



تاثیر محتوای فرکانسی زلزله‌های نزدیک گسل بر پاسخ ارتجاعی سازه‌ها

سیدفرید قهاری^۱، محمدعلی قناد^۲، حسین جهانخواه^۳

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران
Ghahari@gmail.com

خلاصه

نگاشت‌های زلزله ثبت شده در نواحی نزدیک گسل خصوصیات ویژه‌ای دارند که آنها را از سایر نگاشت‌ها متمایز می‌سازد. از جمله این خواص می‌توان به داشتن شتابی با محتوای فرکانسی بالا، سرعتی حاوی پالسهای پرپود بلند و جابجایی ماندگار اشاره کرد. در این مقاله با اعمال یک فیلتر Moving-Average (MA) بر روی نگاشت‌های سرعت تعدادی از زلزله‌های نزدیک گسل، پالسهای سرعت موجود در آنها که عموماً ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست می‌باشند از نواسانات فرکانس بالا که به جهت نزدیکی محل ثبت نگاشت تا منبع انتشار امواج میرا نشده‌اند، جدا می‌گردد. سپس با محاسبه طیف پاسخ ارتجاعی نگاشت‌های نزدیک گسل، مشاهده می‌شود که بر خلاف زلزله‌های دور از گسل، طیف پاسخ سازه‌ها دارای یک شکاف فرکانسی است. به این معنا که در محدوده‌ای نوسانات فرکانس بالا پاسخ سازه را تعیین می‌نمایند و در ناحیه دیگر پالسهای پرپود بلند.

کلمات کلیدی: زلزله‌های نزدیک گسل، جهت‌گیری انتشار شکست، محتوای فرکانسی بالا، طیف پاسخ ارتجاعی.

مقدمه

اولین یافته‌ها در مورد زلزله‌های نزدیک گسل به مطالعات انجام یافته پس از زلزله کرن کانتی (۱۹۵۲) باز می‌گردد [۱]. این نوع زمین‌لرزه‌ها توسط حرکات شدید پالسی با دوره زمانی کوتاه شناخته می‌شوند. این حرکات پالسی شکل مخصوصاً در نواحی با جهت‌گیری پیشرونده (Forward Directivity) که شکست گسل با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی به آن محل نزدیک می‌شود، بسیار آشکارتر خواهد بود [۲]. پالسهای جهت‌گیری پیشرونده به جهت الگوی تشعشعی تغییرشکل‌های برشی در صفحه گسل، در مولفه عمود بر گسل مشاهده شده و مولفه موازی گسل فاقد چنین پالسهایی است [۳، ۴]. علاوه بر این، نگاشت‌های ثبت شده در نواحی نزدیک گسل از لحاظ محتوای فرکانسی نسبت به زلزله‌های دور از گسل غنی‌تر می‌باشند. زیرا نزدیکی فاصله تا منبع انتشار امواج سبب می‌گردد تا فرکانسهای بالا از بین نرفته و بنابراین نگاشت حاصل برخلاف نگاشت‌های ثبت شده در نواحی دور از گسل، از محتوای فرکانسی بالاتری برخوردار گردد [۵]. گذشته از دو خصوصیت فوق، نگاشت‌های ثبت شده در طی زلزله‌های نزدیک گسل اخیر همانند ترکیه (۱۹۹۹) و تایوان (۱۹۹۹)، حاوی مقادیر بزرگی جابجایی دائمی زمین می‌باشند که این پدیده ناشی از تغییرشکل تکتونیکی زمین بوده و به آن فلینگ-استپ (Fling-Step) می‌گویند. این تغییرشکل در طول زمان لغزش در راستای لغزش گسل رخ داده و بنابراین عموماً در مولفه موازی گسل قابل روئت می‌باشد. به همین جهت در اکثر موارد با اثرات ناشی از جهت‌گیری انتشار شکست ترکیب نخواهد شد. همچنین به سبب زمان نسبتاً زیاد لغزش، این تغییرشکل دائمی زمین طبیعی استاتیکی داشته و به جز در مورد سازه‌هایی که امتداد شکست را قطع می‌کنند، برای سایر سازه‌ها خطر چندانی به بار نمی‌آورد [۶، ۷].

ز میان ویژگیهای ذکر شده برای زلزله‌های نزدیک گسل، یعنی پالسهای ناشی از جهت‌گیری انتشار شکست (در این مقاله منظور از جهت‌گیری انتشار شکست همان جهت‌گیری پیشرونده می‌باشد)، محتوای فرکانسی بالا و تغییرشکل تکتونیکی زمین، اثرات جهت‌گیری انتشار شکست به عنوان مهم‌ترین پارامتر در برآورد خطرات زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل مورد توجه قرار گرفته است. به همین سبب به جهت تعیین تاثیرات خاص این پدیده بر سازه‌ها و همچنین تهیه راهکارهایی جهت طراحی ایمن سازه‌ها، تلاشهای زیادی در جهت تحلیل و ارزیابی انواع مختلف سازه‌ها اعم از سیستم‌های یکدرجه آزادی و چنددرجه آزادی با رفتارهای مختلف مواد شامل ارتجاعی و غیرارتجاعی، تحت چنین تحریکات پالسی شکل، انجام یافته است [۸، ۹، ۱۰]. از آنجائیکه پالسهای ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست از لحاظ آماری طبیعتی نسبتاً قطعی دارند، مدل‌های مصنوعی زیادی جهت مدلسازی آنها ارائه شده

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران

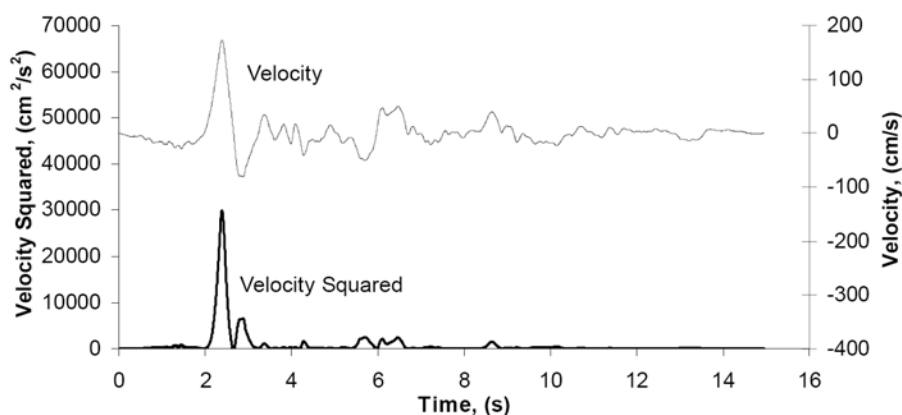
^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران

^۳ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران

است [۱۱] تا [۱۴]. پس از تعیین روابطی جهت مدلسازی پالسها، تعدادی از محققین کوشیده‌اند تا روابطی جهت برآورد پارامترهای این پالسها نظیر دامنه، پریود و تعداد سیکلها بر اساس خصوصیات زلزله نظیر بزرگا، فاصله و نوع خاک ارائه دهند [۱۶، ۱۵، ۱۴، ۴]. در این مقاله با صرفنظر نمودن از اثر فلینگ-استپ، پاسخ سازه‌ها در مقابل پالسهای پریود بلند موجود در نگاشت سرعت زلزله‌های نزدیک گسل همراه با نوسانات فرکانس بالای موجود در نگاشت شتاب آنها به صورت همزمان بررسی می‌گردد. زیرا تعدادی از تحقیقات نشان می‌دهد که تحت شرایطی خصوصاً برای سازه‌های کوتاه، محتوای فرکانسی بالای زلزله‌های نزدیک گسل می‌تواند نسبت به پالسهای پریود بالای اهمیت یابد [۱۸، ۱۷]. بدین سبب ابتدا با کمک فیلتر MA با فرکانس قطع مناسب، نگاشتهای زلزله‌های نزدیک گسل به دو بخش مجزا که دارای محتوای فرکانسی مختلف می‌باشند، تقسیم می‌گردند. بخش اول، پالسهای پریود بلند که با نام PTR^۱ در این مقاله از آنها نام برده می‌شود و می‌تواند عموماً ناشی از اثرات جهت‌گیری پیشرونده انتشار شکست باشند و بخش دوم با عنوان نگاشت زمینه یا BGR^۲ که تفاضل نگاشت اصلی و PTR بوده و محتوای فرکانسی بالایی دارد. لازم به ذکر است که BGR هر دو اثر نزدیکی به گسل و نوع خاک محل را در خود دارا می‌باشد. پس از تفکیک نگاشتها، طیف پاسخ ارتجاعی سازه‌ها در مقابل این دو گروه از نگاشتها محاسبه شده و نتایج ارائه می‌گردد.

نگاشتهای مورد استفاده

جمع‌آوری نگاشتهای نزدیک گسل که اثرات جهت‌گیری انتشار شکست را در نیز در خود داشته باشند، فقط با معیار فاصله ممکن نبوده و نیازمند فرآیندی ساده و کمی می‌باشد. در منابع موجود تعریف کمی مناسبی جهت تعیین نگاشتهای دارای پالسهای ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست وجود نداشته و روشهای شناسایی چنین پالسهایی عموماً بر اساس دو رویکرد مختلف بوده است. روش اول بر اساس شرایط هندسی و لرزه‌شناسی استوار بوده، بدین معنا که چنانچه نگاشتی در فاصله نزدیک گسل ثبت شده و شرایط هندسی لازم جهت ثبت پالس جهت‌گیری انتشار شکست را داشته باشد، در دسته نگاشتهای نزدیک گسل قرار می‌گیرد. روش دوم براساس مشاهده تاریخچه زمانی سرعت می‌باشد. در این روش بطور مثال پس از رسم تاریخچه زمانی سرعت، چنانچه دامنه پالس موجود (که همان بیشینه سرعت می‌باشد) از ۴ برابر بزرگترین دامنه پالس بعدی بزرگتر باشد، نگاشت مورد بررسی در دسته نگاشتهای نزدیک گسل قرار می‌گیرد [۱۹]. شکل (۱) نمونه‌ای از روند فوق را برای یک نگاشت زلزله نشان می‌دهد. در حین انجام این مقاله، روشی جهت تشخیص کمی نگاشتهای نزدیک گسل حاوی اثرات جهت‌گیری انتشار شکست ارائه گردید [۲۰]. در این تحقیق، با بکاربردن تحلیل موجک^۳ بزرگترین پالس سرعت موجود در نگاشت ثبت شده در ناحیه نزدیک گسل استخراج می‌گردد. اندازه پالس استخراج شده نسبت به نگاشت اصلی معیاری برای تشخیص نزدیک گسل بودن نگاشت مورد بررسی، می‌باشد. همچنین برای تشخیص دقیقتر، دو حد دیگر نیز مورد نظر قرار گرفته است: ۱- قراردادن پالسهای ناشی از جهت‌گیری انتشار شکست در ابتدای نگاشت و ۲- بالاتر بودن دامنه بیشینه سرعت نگاشت اصلی از یک مقدار مشخص (۳۰ سانتیمتر بر ثانیه). با بکارگیری فرآیند ذکر شده بر روی تمام مولفه‌های عمود بر گسل کلیه نگاشتهای موجود در منبع NGA^۴ که زلزله‌های مسبب آنها بزرگایی بیش از ۵/۵ داشته‌اند، ۹۱ نگاشت به عنوان نگاشتهای نزدیک گسل که اثرات جهت‌گیری انتشار شکست را در خود دارند، شناسایی گردید. در این مقاله از همین ۹۱ نگاشت بدست آمده، استفاده می‌شود.



شکل ۱- تاریخچه زمانی سرعت نگاشت مربوط به ایستگاه رینالدی در زلزله نورث ریج ۱۹۹۴ به همراه توان دوم آن [۱۹].

¹ Pulse Type Record

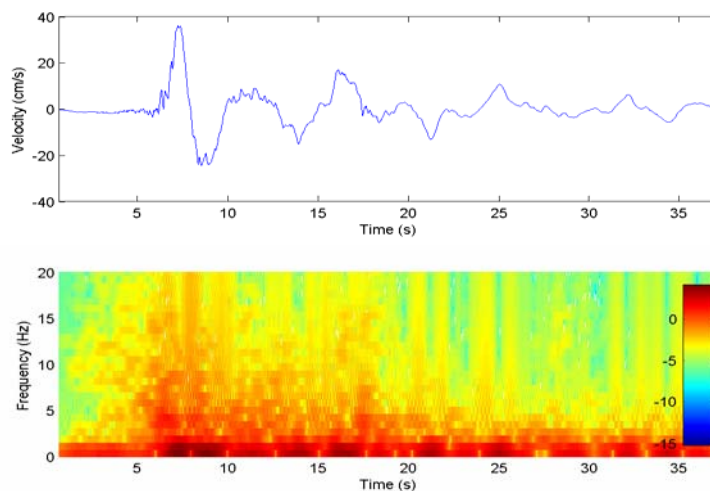
² Background Record

³ Wavelet Analysis

⁴ Next Generation Attenuation

جداسازی پالس و رکورد زمینه

همانگونه که پیش از این اشاره شد، نگاشتهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل تحت شرایطی دارای پالسهای ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست هستند که اعتقاد بر آنست تعداد آنها نمی‌تواند بیش از ۴ باشد [۷] و همانطور که عنوان شد، تعدا زیادی روابط ریاضی جهت مدلسازی این پالسها ارائه شده است. بنابراین شاید بتوان گفت یک راه استخراج ساده چنین پالسهایی از نگاشت سرعت زلزله‌های نزدیک گسل، استفاده از همین مدل‌های ریاضی و تولید نگاشت زمینه (BGR) از تفاضل مدل پالس از نگاشت اصلی می‌باشد. با این حال، این روند ممکن است منجر به نگاشتهای زمینه‌ای گردد که همچنان دارای نوسانات پرریود بلندی بوده که نمی‌تواند صرفاً به واسطه نزدیکی به گسل و یا اثر خاک محل باشد. علاوه بر این تعدادی از مدلسازی‌ها نشان داده است که مولفه سرعت نگاشتهای نزدیک گسل علاوه بر پالس اصلی دارای حرکات سینوسی کاهنده‌ای هستند که تا پایان نگاشت ادامه دارد [۲۱]. از همین روی، در این مقاله برای این پالسها عنوان کلی نگاشت پالس (PTR) استفاده شده است گرچه عموماً این پالسها ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست می‌باشند. به عنوان نمونه در شکل (۲)، یک نگاشت سرعت ثبت شده در ناحیه نزدیک گسل به همراه دامنه طیف فوریه آن در طول زمان (STFT)^۱ رسم شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، پالسهای فرکانس پایین فقط در محدوده پالس اصلی متمرکز نبوده بلکه تا انتهای نگاشت ادامه یافته‌اند. نکته مهم دیگر آنکه، مقدار بیشینه سرعت فرکانسهای پایین و بالا در یک بازه زمانی نسبتاً یکسان رخ داده است.



شکل ۲- تاریخچه زمانی (نمودار بالا) و طیف فوریه در طول زمان (نمودار پایین) برای نگاشت سرعت زلزله امپریال ولی (۱۹۷۹) در ایستگاه Brawley Airport.

بر اساس نتایج بدست آمده، همانند آنچه در شکل (۲) ارائه گردیده است، نگاشت PTR که می‌تواند شامل پالسهای ناشی از اثرات جهت‌گیری انتشار شکست باشد، به عنوان بخش فرکانس پایین هر نگاشت سرعت نزدیک گسل در نظر گرفته شده و بوسیله یک فیلتر Moving Average (MA) با m نقطه از نگاشت اصلی جدا می‌گردد. تفاضل PTR و نگاشت اصلی، همان BGR خواهد بود. بر اساس رابطه (۱)، تعداد نقاط لازم برای فیلتر MA که بیانگر فرکانس قطع آن می‌باشد به پرود بزرگترین پالس موجود در نگاشت، T_p ، و بازه زمانی ثبت آن، dt ، بستگی دارد.

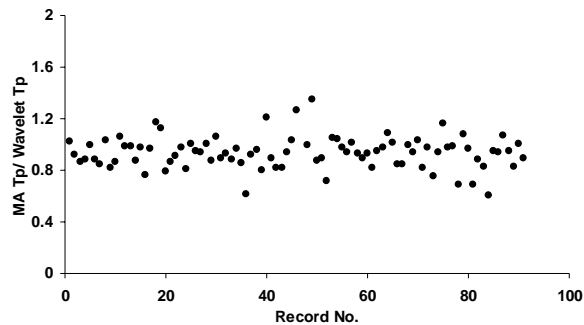
$$m = \alpha \frac{T_p}{dt} \quad (1)$$

در این مقاله ضریب α به صورت تجربی برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است. جهت تعیین T_p می‌توان از تبدیل فوریه استفاده نمود. تبدیل فوریه یک سیگنال ورودی را به مجموعه‌ای از امواج سینوسی که دامنه و فرکانس آنها در طول زمان ثابت است، تبدیل می‌کند. ولی به دلیل ناماندا بودن نگاشتهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل نمی‌تواند ابزار مناسبی باشد. از این روی از تحلیل STFT استفاده شده است. از آنجائیکه نتایج تحلیل STFT به مقدار زیادی به طول پنجره زمانی محاسبه فوریه بستگی دارد، در این مقاله از یک روند سعی و خطا استفاده شده است. ابتدا طول پنجره یک مقدار کوچک فرض شده و پس از محاسبه STFT در تمام پنجره‌ها، مقدار پرریود متناظر بزرگترین دامنه تعیین می‌شود. سپس مادامیکه دو شرط زیر برآورده می‌شود، طول پنجره را افزایش می‌دهیم: ۱- پرریود محاسبه شده از طول پنجره کمتر باشد، و ۲- افزایش طول پنجره سبب افزایش پرریود پالس گردد. در نهایت مقدار پرریود متناظر با بزرگترین طول پنجره‌ای که دو شرط بیان شده را برآورده می‌سازد، همان پرریود پالس، T_p ، خواهد بود. شکل (۳) نسبت پرریود پالسهای محاسبه شده در این مقاله به روش فوق را به پرریودهای محاسبه شده از روش تحلیل موجک نشان می‌دهد. علاوه بر سادگی روش ارائه

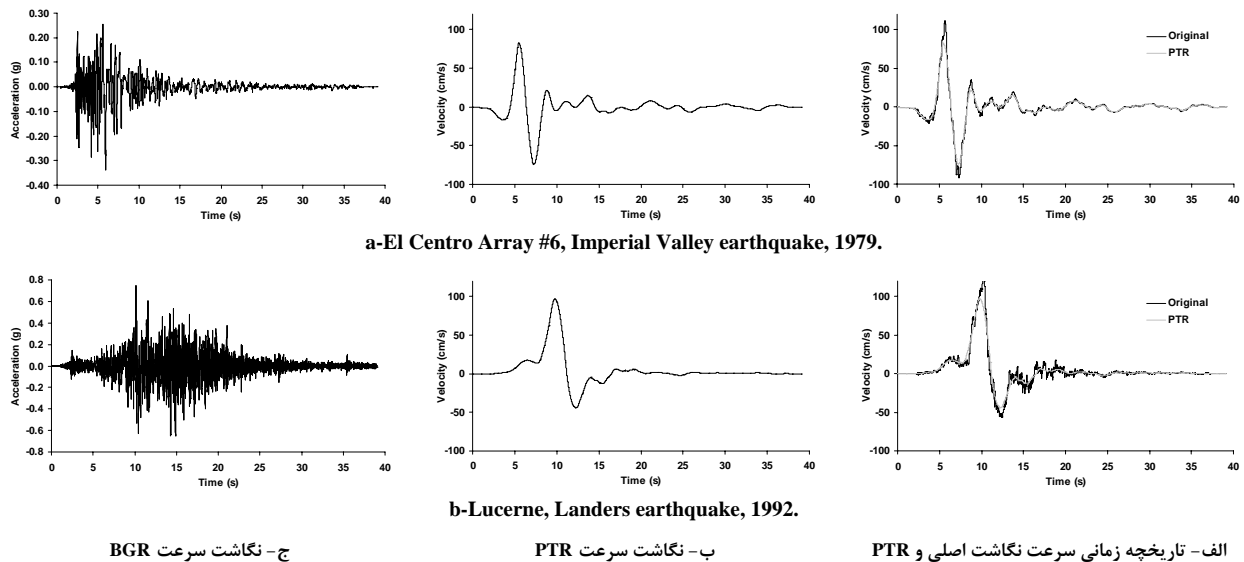
¹ Short-Time Fourier Transform (STFT)

² Non-Stationary

شده در این مقاله و همچنین توانایی آن در جداسازی تمامی پالسهای موجود در نگاشت که در ادامه بحث خواهد شد، شکل (۳) دقت محاسبه پریود را از این روش بیان می‌کند. پس از انجام فرآیند ذکر شده و تعیین پریودهای پالسهای اصلی موجود در ۹۱ نگاشت استفاده شده، به کمک رابطه (۱) تعداد نقاط لازم برای فیلترکردن تعیین شده و پالسها از داخل نگاشت اصلی استخراج می‌شود. شکل (۴) نتایج بدست آمده را برای دو نگاشت زلزله ارائه می‌کند. پالسهای موجود در نگاشت سرعت PTR و محتوای فرکانسی بالای نگاشت شتاب BGR، دقت فرآیند استخراج را بیان می‌کند.



شکل ۳- نسبت پریودهای محاسبه شده در این مقاله به پریودهای محاسبه شده توسط تحلیل موجک [۲۰].



a-El Centro Array #6, Imperial Valley earthquake, 1979.

b-Lucerne, Landers earthquake, 1992.

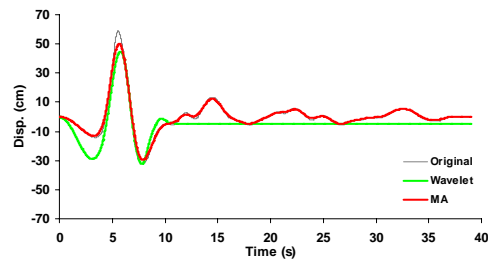
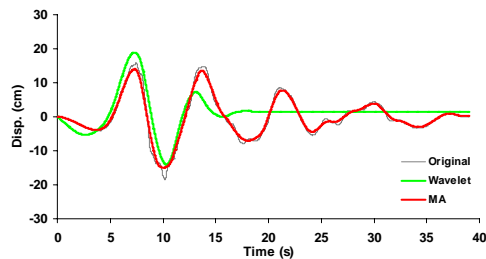
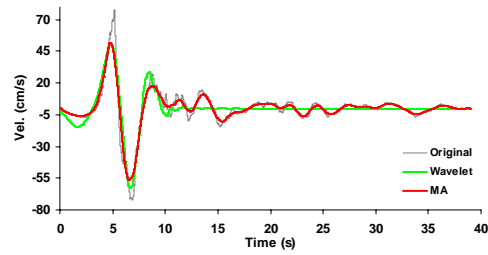
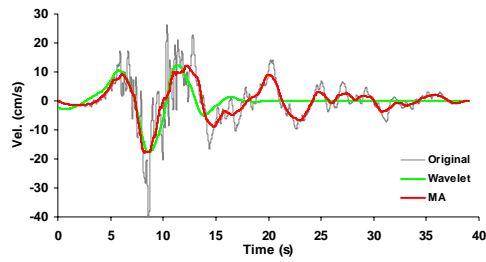
ج- نگاشت سرعت BGR

ب- نگاشت سرعت PTR

الف- تاریخچه زمانی سرعت نگاشت اصلی و PTR

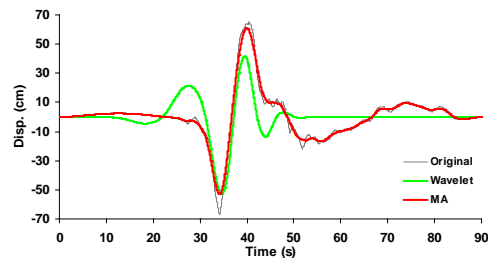
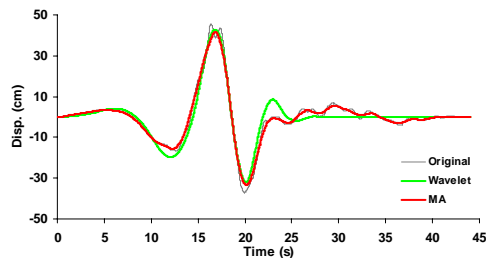
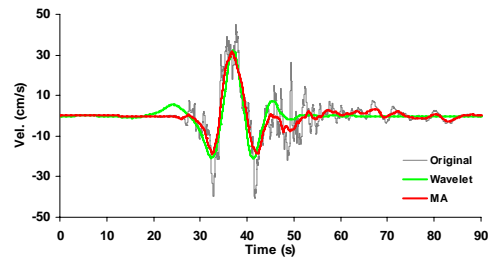
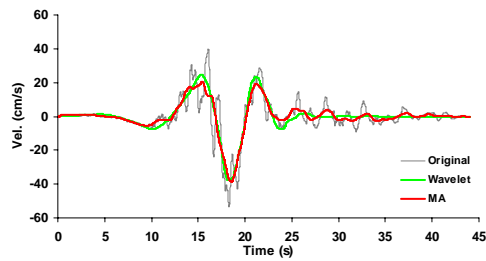
شکل ۴- نتایج حاصل از فیلترکردن دو نگاشت زلزله.

شکل (۵) نگاشت PTR استخراج شده در این مقاله را در کنار پالس بدست آمده از تحلیل موجک [۲۰] برای ۴ نگاشت مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از دو روش مختلف بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشد. علاوه بر این، روند پیشنهاد شده در این مقاله توانسته است پالس را به شکل واقعی‌تر استخراج نماید، زیرا در تحلیل موجک یک شکل تحمیلی به پالس داده می‌شود. همچنین شکل (۵) نشان می‌دهد که استفاده از فیلتر MA سبب شده است تا علاوه بر پالس اصلی، سایر پالسهای ادامه یافته تا انتهای نگاشت نیز شناسایی شوند. برای بررسی دقت فرآیند استخراج می‌توان از تفاضل نگاشت اصلی و پالس، یعنی نگاشت BGR نیز بهره برد. از همین روی در شکل (۶) طیف پاسخ ارتجاعی شبه‌شتاب مربوط به بخش غیرپالس ۲ نگاشت نزدیک گسل زلزله چی-چی (۱۹۹۹) که از ۳ روش مختلف استخراج شده‌اند، آورده شده است. این ۳ روش عبارتند از: ۱- نگاشت BGR تولید شده در این مقاله، ۲- تفاضل پالس بدست آمده از تحلیل موجک از نگاشت اصلی و ۳- نگاشت تولید شده از روش Specific Barrier Model (SBM) [۲۲]. همانگونه که قابل مشاهده است، در ناحیه پریودهای کم (زیر ۱ ثانیه) نتایج حاصل از فیلتر MA و تحلیل موجک بسیار نزدیک به هم بوده، حال آنکه نگاشت تولید شده از روش SBM مقادیر کمتری را تولید نموده است. در محدوده پریودهای بالا، نگاشت BGR پاسه‌های کمتری را نسبت به دو روش دیگر ایجاد نموده است که این به دلیل عاری بودن آن از نوسانات پریود بلند است. یعنی رکورد زمینه تولید شده در این مقاله نسبت به دو روش دیگر از محتوای فرکانسی بالاتری برخوردار می‌باشد.



a- El Centro Array #11, Imperial Valley 1999

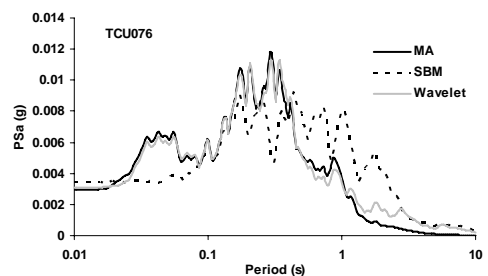
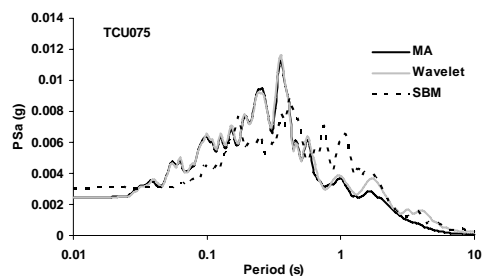
b- El Centro Array #4, Imperial Valley 1999



c- Yermo Fire, Landers 1992

d- TCU049, Chi-Chi 1999

شکل ۵- مقایسه بین پالسهای استخراج شده با فیلتر MA (این مقاله) و پالسهای بدست آمده از روش تحلیل موجک [۲۰].



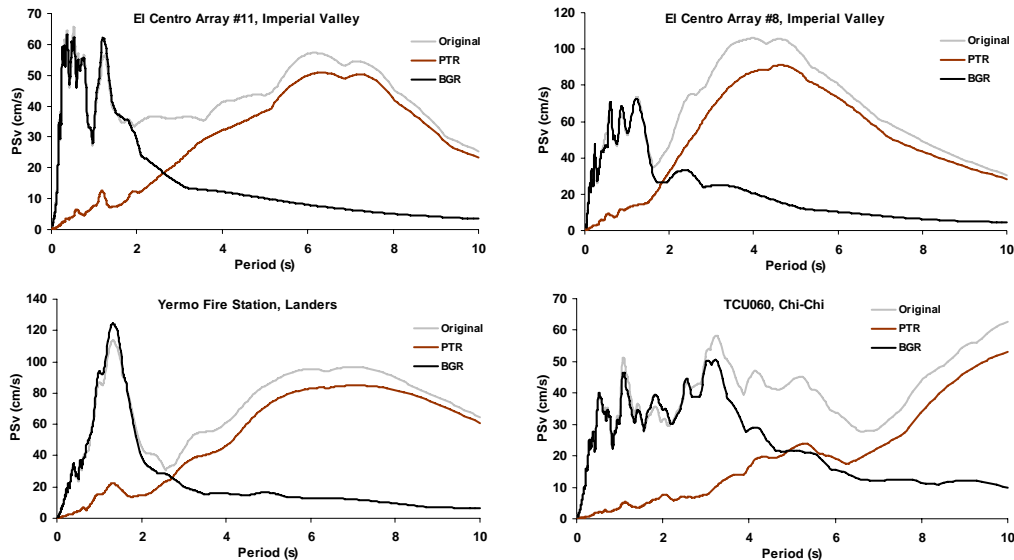
a- TCU075, Chi-Chi 1999

b- TCU076, Chi-Chi 1999

شکل ۶- طیف‌های پاسخ غیرارتجاعی شبه شتاب سازه‌ها تحت بخش فرکانس بالای نگاهشتهای نزدیک گسل که از ۳ روش مختلف تولید شده‌اند. خط مشکی پر مربوط به پاسخ تحت BGR، خط خاکستری مربوط به نگاهت تولید شده از تحلیل موجک و خط چین مشکی مربوط به روش SBM می‌باشد.

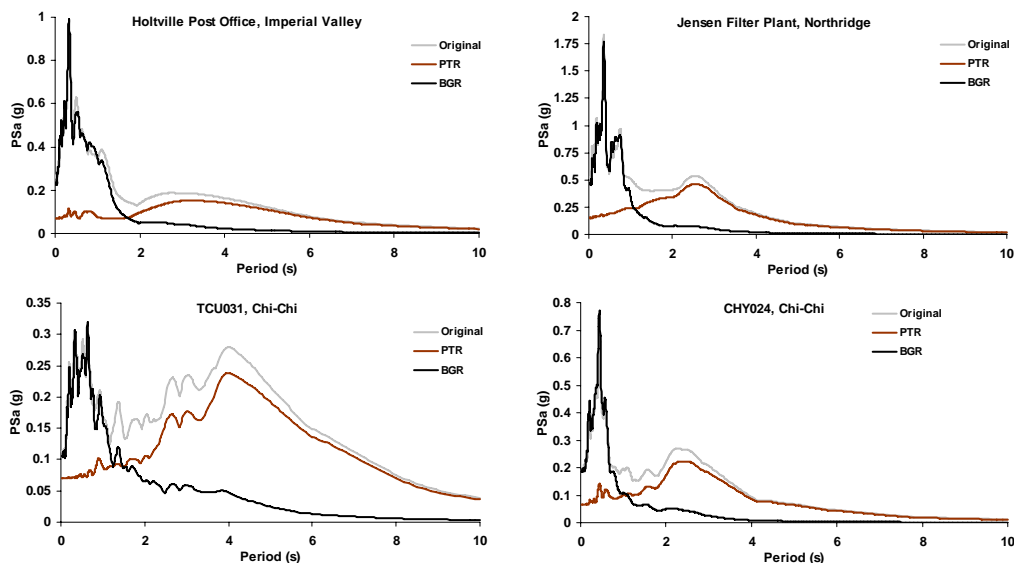
طیف‌های پاسخ سازه‌ها

در این قسمت طیف‌های پاسخ ارتجاعی سازه‌ها در برابر نگاشتهای نزدیک گسل و همچنین نگاشتهای PTR و BGR ارائه می‌گردد. شکل (۷) نمونه ۴ از طیف‌های شبه سرعت را نشان می‌دهد. همانگونه که به خوبی مشاهده می‌شود، طیف‌های حاصل همگی دو محدوده فرکانسی مختلف را دارا می‌باشند. ناحیه پریودهای کوچک که در آن پاسخ سازه بیشتر تحت تاثیر نگاشت BGR قرار دارد و ناحیه پریودهای بالا که اثر BGR بسیار ناچیز بوده و پالس‌های موجود در نگاشت (PTR) پاسخ سازه را کنترل می‌نماید. البته این مرز پریودی به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین آنها پریود پالس و نوع خاک محل می‌باشد، که عامل نخست (پریود پالس) خود تابعی از بزرگای زلزله و نوع خاک محل می‌باشد.

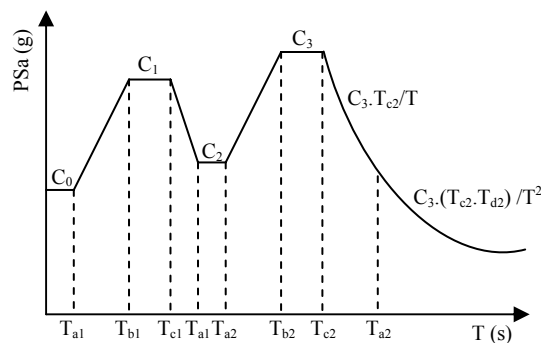


شکل ۷- طیف پاسخ شبه سرعت سازه‌ها تحت ۴ نگاشت نزدیک گسل، به همراه پاسخ مربوط به پالس و نگاشت زمینه.

در شکل (۸) نمودارهای مربوط به طیف شبه شتاب ۴ نگاشت دیگر آورده شده است. در این نمودارها نیز به خوبی دو ناحیه مجزا که پیش از این اشاره گردید، قابل مشاهده است. البته لازم به ذکر است که با توجه به شرایط مختلف، می‌تواند حالات مختلفی روی دهد. بطور مثال دو ناحیه مجزا به یکدیگر متصل شوند، دو ناحیه بر هم منطبق شوند، و یا مقدار بیشینه مربوط به ناحیه اول بالاتر از ناحیه دوم قرار گیرد و یا بالعکس. اما به صورت کلی می‌توان گفت طیف پاسخ ارتجاعی شبه شتاب نگاشتهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل روند کلی به صورت شکل (۹) خواهند داشت. مقادیر مربوط به نقاط اوج و همچنین پریودهای مرزی به پارامترهای مختلفی از جمله بزرگا، فاصله از گسل، نوع خاک، شرایط هندسی و ... بستگی دارد که نیازمند مطالعات بیشتر است.



شکل ۸- طیف پاسخ شبه شتاب سازه‌ها تحت ۴ نگاشت نزدیک گسل، به همراه پاسخ مربوط به پالس و نگاشت زمینه.



شکل ۹- الگوی شماتیک طیف پاسخ ارتجاعی شبه شتاب سازه‌ها در برابر نگاشتهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل.

نتیجه‌گیری

نگاشتهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل به سبب فاصله کوتاه تا منبع انتشار امواج از محتوای فرکانسی بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین در صورت برقراری شرایط هندسی به نحوی که انتشار شکست به سمت محل ثبت نگاشت پیش رود، به جهت نزدیکی سرعت پیشروی شکست گسل به سرعت موج برشی، پالسهای با پریود بالایی در نگاشت سرعت قابل مشاهده خواهد بود. در این مقاله با استفاده از یک فیلتر Moving Average و با کمک یک روند هوشمند، پالسهای موجود در ۹۱ نگاشت سرعت ثبت شده در نواحی نزدیک گسل استخراج گردید. تفاضل پالسهای استخراج شده (PTR) از نگاشت اصلی منجر به نگاشتی با محتوای فرکانسی بالا شده (BGR) که ناشی از نزدیکی به گسل و همچنین اثرات خاک محل می‌باشد. مقایسه نتایج بدست آمده با مطالعات انجام شده در این زمینه بیانگر دقت و توانایی روند پیشنهاد شده در این مقاله است. در نهایت با تولید طیفهای پاسخ ارتجاعی سازه‌ها در برابر نگاشتهای نزدیک گسل مذکور و بخشهای استخراج شده آنها (PTR, BGR) نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- طیف پاسخ ارتجاعی سازه‌ها در برابر نگاشتهای نزدیک گسل دارای دو بخش عموماً مجزا از هم می‌باشد. بخش نخست ناحیه مربوط به پریودهای پایین است که در آن محدوده پاسخ سازه‌ها عمدتاً متأثر از نوسانات فرکانس بالای موجود در نگاشت بوده و پالسها تأثیری بر پاسخ ندارند. بخش دوم ناحیه پریودهای نسبتاً بزرگ است که در آن محدوده پالسها تعیین کننده پاسخ می‌باشند.
 - ۲- محدوده‌های پریودی اشاره شده در بند (۱) و همچنین مقادیر طیفی در آن نواحی متأثر از پارامترهای زیادی از جمله بزرگا، فاصله از گسل، نوع خاک و ... می‌باشد که تعیین آنها نیازمند تحقیقات بیشتر است.
 - ۳- در نهایت با مشاهده تمامی طیفهای پاسخ بدست آمده از نگاشتهای نزدیک گسل مورد استفاده، الگویی مانند شکل (۹) برای طیف پاسخ ارتجاعی شبه شتاب سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک گسل ارائه گردید.
- بنابراین می‌توان گفت برای تعیین پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک گسل، لازم است تا همه خواص چنین تحریکاتی مدنظر قرارگیرد، یعنی استفاده از پالسهای جهت‌گیری انتشار شکست به تنهایی به عنوان نماینده نگاشتهای نزدیک گسل، می‌تواند در مواردی منجر به تخمین زدن پاسخها بر خلاف جهت اطمینان گردد.

مراجع

1. Benioff, H., (1955). "Mechanism and Strain Characteristics of the White Wolf Fault as indicated by the Aftershock Sequence, Earthquakes in Kern County, California, During 1955 (G. B. Oakeshott, ed.)". California Division of Mines Bulletin, No. 171, 199-202.
2. Singh, J., (1985). "Earthquake Ground Motions: Implications for Designing Structures and Reconciling Structural Damage". Earthquake Spectra, Feb. 1985, 239-270.
3. Somerville, P., Smith, N., Graves, R., and Abrahamson, N., (1997) "Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity". Seismological Society Letters, Vol. 68, No. 1, 180-203.
4. Somerville, P., (1998). "Development of an Improved Ground Motion Representation for Near-Fault Ground Motions". SMIP98 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data, Oakland, CA, Sept. 1998.
5. Ghobarah, A., (2004). "Response of Structures to Near-Fault Ground Motion". 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Aug. 1-6, 2004, Paper No. 1031.
6. Hall, J., Heaton, T., Halling, M., and Wald, D., (1995). "Near-Source Ground Motion and its Effects on Flexible Buildings". Earthquake Spectra, Nov. 1995, Vol. 11, No. 4, 569-605.
7. Stewart, J. P., Chiou, S., Bray, J., Graves, R., Somerville, P., and Abrahamson, N., (2001). "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design". Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Report No. 09, Sept. 2001.



8. Makris, N., and Black, C., (2003). "Dimensional Analysis of Inelastic Structures Subjected to Near Fault Ground Motions". Earthquake Engineering Research Center (EERC), Report No. 05, April 2003.
9. Longjun, X., Rodriguez-Marek, A., and Lili, X., (2006). "Design Spectra Including Effect of Rupture Directivity in Near-Fault Region". Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 5, No. 2, 1671-3664(2006)02-0159-12.
10. Ghahari, S.F., Khaloo, A.R., and Ghaderi, P., (2007). "Seismic Behavior of Long Period Structures Subjected to Near-Fault Earthquakes". 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 26-29 June 2007.
11. Alavi, B., and Krawinkler, H., (1998). "Development of an Improved Design Procedure for Near-Fault Ground Motions". SMIP 98, Seminar on Utilization of Strong Motion Data: Oakland, CA, 1998.
12. Sasani, M., and Bertero, V.V., (2000). "Importance of Severe Pulse-Type Ground Motion in Performance-Based Engineering: Historical and Critical Review". 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Paper No. 8.
13. Mavroeidis, G.P., Dong, G., and Papageorgiou, A.S., (2004). "Near-Fault Ground Motions and the Response of Elastic and Inelastic Single-Degree-of-Freedom (SDOF) Systems". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004; 33:1023-1049.
14. Xin-Le, L., and Xi, Z., (2004). "Study on Equivalent Velocity Pulse of Near-Fault Ground Motions". ACTA Seismologica Sinica, Nov., 2004, Vol. 17, No. 6(697-706).
15. Somerville, P.G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N.A., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N., and Kowada, A., (1999). "Characterizing Crustal Earthquakes Slip Models for Prediction of Strong Ground Motion". Seism. Research Letters, 1999, 70(1), 59-80.
16. Alavi, B., and Krawinkler, H., (2000). "Consideration of Near-Fault Ground Motion Effects in Seismic Design", 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000:2665.
17. Makris, N., and Roussos, Y., (1998). "Rocking Response and Overturning of Equipment Under Horizontal Pulse-Type Motions". Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Report No. 05, Oct. 1998.
18. Ghahari, S.F., Jahankhah, H., and Ghannad, M.A., (2006). "The Effect of Background Record on Response of Structures Subjected to Near-Fault Ground Motions". First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper No. 1512.
19. Cox, K.E., and Ashford, S.A., (2002). "Characterization of Large Velocity Pulses for Laboratory Testing". Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Report No. 22, April 2002.
20. Baker, J.W., (2007). "Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis". Bulletin of Seismological Society of America,
21. Erdik, M., and Durukal, E., (2001). "A Hybrid Procedure For The Assessment of Design Basis Earthquake Ground Motions For Near-Fault Conditions". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21: 431-443.
22. Halldorsson, B., and Papageorgiou, A.S., (2006). "Application of the Specific Barrier Model to the Simulation of Earthquake Strong Ground Motions". Eighth National Conference on Earthquake Engineering (8NCEE), San Francisco, California, April 18-21, 2006.