلفه با فرکانس کم
Tab	0/47	1/86	0/37	16/2	17/72
San	0/5	1/36	0/35	7/08	5/8
Nsp	0/55	1/21	0/35	4/46	4/04
Bam	0/5	1/56	0/23	8/3	3/35
Nor	0/8	1/27	0/45	7/15	6/37
Kob	0/68	1/4	0/38	5/07	4/89
Chi	0/77	2/91	0/65	27	3/92



شکل (13): نمایی از قابهای 6 و 9 طبقه سه بعدی مدلسازی شده به همراه پلان سازه

نسبت به پیشنهاد مقادیر پریود مؤثر (در حالت وقوع نرم‌شدگی) اقدام می‌کنند. به عنوان مثال، در استاندارد 2800 از 1/5 برابر پریود مد اول به عنوان کرانه بالایی در فرآیند مقیاس کردن شتابنگاشتها استفاده شده است که به طور محافظه کارانه سعی در کمی‌سازی نرم‌شدگی سازه‌ای دارد. در مقاله حاضر، با توجه به کاربرد تحلیل دینامیکی فزاینده و رویکرد تخمین ظرفیت، قطعاً سازه‌های مدلسازی شده سطوح بالای غیرخطی شدن و نرم‌شدگی را تجربه خواهند کرد؛ بنابراین، پریود مد اول سازه بتنی 9 طبقه، که برابر 1/12 ثانیه در حالت کشسان است، با غیر خطی شدن تدریجی و در آستانه فروپاشی به بیش از 1/5 ثانیه خواهد رسید که در محدوده پالس‌های مورد بررسی قرار دارد. از سوی دیگر، مؤلفه‌های زمین با فرکانس زیاد نقش زیادی در افزایش مشارکت مدهای بالاتر ارتعاش در تولید پاسخ دینامیکی خواهند داشت. بر این اساس، پریود مد اول سازه بتنی شش طبقه برابر 0/77 ثانیه در محدوده تحریک توسط مؤلفه‌های با فرکانس زیاد قرار می‌گیرد.

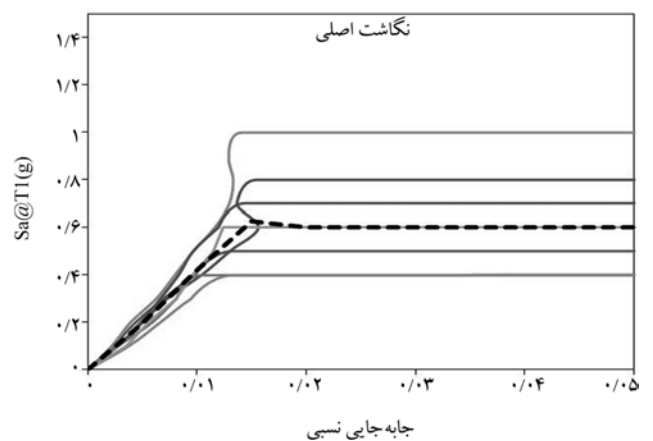
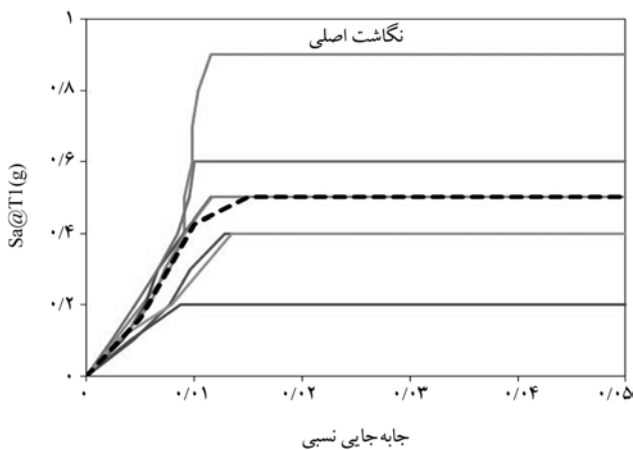
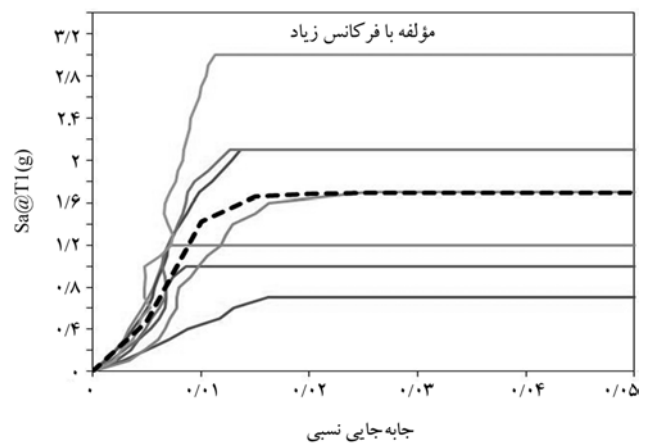
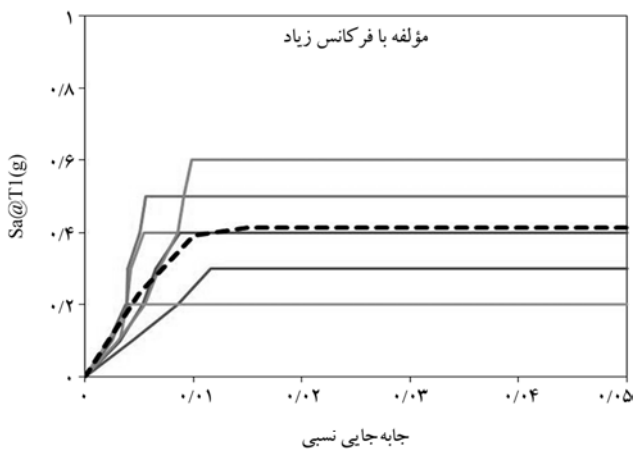
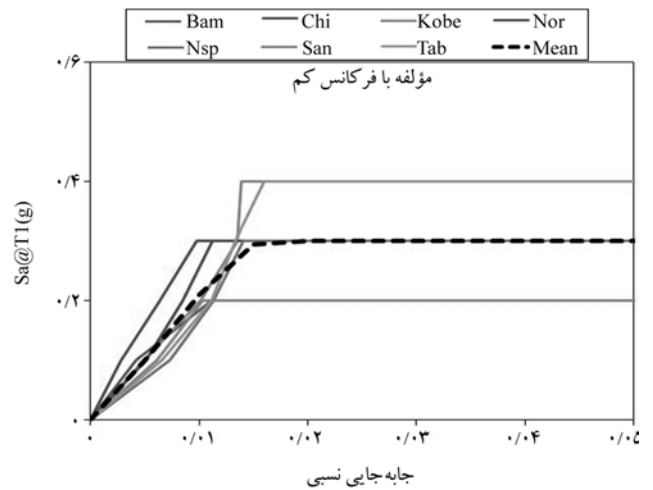
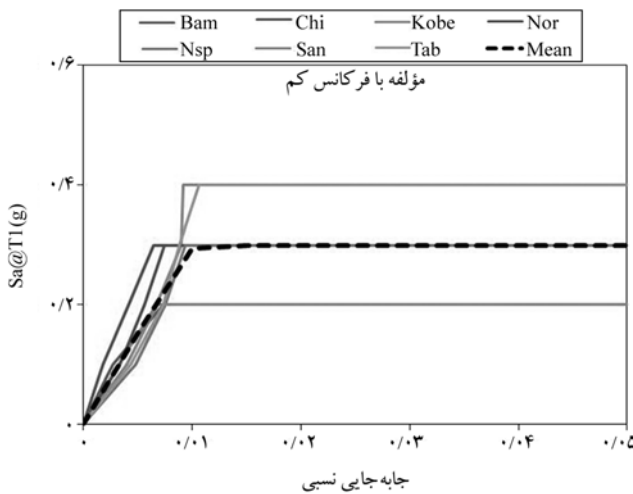
مقادیر میانگین منحنی ظرفیت حاصل شده برای سه مجموعه شتابنگاشت در شکل (16) مقایسه شده است. منحنی میانگین تحلیل دینامیکی فزاینده به عنوان شاخصی برای تخمین ظرفیت سازه به کار می‌رود. بر این اساس، اگر، شتابنگاشتی توانایی ذاتی بیشتری برای

جدول (3): مشخصات دینامیکی سازه‌های مورد استفاده

تعداد طبقه	شماره مد	پریود (ثانیه)	درصد جرم مؤثر جهت x	درصد جرم مؤثر جهت y	وزن سازه (تن)
9	1	1/12	0	69	1116
	2	1/11	70	0	
6	1	0/77	0	70	744
	2	0/76	70	0	

به عنوان سنجش شدت (Intensity Measure) استفاده نموده و تقاضای لرزه‌ای در قالب پارامتر حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقه IDR_{MAX} ، اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل در اشکال (14) و (15) ارائه شده است. این نتایج محصول بیش از 2100 تحلیل دینامیکی غیرخطی برای گامهای افزایش مقیاس شدت برابر 0/05g تا دستیابی به جابه‌جایی نسبی هدف 0/2 و یا رخداد ناپایداری بوده است.

تحت تحریکهای دینامیکی شدید، که مقدار انرژی تحمیل شده به سازه افزایش می‌یابد، سازه آسیب‌دیده به ناحیه رفتار غیر خطی وارد می‌شود. آسیب‌دیدگی سازه مترادف با از دست دادن سختی و به اصطلاح نرم‌شدگی تدریجی در حین باربری (Structural Softening) است. به عبارت دیگر، پریود طبیعی ارتعاش سازه به تدریج افزایش می‌یابد. از این رو، اکثر آیین‌نامه‌های طراحی یا بهسازی لرزه‌ای



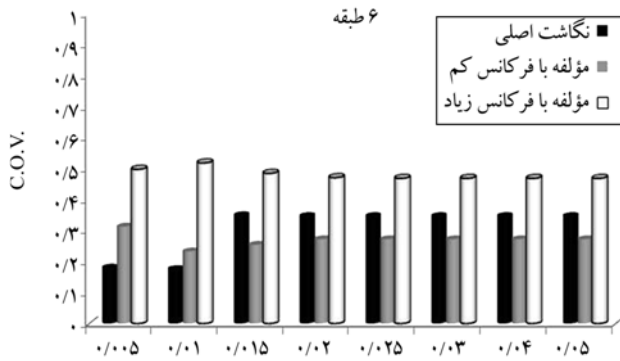
شکل (15): منحنی‌های تحلیل دینامیکی فزاینده برای سازه 9 طبقه تحت مجموعه شتابنگاشتهای کم فرکانس (بالا)، مجموعه شتابنگاشتهای با فرکانس بالا (وسط) و مجموعه شتابنگاشتهای اصلی (پایین)

شکل (14): منحنی‌های تحلیل دینامیکی فزاینده برای سازه شش طبقه تحت مجموعه شتابنگاشتهای کم فرکانس (بالا)، مجموعه شتابنگاشتهای با فرکانس بالا (وسط) و مجموعه شتابنگاشتهای اصلی (پایین)

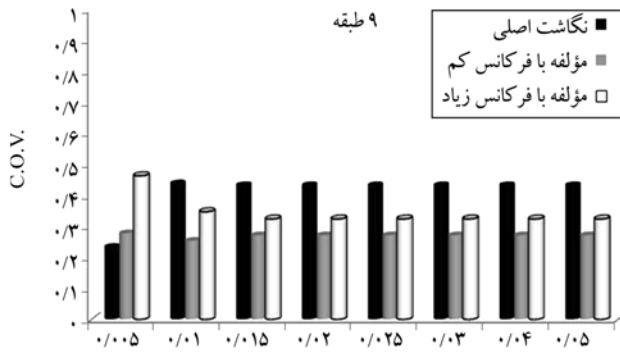
شتابنگاشت به سطوح از پیش تعیین شده‌ای از پاسخ طیف شتاب الاستیک در مد اول سازه $Sa(T_1)$ کنترل شده است.

در چهارچوب مهندسی زلزله عملکردی (Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)، به حداقل رساندن پراکنندگی

تحریک لرزه‌ای و وارد آوردن آسیب شدید به سازه را داشته باشد، با سطح کمتری از شدت موجب به وجود آمدن مقادیر بیشتری از جابه‌جایی در سازه می‌شود. در این مقاله، شدت حرکت زمین در هر مرحله از تحلیل دینامیکی فزاینده با استفاده از مقیاس کردن خطی



جابه‌جایی نسبی

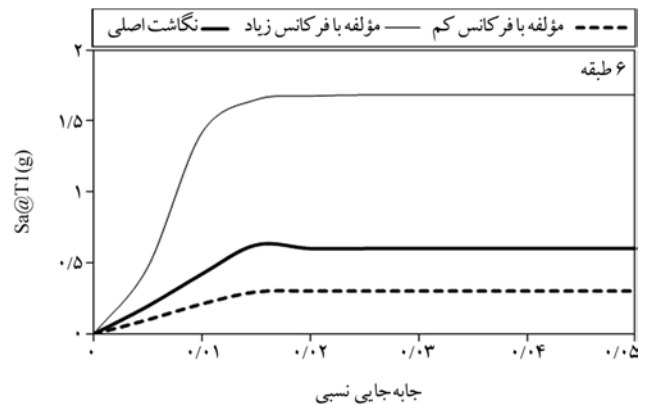


جابه‌جایی نسبی

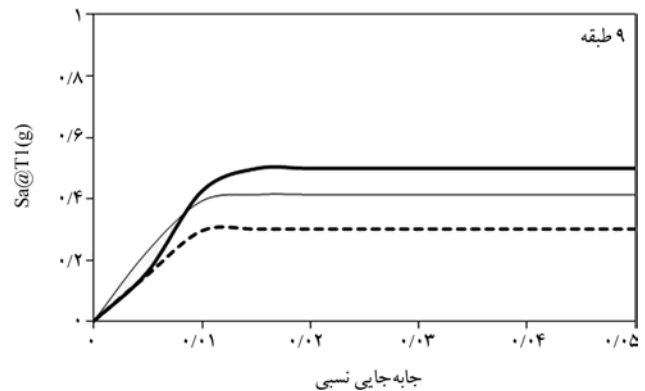
شکل (17): مقایسه متوسط پراکندگی آماری منحنی‌های میانگین تحلیل دینامیکی فزاینده برای سازه شش طبقه (بالا) و سازه 9 طبقه (پایین) محاسبه شده در قالب ضریب تغییرات C.O.V.

پالس و شتابنگاشت اصلی در اشکال (18 تا 20) ارائه شده است. سازه سخت‌تر نماینده پتانسیل بسیار کم برای تحریک توسط پالس و سازه نرم‌تر مستعد متأثر شدن از تحریکات پالس‌گونه حتی در حالت ارتجاعی خواهد بود. نتایج چنین ارزیابی سازه‌ای گرچه، قابل تعمیم به تمام حالات محتمل بر اساس تنوع خواص سازه‌ها نیست، اما، به عنوان یک مثال نقض سعی دارد نتیجه‌گیری‌های عمومی درباره امکان کاربرد پالس‌های ساده به جای شتابنگاشت واقعی را مورد تردید قرار دهد. بر اساس نتایج تحلیل، پریود اولیه طبیعی سازه در حالت ارتجاعی در جابه‌جایی‌های نسبی کم ممکن است الگوی تخمین ظرفیت توسط پالس را نسبت به شتابنگاشت اصلی دستخوش تغییر کند؛ اما، در جابه‌جایی‌های نسبی زیاد و آستانه ناپایداری و با توجه به نرم‌شدگی سازه اعمال پالس به جای نگاشت اصلی همچنان تخمین محافظه‌کارانه و دور از حقیقت از ظرفیت دینامیکی سازه را به ارمغان خواهد آورد.

آماري در تخمین پاسخهای دینامیکی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ از این رو، شکل (17) مقدار ضریب تغییرات ظرفیت سازه را در سطوح مختلف تغییر مکان به تصویر می‌کشد. شکل (17) نشان می‌دهد که در هر دو سازه، کاربرد بخش پالس‌گونه کمترین پراکندگی آماری را تولید می‌کند. این امر با توجه به محتوای فرکانسی با پهنای کم این مؤلفه‌ها و به تبع آن کاهش تنوع در سیگنال‌های موجود برای تحریک سازه قابل انتظار است.



جابه‌جایی نسبی

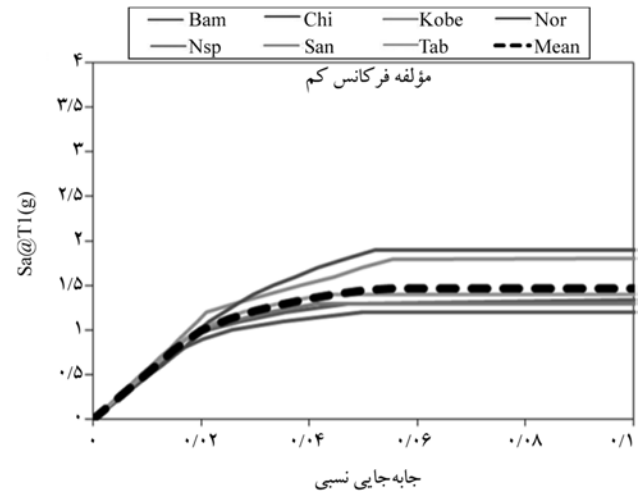
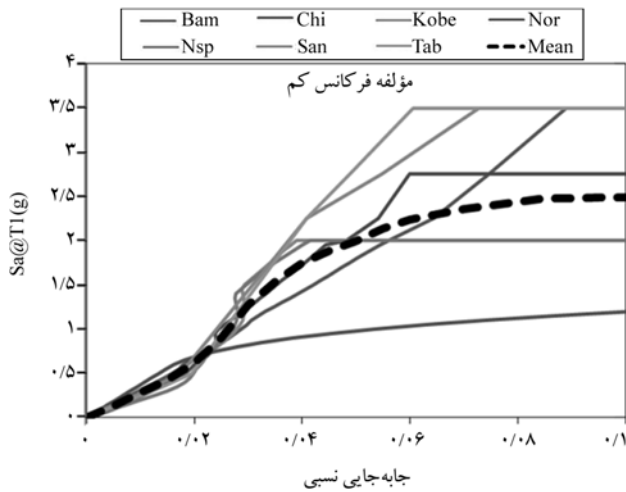


جابه‌جایی نسبی

شکل (16): مقایسه منحنی‌های میانگین تحلیل دینامیکی فزاینده برای سازه شش طبقه (بالا) و سازه 9 طبقه (پایین)

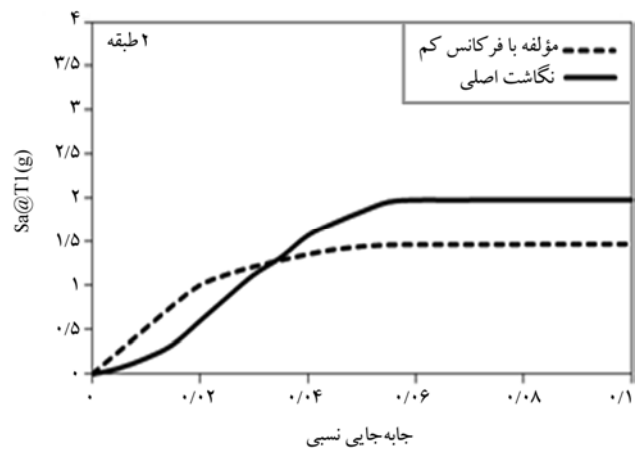
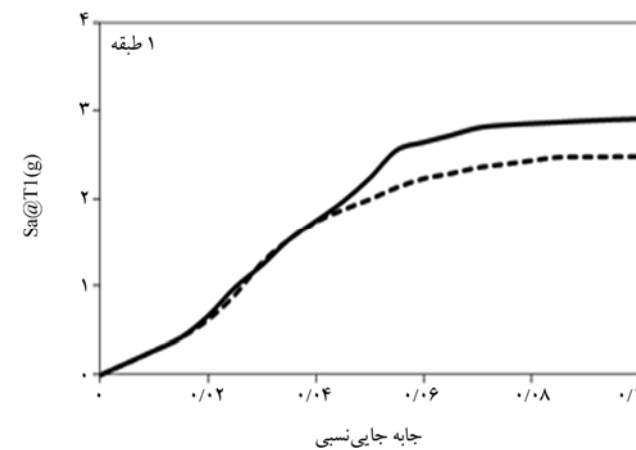
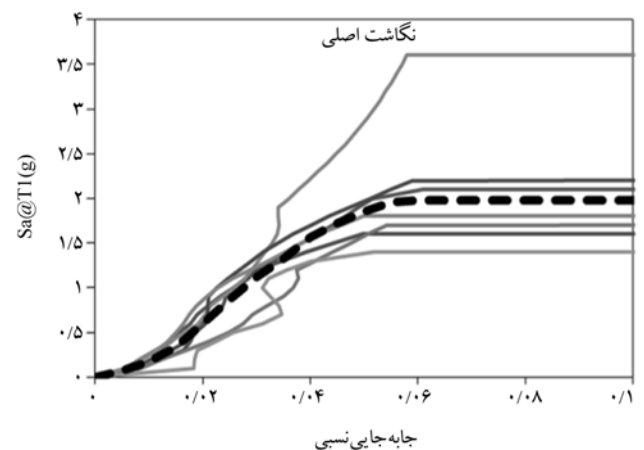
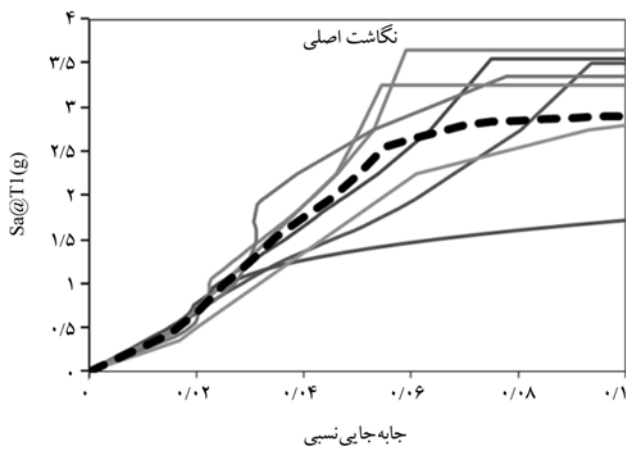
9- تأثیر پریود طبیعی ارتعاش سازه بر نتایج

بر اساس توضیحات بخش قبل، سعی شده است تا انتخاب مشخصات دینامیکی سازه‌های بتنی پوشش‌دهنده حداقل فرضیات مرتبط با توانایی شتابنگاشت‌ها و پالس‌های مورد استفاده در تحریک سازه باشد. به منظور افزایش تنوع در سیستم‌های مورد مطالعه و بررسی اثر پریود طبیعی سازه در حالت کشسان بر نتایج، دو سازه قاب خمشی فولادی 3 و 12 طبقه به گونه‌ای که پریود مد اول آن 0/43 و 1/71 ثانیه باشد مدلسازی شد و نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده آنها تحت



شکل (18): خروجی تحلیل دینامیکی فزاینده برای قاب خمشی فولادی 12 طبقه

شکل (19): خروجی تحلیل دینامیکی فزاینده برای قاب خمشی فولادی سه طبقه



شکل (20): مقایسه منحنی میانگین تحلیل دینامیکی فزاینده حاصل از کاربرد شبانگاشتهای اصلی و پالس‌های جداشده

حرکت زمین، که در حوزه نزدیک گسل ثبت می‌شوند، معرفی شده است. همچنین، توانایی این تبدیل در جایگزینی روشهای سنتی پردازش سیگنال در شناسایی مشخصات رخدادهای نزدیک گسل

10- نتیجه گیری

در این مقاله، روش جدیدی بر مبنای استفاده از تبدیل کوبه منظور بررسی محتوای فرکانسی تاریخچه‌های زمانی پالس‌گونه

اصلی مبنی آن است که استفاده از پالس‌های ساده و دارای یک پریود معین تصویر کاملی از پالس حقیقی ارائه نخواهد کرد. گرچه، برای دستیابی به نتایج دقیقتر، بررسی تخصصی موضوع با تعداد بیشتری نگاشت پالس‌گونه لازم خواهد بود، با توجه به هماهنگی نسبی بین محتوای فرکانسی زلزله و پاسخ سازه به آن، بویژه در تحلیل‌های دقیقتر تاریخچه زمانی و یا غیر خطی، اطمینان از در نظر گرفتن تمام المان‌های فرکانسی در پالس جدا شده حیاتی خواهد بود (بویژه، در مورد سازه‌های خاص و نامنظم که امکان فعالسازی مدهای بالاتر وجود دارد).

- گرچه، در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه‌های سه‌بعدی، کاربرد بخشهای خاصی از شتابنگاشت با توجه به خواص مدی سازه مورد بررسی ممکن است تقریباً قابل قبولی از پاسخ سازه ارائه نماید، اما، در به دست آوردن ظرفیت سازه و با نگاه مهندسی عملکردی، بویژه در سطوح بالای رفتار غیر خطی و یا نامنظمی در سازه، این دستاورد قابل تعمیم نیست. به عنوان نمونه، ظرفیت در آستانه فروپزش سازه حاصل از کاربرد بخشهای پالس‌گونه در این تحقیق، در مورد سازه شش طبقه 50% و سازه 9 طبقه 40% با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شتابنگاشت‌های اصلی تفاوت دارد.

11- مراجع

1. Mavroeidis, G.P. and Papageorgiou, A.S. (2003). A mathematical representation of near-fault ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(3), p. 1099-1131.
2. Somerville, P.G. (Sept. 15, 1998). Development of an improved ground motion representation for near-fault ground motions. *Proc. of the SMIP 98 Seminar on utilization of strong motion data* (p. 1-20). CA: California Division of Mines and Geology, Sacramento.
3. Somerville, P.G., Smith, N., Graves, R. and Abrahamson N. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, 68(1), p. 180-203.
4. Rupakhety, R., Halldorsson, B., and Sigbjörnsson, R. (2011). Estimating coseismic deformations from near source strong motion records: methods and case

ارزیابی شده است. سپس، با مدلسازی سه‌بعدی دو سازه قاب خمشی بتنی امکان توانایی بخشهای پالس‌گونه و بدون پالس نگاشت در تخمین پاسخ دینامیکی سازه‌ها به روش تحلیل دینامیکی فزاینده مورد ارزیابی کمی واقع شده است. با استفاده از روش پیشنهادی هفت نگاشت پالس‌گونه مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصل با دستاوردهای موجود در این زمینه مقایسه شده است. این نتایج را به اختصار می‌توان این گونه برشمرد:

- گزاره‌های عمومی حاصل از تحقیقات بین‌المللی در زمینه رخدادهای نزدیک گسل در مورد مجموعه نگاشت‌های انتخاب شده در این تحقیق، بویژه، دو نگاشت داخلی مورد بررسی صادق است. از آنجا که، کمبود نگاشت‌های ثبت شده در حوزه نزدیک در ایران صحت و دقت نتیجه‌گیریها را با مشکل مواجه می‌سازد، برای اظهار نظر دقیقتر، استفاده از روشهای تولید شتابنگاشت مصنوعی مخصوص حوزه نزدیک، که نیازی به نگاشت‌های ثبت شده ندارند، مانند مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی فیزیک گسل و انتشار امواج، ضروری به نظر می‌رسد.

- مدلهایی که مانند تحلیل موجک، سعی در پالایش اجزای واقعی سیگنال پالس‌گونه را دارند، تقریبهای دقیقتری نسبت به فرم‌های بسته ریاضی از پالس ارائه می‌کنند. با توجه به ضعف این مدل‌ها در مطالعات پارامتری پاسخ سازه‌ها (نیاز به کاربرد فرم‌های بسته برای تقریب پالس)، استفاده از مدل‌های ریاضی که چندین فرکانس را پوشش دهند، می‌تواند راهگشا باشد.

- بر خلاف نتایج مربوط به سازه‌های یک درجه آزاد خطی (پاسخهای طیفی)، استفاده از بخشهای خاصی از شتابنگاشت (پالس‌گونه یا زمینه)، به تخمین لزوماً دست بالا یا دست پایین ظرفیت سازه سه‌بعدی منجر نخواهد شد. به عبارت دیگر، جهت خطای منسوب به کاربرد این مؤلفه‌ها به جای شتابنگاشت اصلی قابل پیش‌بینی نیست. این امر را می‌توان به تنوع مکانیسم‌های خرابی و تغییر خواص دینامیکی سازه تحت بار زلزله نسبت داد؛ به گونه‌ای که محتوای فرکانسی مورد نیاز برای تحریک و تخریب سازه لزوماً منطبق با بخشهای پالس‌گونه یا زمینه نیست.

- مقایسه پاسخهای طیفی متناظر با بخشهای فیلتر شده از شتابنگاشت

15. Jian, F., Lin, T., and Hu, L. (2008). Time-varying spectrum estimation of earthquake ground motion via modern time-frequency analysis. *Journal of Vibration and Shock*, 26(11), p. 79-82.
16. Fan, J., Chao, L.U., and Hui, Z. (2013). Relation between time-frequency characteristic of earth-quake ground motions and structural earthquake responses. *Engineering Mechanics*, 6, p. 0-19.
17. Hayden, C.P., Bray, J., and Abrahamson, N. (2014). Selection of near-fault pulse motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 140(7).
18. Hayden, C.P., Bray, J., and Abrahamson, N. (2014). Selection of near-fault pulse motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
19. Luco, N. and Cornell, C. (2007). Structure-specific scalar intensity measures for near-source and ordinary earthquake ground motions. *Earthquake Spectra*, 23(2), p. 357-92.
20. Pinho, R. and Antoniou, S. (2009). *SeismoStruct Computer Program*.
- studies. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Vol. 8, No. 4, p. 787-811.
5. Alavi, B., and Krawinkler, H. (2001). *Effects of near-fault ground motions on frame structures* [Report No.138], John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA.
6. Baker, J.W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), p. 1486-1501.
7. Ghahari, S.F., Jahankhah, H. and Ghannad, M.A. (2010). Study on elastic response of structures to near-fault ground motions through record decomposition. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(7), p. 536-546.
8. Zhang, Y., Hu, Y., Zhao, F., Liang J., and Yang C. (2005). Identification of acceleration pulses in near-fault ground motion using the EMD method. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 4(2), p. 201-212.
9. Mollaioli, F. and Bosi A. (2012). Wavelet analysis for the characterization of forward-directivity pulse-like ground motions on energy basis. *Meccanica*, 47(1), p. 203-219.
10. Ghodrati Amiri, G. and Arian Moghaddam, S. (2014). Extraction of forward-directivity velocity pulses using s-transform-based signal decomposition technique. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(4), p. 1583-1614.
11. Cohen, L. (1995). *Time-frequency analysis: Theory and applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
12. Stockwell, R.G., Mansinha, L., and Lowe, R.P. (1996). Localization of the complex spectrum: The S transform. *IEEE Trans. Signal Process*, 44(4), p. 998-1001.
13. Dickinson, B.W. and Gavin, H.P. (2011). Parametric statistical generalization of uniform-hazard earthquake ground motions. *Journal of Structural Engineering*, 137(3), p. 410-422.
14. Yaghmaei-Sabegh, S. (2010). Detection of pulse-like ground motions based on continues wavelet transform. *Journal of Seismology*, Vol. 14, No. 4, 715-726.



Evaluation of the Pulse-Like Nature of Near-Fault Ground Motions Using S-Transform

Gholamreza Ghodrati Amiri

Professor Center of Excellence for Fundamental Studies in Structural Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Salar Arian Moghaddam

PhD Student, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran. (Corresponding Author)
Email: s.arianmoghaddam@iiees.ac.ir

Near-fault seismic events have been popular research topics in earthquake engineering, especially, in last two decades. A variety of research programs have been conducted to characterize the unique nature of near-fault events from both structural and seismological point of views. In this paper, after the introduction of S-Transform as a modern time-frequency representation which can measure local characteristics of a signal such as amplitude, frequency, and phase at any time instant, a new robust filtering method is proposed and applied to extract the pulse-like part of near-fault ground motion records. Seven pulse-like near-fault recorded ground motions have been selected from literature such that the comparison of results with similar available methods can be possible. After the extraction of pulse-like parts, the nonlinear dynamic behavior of two 3-D reinforced concrete moment frames with 6 and 9 stories is studied by using Incremental Dynamic Analysis (IDA) under support excitation by original ground motions, extracted pulses and residual ground motions. To investigate the sensitivity of results to the pulse period, two extra steel moment frames with 3 and 12 stories are modeled. The results deeply questions the reliability of the application of low-frequency extracted pulses as the representative of original ground motions in dynamic time history analysis, especially, when the nonlinear behavior is considered.

Keywords: Near-Fault Ground Motion Records, Pulse-Like, S-Transform, Incremental Dynamic Analysis.