

Applied Conceptual Investigation of Earthquake Record Data in the Time Domain and its Relationship with the Frequency Domain by Using Rapid Screening Method (case study: Sarpol-e-Zahab Earthquake)

Mohammad Reza Tabeshpour *

Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology

Azadeh Noorifard

School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran

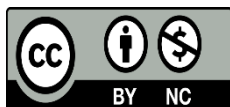
tabeshpour@sharif.edu

Keywords

Earthquake record,
Fourier spectrum,
Time-frequency domain,
Visual understanding,
Sarpol-e-Zahab
earthquake

Abstract

Engineers usually pay attention to Peak Ground Acceleration (PGA) and the approximate duration of the record when dealing with the acceleration time history. However, according to the basic principles of dynamics, vibrations, and Fourier transform and understanding of the intensity of earthquake and its related parameters from the fundamentals of earthquake engineering, it is possible to obtain a relatively accurate understanding and prediction of the characteristics of the frequency domain and the intensity of the earthquake by taking a careful and deeper look at the time history. The importance of such a skill in performing dynamic analyses is doubled. The process of selecting and scaling records will be also done with higher accuracy if there is such a skill. In this paper, a careful and heuristic view at the time history and its relationship with the frequency domain is presented based on the analysis of Sarpol-e-Zahab earthquake records in the SeismoSignal software. The results indicate that there is a good agreement between the conclusions from the time history and the frequency domain, and by looking carefully at the time history of the earthquake record, an important part of its characteristics can be discovered before performing the frequency domain analyses. For dynamic analysis and understanding the relations between the record and the response of the structures and their failures, visual understanding of earthquake time history is also very important. According to the case study presented in this paper, it is possible to achieve such a skill based on the principles of earthquake engineering and the applied mathematics.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

* Corresponding Author

بررسی مفهومی و کاربردی اطلاعات رکورد زلزله در حوزه زمان و ارتباط آن با حوزه فرکانس به روش نگاه سریع (مطالعه موردی: زلزله سرپل ذهاب)

محمدرضا تابش پور*

دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

آزاده نوری فرد

استاد مدعو، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

tabeshpour@sharif.edu

تاریخ پذیرش: ۰۲ دی ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۱۰ شهریور ۱۴۰۳

چکیده

مهندسان معمولاً در مواجهه با تاریخچه زمانی شتاب به مقدار شتاب بیشینه و مدت تقریبی رکورد دقت می‌کنند. حال آنکه بر اساس مفاهیم پایه دینامیک و ارتعاشات و مفاهیم کلیدی سری و تبدیل فوریه در ریاضیات و درک شدت زلزله و پارامترهای مرتبط با آن از مبانی مهندسی زلزله می‌توان با نگاه دقیق و عمیق به جزئیات تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابه جایی، درک و پیش‌بینی نسبتاً دقیقی از ویژگی‌های حوزه فرکانسی و شدت زلزله به دست آورد. اهمیت چنین مهارتی در انجام تحلیل‌های دینامیکی و تفسیر نتایج حاصل دوجندان می‌شود. فرآیند انتخاب و به مقیاس سازی رکوردها نیز در صورت وجود چنین مهارتی، با دقت و درستی بالاتری انجام می‌شود. در این مقاله، روش نگاه دقیق و خلاقانه‌ای به تاریخچه زمانی و ارتباط آن با حوزه فرکانس ارائه گردیده است و در این خصوص از تحلیل رکوردهای زلزله سرپل ذهاب در نرم افزار ساینز موسیگنال بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت خوبی بین استنتاجات از روی تاریخچه زمانی با حوزه فرکانس وجود دارد و می‌توان با نگاه دقیق به تاریخچه زمانی رکورد زلزله، بخش مهمی از ویژگی‌های آن را قبل از انجام تحلیل‌های حوزه فرکانسی کشف کرد. هنگامی که قرار است تحلیل‌های دینامیکی صورت بگیرد و یا در مواجهه با رخداد زلزله و ارتباط رکورد ثبت شده با پاسخ سازه‌ها و خرابی‌های اتفاق افتاده، خوانش بصری تاریخچه زمانی زلزله نیز بسیار اهمیت دارد. مطابق مطالعه موردی ارائه شده در این مقاله می‌توان گفت رسیدن به چنین مهارتی بر اساس اصول مهندسی زلزله و مفاهیم ریاضیات کاربردی امکان پذیر است.

واژگان کلیدی: رکورد زلزله، طیف فوریه، حوزه زمان-فرکانس، خوانش بصری، زلزله سرپل ذهاب

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

در این مقاله به تحلیل و تفسیر رکوردهای ثبت شده در زلزله سرپل ذهاب پرداخته شده است. معمولاً آنچه در اغلب گزارش‌های مقدماتی زلزله‌ها در تمام دنیا به صورت عادت ارائه می‌شود، بیان برخی برداشت‌ها از رکورد شتاب بدون توجه به کاربرد و تفسیر آن‌ها در بخش مهندسی و طراحی لرزه‌ای می‌باشد. برای اولین بار در این مقاله سعی شده است تا آنچه یک مهندس طراح در ارتباط با رکوردهای ثبت شده در زلزله باید بداند، به صورت مفهومی و کاربردی بیان شود.

روش پیشنهادی مبتنی بر سری فوریه برای بیان توابع دلخواه به صورت توابع هارمونیک در مهندسی و فیزیک کاربردهای فراوانی دارد [۱، ۲ و ۳]. این روش که به صورت سری و تبدیل فوریه ارائه می‌شود ابزار قدرتمندی برای تحلیل و تفسیر پدیده‌های مختلف است [۴]. انتقال از حوزه‌های زمانی یا مکانی به حوزه‌های فرکانسی یا عدد موجی علاوه بر ارائه درک عمیق در شناخت پدیده، ضمناً روش مناسبی برای تجزیه و تحلیل می‌باشد [۵ و ۶]. مفهوم طیف پاسخ در مهندسی زلزله یک ابزار قدرتمند برای احاطه به خواص ارتعاشی و اثرات زلزله در انواع سازه‌ها می‌باشد [۷]. این رویکرد امروزه در تمام آیین‌نامه‌های ساختمانی دنیا مورد استفاده می‌باشد [۸]. اهمیت این رویکرد به نحوی است که مباحث دینامیک سازه‌ها مبتنی بر آن بیان می‌شود [۹ و ۱۰].

اولین و مهمترین داشته در مهندسی زلزله عبارتست از رکورد ثبت شده از حرکت زمین در حین زلزله. با درک عمیق ویژگی‌های نهفته در این تاریخچه می‌توان تخمین مناسبی از اثر آن بر روی انواع سازه‌ها در ساختمانهای مختلف داشت. البته رفتار سازه‌ها در زلزله علاوه بر ویژگی‌های ارتعاشی (فرکانسی) در رکورد زلزله و خاک ساختمانی و سازه، شدیداً تابعی از کیفیت ساخت و ساز نیز می‌باشد. البته بخش مهمی از کیفیت ساخت و ساز بعد از وقوع زلزله‌ها آشکار می‌شود [۱۱]. با دقت در مقادیر دامنه و فواصل بین نقاط تلاقی با محور افقی (صفر) در تاریخچه شتاب و سرعت و جابه‌جایی حرکت زمین در زلزله می‌توان میزان اثر آن بر انواع سازه‌ها را پیش‌بینی کرد. یکی از مهمترین اهداف آیین‌نامه‌های لرزه‌ای عبارتست از ارائه روش و ابزار لازم برای تحلیل دینامیکی و یا طیفی برای تعیین پاسخ سازه در زلزله و طراحی مناسب آن. بدین منظور باید رکوردهای مناسبی انتخاب و به مقیاس شوند [۸]. در انتخاب رکورد مناسب باید به ویژگی‌های ارتعاشی سازه و تحریک شدن آن توسط رکورد، توجه شود. برای این کار باید رکورد شتاب دارای محتوای فرکانسی مناسبی باشد. در این راستا بر اساس دوره تناوب سازه و مقدار آن، ممکن است لازم شود علاوه بر رکورد شتاب، به تاریخچه زمانی سرعت و جابه‌جایی نیز توجه گردد. حتی بر اساس میزان تطابق بین محتوای فرکانسی رکورد با ویژگی‌های ارتعاشی سازه می‌توان نسبت به تعداد رکوردها نیز اعلام نظر کرد [۱۰]. هرچند به طور متعارف در مبانی مهندسی زلزله، دانشجویان و مهندسان به طور کلاسیک با طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابه‌جایی آشنا می‌شوند ولی تبدیل

فوریه این تاریخچه‌ها نیز دارای اطلاعات بسیار ارزشمندی از میزان شدت زلزله و اثرپذیری انواع سازه‌ها از آن است [۱۰]. نکته مهم اینست که با دقت در تاریخچه زمانی می‌توان تخمین و پیش‌بینی خوبی از طیف پاسخ و فوریه داشت. با توجه به تفاوت ماهیت اثرپذیری سازه‌های با پریود کوتاه و بلند، علاوه بر چنین ویژگی‌هایی در تاریخچه شتاب، باید به تاریخچه سرعت و جابه‌جایی نیز دقت و توجه گردد.

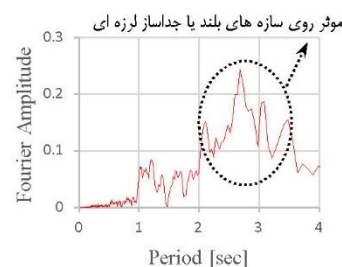
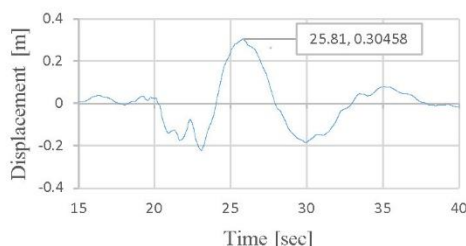
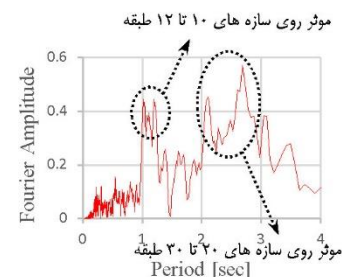
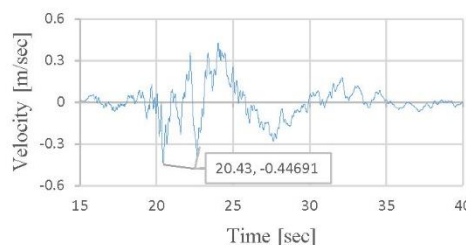
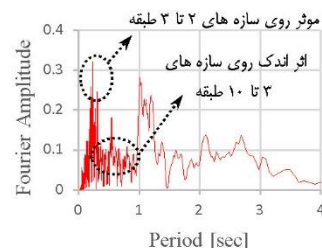
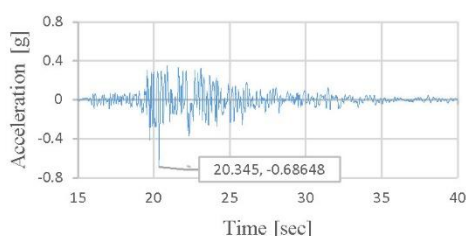
امروزه بر اساس مفاهیم و روش‌های ارتعاشات تصادفی، نرم افزارهای متعددی برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های زلزله توسعه یافته است [۶]. به عنوان نمونه می‌توان به مجموعه نرم‌افزارهای سیزموسافت^۱، از جمله سیزموسیگنال^۲، سیزمومچ^۳، سیزموآرتیف^۴، سیزمواسپکت^۵، سیزموسلکت^۶ می‌توان اشاره کرد. یک مهندس هوشمند بیشتر از تلاش برای گرفتن خروجی از چنین نرم‌افزارهایی، در افزایش درک و عمق نگرش به مفاهیم و نکات موجود در خود تاریخچه زمانی توجه می‌کند. بدین ترتیب می‌تواند نتایج حاصل از نرم‌افزارها را درک کرده و راجع به صحت آن‌ها اعلام نظر نموده و حداکثر استفاده را در رفتارشناسی و طراحی سازه‌ها انجام دهد. هدف از این مقاله، بازخوانی نگاه دقیق به ویژگی‌های تاریخچه زمانی زلزله و ارتباط آن با داده‌های حوزه فرکانس می‌باشد. در این رابطه از تحلیل رکوردهای زلزله سرپل ذهاب در نرم‌افزار سیزموسیگنال بهره گرفته شده است. با نگاهی عمیق و فیلسوفانه به تاریخچه زمانی زلزله و درک عمیق سری و تبدیل فوریه و مفهوم طیف پاسخ می‌توان قبل از انجام محاسبات مربوط به طیف و حوزه فرکانس و ویژگی‌های محتوای فرکانسی یک تاریخچه با تخمین مناسبی نسبت به آن‌ها، اطلاعات کسب کرد. چنین مهارتی در بخش‌های مختلفی در طراحی سازه‌ها از جمله انتخاب رکورد مناسب برای تحلیل‌های دینامیکی بر اساس خواص ارتعاشی سازه موجود، کاربردهای زیادی دارد.

۲- تاریخچه زمانی و فوریه مولفه شمالی- جنوبی زلزله سرپل ذهاب

در شکل ۱ تاریخچه زمانی و فوریه مربوط به شتاب، سرعت و جابه‌جایی به مولفه شمالی- جنوبی زلزله سرپل ذهاب با استفاده از نرم‌افزار سیزموسیگنال ارائه شده است [۱۲]. طیف فوریه شتاب درک عمیقی از محتوای فرکانسی برای سازه‌های سخت یا کم ارتفاع به دست می‌دهد. این سازه‌ها به شتاب حساس بوده و در نتیجه رکوردهایی که در فرکانس‌های متناظر سازه‌های کوتاه دارای قله‌های قابل ملاحظه می‌باشند، اهمیت زیادی دارند. طیف فوریه سرعت اطلاعات مناسبی از محتوای فرکانسی برای سازه‌های با ارتفاع متوسط

^۱ SeismoSoft^۲ SeismoSignal^۳ SeismoMatch^۴ SeismoArtif^۵ SeismoSpect^۶ SeismoSelect

در شکل ۱، محدوده‌های موثر بر روی طیف فوریه نشان داده شده است. با دقت در شکل و توجه به مقادیر تبدیل فوریه شتاب و سرعت ملاحظه می‌شود که هر دوی اینها در محدوده ۰.۵ تا ۱ ثانیه مقدار اندکی دارند و در نتیجه در محدوده انتقال از پریود ۰.۵ ثانیه به ۱ ثانیه که عملاً سازه‌های ۵ تا ۱۰ طبقه را شامل شده و محدوده وسیعی از ساختمان‌های متوسط می‌باشد، این رکورد محتوای فرکانسی مناسبی نداشته و در نتیجه برای تحلیل دینامیکی چنین سازه‌هایی مناسب نمی‌باشد. به این ترتیب با چنین اطلاعاتی می‌توان نسبت به انتخاب مناسب رکورد در تحلیل‌های تاریخچه زمانی اقدام کرد.



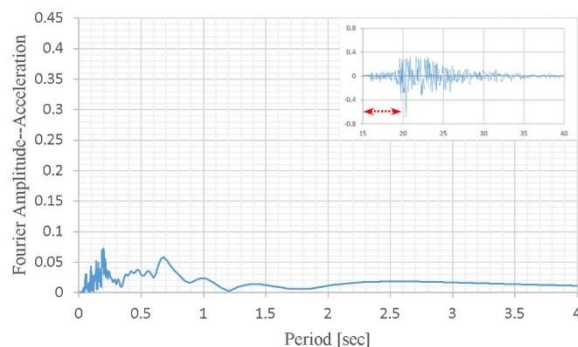
شکل ۱- دامنه‌ی فوریه و تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی مولفه شمالی- جنوبی زلزله سرپل ذهاب

مهمترین بخش این زلزله همین نقطه بیشینه شتاب است پس بسیار مهم است دوره تناوب حرکات در اطراف این نقطه بررسی شود. سازه‌هایی با این دوره تناوب بیشترین اثر در زلزله را می‌پذیرند. در این حالت که پریود ۰.۲۲ ثانیه است می‌توان نتیجه گرفت سازه‌های دو طبقه بیشترین اثر را می‌پذیرند. یک نکته مهم در درک عمیق تاریخچه زمانی شتاب و موقعیت مقادیر بحرانی آن در بازه زمانی زلزله (ابتدا تا انتهای رکورد)، اینست که می‌توان با توجه به

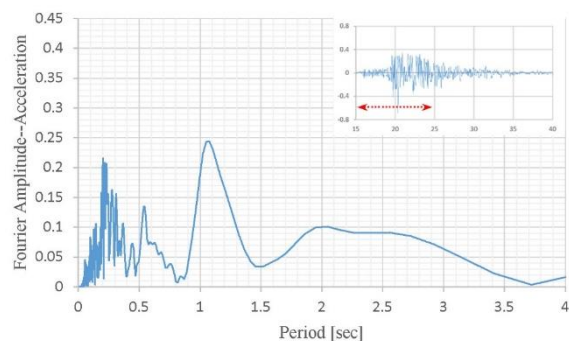
به دست می‌دهد. این سازه‌ها به پارامتر سرعت حساس بوده و در نتیجه اگر در محدوده پریودهای بین ۰.۵ تا ۱ ثانیه، طیف فوریه تاریخچه سرعت دارای قله‌های مهمی باشد، یعنی آن رکورد چنین سازه‌هایی را شدیداً تحریک می‌کند. طیف فوریه جابه‌جایی اطلاعات مناسبی از محتوای فرکانسی برای سازه‌های بلند به دست می‌دهد. اگر تحلیل دینامیکی سازه‌های دارای پریود بلند مثلاً سازه‌های بلندتر از ۲۰ طبقه و یا سازه‌های دارای جداساز لرزه‌ای پایه مدنظر باشد، باید دقت شود که رکورد انتخاب شده در پریودهای بلند دارای محتوای فرکانسی و یا قله‌های قابل ملاحظه‌ای باشد.

۳- تاریخچه زمانی و طیف فوریه شتاب

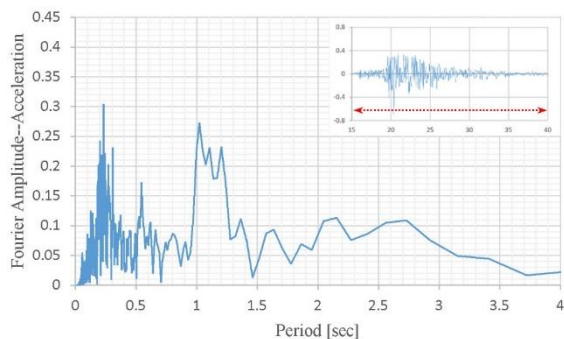
در شکل ۲ تاریخچه زمانی شتاب مولفه شمالی- جنوبی زلزله سرپل ذهاب ترسیم شده است و مقدار PGA این مولفه 0.686g می‌باشد. با دقت در تاریخچه شتاب در بازه بین ۲۰ تا ۲۱ ثانیه که در مجاورت بیشینه شتاب است، حدوداً 4.5 سیکل طی یک ثانیه مشاهده می‌شود که به طور متوسط پریود هر سیکل حدود ۰.۲۲ ثانیه است در نتیجه به طور کاملاً تقریبی می‌توان انتظار داشت که پریود غالب در طیف شتاب در محدوده ۰.۲ ثانیه باشد. از نظر شتاب



شکل ۳- تبدیل فوری شتاب مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب با تاریخچه از ۱۵ تا ۲۰ ثانیه



شکل ۴- تبدیل فوری شتاب مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب با تاریخچه از ۲۵ تا ۳۵ ثانیه

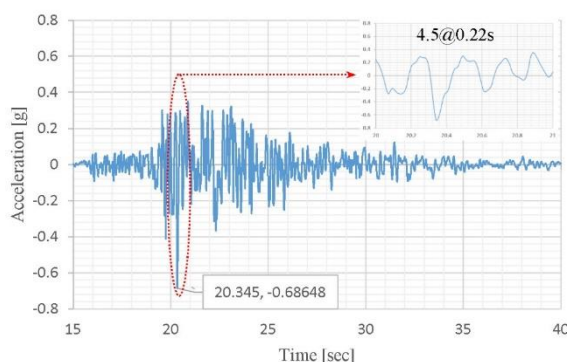


شکل ۵- تبدیل فوری شتاب مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب با تاریخچه از ۴۰ تا ۵۰ ثانیه

۴- تاریخچه زمانی و طیف فوری سرعت

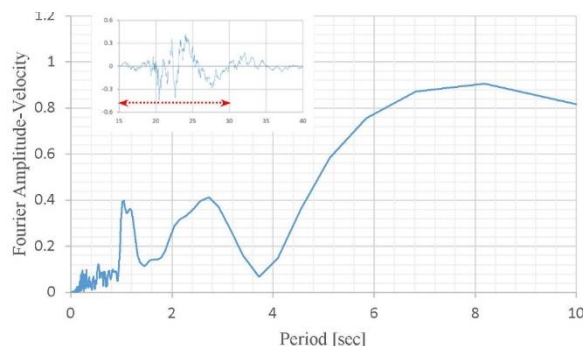
در شکل ۶ تاریخچه زمانی سرعت مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب رسم شده است. در این شکل، دو سیکل با پریودهای ۲ و ۷ ثانیه مشاهده می‌شود و در نتیجه انتظار می‌رود که اگر فوری سرعت شکل ۱، در پریود بیشتری رسم شود یک قله در محدوده پریود ۷ ثانیه وجود داشته باشد، صحت این پیش بینی در شکل ۷ قابل مشاهده است. حال اگر تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه

غیرمانا^۷ بودن تاریخچه شتاب، به صورت پلکانی (افزایشی) از ابتدای رکورد تا مقدار مشخصی را فوری گرفت. این کار در شکل‌های ۳ تا ۵ انجام شده است. در شکل ۳ که از تاریخچه شتاب از ۱۵ تا ۲۰ ثانیه فوری گرفته شده است، بیشینه دامنه فوری شتاب حدود ۰.۰۶ است ولی قله‌ها در ۰.۰۲، ۰.۰۷ و ۱ ثانیه رخ داده است. در شکل ۴ فوری تاریخچه شتاب از ۲۵ تا ۳۵ ترسیم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود در ۰.۰۲ ثانیه و ۱ ثانیه قله وجود دارد. افزایش بازه های فوری به میزان ۵ ثانیه به ترتیب تا ۳۰، ۳۵ و ۴۰ که در شکل ۵ مربوط به تاریخچه از ۴۰ تا ۵۰ ثانیه ۴۰ نمایش داده شده است، تغییر قابل توجهی نسبت به شکل ۴ مشاهده نمی‌شود. وقتی در این فرآیند افزایش بازه محاسبه فوری، تغییر قابل توجهی مشاهده نشود، نشان می‌دهد از این ثانیه زلزله رو به افول است. این کار همچنین کمک می‌کند مدت تداوم محاسبه شود. با مقایسه این شکل‌ها می‌توان فهمید که ۵ ثانیه ابتدای رکورد (شکل ۳) هر چند حتی در پریودهای بلند نیز محتوای فرکانسی دارد ولی مقدار این محتوا ناچیز است. با مقایسه شکل‌های بعدی می‌توان فهمید که از ۲۵ ثانیه رکورد تا آخر آن عملاً اتفاق خاصی رخ نمی‌دهد. یعنی اگر برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی فقط ۵ ثانیه بین ۲۰ تا ۲۵ انتخاب شود و ضمناً به شکل ۱ نیز دقت شود که مقادیر بیشینه سرعت و شتاب و جابه جایی نیز در همین بازه قرار دارند، با دقت خوبی می‌توان گفت که تحلیل تاریخچه زمانی نسبت به کل رکورد اولاً زمان بسیار کمتری نیاز دارد و ثانیاً همان نتایج حاصل می‌شود. چنین صرفه جویی در کارهای تحلیل بسیار اهمیت دارد، یعنی علاوه بر آن که باید رکورد به درستی انتخاب شود، ضمناً می‌توان بخش مناسبی از این رکورد را انتخاب کرد.



شکل ۶- تاریخچه زمانی شتاب مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب

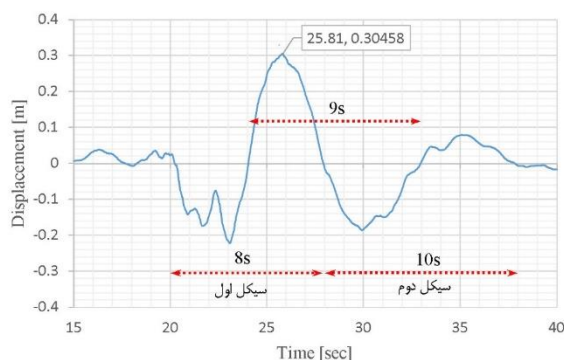
^۷ Non stationary



شکل ۹- تبدیل فوری سرعت مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب با تاریخچه از ۱۵ تا ۳۰ ثانیه

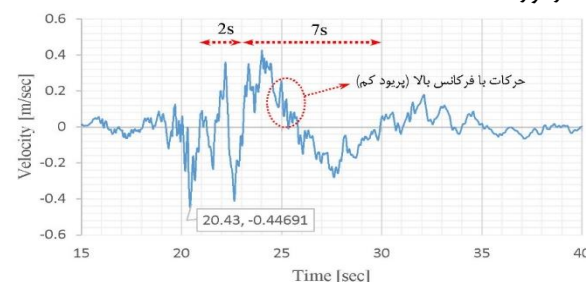
۵- تاریخچه زمانی و طیف فوری جابه جایی

تبدیل فوری جابه جایی و درک آن اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب رکورد مناسب در سازه‌های بلند و نیز سازه‌های روی جداساز لرزه‌ای پایه و یا ساختمان روی لایه‌های نرم خاک دارد. در شکل ۱۰ تاریخچه زمانی جابه جایی و در شکل ۱۱ تبدیل فوری جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی زلزله سرپل ذهاب تا پریود ۴ ثانیه دیده می‌شود. همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، یک سیکل ۹ ثانیه‌ای در بازه ۲۴ تا ۳۳ تاریخچه جابه جایی مشاهده می‌شود، همچنین می‌توان این تاریخچه جابه جایی را به صورت دو سیکل بلند پریود در نظر گرفت که سیکل اول از ثانیه ۲۰ تا ۲۸ بوده و سیکل دوم از ثانیه ۲۸ تا ۳۸ می‌باشد. برای کشف وجود آن سیکل لازم است که مطابق شکل ۱۲ محور افقی فوری را تا پریود ۱۰ ثانیه در نظر گرفت. در این شکل فوری دارای یک قله قابل توجه در ثانیه ۹ است دامنه این پریود از تمام پریودهای قبلی مهمتر است. اگر یک سازه ۱۰۰ طبقه طراحی شود که پریود حدود ۹-۱۰ ثانیه‌ای دارد، در آنجا این رکورد اهمیت دارد. درست است که در این سازه‌ها شدت باد غالب است ولی اگر امکان رخداد زلزله‌ای به این صورت وجود داشته باشد، این زلزله می‌تواند سازه ۱۰۰ طبقه را بیشتر از باد تحت تحریک قرار دهد.

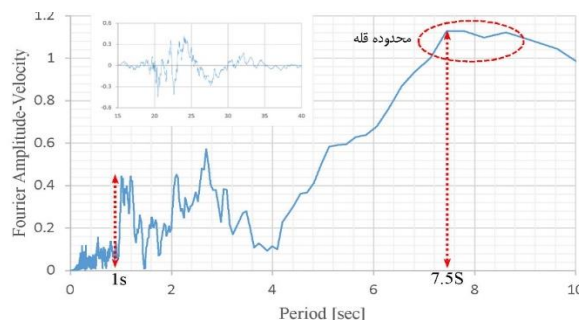


شکل ۱۰- تاریخچه زمانی جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب

بلندی که دارای پریودی حدود 6.5 ثانیه است، مدنظر باشد، این رکورد می‌تواند انرژی قابل ملاحظه‌ای در سیکل مربوطه که در شکل ۶ نشان داده شده است، به سازه وارد کند.

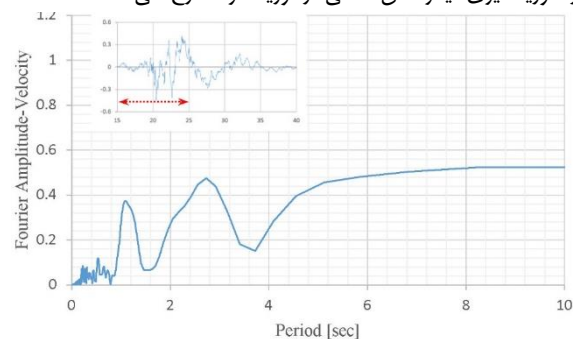


شکل ۶- تاریخچه زمانی سرعت مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب



شکل ۷- تبدیل فوری سرعت مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب تا پریود ۱۰ ثانیه

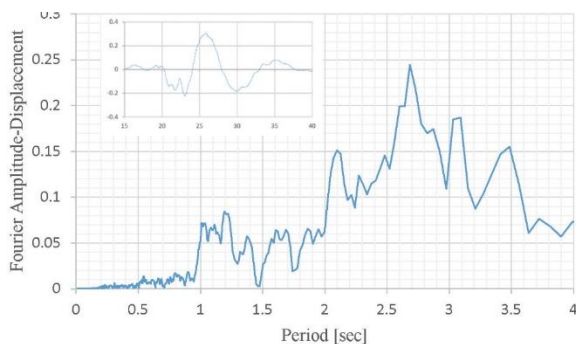
مشابه کاری که برای شتاب انجام شد، می‌توان مطابق شکل‌های ۸ و ۹ برای بازه‌های مختلف تاریخچه سرعت، دامنه فوری را رسم کرد. در شکل ۸ که فوری مربوط به تاریخچه سرعت از ۱۵ تا ۲۵ ثانیه است، اثری از قله در ثانیه ۸ مشاهده نمی‌شود ولی زمانی که فوری بر روی تاریخچه سرعت از ۱۵ تا ۳۰ ثانیه افزایش می‌یابد (شکل ۹)، در ثانیه ۸ قله مشاهده می‌شود که مقدار آن از همه قله‌های قبلی بیشتر است. این دقیقاً مربوط به حرکتی است که با پریود ۷، ۸ ثانیه از ثانیه ۲۳ تا ۳۰ رخ داده است. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش بازه فوری گیری دیگر اتفاق خاصی در فوری سرعت رخ نمی‌دهد.



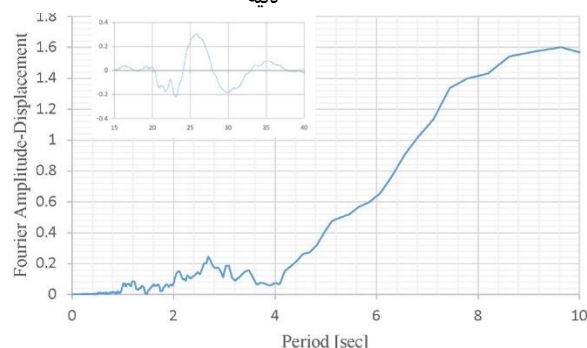
شکل ۸- تبدیل فوری سرعت مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب با تاریخچه از ۱۵ تا ۲۵ ثانیه

محل و مقدار بزرگترین قله در فوریه سرعت در شکل ۱۳-ب نشان داده شده است. این قله در دوره تناوب ۲٫۷ ثانیه رخ داده است. با دقت در تاریخچه زمانی سرعت، انتظار چنین قله‌ای وجود داشت. محل و مقدار بزرگترین قله در فوریه جابه جایی در شکل ۱۳-ج نشان داده شده است. این قله در دوره تناوب ۲٫۷ ثانیه رخ داده است. با دقت در تاریخچه زمانی جابه جایی، انتظار چنین قله‌ای وجود داشت. قله فوریه سرعت در ۲٫۷ ثانیه و فوریه جابه جایی در همین ثانیه نشان می‌دهد ساختمان‌های حدود ۳۰ طبقه در این زلزله شدیداً اثر می‌پذیرند، اگر در سرپل ذهاب سازه‌های ۳۰ تا ۳۵ طبقه بود، آسیب قابل ملاحظه‌ای می‌دیدند. چون سازه بلند است و در نتیجه به طیف پاسخ جابه‌جایی حساس است و مشاهده می‌شود که مقدار تبدیل فوریه جابه جایی، در محدوده پریود سازه، دارای بیشترین مقدار است، در نتیجه این رکورد، آن سازه بلند را شدیداً تحریک می‌کند.

فوریه سرعت و جابه جایی تا پریود ۱۰ ثانیه در شکل ۱۴ ترسیم شده است. با دقت در تاریخچه زمانی سرعت و جابه جایی، انتظار وجود قله در پریودهای بزرگتر نیز وجود دارد که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود. از روی تاریخچه سرعت، انتظار محتوا داشتن فوریه در ثانیه ۲ و حدود ثانیه ۷ وجود دارد که این امر به خوبی در شکل ۱۴-الف نشان داده شده است. با دقت در تاریخچه جابه جایی انتظار می‌رود فوریه جابه جایی در ثانیه حدود ۹ دارای محتوای فرکانسی باشد این امر در شکل ۱۴-ب قابل مشاهده است.



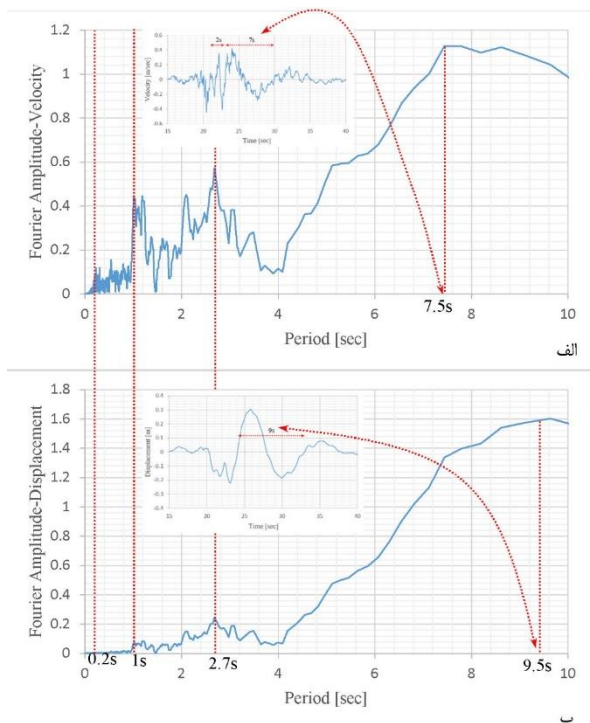
شکل ۱۱- تبدیل فوریه جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب تا پریود ۴ ثانیه



شکل ۱۲- تبدیل فوریه جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب تا پریود ۱۰ ثانیه

۶- طیف فوریه شتاب، سرعت و جابه جایی

فوریه شتاب، سرعت و جابه جایی تا پریود ۴ ثانیه در شکل ۱۳ ترسیم شده است. محل و مقدار بزرگترین قله در فوریه شتاب در شکل ۱۳-الف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در دو دوره تناوب حدود ۰٫۲ ثانیه و ۱ ثانیه دو قله با مقدار نزدیک به هم وجود دارد. ملاحظه شد که در شکل ۲ فاصله بین قله‌ها در محدوده PGA تقریباً مساوی همین مقدار ۰٫۲ ثانیه است. در نتیجه انتظار می‌رفت که در دوره تناوب حدود ۰٫۲ ثانیه در تبدیل فوریه شتاب، قله مشاهده شود. در قله اول مربوط به ۰٫۲ ثانیه که فوریه محتوای فرکانسی دارد و سازه‌های کوتاه از آن اثر می‌پذیرند، سرعت و جابه جایی محتوای فرکانسی ندارد. در قله دوم فوریه شتاب که مربوط به ۱ ثانیه است، محتوای فرکانسی شتاب اهمیت ندارد چون این پریود مربوط به سازه‌های متوسط حدود ۱۰ طبقه است حساس به شتاب نیستند ولی در این پریود، فوریه سرعت هم دارای محتوای فرکانسی است و اتفاقاً سازه‌های متوسط از آن اثر می‌پذیرند. در نتیجه سازه‌های ۱۰ طبقه از این رکورد اثر می‌پذیرند نه به خاطر این که دامنه فوریه شتاب در ۱ ثانیه خیلی بزرگ است بلکه به خاطر اینکه فوریه سرعت در ۱ ثانیه محتوای فرکانسی خیلی مهمی دارد.

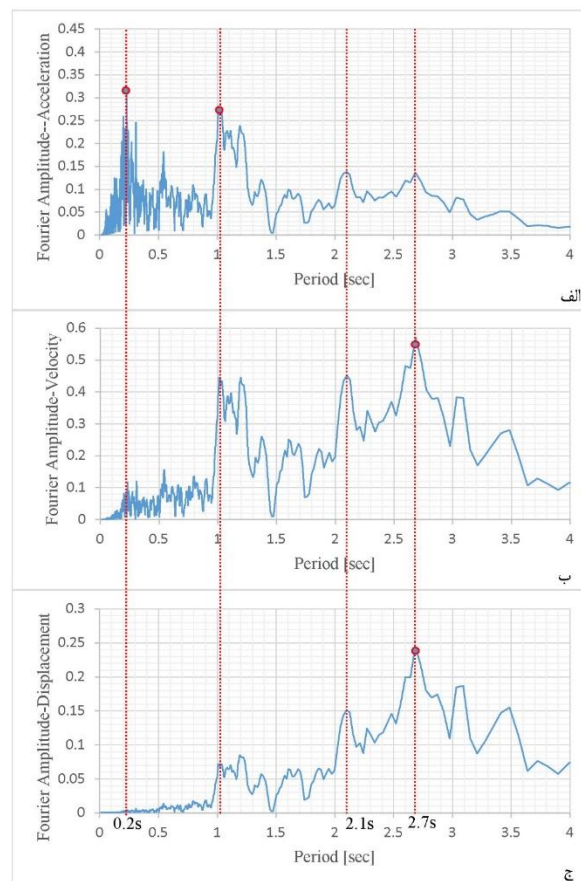


شکل ۱۴- فوریه (الف) سرعت و (ب) جابه جایی مولفه شمالی-جنوبی سرپل ذهاب تا پریود ۱۰ ثانیه

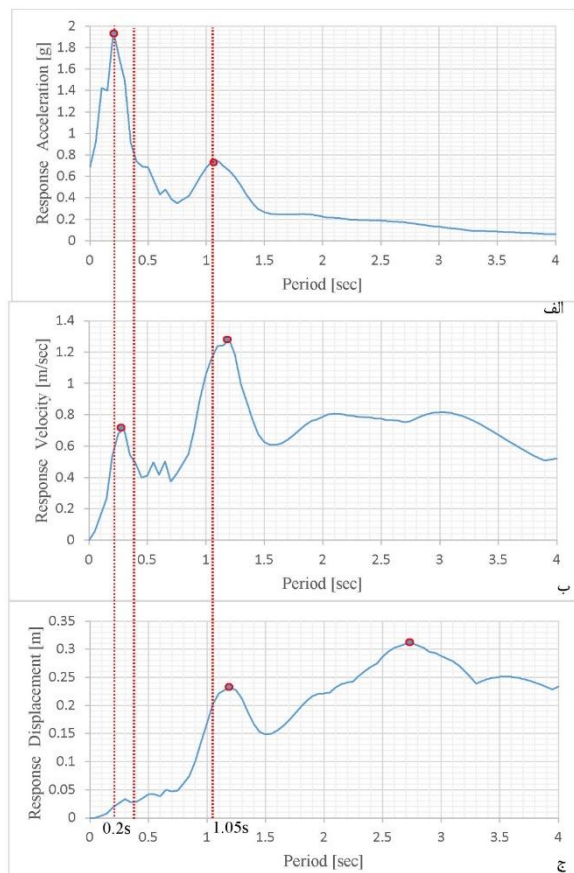
۷- بررسی تطبیقی طیف‌های پاسخ و فوریه

هر سه طیف شتاب، سرعت و جابه جایی به صورت مقایسه‌ای در شکل ۱۵ رسم شده است. در شکل ۱۵-الف مشاهده می‌شود طیف شتاب در ۰.۲ ثانیه دارای قله است، در همین ثانیه طیف سرعت هم قله دارد ولی قله اصلی طیف سرعت در این پریود نمی‌باشد بلکه در پریود ۱ ثانیه است. در واقع هر دو طیف شتاب و سرعت در پریود ۰.۲ و ۱ ثانیه دارای قله هستند ولی قله اصلی طیف شتاب در ۰.۲ ثانیه است و قله اصلی طیف سرعت در ۱ ثانیه است. این امر خطرناک است چون برای سازه‌های دو طبقه که به شتاب حساسند، طیف شتاب محتوای فرکانسی دارد و برای سازه‌های ۱۰ طبقه که حساس به سرعت هستند، طیف سرعت محتوای فرکانسی دارد. در خصوص سازه‌های بلند هم که به جابه جایی حساسند، طیف جابه جایی در حدود ۲.۵ ثانیه دارای محتوای فرکانسی است. لذا زلزله سرپل ذهاب این ویژگی را دارند که تقریباً تمام سازه‌ها از آن اثر می‌پذیرند.

در شکل ۱۶ مقایسه تطبیقی کاملی بین طیف‌های پاسخ و فوریه برای هر سه پارامتر شتاب، سرعت و جابه جایی ارائه شده است. انطباق بالایی بین محتوای فرکانسی و موقعیت قله‌ها در طیف شتاب و فوریه شتاب مشاهده می‌شود. عملاً قله‌های این دو در موقعیت یکسانی رخ داده‌اند. نکته مهم



شکل ۱۵- فوریه (الف) شتاب، (ب) سرعت و (ج) جابه جایی مولفه شمالی-جنوبی سرپل ذهاب تا پریود ۴ ثانیه



شکل ۱۵- طیف (الف) شتاب، (ب) سرعت و (ج) جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب

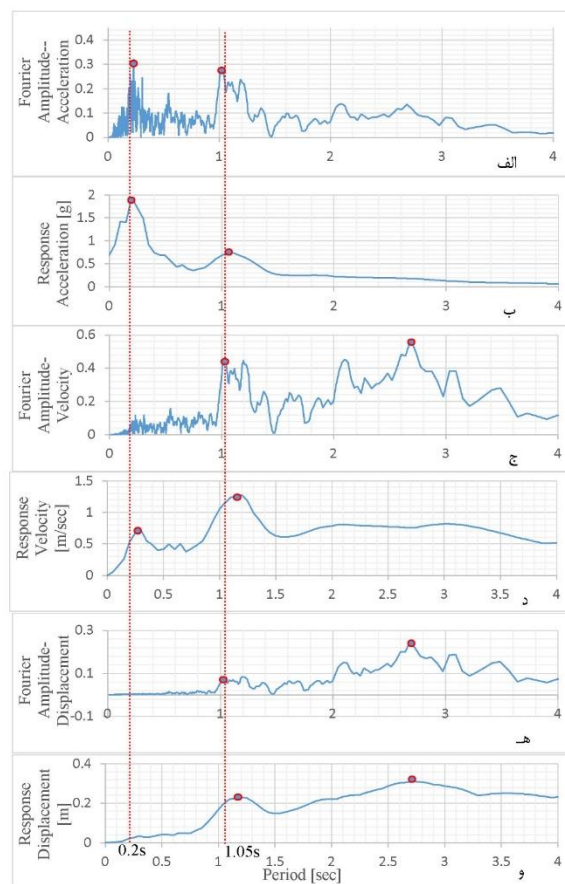
آن که بین قله اول و دوم در طیف فوریه اختلاف زیادی وجود ندارد. حال آن که مقدار قله اول در طیف پاسخ شتاب چندبرابر قله دوم است، به بیان دیگر در طیف شتاب، ثانیه ۱ خیلی مهم نیست.

با مقایسه طیف فوریه و پاسخ سرعت ملاحظه می شود که هر دو در ۱ ثانیه دارای قله هستند. هرچند در طیف فوریه سرعت در محدوده حدود ۲،۵ تا ۳ ثانیه قله بزرگتری نسبت به قله اول وجود دارد ولی در این مقدار از دوره تناوب در طیف پاسخ سرعت، قله ای وجود ندارد. به بیان دیگر بر اساس فوریه سرعت، ساختمان های ۲۵ طبقه نیز اثر پذیرند ولی بر اساس طیف سرعت اینگونه نیست. لذا در فرایند انتخاب رکورد مناسب باید علاوه بر طیف شتاب، سرعت و جابه جایی به فوریه شتاب، سرعت و جابه جایی هم توجه شود. مشاهده می شود که محل قله ها در طیف پاسخ سرعت دقیقاً همان محل قله ها در طیف پاسخ شتاب می باشد با این تفاوت که قله بزرگتر در شتاب قله اول است ولی در سرعت قله دوم است.

با مقایسه فوریه جابه جایی و طیف پاسخ جابه جایی مشخص است که محل قله ها بر هم منطبق است ولی در پریرود متناظر با قله اول در طیف شتاب و طیف سرعت، قله ای در طیف پاسخ جابه جایی وجود ندارد ولی قله اصلی موجود در طیف پاسخ جابه جایی علاوه بر همخوانی با فوریه جابه جایی، دقیقاً در محل قله دوم طیف پاسخ شتاب و قله دوم (اصلی) در طیف پاسخ سرعت واقع شده است. ملاحظه می شود که قله پهن دیگری در محدوده پریرود ۲،۵ ثانیه در هر دو طیف فوریه جابه جایی و طیف پاسخ جابه جایی مشاهده می شود.

کسب کرد. برای درک و بررسی اثر یک زلزله بر انواع سازه‌های محل وقوع، لازم است همزمان به ویژگی‌های دامنه و محتوای فرکانسی آن توجه و دقت شود. بررسی دقیق تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابه جایی مولفه شمالی- جنوبی زلزله سرپل ذهاب به عنوان یک مطالعه موردی به خوبی نشان می‌دهد با نگاه دقیق به تاریخچه زمانی رکورد زلزله، بخش مهمی از ویژگی‌های آن را قبل از انجام تحلیل‌های حوزه فرکانسی می‌توان کشف کرد. چنین مهارتی در بخش‌های مختلفی در طراحی سازه‌ها از جمله انتخاب رکورد مناسب برای تحلیل‌های دینامیکی بر اساس خواص ارتعاشی سازه موجود، کاربردهای زیادی دارد. در تحلیل‌های دینامیکی خطی و غیرخطی باید رکورد انتخابی دارای شرایط مناسبی برای تحریک سازه‌های مورد بررسی باشد. برای این امر باید تفسیر و تحلیل دقیق و مناسبی از ویژگی‌های رکورد بر حسب خواص ارتعاشی خاک و سازه داشت.

همانطور که در فرآیند تحلیل و طراحی سازه‌ها، مهارت‌های محاسبات دستی در تخمین اولیه و نیز کنترل صحت نتایج طرح از اهمیت خاصی برخوردار است هنگامی که قرار است تحلیل‌های دینامیکی صورت بگیرد و یا در مواجهه با رخداد زلزله و ارتباط رکورد ثبت شده با پاسخ سازه‌ها و خرابی‌های اتفاق افتاده، خوانش بصری تاریخچه زمانی زلزله نیز بسیار اهمیت دارد. مطابق مطالعه موردی ارائه شده در این مقاله می‌توان گفت رسیدن به چنین مهارتی بر اساس اصول مهندسی زلزله و مفاهیم ریاضیات کاربردی امکان پذیر است.



شکل ۱۶- فوریه و طیف شتاب، سرعت و جابه جایی مولفه شمالی - جنوبی سرپل ذهاب

۸- جمع بندی و نتیجه گیری:

پژوهش حاضر به خوبی نشان می‌دهد تاریخچه زمانی رکورد زلزله‌ها (شتاب نگاشت‌ها) علاوه بر مقدار بیشینه (PGA) شامل اطلاعات زیاد و دقیقی می‌باشد. با نگاهی عمیق و فیلسوفانه به تاریخچه زمانی زلزله و درک عمیق سری و تبدیل فوریه و مفهوم طیف پاسخ می‌توان قبل از انجام محاسبات مربوط به طیف و حوزه فرکانس و ویژگی‌های محتوای فرکانسی یک تاریخچه با تخمین مناسبی نسبت به آن‌ها، اطلاعات

