

## تخمین حداکثر دوران انتهایی تیر در قاب‌های خمشی بتن آرمه با استفاده از پالس معادل حرکات نزدیک گسل

سید روح الله حسینی واعظ<sup>۱\*</sup>، مجتبی جهان آبادی<sup>۲</sup>

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>رویدادهای لرزه‌ای اخیر نظیر زلزله‌های نورتریج کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴، کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵، ازمیت ترکیه در سال ۱۹۹۹ و بم ایران در سال ۲۰۰۳ اثرات مخربی بر تاسیسات زیربنایی شهرها داشته است. در همه زلزله‌های یاد شده، گسل مسبب، دقیقاً در مجاورت مراکز پرجمعیت شهری واقع شده بود. مشاهدات نشان داده است که رکوردهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل و رکوردهای حرکات دور از گسل تفاوت‌های مهم و اساسی دارند. این حرکات می‌توانند شامل پالس‌های بزرگ سرعت و تغییر مکان باشند که پتانسیل تخریب سازه‌ای قابل توجهی دارند. این تفاوت در تاریخچه‌های زمانی سرعت و تغییر مکان دیده می‌شود، که متاثر از دو اثر راستاپذیری شکست و گام پرتابی است. بعد از مشاهده اثرات مخرب حرکات نزدیک گسل توجه گسترده‌ای به شبیه‌سازی و مدل‌سازی حرکات نزدیک گسل و مطالعه پاسخ سازه‌ای به حرکات پالس‌گونه شد. یکی از جدیدترین این مدل‌ها مدل ریاضیاتی واعظ و همکاران می‌باشد. در این تحقیق حداکثر دوران انتهایی تیر در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه با استفاده از این رابطه ریاضی از پالس معادل حرکات نزدیک گسل با پاسخ متناظر از رکورد واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای همین منظور ۳ قاب بتن‌آرمه یک دهانه ۶، ۱۲ و ۱۵ با سه سطح شکل‌پذیری ۱، ۲ و ۴ با ارتفاع‌های متفاوت یک‌بار تحت رکوردهای واقعی و بار دیگر تحت پالس‌های معادل متناظر آنالیز شده است. با توجه به نتایج مشخص شد که پالس معادل توانایی بالایی در پیش‌بینی پارامترهای مهندسی نظیر توزیع تغییر مکان نسبی طبقه در ارتفاع و حداکثر دوران انتهایی تیر برای قاب‌ها دارد.</p>	<p>دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶</p> <p><b>واژگان کلیدی:</b> حرکات نزدیک گسل، حرکات راستاپذیری پیش‌رونده و پس‌رونده، پاسخ سازه‌ای.</p>

### ۱- مقدمه

تاسیسات زیربنایی شهرها داشته است. در همه زلزله‌های یاد شده، گسل مسبب، دقیقاً در مجاورت مراکز پرجمعیت شهری واقع شده بود. با توجه به این واقعیت که بسیاری از شهرها و کلان‌شهرها در حوالی گسل‌های فعال واقع شده

رویدادهای لرزه‌ای اخیر نظیر زلزله‌های نورتریج<sup>۲</sup> کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴، کوبه<sup>۳</sup> ژاپن در سال ۱۹۹۵، ازمیت<sup>۴</sup> ترکیه در سال ۱۹۹۹ و بم<sup>۵</sup> ایران در سال ۲۰۰۳ اثرات مخربی بر

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hoseinivaez@qom.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم

۲. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم

<sup>2</sup>Northridge

<sup>3</sup>Kobe

<sup>4</sup>Izmit

<sup>5</sup>Bam

آن‌ها در مناطق پرجمعیت رخ داده است. بعد از خسارات سازه‌ای شدید حرکات زمین نزدیک گسل در زلزله‌های اخیر (زلزله نورتریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵، چی چی ۱۹۹۹ و...)، مهندسين زلزله و سازه روش‌هایی برای وارد کردن اثرات حوزه نزدیک در طراحی لرزه‌ای مدنظر قرار دادند. اولین شواهد قوی زلزله شناسی برای پدیده نزدیک گسل توسط بنیوف در سال ۱۹۵۵، در توضیحاتش از الگوی شدت مشاهده شده در زلزله ۱۹۵۲ کرن کانتی گزارش شد. او مشاهده کرد که انتشار شکست گسل به صورت یک منبع حرکتی می‌تواند منجر به انواع مختلف حرکات زمین در طرف مقابل منطقه شکست شود، یعنی "با شدت‌های بزرگ تر و فرکانس بالاتر در راستای انتشار و شدت کمتر و فرکانس پایین تر در طرف مقابل" [۱]. لیاو و همکارانش در سال ۲۰۰۱ [۲]، برای بررسی ویژگی‌های پاسخ غیرخطی قاب‌های بتنی تحت زلزله‌های نزدیک گسل دو قاب خمشی ۵ و ۱۲ طبقه را براساس آیین‌نامه ساختمانی تایوان طراحی کردند و تحت ۴ نگاشت نزدیک گسل از زلزله چی چی تایوان و تعدادی نگاشت از مناطق دیگر جهان مورد تحلیل قرار دادند. در این مطالعه مشخص شد، که تغییرمکان نسبی در هر دو سازه ۵ و ۱۲ طبقه تحت زلزله‌های نزدیک گسل بیش تر از زلزله‌های دور از گسل است. ال شیخ و همکارانش [۳] اثر زلزله‌های نزدیک گسل را بر روی قاب‌های بتنی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۰ طبقه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل باراستاتیکی افزایشده<sup>۳</sup> و تحلیل دینامیکی نشان داد، که برای یک برش پایه ثابت، تغییرمکان بدست آمده، از روش بار افزایشده محافظه کارانه تر از روش تحلیل دینامیکی است، و مشخص شد که روش استاتیکی بار افزایشده جهت طراحی براساس تغییرمکان، برای سازه‌های تحت زلزله‌های نزدیک گسل مناسب تر است. در سال ۲۰۱۲، حائری [۴] اثرات حرکات نزدیک گسل را بر روی قابلیت لرزه‌ای ساختمان‌های قابی بتن‌آرمه مورد مطالعه قرار داد. این ساختمان‌ها دارای دو

اند، رسیدگی به این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار است. حرکات لرزه‌ای ثبت شده زمین در نواحی نزدیک گسل با آنچه در حوزه دور مشاهده شده است، متفاوت می‌باشد. مهم‌ترین مشخصه حوادث نزدیک گسل مربوط به رشته مهندسی سازه و زلزله طبیعت پالس‌گونه سرعت و تغییرمکان حرکات زمین است که بر روی پاسخ سازه‌ای در زمان تناوب‌های طولانی تاثیرگذار می‌باشد، و همچنین پیامدهای شدید و مخرب بر روی سازه‌های انعطاف‌پذیر، به خصوص ساختمان‌هایی با طبقات متوسط و بلند می‌گذارد. وقوع زلزله‌های بزرگ که اثرات حوزه نزدیک گسل را تولید می‌کند در نواحی شهری و پرجمعیت یک پدیده نادر، اما اجتناب ناپذیر است. بنابراین مطالعه و تحقیق بر روی ویژگی‌های منحصر به فرد حرکات حوزه نزدیک امر مهم و جدی است، که محققین و مهندسين در طی سال‌های اخیر آن را از جنبه‌های زیادی مورد مطالعه قرار داده‌اند. زمانی که زلزله سن فرناندو<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۱ اتفاق افتاد، مهندسين و زلزله شناسان بر روی اثرات مهم حرکات نزدیک گسل بر ساختمان‌ها مطالعاتی را انجام دادند. اما مطالعات جدی بعد از وقوع زلزله‌های نورتریج در سال ۱۹۹۴، کوبه در سال ۱۹۵۵ و چی چی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۹ آغاز شد. خسارات مهیب ایجاد شده به وسیله این زلزله‌ها در مناطق شهری باعث افزایش توجه مهندسين و محققین به پدیده‌های نزدیک گسل شد. از اثرات بارز حوزه‌های نزدیک گسل می‌توان به اثرات راستا پذیری و اثر پرتابی اشاره کرد. این اثرات نزدیک گسل در لرزش زمین، سازه را با بارگذاری که در آیین‌نامه طراحی وجود ندارد، مواجه کرد. مهندسين سازه، ابتدا اثرات نزدیک گسل را بر روی ساختمان‌ها مطالعه کردند و ضرایب را در آیین‌نامه UBC97 اعمال کردند. از نقطه نظر تاریخی رکوردهای زلزله‌های پارکفیلد در سال ۱۹۶۶ و سن فرناندو در سال ۱۹۷۱ در کالیفرنیا را می‌توان در شناخت اثرات تخریبی حرکات نزدیک گسل مورد توجه قرار داد، چون هر دوی

<sup>3</sup> Pushover

<sup>1</sup> San Fernando

<sup>2</sup> Chi Chi

به دست می‌آید. پارامترهای مربوط به مدل پالس‌گونه، تابع پوش، و چگالی طیفی توان توسط جذر حداقل مربعات برآورد شده است. حرکات زمین شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که حرکات زمین مصنوعی تولید شده توسط مدل تصادفی پیشنهادی می‌تواند مشخصه ضربه حرکات نزدیک گسل زمین را پیش‌بینی کند

برای تولید پالس حرکات نزدیک گسل مدل‌های دیگری نیز ارائه شده است که یا به صورت اشکال موجی ساده شده و یا با استفاده از موجک‌های متداول پالس مورد نظر تولید گردیده است [۱۵-۲۱]. یکی از جدیدترین این مدل‌ها مدل ریاضیاتی واعظ و همکاران می‌باشد. در این تحقیق حداکثر دوران انتهایی تیر در قاب‌های خمشی بتن‌آرمه با استفاده از این رابطه ریاضی از پالس معادل حرکات نزدیک گسل با پاسخ متناظر از رکورد واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

## ۲- خصوصیات حرکات نزدیک گسل

رکوردهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل و رکوردهای حرکات دور از گسل تفاوت‌های مهم و اساسی دارند. مشخصه تکانشی سرعت و تغییرمکان زمین از مشخصه‌های اساسی حرکات نزدیک گسل می‌باشد، که باعث بوجود آمدن پالس‌های نیرومند با زمان تناوب طولانی در رکوردهای تاریخچه زمانی سرعت و تغییرمکان می‌شود. با این‌که چنین پالس‌هایی نوعی از ویژگی‌های حرکات نزدیک گسل هستند، ولی یک مشخصه عمومی نزدیک گسل نیستند [۲۱]. چنانچه سازه‌ای تحت حرکات نزدیک گسل قرار گیرد خسارات شدیدتر و مخرب‌تری نسبت به زمانی که تحت حرکات معمولی زمین باشد تحمل می‌کند و این ناشی از ویژگی‌های خاص حرکات حوزه نزدیک گسل می‌باشد. در این بخش برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های مهم حرکات نزدیک گسل که درک تاثیر آن‌ها بر پاسخ سازه‌ای مهم می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نوع مختلف سیستم مقاوم برابر جانبی هستند که شامل سیستم قاب مقاوم خمشی (MRF) و سیستم دوگانه (قاب مقاوم خمشی و دیواربرشی) است. در این مطالعه از آنالیز غیرخطی دینامیکی برای تقاضاهای سازه‌ای استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که دیوارهای برشی اضافه شده به ساختمان‌های بلندمرتبه در معرض حرکات نزدیک گسل تاثیر کمی بر روی قابلیت لرزه‌ای دارند، اما این دیوارها نسبتاً برای ساختمان‌های کوتاه سودمندتر است.

بعد از اثرات مخرب زلزله نورتریج کالفرنیا در سال ۱۹۹۴، توجه گسترده‌ای به شبیه‌سازی حرکات نزدیک گسل و مطالعه پاسخ سازه‌ای به حرکت پالس‌گونه شد. بسیاری از مهندسين و محققين اشکال موجی ساده شده مختلفی را برای بیان پالس‌های حرکت زمین که در مناطق حوزه نزدیک مشاهده شده بود، استفاده کرده‌اند [۵-۱۲]. مدلی که توسط ماورونیدیس و پایاگرگیو در سال ۲۰۰۳ پیشنهاد شد [۵]، یک مدل ساده است که تا حدی قادر به نمایش ویژگی‌های طیف پاسخ رکوردهای واقعی نزدیک گسل می‌باشد. مدل آن‌ها یک مدل ساده شده از موجک<sup>۱</sup> گابر می‌باشد به نحوی که پوش گوسی (پوش نرمال)<sup>۲</sup> موجک گابر با یک تابع کسینوسی تعویض شده است و زمانی که با یک موج هارمونیک ترکیب می‌شود، پالس مورد نیاز را تولید می‌نماید. در سال ۲۰۰۷، تیان و همکارانش [۱۳] نیز مدلی مشابه با استفاده از موجک گابر ارائه دادند

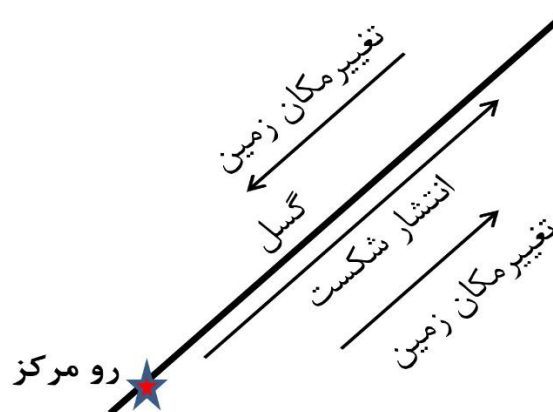
جهت‌گیری حرکات زمین وقتی که حرکات پالس‌گونه و پاسخ لرزه‌ای نامطلوب در نظر گرفته می‌شود، اهمیت زیادی دارد. در سال ۲۰۱۵، یانگ و همکاران [۱۴] مدل جدیدی متشکل از یک پالس سرعت با پارامترهای تصادفی و با یک رویکرد تصادفی برای ترکیب کردن محتوای فرکانس بالا تاریخچه زمانی سرعت، به دست آورده‌اند. در این مدل محتوای فرکانس بالا تاریخچه زمانی سرعت با انتگرال‌گیری از محتوای فرکانسی بالای تصادفی شتاب‌نگاشت، که از طریق طیف K-T اصلاح شده تاریخچه شتاب باقی مانده تولید می‌شود و سپس توسط تابع پوش خاصی مدوله می‌شود،

<sup>2</sup> Gaussian Envelope

<sup>1</sup> Wavelet

## ۲-۱- اثر راستاپذیری<sup>۱</sup>

یکی از عوامل موثر بر حرکت در ناحیه نزدیک گسل راستا است که در آن پیشرفت پاره‌گی از کانون زلزله و در امتداد ناحیه پاره‌گی است. این اثر به اثر راستاپذیری معروف است. راستاپذیری اشاره به جهت انتشار پاره‌گی در مقابل جهت تغییر مکان دارد (شکل ۱)، [۲۲]. با توجه به موقعیت سایت نسبت به گسل و راستای انتشار پاره‌گی در امتداد گسل، سه نوع مختلف از اثرات راستاپذیری را می‌توان مشاهده نمود، که در ادامه هر کدام از آن‌ها توضیح داده شده است.



شکل ۱- راستاپذیری به راستای انتشار پاره‌شدگی اشاره دارد.

### ۲-۱-۱- راستاپذیری پیش‌رونده<sup>۲</sup>

وقتی زلزله اتفاق می‌افتد، جابه‌جایی برشی از نقطه‌ای روی گسل شروع شده و با سرعتی تقریباً معادل با سرعت موج برشی گسترش می‌یابد. زمانی که این قبیل پاره‌شدگی از کانون عمقی انتشار پیدا می‌کند، با انباشته شدن موج‌های برشی که به سمت جلوی پاره‌شدگی حرکت می‌کنند یک پیشانی موج برشی<sup>۳</sup> شکل می‌گیرد. اگر سایت در یک انتهای گسل واقع شده باشد و پاره‌شدگی در انتهای دیگر گسل شروع شود و به سمت سایت حرکت کند، ورود پیشانی موج به صورت یک پالس بزرگ در شروع رکورد دیده می‌شود. این پدیده وقتی نمایان‌تر می‌شود که راستای لغزش روی صفحه گسل نیز به سمت سایت باشد [۲۳]. انتشار پاره‌شدگی به سمت سایت با سرعت بالا باعث می‌شود که

بیش‌تر انرژی پاره‌شدگی گسل با پالس دوره‌تناوب طولانی مجزا زمین به سایت برسد. اثرات راستاپذیری پیش‌رونده در حوادث راستالغز و شیب‌لغز مشاهده شده است. هرچه زاویه بین راستای انتشار پاره‌شدگی و راستای امواجی که از گسل به سمت سایت حرکت می‌کنند کم‌تر باشد، اثر راستاپذیری پیش‌رونده بیش‌تر می‌شود. به‌طور کلی اثر راستاپذیری در مناطقی که پاره‌شدگی به موازات بردار لغزش انتشار می‌یابد، حداکثر می‌شود. اگر لغزش در یک انتهای گسل جایی که سایت قرار گرفته است متمرکز شود، حتی اگر این شرایط هندسی ارضاء شود راستاپذیری پیش‌رونده وجود ندارد. بر خلاف گسل‌های راستالغز، که پدیده راستاپذیری پیش‌رونده توقع می‌رود دور از کانون عمقی متمرکز شود، در مورد گسل‌های شیب‌لغز، این اثرات بیش‌تر در بالای شیب نسبت به کانون عمقی متمرکز می‌شوند (شکل ۲). همچنین برای گسل‌های راستالغز اثر راستاپذیری برای پاره‌شدگی یک سویه بیش‌تر می‌باشد (یعنی کانون عمقی به سطح نزدیک‌تر باشد). در حالی که برای گسل‌های شیب‌لغز برعکس این حالت می‌باشد. در هر صورت در هر دو مورد اثر راستاپذیری در مناطقی که راستای پاره‌شدگی به موازات راستای لغزش گسل باشد؛ حداکثر است (شکل ۲) [۲۴].

### ۲-۱-۲- راستاپذیری پس‌رونده<sup>۴</sup>

در شرایطی که محل مورد نظر در نزدیکی سایت باشد ولی انتشار پاره‌شدگی در گسل به‌گونه‌ای باشد که از محل سایت مورد نظر دور شود، حرکات زمین به صورت مدت زمان طولانی و دامنه کوتاه مشخصه‌بندی می‌شوند. این اثر به راستاپذیری پس‌رونده معروف است. به عبارت دیگر در هنگام زلزله همه محدوده‌های نزدیک گسل اثرات راستاپذیری پیش‌رونده را تجربه نمی‌کنند. در این حالت باز هم به دلیل این که سرعت انتشار امواج با سرعت انتشار پاره‌شدگی تقریباً یکی است، رسیدن امواج لرزه‌ای به سایت مورد نظر از نقاط مختلف پاره‌شدگی، در طول زمان پخش

<sup>3</sup> Shear Wave Front

<sup>4</sup> Backward Directivity

<sup>1</sup> Directivity Effect

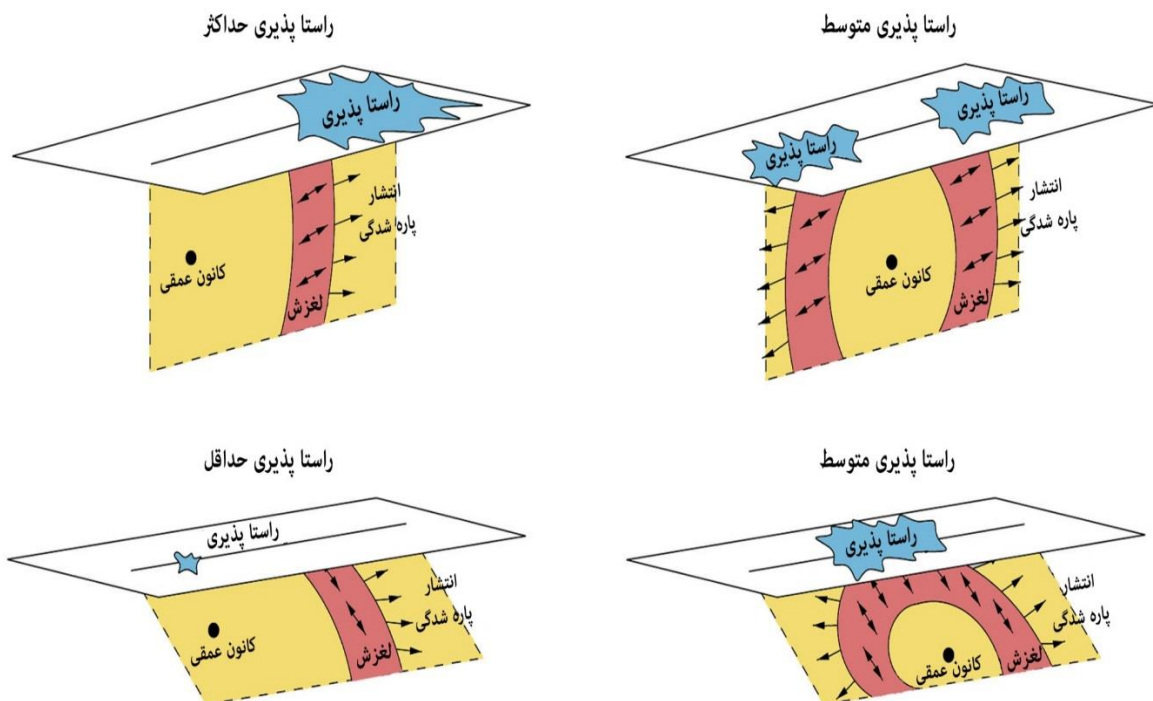
<sup>2</sup> Forward Directivity

گرفته، شامل یک رکورد با مدت زمان طولانی و دامنه کوتاه (به علت اثرات راستاپذیری پس‌رونده) است. در ادامه شرایطی که می‌تواند منجر به راستاپذیری پیش‌رونده و پس‌رونده مشخص شده است:

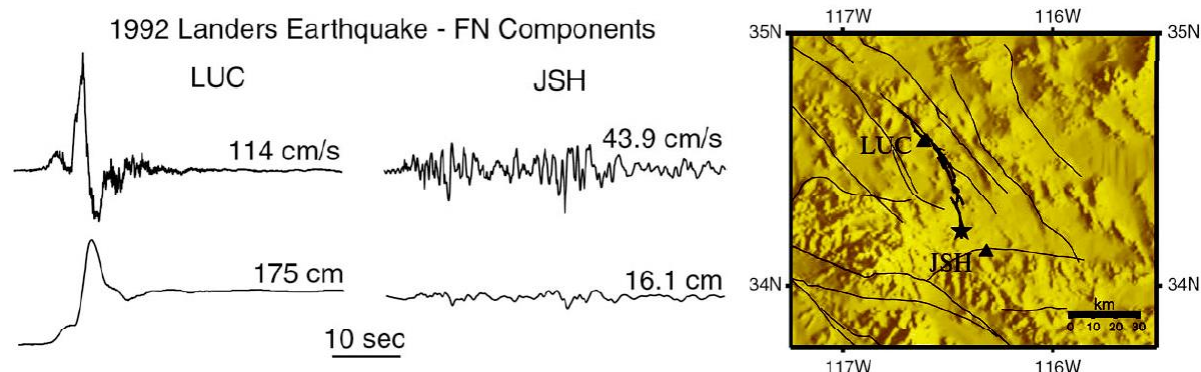
- هرچه زاویه بین راستای پاره‌شدگی و راستای امواجی که از گسل به سمت سایت حرکت می‌کنند کم‌تر باشد، اثر راستاپذیری پیش‌رونده بیشتر می‌شود.
- هرچه شکاف سطح پاره‌شدگی گسلی که بین عمق کانونی و سایت سطحی قرار گرفته است بیشتر شود اثر راستاپذیری پیش‌رونده بیشتر می‌شود.

اگر لغزش در یک انتهای گسل جایی که ایستگاه قرار گرفته است متمرکز شود، حتی اگر این شرایط هندسی ارضاء شود راستاپذیری پیش‌رونده وجود ندارد.

شده و باعث یک حرکت با دوام طولانی و دامنه کم در این مناطق می‌گردد. شکل ۳ شرایطی را که منجر به اثرات راستاپذیری پاره‌شدگی پیش‌رونده و راستاپذیری پس‌رونده می‌شود را براساس محل سایت و صفحه گسل و راستای انتشار پاره‌شدگی نشان می‌دهد. این شکل اثر راستاپذیری در گسل راستالغز با استفاده از مؤلفه‌های عمود بر امتداد گسل مربوط به سرعت زمین را از دو رکورد نزدیک گسل با بزرگای ۷/۳ زلزله سال ۱۹۹۲ لندرس نمایش می‌دهد. رکورد لوسرن که در فاصله ۱/۱ کیلومتری از صفحه گسل و ۴۵ کیلومتری از کانون سطحی قرار گرفته، شامل پالس بزرگ با زمان حرکت کوتاه و دامنه بزرگ (به علت راستاپذیری پیش‌رونده) می‌باشد. اثرات راستاپذیری پیش‌رونده به صورت یک پالس دو طرفه شدید با زمان تناوب بالا در ابتدا رکورد مشاهده می‌گردد، در حالی که رکورد جوشا تیری، که در نزدیکی کانون سطحی قرار



شکل ۲- نحوه تاثیر هندسه گسل و زاویه لغزش بر مقدار و محل راستاپذیری. ردیف بالا دو مورد برای یک گسل قائم و ردیف پایین دو مورد برای یک گسل شیب‌لغز فشاری را نمایش می‌دهد. تصاویر سمت چپ مربوط به پاره‌شدگی یک سوپه (کانون عمقی سطحی) و تصاویر سمت راست مربوط به پاره‌شدگی دو سوپه (کانون عمقی عمیق) [۲۴]



شکل ۳- رکوردهای ثبت شده حرکت زمین در ایستگاه JSH و LUC مؤلفه تاریخچه زمانی سرعت و تغییرمکان عمود بر امتداد گسل [۲۵]

گسل دور می‌شویم، کاهش پیدا می‌کنند [۲۶]. این تغییرمکان استاتیکی زمین برای مثال در راستای موازی با گسل در امتداد لغزش مشاهده شده است و به صورت گام در تاریخچه زمانی تغییرمکان و پالس در تاریخچه زمانی سرعت ظاهر می‌شود. در گسل‌های راستالغز، گام پرتابی در راستای موازی با امتداد گسل دیده می‌شود و برای گسل‌های شیب‌لغز، در راستای عمود بر امتداد گسل ظاهر می‌شود [۲۷ و ۲۸].

مشاهدات نشان می‌دهد که پالس گام پرتابی معمولاً دوره تناوب کوتاه‌تر نسبت به پالس راستاپذیری دارد، اما در مدت زمان یکسان رخ می‌دهند. اثرات حرکت پرتابی حرکات زمین، بر عملکرد ساختمان‌ها در مقایسه با اثرات راستاپذیری پیش‌رونده کم‌تر مورد بررسی و توجه قرار گرفته است. زلزله‌های اخیر در تایوان و ترکیه، نقش تغییرشکل‌های ماندگار زمین به علت گسیختگی سطحی بر عملکرد ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی که گسل فعال را قطع می‌کنند و یا نزدیک به آن هستند، را پر رنگ کرد. اثرات گام پرتابی زمانی قابل توجه است که تغییرشکل‌های تکنوتیکی بیش از حدی به علت لغزش بزرگ روی صفحه گسل رخ دهد.

شکل ۵ رکوردهای ثبت شده مؤلفه‌های موازی با گسل تغییرمکان و سرعت طی زلزله از میت ترکیه در سال ۱۹۹۹ در ایستگاههای SKR و YPT را نمایش می‌دهد. با توجه

## ۲-۱-۳- راستاپذیری خنثی<sup>۱</sup>

اگر فاصله ساختمان از منشا زلزله زیاد باشد و ساختگاه خارج از محدوده راستاپذیری پاره‌شدگی باشد، در این حالت زلزله‌های دور از گسل یا محدوده راستاپذیری خنثی را خواهیم داشت. به عبارت دیگر زمانی که سایت عمود بر پاره‌شدگی گسل باشد، راستاپذیری خنثی رخ می‌دهد. به توجه به شکل ۴ زمانی که سایت خارج از دو سمت سطح پاره‌شدگی گسل واقع شده باشد و انتشار پاره‌شدگی نه به طور غالب به سمت سایت و نه از آن دور باشد، این اثر نمایان می‌شود.

## ۲-۲- اثر پرتابی<sup>۲</sup>

گام پرتابی اثر دیگری است که منجر به یک پالس در تاریخچه زمانی سرعت می‌شود، با این تفاوت که پالس راستاپذیری دو طرفه است ولی پالس گام پرتابی یک طرفه می‌باشد. زمانی که زلزله در امتداد گسل اتفاق می‌افتد، دو طرف پاره‌شدگی گسل نسبت به یکدیگر حرکت کرده و در نتیجه تغییرشکل‌های ماندگار در سطح زمین ایجاد می‌شود. این اثر به گام پرتابی معروف است. چنانچه گسل پاره‌گی سطحی داشته باشد، تغییرمکانهای ناپیوسته‌های در سراسر گسل ایجاد می‌شود و نهایتاً تغییرمکانهای تفاضلی بزرگی در گسل بوجود می‌آورد. این تغییرشکل‌ها در فاصله کمی دور از گسل حداکثر هستند و به تدریج وقتی از طرفین

<sup>2</sup> Fling Effect

<sup>1</sup> Neutral Directivity

این رکوردها، از رکوردهای نزدیک گسل واعظ و همکاران گرفته شده است. تمام این رکوردها از حرکات راستا پذیری پیش‌رونده می‌باشند.

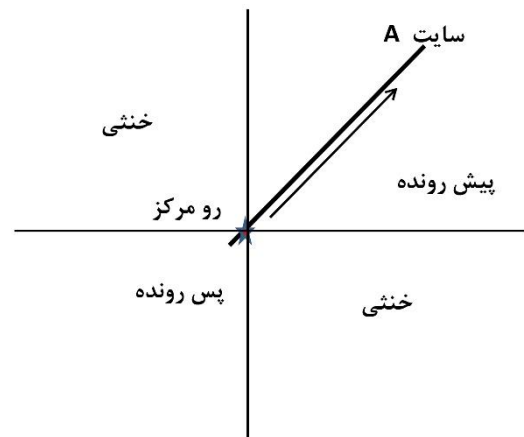
### ۳-۱- رکوردهای واقعی مورد مطالعه

این زلزله‌ها دارای مقادیر بزرگای گشتاوری ( $M_w$ ) بین ۵/۷ تا ۷/۴ می‌باشند. نزدیک‌ترین فاصله تا گسل ۰/۳ کیلومتر می‌باشد. جزئیات بیش‌تر درباره موقعیت، بزرگا، مقادیر حداکثر شتاب زمین و حداکثر سرعت زمین و حداکثر تغییر مکان زمین در جدول ۱ نشان داده شده است. این رکوردها متأثر از راستا پذیری پیش‌رونده می‌باشند.

### ۳-۲- پالس‌های مورد مطالعه

تمام رکوردهای واقعی حرکات نزدیک گسل در این مطالعه توسط مدل پیشنهادی واعظ و همکاران به صورت پالس معادل معرفی شده‌اند [۲۹]. چون هدف اصلی این مطالعه ارزیابی دقت پالس معادل در پیش‌بینی پاسخ غیرالاستیک سیستم‌های چند درجه آزادی و مقایسه با رکوردهای واقعی می‌باشد، همه سازه‌ها یکبار تحت رکوردهای واقعی و سپس تحت پالس معادل آنالیز می‌گردند.

به شکل می‌توان دید که در رکوردهای تغییر مکان یک تغییر مکان پله‌ای و در رکوردهای سرعت یک پالس یک طرفه وجود دارد.

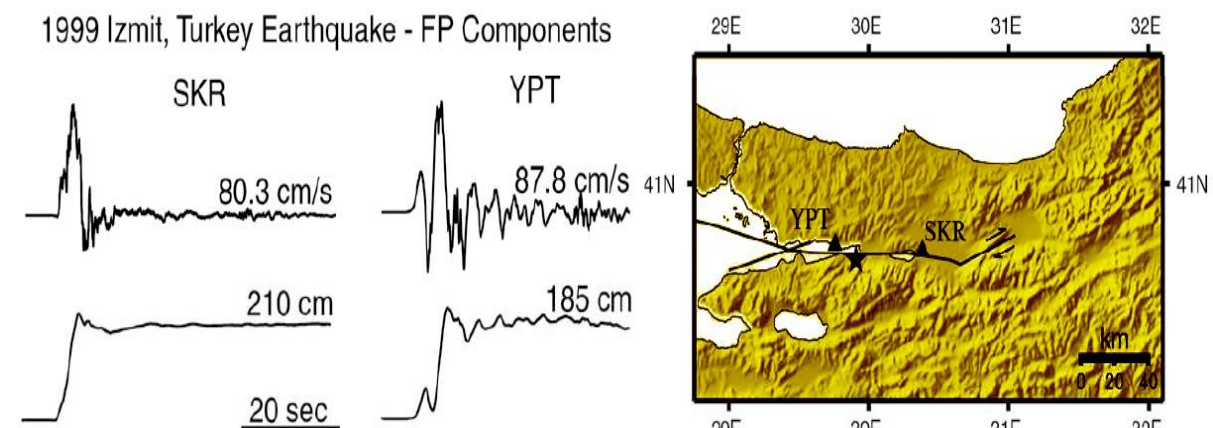


شکل ۴- تقسیم‌بندی نواحی راستا پذیری

از اثرات مهم دیگر حرکات نزدیک گسل که می‌توانند بر پالس سرعت تاثیر گذار باشد، می‌توان اثر فرا دیواره‌ای<sup>۱</sup>، اثر موج SP<sup>۲</sup>، اثر گسل سطحی یا در عمق<sup>۳</sup> و اثر نوع گسیختگی<sup>۴</sup> را نیز نام برد.

### ۳- حرکات نزدیک گسل مورد مطالعه

۱۱ رکورد ثبت شده در مناطق نزدیک گسل در طی زلزله‌های مختلف جهان در این مطالعه استفاده شده است.



شکل ۵- رکوردهای ثبت شده مؤلفه‌های موازی با گسل تغییر مکان و سرعت طی زلزله Izmit ترکیه در سال ۱۹۹۹ در ایستگاه‌های SKR و YPT [۲۱]

<sup>۳</sup> Surface vs. buried faulting

<sup>۴</sup> Type of rupture: Shear dislocation vs. crack

<sup>۱</sup> Hanging Wall Effect

<sup>۲</sup> Surface or Interface P-wave

## ۴- مدل ریاضی پالس معادل

بر ارائه ترکیبی مناسب و همگون از توابع متناظر ریاضیاتی ضروری می‌باشد.

در سال ۲۰۱۳، واعظ و همکاران برای تولید بخشی از رکورد که دارای زمان تناوب بالا می‌باشد (پالس)، یک مدل ریاضی پیشنهاد داده‌اند که در عین سادگی می‌تواند این بخش از رکورد واقعی نزدیک گسل را با دقت مناسبی مدل‌سازی نماید. در مدل پیشنهاد شده تابع پوش نرمال موجک گابریل [۳۰]، با یک تابع درجه ۲ جای‌گزین شده است. جای‌گزینی تابع پوش برای مدل کردن پالس سرعت حرکات نزدیک گسل و رسیدن به مولفه‌های دیگر (شتاب و سرعت)، از آن جهت انجام گرفته است که وجود تابع توانی در موجک گابریل (پوش نرمال) باعث می‌شود جواب انتگرال دارای فرم بسته‌ای نباشد. تابع پوش چند جمله‌ای درجه دوم به نحوی با تابع پوش نرمال موجک گابریل تطابق داده شده است که این دو پوش تا حدود ۹۰ درصد بر هم منطبق می‌شوند. مدل پیشنهاد شده به وسیله دامنه، فرکانس، تعداد سیکل‌ها و فاز پالس پارامتر بندی شده است. پالس‌های سرعت نزدیک گسل این مدل با استفاده از رابطه (۱) بیان می‌شود.

در رابطه (۱)،  $A$  کنترل کننده دامنه پالس،  $f_p$  فرکانس،  $v$  اختلاف فاز،  $\gamma$  معرف خصوصیت نوسانی (تعداد سیکل‌ها) و  $t_0$  بیانگر مرکز پنجره زمانی یا همان زمان متناظر با نقطه حداکثر پوش می‌باشد.

با توجه به رابطه (۱) دیگر مولفه حرکتی زمین، یعنی شتاب (رابطه (۲)) بدست می‌آید.

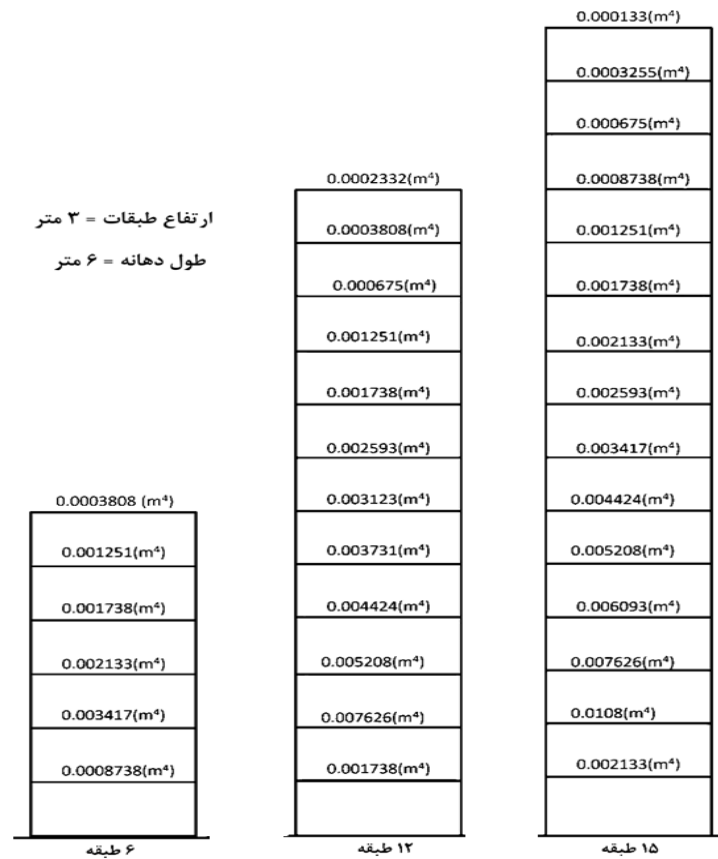
حرکات نزدیک گسل مصنوعی معمولا از طریق ترکیب یک پالس سرعت وابسته با زمان تناوب بالا و موج لرزه‌ای مستقل فرکانس بالا شبیه‌سازی می‌شوند. از این رو مدل‌سازی پالس غالب رکوردهای واقعی نزدیک گسل از این لحاظ که در ترکیب با این مولفه مستقل می‌تواند بیانگر رکورد واقعی باشد، از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از مهندسیین و محققین اشکال موجی ساده شده مختلفی را برای بیان پالس‌های حرکت زمین که در مناطق حوزه نزدیک مشاهده شده بود، استفاده کرده‌اند. بیش‌تر مدل‌های استفاده شده براساس پارامترهایی هستند که به روش‌های مختلف کالیبره شده‌اند و وابسته به خود مدل می‌باشند. مدل، بهتر است ساده و مطمئن باشد و پارامترهای آن به صورتی باشد که مفهوم فیزیکی واضحی داشته باشد؛ به‌نحوی که بتوان آن را مستقیما به زلزله مرتبط کرد. برخی از شکل‌های موج سرعت، برای مثال، مربع، مثلث یا پالس‌های سینوسی می‌تواند منجر به تخمین غیرواقع‌گرایانه از پاسخ دینامیکی سازه‌های مهندسی شود؛ مخصوصا اگر آن‌ها قادر نباشند تاریخچه زمانی و ویژگی‌های طیف پاسخ رکورد واقعی نزدیک گسل را نمایش دهند. همچنین این‌گونه مدل‌ها بهتر است در عین سادگی قابلیت مدل‌سازی تمام انواع پالس‌ها را نیز داشته باشد. با توجه به نقاط ضعف مدل‌های موجود در زمینه تولید و شبیه‌سازی حرکات نزدیک گسل، ارائه روش‌های ریاضیاتی نوین با تکیه

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{for } (t_0 - \frac{\gamma}{4f_p}) \leq t \leq (t_0 + \frac{\gamma}{4f_p}), v(t) = -A \times \left( \frac{4f_p}{\gamma} \right)^4 \times \left( (t - t_0)^2 - \left( \frac{\gamma}{4f_p} \right)^2 \right)^2 \times \cos(2\pi f_p t + v) \\ \quad , \gamma \geq 1 \\ \text{Otherwise, } v(t) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$a(t) = \frac{\partial}{\partial t}(v(t))$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{for } (t_0 - \frac{\gamma}{4f_p}) \leq t \leq (t_0 + \frac{\gamma}{4f_p}), a(t) = -A \left( \frac{4f_p}{\gamma} \right)^4 \left( -2\pi f_p \left( (t - t_0)^2 - \left( \frac{\gamma}{4f_p} \right)^2 \right) \sin(2\pi f_p t + \nu) - 4(t_0 - t) \cos(2\pi f_p t + \nu) \right) \\ \text{Otherwise, } a(t) = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$



شکل ۶- هندسه قاب‌های مورد مطالعه

تعداد طبقات مختلف شامل ۶، ۱۲ و ۱۵ می‌باشند. ارتفاع هر طبقه ۳ متر و طول دهانه هر قاب ۶ متر می‌باشد (شکل ۶). در تمام قاب‌ها جرمی معادل با ۸۹ تن به هر طبقه اختصاص داده شده است. این جرم به صورت جرم متمرکز در هر طبقه فرض می‌شود. در هر طبقه ممان اینرسی تیر آن طبقه با ممان اینرسی ستون‌های آن طبقه یکسان می‌باشد، این ممان اینرسی‌ها روی هر قاب مشخص شده است. با این فرض مقادیر نسبی سختی‌های تیرها و ستون‌ها به نحوی اختصاص داده شده، تا وقتی سازه در معرض بارهای جانبی قرار می‌گیرد تغییر مکان نسبی ثابتی در

روابط ارائه شده برای مولفه سرعت، شتاب در مقابل روابط ارائه شده توسط ماوروثیدیس و پاپاگرگیو [۸] دارای فرم ساده‌تری می‌باشند. همچنین مدل ارائه شده توسط Tian و همکارانش در سال ۲۰۰۷ دارای فرم بسته‌ای نمی‌باشد و [۱۳]، در حالی که مدل پیشنهادی این مزیت را دارد که با فرم بسته ریاضیاتی سایر مولفه‌های حرکتی را نیز مدل‌سازی نماید.

##### ۵- مدل‌های سازه‌ای

برای ارزیابی پالس‌های معادل حرکات نزدیک گسل قاب‌های مقاوم خمشی بتنی یک دهانه با ارتفاع‌های مختلف انتخاب شده‌اند. قاب‌ها مورد استفاده دارای یک دهانه و

به صورت نیروی جانبی معادل در هر طبقه توزیع می‌شود. توزیع این نیروهای جانبی در طبقات مختلف مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. قاب‌های مورد استفاده براساس ستون ضعیف تیر قوی مدل شده‌اند. به عبارت دیگر تیرها و ستون‌ها طوری مدل شده‌اند که تغییر شکل‌های غیرالاستیک فقط در انتهای تیرها رخ دهد و ستون‌ها در حالت الاستیک باقی بمانند. خواص غیرالاستیکی در قاب‌ها با استفاده از لولاهای پلاستیک مدل‌سازی شده است. دو انتهای تیرهای همه طبقات دارای این مفاصل پلاستیک هستند. میرایی در سازه توسط ماتریس میرایی رابلی تعریف می‌شود. در این روش فرض می‌شود که ماتریس میرایی به صورت ترکیب خطی از ماتریس‌های جرم و سختی است.

امتداد ارتفاع ساختمان ایجاد شود. بارهای جانبی مطابق ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد.

ممان اینرسی تیرها در طبقات مختلف هر یک از قاب‌ها را با توجه به نکات زیر نشان می‌دهد.

- تحت بارهای جانبی، تغییر مکان نسبی یکسانی در هر طبقه ایجاد شود.

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

- دوره تناوب اصلی سازه باید با رابطه زیر یکسان باشد.

$$T_1 = 0.07H^{3/4}$$

هر یک از قاب‌های ۶، ۱۲ و ۱۵ طبقه برای سه مقدار شکل‌پذیری ۱، ۲ و ۴ مدل‌سازی شده‌اند. بعد از تعیین مقاومت تسلیم برش پایه، نیروی برش پایه در ارتفاع سازه

جدول ۱- مشخصات حرکات نزدیک گسل

شماره	رویداد	سال	ایستگاه	بزرگا (M <sub>w</sub> )	نزدیک‌ترین فاصله (km)*	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)
۱	San Fernando	۱۹۷۱	Pacoima Dam (upper left abut)	۶/۶	۱/۸	۱/۴۳	۱۱۶/۵	۳۰/۹۷
۲	Coyote Lake	۱۹۷۹	Gilroy Array #6	۵/۷	۳/۱	۰/۴۵	۵۱/۵	۷/۱
۳	Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Aeropuerto Mexicali	۶/۵	۰/۳	۰/۳۶	۴۴/۳	۱۰/۴
۴	Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Agrarias	۶/۵	۰/۷	۰/۳۱	۵۴/۴	۱۴/۸
۵	N. Palm Springs	۱۹۸۶	North Palm Springs	۶/۱	۴	۰/۶۷	۷۳/۶	۱۱/۸۷
۶	Northridge-01	۱۹۹۴	LA Dam	۶/۷	۵/۹	۰/۵۷	۷۷/۱	۲۰/۱
۷	Northridge-01	۱۹۹۴	Rinaldi Receiving Sta	۶/۷	۶/۵	۰/۸۷	۱۶۷/۲	۲۸/۸
۸	Superstition Hills-02	۱۹۸۷	Parachute Test Site	۶/۵	۱	۰/۴۲	۱۰۶/۸	۵۰/۵
۹	Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU076	۶/۲	۱۴/۷	۰/۵۲	۵۹/۴	۹/۶
۱۰	Bam	۲۰۰۳	Bam	۶/۶	۱	۰/۷۸	۱۰۹/۵	۳۲/۵
۱۱	Tab	۱۹۷۸	Tab	۷/۴	۲/۰۵	۰/۸۵	۱۲۱/۴	۹۵

مفاصل پلاستیک جاری می‌شوند، وقتی سازه در معرض پالسی که دوره تناوب بالاتری از دوره تناوب اصلی سازه دارد قرار گیرد، به حالت الاستیک باقی می‌ماند. در چنین مواردی سازه‌ها مقاومت بیش از اندازه‌ای دارند، بنابراین وقتی در معرض این پالس‌ها باشند، تسلیم نمی‌شوند. از طرفی وقتی سازه در معرض رکورد واقعی که محتوای فرکانسی بالای دارد قرار گیرد، انتظار می‌رود که سازه جاری شود. بنابراین مقادیر حداکثر دوران انتهایی تیر پیش‌بینی شده توسط رکورد واقعی برای سطوح بالاتر شکل‌پذیری کاهش می‌یابد، چون توسط مقاومت سازه‌ها محدود شده‌اند. با توجه به شکل‌ها پالس توانایی بالایی در پیش‌بینی دوران انتهایی تیرها دارد. پاسخ پالس با نادیده گرفتن دوره تناوب نرمالیزه شده خیلی پایین (زلزله طبس) با پاسخ رکورد واقعی قابل مقایسه است. البته با افزایش تعداد طبقات و شکل‌پذیری پیش‌بینی پاسخ پالس حتی برای این رکورد نیز دقیق می‌شود. دلیل امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که توانایی پالس معادل در پیش‌بینی پاسخ با افزایش دوره تناوب اصلی سازه ( $T_1$ ) افزایش می‌یابد. با توجه به شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ که در آن‌ها دوره تناوب نرمالیزه شده پایین در نظر گرفته نشده است، دقت پالس‌ها در پیش‌بینی پاسخ بهتر مشاهده می‌شود. در این شکل‌ها محور قائم نسبت حداکثر انتهایی تیرها تحت رکورد واقعی به پالس معادل است. محور افقی دوره تناوب نرمالیزه شده برای تمام سازه‌ها و تمام رکوردها می‌باشد. خط پرننگ مقادیر میانه نسبت‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر میانه برای رکوردهای موجود میزان خطاها برای سه سطح شکل‌پذیری ۱، ۲ و ۴ به ترتیب ۴/۳، ۲ درصد و ۰/۳ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که پالس تا حد بالایی قادر به پیش‌بینی پاسخ سازه می‌باشد.

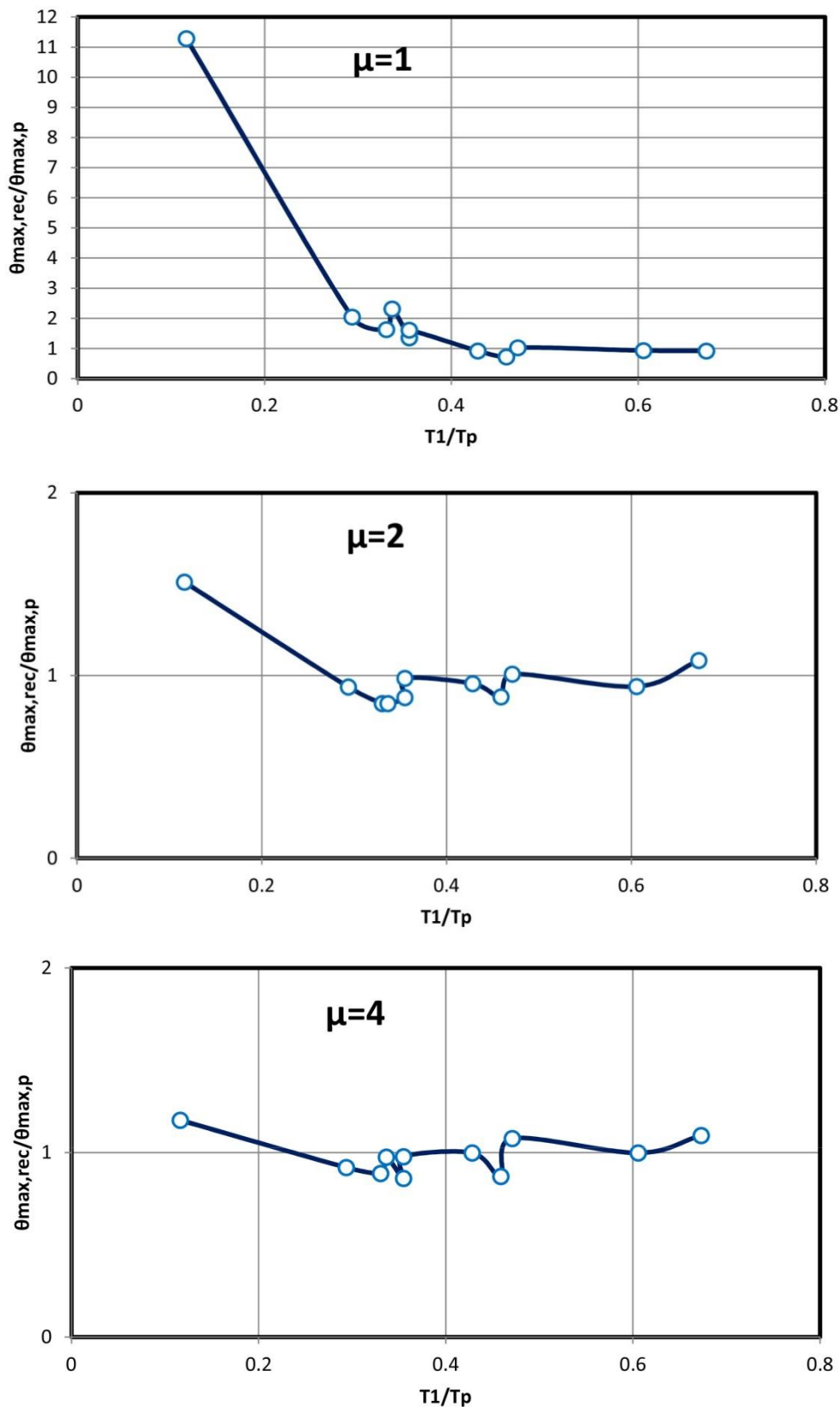
## ۶- ارزیابی پالس‌های معادل در پیش‌بینی پاسخ سازه

در این بخش به ارزیابی پالس‌های معادل (رابطه ۱)، در پیش‌بینی پاسخ سازه و مقایسه آن با پاسخ رکورد واقعی می‌پردازیم. آنالیز تاریخیچه زمانی بر روی همه قاب‌های مورد مطالعه، برای هر یک از رکوردهای واقعی نزدیک گسل جدول ۱ و پالس‌های متناظر با این رکوردها صورت گرفته است. مدل‌سازی و انجام آنالیز با برنامه (SAP2000) انجام شده است. برای انجام دادن آنالیز تاریخیچه زمانی از روش شتاب متوسط نیومارک ( $\beta=1.4, \gamma=1.2$ )، با گام زمانی متناسب با رکورد استفاده شده است.

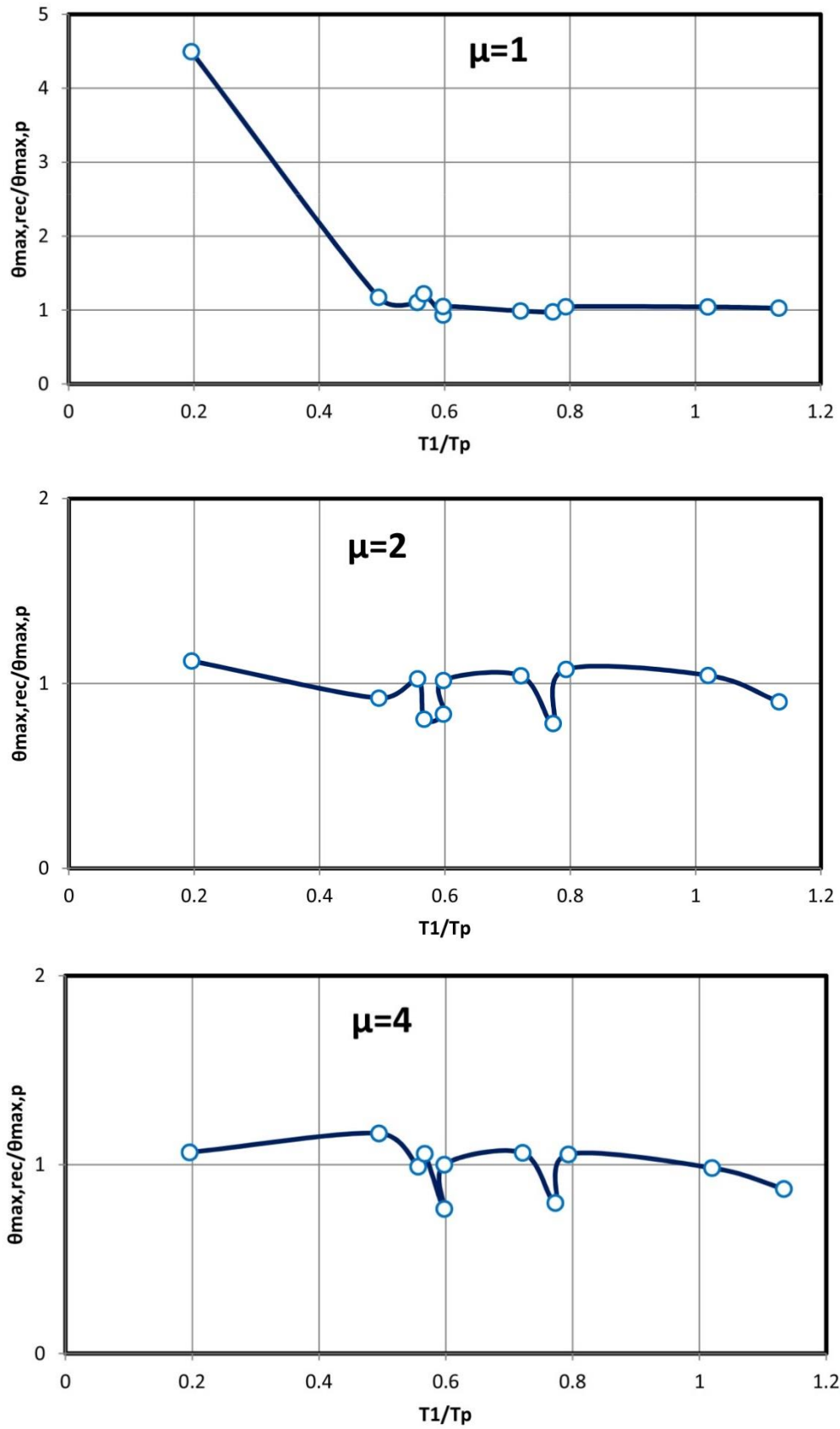
### ۶-۱- ارزیابی پالس در پیش‌بینی حداکثر دوران

#### انتهایی تیرها در قاب‌ها

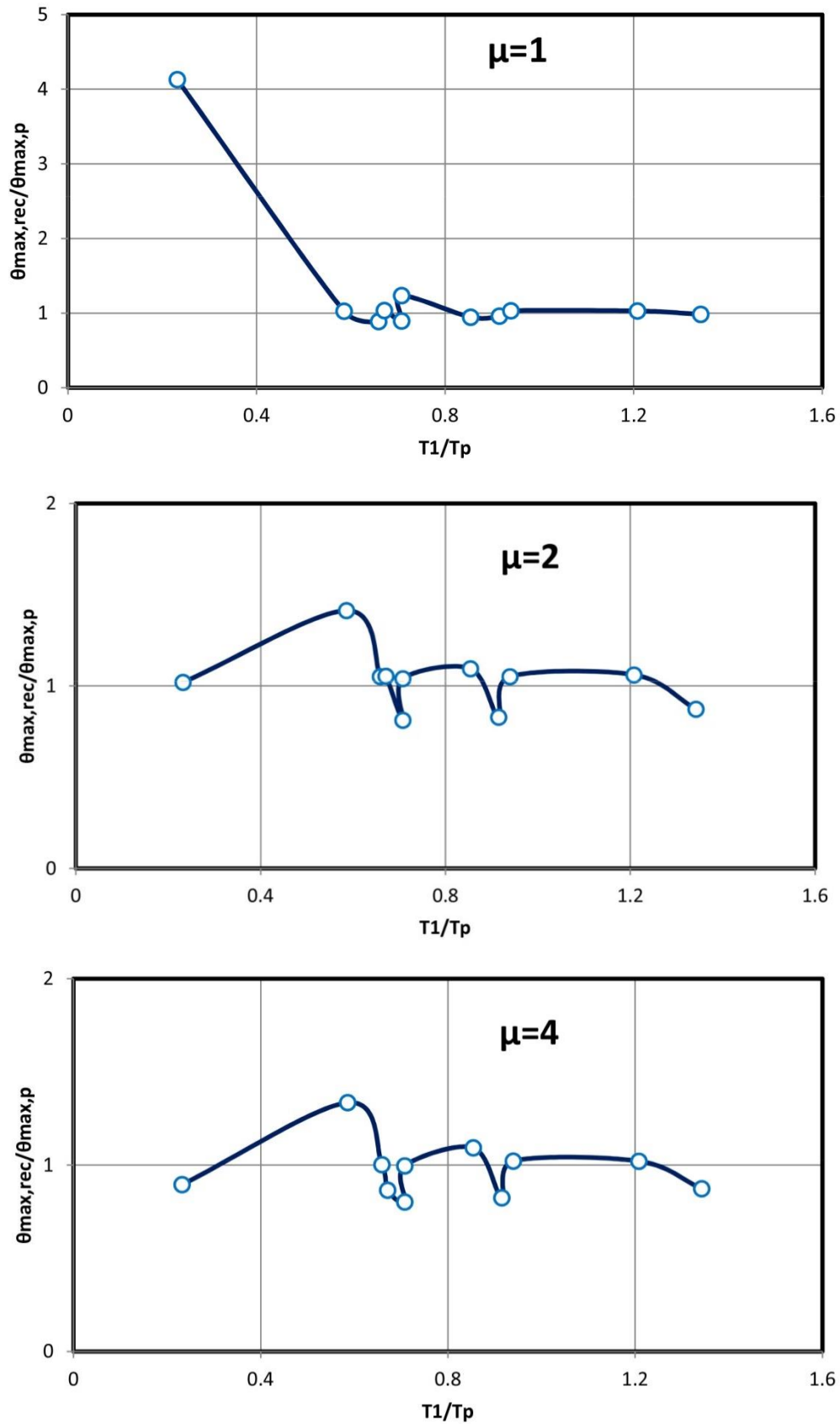
در این قسمت توانایی پالس را در پیش‌بینی حداکثر دوران انتهایی تیرها با رکوردهای واقعی متناظر ارزیابی می‌کنیم. دوران ناشی از رکورد واقعی به صورت ( $\theta_{max,rec}$ ) و دوران حاصل از پالس معادل به صورت ( $\theta_{max,p}$ ) نشان داده می‌شود. شکل‌های ۷ تا ۹ مقایسه بین پاسخ‌های پالس معادل به رکوردهای واقعی را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها محور قائم ( $\theta_{m,rec}/\theta_{m,p}$ ) و محور افقی دوره تناوب نرمالیزه شده می‌باشد. با بررسی این شکل‌ها متوجه می‌شویم وقتی دوره تناوب پالس به دوره تناوب اصلی سازه نزدیک یا از آن کم‌تر باشد، پیش‌بینی پالس‌های معادل بهتر است. به‌طور کلی برای دوره تناوب‌های نرمالیزه شده خیلی کم پیش‌بینی پاسخ دقیق نیست و پالس تقاضای برش پایه کمتری را تخمین می‌زند. دلیل این امر این است که پالس بخش محتوای فرکانسی بالای حرکات زمین که یک پدیده اتفاقی در طبیعت می‌باشد، را نمی‌تواند معرفی کند. برای هر سازه با افزایش سطوح شکل‌پذیری، تفاوت در پیش‌بینی پاسخ توسط رکورد واقعی و پالس معادل کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که سازه‌ها برای سه سطح شکل‌پذیری ۱، ۲ و ۴ مدل شده‌اند و برای دو سطح ۲ و ۴ تحت عملکرد نیروهای استاتیکی (متناظر با دوره تناوب نرمالیزه شده یک)



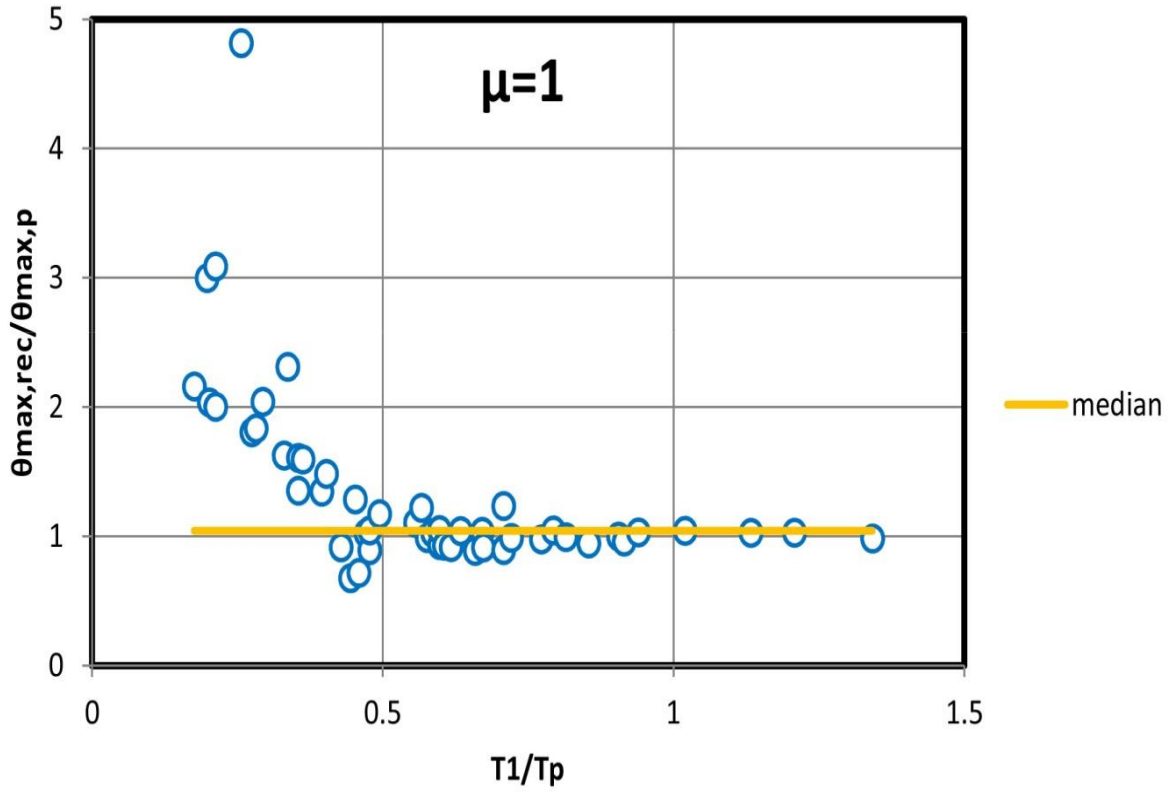
شکل ۷- نسبت دوران انتهایی تیرها تحت رکورد واقعی به پالس معادل متناظر برای قاب ۶ طبقه



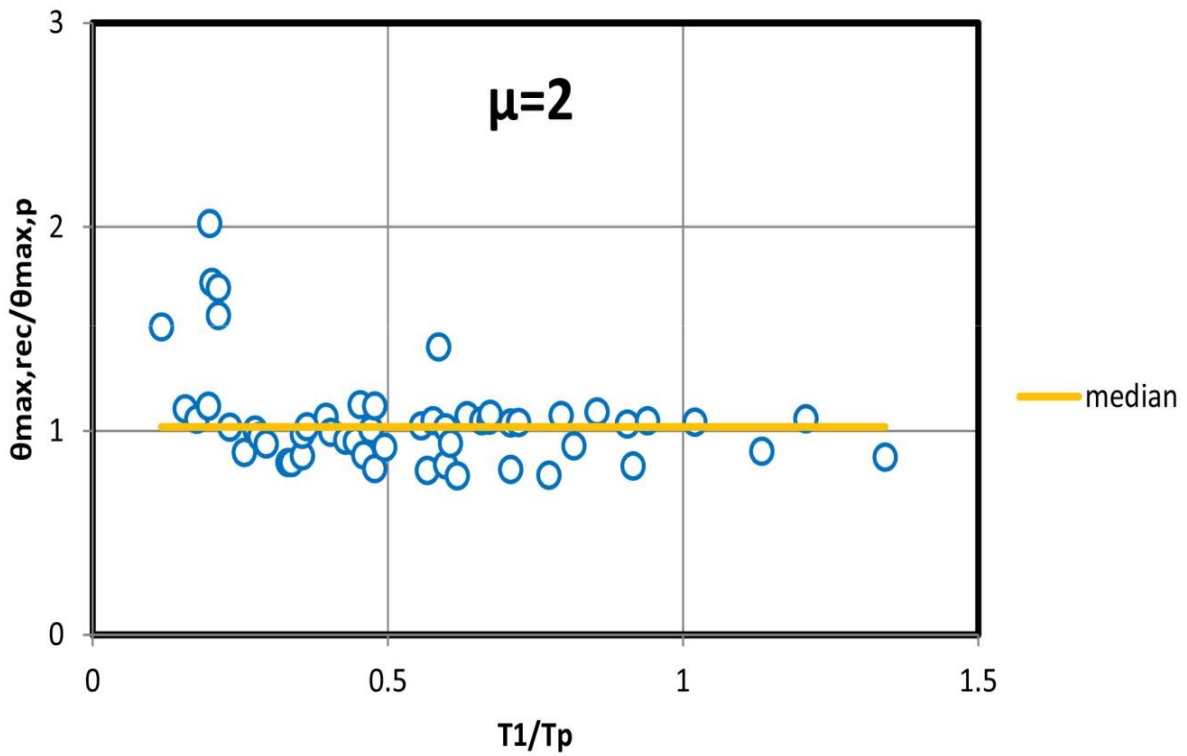
شکل ۸- نسبت دوران انتهای تیرها تحت رکورد واقعی به پالس معادل متناظر برای قاب ۱۲ طبقه



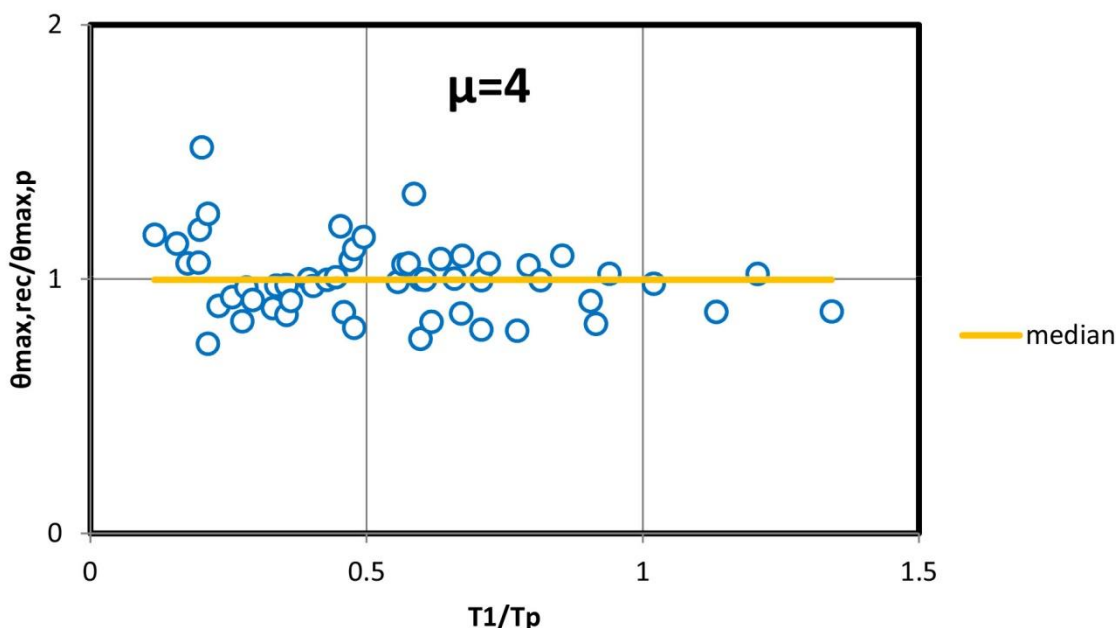
شکل ۹- نسبت دوران انتهایی تیرها تحت رکورد واقعی به پالس معادل متناظر برای قاب ۱۵ طبقه



شکل ۱۰- نسبت دوران انتهایی تیرها رکورد واقعی به پالس معادل (median = 1.043)



شکل ۱۱- نسبت حداکثر دوران انتهایی تیرها رکورد واقعی به پالس معادل (median = 1.02)



شکل ۱۲- نسبت حداکثر دوران انتهایی تیرها رکورد واقعی به پالس معادل (median = 0.997)

#### ۷- نتیجه گیری

رکوردهای موجود میزان خطاها برای دو سطح شکل‌پذیری ۱، ۲ و ۴ به ترتیب ۳/۴، ۲ درصد و ۳/۰ درصد می‌باشد. با توجه به این نکات و نتایج بدست آمده در این تحقیق رابطه پیشنهادی در پیش‌بینی پاسخ قاب‌های خمشی بتن‌آرمه در معرض حرکات نزدیک گسل با اثرات راستاپذیری پیش‌رونده موفق بوده است. بنابراین پالس معادل را می‌توان جایگزین رکورد واقعی کرد و با توجه به این‌که در بعضی مناطق هیچ‌گونه رکورد واقعی وجود ندارد، از رابطه پیشنهادی استفاده و سازه‌های موجود را ارزیابی و طراحی کرد.

- کمبود تاریخچه زمانی‌های واقعی حرکات پالس‌گونه و تقاضای آنالیز سازه‌ای، لزوم گسترش شیوه‌ای کارا جهت تولید و شبیه‌سازی حرکات پالس‌گونه نزدیک گسل را برای مهندسين طراح ايجاد می‌نماید. با توجه به این‌که پارامترهای رابطه پیشنهادی دارای مفهوم فیزیکی واضحی می‌باشند؛ می‌توان آن را مستقیماً به یک زلزله مرتبط نمود و با استفاده از تاریخچه زمانی پالس تولید شده به مطالعه پاسخ سازه‌ها به حرکات پالس‌گونه نزدیک گسل پرداخت. از طرفی بازبینی طراحی و ارزیابی عملکرد سازه‌ها اغلب نیازمند آنالیز دینامیکی غیرخطی می‌باشد. بنابراین یکی از موارد اصلی کاربرد رابطه پیشنهادی استفاده از این روابط در تولید تاریخچه زمانی‌های حرکات پالس‌گونه در آنالیز سازه‌ای و مطالعه پاسخ سازه‌ها به حرکات پالس‌گونه نزدیک گسل می‌باشد.
- پالس معادل حداکثر دوران انتهایی تیرها را در مقایسه با رکورد واقعی به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند. این پیش‌بینی با افزایش تعداد طبقات و نزدیک شده دوره‌تناوب پالس به دوره‌تناوب اصلی سازه و افزایش شکل‌پذیری پیش‌بینی پاسخ سازه دقیق‌تر می‌شود. با توجه به مقادیر میانه برای



## ۸- مراجع

- [1] Benioff H (1955), "Mechanism and Strain Characteristics of the White Wolf Fault as Indicated by the Aftershock Sequence, Earthquakes in Kern County, California, During 1955 (G.B. Oakeshott, ed.)", California Division of Mines Bulletin, 171: 199-202.
- [2] Liao WI, Loh CH and Wan S (2001), "Earthquake Responses of RC Moment Frames Subjected to Near-fault Ground Motions", Struct. Design Tall Buildings, Vol.10: 219-229.
- [3] El Sheikh A (2003), "Response of structures to near-fault ground motion", Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology 12-14 May 2003 Tehran, Islamic Republic of Iran.
- [4] Haeri, A., Fadaee, M.J. (2011). "Near-source ground motions effect on seismic reliability of reinforced concrete framed buildings". 6th National Congress on Civil Engineering, April 26-27, Semnan, Iran.
- [5] Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W., Wald, D.J., (1995) "Near source ground motion and its effects on flexible buildings", Earthquake Spect., Vol.11, pp. 569-606.
- [6] Iwan, W.D., (1997) "Drift spectrum: measure of demand for earthquake ground motions", J. Struct. Eng. ASCE 123, pp. 397-404.
- [7] Makris, N., (1997) "Rigidity-plasticity-viscosity: can electrorheological dampers protect base-isolated structures from near-source ground motions?", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 26, pp. 571-591.
- [8] Anderson, J.C., Bertero, V.V., Bertero, R.D., (1999) "Performance improvement of long period building structures subjected to severe pulse-type ground motions", PEER Report 1999/09, Berkeley, California.
- [9] Malhotra, P.K., (1999) "Response of buildings to near-field pulse-like ground motions", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 28, pp. 1309-1326.
- [10] Alavi, P., Krawinkler, H., (2001) "Effects of near-fault ground motion on building structures", CUREE-Kajima Joint Research Program Report, Richmond, California.
- [11] Alavi, B., & Krawinkler, H., (2004) "Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions", Earthquake Engng Struct. Dyn., Vol. 33, pp. 687-706.
- [12] Mavroeidis, G.P., Papageorgiou, A.S., (2003) "A mathematical representation of near-fault ground motions", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 3, pp. 1099-1131.
- [13] Tian, Y.j., Yang, Q.sh., Lu, M.q., (2007) "Simulation method of near-fault pulse-type ground motion", Acta Seismologica Sinica, Vol. 20, No. 1, pp. 80-87.
- [14] Yang, D., & Zhou, J. (2015) "A stochastic model and synthesis for near-fault impulsive ground motions", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 44, No. 2, 243-264.
- [15] Fu, Q., Menun, Ch., (2004) "Seismic environment based simulation of near fault ground motion", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- [16] Li, X.L., and Zhu, X., (2004) "Study on equivalent velocity pulse of near fault ground motions", Acta Seismologica Sinica, Vol. 17, pp. 697-706.
- [17] Makris, N., Black, C.J., (2004) "Evaluation of peak ground velocity as a "Good" intensity measure for near-source ground motions", J. Eng. Mech., Vol. 130, No. 9, pp. 1032-1045.
- [18] Xie, L., Xu, L., Rodriguez-Marek, A., (2005) "Representation of near-fault pulse-type ground motions", Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 4, No. 2, pp. 191-199.
- [19] Baker, J., (2007) "Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 5, pp. 1486-1501.
- [20] Baker, J., (2008) "Identification of near-fault velocity pulses and prediction of resulting response spectra", Proceedings, Geotechnical Earthquake Engineering and Structural Dynamics IV, Sacramento, CA.
- [21] Yaghmaei-Sabegh, S., (2010) "Detection of pulse-like ground motions based on continuous wavelet transform", Journal of Seismology, Vol. 14, No. 4, pp. 715-726.
- [22] Papageorgiou, A. S., (1998) "The character of near-source ground motions and related seismic design issues", Proc. of the Structural Engineers World Congress, San Francisco, California.

- [23] Abrahamson N., (1998), "Seismological Aspects of Near-Fault Ground Motions," 5th Caltrans Seismic Research Workshop, Sacramento, California.
- [24] Somerville, P.G., (1997) "Engineering characteristics of near fault ground motions", SMIP97 Seminar Proceedings, Seminar on Utilization of Strong Ground Motion Data, Pasadena, CA, pp. 9-28.
- [25] Aagaard BT, Hall JF, , Heaton TH., (2004), "Effects of Fault Dip and Slip Rake Angles on Near-source Ground Motions: Why Rupture Directivity was Minimal in the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 1, pp.155-170.
- [26] Papageorgiou AS (2009), "Near-Fault Ground Motions: Outstanding Problems," Presentation, University of Patras.
- [27] Somerville PG (2003), "Magnitude Scaling of the Near Fault Rupture Directivity Pulse", Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol. 137, pp.201-212.
- [28] Mavroeidis GP and Papageorgiou AS (2002), "Near-source Strong Ground Motion: Characteristics and Design Issues," Proceedings of the Seventh U.S. National Conf. on Earthquake Engineering (7NCEE), Boston, Massachusetts.
- [29] Bray JD and Rodriguez-Marek A (2004), "Characterization of Forward-Directivity Ground Motions in the Near-Fault Region," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 24, pp. 815-828.
- [30] Hoseini Vaez S.R, Sharbatdar M.K, Ghodrati Amiri G, Naderpour H and Kheyroddin A, (2013), "Dominant pulse simulation of near fault ground motions", Earthq Eng & Eng Vib ,Vol. 12, pp. 267-278.
- [31] Gabor, D. , (1946) "Theory of communication. I. The analysis of information", IEEE 93, pp. 429-441.