

## چکیده

در این مقاله، به منظور بررسی ساختار تحلیلی و مبانی طیف پاسخ شتاب نرمال دوسویه (BNRS) و طیف پاسخ سه جانبه نرمال دوسویه بر پایه رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو، از مؤلفه‌های شتاب افقی ثبت شده در ۱۶ ایستگاه لرزه‌نگاری در هنگام دو زلزله بزرگ رخ داده در کالیفرنیا با نام نورتریج (۱۹۹۴) و امپریال ولی (۱۹۷۹) استفاده شده است. همچنین، پیکره تحلیلی طیف پاسخ شتاب نرمال (NRS) و طیف پاسخ سه جانبه نرمال سیستم تک درجه آزادی با طیف پاسخ شتاب نرمال دوسویه نیز مقایسه و ارزیابی گردیده است. ساختار محاسباتی مربوطه بر پایه معیارسازی طیف پاسخ شبه‌شتاب تدوین شده است. با توجه به شناسایی مشخصات رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک توسط پارامترهای بیشینه شتاب (PGA) و سرعت (PGV) زمین و همچنین قابلیت آزادسازی انرژی زیاد در یک بازه زمان کوتاه، در این مقاله برای بررسی تأثیرات آنها بر طیف‌های پاسخ مذکور از پارامترهای طول گام‌های زمانی پالس سرعت و ساختار اصلی آن، نسبت‌های انرژی دو مؤلفه افقی، بیشینه‌های طیفی استفاده شده است. ارزیابی محاسباتی صورت گرفته در این تحقیق نشان داد که طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال دوسویه با معیار پیروید غالب BNPRS(Tp) دارای ساختار هموارتری است و تغییرات پارامترهای طیفی، تأثیرات کوچک‌تری بر آن دارد.

**واژگان کلیدی:** طیف پاسخ نرمال، طیف پاسخ نرمال دو سویه، رکورد حوزه نزدیک، پالس سرعت، گام زمانی پالس، پیروید غالب.

## بررسی تأثیر پارامترهای طیفی رکوردهای حوزه نزدیک دارای پالس پیوسته سرعت بر ساختار تحلیلی طیف پاسخ نرمال دوسویه

## صفورا مرشد شکرچی

دانشجوی دکتری عمران - سازه، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

## افشین مشکوه‌الدینی (نویسنده مسئول)

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران،  
meshkat@khu.ac.ir

## علی معصومی

استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

زیاد به ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی شود [۳-۵]. طیف پاسخ، اولین بار توسط هاسنر به عنوان یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی بیشینه پاسخ ساختمان‌ها تحت بار زلزله معرفی شد. بر اساس مفهوم‌سازی تحلیلی پاسخ بیشینه یک سیستم تک‌درجه آزادی تحت تحریکات لرزه‌ای، طیف پاسخ به دست می‌آید. پاسخ سازه تحت تأثیر پارامترهای زمین‌شناختی همچون مکانیسم گسل، فاصله رو مرکز و عمق گسلش، هندسه و خصوصیات زمین‌شناسی در طول مسیر انتقال انرژی، بزرگا و نیز شرایط خاک در ایستگاه ثبت رکورد و پارامترهای سازه‌ای است. طیف پاسخ در واقع، توصیفی از تقاضای لرزه‌ای سازه تحت تحریک زلزله و ابزاری برای دریافت بیشینه پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه است. بدین لحاظ، با در نظرگیری شرایط مختلف ساختگاه، یک طیف

همواره بررسی دامنه پاسخ لرزه‌ای سازه و شناخت مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک به دلیل ویژگی‌های خاص آنها و تفاوت با رکوردهای حوزه دور حائز اهمیت بوده است. ماهیت حرکات زمین در حوزه نزدیک گسل با مشخصاتی مانند دامنه بزرگ و پیروید بلند، مدت زمان کوتاه جنبش نیرومند زمین، نسبت حداکثر سرعت (PGV) به حداکثر شتاب (PGA) و نیز نسبت حداکثر جابه‌جایی (PGD) به حداکثر شتاب زمین شناخته می‌شوند [۱-۲]. همچنین فرآیند جهت‌داری گسلش<sup>۱</sup> نیز در پارامترها و تأثیرگذاری این رکوردها بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها مؤثر است. پالس سرعت موجود در تاریخچه زمانی رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو<sup>۲</sup>، انرژی بسیار زیادی را در مدت زمان کوتاهی به سازه وارد می‌کند. این امر می‌تواند سبب وارد آمدن خسارات

شتاب اتفاق می‌افتد [۱۲]. نمود این روند نیز در افزایش نسبی دامنه پالس سرعت و کاهش زمان آزاد شدن مقادیر بزرگ انرژی جنبشی است. این موضوع سبب شدیدتر شدن اثرگذاری رکوردهای نیرومندتر زلزله بر ساختگاه می‌شود.

نکته دیگر آنکه برای بررسی اثرات جنبش‌های نیرومند زمین با پیرو بلند، از طیف پاسخ به‌دست‌آمده بر اساس ساختارهای هارمونیک معادل نیز استفاده می‌شود. مؤلفه‌های مدل توسط شکل موج هارمونیک و تعریف چندین پارامتر ساختاری و ضرایب تأثیرگذار بر طیف پاسخ مؤلفه‌های برازش شده (با تأکید بر اثر ترکیب مودها) محاسبه می‌گردد. نتایج مطالعات این زمینه نیز نشان داد که استفاده روش مذکور، ساده‌تر و آسان‌تر از کاربرد مدل‌سازی فرم بسته حرکات زمین است و همچنین با حرکت زمین از نوع پالس‌های حوزه نزدیک، بسیار همخوانی دارد [۱۳-۱۴].

فانمقامیان و نوجوان [۱۵] روابط تحلیلی موجود در سه ویراست مختلف آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) را بررسی مقایسه‌ای نمودند. آنها برای به دست آوردن نتایج قابل اطمینان از داده‌های پنج زلزله روی داده در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ میلادی در ایران با ۶۹۶ رکورد حاوی جنبش نیرومند زمین از ۲۴۲ ایستگاه استفاده کردند. نتایج نشان داد که طیف آیین‌نامه ایران برای خاک‌های مختلف در پیرودهای بلند، مقادیر شتاب بیشتری در نظر گرفته است. موضوع تحقیقاتی دیگر آن است که برای کاهش تأثیر عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌ای بر ساختار تحلیلی طیف پاسخ، طیف پاسخ نرمال دوسویه<sup>۶</sup> توسط ژو و ژی [۱۶] پیشنهاد شد. در مطالعه ایشان تأثیرات شرایط خاک، فاصله رو مرکز و میرایی توسط تحلیل رکوردهای زلزله چسبی-چسبی<sup>۷</sup> (۱۹۹۹) بررسی شد. همچنین دیدگاه‌های مختلف و نیز پیاده‌سازی مفاهیم مبنایی لرزه‌شناسی، در موضوعات تحلیلی طیف پاسخ نرمال دوسویه به‌ویژه برای زلزله‌های حوزه نزدیک مطالعه شده است [۷، ۱۷-۱۸]. مطالعات انجام شده بر ساختار طیف پاسخ دوسویه برای زلزله‌های نیوزلند (مانند کرایست چرچ<sup>۸</sup> در ۲۰۱۱ و دارفیلد<sup>۹</sup> در ۲۰۱۰) نشان داد که استفاده از روند پیشنهادی ژو و ژی [۱۸] در نرمال‌سازی طیف نیومارک-هال<sup>۱۰</sup>، حساسیت به نوع خاک را کاهش داده و تنها به تعیین پیرو مرکزی

طرح بر مبنای مفهوم‌سازی طیف پاسخ به دست می‌آید [۶-۷]. سرعت موج برشی ( $V_s$  30m) به‌کار رفته در مباحث لرزه‌شناسی، بر اساس مشخصات لایه‌های خاک و همراه با گمانه‌هایی با عمق ۳۰ متر در ایستگاه‌های ثبت رکورد محاسبه می‌شود. این رویکرد در آیین‌نامه‌های طراحی نیز مورد توجه بوده است. مطالعات انجام شده بر روی مشخصات ساختگاهی رکوردهای ثبت شده و نیز بررسی گمانه‌های با عمق ۳۰ متر در رویداد لرزه‌ای سرپل‌ذهاب ایران نشان داد که خاک با لایه‌های مختلف زمین‌شناسی می‌تواند دارای قابلیت انتشار امواج لرزه‌ای با میانگین سرعت موج برشی یکسان باشد. تفاوت در لایه‌های خاک، فیلتر شدن برخی از فرکانس‌ها و تشدید امواج لرزه‌ای منتشر شده از بستر سنگی را در پی دارد. نکته دیگر آنکه طبقه‌بندی نوع خاک نیز تنها بر اساس ارزیابی پارامتر  $V_s$  30m جهت برآورد فرکانس‌های تشدید و تقویت ساختگاه، دارای خطاست. بدین سبب از نسبت میانگین طیف پاسخ مؤلفه‌های افقی بر طیف پاسخ مؤلفه قائم رکورد زلزله جهت شناسایی فرکانس‌های فیلتر شده استفاده می‌گردد [۸-۱۰].

پس از وقوع زلزله‌های بزرگی مانند امپریال‌ولی<sup>۳</sup> (۱۹۷۹)، لوماپریتا<sup>۴</sup> (۱۹۸۹) و نورث‌ریج<sup>۵</sup> (۱۹۹۴) در کالیفرنیا، توجه خاص به پدیدار شدن پالس‌های شتاب و سرعت در تاریخچه زمانی رکوردهای نیرومند ثبت شده در فواصل کمتر از ۲۰ کیلومتر تا صفحه شکست گسل، صورت پذیرفت. در همین خصوص، مطالعات و تحلیل پاسخ غیرخطی سازه‌ها تحت رکوردهای پالس‌گونه حوزه نزدیک اهمیت یافت [۱۱]. رکوردهای پالس‌گونه بر اساس ارزیابی مقادیر پارامترهای PGA، PGV، شدت آریاس، دامنه پالس و پیرو پالس شناسایی می‌شوند. مطالعه بر روی رکوردهای زلزله ثبت شده در ایران نشان داده که با افزایش فاصله از مرکز زلزله، سطح انرژی سیگنال‌های دریافتی کاهش می‌یابد و نمود این رخداد در کاهش عددی دامنه پالس نیز مشاهده می‌گردد. همچنین، ملاحظه شده که در تاریخچه زمانی رکوردهای ثبت شده در حوزه نزدیک گسل، کاهش پیرو پالس سرعت به‌صورت نسبی همگام با افزایش مقادیر حداکثر سرعت و

خاص از حرکت زمین می‌باشد. معادله دیفرانسیل حرکت سیستم تک‌درجه آزادی به صورت زیر است [۲۱]:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = -\ddot{u}_g \quad (1)$$

پارامترهای  $u$ ،  $\dot{u}$  و  $\ddot{u}$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی، سرعت و شتاب سیستم تک‌درجه آزادی هستند.  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای سیستم و دارای رابطه اساسی  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  با پریود می‌باشد. ضریب میرایی برابر با  $\xi$  در نظر گرفته شده و این معادله دیفرانسیل با استفاده از انتگرال دوهامل یا روش انتگرال عددی حل می‌گردد [۲۲]. طیف پاسخ جابه‌جایی ( $S_d$ ) نیز توصیف‌کننده نمودار  $u$  به ازای  $T$  برای هر نسبت میرایی  $\xi$  است و به همین ترتیب هر دو طیف پاسخ سرعت ( $S_v$ ) و شتاب ( $S_a$ ) نیز ترسیم می‌گردند. پاسخ حداکثر شتاب سیستم تک‌درجه آزادی میرا،  $S_a$  با فرکانس زاویه‌ای  $\omega$  یا پریود طبیعی  $T$  از رابطه (۲) با نماد جایگزین  $A(T)$  به دست می‌آید [۱۶، ۱۸]:

$$A(T) = \omega' \left| \ddot{x}(\tau) e^{-\xi\omega'(t-\tau)} \left[ \left( 1 - \frac{\xi^2}{1-\xi^2} \right) \sin \omega'(t-\tau) + \frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos \omega'(t-\tau) \right] d\tau \right|_{\max} \quad (2)$$

فرکانس زاویه‌ای میرای سیستم برابر با  $\omega' = \omega\sqrt{1-\xi^2}$  است. در بسیاری از موارد، نسبت شتاب طیفی به شتاب حداکثر زمین (ضریب بازتاب شتاب) به عنوان تابعی از فرکانس یا پریود رسم می‌گردد. این نمودار، طیف پاسخ نرمال<sup>۱۵</sup> نامیده می‌شود [۶] و از پردازش عددی رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$N\_A(T) = \frac{\omega'}{PGA} \left| \ddot{x}(\tau) e^{-\xi\omega'(t-\tau)} \left[ \left( 1 - \frac{\xi^2}{1-\xi^2} \right) \times \sin \omega'(t-\tau) + \frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos \omega'(t-\tau) \right] d\tau \right|_{\max} \quad (3)$$

ساختار نموداری طیف پاسخ نرمال (NRS) منظم‌تر از طیف پاسخ مطلق، به‌ازای حذف تأثیرات فرکانس‌های نویز<sup>۱۶</sup> و با دامنه عددی بسیار بالا در حرکات مختلف زمین است. تحریکات لرزه‌ای مختلف، نقش اصلی و مهمی در ایجاد تفاوت برای مقادیر پریود غالب ( $T_p$ )<sup>۱۷</sup> دارند. با این وجود، ثابت شده است که قبل یا بعد از

رکورد وابسته است. در این پژوهش، پریود مرکزی به‌عنوان مرز بین ناحیه فرکانس بالا و پایین در طیف پاسخ ( $2\pi\sqrt{PGD/PGA}$ ) در نظر گرفته شده است [۱۹]. همچنین در مطالعات ژائو و همکاران [۲۰] ساختارسازی طیف طرح بر مبنای طیف پاسخ دوسویه شتاب بررسی شده است.

نمود اصلی نتایج حاصل از پژوهش‌های یاد شده، بر لزوم انجام مطالعات جامع‌تر بر پایه ویژگی‌های رکوردهای نیرومند حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو استوار است. در این تحقیق بر پایه کاربرد ۱۶ رکورد نیرومند<sup>۱۱</sup> از دو زلزله بزرگ نورث‌ریج ۱۹۹۴ و امپریال‌ولی ۱۹۷۹ در کالیفرنیا، به بررسی تحلیلی بر روی طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال دوسویه و نیز طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه پرداخته شده است. رکوردهای انتخابی نیز دارای مشخصات جنبش‌های حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو، می‌باشند. همچنین، پیکره تحلیلی طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال و طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال سیستم تک‌درجه آزادی با طیف پاسخ نرمال دوسویه مقایسه شده است. روند تحلیلی با نگاه بر ساختارسازی طیف پاسخ شبه‌شتاب می‌باشد. با توجه به شناسایی رکوردهای حوزه نزدیک توسط پارامترهای بیشینه شتاب<sup>۱۲</sup> و بیشینه سرعت<sup>۱۳</sup> زمین و نیز قابلیت آزادسازی انرژی زیاد در یک بازه زمان کوتاه، در این مقاله برای بررسی تأثیرات مشخصات مذکور بر طیف‌های پاسخ از پارامترهای طول گام زمانی پالس سرعت و اسپایک‌های پر دامنه پس از آن، بر طبق نمودار تجمعی آزاد شدن انرژی به‌عنوان معیار توصیف گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ )<sup>۱۴</sup> دارای ارتباط موضوعی با پریود پالس سرعت ( $T_{pulse}$ )، نسبت‌های انرژی دو مؤلفه افقی، بیشینه شتاب (PGA) و بیشینه سرعت (PGV) رکورد زلزله استفاده شده است.

## ۲- طیف پاسخ

مفهوم طیف پاسخ زلزله که توسط بیوت در سال ۱۹۳۲ ارائه شده و توسط هاسنر به‌طور گسترده در مباحث مهندسی سازه معرفی گردید. طیف پاسخ، ابزاری مناسب برای توصیف پاسخ بیشینه یک سیستم دینامیکی تک‌درجه آزادی نسبت به مؤلفه‌ای

نرمال دوسویه و بررسی ویژگی‌های آن استفاده شده است. روند تحلیلی پیاده‌سازی شده متأثر از نگرش و معیار پاسخ شبه‌شتاب می‌باشد. ساختار طیفی رابطه (۳) به صورت هم‌ارز با رابطه (۴) و با عبارت نمادین زیر در رابطه (۵) بازنویسی گردیده است.

$$BN\_A(T) = \frac{(\omega' T_{jump})}{PGA} \left| \ddot{x}(\tau) e^{-\xi(\omega' T_{jump})(t-\tau)} \times \left[ \left( 1 - \frac{\xi^2}{1-\xi^2} \right) \sin(\omega' T_{jump})(t-\tau) + \frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos(\omega' T_{jump})(t-\tau) \right] dt \right|_{max} \quad (5)$$

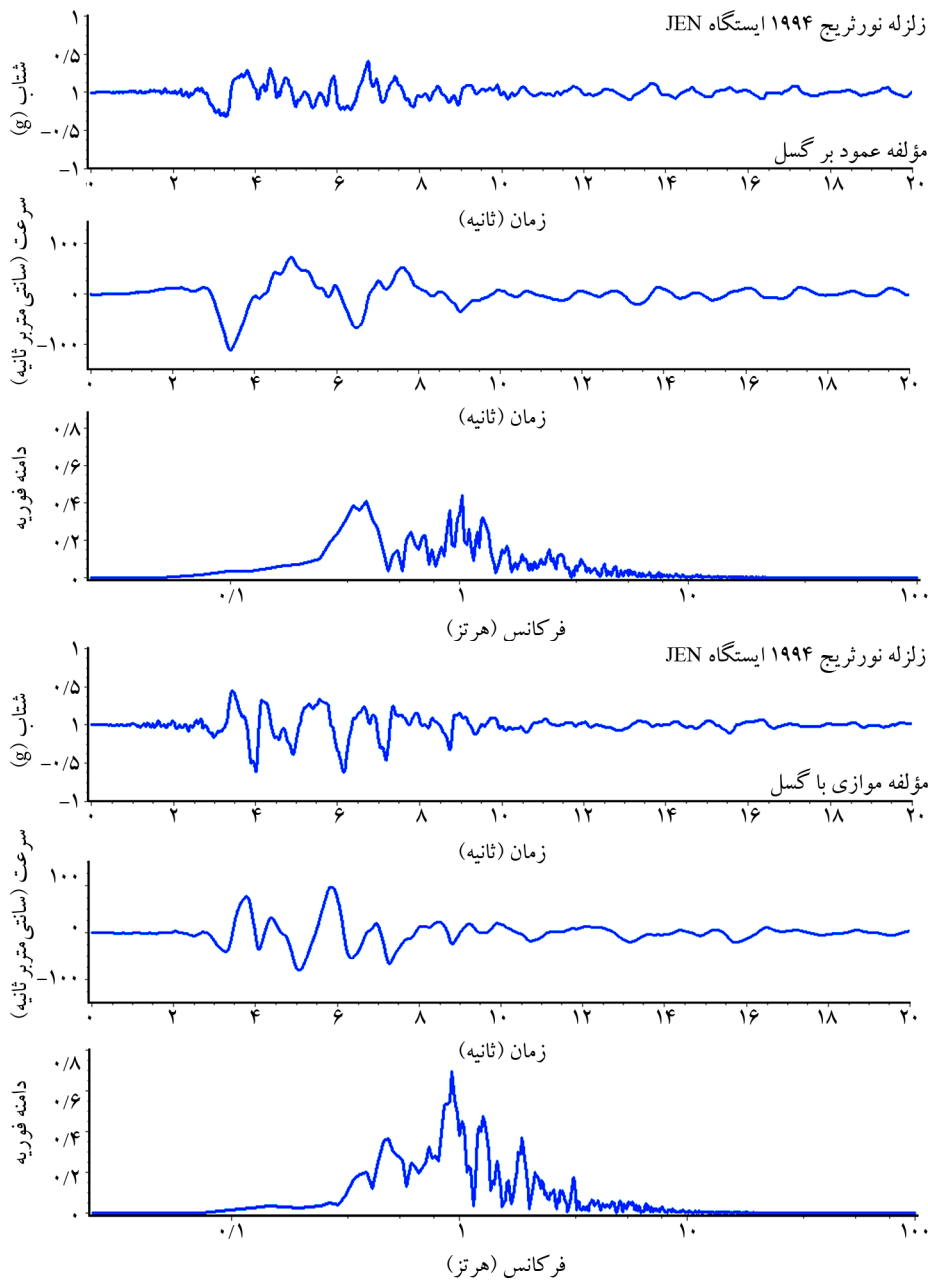
شکل (۱) نمایشگر ساختارهای پیوسته و پدیده پالس سرعت و شبه‌پالس شتاب در تاریخچه زمانی هر دو مؤلفه افقی  $^{19}LN$  و  $^{20}TR$  مربوط به رکورد ایستگاه JEN از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ است. به‌طور معمول، بیشترین مقادیر دامنه فوریه رکوردهای حوزه نزدیک حاوی پالس سرعت، در محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۱/۵ هرتز نمود می‌یابد. اثر پهنای باند فرکانسی این‌گونه رکوردهای نیرومند در غیرخطی‌سازی مشخصات پاسخ دینامیکی سازه‌های با پیوند ارتعاشات طبیعی در حد میانه تا بلند نیز شایان توجه است. مطابق طیف فوریه مربوط به مؤلفه‌های LN و TR ملاحظه می‌شود که باند فرکانسی پرنرژری در محدوده تقریبی ۰/۲ هرتز تا کمتر از ۱۰ هرتز قرار دارد. این بازه بسامدی نیز بیشتر متناظر با پیوند مودهای ارتعاشی ساختمان‌های میان‌مرتبه تا بلند است و قابلیت ایجاد اثرات تشدید یافته انتشار امواج زلزله در اسکلت مقاوم سازه را داراست. تاریخچه زمانی هر دو مؤلفه افقی رکورد نیرومند JEN از زمان ۲ ثانیه تا زمان ۱۰/۵ ثانیه، حاوی مجموعه پیوسته‌ای از پالس‌های ترکیبی و اسپایک‌های پدیده سرعت و شتاب است. دامنه عددی مربوط به محور فرکانس‌های متناظر با موجک‌های تشکیل‌دهنده پالس‌های پیوسته سرعت و شتاب، دارای مقادیر ۰/۷ و ۰/۴ برای مؤلفه‌های موازی و عمود بر گسل در طیف فوریه می‌باشند. این موضوع نیز نشان از بازه زمانی بزرگ و به نسبت طولانی مدت جنبش نیرومند زمین برای رکورد مذکور، متأثر از فرایند نیرومند جهت‌داری پیشرو دارد. همچنین در ارتباط با این موضوع نیز وجود موجک‌های موضعی با گام‌های زمانی ۰/۴ تا ۰/۸ ثانیه ملاحظه می‌شوند.

پرئود غالب، شکل عمومی نمودار طیف‌های نرمال، دارای روند و ساختار مشابهی هستند. به‌منظور بررسی دامنه تأثیرات پرئود غالب برای هر طیف پاسخ نرمال، طیف پاسخ نرمال دوسویه (BNRS) با تأثیرپذیری از پرئود مذکور به دست آورده می‌شود. همچنین، از نرمال کردن محور پرئود سیستم تک‌درجه آزادی به BNRS پرئود غالب زلزله در طی محاسبات انتگرال طیف پاسخ و همچنین تقسیم طیف پاسخ نرمال نسبت به پارامتر حداکثر حرکت زمین به دست می‌آید [۱۶]. مقادیر بی‌بعد ساختار طیفی شبه‌شتاب بر مبنای نسبت پرئود  $T/T_p$ ، در رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$BN\_A(T) = \frac{(\omega' T_p)}{PGA} \left| \ddot{x}(\tau) e^{-\xi(\omega' T_p)(t-\tau)} \left[ \left( 1 - \frac{\xi^2}{1-\xi^2} \right) \times \sin(\omega' T_p)(t-\tau) + \frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos(\omega' T_p)(t-\tau) \right] dt \right|_{max} \quad (4)$$

شایان ذکر است که به دلیل اهمیت بررسی مشخصات جنبش‌های نیرومند حوزه نزدیک در مباحث لرزه‌شناسی، در این مقاله از رکوردهای دارای پالس سرعت در تاریخچه زمانی هر دو مؤلفه افقی به صورت هم‌زمان استفاده شد. شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک حاوی پالس سرعت، انرژی جنبشی زیادی را در یک مدت کوتاه به ساختگاه وارد می‌کنند. یکی از روش‌های متداول برای تعیین پرئود پالس مبتنی بر طیف پاسخ سرعت است. در این روش پرئود متناظر با حداکثر مقدار طیفی سرعت به‌عنوان پرئود پالس در نظر گرفته می‌شود. همچنین، در مطالعات دیگر نیز زمان برخورد صفر موج ترکیبی سینوسی پالس سرعت با محور مبنای افقی، به‌عنوان بازه زمانی پالس سرعت محاسبه می‌گردد. بر اساس فرایند تحلیلی پردازش نقاط اوج (روش PPM)<sup>۱۸</sup> نیز پرئود پالس بر مبنای طول زمان تقریبی متناظر با یک سیکل بین دو فراز یا نشیب متوالی موج سینوسی متناظر با موجک اصلی در برگرفته PGV به دست می‌آید [۲۳].

در این مطالعه، مدت زمان افزایش انرژی جنبشی از مقدار کم به مقدار زیاد در انتهای مجموعه اسپایک‌های پدیده پس از پالس اصلی سرعت، با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) لحاظ گردیده و با توجه به اهمیت این موضوع از  $T_{jump}$  برای محاسبه طیف پاسخ



شکل (۱): نمودار تاریخچه زمانی شتاب و سرعت، طیف فوریه مربوط به دو مؤلفه افقی رکورد حوزه نزدیک JEN، از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا (جدول ۱).

### ۳- شتاب‌نگاشت‌های نیرومند حوزه نزدیک

در انتخاب رکوردهای حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو، وجود ساختارهای مختلف پالس سرعت و سطوح متفاوت انرژی لحاظ شده است. این روند با توجه به بررسی اثرات همگامی انرژی هر دو مؤلفه افقی رکورد به‌طور هم‌زمان صورت گرفته است. داده‌های استفاده شده از مرکز PEER در ۱۶ ایستگاه گرفته شده و ویژگی‌های فیزیکی آنها در جدول (۱) آورده شده است. پردازش عددی شتاب‌نگاشت‌های نیرومند متأثر از فرایند جهت‌داری پیشرو

سازمان علمی این مقاله بر اساس ارزیابی و پردازش طیف‌های پاسخ شتاب‌نگاشت، مرتبط با انرژی جنبشی و مشخصات لرزه‌ای رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک تدوین شده است. تاریخچه زمانی رکوردهای انتخابی حاوی پالس پیوسته و ساختارهای موجی شکل پردازش شده و برگرفته از دو زلزله بزرگ نورتریج (۱۹۹۴) و امپریال ولی (۱۹۷۹) کالیفرنیا جنوبی می‌باشد. همچنین

طول گام زمانی پرش به‌طور نسبی، بیشتر از گام زمانی موجک (یا موجک‌های) اصلی پالس سرعت (با پریود  $T_{pulse}$ ) باشد. دلیل اصلی این موضوع، تفاوت نسبی میان سهم انرژی متناظر با موجک اصلی مربوط به پالس پیوسته سرعت، با سهم انرژی متناظر با اسپایک‌های پردامنه پس از آن است.

نشان می‌دهد که گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) متناظر با موجک اصلی در پالس پیوسته سرعت، از محاسبه تفاوت محل شروع تا پایان گام پرش شدید در نمودار تجمعی آزاد شدن انرژی جنبشی رکورد حاصل می‌شود. افزون بر این مطلب، وجود اسپایک‌های پردامنه و با گام زمانی بین ۰/۱ تا ۰/۵ ثانیه نیز سبب می‌شود که

جدول (۱): مشخصات رکوردهای انتخابی از زلزله امپریال ولی در ۱۹۷۹ و زلزله نورتریج در ۱۹۹۴.

بیشینه شتاب (g)		بیشینه سرعت (سانتی‌متر/ثانیه)		نسبت انرژی دو مؤلفه افقی (LN/TR)	فاصله از گسل (کیلومتر)	ایستگاه لرزه‌نگاری
LN	TR	LN	TR			
۰/۵۱ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۳۹ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۳۹/۴۴ (۴۰-۸۵)	۷۴/۸۲ (۴۰-۸۵)	۰/۲۴ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۷/۰۵	Array #4 - 1979
۰/۵۳ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۴۰ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۵۰/۷۵ (۴۰-۸۵)	۸۴/۷۸ (۴۰-۸۵)	۰/۴۰ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۳/۹۵	Array #5 - 1979
۰/۳۹ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۴۴ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۶۳/۰۲ (۴۰-۸۵)	۸۴/۱۶ (۴۰-۸۵)	۰/۳۳ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۱/۳۵	Array #6 - 1979
۰/۳۲ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۴۹ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۳۸/۷۳ (۴۰-۸۵)	۷۶/۰۷ (۴۰-۸۵)	۰/۳۱ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۵۶	Array #7 - 1979
۰/۶۴ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۴۴ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۴۱/۹۵ (۴۰-۸۵)	۴۹/۱۵ (۴۰-۸۵)	۰/۸۲ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۳/۸۶	Array #8 - 1979
۰/۲۰ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۱۸ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۴۱/۸۴ (۴۰-۸۵)	۴۳/۸۲ (۴۰-۸۵)	۰/۵۰ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۸/۶۰	Array #10 - 1979
۰/۶۰ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۴۳ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۹۵/۳۶ (۸۵-۱۳۵)	۸۳/۸۱ (۴۰-۸۵)	۰/۹۵ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۵/۴۳	Jensen Filter Plant Administrative Building (JEN) - 1994
۱/۰۱ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۰/۵۴ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۶۷/۸۸ (۴۰-۸۵)	۸۷/۷۶ (۸۵-۱۳۵)	۰/۷۷ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۵/۴۳	Jensen Filter Plant Generator Building (JGB) - 1994
۰/۷۷ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۰/۹۶ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۸۴/۰۰ (۴۰-۸۵)	۶۴/۴۵ (۴۰-۸۵)	۰/۸۸ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۸/۴۴	LA - Sepulveda VA Hospital (SPV) - 1994
۰/۶۳ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۶۸ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۶۰/۲۸ (۴۰-۸۵)	۸۶/۳۹ (۸۵-۱۳۵)	۰/۴۸ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۵/۹۲	Newhall - Fire Sta. (NWH) - 1994
۰/۳۴ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۴۵ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۶۶/۵۷ (۴۰-۸۵)	۱۰۲/۹۵ (۸۵-۱۳۵)	۰/۳۹ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۵/۴۸	Newhall - W Pico Canyon Rd. (WPI) - 1994
۰/۲۸ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۵۵ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۵۴/۹۱ (۴۰-۸۵)	۷۴/۸۰ (۴۰-۸۵)	۰/۷۱ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۷/۴۶	Pardee - SCE (PAR) - 1994
۰/۵۴ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۹۷ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۶۷/۱۳ (۴۰-۸۵)	۱۳۵/۳۷ (۸۵-۱۳۵)	۰/۵۳ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۶/۵۰	Rinaldi Receiving Station (RRS) - 1994
۰/۹۸ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۰/۶۳ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۸۳/۴۳ (۴۰-۸۵)	۱۱۲/۶۵ (۸۵-۱۳۵)	۰/۵۷ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۵/۳۵	Sylmar - Converter Station (SCS) - 1994
۰/۴۲ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۰/۹۶ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۶۱/۸۳ (۴۰-۸۵)	۱۰۱/۴۴ (۸۵-۱۳۵)	۰/۴۴ (۰/۲۵-۰/۵۰)	۵/۱۹	Sylmar - Converter Station East (SCE) - 1994
۰/۶۲ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۰/۸۵ (۰/۷۵-۱/۰۰)	۶۴/۷۴ (۴۰-۸۵)	۱۰۸/۸۰ (۸۵-۱۳۵)	۰/۵۲ (۰/۵۰-۰/۷۵)	۵/۳۰	Sylmar - Olive View Med FF (SYL) - 1994

\* مقادیر داخل پرانتزها محدوده طبقه‌بندی رکوردها را نشان می‌دهد.

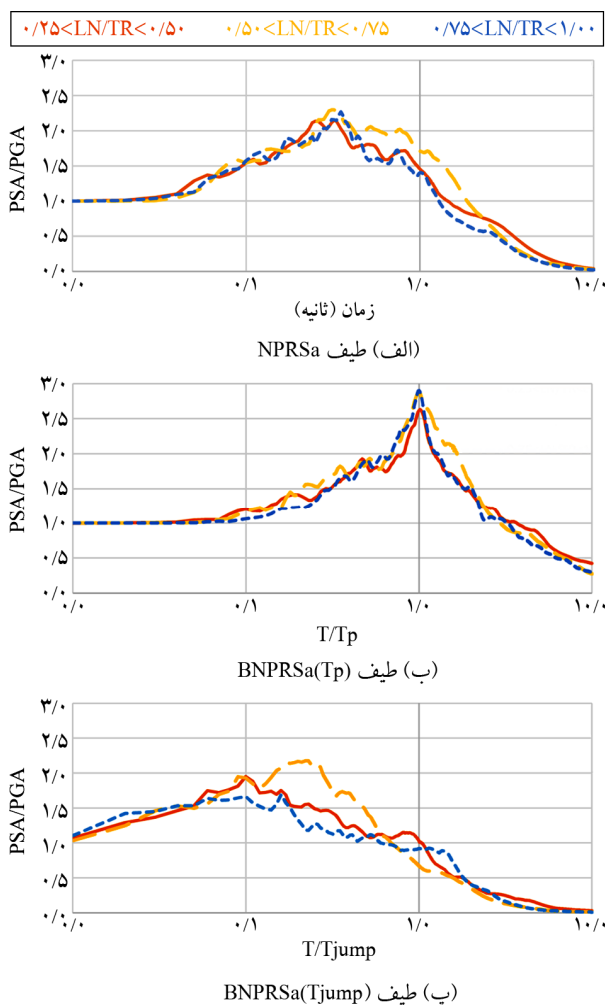
#### ۴- تأثیر نسبت انرژی جنبشی دو مؤلفه افقی رکورد بر طیف پاسخ

شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک دارای پالس سرعت، به دلیل آزادسازی انرژی جنبشی زیاد در دسته جنبش‌های نیرومند در نظر گرفته می‌شوند. شایان ذکر است که دو مؤلفه افقی دارای نسبت‌های انرژی متفاوتی هستند. در این خصوص، نسبت انرژی جنبشی مؤلفه افقی موازی با صفحه شکست گسل (مؤلفه LN) به مؤلفه افقی عمود بر صفحه شکست گسل (مؤلفه TR) در کل زمان شتاب‌نگاشت را می‌توان مقیاس مناسبی برای دسته‌بندی قدرت رکوردهای حوزه نزدیک دارای اثرات جهت‌داری پیشرو در نظر گرفت. بر اساس طبقه‌بندی صورت گرفته در این پژوهش، رکوردهایی که دارای نسبت انرژی دو مؤلفه افقی (LN/TR) بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ باشند، شتاب‌نگاشت نیرومند نامیده می‌شوند. رکوردهای دارای نسبت انرژی دو مؤلفه افقی، بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ نیز شتاب‌نگاشت قدرتمند<sup>۱۱</sup> و همچنین رکوردهای دارای نسبت انرژی بین ۰/۷۵ تا ۱ از نوع بسیار پرانرژی<sup>۱۲</sup> طبقه‌بندی می‌گردند. شکل (۲) طیف‌های میانگین پاسخ شتاب را برای هر سه گروه نسبت‌های انرژی مذکور نشان می‌دهد. ساختار نمودارها بر اساس مشخصه‌های زمانی  $T$ ، معیار پریرود غالب ( $T_p$ ) و نیز گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) است.

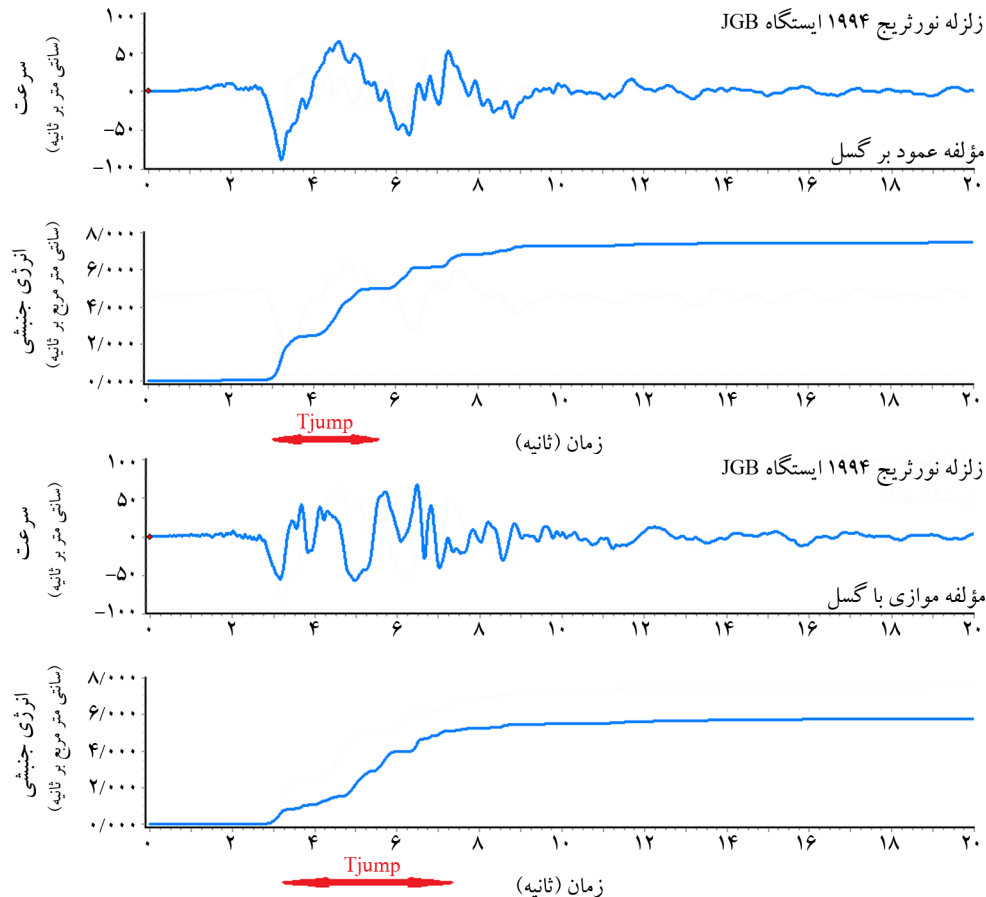
شکل (۲-الف) نشان می‌دهد که حداکثر مقادیر طیف NPRSa (طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال) در هر سه نسبت انرژی جنبشی، در حدود پریرود ۰/۳۵ ثانیه رخ می‌دهد. همچنین در پریرودهای کوچک‌تر از ۰/۳۰ ثانیه، پراکندگی مقادیر عددی طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال کمتر است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که طیف دوسویه با معیار پریرود غالب ( $T_p$ ) (شکل ۲-ب، با نماد  $BNPRSa(T_p)$ ) حداکثر مقدار را در نسبت پریرودی برابر ۱ دارد و مقادیر بیشینه به ترتیب برای شتاب‌نگاشت‌های بسیار پرانرژی، قدرتمند و نیرومند برابر ۲/۹۰، ۲/۸۸ و ۲/۶۳ است. نتایج به‌دست آمده برای شتاب‌نگاشت‌های قدرتمند، مقدار بیشینه یکسانی را برای هر دو مؤلفه افقی در هر سه طیف پاسخ نشان می‌دهد. همچنین، با

افزایش نسبت انرژی دو مؤلفه افقی LN و TR، تفاوت بین حداکثر مقدار طیف پاسخ آنها در طیف دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) افزایش می‌یابد، (شکل ۲-پ، با نماد  $BNPRSa(T_{jump})$ ). این امر نیز سبب کاهش میانگین طیف پاسخ (برابر ۱/۶۹ در نسبت پریرودی مساوی ۰/۱۶) برای شتاب‌نگاشت‌های بسیار پرانرژی شده است. نکته دیگر آنکه تعدادی از رکوردهای انتخابی زلزله نورتریج ۱۹۹۴ نسبت انرژی جنبشی بزرگ‌تر از ۰/۷۵ دارند. همچنین برخی از این گروه رکوردها نمودی از پالس سرعت کوتاه‌مدت در تاریخچه زمانی مؤلفه TR و پالس سرعت به نسبت طولانی‌تر در ساختار فیزیکی مؤلفه LN هستند. نمایش رکورد JGB از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ دارای این مشخصه است (شکل ۳).



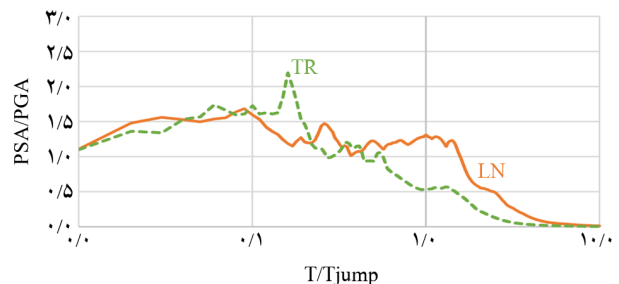
شکل (۲): میانگین طیف‌های با معیار پاسخ شبه‌شتاب برای نسبت‌های مختلف انرژی دو مؤلفه افقی LN و TR.



شکل (۳): نمودار تاریخچه زمانی سرعت، روند تجمعی انرژی جنبشی و نمایش گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) مربوط به دو مؤلفه افقی رکورد JGB از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا (جدول ۱).

می‌شود که وجود پالس سرعت بزرگ‌تر و طولانی‌تر در تاریخچه زمانی مؤلفه LN نیز موجب یکنواختی نسبی مقادیر طیفی در بازه نسبت پرودی  $0/15$  تا  $1/50$  شده است.

در نمودار طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال محدوده حساس به جابه‌جایی (شکل ۵)، به‌طور تقریبی از پرود  $2/37$  ثانیه شروع شده و برای هر سه گروه رکوردهای انتخابی نیز شیب یکسان نمودار در این محدوده مشاهده می‌شود. همچنین در محدوده حساس به شتاب مربوط به رکوردهای نیرومند، قدرتمند نیز این روند، یکسان بوده و انطباق نسبی نمودارها مشاهده می‌شود. پهنای باند محدوده حساس به سرعت زمین با افزایش نسبت انرژی جنبشی مؤلفه‌های رکورد زلزله گسترش می‌یابد. افزون بر این موضوع، با افزایش نسبت انرژی جنبشی رکوردهای زلزله، مقادیر طیفی متناظر با پارامتر سرعت نیز به‌طور تقریبی بیشتر می‌شود.

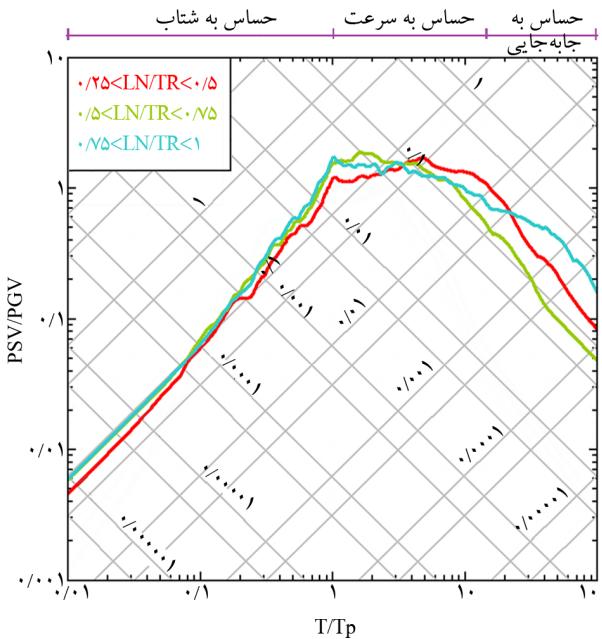


شکل (۴): طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال دو سویه  $BNPRSa(T_{jump})$  متناظر با هر دو مؤلفه LN و TR مربوط به رکوردهای بسیار قدرتمند.

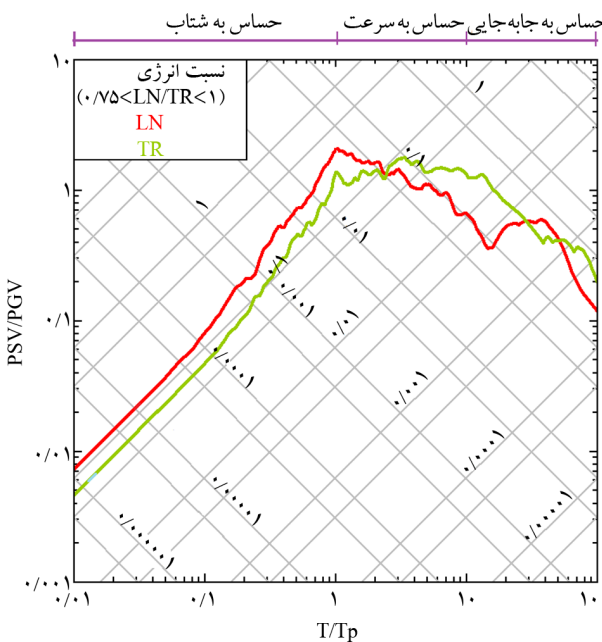
مطابق با شکل (۴)، مقدار بیشینه طیف شبه‌شتاب نرمال دو سویه مربوط به رکوردهای بسیار پرانرژی، برای مؤلفه TR برابر  $2/19$  در نسبت پرودی مساوی  $0/16$  و برای مؤلفه LN برابر  $1/68$  در نسبت پرودی مساوی  $0/09$  است. تاریخچه زمانی مؤلفه افقی عمود بر صفحه شکست گسل دارای پالس سرعت کوتاه است. این امر سبب شده که مقدار بیشینه طیفی به سمت نسبت‌های پرودی بزرگ‌تر از  $0/15$  گرایش پیدا کند. ملاحظه



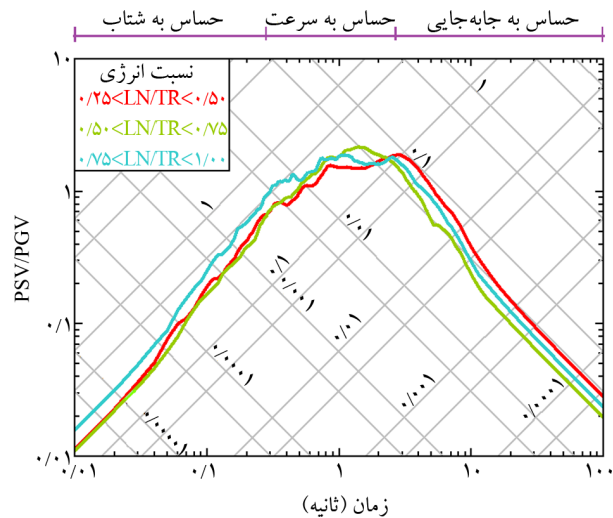
۱ شروع شده و برای دو گروه زلزله‌های نیرومند و قدرتمند تا نسبت پریودی مساوی ۴/۳ ادامه دارد. در محدوده حساس به شتاب، تطابق نسبی طیف‌ها برای هر سه گروه نسبت انرژی با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود.



شکل (۶): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_p$  (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف نسبت انرژی مؤلفه‌های LN و TR مربوط به رکوردهای انتخابی.

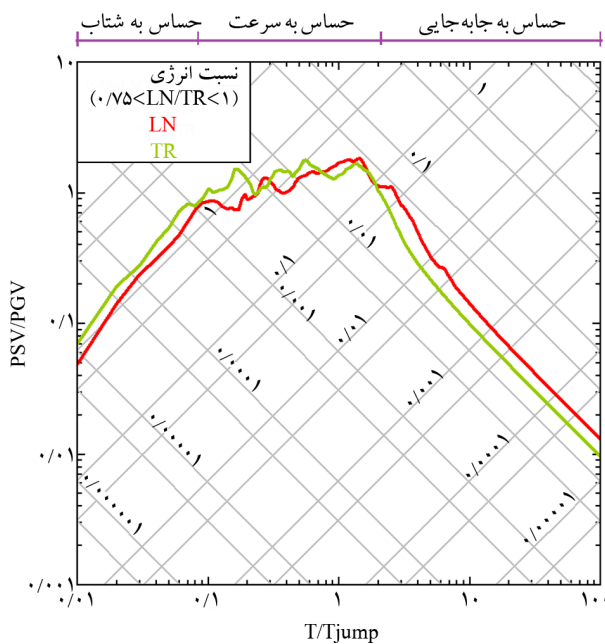


شکل (۷): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_p$  (میرایی ۵ درصد) برای مؤلفه‌های LN و TR مربوط به رکوردهای بسیار قدرتمند.



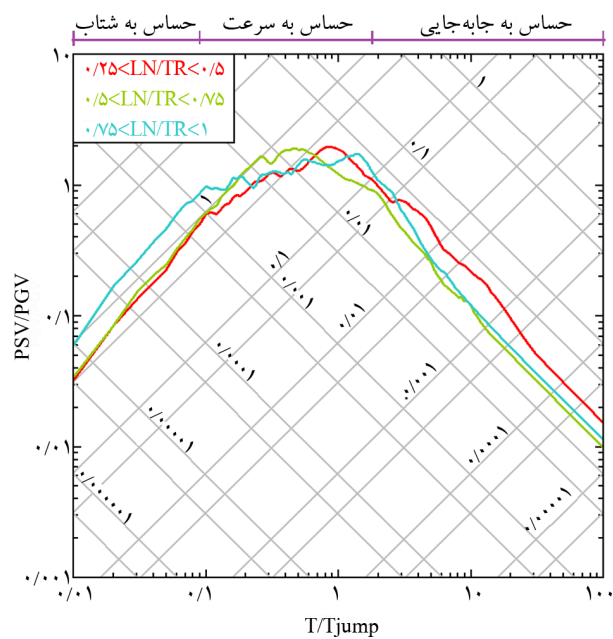
شکل (۵): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف نسبت انرژی مؤلفه‌های LN و TR مربوط به رکوردهای انتخابی.

قابل ذکر است که مطابق با شکل (۶) در طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار پریود غالب ( $T_p$ )، کاهش پهنای باند منطقه حساس به جابه‌جایی برای هر سه گروه رکوردهای انتخابی، برای نسبت انرژی مؤلفه‌های افقی رکورد زلزله مشاهده می‌شود. این مورد به گونه‌ای است که برای رکوردهای بسیار پرانرژی می‌تواند توزیع غیریکنواختی را در این محدوده مشاهده کرد. با توجه به شکل (۷) علت این موضوع را می‌توان به پریودهای غالب کوچک نسبت داد. مؤلفه TR رکوردهای بسیار پرانرژی، به شکل عمومی دارای پریودهای غالب کوچک‌تری نسبت به مؤلفه LN است. این امر سبب کاهش چشمگیر شیب محدوده حساس به جابه‌جایی طیف سه‌جانبه مؤلفه عمود بر صفحه شکست گسل شده، به گونه‌ای که باعث ناهمگونی در موقعیت طیفی نقاط مشخصه مربوط به تغییر محدوده حساس به سرعت و جابه‌جایی می‌شود. بر این اساس می‌توان برای رکوردهای بسیار پرانرژی، محدوده حساس به جابه‌جایی را در امتداد محدوده حساس به سرعت در نظر گرفت. با کاهش قدرت رکوردها، مقدار پریود غالب به سمت پریودهای بلند میل کرده و محدوده حساس به جابه‌جایی مشخص‌تر می‌شود. همچنین، برای هر سه گروه زلزله‌های نیرومند، قدرتمند و بسیار پرانرژی نیز محدوده حساس به سرعت از نسبت پریودی برابر با



شکل (۹): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_{jump}$  (میرایی ۵ درصد) برای مؤلفه‌های LN و TR مربوط به رکوردهای بسیار قدرتمند.

کوه‌رنگی و همکاران [۲۴] بر مبنای طبقه‌بندی حرکات نیرومند زمین به دو دسته بدون ساختار موجکی مشخص و پالس‌گونه بوده است. بر طبق نتایج مطالعه مذکور، توصیه شده که جهت بررسی رفتار غیرخطی دینامیکی بهتر است که رکوردهای دارای پالس سرعت و با محتوای فرکانسی نزدیک به پیرودهای متناظر با آرایش مودال سازه (به‌ویژه مود ارتعاش آزاد) انتخاب شوند. بر این پایه، شتاب‌نگاشت‌هایی که بیشترین تأثیر بر رفتار غیرخطی سازه را دارند با نام رکوردهای بحرانی معرفی می‌شوند. قدرتی امیری و منوچهری [۲۵] انتخاب پارامتر حداکثر سرعت زمین (PGV) را برای تعیین یک رکورد بحرانی بر مبنای مفاهیم لرزه‌شناسی، مناسب دانستند. طبق نتیجه مطالعه مذکور دانسته شده که اگر حداکثر سرعت زمین دارای مقدار بزرگی باشد، پارامترهای دیگر مانند حداکثر شتاب، حداکثر جابه‌جایی زمین و همچنین شاخص شدت آریاس نیز دارای مقادیر زیادی بوده که می‌توانند مؤید رکورد بحرانی باشند. بر این اساس، دو گروه سرعت بین ۸۵ تا ۱۳۵ و ۴۰ تا ۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه جهت رکوردهای حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو انتخاب شد. به‌طور معمول، مؤلفه TR این رکوردها دارای معیار PGV بیشتری نسبت به مؤلفه افقی موازی با صفحه شکست گسل (مؤلفه LN) است.



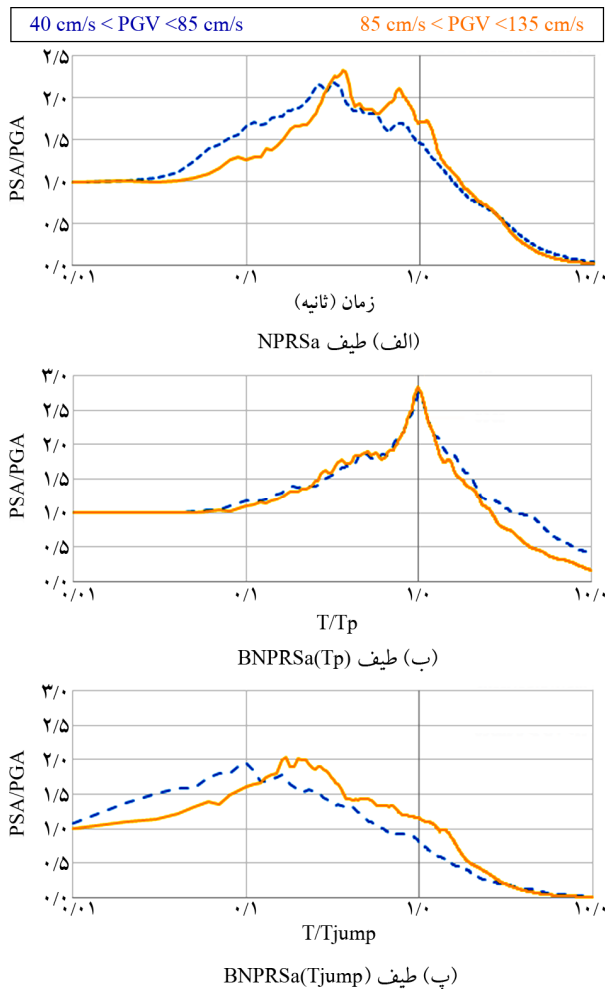
شکل (۸): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_{jump}$  (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف نسبت انرژی مؤلفه‌های LN و TR مربوط به رکوردهای انتخابی.

در طیف سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) (شکل ۸)، محدوده حساس به شتاب تا نسبت پیرودی برابر با ۰/۱ با شیب یکنواخت برای هر سه گروه زلزله ادامه دارد. محدوده حساس به سرعت تا نسبت پیرودی نزدیک به ۱ با پراکندگی داده‌ها همراه است. مقادیر طیفی رکوردهای نیرومند، قدرتمند و بسیار پرانرژی در ناحیه حساس به جابه‌جایی با شیب یکسانی کاهش می‌یابند. شکل (۶) نشان‌دهنده‌ی طیف سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار طول پالس سرعت برای هر دو مؤلفه افقی رکوردهای بسیار پرانرژی است و نتایج بیان‌گر نوسانات نامنظمی‌های بیشتری در محدوده حساس به سرعت نسبت به دیگر محدوده‌ها در طیف‌های پاسخ نرمال دوسویه می‌باشد. با مقایسه دو شکل (۷) و (۹) این نوسانات در نمودارهای نرمال دوسویه با معیار  $T_{jump}$  کمتر از موارد مربوط به معیار  $T_p$  است.

#### ۵- تأثیر حداکثر سرعت زمین (PGV) بر طیف پاسخ

انتخاب رکوردهای مناسب جهت تحقیق و مطالعه بر روی چگونگی رفتار غیرخطی سازه‌ها، یکی از چالش‌های مهم در طراحی مهندسی بوده است. راهکار و روش انتخاب رکورد در مطالعات

افزایش می‌یابند. اضافه می‌شود که در محدوده حساس به جابه‌جایی، نمودارهای هر دو گروه دارای شیب و روند کاهشی یکسانی هستند.

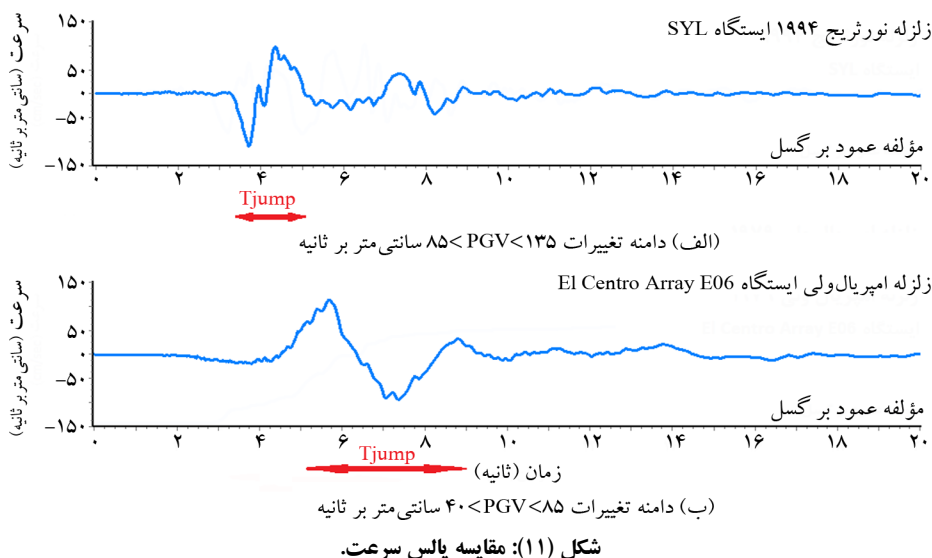


شکل (۱۰): میانگین طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال با دسته‌بندی بر مبنای حداکثر سرعت زمین (PGV).

با این توصیف، فقط هشت مؤلفه از رکوردهای انتخابی زلزله نورث‌ریج ۱۹۹۴ دارای PGV بیش از ۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه بوده و بیشتر رکوردهای انتخابی در دسته PGV با محدوده ۴۰ تا ۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه قرار می‌گیرند.

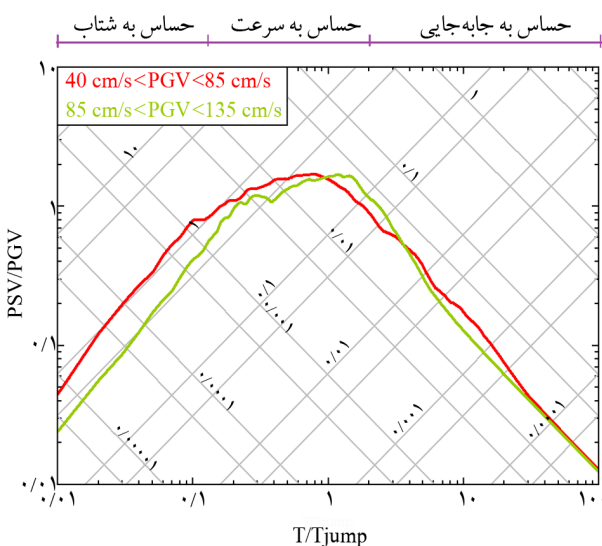
طیف شبه‌شتاب نرمال در پیوندهای بزرگ‌تر از ۲ ثانیه برای هر دو گروه فوق دارای مقادیری نزدیک به هم است (شکل ۱۰-الف). طیف پاسخ نرمال دوسویه با معیار پیوند غالب ( $T_p$ ) برای هر دو گروه مذکور نیز دارای مقادیر بیشینه یکسانی در نسبت پیوندی برابر با ۱ است. همچنین در نسبت‌های پیوندی کمتر از یک، مقادیر طیفی دو گروه مذکور بر هم منطبق هستند (شکل ۱۰-ب). طیف پاسخ نرمال دوسویه با معیار پیوند غالب ( $T_p$ )، طیف شبه‌شتاب نرمال و طیف نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ )، به ترتیب بیشترین PSA را دارند (شکل ۱۰-پ).

شایان ذکر است که رکوردهای مربوط به دسته با معیار PGV در محدوده ۴۰ تا ۸۵ (سانتی‌متر بر ثانیه)، انرژی جنبشی را در مدت زمان به نسبت بلندتری آزاد می‌نمایند (شکل ۱۱). بر همین پایه، بیشینه طیف نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) برای رکوردهای انتخابی در نسبت پیوندی نزدیک به ۰/۱ رخ داده است. همچنین، با توجه به شکل (۱۲) دو گروه رکوردهای دسته‌بندی شده بر مبنای سرعت، در محدوده حساس به سرعت طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال، دارای مقادیر طیفی به نسبت یکسان بوده و همچنین نمودار طیف مذکور با شیب به نسبت یکسانی در محدوده حساس به شتاب



شکل (۱۱): مقایسه پالس سرعت.

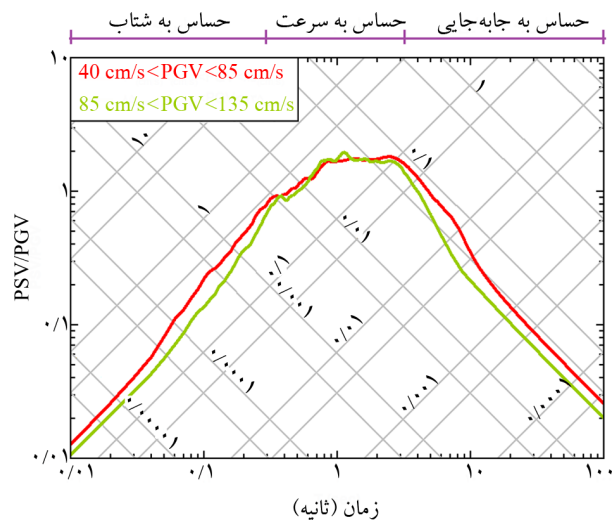
رکوردهای با PGV کمتر از ۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه نسبت به رکوردهای با PGV بیش از حد مذکور شیب کمتری دارند. شکل (۱۴) طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ )، برای هر دو گروه PGV را نشان می‌دهد. محدوده حساس به شتاب تا نسبت پرودی حدود ۰/۱۵ با شیب یکنواخت برای هر دو گروه رکورد ادامه دارد. همچنین از نسبت پرودی ۰/۱۵ تا ۲ نیز مقادیر طیفی به نسبت یکسانی در محدوده حساس به سرعت مشاهده می‌شود. مطلب دیگر آنکه در محدوده حساس به شتاب با افزایش نسبت پرودی، مقادیر طیفی همگرا می‌شوند. این روند به گونه‌ای است که در نسبت پرودی بیش از ۲۰، یک تطابق کامل وجود دارد.



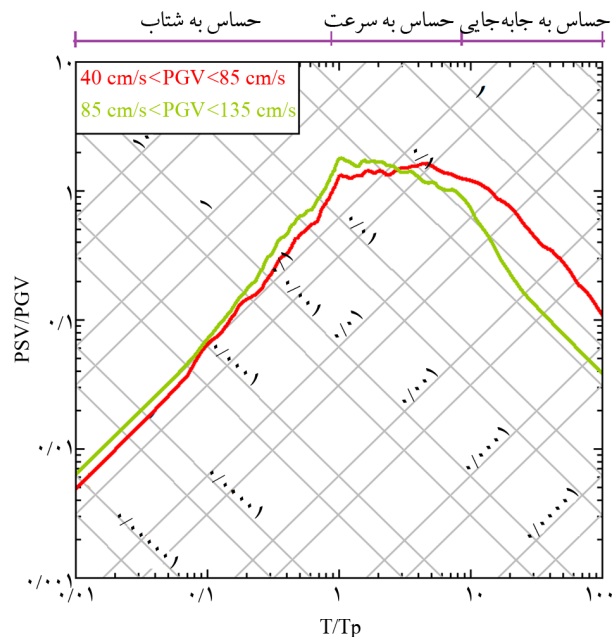
شکل (۱۴): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGV.

#### ۶- تأثیر حداکثر شتاب زمین (PGA) بر طیف پاسخ

پارامتر حداکثر شتاب زمین (PGA) برای هر رکورد زلزله، مستقل از مؤلفه عمود یا موازی بودن با صفحه شکست گسل (مؤلفه TR یا LN) است. همچنین، رکوردهای حوزه نزدیک دارای PGA به مراتب بزرگ‌تری نسبت به رکوردهای حوزه دور هستند. بر پایه سازمان این تحقیق، رکوردهای انتخابی بر مبنای حداکثر شتاب زمین به سه محدوده ۰/۱g-۰/۷۵g، ۰/۷۵g-۰/۵g و ۰/۵g-۰/۲۵g تقسیم شدند. شکل (۱۵) تأثیر PGA بر طیف‌های پاسخ شبه‌شتاب را

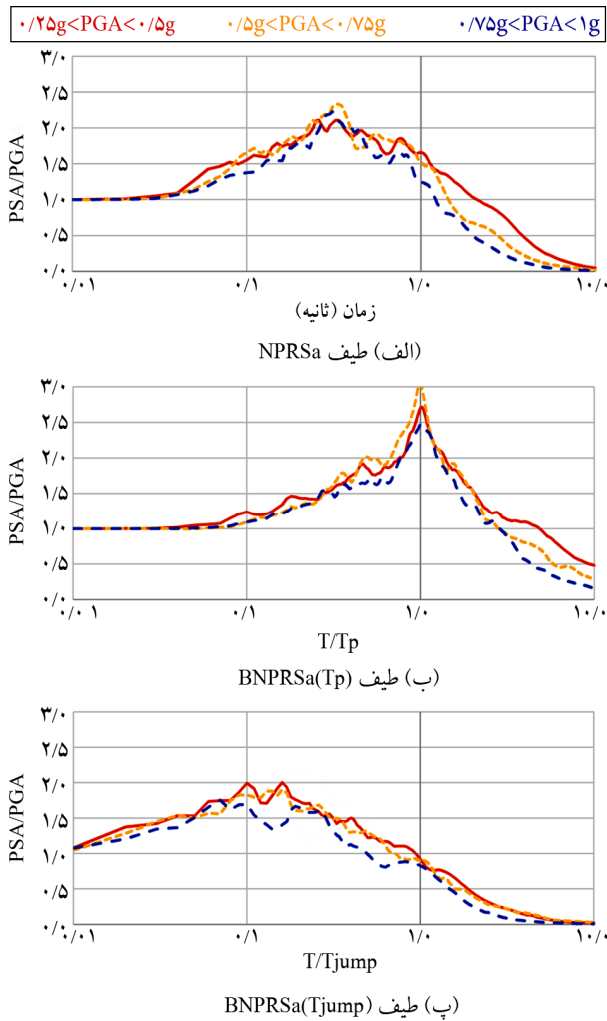


شکل (۱۲): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGV.



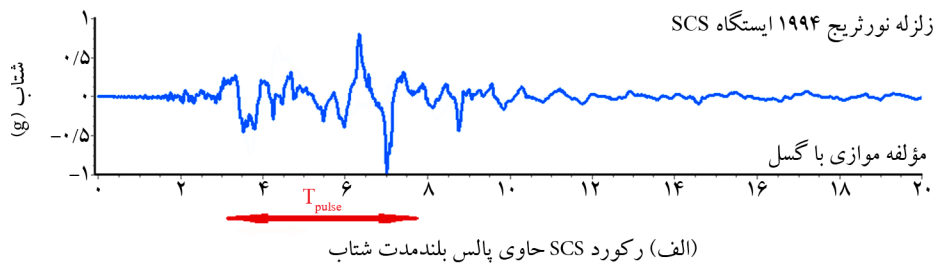
شکل (۱۳): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار پرودی غالب ( $T_p$ ) (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGV.

نمودارهای مربوط به هر دو گروه رکوردهای انتخابی در فرایند ساختارسازی طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار پرودی غالب ( $T_p$ )، دارای مقادیر به نسبت یکسانی به‌ویژه در محدوده حساس به شتاب و سرعت هستند (شکل ۱۳). رکوردهای با PGV کمتر از ۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه دارای پرودی غالب کوچکی هستند، نمود تأثیر مقدار پرودی غالب بر شیب محدوده حساس به جابه‌جایی دیده می‌شود. بر این پایه نمودار

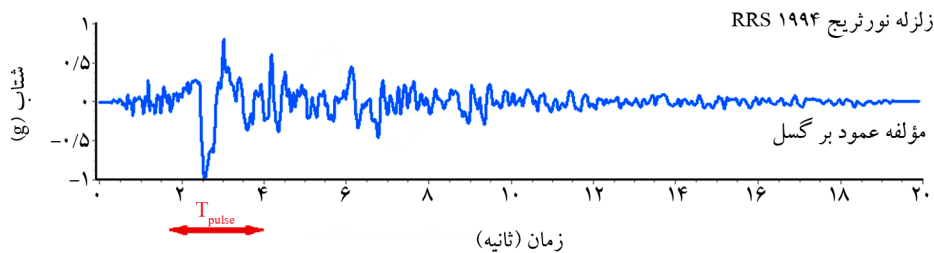


شکل (۱۵): میانگین طیف پاسخ شبه شتاب نرمال با دسته‌بندی بر مبنای بیشینه شتاب زمین (PGA) (g نماد شتاب ثقل است).

نشان می‌دهد. طیف پاسخ نرمال شتاب‌نگاشت‌های دارای PGA کمتر از  $0.5g$  شیب کمتری نسبت به دو گروه دیگر دارد. حداکثر مقدار طیفی این گروه در پریود  $0.27$  ثانیه برابر با  $2/17$  است. با افزایش حداکثر شتاب زمین، شیب نمودارهای طیفی نرمال نیز بیشتر می‌شود. رکوردهای با مشخصه PGA کمتر، در پریودهای کوچک (کمتر از  $0.27$  ثانیه) و در پریودهای بزرگ‌تر از  $1$  ثانیه، تأثیر بیشتری بر مقادیر طیفی می‌گذارند (شکل ۱۵-الف). طیف پاسخ نرمال دوسویه با معیار پریود غالب ( $T_p$ ) دارای پراکندگی مقادیر طیفی در نسبت‌های پریودی بزرگ‌تر از  $2$  است (شکل ۱۵-ب). همچنین برای طیف پاسخ نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) با افزایش نسبت پریودی بیش از  $1$ ، مقادیر عددی در PGAهای مختلف دارای مقادیر به نسبت یکسانی هستند (شکل ۱۵-پ). نکته دیگر آنکه در این طیف به دلیل بزرگ‌تر بودن عمومی هر دو بازه پریود پالس ( $T_{pulse}$ ) و گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) از پریود غالب ( $T_p$ )، مقادیر بیشینه طیفی در نسبت پریودی کوچک رخ می‌دهند. ساختار تحلیلی رکوردهای همراه با پریود پالس ( $T_{pulse}$ ) به نسبت بلندمدت (شکل ۱۶-الف)، اکستریم محلی در نسبت پریودی حدود  $0.1$  را ایجاد می‌کنند. ماهیت فیزیکی رکوردهای با مشخصه PGA بزرگ‌تر از  $0.75g$  دارای پالس شتاب پدیده و همراه با پریود پالس ( $T_{pulse}$ ) به نسبت



(الف) رکورد حاوی پالس بلندمدت شتاب

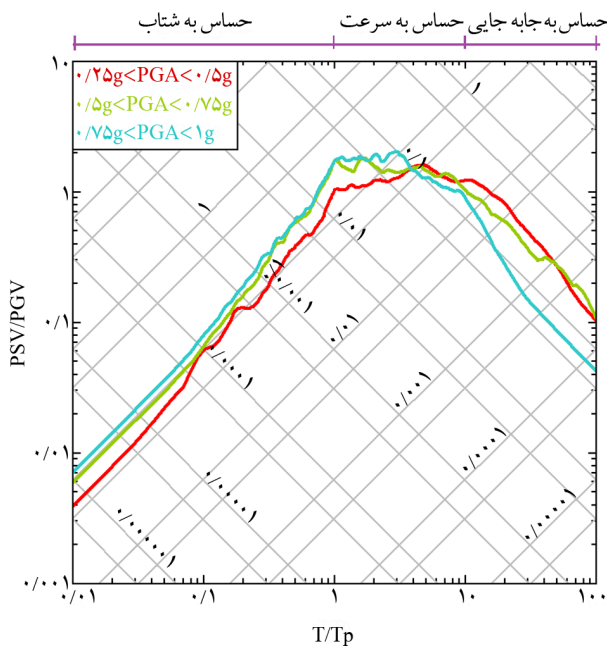


(ب) رکورد RRS حاوی پالس کوتاه‌مدت شتاب

شکل (۱۶): شتاب‌نگاشت با PGA بزرگ‌تر از  $0.75g$ .

از  $0.5g$  در ناحیه حساس به جابه‌جایی به خود اختصاص داده‌اند. نکته دیگر آنکه با گذر از پریود  $10$  ثانیه، نمودار طیفی سه گروه رکوردهای مطالعاتی به صورت خطوط موازی یکدیگر نمود می‌یابند. محدوده حساس به شتاب در نمودار طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار پریود غالب ( $T_p$ ) به صورت تقریبی یکنواخت با افزایش مقادیر طیفی تا نسبت پریودی برابر  $1$  ادامه دارد (شکل ۱۸). مقادیر طیفی دو گروه دارای PGAهای بزرگ‌تر نیز با افزایش نسبت پریودی به یکدیگر همگرا شده و در نسبت پریودی  $1$  به‌طور کامل برهم منطبق می‌گردند. با افزایش PGA، پهنای باند محدوده حساس به سرعت کاهش می‌یابد. همچنین، در محدوده حساس به جابه‌جایی نیز با کاهش PGA، شیب نمودار دچار کاهش می‌شود. شایان ذکر است نرمال کردن محور افقی نمودار طیف پاسخ بر مبنای پریود غالب، سبب نمود بیشترین مقدار طیفی در نسبت پریودی برابر  $1$  شده است.

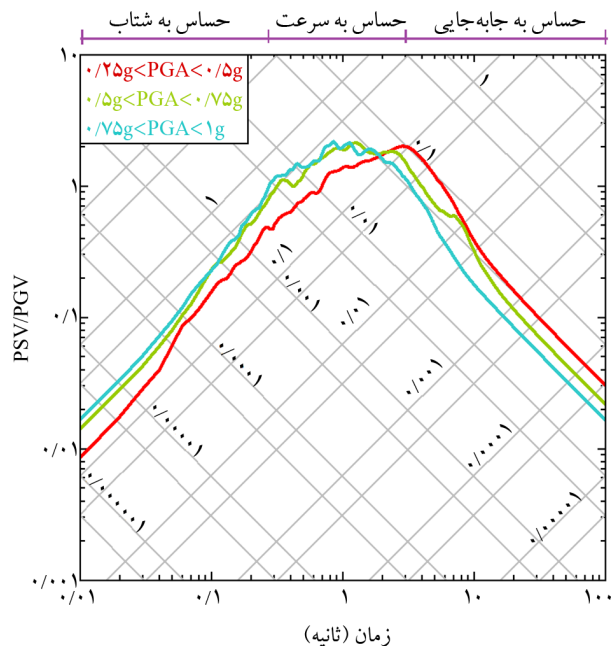
مقایسه شکل‌های (۱۸) و (۱۹) نشان می‌دهد طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_{jump}$  در محدوده حساس به شتاب دارای پهنای باند کمتر و در محدوده حساس به جابه‌جایی دارای پهنای باند بیشتری نسبت به همین طیف ساخته‌شده با معیار پریود غالب ( $T_p$ ) است.



شکل (۱۸): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_p$  (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGA.

کوتاه‌مدت (شکل ۱۶-ب)، سبب ایجاد یک اکستریم محلی در نسبت پریودی حدود  $0.2$  می‌شود. نماینده این دو گونه جنبش‌های نیرومند حوزه نزدیک، به ترتیب رکوردهای SCS و RRS از زلزله نورث‌ریج ۱۹۹۴ هستند (شکل ۱۶).

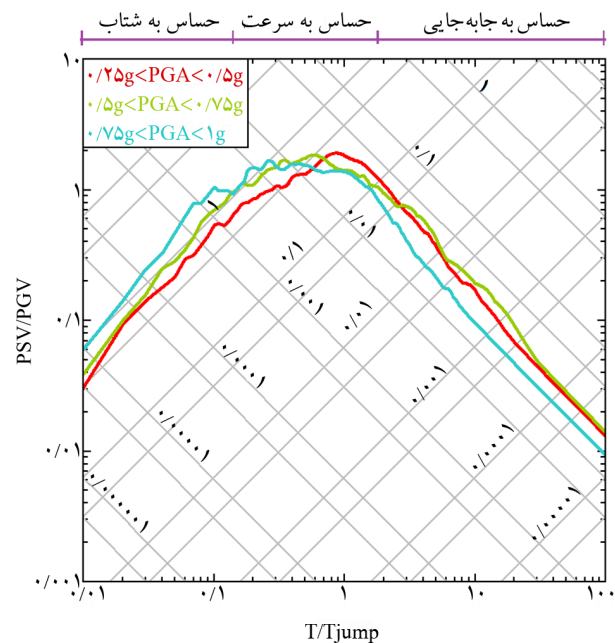
نمودارهای طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال برای گروه‌های مختلف با معیار حداکثر شتاب زمین (PGA) در شکل (۱۷) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در محدوده حساس به شتاب، رکوردهایی با مشخصات PGA کمتر از  $0.25g$  دارای مقادیر متناظر طیفی کوچک‌تری نسبت به دیگر جنبش‌های نیرومند زمین می‌باشند. در این محدوده، تناسب به نسبت یکسان مقادیر طیفی در پریودهای کوچک‌تر از حدود  $0.35$  ثانیه مشاهده شده و با افزایش پریود بر بی‌نظمی‌های نسبی مقادیر طیفی افزوده می‌شود. این روند به گونه‌ای است که با ورود به محدوده حساس به سرعت، مقادیر طیفی متناظر با رکوردهای با معیار PGA بیش از  $0.75g$ ، دارای پراکندگی داده می‌شوند. ناحیه حساس به جابه‌جایی برای هر سه گروه تعریف شده بر پایه PGA نیز از پریود نزدیک به  $2/3$  ثانیه شروع شده است. همچنین، در ارزیابی طیفی این مقوله با ناحیه حساس به شتاب، بیشترین مقادیر طیفی را رکوردهای با PGA کمتر



شکل (۱۷): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGA.

زمین (PGV)، حداکثر شتاب زمین (PGA) متناظر با رکوردهای حوزه نزدیک دارای پالس سرعت بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات نسبت انرژی جنبشی دو مؤلفه افقی، PGA و PGV بر ناحیه حساس به شتاب و جابه‌جایی در طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال، به نسبت معینی اثر می‌کند. این روند، به گونه‌ای است که شیب افزایشی یکسان در ناحیه حساس به شتاب و نیز شیب کاهشی یکسان در ناحیه حساس به جابه‌جایی، در خصوص بررسی تغییرات پارامترهای مذکور مشاهده می‌شود. تغییرات PGV در محدوده حساس به سرعت اثرات چشمگیری بر مقادیر طیفی نداشته و در این ناحیه، نمودارهای هر دو طیف سه‌جانبه متناظر با پاسخ شبه‌شتاب نرمال و نرمال دوسویه بر یکدیگر انطباق نسبی دارند. همچنین، تغییرات نسبت انرژی جنبشی و حداکثر شتاب زمین سبب پراکندگی نسبی مقادیر طیفی در ناحیه حساس به سرعت از طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال شده است.

طیف‌های نرمال دوسویه بر مبنای پیروید غالب ( $T_p$ ) به منظور کاهش اثرات پارامترهایی مانند فاصله از گسل، نوع خاک ارائه شدند [۱۶]. نتایج این تحقیق مؤید این است که دوسویه‌سازی سبب کاهش تأثیر تغییرات پارامترهای نسبت انرژی جنبشی دو مؤلفه افقی، PGA و PGV بر طیف پاسخ شبه‌شتاب می‌شود. همچنین، نمایش این مسئله در ناحیه حساس به شتاب طیف سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_p$  نمود یافته است. با گذر از محدوده حساس به شتاب، پراکندگی داده‌های طیفی افزایش می‌یابد. این امر به گونه‌ای است که در محدوده حساس به جابه‌جایی، روند یکنواختی را نمی‌توان برای این نمودارها توصیف نمود. بر پایه اینکه امکان پدیده تشدید با در نظرگیری پیروید غالب به‌عنوان معیار دوسویه‌سازی بررسی شده است، مقادیر بیشینه حاصل از طیف‌های شبه‌شتاب و سه‌جانبه در نسبت پیرویدی برابر ۱ رخ می‌دهد. همچنین، در خصوص ساختار تحلیلی طیف پاسخ شبه‌شتاب نرمال دوسویه با معیار پیروید غالب ( $T_p$ )، مقادیر طیفی نسبت به دو نوع طیف شبه‌شتاب دیگر بررسی شده در این تحقیق، به‌طور نسبی افزون‌تر است. با توجه به ماهیت فیزیکی رکوردهای بسیار پرانرژی که هر دو



شکل (۱۹): میانگین طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار  $T_{jump}$  (میرایی ۵ درصد) برای مقادیر مختلف PGA.

با کاهش مقادیر پارامتر PGA، شیب نمودار طیف پاسخ در محدوده حساس به جابه‌جایی کاهش می‌یابد. در این ناحیه نیز برای دو گروه رکوردهای با PGA کمتر از ۰/۷۵g با افزایش نسبت پیرویدی، یک همگرایی مقادیر طیفی رخ داده و در نسبت‌های پیرویدی بیش از ۲۰ نیز انطباق مقادیر مشاهده می‌شود. ماهیت فیزیکی رکوردهای حوزه نزدیک متأثر از اثرات جهت‌داری پیشرو و با PGA کوچک‌تر از ۰/۵g، بیشتر دارای پالس (احتمالی) شتاب کم دامنه و همراه با طول پالس سرعت به نسبت بلند مدت است. وجود این ویژگی‌های لرزه‌شناسی می‌تواند سبب ایجاد یک کاهش پهنای باند محدوده حساس به سرعت بشود.

## ۷- نتیجه‌گیری

این مطالعه به پژوهش درباره ساختار تحلیلی طیف‌های پاسخ شبه‌شتاب نرمال و نرمال دوسویه با تأکید بر پیروید غالب ( $T_p$ ) و گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ )، متناظر با رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک پرداخته است. تبیین مباحث یاد شده بر اساس سه پارامتر نسبت انرژی جنبشی دو مؤلفه افقی (LN/TR)، حداکثر سرعت

3. Bray, J.D. and Rodriguez-Marek, A. (2004) Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **24**(11), 815-828.
4. Li, S., Zhai, C., and Xie, L. (2009) Analysis on response of dynamic systems to pulse sequence excitations. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, **1**(1), 3-15, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
5. Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., and Cofer, W.F. (2011) Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. *Engineering Structures*, **33**(3), 767-779.
6. Tehranizadeh, M. and Hamed, F. (2002) Influence of earthquake source parameters and damping on elastic response spectra for Iranian earthquakes. *Engineering Structures*, **24**(7), 933-943.
7. Pavel, F., Vacareanu, R., and Lungu, D. (2014) Bi-normalized response spectra for various frequency content ground motions. *Journal of Earthquake Engineering*, **18**(2), 264-289.
8. Yaghmaei-Sabegh, S. and Rupakhety, R. (2020) A new method of seismic site classification using HVSr curves: A case study of the 12 November 2017 Mw 7.3 Ezgeleh earthquake in Iran. *Engineering Geology*, **270**, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105574>.
9. Sedghi, M., Dorostian, A., Zare, M., and Pourkermani, M. (2020) A strong ground motion catalogue of selected records for shallow crustal, near field earthquakes in Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, **12**(2), 141-150.
10. Zafarani, H., Jafarian, Y., Eskandarinejad, A., Lashgari, A., Soghra, M., Sharafi, H., and Haji-Saraei, M.A. (2020) Seismic hazard analysis and local site effect of the 2017 Mw 7.3 Sarpol e Zahab, Iran earthquake. *Natural Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04054-0>.
11. Chopra, A.K. and Chintanapakdee, C. (2001) Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**, 1769-1789.
12. Khansefid, A. (2020) Pulse-like ground motions

مؤلفه افقی LN و TR آنها دارای محتوی انرژی زیادی است، تغییرات مربوط به گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) بر طیف نرمال شبه شتاب دوسویه تأثیر گذار است. این امر به گونه‌ای است که مؤلفه‌های دارای پالس سرعت کوتاه‌مدت، مقادیر طیفی شبه‌شتاب را افزایش داده و مقدار بیشینه را به سمت نسبت‌های پریودی حدود ۰/۲ سوق می‌دهد. مؤلفه‌های افقی با پالس سرعت بلندمدت، دارای مقادیر طیفی با پراکندگی کم در نسبت‌های مختلف پریودی می‌باشند. تأثیر گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) بر تغییرات حداکثر سرعت زمین در ساختار تحلیلی طیف پاسخ نرمال دوسویه با معیار پالس سرعت به خوبی مشهود است و شب نمودار متناظر با پالس بلندمدت، بیشتر از پالس کوتاه‌مدت است. ملاحظه شد که پارامتر طول پالس سرعت بر تغییرات حداکثر شتاب زمین در نسبت‌های پریودی بزرگ‌تر از ۱ تأثیر چندانی ندارد. طیف پاسخ سه‌جانبه نرمال دوسویه با معیار گام زمانی پرش ( $T_{jump}$ ) در محدوده حساس به شتاب، پهنای باند کوتاه‌تری نسبت به طیف با معیار پریود غالب ( $T_p$ ) دارد. مقادیر طیفی در این ناحیه به نسبت کم‌و بیش یکسان، افزایش می‌یابند. همچنین در محدوده حساس به شتاب و سرعت نیز بیشترین مقادیر طیفی برای مقادیر کوچک‌تر پارامترهای تغییرات نسبت انرژی جنبشی، PGA و مقادیر بزرگ‌تر PGV رخ می‌دهد. نکته دیگر آنکه تغییرات پارامترهای مذکور سبب پراکندگی مقادیر طیفی در ناحیه حساس به سرعت و نیز یکسان‌سازی روند کاهندگی در ناحیه حساس به جابه‌جایی شده است.

## مراجع

1. Wuchuan, P., Ming, W., Huang, B., and Zhang, H. (2018) Quantification of response spectra of pulse-like near-fault ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **104**, 117-130.
2. Cork, T.G., Kim, J.H., Mavroedidis, G.P., Kim, J.K., Halldorson, B., and Papageorgiou, A.S. (2016) Effects of tectonic regime and soil conditions on the pulse period of near-fault ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **80**, 102-118.



- Engineering.
22. Mohraz, B. and Sadek, F. (2001) *Earthquake ground motion and response spectra*. The seismic design handbook (47-124), Frazad Naeim, California, Berkeley.
  23. Zhai, C., Chang, Z., Li, S., Chen Z.Q, and Xie, L. (2013) Quantitative identification of near-fault pulse-like ground motions based on energy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **103**(5), 2591-2603.
  24. Kohrangi, M., Vamvatsikos, D., and Bazzurro, P. (2019) Pulse-like versus non-pulse-like ground motion records: Spectral shape comparisons and record selection strategies. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **48**(1), 46-64.
  25. Ghodrati Amiri, G. and Manouchehri D. (2005) Introduction of the most suitable parameter for selection of critical earthquake. *Computers and Structures*, **83**(8-9), 613-626.
- واژه‌نامه**
- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| Rupture Directivity                    | ۱- جهت‌داری گسلش            |
| Forward Directivity Effects            | ۲- اثرات جهت‌داری پیشرو     |
| Imperial Valley                        | ۳- امپریال ولی              |
| Loma Prieta                            | ۴- لوماپریتا                |
| Northridge                             | ۵- نورتریج                  |
| Bi-Normalized Response Spectrum (BNRS) | ۶- طیف پاسخ نرمال دوسویه    |
| Chi Chi                                | ۷- چی چی                    |
| Christchurch                           | ۸- کرایست چرچ               |
| Darfield                               | ۹- دارفیلد                  |
| Newmark-Hall Spectra                   | ۱۰- طیف نیومارک-هال         |
| Strong Record                          | ۱۱- رکورد نیرومند           |
| Peak Ground Acceleration (PGA)         | ۱۲- بیشینه شتاب رکورد زلزله |
| Peak Ground Velocity (PGV)             | ۱۳- بیشینه سرعت رکورد زلزله |
| Jump Up Period ( $T_{jump}$ )          | ۱۴- گام زمانی پرش           |
| Normalized Response Spectra (NRS)      | ۱۵- طیف پاسخ نرمال          |
| Noise Frequencies                      | ۱۶- فرکانس‌های نویز         |
| Predominant Period ( $T_p$ )           | ۱۷- پرئود غالب              |
13. Rupakhety, R. and Sigbjörnsson, R. (2011) Can simple pulses adequately represent near-fault ground motions. *Journal of Earthquake Engineering*, **15**(8), 1260-1272.
  14. Hoseini Vaez, S.R., Sharbatdar, M.K., Ghodrati Amiri, G., Naderpour, H., and Kheyroddin, A. (2013) Dominant pulse simulation of near fault ground motions. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **12**, 267-278.
  15. Ghayamghamian, M. and Nojavan, A. (2007) An evaluation of Iranian design response spectra using data of recent earthquake in Iran. *JSCE Japan*, **29**, 132-138.
  16. Xu, L. and Xie, L. (2004) Bi-normalized response spectral characteristics of the 1999 Chi-Chi earthquake. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **3**(2), 147-155.
  17. Pavel, F., Vacareanu, R., Neagu, C., and Pricopie, A. (2014) Bi-normalized response spectra and seismic intensity in Bucharest for 1986 and 1990 Vrancea seismic events. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **13**(1), 125.
  18. Xu, L. and Xie, L. (2004) Study on bi-normalized earthquake acceleration response spectra. *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2592.
  19. Lu, Y., Li, B., Xiong, F., Dai, K., Liu, Y., and Mei, Z. (2019) Bi-normalized Newmark-Hall spectra for seismic design and assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, doi.org/10.1007/s10518-019-00712-2.
  20. Zhao, G., Xu, L., Gardoni, P., and Xie, L. (2019) A new method of deriving the acceleration and displacement design spectra of pulse-like ground motions based on the wavelet multi-resolution analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **119**, 1-10.
  21. Rajasekaran, S. (2009) *Structural Dynamics of Earthquake Engineering: Theory and Application using Mathematica and MATLAB*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural

Peak-Point Method	۱۸- روش PPM
Fault Parallel Component (LN)	۱۹- مؤلفه موازی با صفحه شکست گسل
Fault Normal Component (TR)	۲۰- مؤلفه عمود بر صفحه شکست گسل
Powerful Record	۲۱- رکورد قدرتمند
Surpassing Energetic Record	۲۲- رکورد بسیار پرنرژی

## Assessment of the Spectral Parameters' Effects of Near-Field Earthquake Records containing Coherent Velocity Pulse on the Analytical Structure of the Bi-Normalized Response Spectra

Safora Morshed-Shekarchi<sup>1</sup>, Afshin Meshkat-Dini<sup>2\*</sup> and Ali Massumi<sup>3</sup>

1. Ph.D. Student, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Kharazmi University, Tehran, Iran, \*Corresponding Author, email: meshkat@khu.ac.ir

3. Professor, Kharazmi University, Tehran, Iran

This study aims to investigate the analytical scheme of both the bi-normalized acceleration response spectrum and the bi-normalized tripartite response spectrum according to an ensemble of near-field strong ground motion records in the forward directivity conditions. For this purpose, the horizontal components of the ground acceleration time history were considered and a group of 16 ground motion pairs were selected, which have been recorded during two great earthquakes occurred in California, namely the Northridge (1994) and the Imperial Valley (1979). Also, the analytical scheme of the normalized acceleration response spectrum and the normalized tripartite response spectrum corresponding to a symbolic single-degree-of-freedom system have been compared with the related bi-normalized acceleration response spectra. It should be noted that the identification of near-field strong ground motion records is usually recognized by their physical characteristics such as peak ground acceleration (PGA), peak ground velocity (PGV), and the relatively short period process of energy release. Many strong ground motions have been recorded in less than 20 km from the fault rupture surface during intensive powerful earthquakes. In this case, the most famous earthquake tremors are the Imperial Valley (1979), Loma Prieta (1989), Landers (1992), and Northridge (1994) in California, plus the Kobe (1995) in Japan, Erzincan (1992), as well as Kocaeli (1999) in Turkey. Moreover, there are two very strong records, which are related to the Tabas (1978) and Bam (2003) earthquakes in Iran. The ensemble of the selected earthquake records in this research includes near-field ones that contain various tectonic occurrences. The main physical characteristics of the chosen records cover a wide range of the frequency content and strong ground motions duration as well as various high seismological amplitudes. The related values of the peak ground acceleration and velocity are numerically high. Generally, the peak ground velocity (PGV) is often viewed as a better indicator of the earthquake record damage potential than the peak ground acceleration (PGA). The large velocity pulses evident in the related plots can be viewed as damaging features. Moreover, the earthquake record damage potential also depends on how much dynamic ground displacement occurs during these velocity pulses. Referred to apparent physical influences caused by strong faulting mechanisms, the presence of high-amplitude velocity pulses is one of the most important characteristics of near-field records, which can be registered in a time-history domain. In general, these pulses appear as wave-shaped features with high amplitudes and long periods, which have a compound and continuous shape. Distinct powerful velocity pulses are resulted corresponding to high-amplitude acceleration pulses and spikes usually with a less than 1.5 second time-domain and also high-amplitude and short-time spikes with 0.2 to 0.3 second time-step in the spectral windows of the horizontal parallel and perpendicular components with respect to the fault rupture cuture. These processes would essentially cause an enormous amount of the kinetic energy of strong ground motions to get released in the time-range of compound coherent and long-term velocity pulses in the related time history. In order to investigate these effects on the configuration of the aimed response spectrum, the velocity pulse time step, the ratio of corresponding kinematic energy of both two horizontal components, peak ground acceleration (PGA), and peak ground velocity (PGV) were considered.

According to the performed computational assessments in this research, it was resulted that the bi-normalized response spectrum by the basic criterion of predominant period has a monotonous configuration and would get fewer effects due to variation of the notified spectral parameters.

**Keywords:** Normalized Response Spectra (NRS), Bi-Normalized Response Spectra (BNRS), Near Field Record, Velocity Pulse, Pulse Time Step, Predominant Period.