

تصحیح رکوردهای زلزله‌های مهم ایران با روش مرسوم و تئوری موجک و مقایسه این دو روش

حسام وحیدی فرد^۱، انوشیروان انصاری^۱ و اسدا... نورزاد^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی زلزله - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۶/۷/۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۴/۱۱، تاریخ تصویب ۸۷/۹/۲۰)

چکیده

در هنگام وقوع زلزله، بسیاری از شتاب‌نگارها حرکت زمین را ثبت می‌کنند، اما فقط تعداد کمی از آنها به روش مرسوم قابل تصحیح هستند. زیرا این سیگنال‌های تصحیح نشده دو مشکل عمده همراه خود دارند، اول میزان نسبت سیگنال به نوفه^۱ پایین است و به همین علت قادر نیستیم بین محتوای فرکانسی نوفه و سیگنال تمییز قائل شویم و با فیلتر بالاگذر یا فیلتر پایین‌گذر، سیگنال را تصحیح کنیم. دوم نوفه‌ها غیر ایستا هستند و روش مرسوم فقط سیگنال‌هایی را می‌تواند تصحیح کند که مشخصات نوفه آنها از ابتدا تا انتها ثابت باشد. به عبارت دیگر در بسیاری از سیگنال‌ها مشخصات نوفه با گذشت زمان ثابت نیست و تغییر می‌کند. یکی از روش‌های کارا برای تصحیح چنین سیگنال‌هایی، تئوری موجک^۲ است. در این تئوری، هر سیگنال به چندین سیگنال در محدوده‌های تواتری مختلف تجزیه می‌شود و با توجه به معیار ارائه شده در این تئوری، سیگنال‌های به دست آمده را تصحیح می‌کنیم. در این مقاله سعی بر آن است که رکوردهای حاصل از زلزله‌های مهم فلات ایران که بزرگای بیشتر از ۵.۵ دارند، به روش نوفه‌زدایی موجک تصحیح شوند. برای این منظور ابتدا برای هر رکورد، نمودار میزان نسبت سیگنال به نوفه رسم می‌شود، اگر مقدار این نمودار به اندازه کافی بالا باشد، آن سیگنال به هر دو روش تصحیح می‌شود و در غیر این صورت، با استفاده از تئوری موجک تصحیح می‌شود. شایان ذکر است که هر یک از روش‌ها یک بار با تصحیح خط پایه و بار دیگر بدون آن انجام گرفته است و از میان این ۴ نوع تصحیح، بهترین آن انتخاب شده است. با استفاده از نتایج حاصل از تصحیح رکوردها، بانک اطلاعاتی شامل اطلاعات عمومی هر زلزله مانند: زمان، مکان، بزرگای عمق و اطلاعات خاص هر ایستگاه، مانند: نام، شماره و مکان، تدوین شده است و سپس برای هر رکورد نتایج نمودار نسبت سیگنال به نوفه، نوع تصحیح و مشخصات آن تصحیح تعیین شده است.

واژه های کلیدی: شتاب‌نگار، روش مرسوم، تبدیل موجک، نمودار نسبت سیگنال به نوفه

مقدمه

نوفه‌ها، نمی‌توان از این سیگنال‌ها اطلاعات لازم را استخراج کرد. بنابراین ما ناگزیر به تصحیح سیگنال‌های موجود هستیم. در حال حاضر تصحیح سیگنال به روش مرسوم، با اعمال فیلتر، انجام می‌گیرد. به تازگی روشی ارائه شده است که در این روش، تصحیح سیگنال با استفاده از تبدیل موجک انجام می‌گیرد. در زیر به مشکلات روش مرسوم و مزایای موجک به طور خلاصه اشاره می‌شود.

۱- سیگنال‌های بدون پیش-حادثه^۳ را نمی‌توان به روش مرسوم تصحیح کرد. البته سیگنال‌های بدون پیش-حادثه هم کم نیستند، زیرا سیگنال‌های به دست آمده از شتاب-نگارهای آنالوگ قسمت پیش-حادثه ندارند و سیگنال‌های به دست آمده از شتاب‌نگارهای دیجیتال هم به دلایلی مثل بی‌توجهی نسبت به این مسئله همیشه دارای پیش-حادثه نیستند. به عنوان نمونه، در تحقیقی که توسط

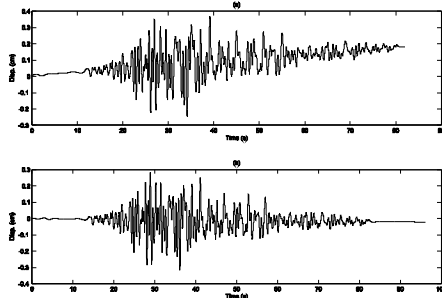
رشته مهندسی زلزله، به دلیل اثرات مخرب زلزله و لطمه های جانی، روحی، اقتصادی و اجتماعی آن، یکی از حساسترین رشته‌های مهندسی است.

اگر بخواهیم در عبارتی مختصر هدف شاخه مهندسی زلزله را معرفی کنیم، باید بگوییم که هدف مهندسی زلزله ایجاد تعادلی پایدار و مطمئن بین حرکت لرزه‌ای زمین و مقاومت سازه است. پس در مهندسی زلزله لازم است خصوصیات حرکت زمین و ظرفیت سازه‌های مختلف شناسایی گردد.

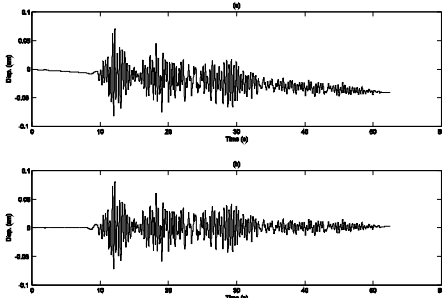
یکی از مسائل مهم در مهندسی زلزله، تصحیح سیگنال‌های ثبت شده توسط شتاب‌نگارها است، زیرا به دلایل بسیار زیاد از جمله مکان نامناسب شتاب‌نگار، خرابی قسمتی از آن، محدودیت فرکانسی شتاب‌نگار، خطای دید در دیجیتالی کردن شتاب‌نگارهای آنالوگ و غیره. در سیگنال‌های شتاب، نوفه موجود است و با وجود این

تأثیرات اندکی بر سیگنال شتاب (حدوداً 10cm/s) می‌گذارد، اما اثر مخرب این جا به جایی به صورت ایجاد نوفه‌هایی با پریود بسیار بالا در سیگنال‌های سرعت و جا به جایی مشاهده می‌شود این امر باعث می‌شود سیگنال‌های سرعت و جا به جایی، به‌طور نامحدود افزایش یا کاهش یابند که با توجه به فیزیک زلزله این اتفاق کاملاً غیرواقعی است، زیرا در میدان دور، سرعت و جا به جایی به صفر ختم می‌شوند و در میدان نزدیک، سرعت به صفر ختم و جا به جایی به عدد ثابتی ختم می‌شود. برای رفع این مشکل روش‌هایی ارائه شده است. در این روش‌ها، یک خط یا یک چند جمله‌ای درجه پایین را از سیگنال شتاب کم می‌کنند.

تأثیر مثبت تصحیح خط پایه روی چند سیگنال



شکل ۱: Comp L از زلزله سیلاخور که در ایستگاه شول آباد ثبت شده است. (a) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بدون تصحیح خط پایه (ضعیف). (b) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (خوب).



شکل ۲: Comp L از زلزله کهک که در ایستگاه سد پانزده خرداد-۲ ثبت شده است. (a) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بدون تصحیح خط پایه (ضعیف). (b) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (خوب).

اینجا بر ۱۸۴۷ سیگنال، انجام گرفته است، فقط حدود ۴۶۹ سیگنال پیش- حادثه داشته اند. یعنی در حدود ۲۵٪ سیگنال‌ها قابل تصحیح به روش مرسوم بوده‌اند. البته شایان ذکر است که ۲۱ زلزله از ۲۴ زلزله مورد بررسی، مربوط به بعد از سال حدود ۱۹۹۴ است، در صورتی که اگر زلزله‌های قدیمی‌تری بررسی می‌شد، به طور حتم این ۲۵٪ بسیار کاهش می‌یافت.

۲- به طور معمول احتیاج به تصحیح خط پایه احساس می‌شود و ممکن است در هنگام تصحیح خط پایه مقداری هم از رکورد واقعی زلزله حذف شود. (در اصل هر تصحیحی ممکن است با حذف مقداری از سیگنال واقعی همراه باشد).

۳- غیر ایستا بودن نوفه‌ها؛ زیرا روش مرسوم فقط سیگنال‌هایی را می‌تواند تصحیح کند که مشخصات نوفه آنها از ابتدا تا انتها ثابت باشد و حال این که در اکثر سیگنال‌های موجود، مشخصات نوفه به صورت غیرایستا در زمان تغییر می‌کنند. به عبارت دیگر در بسیاری از سیگنال‌ها مشخصات نوفه با گذشت زمان ثابت نیست و تغییر می‌کند.

۴- فیلترهایی که طیف فاز غیرخطی دارند، تغییراتی در فاز سیگنال ایجاد می‌کنند و به همین علت خیلی مناسب نیستند.

فیلترهایی که فاز خطی دارند، با اینکه نتایج خوبی دارند، ولی به دلیل اضافه کردن رشته صفرهای طولانی به سیگنال، طول سیگنال بسیار زیاد می‌گردد که این امر در انجام آنالیزهای تاریخچه زمانی مشکل‌ساز می‌گردد.

۵- حساسیت زیاد نتیجه تصحیح به تغییرات جزئی در پارامترهای تصحیح به خصوص در مورد فیلترهای بالاگذر است. به عبارت دیگر با تغییر جزئی در فرکانس قطع فیلتر بالاگذر، سیگنال تغییرمکان که با انتگرال‌گیری از سیگنال شتاب به دست می‌آید، دچار تغییرات زیادی می‌شود. این موضوع روی طیف تغییرمکان نیز در محدوده پریودهای بلند بسیار مؤثر است [۲].

تصحیح خط پایه به روش USGS

در بعضی از سیگنال‌های شتابی که از دستگاه‌های آنالوگ یا دیجیتال به دست می‌آیند وقتی شتاب حدوداً از 10cm/s تجاوز می‌کند، به دلایل نامعلومی خط پایه از مکان خود جا به جا می‌شود و

تصحیح سیگنال به روش مرسوم

یکی از روش‌های ارائه شده برای تصحیح سیگنال‌ها، روش مرسوم است. در روش مرسوم، سه مرحله برای تصحیح شتاب‌نگاشت‌ها در ادبیات مهندسی زلزله بیان شده است:

۱- تصحیح دستگاهی برای حذف اثرات دستگاه‌های شتاب‌نگاشت؛

۲- تصحیح خط پایه سیگنال؛

۳- حذف نوفه‌های خارج از باند فرکانسی مورد نیاز به وسیله فیلتر کردن در فضای فرکانسی.

البته در مورد سیگنال‌های دیجیتال، به دلیل اختلاف زیاد فرکانس طبیعی دستگاه شتاب‌نگار با باند فرکانسی مورد علاقه در مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی و همچنین به دلیل انتخاب مناسب پارامتر میرایی دستگاه، در غالب موارد نیاز به تصحیح دستگاهی وجود ندارد [۲].

هر دو نوع شتاب‌نگارهای آنالوگ و دیجیتال مشکل خط پایه دارند. به عبارت دیگر، به دلیل عوامل مختلفی از قبیل هیستریزیس سنسور شتاب‌نگارها، حرکات دورانی زمین، غیر متعامد بودن سنسورهای شتاب‌نگارها و تاثیر اندرکنشی فرکانس نمونه برداری و روش انتگرال گیری عددی، تغییر مکان‌هایی در خط پایه شتاب این سیگنال‌ها اتفاق می‌افتد [۲].

از سوی دیگر، برای حذف نوفه‌های استاندارد و غیراستاندارد، لازم است تا علاوه بر تصحیح خط پایه، تصحیحات دیگری نیز روی سیگنال شتاب ثبت شده انجام گیرد. روش مرسوم و رایج برای انجام چنین تصحیحاتی اعمال فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر است.

تصحیح سیگنال به روش تبدیل موجک

دونوهو و جانسون بر اساس اصول تجزیه موجک با درجات و وضوح مختلف که در فصل چهارم بدان اشاره شد، روشی وقفی برای تصحیح سیگنال‌ها ارائه کرده‌اند. این روش قادر است تا نوفه غیرایستا را نیز از سیگنال‌ها بر طرف کند. بنابراین می‌توان از این روش برای تصحیح سیگنال‌های شتاب آلوده به نوفه غیرایستا استفاده کرد. همچنین به دلیل ماهیت غیرپارامتری این روش، نتایج حاصل از آن، نسبت به روش مرسوم تصحیح پایدارتر است. مرینو و همکاران از این روش برای تصحیح لرزه‌نگارها استفاده کرده‌اند [۱].

اصول روش نوفه‌زدایی بر اساس تئوری موجک

Donoho در حدود سال ۱۹۹۴ تبدیل گسسته موجک را برای نوفه‌زدایی از سیگنال پیشنهاد داد [۳] که به این روش "Wavelet shrinkage denoising" اطلاق می‌شود. این روش دارای ۳ مرحله است:

۱- تبدیل خطی موجک؛

۲- نوفه‌زدایی غیرخطی انقباضی؛

۳- تبدیل معکوس خطی موجک.

در زیر مباحث ریاضی این روش مشاهده می‌شود:

سیگنال f را با نوفه در نظر می‌گیریم:

$$y_i = f(t_i) + z_i \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

با فرض

$$t_i = (i-1)/N \quad (2)$$

و اینکه z_i ها مستقل هستند، توزیع یکسان دارند و توزیع احتمالی

$$N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

را دارا می‌باشند. هدف ما برآورد کردن

$$f = (f(t_i))_{i=1}^N \quad (4)$$

با حداقل خطای میانگین مربع‌ها^۲ است. برای این منظور

\hat{f} را با توجه به y_1, \dots, y_n با کمترین ریسک برآورد می‌کنیم:

$$R(\hat{f}, f) = 1/N \cdot E \left\| \hat{f} - f \right\|_2^2 = E \text{Ave}_i \left(\hat{f}(t_i) - f(t_i) \right)^2 \quad (5)$$

در این رابطه، $\left\| \cdot \right\|_2^2$ فاصله در فضای اقلیدسی است، E و Ave هم به ترتیب برای Expected value و میانگین هستند. اگر از رابطه (۱) تبدیل موجک بگیریم، با توجه به خطی بودن تبدیل موجک، داریم:

$$g_i = c_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

در این رابطه:

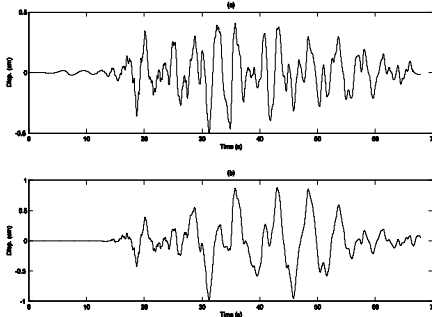
$$\begin{aligned} g_i &= W(y_i) \\ c_i &= W(f(t_i)) \\ \varepsilon_i &= W(z_i) \end{aligned} \quad (7)$$

فرکانسی بزرگتر از فرکانس بالاگذر مد نظر باشد. سپس مقادیر آستانه حذف نوفه برای هر سطح با استفاده از روش SureShrink تعیین شده و سپس حذف نوفه با استفاده از تبدیل حذف آستانه انجام می‌گیرد.

در مرحله دوم، حذف نوفه توسط موجک بر روی سیگنال سرعت انجام می‌پذیرد. برای این منظور این سیگنال تا مرحله حداقل N+2 توسط تبدیل موجک تجزیه شده و سپس مقادیر آستانه با استفاده از روش SureShrink تعیین می‌شود. سپس این سیگنال سرعت توسط تبدیل حذف آستانه سخت مورد تصحیح واقع می‌شود. برای بازسازی سیگنال سرعت تصحیح شده، تنها جزئیات تا درجه N+2 مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر تقریب N+2 در بازسازی سیگنال مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. این مورد معادل استفاده از یک فیلتر بالاگذر با هسته تابع موجک است [۱].

تصحیح چند سیگنال با استفاده از تبدیل موجک و مقایسه آن با روش مرسوم

در شکل (۳) نتیجه تصحیح به روش تبدیل موجک بسیار مناسب‌تر است، زیرا در حالی که پیش-حادثه مناسبی دارد، بیشینه‌ای ۲ برابر بیشینه تصحیح به روش مرسوم دارد. نکته مهم دیگر این است که در تبدیل موجک، نیازی به تصحیح خط‌پایه نبوده است، ولی در روش مرسوم این نیاز وجود داشته است.



شکل ۳: Comp L از زلزله قشیم که در ایستگاه بندر عباس ثبت شده است. (a) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (متوسط). (b) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط تبدیل موجک بدون تصحیح خط پایه (خوب با بیشینه ۲ برابر).

در شکل (۴) نیز قدرت تبدیل موجک مشهود است، ولی در اینجا تبدیل موجک نیاز به تصحیح خط‌پایه دارد.

هدف اصلی در نوفه‌زدایی سیگنال، تعریف g_i است، به طوری که تخمین c_i یعنی

$$R\left(\hat{c}, \hat{c}_i\right) \quad (8)$$

را حداقل کند.

Donoho دو تابع $T(\cdot, \tau)$ به نام توابع threshold را به صورت زیر تعریف کرد:

Soft thresholding :

$$T_S(D, \tau) = \begin{cases} D - \tau & D \geq \tau \\ 0 & |D| < \tau \\ D + \tau & D \leq -\tau \end{cases} \quad (9)$$

Hard thresholding :

$$T_H(D, \tau) = \begin{cases} 0 & |D| < \tau \\ D & |D| \geq \tau \end{cases} \quad (10)$$

این دو تابع، همین‌طور که می‌بینید غیرخطی هستند.

threshold کردن به دو روش انجام می‌گیرد:

۱- Single thresholds : در تمام مراحل نوفه‌زدایی موجک یک threshold استفاده می‌شود. متداول‌ترین روش تعیین Single threshold روش VisuShrink است که در زیر نتیجه آن را می‌بینید:

$$\tau = \sigma \sqrt{2 \log n} \quad (11)$$

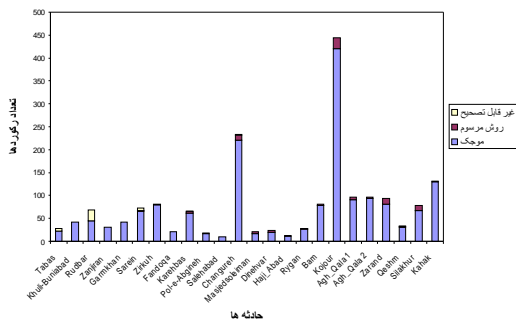
σ تخمینی از نوفه می‌باشد و n طول سیگنال.

۲- Level dependent thresholds : هر مرحله از نوفه‌زدایی موجک، threshold مخصوصی دارد که مقدار آن بستگی به مشخصات آن مرحله دارد. روش تعیین threshold در اینجا SureShrink نام دارد [۱].

تصحیح شتاب‌نگاشت‌های زلزله توسط تبدیل موجک

برای تصحیح سیگنال‌ها در محدوده فرکانس‌های پایین، در مرجع [۱] یک روش دو مرحله‌ای تصحیح ارائه شده است. در مرحله اول، عملیات نوفه‌زدایی موجک بر روی سیگنال شتاب انجام می‌گیرد. برای این منظور در ابتدا سیگنال شتاب تا مرتبه N توسط تبدیل با درجات وضوح مختلف موجک تجزیه می‌شود. مرتبه N به گونه‌ای تعیین می‌شود که جزئیات مربوط به این سطح دارای باند

انتخاب شده است. در شکل ۵) ارجحیت موجک بر روش مرسوم کاملاً مشهود است.

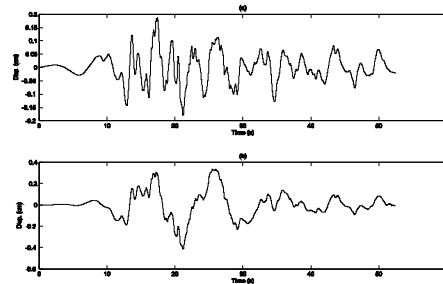


شکل ۵: تعداد سیگنال‌های تصحیح شده در هر روش.

تأثیر بسیار مثبت تصحیح خط پایه روی روش مرسوم و بی‌تأثیر روی موجک

با توجه به شکل ۶) و شکل ۷) مشخص است که این سیگنال برای تصحیح به روش مرسوم، حتماً نیاز به تصحیح خط‌پایه دارد ولی برای تصحیح به روش موجک نیازی به تصحیح خط‌پایه نیست. برای مقایسه بهتر بین سیگنال‌های جا به جایی آنها به صورت جداگانه در شکل ۸) نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با این که در روش موجک تصحیح خط‌پایه انجام نشده است، پیش - حادثه روش موجک بسیار مناسب‌تر از روش مرسوم است و از طرف دیگر بیشینه روش موجک هم مقداری بالاتر از روش مرسوم است، که در کارهای مهندسی این بیشینه اهمیت بسزایی دارد.

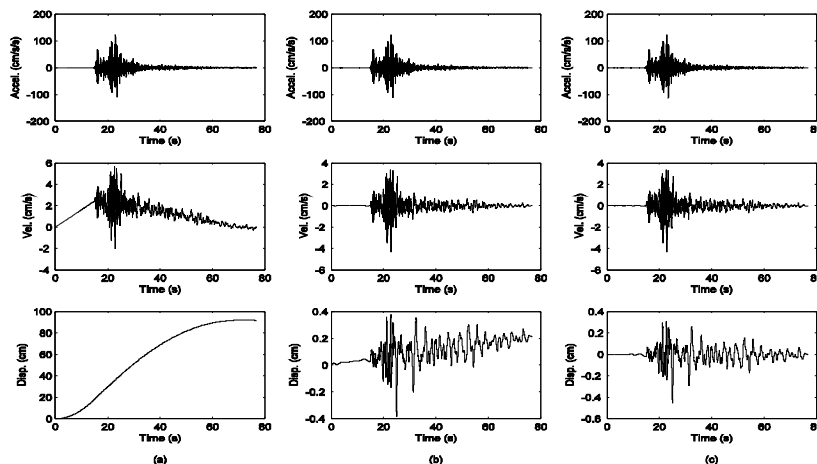
نکته دیگر این است که در روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه باز هم پیش - حادثه نامناسب است.



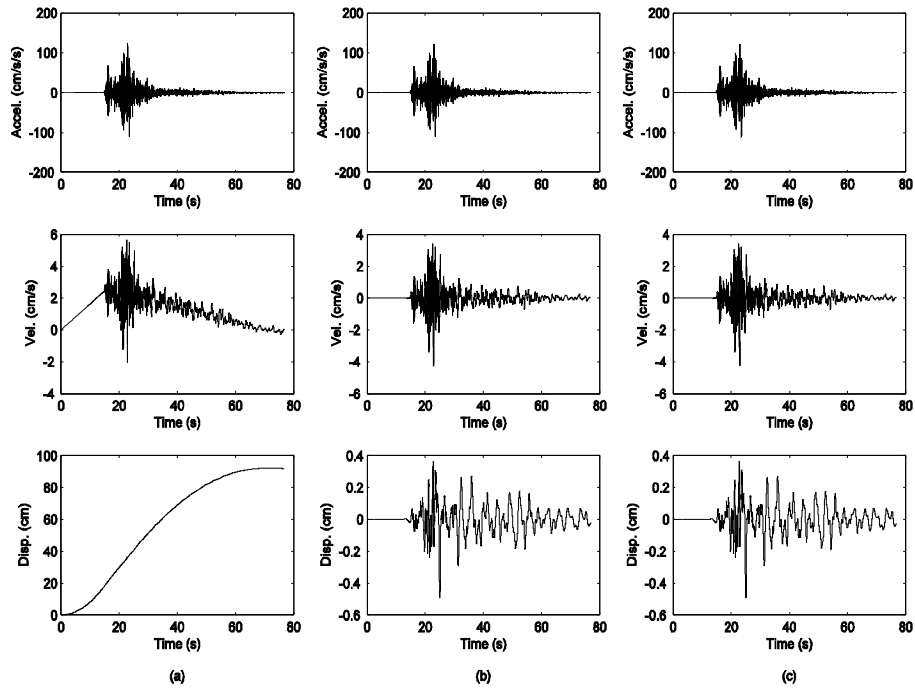
شکل ۴: Comp L از زلزله قسم که در ایستگاه بندر خمیر ثبت شده است. (a) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (ضعیف). (b) سیگنال جا به جایی تصحیح شده توسط تبدیل موجک بعد از تصحیح خط پایه (تقریباً خوب با بیشینه ۲ برابر).

مقایسه روش مرسوم و تئوری موجک و تأثیر تصحیح خط پایه روی این دو روش

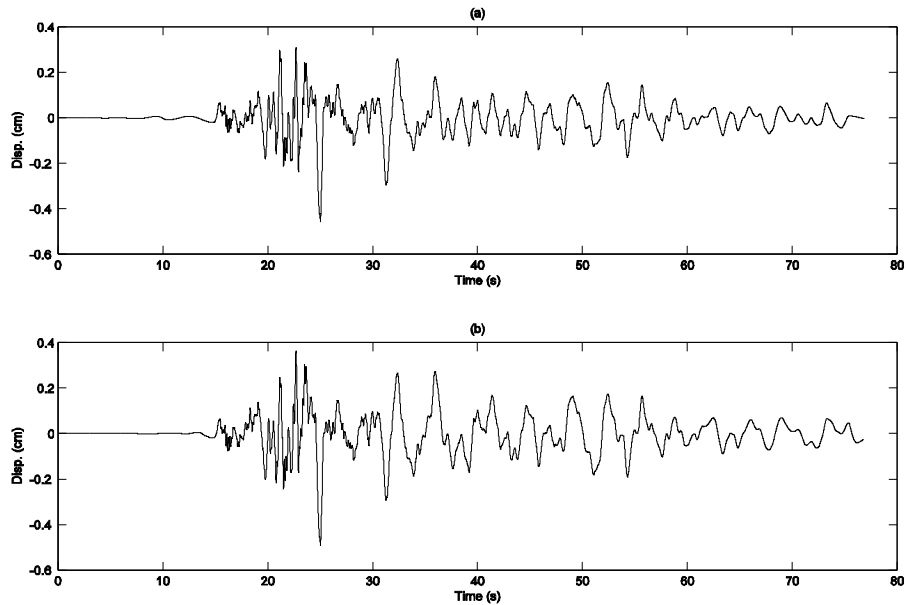
در این قسمت، سعی شده است قدرت تئوری موجک در تصحیح سیگنال‌ها نشان داده شود. برای این هدف از میان سیگنال‌های قابل تصحیح به هر دو روش، تعدادی سیگنال انتخاب شد و بین نتایج تصحیح هر دو روش مقایسه‌ای انجام گرفت. شایان ذکر است که هر یک از روش‌ها یک بار با تصحیح خط پایه و بار دیگر بدون آن انجام گرفته است و از میان این ۴ نوع تصحیح، بهترین آن



شکل ۶: Comp T از زلزله سیلاخور که در ایستگاه دره اسپار ثبت شده است. (a) سیگنال اصلی ثبت شده. (b) سیگنال تصحیح شده توسط روش مرسوم بدون تصحیح خط پایه (ضعیف). (c) سیگنال تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (خوب). ($f_1 = 0.25$, $f_2 = 31$, $Pre_event = 10$)

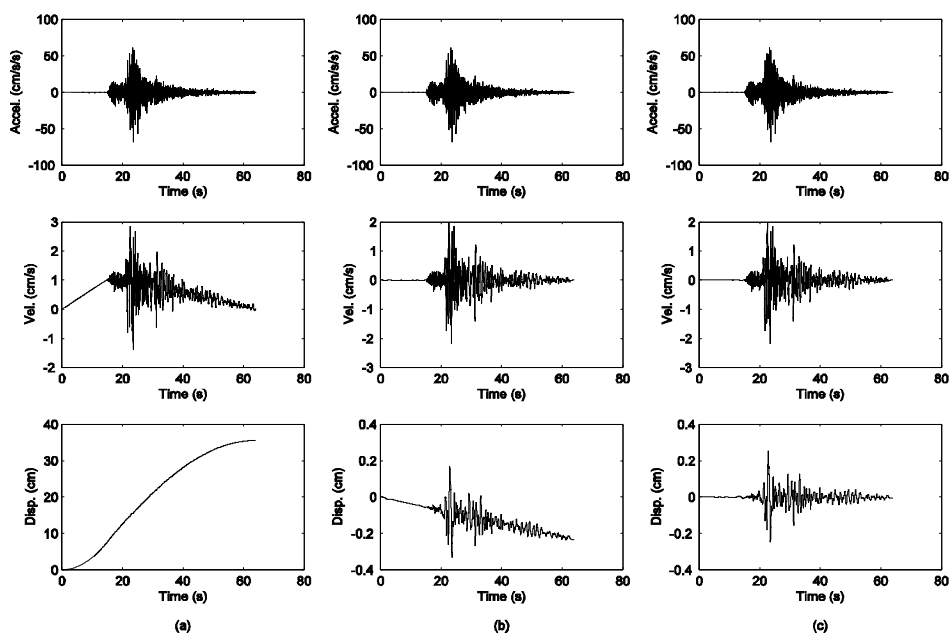


شکل ۷: Comp T از زلزله سیلاخور که در ایستگاه دره اسبار ثبت شده است. (a) سیگنال اصلی ثبت شده. (d) سیگنال تصحیح شده توسط تبدیل موجک بدون تصحیح خط پایه (خوب). (e) سیگنال تصحیح شده توسط تبدیل موجک بعد از تصحیح خط پایه (خوب). (اعمال Sym8 مرتبه ۸ بر سیگنال شتاب و Sym8 مرتبه ۹ بر سیگنال سرعت).

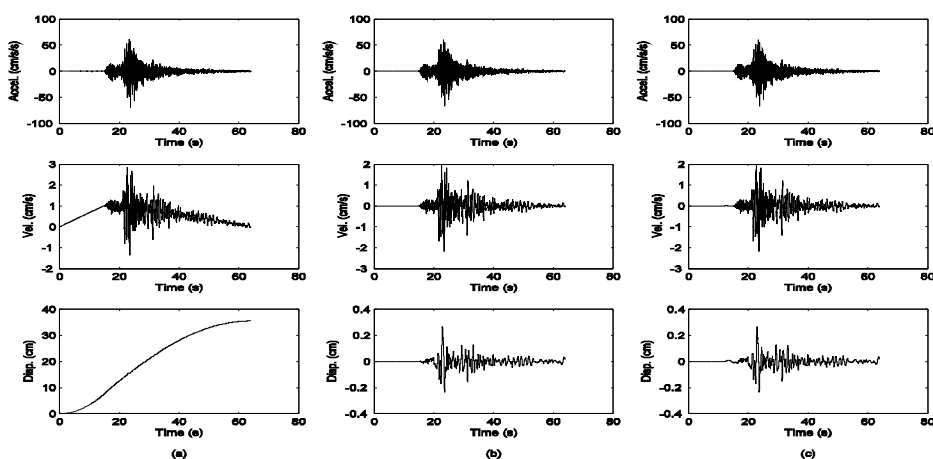


شکل ۸: سیگنال جابجایی از زلزله سیلاخور که در ایستگاه دره اسبار ثبت شده است. (a) تصحیح شده توسط روش مرسوم و با تصحیح خط پایه (پیش حادثه نامناسب و بیشینه آن: -0.457). (b) تصحیح شده توسط موجک و بدون تصحیح خط پایه (پیش - حادثه مناسب و بیشینه آن: -0.492).

تأثیر بسیار مثبت تصحیح خط پایه روی روش مرسوم و تأثیر منفی آن روی موجک



شکل ۹: Comp L از زلزله آق قلا-۱ که در ایستگاه سد کوثر ثبت شده است. (a) سیگنال اصلی ثبت شده. (b) سیگنال تصحیح شده توسط روش مرسوم بدون تصحیح خط پایه (ضعیف). (c) سیگنال تصحیح شده توسط روش مرسوم بعد از تصحیح خط پایه (خوب). ($f1 = 0.25, f2 = 99, Pre_event = 14s$).



شکل ۱۰: Comp L از زلزله آق قلا-۱ که در ایستگاه سد کوثر ثبت شده است. (a) سیگنال اصلی ثبت شده. (b) سیگنال تصحیح شده توسط تبدیل موجک بدون تصحیح خط پایه (عالی). (c) سیگنال تصحیح شده توسط تبدیل موجک بعد از تصحیح خط پایه (خوب). (اعمال Sym8 مرتبه ۸ بر سیگنال شتاب و Sym8 مرتبه ۹ بر سیگنال سرعت).

بانک اطلاعاتی

اعم از زمان و مکان هر سیگنال تا نتایج تصحیح آن سیگنال نمایش داده شده است. در ادامه زلزله‌های مورد بررسی در این مقاله را می‌خوانید.

بعد از تصحیح هر سیگنال، برای نگهداری نتایج تصحیح سیگنال‌ها، در نرم‌افزار Excel، بانک اطلاعاتی‌ای طراحی شد، در این بانک اطلاعاتی همه اطلاعات سیگنال،

نمونه‌ای از بانک اطلاعاتی مربوط به زلزله زرنده.

ردیف	سال وقوع زلزله	نام زلزله	ردیف	سال وقوع زلزله	نام زلزله
۱	۱۹۷۹	خولی بونیاباد	۲	۱۹۷۸	طبس
۳	۱۹۹۴	زنجیران	۴	۱۹۹۰	رودبار
۵	۱۹۹۷	سرعین	۶	۱۹۹۷	گرمخان
۷	۱۹۹۸	فندقا	۸	۱۹۹۷	زیرکوه
۹	۱۹۹۹	پل آبگینه	۱۰	۱۹۹۹	کارباس
۱۱	۲۰۰۲	چنگوره	۱۲	۱۹۹۹	صالح آباد
۱۳	۲۰۰۲	دینور	۱۴	۲۰۰۲	مسجد سلیمان
۱۵	۲۰۰۳	ریگان	۱۶	۲۰۰۳	حاجی آباد
۱۷	۲۰۰۴	کجور	۱۸	۲۰۰۳	بم
۱۹	۲۰۰۵	آق- قلا_۲	۲۰	۲۰۰۴	آق- قلا_۱
۲۱	۲۰۰۵	قشم	۲۲	۲۰۰۵	زرنده
۲۳	۲۰۰۷	کهک	۲۴	۲۰۰۶	سیلاخور

جمع بندی و نتیجه گیری

روش مرسوم فقط سیگنال‌های دارای پیش- حادثه را تصحیح می‌کند، البته با فرض ایستا بودن نوفه‌ها. ولی متأسفانه در سیگنال‌های زلزله، نوفه‌ها ایستا نیستند. از طرفی در تصحیح به روش مرسوم به طور معمول نیاز به تصحیح خط‌پایه است و در هر تصحیحی ممکن است مقداری از سیگنال اصلی از بین برود، پس این نیز یکی از این روش اشکال‌ها است. علاوه بر موارد ذکر شده به علت اینکه بسیاری زلزله‌های سال‌های گذشته توسط شتاب‌نگارهای آنالوگ ثبت شده‌اند، ما را به روشی بهتر و مناسب برای تصحیح شتاب‌نگارها رهنمون کردند که در این مقاله بعد از مقایسه‌ای که بین روش مرسوم و تبدیل موجک انجام گرفت، قوت و مناسب‌تر بودن روش تبدیل موجک به وضوح مشخص شد.

زیرا:

مراجع

- 1 - Ansari, A and Noorzad, A and Zare, M. (2007). "Application of wavelet multi-resolution analysis for correction of seismic acceleration records." *J. Geophys. Eng.* Vol. 4, PP. 1-16.

- ۱- تبدیل موجک سیگنال‌های دارای پیش - حادثه و بدون پیش - حادثه را می‌تواند تصحیح کند.
 ۲- در تبدیل موجک به طور معمول نیازی به تصحیح خط پایه نیست. (۱۳۲۷ سیگنال از ۱۷۱۱ سیگنال تصحیح شده به روش موجک نیازی به تصحیح خط پایه نداشت).
 ۳- تبدیل موجک نوفه‌های غیر ایستا را می‌تواند حذف کند.

بنابراین با استفاده از تبدیل موجک، می‌توان سیگنال‌های بیشتری را تصحیح و بانک اطلاعاتی موجود را کامل‌تر کرد. بعد از تکمیل بانک اطلاعاتی و با در دست داشتن سیگنال‌های تصحیح شده، می‌توان روی رکوردها آنالیزهای آماری مانند آنالیز میزان خطا و کاهیدگی انجام داد و ممکن است این روابط به دست آمده، آیین‌نامه‌های موجود را دست‌خوش تغییر کند.

- 2 - Boore, D. M. and Bommer, J. J. (2005). "Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 25, PP. 93–115.
- 3 - Donoho, D. L. and Johnstone, I. M. (1994). *Idea 1 spatial adaptation by wavelet shrinkage*, Biometrika, Vol 81. PP. 425-455.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - S/N
 - 2 - Wavelet
 - 3 - Threshold
 - 4 - Linear Forward Wavelet Transform
 - 5 - Nonlinear Shrinkage Denoising
 - 6 - Linear Inverse Wavelet Transform
 - 7- Mean Square Error (MSE)
-