



استخراج پارامترهای مدل چرخه‌ای دیوارهای برشی

مهدی شریفی*، محمدعلی فتحعلی، محمدعلی انصاری پور، احمدرضا محمدامری

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

کلمات کلیدی:

تحلیل غیرخطی

دیوار برشی بتن آرمه

رفتار چرخه‌ای

زوال سختی

زوال مقاومت

خلاصه: در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس عملکرد، درک صحیح و کامل رفتار غیرخطی اعضای سازه‌ای در تغییرشکل‌های غیرارتجاعی ناشی از زلزله مورد نیاز است. عمدتاً در زلزله اعضای سازه‌ای لرزه بر وارد فاز غیرارتجاعی شده و در آنها مفاصل پلاستیک تشکیل می‌شود. جهت برآورد عددی رفتار سازه‌ها، لازم است منحنی بار-تغییرشکل رفتار چرخه‌ای عضو سازه‌ای در دسترس باشد تا بر مبنای آن بتوان پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را تخمین زد. مدل‌های چرخه‌ای عمدتاً توسط پارامترهایی تعریف می‌شوند که بیانگر مقاومت، سختی، شکل‌پذیری، زوال و سایر خصوصیات اجزاء سازه‌ای می‌باشند. پارامترهای رفتار چرخه‌ای را میتوان از روشهای مختلفی استخراج نمود که شامل استخراج نتایج از آزمایش، مدل‌های اجزای محدود و روابط محاسباتی مبتنی بر مکانیک میباشد. هدف این تحقیق استخراج پارامترهای مدل‌سازی دیوارهای برشی بتنی بر اساس نتایج آزمایشگاهی است. در این مطالعه پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی برای ۱۳۵ نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی بلند و ۹۹ نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی کوتاه که تحت آزمایش بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته‌اند، محاسبه شده است. به همین منظور با استفاده از مدل رفتار چرخه‌ای اصلاح شده ایبارا-کراوینکلر در نرم‌افزار OpenSees، نتایج آزمایشگاهی مدل‌سازی و پارامترهای چرخه‌ای آن استخراج شده‌اند. در انتها، پارامترهای چرخه‌ای استخراج شده بصورت آماری جمع‌بندی شده و محدوددهای پیشنهادی برای هر یک از پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی ارائه گردیده است.

۱- مقدمه

تحت اثر زلزله‌های شدید، غالب سازه‌ها تغییرشکل‌های غیرخطی

را در اجزای لرزه بر خود تجربه خواهند کرد. از این رو، تحلیل غیرخطی ابزاری مناسب برای تخمین پاسخ لرزه‌ای سازه‌هایی است که در رفتار آنها بعد از ناحیه خطی، رفتار غیرارتجاعی شامل تغییرشکل‌های پلاستیک، افت مقاومت و افت سختی به وجود می‌آید. رفتار غیرخطی اجزای سازه‌ای در برابر بارهای رفت و برگشتی با استفاده از «منحنی چرخه‌ای» بیان می‌گردد. به منظور ارزیابی مناسب و تخمین صحیح عملکرد سازه‌ها و طراحی سازه‌های جدید نیاز به مدل‌های تحلیلی میباشد که توانایی در نظر گرفتن ویژگی‌های مهم رفتار غیرخطی سازه‌ها یا همان منحنی چرخه‌ای را دارا باشند.

دیوارهای برشی بتن مسلح به عنوان یکی از المان‌های سازه‌ای قابل اعتماد جهت مقابله با بار جانبی در ساختمان‌های فولادی و بتنی استفاده می‌شوند. وظیفه اصلی دیوارهای برشی تأمین مقاومت، سختی و شکل‌پذیری تحت اثر زلزله می‌باشد. دیوارهای برشی بر اساس نسبت ابعاد دیوار به دو دسته دیوارهای کوتاه و دیوارهای بلند تقسیم‌بندی می‌شوند. دیوارهای با نسبت ارتفاع به عرض کمتر از ۱/۵ (و گاهی یک) را دیوار کوتاه و دیوارهای با نسبت بزرگتر از ۱/۵ را دیوار بلند می‌نامند [۱]. معمولاً در دیوارهای کوتاه رفتار برشی و در دیوارهای بلند رفتار خمشی حاکم می‌باشد.

تاکنون مدل‌های چرخه‌ای زیادی توسعه یافته و معرفی شده‌اند.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m.sharifi@qom.ac.ir



مدل‌های الاستوپلاستیک دوخطی به دلیل سادگی جزء اولین مدل‌هایی بودند که مورد استفاده قرار گرفتند. کلاف و جانستون یک مدل دوخطی مناسب که دارای کاهش سختی در زمان بارگذاری مجدد است را ارائه کردند [۲]. این مدل، دوخطی شده از یک مدل سه‌خطی است که توسط هیسادا توسعه داده شده بود [۳]. هیسادا به منظور بیان رفتار چرخه‌ای سازه‌های بتن مسلح این مدل را ارائه داد. معایب مدل کلاف توسط مهین و برترو نشان داده شده است [۴]. ساکوگلو و ابریک مدل ساده‌ی خطی بر اساس کاهش سختی مدل کلاف و جانستون ارائه دادند [۵]. مدل آن‌ها علاوه بر ویژگی‌های مدل کلاف دارای زوال مقاومت نیز می‌باشد. تاکدا و همکاران مدل چرخه‌ای را بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی بر روی رفتار تعدادی از نمونه‌های بتن مسلح تحت بار جانبی رفت و برگشتی همراه با مقادیر متفاوت نیروی محوری از مقدار کم تا متوسط توسعه دادند [۶]. بوچ یک مدل تطبیق‌پذیر برای سیستم یک درجه آزادی را که تحت تحریک اجباری قرار داشت، ارائه داد [۷]. ون قوانین اصلی پسماند بوچ را عمومی کرد و یک روند حل مسأله مناسب آنالیز بر اساس خطی سازی معادل توسعه داد [۸]. بابر و ون مدل چرخه‌ای را جهت دارا بودن زوال سختی و مقاومت توسعه دادند [۹]. این زوال تابعی از زوال انرژی پسماند و اعمال کردن آن به سیستم چند درجه آزادی می‌باشد. همچنین بابر و نوری مدل بوچ را به نحوی که اثر جمع‌شوندگی را نیز شامل باشد، توسعه دادند [۱۰]. مدل نهایی همراه با مدل جمع‌شونده یک درجه آزادی بابر و نوری تحت عنوان مدل بوچ-ون-بابر-نوری (BWBN) شناخته می‌شود [۱۱]. رمبرگ و اسگود مدلی را ارائه کردند که در گذشته به‌طور مکرر مورد استفاده قرار گرفته است و اگر گردشگری حلقه‌های مدل چرخه‌ای یک فرض مهم در نظر گرفته شود، هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. مدل رمبرگ و اسگود یک مدل بدون زوال و هموار می‌باشد. مدل چرخه‌ای هموار بدون زوال دیگری نیز توسط منگوتو و پینتو ارائه شده است [۱۳]. کاناس و همکاران یک مدل جدید زوال را بر اساس مفهوم توزیع پلاستیسیته پیشنهاد کردند [۱۴]. از ویژگی‌های این مدل سادگی و تطبیق‌پذیر بودن آن است. مدل ارائه شده توسط بوچ و همچنین مدل اصلاح شده توسط پژوهشگران دیگر (ون-بابر-نوری) بار دیگر توسط سیوسلون و رینهنون اصلاح شد [۱۵]. این مدل چرخه‌ای، دارای زوال مقاومت و سختی و همچنین

اثر جمع‌شوندگی (لاغرشدگی) برگرفته شده از رفتار غیرخطی متریال می‌باشد. لی و استاجینوویچ یک مدل دارای مفصل پلاستیک خطی-تسلیم چرخه‌ای جدید را توسعه دادند [۱۶]. این مدل زوال مقاومت را در جهت کمانش محلی و کمانش پیچشی جانبی در نظر می‌گیرد و جهت تخمین ظرفیت چرخش اتصالات بر مبنای مفاهیم مشابه بکار می‌رفت. سانگ و پینچریا مدلی را ارائه دادند که از ویژگی‌های آن می‌توان به در نظر گرفتن مقاومت اوج و همچنین رفتار بعد از نقطه‌ی اوج اشاره کرد؛ اما زوال مقاومت چرخه‌ای در این مدل لحاظ نشده است [۱۷]. رهنما و کراوینکلر اصلاحاتی بر روی سه مدل معروف دوخطی، قله‌گرا و مدل جمع‌شونده اعمال کردند، به نحوی که اثرات ناشی از بارگذاری چرخه‌ای از جمله: کاهش سختی، کاهش مقاومت و پدیده‌ی جمع‌شوندگی در آن‌ها دیده شود [۱۸]. این مدل نهایتاً منجر به معرفی مدل ایبارا-کراوینکلر شد [۱۹، ۲۰]. مدل ارائه شده توانایی خوبی در ارائه رفتار چرخه‌ای دارد و لذا در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است [۲۱-۲۷].

در این مطالعه با هدف شناسایی بیشتر پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی سعی شده است با جمع‌آوری نمونه‌های آزمایشگاهی دیوارهای برشی و مطالعه بر روی نتایج آزمایشگاهی و مدل‌سازی آن‌ها، مدل رفتار چرخه‌ای آزمایشگاهی شبیه‌سازی شده و پارامترهای آن‌ها استخراج گردد. برای دستیابی به پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی، پارامترهای رفتار چرخه‌ای برای ۱۳۵ نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی بلند و ۹۹ نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی کوتاه که تحت آزمایش بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته‌اند، محاسبه شده است [۲۸-۲۴]. به همین منظور برای تمامی نمونه‌های آزمایشگاهی با استفاده از مدل رفتار چرخه‌ای اصلاح شده‌ی زوال ایبارا-کراوینکلر در نرم‌افزار OpenSees [۲۵]، رفتارهای آزمایشگاهی مدل‌سازی و پارامترهای چرخه‌ای آن استخراج شده‌اند. در ادامه پارامترهای چرخه‌ای استخراج شده بصورت آماری جمع‌بندی شده و محدوده‌های پیشنهادی برای هر یک از پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی ارائه شده است.

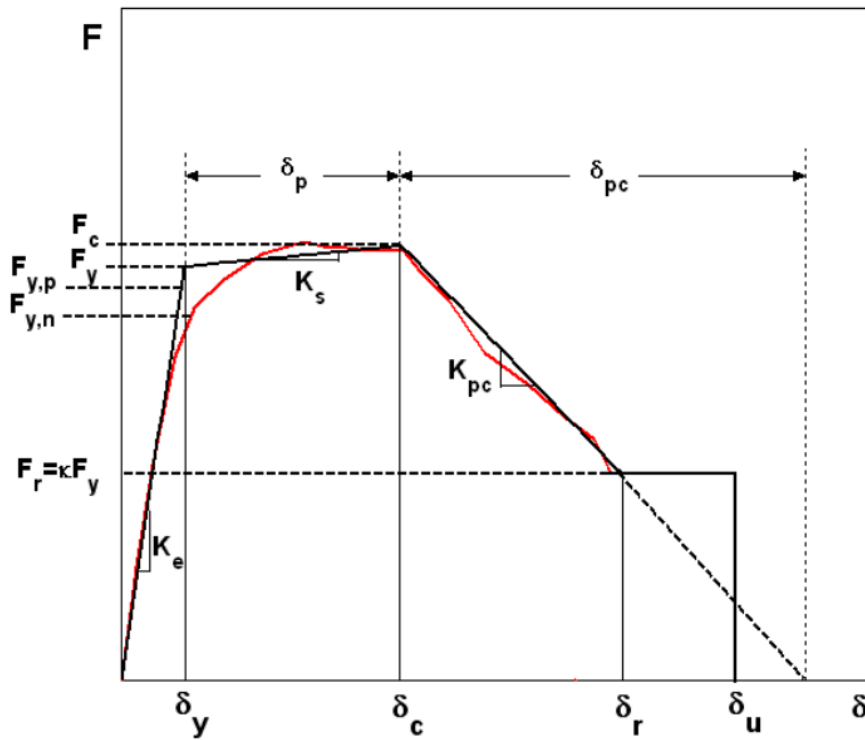
۲- مدل رفتار چرخه‌ای اصلاح شده ایبارا-کراوینکلر

یک مدل رفتار چرخه‌ای مناسب باید منعکس‌کننده تمامی خصوصیات رفتاری سازه‌ای باشد و در نهایت بتواند تخمین خوبی

جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز برای تعریف رفتار چرخه‌ای مدل ایبارا-کراوینکلر

Table 1. Parameters required to define the cyclical behavior of the modified Ibarra-Krawinkler model

تعریف	پارامتر
مقاومت اوج (مقاومت حداکثر)	F_c
تغییر شکل نقطه اوج (برای بارگذاری یکنواخت تغییر شکل متناظر با F_c)	δ_c
مقاومت تسلیم مؤثر	F_y
تغییر شکل تسلیم مؤثر (F_y/K_e)	δ_y
سختی الاستیک مؤثر	K_e
سختی سخت‌شوندگی کرنشی ($K_s = \alpha_s K_e$)	K_s
سختی شاخه نزولی پس از اوج ($K_{pc} = \alpha_c K_e$)	K_{pc}
ظرفیت مقاومت باقی‌مانده	F_r
تغییر شکل در نقطه‌ی باقی‌مانده	δ_r
ظرفیت تغییر شکل نهایی	δ_u
ظرفیت تغییر شکل پلاستیک	δ_p
ظرفیت تغییر شکل ناحیه‌ی بعد از تسلیم	δ_{pc}
ضریب مقاومت بعد تسلیم	F_c/F_y
مقاومت تسلیم مؤثر پیش‌بینی شده	F_{yp}
مقاومت تسلیم مؤثر عددی	F_{yn}
ضریب مقاومت باقی‌مانده (F_r/F_y)	κ
ضریب سخت‌شوندگی کرنشی ($K_s/K_e = [(F_c/F_y)/\delta_p]/K_e$)	α_s
ضریب سختی ناحیه‌ی بعد از تسلیم ($K_{pc}/K_e = (F_c/\delta_{pc})/K_e$)	α_c



شکل ۱. منحنی پشتواره مدل اصلاح شده زوال ایبارا-کراوینکلر.

Fig. 1. Backbone curve of modified Ibarra-Krawinkler deterioration model

از تسلیم و یا حتی در شاخه‌ی سخت‌شوندگی کرنشی). به علاوه، مدل به نحوی مورد اصلاح قرار گرفته است که می‌تواند در جهات بارگذاری مثبت و منفی به‌صورت نامتقارن باشد. در مدل اصلاح شده، از ظرفیت تغییرشکل پلاستیک $(\delta_p = \delta_c - \delta_y)$ به‌عنوان مقدار مرجع برای ظرفیت تغییرشکل استفاده شده است و نسبت F_c به F_y تعریف‌کننده ناحیه سخت‌شوندگی می‌باشد. به دلیل مبهم بودن مقدار سختی الاستیک اجزای سازه‌ای بتن مسلح، ارتباط بین سختی بعد از اوج و سختی اولیه باعث تغییرات زیادی در شیب ناحیه بعد از اوج می‌شود. از این‌رو، در مدل اصلاح شده پیشنهاد شده‌است که برای تشریح ناحیه بعد از نقطه‌ی اوج از ظرفیت تغییر شکل آن (δ_{pc}) استفاده شود.

پارامترهای α_s ، δ_c ، δ_y ، α_c و K هم از طریق پیش‌بینی‌های تحلیلی و هم از طریق کالیبره کردن مدل‌های رفتار چرخه‌ای همراه با داده‌های بار تغییرمکان حاصل از نتایج آزمایشگاهی، بدست می‌آید. مدل‌های رفتار چرخه‌ای ارائه شده این اجازه را می‌دهند که این پارامترها مقادیر متفاوتی در جهت مثبت یا منفی داشته باشند. در مدل اصلاح شده ایبارا-کراوینکلر، برای در نظر گرفتن نرخ زوال مختلف برای هر جهت بارگذاری مثبت و منفی، زوال چرخه‌ای در سیکل i ام توسط پارامتر β_i مطابق رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\beta_i^{+/-} = \left(\frac{E_i}{E_i - \sum_{j=1}^{i-1} E_j} \right)^c \cdot D^{+/-} \quad (1)$$

در رابطه فوق، E_i انرژی هیستریزس اتلاف شده در سیکل i ام و $\sum E_j$ مجموع انرژی‌های هیستریزس اتلاف شده در همه‌ی سیکل‌های قبلی بارگذاری در هر دو جهت مثبت و منفی است. E_i ظرفیت اتلاف انرژی هیستریزس می‌باشد $(E_i = \gamma F_y \delta_p)$. ضریب γ از کالیبره کردن نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آید و برای هر مود زوال می‌تواند مقداری متفاوت داشته باشد (ضریب مقاومت پایه (γ_p) ، ضریب سختی بعد از نقطه‌ی اوج (γ_c) ، ضریب سختی بارگذاری مجدد (γ_a) و ضریب سختی باربرداری (γ_k)). همچنین از توان c برای تعیین سرعت زوال استفاده می‌شود. طبق پیشنهاد رهنما و کراوینکلر محدوده‌ی منطقی برای c بین ۱ و ۲ می‌باشد. عبارت $D^{(+)}$ پارامتری است که کاهش نرخ زوال چرخه‌ای در جهت بارگذاری مثبت و منفی را تعریف می‌کند. این پارامتر می‌تواند کمتر از یک باشد. زمانی که نرخ زوال

را از ظرفیت استهلاک انرژی سیستم سازه‌ای ارائه دهد. مدل ایبارا-کراوینکلر یکی از مدل‌های چرخه‌ای است که در آن رفتارهای گوناگون اجزا شامل مقاومت تسلیم، مقاومت نهایی (اوج)، مقاوت بعد از اوج، زوال مقاومت و سختی در چرخه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. این مدل، شامل سه مدل معروف دوخطی، قله‌گرا و مدل جمع‌شونده بر مبنای مدل‌های رفتار چرخه‌ای پایه است که اثرات ناشی از بارگذاری چرخه‌ای از جمله زوال سختی، زوال مقاومت و پدیده‌ی جمع‌شوندگی در آن‌ها دیده شده است. بعد از ارائه مدل اولیه‌ی ایبارا و کراوینکلر، اصلاحاتی بر روی مدل اصلی آن‌ها اعمال شد [۷۶]. بعضی از این اصلاحات تعاریف و بعضی دیگر نیز شبیه‌سازی زوال را بهبود بخشیدند. در این تحقیق از مدل چرخه‌ای اصلاح شده زوال ایبارا-کراوینکلر جهت شبیه سازی نتایج آزمایشگاهی استفاده شده است و با استفاده از این مدل، شبیه‌سازی رفتار دینامیکی غیرخطی نمونه‌های آزمایشگاهی تا فروریزش صورت گرفته است. در ادامه به توضیح برخی از مفاهیم اصلی مدل اصلاح شده‌ی زوال ایبارا-کراوینکلر پرداخته می‌شود.

مدل اصلی زوال ایبارا-کراوینکلر بر ۳ اصل استوار است:

1. منحنی پشتواره (بیشینه)، رفتار مربوط به مقاومت بدون زوال سیستم را توضیح می‌دهد. این منحنی مرز تغییرشکل‌ها و مقاومت را تعیین می‌کند.
 2. مجموعه‌ای از قوانین که ویژگی‌های اصلی رفتار هیستریزس را در محدوده مرزهای تعریف شده توسط منحنی پشتواره تعریف می‌کنند.
 3. مجموعه‌ای از قوانین که چهار حالت از زوال را متناسب با منحنی پشتواره تعریف می‌کنند.
- پارامترهای مورد نیاز برای تعریف رفتار چرخه‌ای مدل ایبارا-کراوینکلر در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۱ منحنی پشتواره مدل اصلاح شده زوال ایبارا-کراوینکلر را نشان می‌دهد. در این منحنی، شاخه جدیدی به منحنی پشتواره اصلی ایبارا-کراوینکلر افزوده شده است که قابلیت شبیه‌سازی از دست دادن کامل مقاومت را به مدل می‌دهد. این مدل همچنین توانایی شبیه‌سازی مناسب از اتلاف کامل مقاومت قبل از اینکه سیستم به شاخه‌ی مقاومت باقی‌مانده برسد را دارا می‌باشد (در شاخه‌ی بعد

است. مدل تحلیلی برای کنترل رفتار چرخه‌ای به هفت پارامتر (M_y)، θ_y ، K_s ، K_c ، λ ، c دارد که با شبیه سازی رفتار آزمایشگاهی استخراج می‌گردند. هدف از انجام کالیبراسیون نمونه‌های آزمایشگاهی تعیین سختی، نقطه‌ی اوج، سختی باربرداری، زوال مقاومت و زوال سختی چرخه‌ای دیوارهای بلند و کوتاه بتن مسلح به‌منظور استفاده در شبیه‌سازی و مدل‌سازی سیستم‌های سازه‌ای بتن مسلح می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد نمونه‌ها، هر نمونه‌ی آزمایشگاهی، بر اساس نمودار پشتواره، قضاوت مهندسی و تطابق چشمی، طبق مراحل پیشنهادی هاسلتون و همکاران کالیبره شده است [۸۰]. مراحل انجام این کار در زیر ارائه شده است، لازم به توضیح است این روند بهترین را در تطبیق با نتایج آزمایشگاهی به همراه دارد.

۱. اولین مرحله از روند کالیبراسیون تعیین نیروی تسلیم می‌باشد. این مقدار را می‌توان از روابط تجربی (با توجه به خصوصیات اندازه‌گیری شده) و یا از طریق نمودار رفتار چرخه‌ای نمونه‌های آزمایشگاهی به دست آورد. البته با قضاوت مهندسی و تخمین این مقدار از روی نمودار می‌توان به نتایج مناسب‌تری برای کالیبراسیون رسید. باید توجه داشت که؛ برای کالیبراسیون صحیح زوال چرخه‌ای (مرحله‌ی شش) ضروری است که برای هر دو جهت مثبت و منفی بارگذاری نیروی تسلیم جداگانه محاسبه شود.

۲. گام بعدی تعیین جابه‌جایی نقطه‌ی تسلیم می‌باشد. نقطه‌ی تسلیم به عنوان نقطه‌ای تعریف می‌شود که ترک‌های عمده‌ی بتن آغاز می‌شود و یا میلگرد تسلیم می‌شود. کالیبراسیون این نقطه نیازمند قضاوت مهندسی می‌باشد و بر اساس آن جابه‌جایی نقطه‌ی تسلیم تعیین می‌گردد.

۳. با دانستن نیروی تسلیم و جابه‌جایی نقطه‌ی تسلیم می‌توان سختی الاستیک (K_e) نمونه را تعیین کرد. باید توجه داشت که سختی الاستیک باید نزدیک به سختی باربرداری در چرخه‌های اولیه پس از تسلیم باشد.

۴. در ادامه می‌بایست مقاومت نقطه‌ی اوج (F_c) کالیبره گردد. این مقدار برابر با حداکثر نیروی حاصل از آزمایش بارگذاری یکنواخت می‌باشد. البته می‌توان با یک تخمین محافظه‌کارانه این مقدار را برابر با حداکثر نیروی حاصل از یک آزمایش چرخه‌ای دانست. در بسیاری از موارد این مقدار ممکن است یک تخمین دست پایین

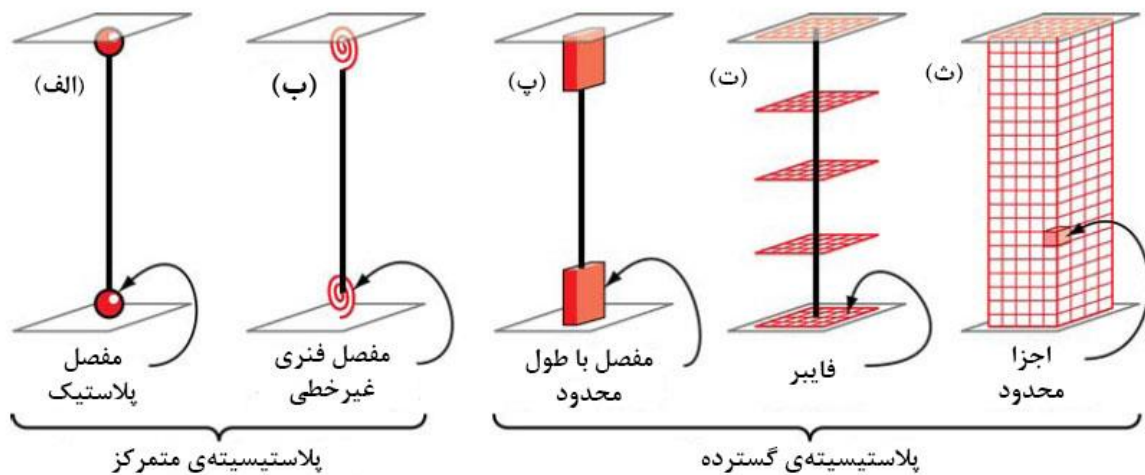
چرخه‌ای برای هر دو جهت بارگذاری یکسان باشد مقدار این پارامتر برابر با یک می‌باشد و نرخ زوال چرخه‌ای برابر با قاعده‌ی موجود در مدل اصلی ایبارا-کراوینکلر می‌باشد.

۳- پایگاه داده و مدل‌سازی تحلیلی سازه‌ی یک درجه آزادی در نرم‌افزار OpenSees

دیوارهای برشی را می‌توان بر اساس نسبت ابعاد دیوار به ۲ دسته‌ی دیوارهای کوتاه و دیوارهای بلند تقسیم کرد. دیوارهای با نسبت کوچکتر از ۱/۵، دیوارهای کوتاه و دیوارهای بزرگتر از ۱/۵ را دیوار بلند می‌نامند. معمولاً در دیوارهای بلند رفتار خمشی و در دیوارهای کوتاه رفتار برشی غالب می‌باشد. تعداد دیوارهای مورد استفاده در این پژوهش پس از حذف نمونه‌های نامربوط، ۱۳۵ عدد برای دیوارهای برشی بلند و ۹۹ عدد برای دیوارهای برشی کوتاه است. نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش از سایت «اطلاعات پایه تحقیقات مهندسی زلزله برای همکاری‌های اروپایی» جمع‌آوری شده است [۷۷]. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل نمودار نیرو-تغییرمکان و سایر اطلاعات مورد نیاز از قبیل هندسه‌ی دیوار، اطلاعات میلگرد گذاری، مقاومت بتن، مدخرایی و سایر اطلاعات می‌باشند.

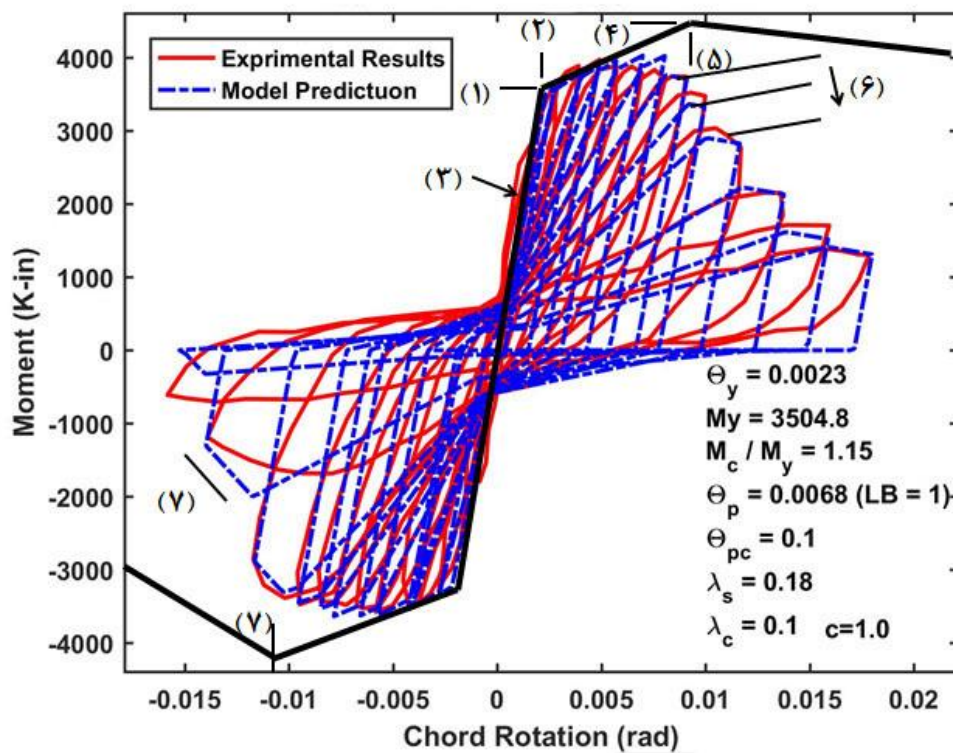
برای مدل‌سازی تحلیلی دیوارهای برشی از نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است. مدل‌های غیرخطی اجزای سازه‌ای، در چگونگی گسترش پلاستیسیته در امتداد سطح مقطع اعضا و راستای طول آنها از یکدیگر متمایز می‌شوند. در شکل ۲ پنج مدل ایده‌آل سازی شده برای شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی نشان داده شده است.

در این مطالعه، رفتار غیرارتجاعی دیوارها به روش مفصل متمرکز و طبق توضیحات ماگنا و کاناس [۷۸] مدل‌سازی شده است؛ به نحوی که هر دیوار شامل یک المان الاستیک و یک مفصل پلاستیک به طول صفر در انتهای خود می‌باشد. همچنین اصلاحات کرلی و همکاران بر روی این مدل که شامل افزودن مفاصل پلاستیک در دو سر هر المان تیر و تلفیق اثرات تغییرشکل‌های برشی غیرخطی است، در نظر گرفته شده است [۷۹]. با توجه به الگوی منحنی‌های چرخه‌ای آزمایشگاهی، برای دیوارهای برشی کوتاه و بلند، به ترتیب مدل رفتاری جمع‌شونده و قله‌گرا از مدل چرخه‌ای اصلاح شده‌ی ایبارا-کراوینکلر، به مفصل متمرکز انتهای دیوار اختصاص داده شده



شکل ۲. انواع مدل‌های ایده‌آل سازی شده المان تیر-ستون.

Fig. 2. Idealized models of beam-column elements



شکل ۳. مراحل پروسه کالیبراسیون تست آزمایشگاهی ماتسوکا ۲۰۰۳.

Fig. 3. Calibration procedure of RC beam-column model to experimental test by Matsuoka

۵. در این مرحله جابه‌جایی حداکثر (δ_c) که متناظر با نیروی حداکثر می‌باشد، تعیین می‌گردد. در آزمایش‌های چرخه‌ای این

باشد، به این دلیل که در این موارد پروتکل بارگذاری اجازه‌ی رسیدن به نیروی حداکثر را نداده باشد.

Lower Bound تعریف شده است. در نمونه‌هایی که منحنی چرخه‌ای دارای سختی منفی بعد از نقطه‌ی اوج می‌باشند مقدار $LB = 1$ و برای نمونه‌هایی که سختی منفی در آنها مشاهده نمی‌شود، $LB = 0$ در نظر گرفته شده است.

شکل ۳، مراحل فوق را به صورت کلی برای یک مثال نشان می‌دهد.

مشخصات هندسی و جزئیات بتن و فولادگذاری دیوارهای برشی بلند و کوتاه نمونه‌های تحت آزمایش به ترتیب در جداول پیوست-۱ تا پیوست-۴ ارائه شده است.

۴- نتایج مدل‌سازی و تفسیر آن‌ها

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، برای هر نمونه، نتایج آزمایشگاهی با تخمین مناسب پارامترهای چرخه‌ای شبیه‌سازی شده است. در شکل‌های ۴ و ۵ نمونه‌هایی از این شبیه‌سازی‌ها ارائه شده است. همچنین در جداول ۲ و ۳ تمامی پارامترهای استخراج شده برای نمونه‌های دیوارهای بلند و کوتاه به ترتیب ارائه شده‌اند.

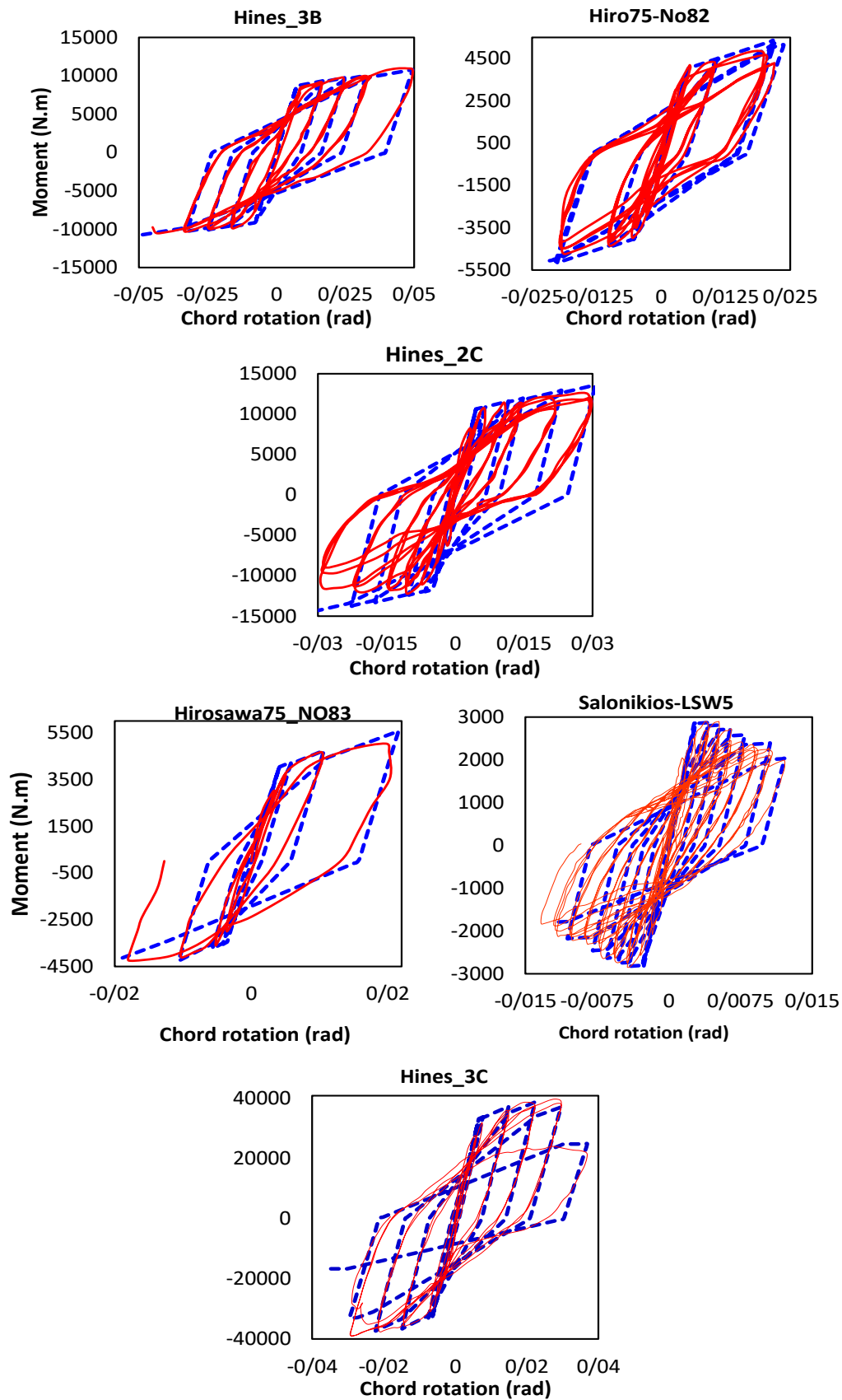
پارامترهای رفتار چرخه‌ای استخراج شده عبارتند از: سختی اولیه مؤثر، دوران نقطه تسلیم، ظرفیت دوران پلاستیک، نسبت سخت‌شدگی کرنشی، نسبت شکل‌پذیری، پارامتر زوال چرخه‌ای مقاومت اصلی، پارامتر زوال مقاومت شاخه نزولی، پارامتر زوال سختی باربرداری، پارامتر زوال سختی بارگذاری مجدد. پارامترهای طراحی دیوار عبارتند از: نسبت ابعاد دیوار (نسبت طول به ارتفاع دیوار)، نسبت بار محوری، مقاومت فشاری بتن دیواربرشی، مقاومت تسلیم میلگردهای مسلح‌کننده دیوار (میلگردهای برشی و خمشی)، نسبت فولاد خمشی جان دیوار، نسبت فولاد برشی جان دیوار، نسبت فولاد خمشی المان مرزی، نسبت فولادی برشی المان مرزی.

به منظور مشاهده وجود یا عدم وجود رابطه بین پارامترهای رفتار چرخه‌ای و پارامترهای طراحی دیوار، نمودارهای پراکنش پارامترهای رفتار چرخه‌ای بر حسب پارامترهای طراحی دیوارهای برشی ترسیم شده است. به عنوان نمونه شکل ۶، نمودارهای پراکنش را برای نسبت شکل‌پذیری (θ_c/θ_y) بر حسب پارامترهای طراحی دیوار برای دیوارهای برشی بلند نشان می‌دهد.

پارامتر را می‌توان با فرآیند سعی و خطا تعیین کرد، به نحوی که همراه با پارامترهای زوال چرخه‌ای بیشترین تطابق را با منحنی رفتار چرخه‌ای نمونه‌ی آزمایشگاهی داشته باشد.

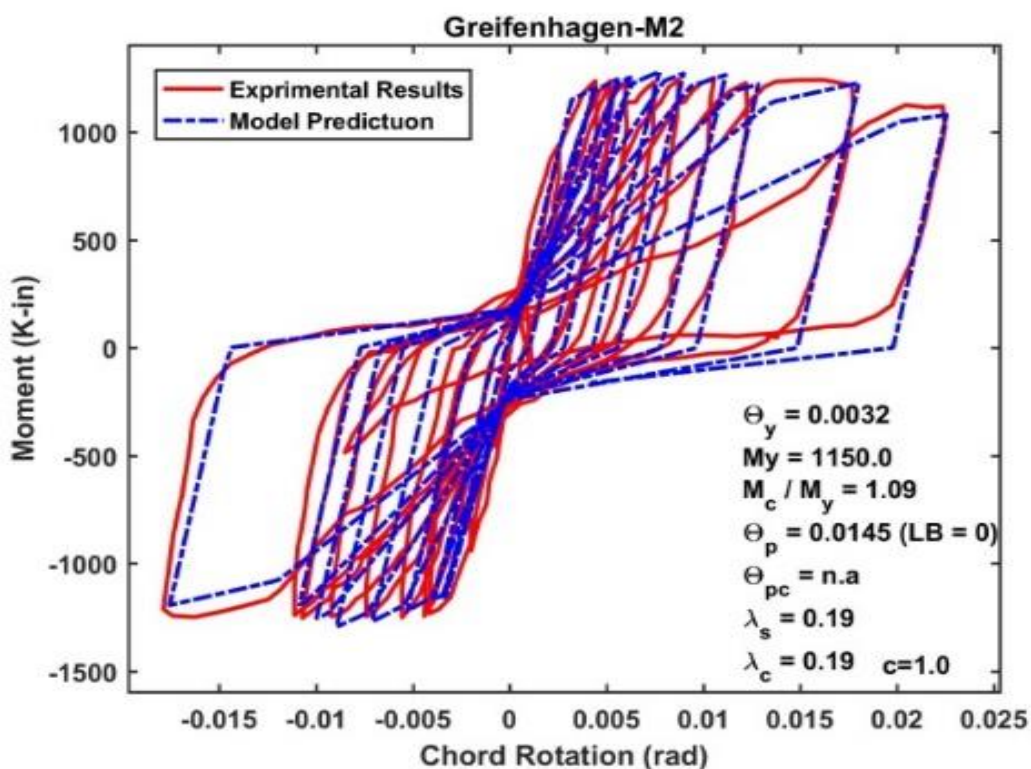
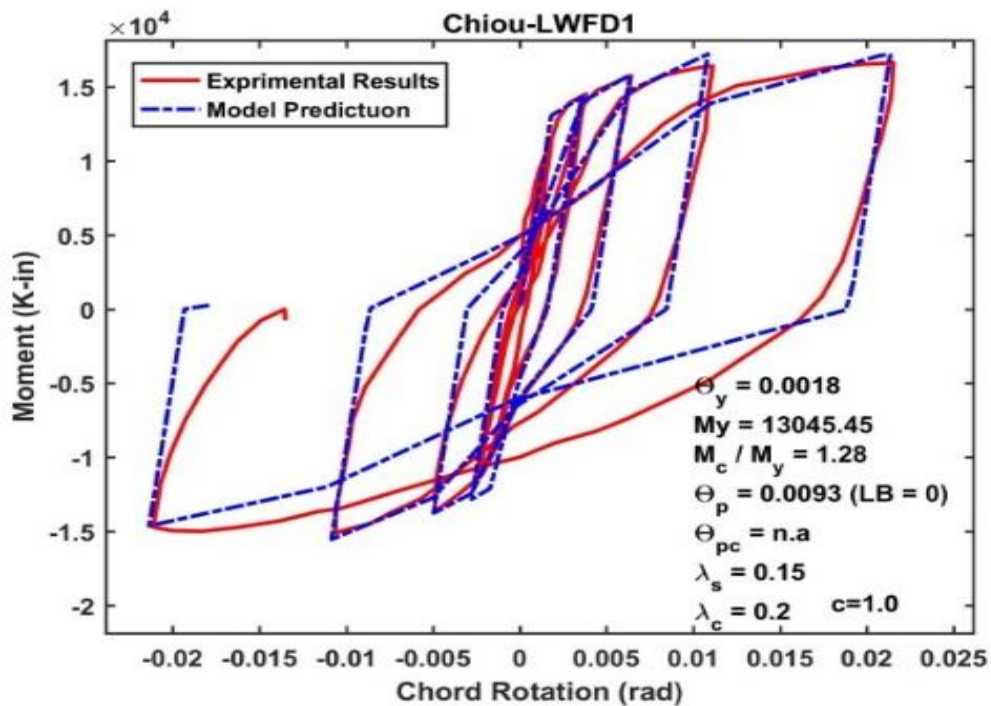
۴. در مرحله‌ی ششم از مراحل کالیبراسیون پارامتر ظرفیت اتلاف انرژی (λ) کالیبره می‌شود. با توجه به قواعد مدل رفتار چرخه‌ای ایبارا و کراوینکلر این امکان وجود دارد که برای هر چهار مود زوال چرخه‌ای پارامتر λ به‌طور جداگانه کالیبره شود. همچنین توان (C) را می‌توان برای هر مود زوال چرخه‌ای به‌صورت جداگانه در نظر گرفت. البته با توجه به پیشنهاد و رهنمایی کراوینکلر مقدار یک برای این پارامتر در نظر گرفته شده است. برای کالیبره کردن پارامتر λ سعی می‌گردد که منحنی چرخه‌ای حاصل از مدل تحلیلی منطبق بر منحنی نمونه‌ی آزمایشگاهی باشد. در کالیبراسیون این پارامتر تأکید بیشتر بر روی سیکل‌های پایانی می‌باشد، چرا که در این سیکل‌ها زوال اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. هر چه مقدار این پارامتر بزرگ‌تر باشد مقدار زوال چرخه‌ای سختی و مقاومت با سرعت کمتری رخ می‌دهد.

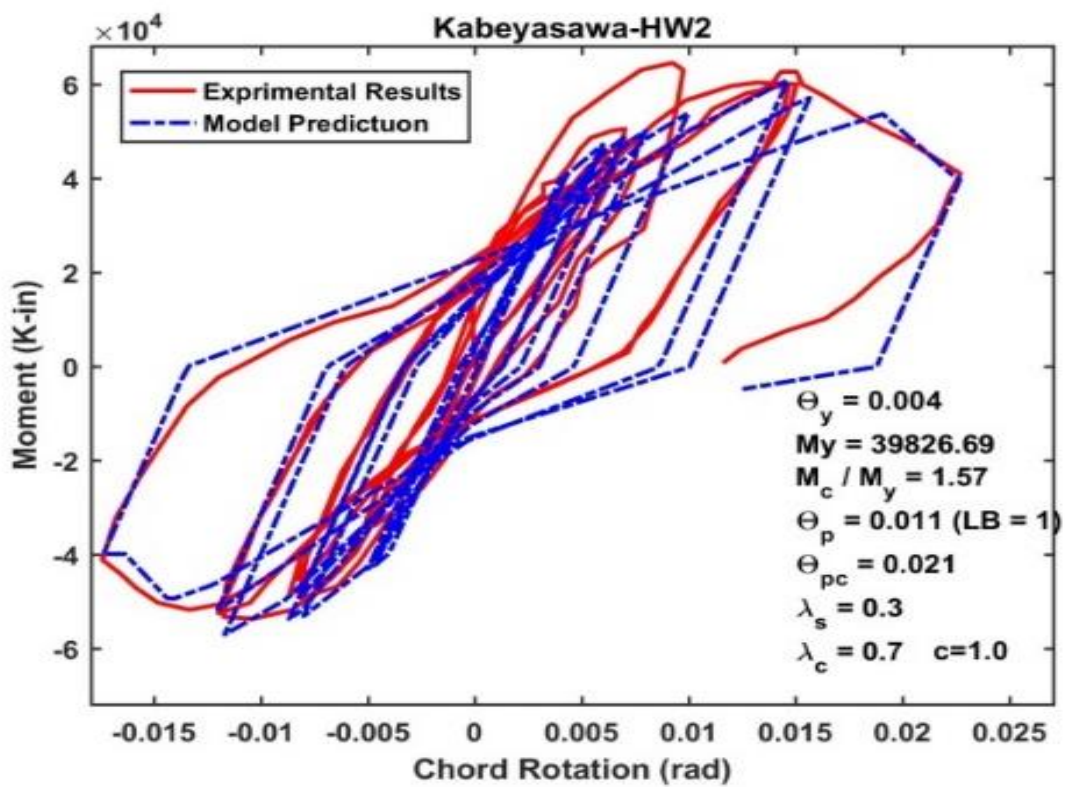
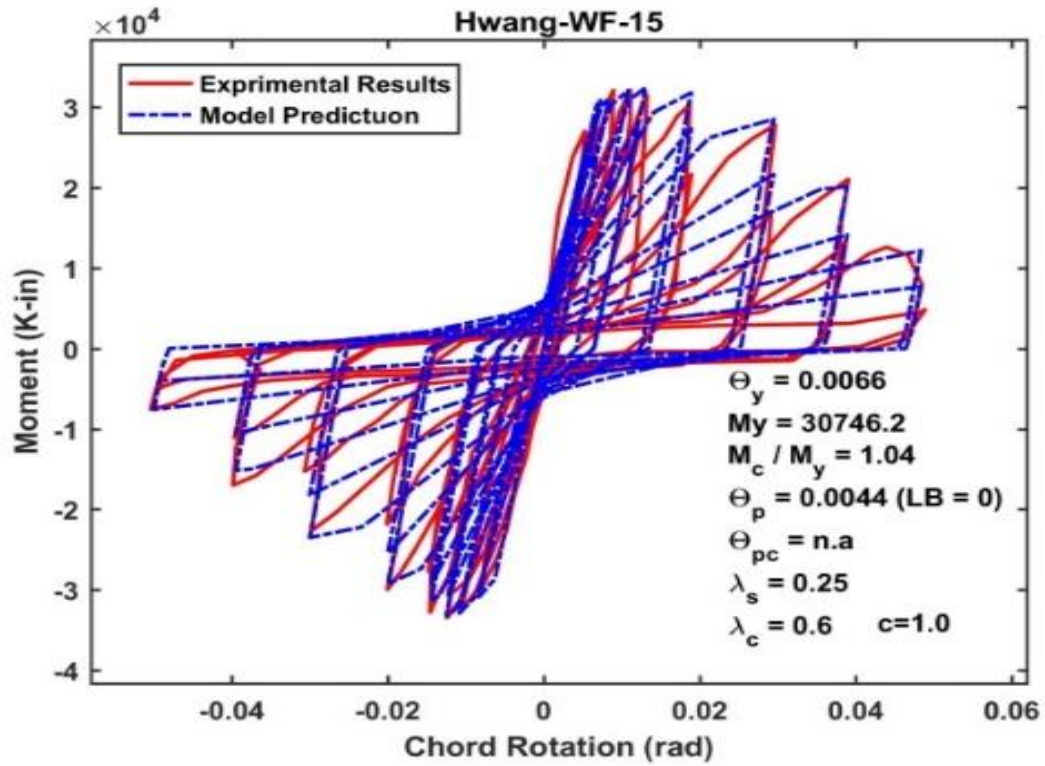
۷. بحرانی‌ترین مرحله از روند کالیبراسیون، پیش‌بینی جابه‌جایی بعد از نقطه‌ی اوج (δ_{pc}) می‌باشد. این پارامتر را می‌توان با تخمین مناسب از شیب شاخه‌ی بعد از نقطه‌ی اوج و ادامه‌ی آن تا رسیدن به مقاومت صفر کالیبره کرد. این پارامتر بیان‌کننده‌ی رفتار عضو پس از وقوع ناپایداری‌های موضعی می‌باشد. هر چه مقدار این پارامتر کوچک‌تر باشد، عضو مورد نظر سریع‌تر به مقاومت صفر می‌رسد و در برابر واژگونی حساس‌تر می‌باشد. نقطه‌ی اوج و سختی بعد از آن زمانی موجود است که سختی منفی بعد از نقطه‌ی اوج به‌طور واضح در نتایج آزمایشگاهی مشاهده شود. این سختی منفی در نمونه باعث افت مقاومت در درون یک سیکل چرخه‌ای می‌شود که از آن اغلب به عنوان زوال درون چرخه‌ای یاد می‌شود. در اغلب نمونه‌های آزمایشگاهی پروتکل بارگذاری به نمونه این اجازه را نداده است که به اندازه‌ای تغییر شکل بدهد تا در آن نقطه‌ی مقاومت اوج به‌طور آشکار دیده شود. در این نمونه‌ها سختی منفی بعد از نقطه‌ی اوج مشاهده نمی‌شود؛ اما می‌توان از داده‌های آزمایشگاهی متوجه شد نقطه‌ی اوج در تغییر مکانی بزرگتر از آن چیزی که در نمونه‌ها مشاهده می‌شود، اتفاق می‌افتد. برای در نظر گرفتن این اطلاعات برای نمونه‌ها اصطلاح

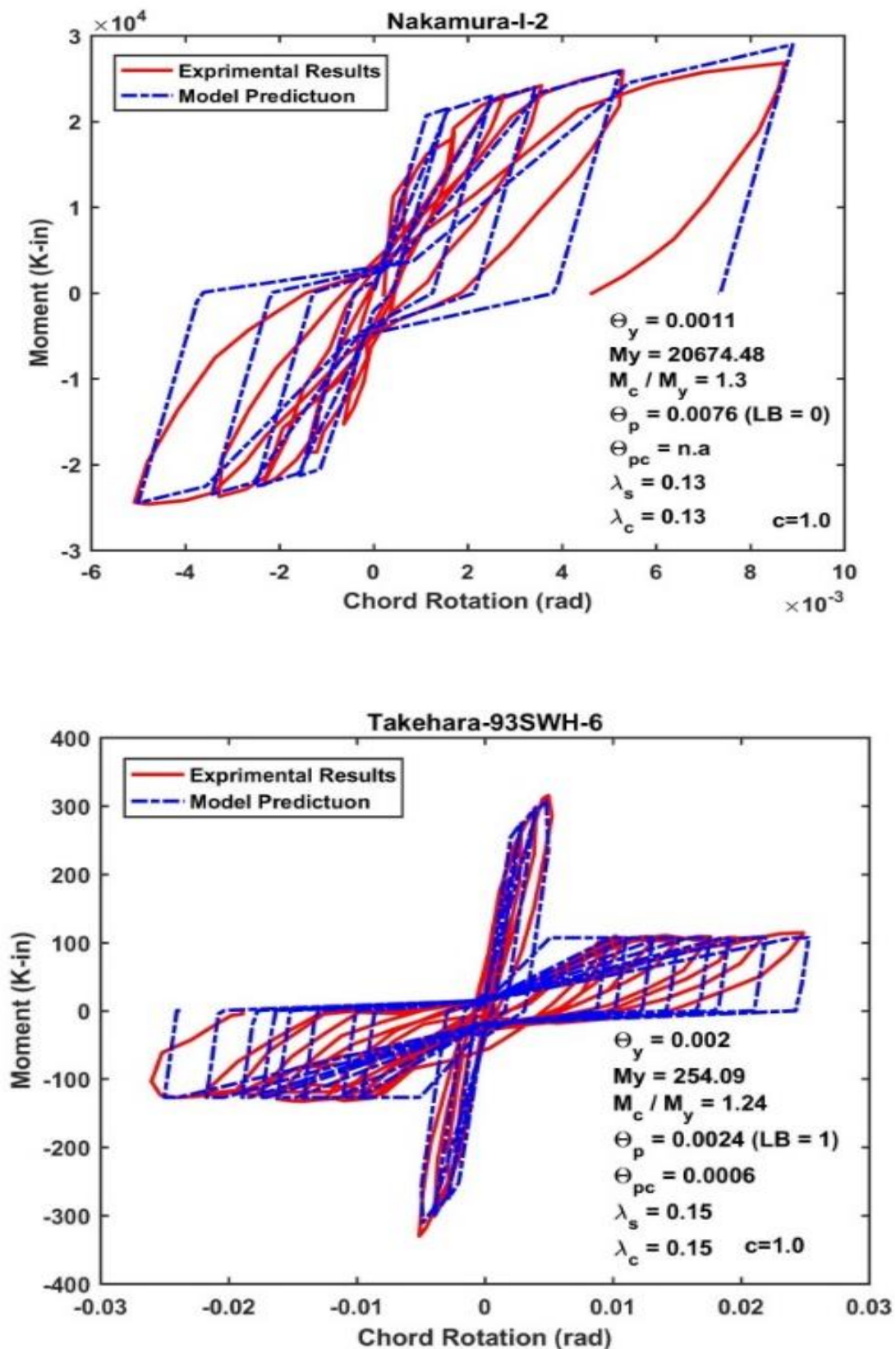


شکل ۴. نمونه هایی از شبیه سازی نتایج آزمایشگاهی و مدل سازی عددی سازه یک درجه آزادی برای دیوارهای برشی بلند.

Fig. 4. Examples of experimental results simulation and numerical modeling of single-degree-of-freedom structures for slender shear walls







شکل ۵. نمونه هایی از شبیه سازی نتایج آزمایشگاهی و مدل سازی عددی سازه یک درجه آزادی برای دیوارهای برشی کوتاه.
 Fig. 5. Examples of experimental results simulation and numerical modeling of single-degree-of-freedom structures for squat shear walls

جدول ۲. پارامترهای کالیبره شده رفتار چرخهای دیوار برشی بلند

Table 2. Calibrated parameters of cyclic behavior of slender shear wall

λ_k	λ_c	λ_s	θ_p (rad)	θ_c (rad)	α_s	M_e/M_y	K_e (N.m/rad)	θ_y (rad)	M_y (N.m)	نام تست	شماره تست
1.00	1.00	0.13	0.0065	0.0094	0.043	1.087	514003.38	0.0030	1521.45	B_WSH2	1
0.08	0.09	0.17	0.0098	0.0202	0.127	1.243	371979.50	0.0046	1713.04	B_WSH3	2
1.00	1.00	1.00	0.0069	0.0101	0.048	1.092	574164.58	0.0032	1825.74	B_WSH4	3
0.25	0.57	1.00	0.0066	0.0111	0.071	1.096	555872.91	0.0044	2456.96	B_WSH6	4
0.09	0.12	0.35	0.0046	0.0069	0.204	1.327	174272.30	0.0023	393.33	C_CW2	5
0.13	0.24	0.39	0.0192	0.0277	0.083	1.218	136266.59	0.0085	1162.35	Cho_W3	6
0.02	0.06	0.12	0.0053	0.0070	0.080	1.321	743030.84	0.0018	1303.28	D_WSH1	7
0.07	0.19	0.20	0.0075	0.0105	0.037	1.147	489146.12	0.0031	1501.73	D_WSH2	8
0.18	0.60	0.44	0.0147	0.0202	0.052	1.140	355464.30	0.0055	1948.80	D_WSH3	9
0.04	0.17	0.20	0.0105	0.0140	0.031	1.093	555418.57	0.0035	1948.80	D_WSH4	10
0.60	0.17	0.35	0.0114	0.0138	0.031	1.146	770315.76	0.0024	1858.16	D_WSH5	11
0.56	0.30	0.35	0.0140	0.0210	0.037	1.069	373876.46	0.0070	2605.55	D_WSH6	12
1.00	1.00	0.31	0.0165	0.0205	0.059	1.231	159133.20	0.0040	644.11	HPCW-01	13
0.60	0.50	0.45	0.0021	0.0255	0.013	1.061	152251.88	0.0045	688.76	HPCW-02	14
0.11	1.00	0.15	0.0204	0.0271	0.081	1.226	114984.63	0.0067	765.80	HPCW-03	15
1.00	1.00	0.34	0.0219	0.0267	0.043	1.164	158156.85	0.0048	752.98	HPCW-04	16
0.15	1.00	0.07	0.0083	0.0179	0.095	1.124	15280.06	0.0096	146.43	E_origina	17
0.25	1.00	1.00	0.0356	0.0400	0.033	1.264	228947.64	0.0045	1018.82	G_A1M	18
0.27	0.19	1.00	0.0357	0.0400	0.023	1.179	245828.36	0.0043	1046.98	G_A2C	19
0.31	1.00	1.00	0.0316	0.0351	0.020	1.181	23254.72	0.0035	81.58	G_B1M.	20
0.24	1.00	1.00	0.0382	0.0487	0.029	1.103	134632.42	0.0106	1420.37	H_1A	21
0.28	1.00	1.00	0.0226	0.0295	0.054	1.175	180326.35	0.0070	1257.42	H_2A	22
0.27	1.00	1.00	0.0254	0.0299	0.059	1.268	279567.34	0.0045	1261.41	H_2C	23
0.36	1.00	1.00	0.0420	0.0493	0.055	1.277	137223.78	0.0073	1008.49	H_3B	24
0.37	1.00	1.00	0.0165	0.0218	0.107	1.333	86171.20	0.0053	456.19	H-No82	25
0.33	1.00	0.13	0.0161	0.0202	0.144	1.600	102594.21	0.0041	422.38	H-No83	26
0.65	1.00	0.25	0.0153	0.0205	0.068	1.288	90721.75	0.0052	472.28	H-No84	27
0.05	0.03	0.03	0.0027	0.0078	0.219	1.090	46348.96	0.0051	235.22	Ji_SW1	28
0.24	1.00	0.22	0.0138	0.0191	0.114	1.199	57393.65	0.0053	305.91	Ji_SW2	29
0.08	0.09	0.09	0.0128	0.0187	0.076	1.126	65827.97	0.0058	383.97	Ji_SW3	30
0.40	1.00	0.35	0.0213	0.0275	0.024	1.065	42506.86	0.0062	263.80	Ji_SSW-T	31
0.08	0.13	0.25	0.0260	0.0333	0.119	1.484	342429.74	0.0073	2511.14	K_NW-1	32
0.03	1.00	0.35	0.0072	0.0117	0.195	1.458	795103.01	0.0045	3577.96	K_NW-2	33
0.20	1.00	0.10	0.0113	0.0157	0.140	1.259	426524.99	0.0043	1846.85	K_NW-3	34
1.00	1.00	1.00	0.0067	0.0121	0.192	1.242	369208.24	0.0053	1967.88	K_NW-4	35
0.05	0.35	0.35	0.0173	0.0227	0.030	0.991	474185.61	0.0053	2527.41	K_NW-5	36
0.20	1.00	0.23	0.0242	0.0242	0.085	1.371	334071.67	0.0050	1670.36	Ki_W8N13	37
0.50	0.15	0.30	0.0253	0.0300	0.039	1.152	334389.11	0.0047	1574.30	Ki_W8N08	38
0.02	0.30	1.00	0.0116	0.0150	0.154	1.517	416344.85	0.0034	1431.19	Ki_W4N18	39
0.02	0.65	0.20	0.0075	0.0098	0.114	1.254	635111.32	0.0023	1455.42	Ki_W4N18C	40
0.35	0.33	0.43	0.0284	0.0339	0.046	1.130	220537.56	0.0055	1205.90	O_B1	41
0.25	1.00	1.00	0.0220	0.0276	0.024	1.094	521420.15	0.0056	2908.17	O_B2	42
0.30	0.35	0.45	0.0380	0.0448	0.027	1.076	175584.27	0.0068	1190.53	O_B3	43
0.13	0.30	0.45	0.0023	0.0287	0.041	1.176	523290.06	0.0059	3090.29	O_B5	44
0.33	1.00	0.15	0.0074	0.0171	0.039	1.030	387206.81	0.0096	3726.09	O_B6	45
0.06	0.20	0.25	0.0201	0.0339	0.107	1.157	230995.61	0.0138	3180.81	O_B5R	46
0.10	0.15	0.10	0.0166	0.0225	0.056	1.158	584785.42	0.0059	3453.45	O_F1	47
0.35	0.25	0.30	0.0241	0.0284	0.032	1.157	121185.17	0.0044	530.11	O_R1	48
0.45	0.23	0.22	0.0280	0.0343	0.038	1.093	150758.29	0.0063	956.24	O_R2	49
0.24	1.00	1.00	0.0114	0.0291	0.111	1.069	178780.86	0.0183	3271.69	O_B10	50
0.58	0.45	0.45	0.0101	0.0295	0.150	1.167	161920.49	0.0192	3115.35	Oesterle_B11	51
0.50	0.50	0.65	0.0212	0.0282	0.023	1.075	603816.65	0.0070	4226.11	Oesterle_B7	52
0.35	1.00	1.00	0.0269	0.0341	0.034	1.067	590146.95	0.0072	4259.56	Oesterle_B8	53
0.35	0.20	0.25	0.0328	0.0524	0.036	1.060	231837.43	0.0196	4544.01	Oesterle_B9R	54
0.15	1.00	0.65	0.0216	0.0277	0.032	1.111	667800.83	0.0061	4089.61	Oesterle_F1	55
0.20	0.30	0.55	0.0338	0.0391	0.032	1.092	165152.60	0.0053	880.76	Oh_HRI-W2	56
0.20	0.30	0.50	0.0348	0.0395	0.022	1.151	175174.21	0.0047	816.31	Oh_HRI-W5	57
0.13	1.00	0.60	0.0351	0.0380	0.023	1.075	231045.45	0.0029	665.41	Oh_HRI-W7	58

λ_k	λ_c	λ_s	θ_p (rad)	θ_c (rad)	α_s	M_c/M_y	K_e (N.m/rad)	θ_y (rad)	M_y (N.m)	نام تست	شماره تست
0.07	0.15	0.15	0.0209	0.0247	0.092	1.040	268064.24	0.0038	1010.60	Oh_HRI-W8	59
0.27	0.25	0.25	0.0092	0.0123	0.023	1.068	199518.90	0.0031	613.72	Paterson_W1	60
0.28	0.21	0.23	0.0149	0.0203	0.040	1.111	125795.64	0.0053	670.87	Paterson_W2	61
0.29	0.20	0.11	0.0104	0.0141	0.018	1.053	99469.67	0.0036	362.57	Salonikios_M SW1	62
0.30	1.00	0.09	0.0136	0.0167	0.027	1.099	105611.84	0.0031	330.04	Salonikios_M SW2	63
0.31	1.00	0.08	0.0108	0.0156	0.019	1.044	72490.28	0.0048	347.30	Salonikios_M SW4	64
0.32	0.10	0.09	0.0111	0.0156	0.021	1.054	79743.78	0.0044	353.03	Salonikios_M SW5	65
0.32	0.12	0.10	0.0088	0.0156	0.043	1.076	52389.65	0.0068	354.68	Salonikios_M SW6	66
0.19	0.30	0.39	0.0188	0.0249	0.049	1.186	301801.81	0.0060	1810.81	Shainchin_W C150	67
0.10	0.25	0.40	0.0164	0.0204	0.055	1.227	491969.99	0.0040	1967.88	Shainchin_W D170	68
0.06	1.00	0.10	0.0077	0.0121	0.056	1.099	28218.00	0.0044	123.88	Su_W3	70
0.49	0.07	0.07	0.0091	0.0134	0.233	1.458	23574.29	0.0043	100.62	Su_W2	71
0.50	0.15	0.25	0.0219	0.0280	0.043	1.144	17294.49	0.0061	105.44	Su_W1	72
0.35	0.23	0.20	0.0166	0.0213	0.013	1.074	412292.45	0.0044	1832.64	Shainchin_W D200	73
0.45	1.00	1.00	0.0186	0.0235	0.037	1.189	102666.01	0.0049	504.91	Taylor_RW2	74
0.10	1.00	1.00	0.0232	0.0273	0.057	1.158	224567.86	0.0041	920.28	Taylor_TW2	75
0.51	0.50	1.00	0.0204	0.0264	0.021	1.071	84630.57	0.0060	508.99	T_RW1	76
0.09	1.00	0.50	0.0212	0.0260	0.065	1.059	194163.89	0.0048	928.88	T_TW2	77
0.15	1.00	1.00	0.0202	0.0252	0.052	1.214	103437.54	0.0049	508.99	Th_RW2	78
0.42	1.00	1.00	0.0077	0.0102	0.042	1.070	142673.33	0.0025	356.68	Z_SW-1	79
0.42	1.00	1.00	0.0094	0.0115	0.080	1.295	192770.47	0.0022	414.46	Z_SW1-2.	80
0.41	0.40	0.35	0.0071	0.0115	0.107	1.090	98355.97	0.0045	437.68	Z_SW1-3	81
0.05	1.00	1.00	0.0050	0.0076	0.092	1.010	174065.50	0.0026	452.57	Z_SW2-1	82
0.06	1.00	1.00	0.0039	0.0054	0.096	1.208	233612.99	0.0016	362.10	Z_SW2-3	83
0.08	0.30	0.50	0.0355	0.0409	0.008	1.012	165774.17	0.0053	883.58	OWR-20	84
0.60	0.40	0.50	0.0382	0.0426	0.020	1.106	191240.43	0.0044	849.11	OWR-10	85
0.09	0.25	0.30	0.0378	0.0409	0.029	1.288	212203.74	0.0031	659.95	OWB	86
0.08	0.20	0.30	0.0280	0.0320	0.040	1.099	203462.44	0.0040	813.85	OWR-0	87
0.20	1.00	1.00	0.0262	0.0328	0.021	1.086	258890.48	0.0066	1697.54	P10-S63	88
0.52	1.00	1.00	0.0339	0.0393	0.017	1.108	276281.55	0.0055	1509.60	P10-S78	89
0.53	0.24	0.30	0.0110	0.0151	0.028	1.106	489476.28	0.0041	2000.98	WD150	90
0.04	0.25	1.00	0.0156	0.0197	0.064	1.025	173081.10	0.0041	709.63	TW1	91
0.05	0.09	0.50	0.0045	0.0065	0.113	1.050	210045.75	0.0020	420.09	Z_SW4-1	92
0.02	0.09	1.00	0.0035	0.0045	0.072	1.238	382402.82	0.0011	401.52	Z_SW4-2	93
0.04	1.00	1.00	0.0044	0.0060	0.095	1.250	216846.27	0.0017	357.80	Z_SW4-3	94
0.03	0.16	0.19	0.0045	0.0060	0.095	1.369	271080.77	0.0015	406.62	Z_SW5-1	95
0.10	1.00	1.00	0.0040	0.0060	0.079	1.158	188836.96	0.0020	377.67	Z_SW5-2	96
0.03	0.09	0.10	0.0060	0.0090	0.062	1.112	178788.75	0.0030	536.37	Z_SW5-3	97
0.54	1.00	0.25	0.0090	0.0231	0.041	1.067	37774.11	0.0089	335.43	Zh_SW-2	98
0.54	0.15	0.20	0.0124	0.0195	0.150	1.069	38554.35	0.0071	274.16	Zh_SW-3	99
0.25	0.25	0.30	0.0128	0.0195	0.065	1.125	53642.63	0.0067	357.80	Zh_SW-4	100
0.13	0.09	0.09	0.0110	0.0136	0.015	1.061	121222.06	0.0027	321.42	S_LSW5	101
0.20	0.20	0.15	0.0178	0.0248	0.044	1.110	43029.69	0.0070	302.07	Z_SW-1	102
0.35	1.00	0.13	0.0055	0.0100	0.091	1.043	123099.08	0.0045	553.95	Z_SW6-3	103
0.03	0.03	0.07	0.0065	0.0086	0.243	1.796	141206.16	0.0021	290.46	C_CW3	104
1.00	1.00	1.00	0.0182	0.0291	0.108	1.180	152578.80	0.0109	1663.11	S_CI-1	105
0.35	1.00	0.20	0.0377	0.0421	0.025	1.297	19127.41	0.0044	83.87	G_B2C	106
0.25	0.17	0.19	0.0307	0.0371	0.103	1.461	588608.56	0.0063	3733.49	H_3C	107
0.70	0.90	1.00	0.0165	0.0200	0.079	1.370	129269.01	0.0035	456.19	H-No85	108
0.05	1.00	1.00	0.0082	0.0086	0.048	1.938	114426.73	0.0005	53.13	H-No13	109
0.50	1.00	1.00	0.0084	0.0090	0.058	2.002	98466.11	0.0006	58.37	H-No14	110
0.56	0.01	0.10	0.0064	0.0073	0.016	1.469	83962.75	0.0009	71.96	H-No15	111
0.05	0.17	0.18	0.0072	0.0079	0.015	1.155	138363.40	0.0007	98.79	H-No16	112

ادامه جدول ۲. پارامترهای کالیبره شده رفتار چرخهای دیوار برشی بلند

Table 2. Calibrated parameters of cyclic behavior of slender shear wall

λ_k	λ_c	λ_s	θ_p (rad)	θ_c (rad)	α_s	M_c/M_y	K_c (N.m/rad)	θ_y (rad)	M_y (N.m)	نام تست	شماره تست
0.07	0.08	0.14	0.0170	0.0213	0.257	1.932	506120.71	0.0043	2191.50	K_NW-6	113
1.00	1.00	0.25	0.0106	0.0133	0.074	1.301	6875.50	0.0027	18.34	TSHW1	114
0.05	0.05	0.06	0.0060	0.0080	0.391	1.960	7313.73	0.0026	19.02	T_SHW2	115
0.03	0.12	0.19	0.0105	0.0145	0.121	1.319	565268.54	0.0044	2487.18	TaM35X	116
0.02	0.10	0.13	0.0061	0.0066	0.336	3.414	13098.56	0.0006	7.86	Ta_SHW4	117
0.02	0.03	0.05	0.0091	0.0116	0.332	1.781	723399.71	0.0025	1841.34	Ta_M30H	118
0.05	0.07	0.09	0.0108	0.0131	0.171	1.658	900063.29	0.0023	2061.14	T_M35H	119
0.03	0.06	0.10	0.0091	0.0116	0.221	1.786	751755.05	0.0025	1913.22	Ta_MW35H	120
0.03	0.08	0.12	0.0103	0.0116	0.108	1.829	1422465.88	0.0013	1913.22	Ta_P35H.	121
0.60	1.00	1.00	0.0028	0.0032	0.306	4.383	166088.05	0.0005	76.65	L_W1	122
0.10	0.09	0.10	0.0060	0.0095	0.049	1.038	149186.85	0.0035	522.15	Z_SW6-1	123
0.13	0.11	0.13	0.0044	0.0055	0.173	1.471	281990.30	0.0012	324.29	ZSW6-2	124
0.20	0.20	0.25	0.0227	0.0306	0.058	1.167	519381.80	0.0079	4089.61	O_B9	125
1.00	0.48	0.05	0.0040	0.0068	0.125	1.182	104120.61	0.0028	288.62	Sa_LSW4.	126
0.60	1.00	1.00	0.0026	0.0038	0.353	2.013	186575.95	0.0012	229.49	L_W2	127
0.58	0.03	1.00	0.0126	0.0154	0.116	1.915	30561.05	0.0028	85.78	L_SW31	128
0.59	0.04	1.00	0.0132	0.0106	0.125	1.325	32230.75	0.0036	117.61	L_SW32	129
0.04	0.18	1.00	0.0133	0.0171	0.087	1.256	33107.78	0.0039	127.46	L_SW33	130
0.65	0.12	0.25	0.0085	0.0113	0.077	1.231	420622.54	0.0028	1188.68	N_No.4.	131
0.55	0.19	0.04	0.0047	0.0065	0.266	2.294	305649.66	0.0020	597.85	N_No.3	132
0.45	0.10	0.95	0.0043	0.0032	0.221	2.125	361556.78	0.0011	408.70	N_No.2	133
0.35	1.00	1.00	0.0042	0.0046	0.065	3.058	1078818.00	0.0003	375.21	N_No.1	134
0.24	0.10	0.06	0.0086	0.0135	0.032	1.070	68521.62	0.0049	338.98	Sa_MSW3	135

جدول ۳. پارامترهای کالیبره شده رفتار چرخهای دیوار برشی کوتاه

Table 3. Calibrated parameters of cyclic behavior of squat shear wall

λ_c	λ_s	θ_{pc} (rad)	LB	θ_c (rad)	α_s	M_c/M_y	K (kips.in/rad)	θ_y (rad)	M_y (kips.in)	نام تست	شماره تست
0.20	0.18	0.035	1	0.0094	0.04	1.57	19470825	0.0004	7788.3	RCW1	1
0.60	0.60	0.015	1	0.0049	0.30	2.59	7965329	0.0007	5575.7	RCW3	2
0.10	0.03	0.05	1	0.0034	0.10	1.12	7346350	0.0016	11974.6	P2015	3
0.10	0.15	nd	0	0.0041	0.10	1.11	19705362	0.0012	23646.4	PW1	4
0.10	0.15	nd	0	0.0030	0.12	1.17	60989822	0.0010	58306.3	PW2	5
0.20	0.10	0.001	1	0.0038	0.14	1.11	23175033	0.0012	28505.3	PW3	6
0.10	0.15	nd	0	0.0025	0.10	1.09	24147044	0.0011	26561.8	PW4	7
0.20	0.15	nd	0	0.0111	0.10	1.28	7167831	0.0018	13045.5	LWFD1	8
0.25	0.13	0.0095	1	0.0159	0.12	1.19	5489572	0.0023	12461.3	LWFD2	9
0.25	0.25	nd	0	0.0182	0.07	1.24	5143239	0.0016	8177.8	MWFD1	10
0.19	0.20	0.0238	1	0.0259	0.10	1.27	3516758	0.0023	7983.0	MWFD2	11

ادامه جدول ۳. پارامترهای کالیبره شده رفتار چرخهای دیوار برشی کوتاه

Table 3. Calibrated parameters of cyclic behavior of squat shear wall

0.20	0.18	nd	0	0.0096	0.18	1.48	3373427	0.0021	7185.4	W7101	12
0.13	0.06	nd	0	0.0049	0.17	1.20	2927350	0.0024	7052.6	W7102	13
0.35	0.20	0.039	1	0.0069	0.05	1.36	10720065	0.0006	6571.4	W7103	14
0.15	0.15	0.05	1	0.0072	0.09	1.18	3613306	0.0019	6720.8	W7104	15
0.35	0.30	0.0027	1	0.0084	0.20	1.41	2003947	0.0022	4369.0	W7105	16
0.50	0.50	nd	0	0.0299	0.05	1.10	242189	0.0044	1075.3	H-1.4-N0.25	17
0.40	0.40	0.015	1	0.0211	0.04	1.01	430128	0.0030	1290.4	H-1.4-N0.33	18
0.50	0.50	nd	0	0.0311	0.05	1.12	222453	0.0033	740.8	H-2-N0.33	19
0.10	0.10	nd	0	0.0137	0.10	1.20	772414	0.0014	1120.0	M1	20
0.19	0.19	nd	0	0.0177	0.13	1.09	359375	0.0032	1150.0	M2	21
0.14	0.12	nd	0	0.0051	0.25	1.29	407142	0.0021	855.0	M3	22
0.16	0.16	nd	0	0.0100	0.13	1.31	629000	0.0010	629.0	M4	23
0.20	0.20	nd	0	0.0051	0.08	1.16	6112290	0.0018	10757.6	7-1	24
0.11	0.11	0.004	1	0.0076	0.10	1.51	10030422	0.0007	7372.4	7-2	25
0.15	0.15	0.02	1	0.0055	0.15	1.65	10030422	0.0007	7372.4	7-3	26
0.30	0.30	nd	0	0.0050	0.13	1.73	10243830	0.0007	7221.9	7-4	27
0.20	0.20	nd	0	0.0113	0.10	1.17	5159551	0.0020	10577.1	7-5	28
0.30	0.45	nd	0	0.0200	0.08	1.32	3656830	0.0022	8154.7	8-3	29
0.30	0.45	nd	0	0.0200	0.04	1.37	6207719	0.0013	8380.4	8-4	30
1.00	1.00	nd	0	0.0028	0.05	1.26	276217	0.0008	216.8	_1-1 Hirosawa	31
1.00	1.00	nd	0	0.0046	0.14	1.59	423333	0.0006	254.0	_1-2 Hirosawa	32
1.00	1.00	nd	0	0.0054	0.10	1.52	503359	0.0006	322.2	_1-3 Hirosawa	33
1.00	1.00	nd	0	0.0036	0.10	1.67	563201	0.0005	297.4	_1-4 Hirosawa	34
1.00	1.00	nd	0	0.0006	0.12	1.24	774400	0.0002	154.9	_2-1 Hirosawa	35
1.00	1.00	nd	0	0.0006	0.10	1.36	1137214	0.0001	159.2	_2-2 Hirosawa	36
1.00	1.00	nd	0	0.0023	0.06	1.10	392229	0.0008	307.9	_2-3 Hirosawa	37
0.10	0.08	0.003	1	0.0013	0.10	1.66	40845592	0.0002	6208.5	MW1	38
0.20	0.02	0.005	1	0.0037	0.20	2.21	20773759	0.0003	5858.2	LW1	39
1.50	0.30	nd	0	0.0083	0.07	1.01	2603627	0.0072	18798.2	WF-12	40
0.60	0.25	nd	0	0.0111	0.25	1.04	4609625	0.0067	30746.2	WF-15	41
0.30	0.30	nd	0	0.0048	0.12	1.35	2329886	0.0010	2246.0	SSW-2	42
0.30	0.30	nd	0	0.0089	0.13	1.62	2762757	0.0011	2956.2	SSW-3	43
0.60	0.60	0.04	1	0.0300	0.20	1.55	8629118	0.0040	34516.5	HW-1	44
0.70	0.30	0.021	1	0.0150	0.40	1.57	9956673	0.0040	39826.7	HW-2	45
0.90	0.50	nd	0	0.0200	0.13	1.38	8949816	0.0027	23896.0	HW-3	46
0.40	0.40	nd	0	0.0124	0.23	1.35	598035	0.0031	1871.9	I'	47
0.30	0.40	0.02	1	0.0161	0.30	1.68	83058	0.0034	285.0	SW13	48
0.10	0.10	nd	0	0.0081	0.40	1.71	85444	0.0025	210.3	SW16	49
0.20	0.20	nd	0	0.0065	0.40	1.61	105000	0.0022	231.0	SW17	50
0.25	0.25	0.06	1	0.0049	0.55	3.11	162069	0.0009	141.0	SW18	51
0.15	0.15	0.004	1	0.0050	0.30	1.25	3004635	0.0020	5919.1	WS-T1-S1	52
0.24	0.23	nd	0	0.0100	0.05	1.12	2266642	0.0016	3726.4	WS-T4-S2	53
0.30	0.30	0.06	1	0.0064	0.11	1.24	5267049	0.0012	6478.5	WP-T5-N10-S2	54
0.40	0.38	0.018	1	0.0171	0.12	1.27	1531793	0.0021	3186.1	F1W5-1.3-0.014	55
0.40	0.25	0.011	1	0.0247	0.12	1.34	1886706	0.0017	3207.4	F1W5-1.3-1.4	56
0.10	0.18	0.1	1	0.0091	0.13	1.15	1501920	0.0023	3504.8	FS1W5-2.5-0.014	57
0.40	0.10	0.017	1	0.0070	0.25	1.19	1656880	0.0025	4142.0	FS1W5-2.5-1.4	58
0.10	0.12	0.012	1	0.0083	0.60	1.70	1459400	0.0023	3398.5	S1W5-4.5-0.014	59
0.10	0.10	0.014	1	0.0071	0.60	1.73	1770048	0.0021	3717.1	S1W5-4.5-1.4	60
0.13	0.13	nd	0	0.0051	0.11	1.26	22077947	0.0011	24837.7	I-1	61
0.13	0.13	nd	0	0.0087	0.10	1.30	18377316	0.0011	20674.5	I-2	62
0.50	0.70	nd	0	0.0253	0.05	1.13	2234008	0.0031	6947.8	HRI-W2	63
0.60	0.70	nd	0	0.0247	0.07	1.17	2001579	0.0031	6224.9	HRI-W5	64
0.60	0.60	nd	0	0.0115	0.05	1.05	1621676	0.0036	5757.0	HRI-W7	65

ادامه جدول ۳. پارامترهای کالیبره شده رفتار چرخهای دیوار برشی کوتاه

Table 3. Calibrated parameters of cyclic behavior of squat shear wall

0.50	0.50	nd	0	0.0067	0.08	1.26	4001797	0.0018	7083.2	HRI-W8	66
0.25	0.50	nd	0	0.0055	0.22	1.60	11721460	0.0012	14534.6	DP1	67
0.25	0.25	0.007	1	0.0044	0.22	2.04	12959919	0.0006	8009.2	DP2	68
0.06	0.06	nd	0	0.0060	0.22	1.26	4679190	0.0020	9358.4	1 wall	69
0.90	0.10	nd	0	0.0050	0.19	1.25	6035352	0.0018	10622.2	2 wall	70
1.00	0.10	nd	0	0.0055	0.15	1.11	1573333	0.0015	2410.0	LSW1	71
1.00	0.09	nd	0	0.0043	0.18	1.17	1093533	0.0016	1751.0	LSW2	72
1.00	0.10	nd	0	0.0040	0.19	1.27	1506960	0.0013	1883.7	LSW4	73
1.00	0.17	nd	0	0.0056	0.20	1.16	1012261	0.0023	2328.2	LSW5	74
1.00	0.18	nd	0	0.0085	0.33	1.39	960000	0.0025	2400.0	MSW1	75
1.00	0.25	nd	0	0.0085	0.17	1.24	960000	0.0025	2400.0	MSW2	76
1.00	0.25	nd	0	0.0081	0.17	1.24	960000	0.0025	2400.0	MSW3	77
1.00	0.25	nd	0	0.0060	0.21	1.27	960000	0.0025	2400.0	MSW4	78
1.00	0.21	nd	0	0.0090	0.50	1.45	600000	0.0040	2400.0	MSW6	79
0.60	0.70	nd	0	0.0186	0.07	1.12	3026229	0.0053	16129.8	WC150	80
1.00	0.55	nd	0	0.0093	0.09	1.10	4711890	0.0036	16727.2	WD150	81
0.85	0.85	nd	0	0.0157	0.13	1.22	3504064	0.0047	16328.9	WD170	82
1.00	0.40	nd	0	0.0154	0.10	1.05	3298971	0.0049	16090.0	WD200	83
0.38	0.38	0.035	1	0.0174	0.07	1.09	2312040	0.0037	8600.8	W1	84
1.00	0.65	nd	0	0.0146	0.10	1.16	2412679	0.0042	10085.0	W2	85
0.65	0.40	nd	0	0.0174	0.14	1.19	1836543	0.0049	8962.3	W3	86
0.45	0.45	nd	0	0.0138	0.11	1.16	3132351	0.0033	10180.1	W4	87
0.15	0.15	0.0006	1	0.0050	0.20	1.24	125787	0.0020	254.1	93SWH-6	88
0.50	0.20	0.004	1	0.0102	0.60	1.40	41722	0.0053	219.0	96SWH-4	89
1.00	0.10	nd	0	0.0138	0.02	1.03	958778	0.0009	862.9	Tuboi_2-1	90
1.00	0.10	nd	0	0.0086	0.02	1.05	827510	0.0010	827.5	Tuboi_2-2	91
0.95	0.30	0.005	1	0.0162	0.07	1.14	974083	0.0033	3185.3	0.05'	92
0.50	0.40	nd	0	0.0168	0.10	1.26	1533441	0.0021	3266.2	0.1'	93
0.40	0.70	nd	0	0.0068	0.25	1.67	2239530	0.0012	2575.5	SW2-1	94
1.00	0.72	nd	0	0.0061	0.23	1.56	2138385	0.0011	2422.8	SW2-2	95
1.00	0.60	nd	0	0.0147	0.12	1.12	2193410	0.0057	12568.2	RW-A15-P10-S78	96
1.00	0.02	nd	0	0.0055	0.12	1.02	2411511	0.0041	9863.1	B3-2	97
0.50	0.70	nd	0	0.0253	0.05	1.13	2234008	0.0031	6947.8	WR-20	98
0.50	0.50	nd	0	0.0140	0.18	1.19	1523370	0.0040	6093.5	WR-0	99

خمشی (K_{exp}/K_p) ، نسبت سختی آزمایشگاهی به سختی برشی (K_{exp}/K_v) ، نسبت سختی آزمایشگاهی به سختی ترک نخورده دیوار (K_{exp}/K_{tot}) ، نسبت سختی با رفتار غالب خمشی (K_{pauly}) محاسبه شده است. جدول ۴ آماره‌های توصیفی برای هر نسبت سختی را

در ادامه توصیف آماری پارامترهای فوق برای دیوارهای برشی بلند و کوتاه به طور مجزا ارائه می‌شود.

۴-۱- دیوارهای برشی بلند

آماره‌های توصیفی برای نسبت سختی آزمایشگاهی به سختی

جدول ۴. آماره‌های توصیفی برای نسبت‌های سختی دیوارهای برشی مستطیلی بلند

Table 4. Descriptive statistics for the stiffness ratios of slender rectangular shear walls

K_{exp}/K_f	K_{exp}/K_V	K_{exp}/K_{tot}	K_{pauy}	شاخص آماری
۰/۱۶۱	۰/۱۵۴	۰/۳۱۵	۰/۳۲۵	میانگین
۰/۱۷۱	۰/۱۱۶	۰/۲۸۷	۰/۳۰۵	میانه
۰/۱۲۱	۰/۰۹۱۵	۰/۱۷۵	۰/۰۸۱	انحراف استاندارد

جدول ۵. آماره‌های توصیفی برای پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بلند

Table 5. Descriptive statistics for the parameters of cyclic behavior of the slender shear walls

میانگین	میانه	انحراف استاندارد	محدوده بدست آمده	پارامتر
۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۱۴۲	۰/۰۰۲۵-۰/۰۰۷۵	دوران تسلیم (rad)
۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۹۶۴۱	۰/۰۱۰۰-۰/۰۱۵	دوران پلاستیک (rad)
۱/۳۰۱	۱/۱۵۷	۰/۴۴۳	۱-۱/۷۵	نسبت سخت‌شوندگی کرنشی (M_c/M_y)
۴/۹۷۰	۴/۲۷۹	۲/۷۵	۲/۵-۷/۵	نسبت شکل‌پذیری (θ_c/θ_y)
۰/۴۵۸	۰/۳	۰/۳۷۱	۰/۲۵-۰/۷۵	زوال مقاومت اصلی (λ_s)
۰/۳۱۴	۰/۲۵	۰/۲۶۱	۰/۱۵-۰/۵۵	زوال مقاومت شاخه نزولی (λ_c)
۰/۸۷۱۷	۱/۰	۰/۱۸۲	۰/۹۵-۱/۰	زوال سختی بارگذاری مجدد (λ_h)
۰/۳۶۷	۰/۲۷۵	۰/۲۰۲	۰/۲۵۰۰-۰/۵۵۰	زوال سختی باربرداری (λ_k)

درون چرخه‌ای خواهد بود. در اغلب نمونه‌های آزمایشگاهی دیوارهای برشی کوتاه، پروتکل بارگذاری به نمونه این اجازه را نداده است که به اندازه‌ای تغییر شکل بدهد تا در آن نقطه‌ی مقاومت اوج به‌طور آشکار دیده شود. در نمونه‌های مورد مطالعه تنها ۳۱ نمونه دارای رفتار سختی منفی بعد از نقطه‌ی اوج می‌باشند. نتایج پارامتر دوران پلاستیک بعد از نقطه‌ی اوج، مربوط به نمونه‌هایی است که در آنها نقطه‌ی حداکثر و سختی منفی دیده شده است.

نتایج حاصل از کالیبراسیون این نوع دیوارها، نشان می‌دهد که مقادیر متفاوت پارامترهای زوال سختی باربرداری (λ_k) و زوال سختی بارگذاری مجدد (λ_h) تفاوت چندانی در نتایج ایجاد نمی‌کند و می‌توان آن‌ها را برابر با مقادیر زوال مقاومت در نظر گرفت؛ اما پیشنهاد می‌شود که برای این دو پارامتر زوال چرخه‌ای مقدار یک در نظر گرفته شود. با توجه به داده‌های آزمایشگاهی در اکثر نمونه‌ها مقاومت باقی‌مانده (F_r) در منحنی رفتار چرخه‌ای آن‌ها مشاهده نمی‌شود. از طرفی به دلیل محدود بودن داده‌های موجود برای کمی کردن این پارامتر، توصیه می‌شود به‌صورت محافظه‌کارانه مقدار صفر

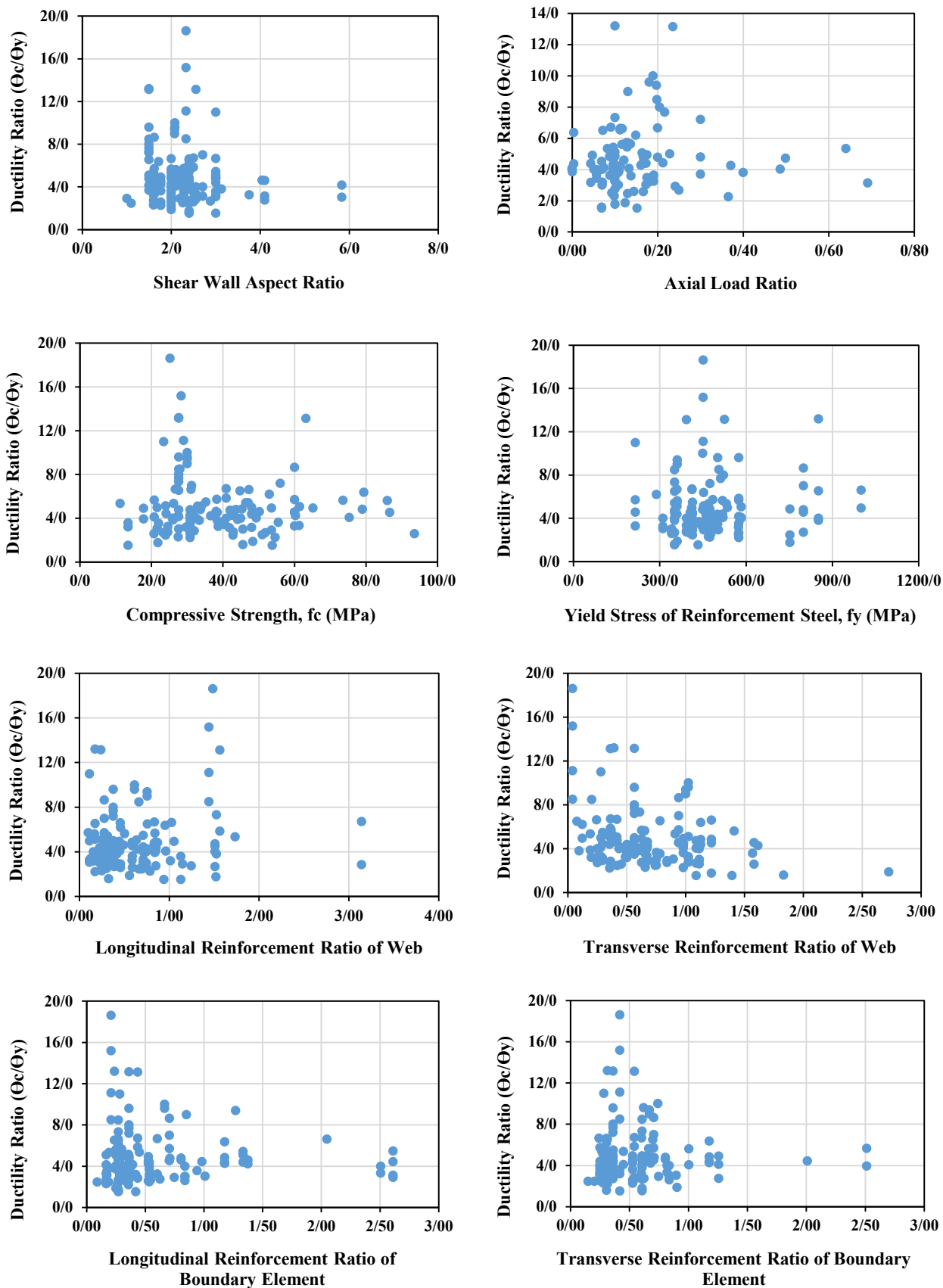
نشان می‌دهد که شامل میانگین، میانگین اصلاح شده، میانه و انحراف استاندارد می‌باشد.

در جدول ۵ و شکل‌های ۷ تا ۱۴ آماره‌های توصیفی و نمودارهای هیستوگرام فراوانی برای سایر پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بلند ارائه شده است.

۲-۴- دیوارهای برشی کوتاه

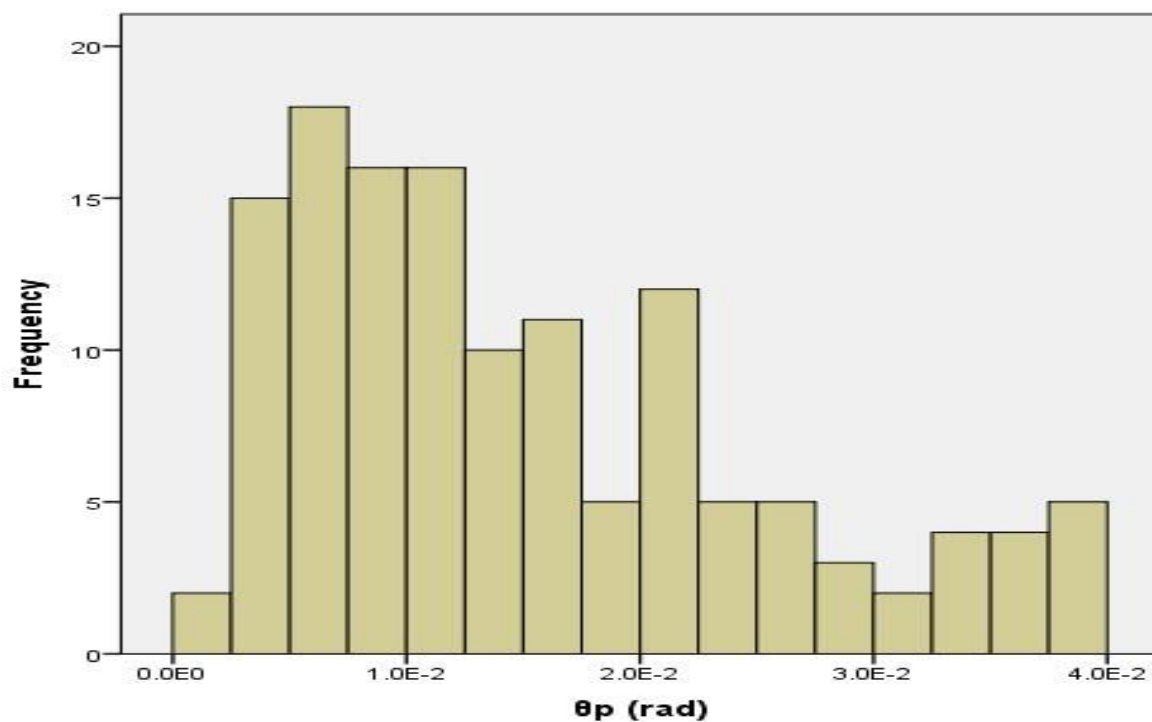
با توجه به مطالبی که در قسمت ۴-۱ بیان شد، نتایج حاصل برای نسبت سختی دیوارهای برشی مستطیلی کوتاه در جدول ۶ ارائه شده است.

آماره‌های توصیفی و نمودارهای هیستوگرام فراوانی برای سایر پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوار برشی کوتاه در جدول ۷ و شکل‌های ۱۵ تا ۲۰ گزارش و نشان داده شده است. لازم به ذکر است پارامتر دوران پلاستیک بعد از نقطه‌ی اوج را زمانی می‌توان در نظر گرفت که سختی منفی بعد از نقطه‌ی اوج به‌طور واضح در نتایج آزمایشگاهی مشاهده شود. در صورت وجود این پارامتر نمونه دارای رفتار زوال

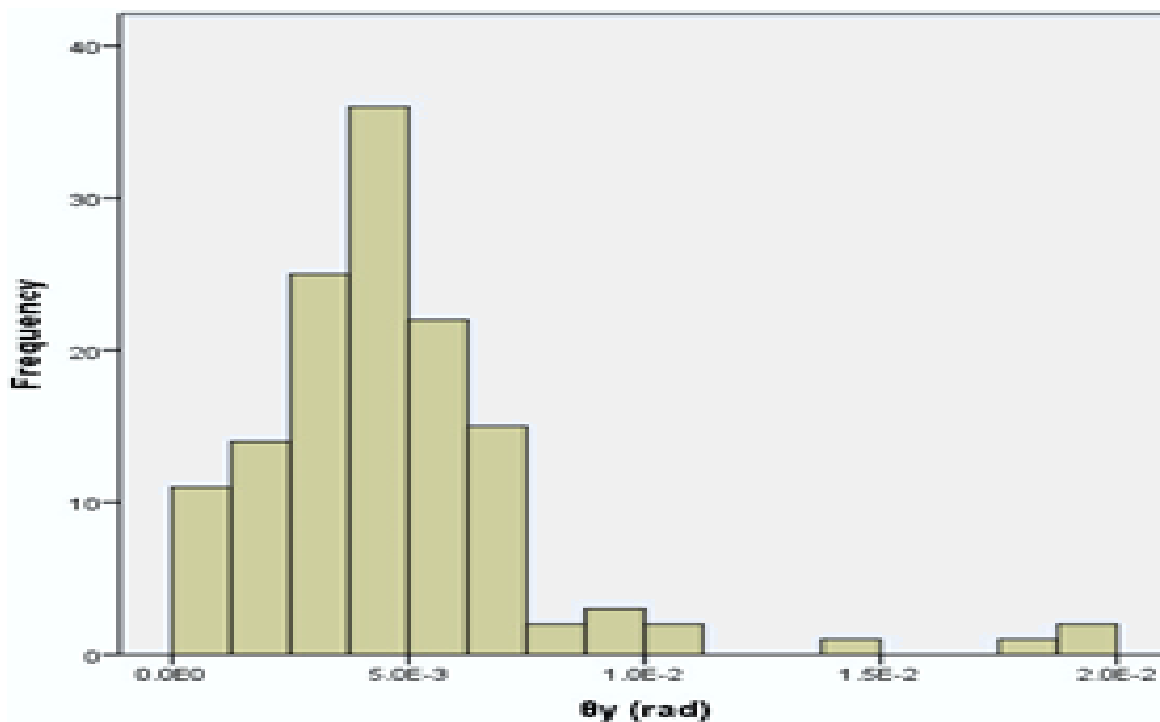


شکل ۶. نمودار پراکنش نسبت شکل پذیری (θ_c/θ_y) بر حسب پارمترهای طراحی دیوار برشی بلند

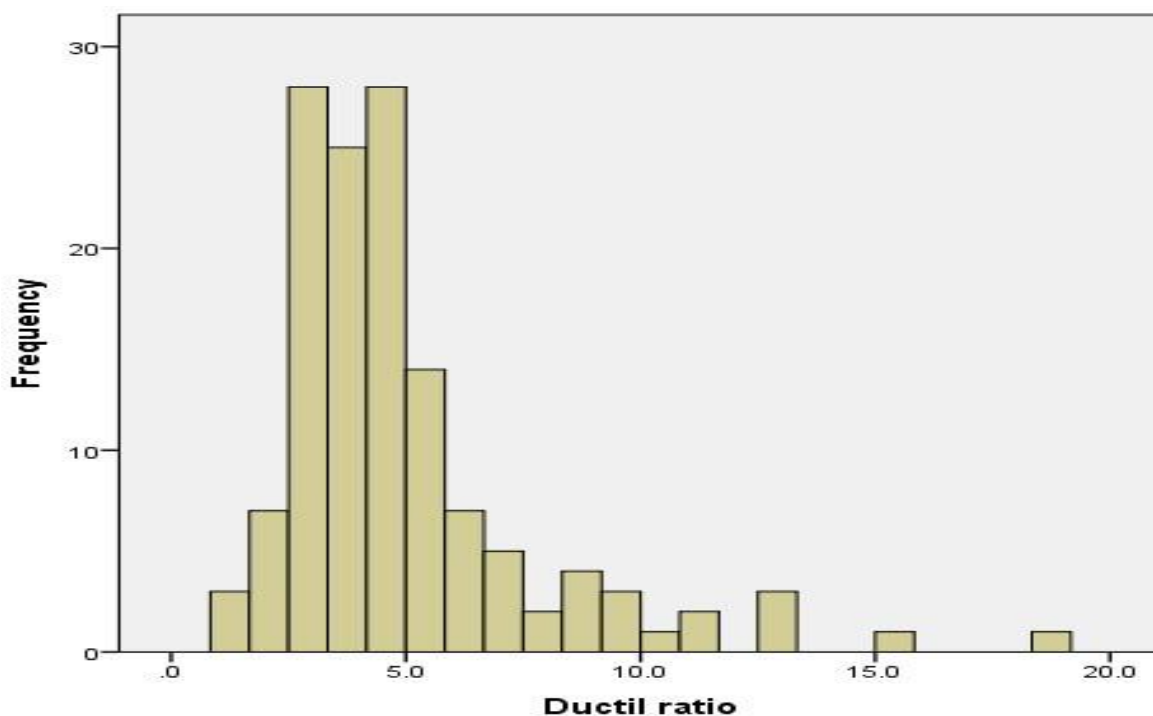
Fig. 6. Scatter diagram of ductility ratio versus to design parameters of slender shear walls



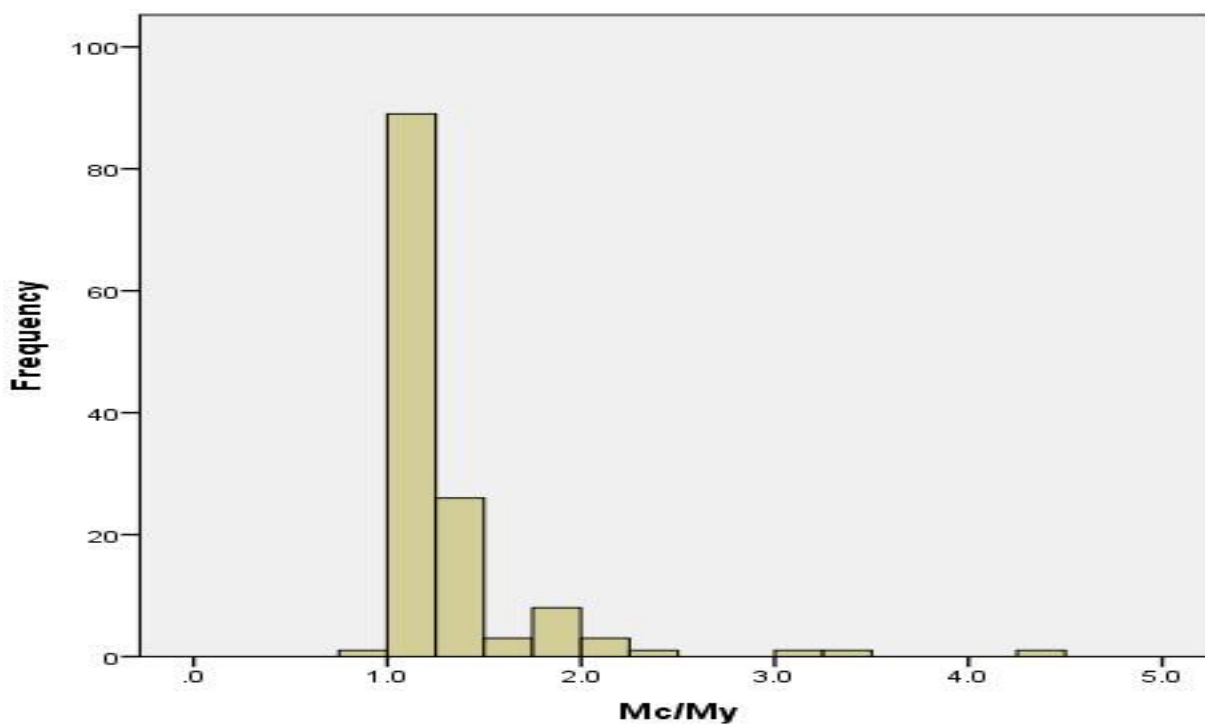
شکل ۷. هیستوگرام فراوانی پارامتر دوران پلاستیک (θ_p) برای دیوار برشی بلند
 Fig. 7. Frequency histogram of the plastic rotation (θ_p) of slender shear walls



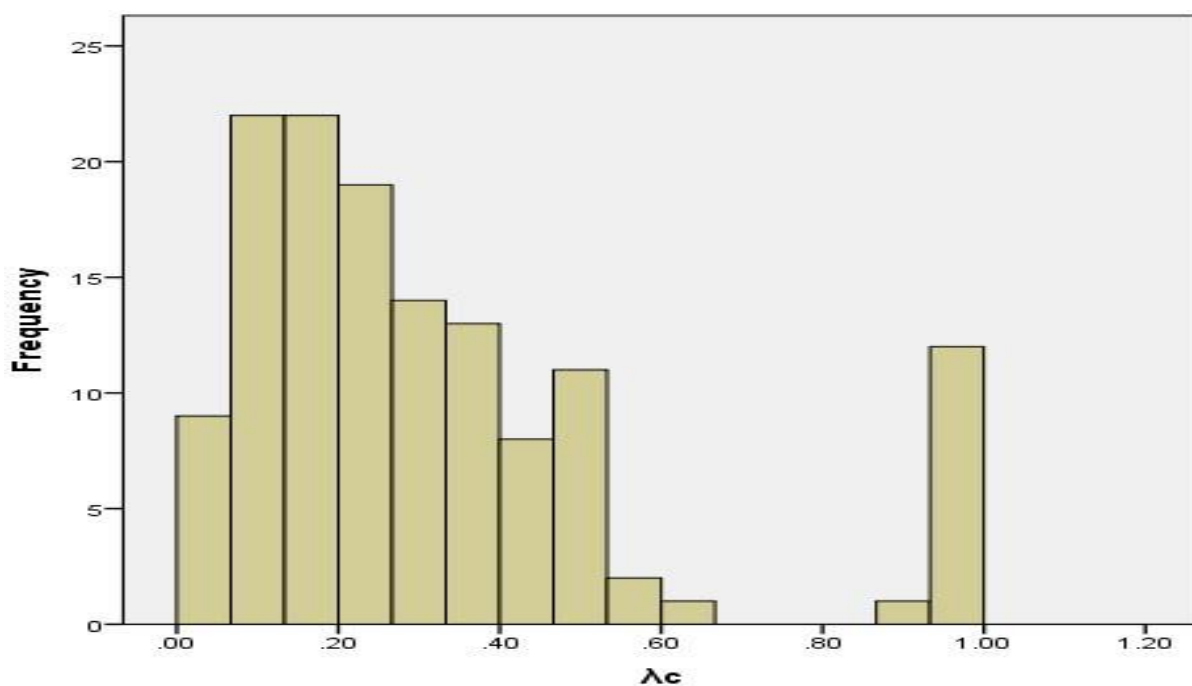
شکل ۸. هیستوگرام فراوانی پارامتر دوران تسلیم (θ_y) برای دیوار برشی بلند
 Fig. 8. Frequency histogram of the yield rotation



شکل ۹. هیستوگرام فراوانی پارامتر نسبت شکل پذیری (θ_c/θ_y) برای دیوار برشی بلند
 Fig. 9. Frequency histogram of the ductility ratio (θ_c/θ_y) of slender shear walls

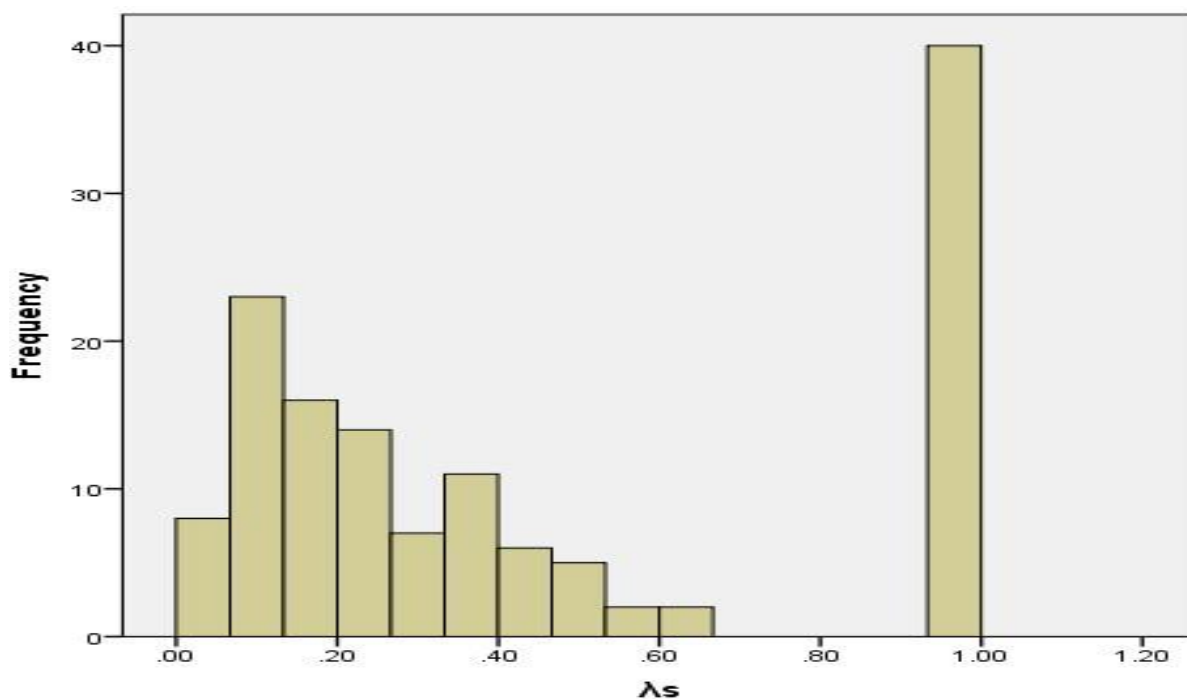


شکل ۱۰. هیستوگرام فراوانی پارامتر نسبت سخت‌شوندگی کرنشی (M_c/M_y) برای دیوار برشی بلند
 Fig. 10. Frequency histogram of the strain hardening ratio (M_c/M_y) of slender shear walls



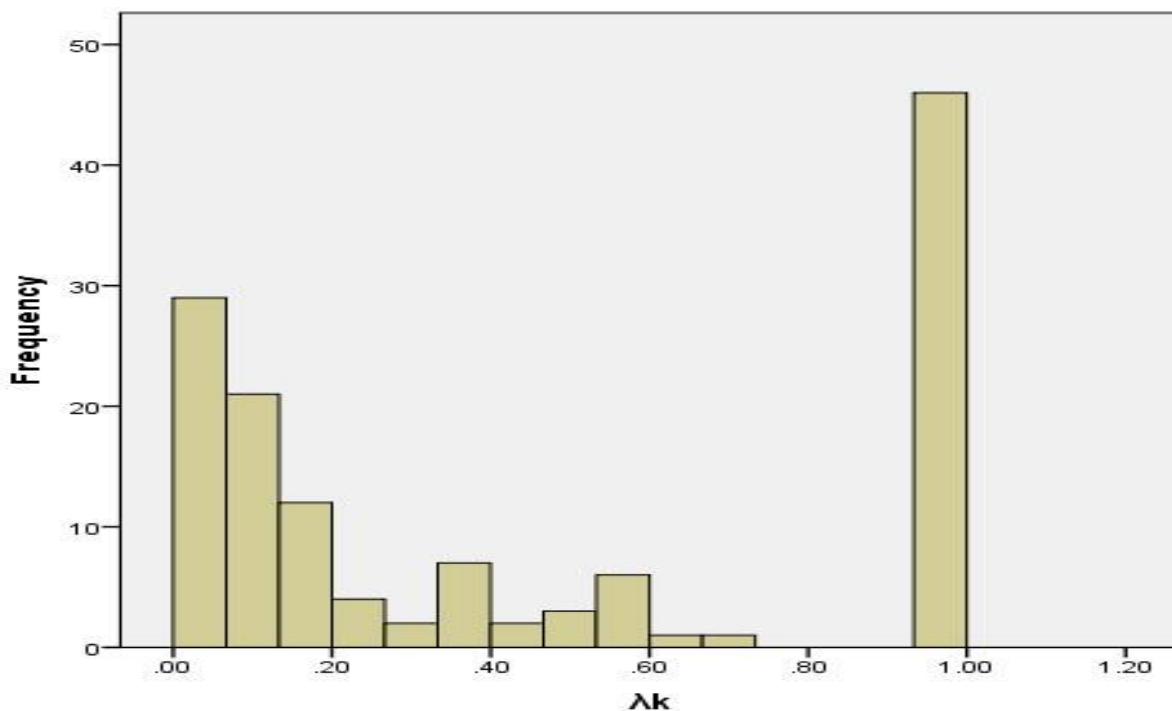
شکل ۱۱. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال مقاومت شاخه نزولی (λ_c) برای دیوار برشی بلند

Fig. 11. Frequency histogram of the post-capping strength deterioration parameter (λ_c) of slender shear



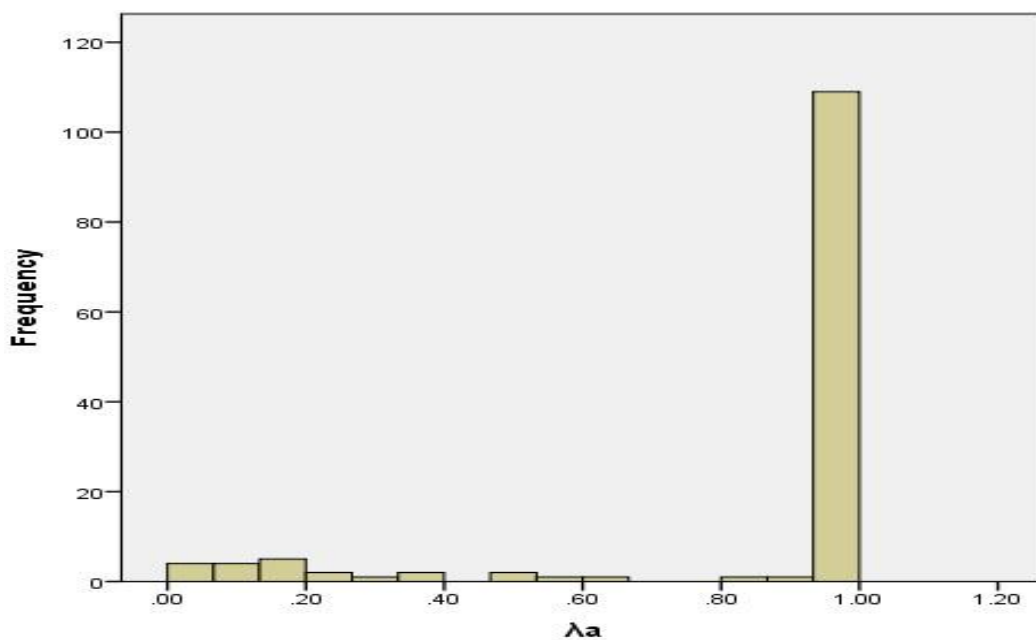
شکل ۱۲. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال مقاومت اصلی (λ_s) برای دیوار برشی بلند

Fig. 12. Frequency histogram of the basic strength



شکل ۱۳. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال سختی باربرداری (λ_k) برای دیوار برشی بلند

Fig. 13. Frequency histogram of the unloading stiffness deterioration parameter (λ_k) of slender shear walls



شکل ۱۴. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال سختی بارگذاری مجدد (λ_a) برای دیوار برشی بلند

Fig. 14. Frequency histogram of the accelerated reloading stiffness deterioration parameter (λ_a) of slender shear walls

جدول ۶. آماره‌های توصیفی برای نسبت‌های سختی دیوارهای برشی مستطیلی کوتاه

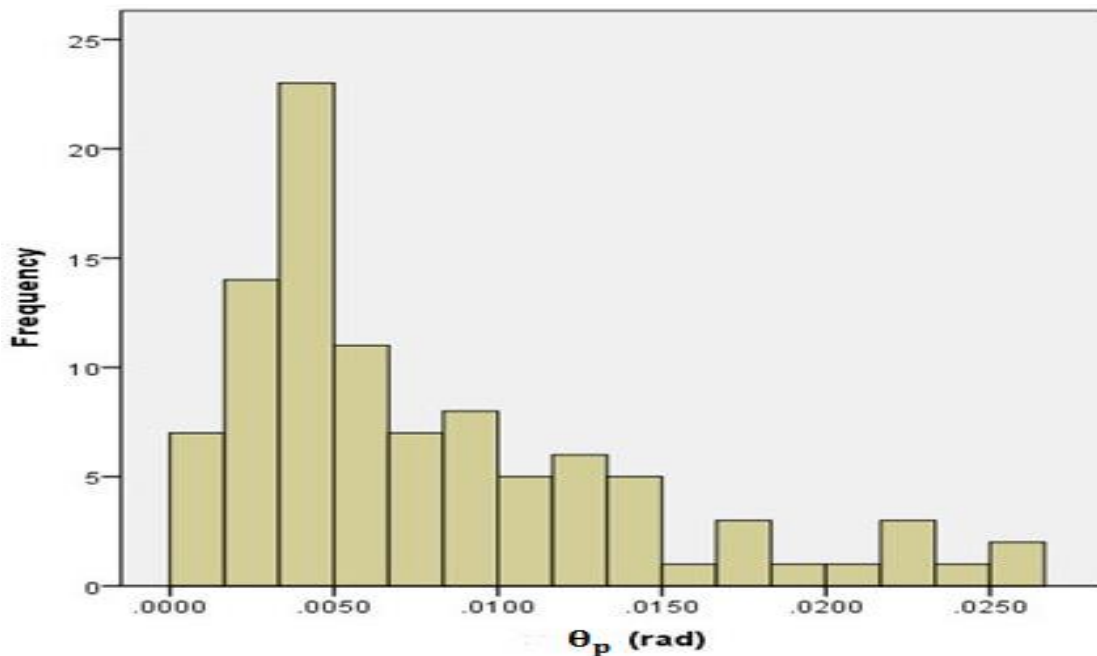
Table 6. Descriptive statistics for the stiffness ratios of squat rectangular shear walls shear walls

K_{exp}/K_f	K_{exp}/K_V	K_{exp}/K_{tot}	K_{pau}	شاخص آماری
۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۲۴	میانگین
۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۲۳	میانه
۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۸	انحراف استاندارد

جدول ۷. آماره‌های توصیفی برای پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوار برشی کوتاه

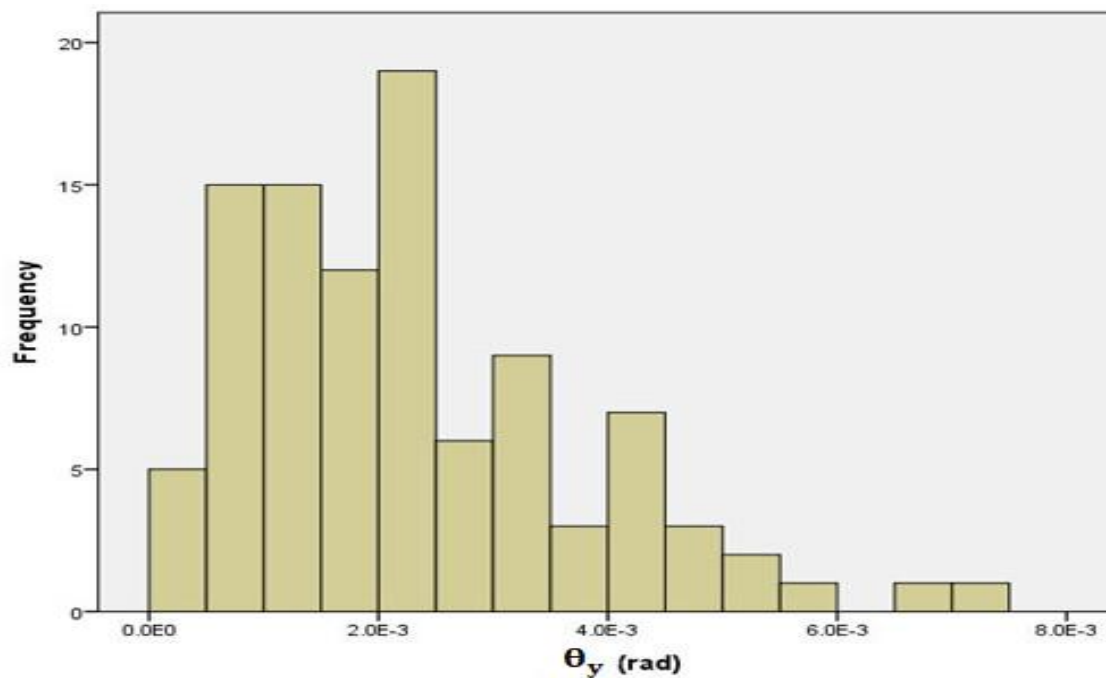
Table 7. Descriptive statistics for the parameters of cyclic behavior of the squat shear walls

میانگین	میانه	انحراف استاندارد	محدوده بدست آمده	پارامتر
۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۵-۰/۰۰۲۰	دوران تسلیم (rad)
۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۵۵-۰/۰۰۸۵	دوران پلاستیک (rad)
۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱۵-۰/۰۰۲۴	دوران پلاستیک بعد از نقطه اوج (rad)
۱/۲۴	۱/۲۳	۰/۱۲	۱/۱-۱/۳۵	نسبت سخت‌شوندگی کرنشی (M_c/M_y)
۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۰۶۵	۰/۲۳-۰/۳۰۵	زوال مقاومت اصلی (λ_c)
۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۱	۰/۲۰-۰/۳۲	زوال مقاومت شاخه نزولی (λ_c)

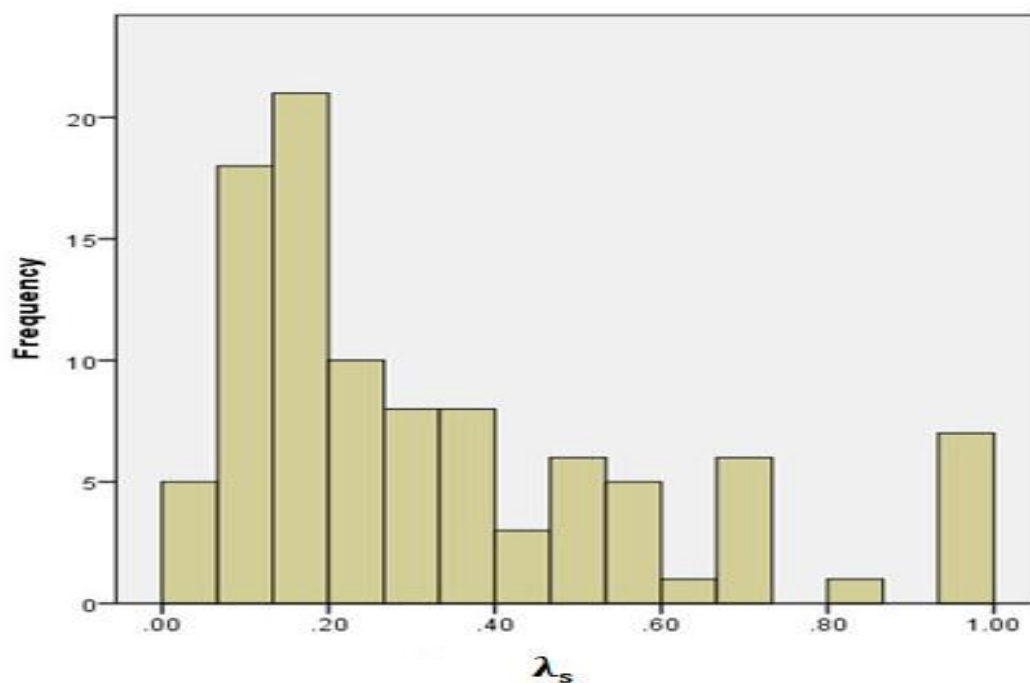


شکل ۱۵. هیستوگرام فراوانی پارامتر دوران پلاستیک (θ_p) برای دیوار برشی کوتاه

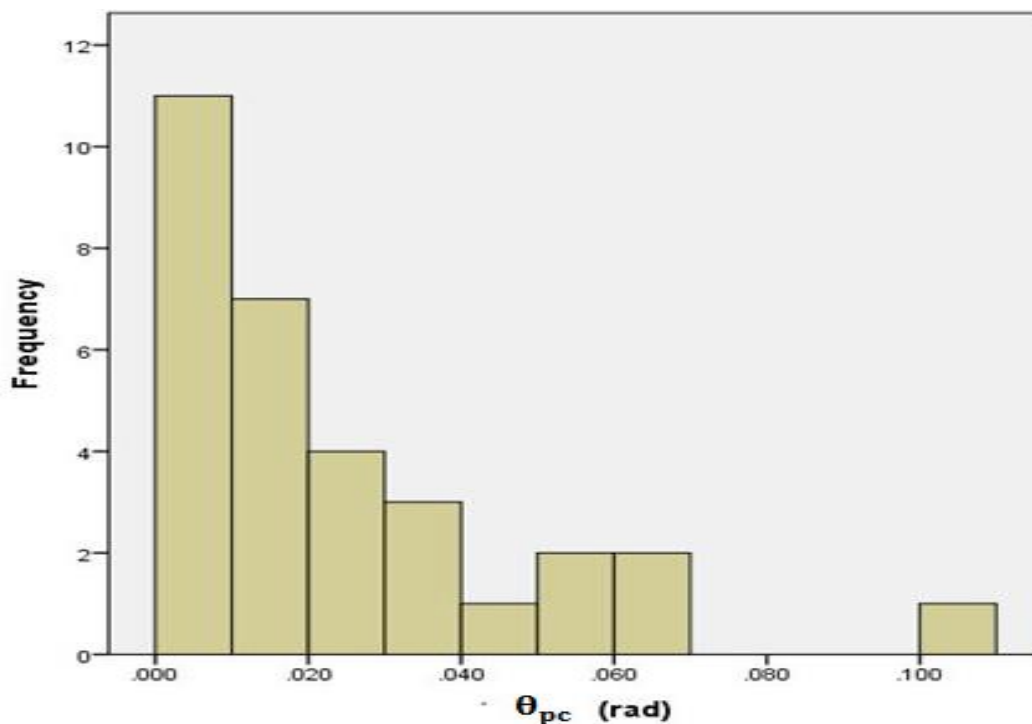
Fig. 15. Frequency histogram of the plastic rotation (θ_p) of squat shear walls



شکل ۱۶. هیستوگرام فراوانی پارامتر دوران تسلیم (θ_y) برای دیوار برشی کوتاه
 Fig. 16. Frequency histogram of the yield rotation (θ_y) of squat shear walls

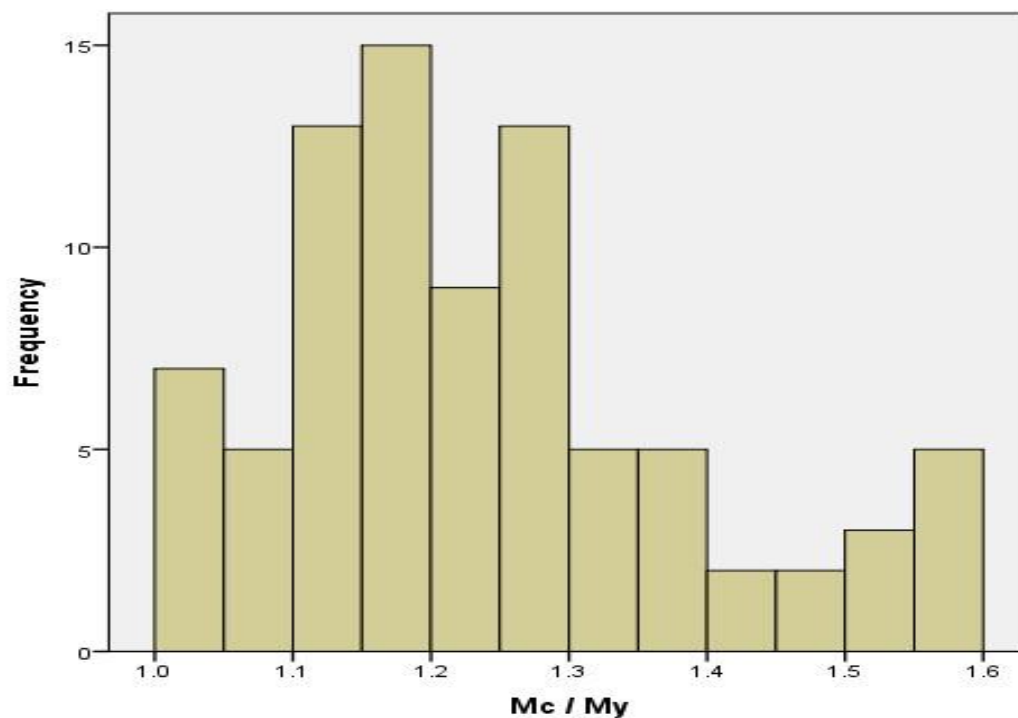


شکل ۱۷. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال مقاومت اصلی (λ_s) برای دیوار برشی کوتاه
 Fig. 17. Frequency histogram of the basic strength deterioration parameter (λ_s) of squat shear walls



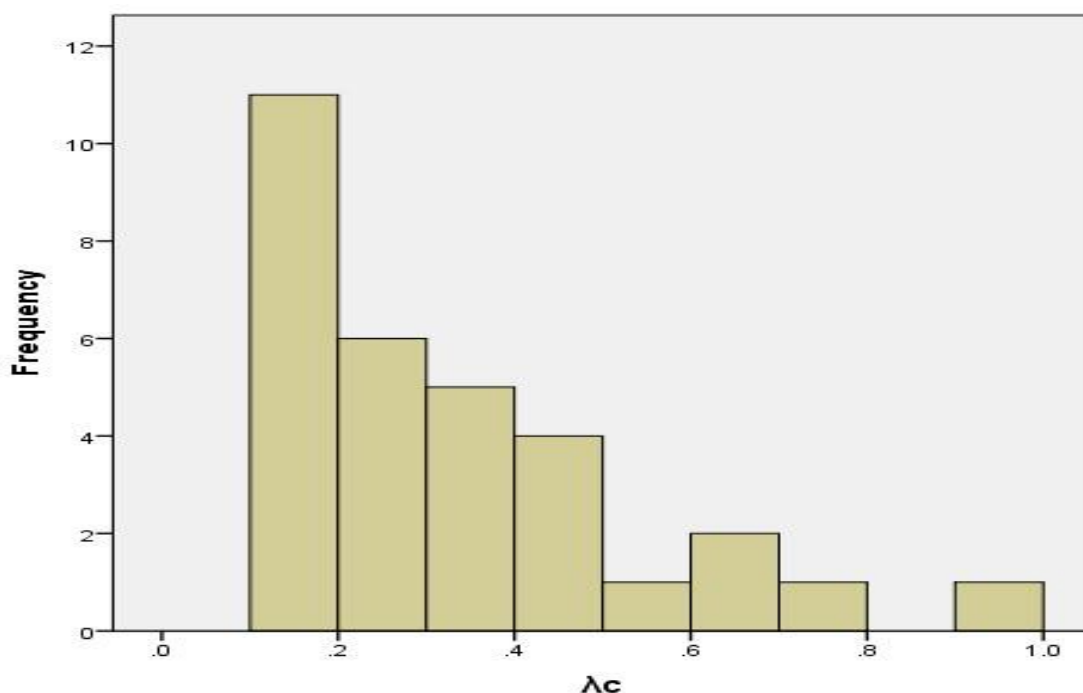
شکل ۱۸. هیستوگرام فراوانی پارامتر دوران پلاستیک بعد از نقطه‌ی اوج (θ_{pc}) برای دیوار برشی کوتاه

Fig. 18. Frequency histogram of the post-capping plastic rotation (θ_{pc}) of squat shear walls



شکل ۱۹. هیستوگرام فراوانی پارامتر نسبت سختی بعد از نقطه‌ی تسلیم (M_c / M_y) برای دیوار برشی کوتاه

Fig. 19. Frequency histogram of the strain hardening ratio (M_c / M_y) of squat shear walls



شکل ۲۰. هیستوگرام فراوانی پارامتر زوال مقاومت شاخه نزولی (λ_c) برای دیوار برشی کوتاه

Fig. 20. Frequency histogram of the post-capping strength deterioration parameter (λ_c) of squat shear walls

- برای در نظر گرفتن زوال در مدل سازی از منحنی پشتواره مدل اصلاح شده‌ی ایبارا-کراوینکلر استفاده شده است. نتایج حاصل از کالیبراسیون نشان می‌دهد که این مدل در صورت انتخاب مقادیر صحیح به خوبی می‌تواند رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی بلند و کوتاه را شبیه‌سازی کند.
- بر اساس الگوهای رفتار چرخه‌ای آزمایشگاهی، از میان مدل‌های چرخه‌ای ایبارا-کراوینکلر، به منظور کالیبراسیون، بهتر است از مدل جمع‌شونده برای دیوارهای برشی کوتاه و از مدل قله‌گرا برای دیوارهای برشی بلند استفاده شود. زیرا نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند که دیوارهای کوتاه دارای رفتار جمع‌شونده و دیوارهای برشی بلند غالباً دارای رفتار قله‌گرا می‌باشند.
- نتایج حاصل از کالیبراسیون نشان می‌دهد که مقادیر متفاوت پارامترهای زوال سختی باربرداری (λ_p) و زوال سختی بارگذاری

یا نزدیک به صفر برای این پارامتر در نظر گرفته شود. توان c نشان‌دهنده‌ی تغییر نرخ زوال چرخه‌ای می‌باشد و می‌توان مقادیر متفاوتی را برای هر مود زوال چرخه‌ای به صورت مستقل در نظر گرفت. طبق پیشنهاد رهنما و کراوینکلر توصیه می‌شود برای این پارامتر مقدار یک در نظر گرفته شود.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه برای کالیبره کردن پارامترهای رفتار چرخه‌ای هر یک از نمونه‌های آزمایشگاهی، دیوارها به صورت سیستم یک درجه آزادی در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی شده‌اند. مدل شامل یک المان الاستیک و یک مفصل متمرکز در پایه ستون می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده و کالیبراسیون دیوارهای کوتاه و بلند به طور خلاصه می‌توان نتایج زیر را بیان کرد.

- پارامتر زوال سختی بارگذاری مجدد روی پاسخ هیستریزس دیوار برشی بلند تأثیر اندکی دارد که می‌توان در مدل‌سازی دیوارهای برشی بلند، مقدار این پارامتر را یک اختیار کرد.
 - از میان پارامترهای طراحی دیوار برشی بلند پارامترهای نسبت بار محوری، نسبت فولاد خمشی جان دیوار، نسبت فولاد برشی جان دیوار و نسبت فولاد عرضی المان مرزی، بیشترین تأثیر را روی مقادیر پارامترهای رفتار چرخه‌ای دارند.
 - با توجه به نتایج حاصل، محدوده‌های بدست آمده برای دیوارهای برشی بلند و کوتاه در جدول ۸ شرح داده شده است.
- مجدد (λ_a) برای دیوارهای برشی کوتاه، تفاوت چندانی در نتایج ایجاد نمی‌کند و می‌توان آن‌ها را برابر با مقادیر زوال مقاومت در نظر گرفت. اما پیشنهاد می‌شود که برای این دو پارامتر زوال چرخه‌ای مقدار یک در نظر گرفته شود. همچنین، در دیوارهای برشی کوتاه، با توجه به محدود بودن داده‌ها و عدم مشاهده‌ی مقاومت باقی‌مانده در منحنی چرخه‌ای داده‌های آزمایشگاهی، توصیه می‌شود که برای پارامتر مقاومت باقی‌مانده به صورت محافظه‌کارانه مقدار صفر یا نزدیک به صفر در نظر گرفته شود.

جدول ۸. محدوده‌های بدست آمده برای پارامترهای رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی بلند و کوتاه

Table 8. The obtained ranges for cyclic behavior parameters of the slender and squat shear walls

پارامتر	دیوار برشی بلند	دیوار برشی کوتاه
دوران تسلیم (rad)	۰/۰۰۲۵-۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۱۵-۰/۰۰۲۰
دوران پلاستیک (rad)	۰/۰۱۰-۰/۰۱۵	۰/۰۰۵۵-۰/۰۰۸۵
دوران پلاستیک بعد از نقطه اوج (rad)	-	۰/۰۰۱۵-۰/۰۰۲۴
نسبت سخت‌شوندگی کرنشی (M_c/M_y)	۱-۱/۷۵	۱/۱-۱/۳۵
نسبت شکل‌پذیری (θ_c/θ_y)	۲/۵-۷/۵	-
زوال مقاومت اصلی (λ_s)	۰/۲۵-۰/۷۵	۰/۲۳-۰/۳۰۵
زوال مقاومت شاخه نزولی (λ_c)	۰/۱۵-۰/۵۵	۰/۲۰-۰/۳۲
زوال سختی بارگذاری مجدد (λ_a)	۰/۹۵-۱/۰	۱
زوال سختی باربرداری (λ_k)	۰/۲۵-۰/۵۵	۱

جدول پیوست ۱. مشخصات هندسی نمونه‌های دیوار برشی بلند

پیوست

Table Appendix-1. Geometric properties of slender shear wall specimens

نسبت ابعاد	ارتفاع دیوار (mm)	طول المان مرزی (mm)	عرض المان مرزی (mm)	عرض دیوار (mm)	طول دیوار (mm)	نام تست	شماره تست
2.3	4560.0	80.0	150.0	150.0	2000.0	Belmouden_WSH2	1
2.3	4560.0	300.0	150.0	150.0	2000.0	Belmouden_WSH3	2
2.3	4560.0	200.0	200.0	150.0	2000.0	Belmouden_WSH4	3
2.3	4520.0	175.0	150.0	150.0	2000.0	Belmouden_WSH6	4
5.8	3500.0	230.0	150.0	70.0	600.0	Chen_CW2	5
3.8	3750.0	230.0	150.0	152.0	1000.0	Cho_W3	6
2.3	4560.0	355.0	150.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH1	7
2.3	4560.0	457.5	152.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH2	8
2.3	4560.0	457.5	152.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH3	9
2.3	4560.0	38.1	152.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH4	10
2.3	4560.0	38.1	152.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH5	11
2.3	4520.0	100.0	70.0	150.0	2000.0	Dazio_WSH6	12
2.1	2100.0	100.0	70.0	100.0	1000.0	Deng_HPCW-01	13
2.1	2100.0	100.0	70.0	100.0	1000.0	Deng_HPCW-02	14
2.1	2100.0	250.0	250.0	100.0	1000.0	Deng_HPCW-03	15
2.1	2100.0	250.0	250.0	100.0	1000.0	Deng_HPCW-04	16
2.0	1200.0	250.0	250.0	60.0	600.0	Elnashai_origina	17
2.1	2700.0	250.0	250.0	200.0	1300.0	Ghorbani_A1M	18
2.1	2700.0	228.0	152.0	200.0	1300.0	Ghorbani_A2C	19
2.1	1140.0	247.6	101.6	84.0	548.0	Ghorbani_B1M.	20
4.0	4928.0	175.0	150.0	152.0	1219.0	Hines_1A	21
2.0	2438.0	175.0	150.0	152.0	1219.0	Hines_2A	22
2.0	2438.0	230.0	150.0	102.0	1219.0	Hines_2C	23
2.5	1905.0	230.0	150.0	102.0	762.0	Hines_3B	24
2.0	1700.0	230.0	150.0	160.0	850.0	Hiro75-No82	25
2.0	1700.0	230.0	150.0	160.0	850.0	Hiro75-No83	26
2.0	1700.0	170.0	100.0	160.0	850.0	Hiro75-No84	27
3.0	3000.0	250.0	100.0	60.0	1000.0	Ji_SW1	28
3.0	3000.0	250.0	100.0	60.0	1000.0	Ji_SW2	29
3.0	3000.0	330.0	100.0	60.0	1000.0	Ji_SW3	30
2.2	2175.0	60.0	60.0	75.0	1000.0	Jiang_SSW-T	31
1.8	3000.0	250.0	250.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-1	32
1.8	3000.0	250.0	250.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-2	33
1.8	3000.0	250.0	250.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-3	34
1.8	3000.0	250.0	250.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-4	35
1.8	3000.0	250.0	250.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-5	36
1.7	2400.0	100.0	100.0	80.0	1400.0	Kimura_W8N13	37
1.7	2400.0	100.0	100.0	80.0	1400.0	Kimura_W8N08	38
1.7	2400.0	100.0	100.0	80.0	1400.0	Kimura_W4N18	39
1.7	2400.0	165.0	200.0	80.0	1400.0	Kimura_W4N18C	40
2.4	4572.0	175.0	200.0	102.0	1905.0	Oesterle_B1	41
2.3	4572.0	90.0	84.0	102.0	1950.0	Oesterle_B2	42
2.4	4572.0	65.0	84.0	102.0	1905.0	Oesterle_B3	43
2.4	4572.0	25.0	100.0	102.0	1905.0	Oesterle_B5	44
2.4	4572.0	25.0	100.0	305.0	1905.0	Oesterle_B6	45
2.4	4572.0	12.0	80.0	102.0	1905.0	Oesterle_B5R	46
2.4	4572.0	12.0	80.0	102.0	1905.0	Oesterle_F1	47
2.4	4572.0	305.0	305.0	101.6	1905.0	Oesterle_R1	48
2.4	4572.0	305.0	305.0	101.6	1905.0	Oesterle_R2	49
2.4	4572.0	305.0	304.0	102.0	1905.0	Oesterle_B10	50
2.4	4572.0	305.0	304.0	102.0	1905.0	Oesterle_B11	51
2.4	4572.0	305.0	305.0	102.0	1905.0	Oesterle_B7	52

2.4	4572.0	160.0	160.0	102.0	1905.0	Oesterle_B8	53
2.4	4572.0	160.0	160.0	102.0	1905.0	Oesterle_B9R	54
2.4	4572.0	160.0	160.0	102.0	1905.0	Oesterle_F1	55
1.5	2250.0	160.0	160.0	200.0	1500.0	Oh_HRI-W2	56
1.5	2250.0	160.0	160.0	200.0	1500.0	Oh_HRI-W5	57
1.5	2250.0	160.0	160.0	125.0	1500.0	Oh_HRI-W7	58
1.5	2250.0	160.0	160.0	200.0	1500.0	Oh_HRI-W8	59
2.7	3250.0	160.0	160.0	300.0	1200.0	Paterson_W1	60
3.1	3750.0	160.0	160.0	300.0	1200.0	Paterson_W2	61
1.6	1920.0	160.0	160.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW1	62
1.6	1920.0	160.0	160.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW2	63
1.6	1920.0	100.0	100.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW4	64
1.6	1920.0	100.0	100.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW5	65
1.6	1920.0	100.0	100.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW6	66
1.5	2250.0	100.0	100.0	130.0	1500.0	Shainchin_WC150	67
1.5	2250.0	100.0	150.0	130.0	1500.0	Shainchin_WD170	68
4.1	1640.0	100.0	150.0	80.0	400.0	Su_W3	70
4.1	1640.0	100.0	150.0	80.0	400.0	Su_W2	71
4.1	1640.0	100.0	150.0	80.0	400.0	Su_W1	72
1.5	2250.0	100.0	100.0	130.0	1500.0	Shainchin_WD200	73
3.0	3660.0	100.0	100.0	102.0	1220.0	Taylor_RW2	74
3.0	3660.0	100.0	100.0	102.0	1220.0	Taylor_TW2	75
3.0	3658.0	250.0	250.0	102.0	1219.0	Thomsen_RW1	76
3.0	3658.0	250.0	250.0	101.6	1219.2	Thomsen_TW2	77
3.0	3658.0	500.0	300.0	102.0	1219.0	Thomsen_RW2	78
2.0	2000.0	500.0	300.0	125.0	1000.0	Zhou_SW-1	79
2.0	2000.0	120.0	60.0	125.0	1000.0	Zhang_SW1-2.	80
2.0	2000.0	120.0	120.0	125.0	1000.0	Zhang_SW1-3	81
1.0	1000.0	60.0	420.0	125.0	1000.0	Zhang_SW2-1	82
2.0	2000.0	95.0	67.0	125.0	1000.0	Zhang_SW2-3	83
1.5	2250.0	95.0	67.0	200.0	1500.0	Oh_WR-20	84
1.5	2250.0	140.0	75.0	200.0	1500.0	Oh_WR-10	85
1.5	2250.0	200.0	200.0	125.0	1500.0	Oh_WB	86
1.5	2250.0	200.0	200.0	200.0	1500.0	Oh_WR-0	87
2.0	2440.0	200.0	200.0	150.0	1220.0	Tran_RW-A20-P10-S63	88
1.5	1830.0	200.0	200.0	150.0	1220.0	Tran_RW-A15-P10-S78	89
1.5	2250.0	200.0	200.0	130.0	1500.0	Shainchin_WD150	90
3.0	3658.0	200.0	200.0	101.6	1219.2	Thomsen_TW1	91
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW4-1	92
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW4-2	93
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW4-3	94
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW5-1	95
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW5-2	96
2.0	2000.0	200.0	200.0	125.0	1000.0	Zhang_SW5-3	97
2.5	2250.0	401.0	1600.0	75.0	900.0	Zhou_SW-2	98
2.5	2250.0	401.0	1600.0	75.0	900.0	Zhou_SW-3	99
2.5	2250.0	401.0	1600.0	75.0	900.0	Zhou_SW-4	100
2.2	1320.0	0.0	150.0	100.0	600.0	Salonikios_LSW5	101
2.5	2250.0	0.0	150.0	75.0	900.0	Zhou_SW-1	102
2.0	2000.0	0.0	150.0	125.0	1000.0	Zhang_SW6-3	103
2.1	1140.0	200.0	200.0	84.0	548.0	Ghorbani_B2C	106
2.5	4572.0	200.0	200.0	102.0	1829.0	Hines_3C	107
2.0	1700.0	200.0	200.0	160.0	850.0	Hiro75-No85	108

2.3	1400.0	30.0	150.0	30.0	600.0	Hiro75-No13	109
2.3	1400.0	30.0	150.0	30.0	600.0	Hiro75-No14	110
2.3	1400.0	30.0	150.0	30.0	600.0	Hiro75-No15	111
2.3	1400.0	30.0	150.0	30.0	600.0	Hiro75-No16	112
1.8	3000.0	30.0	150.0	80.0	1700.0	Kabeyasawa_NW-6	113
3.0	1500.0	30.0	150.0	50.0	500.0	Tasnimi_SHW1	114
3.0	1500.0	30.0	145.0	50.0	500.0	Tasnimi_SHW2	115
1.6	2750.0	30.0	145.0	80.0	1700.0	Tatsuya_M35X	116
3.0	1500.0	30.0	145.0	50.0	500.0	Tasnimi_SHW4	117
1.6	2750.0	30.0	145.0	80.0	1700.0	Tatsuya_M30H.xlsx	118
1.6	2750.0	30.0	145.0	80.0	1700.0	Tatsuya_M35H	119
1.6	2750.0	30.0	145.0	80.0	1700.0	Tatsuya_MW35H	120
1.6	2750.0	30.0	145.0	80.0	1700.0	Tatsuya_P35H.	121
2.7	3250.0	30.0	145.0	150.0	1200.0	Layssi_W1	122
2.0	2000.0	30.0	145.0	125.0	1000.0	Zhang_SW6-1	123
2.0	2000.0	30.0	145.0	125.0	1000.0	Zhang_SW6-2	124
2.4	4572.0	30.0	145.0	102.0	1905.0	Oesterle_B9	125
1.1	1320.0	30.0	145.0	100.0	1200.0	Salonikios_LSW4.	126
2.7	3250.0	30.0	145.0	150.0	1200.0	Layssi_W2	127
2.2	1425.0	30.0	145.0	65.0	650.0	Lefas_SW31	128
2.2	1425.0	30.0	145.0	65.0	650.0	Lefas_SW32	129
2.2	1425.0	30.0	145.0	65.0	650.0	Lefas_SW33	130
2.6	2300.0	60.0	60.0	90.0	900.0	Nakachi_No.4.	131
2.6	2300.0	60.0	60.0	90.0	900.0	Nakachi_No.3	132
2.6	2300.0	60.0	60.0	90.0	900.0	Nakachi_No.2	133
2.6	2300.0	60.0	60.0	90.0	900.0	Nakachi_No.1	134
1.6	1920.0	60.0	60.0	100.0	1200.0	Salonikios_MSW3	135

جدول پیوست ۲. جزئیات بتن و فولادگذاری نمونه‌های دیوار برشی بلند

Table Appendix-2. Characteristic of concrete and reinforcement of slender shear wall specimens

شماره تست	نام تست	مقاومت فشاری بتن (MPa)	مقاومت تسلیم فولاد (MPa)	نسبت بار محوری	نسبت فولاد خمشی جان	نسبت فولاد عرضی جان	نسبت فولاد خمشی المان مرزی	نسبت فولاد عرضی المان مرزی
1	Belmouden_WSH2	29.70	494.10	0.0707	0.157	0.503	0.302	0.251
2	Belmouden_WSH3	48.01	519.00	0.0437	0.226	0.503	0.536	0.251
3	Belmouden_WSH4	48.01	574.10	0.0437	0.226	0.251	0.536	0.251
4	Belmouden_WSH6	51.00	574.10	0.0928	0.302	0.754	0.536	0.251
5	Chen_CW2	27.60	311.30	0.1725	0.404	0.898	1.010	0.898
6	Cho_W3	38.70	311.30	0.1000	0.404	0.898	1.010	0.898
7	Dazio_WSH1	45.00	311.30	0.0510	0.404	0.898	1.010	0.898
8	Dazio_WSH2	40.50	488.00	0.0570	0.589	0.490	0.603	0.603
9	Dazio_WSH3	39.90	476.00	0.0570	0.393	0.365	0.546	0.546
10	Dazio_WSH4	40.90	583.60	0.0570	0.157	0.503	0.302	0.251
11	Dazio_WSH5	38.30	484.90	0.1280	0.131	0.503	0.302	0.251
12	Dazio_WSH6	45.60	489.00	0.1080	0.188	0.503	0.536	0.251
13	Deng_HPCW-01	61.43	583.70	0.1634	0.188	0.251	0.536	0.251
14	Deng_HPCW-02	73.56	518.90	0.1365	0.101	0.369	0.269	0.251
15	Deng_HPCW-03	75.32	583.70	0.1333	0.226	0.754	0.536	0.251
16	Deng_HPCW-04	86.02	361.60	0.1167	0.638	0.419	0.251	0.664
17	Elnashai_origina	48.40	361.60	0.0000	0.505	0.654	0.251	0.664
18	Ghorbani_A1M	30.00	361.60	0.0000	0.964	0.982	0.251	1.005
19	Ghorbani_A2C	30.00	361.60	0.0000	0.169	1.414	0.251	1.005
20	Ghorbani_B1M.	30.00	450.00	0.0000	0.559	2.727	0.251	0.905
21	Hines_1A	38.10	413.00	0.1240	0.755	1.003	0.851	0.670
22	Hines_2A	36.60	413.00	0.1304	0.755	1.003	1.270	0.670
23	Hines_2C	31.10	413.00	0.1968	0.616	1.026	0.664	0.741
24	Hines_3B	40.90	413.00	0.1891	0.616	1.026	0.664	0.621
25	Hiro75-No82	20.80	462.00	0.0962	0.495	0.678	1.375	0.680
26	Hiro75-No83	17.80	455.00	0.1124	0.644	0.678	1.375	0.680
27	Hiro75-No84	17.80	496.00	0.1124	1.029	0.245	2.049	0.242
28	Ji_SW1	13.50	434.00	0.0905	3.144	0.365	0.437	0.544
29	Ji_SW2	13.50	434.00	0.0741	1.565	0.364	0.437	0.544
30	Ji_SW3	13.50	406.70	0.0473	0.854	0.628	0.299	1.257
31	Jiang_SSW-T	24.10	406.70	0.1100	0.843	0.628	0.299	2.514
32	Kabeyesawa_NW-1	86.70	406.70	0.1516	0.843	0.628	0.299	2.514
33	Kabeyesawa_NW-2	93.60	406.70	0.1375	1.488	0.041	0.209	0.419
34	Kabeyesawa_NW-3	55.50	475.30	0.1800	1.443	0.041	0.209	0.419
35	Kabeyesawa_NW-4	54.60	475.30	0.2125	1.443	0.041	0.209	0.419
36	Kabeyesawa_NW-5	60.30	475.30	0.1675	1.443	0.041	0.209	0.419
37	Kimura_W8N13	79.00	475.30	0.1441	1.131	1.396	0.419	0.419
38	Kimura_W8N08	79.40	452.90	0.0883	1.131	1.571	0.942	0.419
39	Kimura_W4N18	43.10	500.80	0.3656	1.015	0.199	0.419	0.419
40	Kimura_W4N18C	42.50	500.80	0.3708	0.412	0.983	0.983	2.010
41	Oesterle_B1	53.00	289.00	0.3560	0.591	1.583	0.528	0.528
42	Oesterle_B2	53.60	1000.00	0.1230	0.591	1.583	0.528	0.528
43	Oesterle_B3	47.30	1000.00	0.0452	0.591	0.982	0.264	0.528
44	Oesterle_B5	45.30	753.00	0.3256	0.788	0.982	0.264	0.528
45	Oesterle_B6	21.80	753.00	0.0878	0.788	0.982	0.528	0.528
46	Oesterle_B5R	42.80	753.00	0.3000	1.056	0.982	0.528	0.528
47	Oesterle_F1	38.40	352.00	0.3000	0.332	0.000	0.004	0.151
48	Oesterle_R1	44.75	352.00	0.0040	0.664	0.000	0.189	0.151
49	Oesterle_R2	46.40	352.00	0.0040	0.714	0.297	2.613	0.363

0.363	2.613	0.297	0.714	0.1609	352.00	45.60	Oesterle_B10	50
0.363	2.613	0.297	0.714	0.0000	352.00	53.80	Oesterle_B11	51
0.363	2.613	0.297	0.714	0.1489	352.00	49.30	Oesterle_B7	52
0.821	2.508	0.672	0.714	0.1747	352.00	42.00	Oesterle_B8	53
0.821	2.508	0.672	0.714	0.1169	352.00	51.80	Oesterle_B9R	54
0.821	2.508	0.672	0.714	0.0000	352.00	38.40	Oesterle_F1	55
0.821	2.508	0.672	0.714	0.1000	352.00	27.60	Oh_HRI-W2	56
0.821	2.508	0.672	0.714	0.1000	352.00	27.60	Oh_HRI-W5	57
0.821	2.508	0.672	0.714	0.1294	852.00	27.60	Oh_HRI-W7	58
1.142	1.280	1.142	0.098	0.4000	852.00	27.60	Oh_HRI-W8	59
1.142	1.280	0.825	0.108	0.0718	852.00	25.90	Paterson_W1	60
1.142	1.280	0.825	0.689	0.0964	852.00	33.40	Paterson_W2	61
1.142	1.280	1.651	0.689	0.0000	470.00	26.10	Salonikios_MSW1	62
0.306	0.271	0.124	0.458	0.0000	470.00	26.20	Salonikios_MSW2	63
0.609	0.271	0.124	0.520	0.0000	470.00	24.60	Salonikios_MSW4	64
0.306	0.271	1.222	0.456	0.0000	470.00	22.00	Salonikios_MSW5	65
0.306	0.271	1.222	0.590	0.0000	470.00	27.50	Salonikios_MSW6	66
0.609	0.271	1.222	1.522	0.0691	470.00	27.30	Shainchin_WC150	67
0.204	0.091	0.743	0.697	0.0691	470.00	32.90	Shainchin_WD170	68
0.609	0.271	0.611	1.527	0.4866	470.00	42.90	Su_W3	70
0.698	0.271	0.078	0.760	0.4994	470.00	41.80	Su_W2	71
0.307	0.272	0.372	0.146	0.2496	470.00	50.20	Su_W1	72
0.307	0.272	1.834	0.327	0.0691	470.00	33.70	Shainchin_WD200	73
0.609	0.271	1.091	0.941	0.1000	470.00	27.60	Taylor_RW2	74
0.609	0.271	1.091	1.511	0.1981	360.70	26.70	Taylor_TW2	75
0.609	0.271	1.091	1.511	0.1000	360.70	31.60	Thomsen_RW1	76
0.609	0.271	1.091	1.511	0.1123	360.70	47.10	Thomsen_TW2	77
0.609	0.271	1.222	1.511	0.0700	360.70	34.00	Thomsen_RW2	78
0.609	0.271	0.611	1.527	0.1080	520.60	30.80	Zhou_SW-1	79
0.609	0.271	0.204	0.665	0.0001	532.30	1126.63	Zhang_SW1-2.	80
0.314	0.238	0.393	0.177	0.6400	478.50	20.70	Zhang_SW1-3	81
0.314	0.238	0.785	0.177	0.3000	504.70	30.80	Zhang_SW2-1	82
0.314	0.381	0.436	0.339	0.3000	502.00	30.80	Zhang_SW2-3	83
0.314	0.238	0.098	0.419	0.1000	511.60	27.60	Oh_WR-20	84
0.267	0.191	0.191	0.277	0.1000	502.00	27.60	Oh_WR-10	85
0.267	0.191	0.191	0.277	0.0987	525.40	27.60	Oh_WB	86
0.277	0.168	1.026	0.251	0.1000	522.00	27.60	Oh_WR-0	87
0.277	0.174	0.660	0.335	0.1000	535.10	48.00	Tran_RW-A20-P10-S63	88
0.277	0.168	0.660	0.251	0.1000	475.10	56.00	Tran_RW-A15-P10-S78	89
0.277	0.168	0.660	0.251	0.6910	436.00	40.30	Shainchin_WD150	90
0.277	0.168	1.026	0.251	0.1213	450.00	43.60	Thomsen_TW1	91
0.277	0.168	1.026	0.251	0.3000	448.00	30.80	Zhang_SW4-1	92
0.277	0.174	1.026	0.335	0.3000	461.30	30.80	Zhang_SW4-2	93
0.806	0.806	0.419	0.836	0.3000	461.30	30.80	Zhang_SW4-3	94
0.806	0.806	0.419	0.836	0.3000	464.00	30.80	Zhang_SW5-1	95
0.711	0.711	0.419	0.836	0.3000	342.00	30.80	Zhang_SW5-2	96
0.604	0.604	0.419	0.836	0.3000	342.00	30.80	Zhang_SW5-3	97
0.356	1.334	0.356	0.314	0.0000	342.00	30.80	Zhou_SW-2	98
0.356	1.334	0.356	0.314	0.0000	342.00	30.80	Zhou_SW-3	99
0.356	1.334	0.356	0.314	0.2000	453.00	30.80	Zhou_SW-4	100
0.283	0.283	0.283	0.113	0.0000	453.00	24.00	Salonikios_LSW5	101
0.283	0.283	0.283	0.113	0.2000	575.00	30.80	Zhou_SW-1	102
0.283	0.283	0.283	0.113	0.3000	575.00	30.80	Zhang_SW6-3	103

0.283	0.283	0.283	0.113	0.1725	575.00	27.60	Chen_CW3	104
0.707	0.707	0.942	0.277	0.0000	575.00	23.27	Shiu_CI-1	105
0.707	0.707	0.942	0.277	0.0000	575.00	30.00	Ghorbani_B2C	106
0.707	0.707	0.942	0.277	0.1286	575.00	40.90	Hines_3C	107
0.707	0.707	0.942	0.277	0.0962	575.00	20.80	Hiro75-No85	108
0.707	0.707	0.942	0.277	0.0000	451.30	25.20	Hiro75-No13	109
0.451	0.345	0.279	0.452	0.0824	451.30	28.30	Hiro75-No14	110
0.451	0.451	0.912	1.736	0.1667	505.90	28.00	Hiro75-No15	111
0.325	0.330	0.456	0.459	0.2414	451.30	29.00	Hiro75-No16	112
0.325	0.330	0.684	0.459	0.1750	412.00	65.20	Kabeysawa_NW-6	113
0.327	0.452	0.038	0.251	0.0000	412.00	21.60	Tasnimi_SHW1	114
0.445	0.452	0.029	0.251	0.0000	412.00	21.60	Tasnimi_SHW2	115
0.362	0.362	0.565	0.377	0.2164	216.00	60.00	Tatsuya_M35X	116
0.362	0.362	0.565	0.377	0.0000	216.00	23.45	Tasnimi_SHW4	117
0.362	0.362	0.565	0.377	0.1803	216.00	60.00	Tatsuya_M30H.xlsx	118
0.362	0.362	0.565	0.377	0.2356	216.00	60.00	Tatsuya_M35H	119
0.362	0.362	0.565	0.377	0.2044	800.00	60.00	Tatsuya_MW35H	120
0.362	0.362	0.565	0.377	0.2284	800.00	60.00	Tatsuya_P35H.	121
0.362	0.362	0.565	0.377	0.0000	800.00	31.20	Layssi_W1	122
0.362	0.362	0.565	0.241	0.3000	800.00	30.80	Zhang_SW6-1	123
0.362	0.362	0.565	0.377	0.3000	800.00	30.80	Zhang_SW6-2	124
0.362	0.362	0.565	0.377	0.1664	414.00	44.10	Oesterle_B9	125
0.362	0.362	0.565	0.377	0.1764	414.00	24.00	Salonikios_LSW4.	126
0.362	0.362	0.565	0.377	0.1864	414.00	30.40	Layssi_W2	127
0.362	0.362	0.565	0.377	0.1964	414.00	35.20	Lefas_SW31	128
0.362	0.362	0.251	0.377	0.2164	414.00	53.60	Lefas_SW32	129
0.362	0.362	0.565	0.377	0.3166	414.00	49.20	Lefas_SW33	130
0.362	0.362	0.754	0.377	0.1911	393.00	32.50	Nakachi_No.4.	131
0.838	0.838	1.117	0.745	0.0955	393.00	61.30	Nakachi_No.3	132
0.838	0.838	1.117	0.745	0.1910	393.00	32.00	Nakachi_No.2	133
0.838	0.838	1.117	0.745	0.0955	393.00	63.20	Nakachi_No.1	134
0.838	0.838	1.117	0.745	0.0700	393.00	24.60	Salonikios_MSW3	135

جدول پیوست ۳. مشخصات هندسی نمونه‌های دیوار برشی کوتاه

Table Appendix-3. Geometric properties of squat shear wall specimens

نسبت ابعاد	ارتفاع دیوار (mm)	طول المان مرزی (mm)	عرض المان مرزی (mm)	عرض دیوار (mm)	طول دیوار (mm)	نام تست	شماره تست
1.43	2000	80	150	150	1400	Adajar_RCW1	1
1.43	2000	300	150	150	1400	Adajar_RCW3	2
0.50	1100	200	100	200	2200	Aoyama_P201 5	3
1.20	3660	457.5	152.4	152	3048	Birely_PW1	4
1.20	3660	457.5	152.4	152	3048	Birely_PW2	5
1.20	3660	38.125	152.4	152	3048	Birely_PW3	6
1.20	3660	38.125	152.4	152	3048	Birely_PW4	7
0.69	2200	250	120	250	3200	Chiou_LWFD1	8
0.69	2200	250	120	250	3200	Chiou_LWFD2	9
0.88	2200	250	120	250	2500	Chiou_MWFD 1	10
0.88	2200	250	120	250	2500	Chiou_MWFD 2	11
0.83	1875	250	80	250	2250	Endo_W7101	12
0.83	1875	250	80	250	2250	Endo_W7102	13
0.83	1875	250	80	250	2250	Endo_W7103	14
0.83	1875	250	50	250	2250	Endo_W7104	15
0.39	875	250	50	250	2250	Endo_W7105	16
1.06	900	100	50	100	850	Esaki_H-1.4- N0.25	17
1.06	900	100	50	100	850	Esaki_H-1.4- N0.33	18
1.06	900	100	50	100	850	Esaki_H-2- N0.33	19
0.69	690	25	100	100	1000	Greifenhagen_ M1	20
0.69	690	25	100	100	1000	Greifenhagen_ M2	21
0.77	690	12	80	80	900	Greifenhagen_ M3	22
0.77	690	12	80	80	900	Greifenhagen_ M4	23
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_7-1	24
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_7-2	25
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_7-3	26
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_7-4	27
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_7-5	28
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_8-3	29
1.00	1700	160	160	160	1700	Hirosawa_8-4	30
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_1-1	31
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_1-2	32
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_1-3	33
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_1-4	34
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_2-1	35
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_2-2	36
1.17	700	100	30	100	600	Hirosawa_2-3	37
1.15	2300	250	80	250	2000	Hsiao_MW1	38
0.77	2300	250	80	250	3000	Hsiao_LW1	39
0.51	1800	500	120	300	3500	Hwang_WF- 12	40
0.51	1800	500	150	300	3500	Hwang_WF- 15	41
0.56	933	95	67	67	1667	Jiang_SSW-2	42
0.56	933	95	67	67	1667	Jiang_SSW-3	43
1.36	3000	401	200	1600	2200	Kabeyasawa_H W-1	44
1.36	3000	401	200	1600	2200	Kabeyasawa_H W-2	45

1.36	3000	401	200	1600	2200	Kabeyasawa_H W-3	46
1.00	1500	0	100	100	1500	Lombard_1'	47
1.10	495	70	45	45	450	Lopes_SW13	48
1.10	495	70	45	45	450	Lopes_SW16	49
1.10	495	70	45	45	450	Lopes_SW17	50
1.10	495	70	45	45	450	Lopes_SW18	51
1.00	1520	105	152	152	1520	Massone_WS- T1-S1	52
1.00	1520	105	152	152	1520	Massone_WS- T4-S2	53
0.89	1220	64	152	152	1370	Massone_WP- T5-N10-S2	54
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_F1 W5-0.00-1.3- 0.014	55
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_F1 W5-0.00-1.3- 1.4	56
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_FS1 W5-0.00-2.5- 0.014	57
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_FS1 W5-0.00-2.5- 1.4	58
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_S1 W5-0.00-4.5- 0.014	59
0.89	1200	150	50	150	1350	Matsuoka_S1 W5-0.00-4.5- 1.4	60
0.74	1600	75	150	1000	2150	Nakamura_I-1	61
0.74	1600	75	150	1000	2150	Nakamura_I-2	62
1.50	2250	200	200	200	1500	Oh, Han _HRI-W2	63
1.50	2250	200	200	200	1500	Oh, Han _HRI-W5	64
1.50	2250	240	125	240	1500	Oh, Han _HRI-W7	65
1.50	2250	200	200	800	1500	Oh, Han _HRI-W8	66
0.66	2020	95	75	3045	3075	Palermo_DP1	67
0.66	2020	100	75	3045	3075	Palermo_DP2	68
0.57	1700	220	100	100	3000	Paulay_wall 1	69
0.57	1700	220	100	100	3000	Paulay_wall 2	70
1.00	1200	24	100	100	1200	Salonikios_LS W1	71
1.00	1200	24	100	100	1200	Salonikios_LS W2	72
1.00	1200	24	100	100	1200	Salonikios_LS W4	73
1.00	1200	24	100	100	1200	Salonikios_LS W5	74
1.50	1800	24	100	100	1200	Salonikios_MS W1	75
1.50	1800	24	100	100	1200	Salonikios_MS W2	76
1.50	1800	24	100	100	1200	Salonikios_MS W3	77
1.50	1800	24	100	100	1200	Salonikios_MS W4	78
1.50	1800	24	100	100	1200	Salonikios_MS W6	79
1.50	2250	250	130	250	1500	Shaingchin_W C150	80
1.50	2250	250	130	250	1500	Shaingchin_W D150	81
1.50	2250	250	130	250	1500	Shaingchin_W D170	82
1.50	2250	250	130	250	1500	Shaingchin_W D200	83

1.43	2150	250	100	250	1500	Sittipunt_W1	84
1.43	2150	250	100	250	1500	Sittipunt_W2	85
1.43	2150	250	100	250	1500	Sittipunt_W3	86
1.43	2150	250	100	250	1500	Sittipunt_W4	87
1.16	990	150	28	150	850	Takehara_93S WH-6	88
1.16	990	150	26	150	850	Takehara_96S WH-4	89
0.99	500	120	67	107	507	Tuboi_2-1	90
0.99	500	120	67	107	507	Tuboi_2-2	91
0.45	610	6.4	152	152	1370	Wallace_0.05'	92
0.45	610	6.4	152	152	1370	Wallace_0.1'	93
1.00	1000	200	125	125	1000	Zhang_SW2-1	94
1.50	1500	200	125	125	1000	Zhang_SW2-2	95
1.50	1830	180	150	150	1220	Tran_RW- A15-P10-S78	96
0.50	952.5	101.6	102	610	1905	Barda_B3-2	97
1.50	2250	150	200	200	1500	Oh_WR-20	98
1.50	2250	150	200	200	1500	Oh_WR-0	99

جدول بیوست ۴. جزئیات بتن و فولادگذاری نمونه‌های دیوار برشی کوتاه

Table Appendix-4. Characteristic of concrete and reinforcement of squat shear wall specimens

شماره تست	نام تست	مقاومت فشاری بتن (MPa)	مقاومت تسلیم فولاد (MPa)	نسبت بار محوری	نسبت فولاد خمشی جان	نسبت فولادی عرضی جان	نسبت فولاد خمشی المان مرزی	نسبت فولاد عرضی المان مرزی
1	Adajar_RCW1	46.8	598	0.01	2.09	0.52	0.47	0.47
2	Adajar_RCW3	46.6	598	0.01	0.65	0.52	0.93	0.47
3	Aoyama_P2015	29.7	368	0.03	0.75	0.75	0.58	0.57
4	Birely_PW1	36	579	0.01	0.27	0.27	0.57	1.64
5	Birely_PW2	40.3	579	0.01	0.27	0.27	0.57	1.64
6	Birely_PW3	34.3	353	0.01	1.09	0.27	0.57	1.87
7	Birely_PW4	29.4	462	0.01	0.27	0.27	0.38	1.64
8	Chiou_LWFD1	19.9	414	0.00	0.38	0.51	0.22	0.57
9	Chiou_LWFD2	19.9	435	0.00	0.38	0.51	0.18	0.57
10	Chiou_MWFD1	20.8	311.3	0.00	0.38	0.51	0.22	0.57
11	Chiou_MWFD2	20.8	311.3	0.00	0.38	0.51	0.44	0.57
12	Endo_W7101	26	358.7	0.05	0.71	1.41	0.19	1.02
13	Endo_W7102	24.6	358.7	0.06	0.24	0.47	0.19	0.23
14	Endo_W7103	26	358.7	0.05	0.24	0.47	0.19	0.23
15	Endo_W7104	24.6	358.7	0.07	0.38	0.75	0.24	0.23
16	Endo_W7105	26	358.7	0.07	1.13	2.26	0.24	1.02
17	Esaki_H-1.4-N0.25	21.7	359	0.14	0.25	0.50	0.54	1.07
18	Esaki_H-1.4-N0.33	24.2	359	0.18	0.25	0.50	0.54	1.07
19	Esaki_H-2-N0.33	18.7	359	0.18	0.25	0.50	0.54	1.07
20	Greifenhagen_M1	50.7	504	0.03	0.30	0.32	0.06	0.33
21	Greifenhagen_M2	51	504	0.03	0.30	0.14	0.06	0.33
22	Greifenhagen_M3	20.1	504	0.09	0.32	0.26	0.08	0.26
23	Greifenhagen_M4	24.4	504	0.08	0.32	0.26	0.08	0.26
24	Hirosawa_7-1	17.2	376.32	0.12	0.61	0.63	0.53	0.63
25	Hirosawa_7-2	20.8	376.32	0.10	0.61	0.63	0.53	0.63
26	Hirosawa_7-3	20.8	376.32	0.10	0.61	1.26	0.53	0.63
27	Hirosawa_7-4	13.7	376.32	0.15	0.61	1.26	0.53	0.63
28	Hirosawa_7-5	14.7	376.32	0.14	0.60	2.51	0.53	0.63
29	Hirosawa_8-3	14.7	382	0.14	0.60	2.51	0.21	0.63
30	Hirosawa_8-4	18.3	382	0.11	0.60	2.51	0.21	0.63
31	Hirosawa_1-1	23.5	208.74	0.00	0.21	0.42	0.79	0.06
32	Hirosawa_1-2	27.1	208.74	0.04	0.21	0.42	0.79	0.06
33	Hirosawa_1-3	26.9	208.74	0.07	0.21	0.42	0.79	0.06
34	Hirosawa_1-4	25.7	208.74	0.15	0.21	0.42	0.79	0.06
35	Hirosawa_2-1	18.6	212.66	0.00	0.21	0.42	0.79	0.06
36	Hirosawa_2-2	18.6	212.66	0.00	0.21	0.42	0.79	0.03
37	Hirosawa_2-3	29.9	208.74	0.11	0.21	0.42	0.79	0.03
38	Hsiao_MW1	28.6	515.48	0.00	0.36	0.71	0.33	0.57
39	Hsiao_LW1	27.3	515.48	0.00	0.36	0.71	0.25	0.57
40	Hwang_WF-12	13.9	571	0.00	0.20	0.40	0.48	0.16
41	Hwang_WF-15	22.6	571	0.00	0.84	0.84	0.42	1.58
42	Jiang_SSW-2	18.3	297	0.10	1.10	1.01	0.18	1.10
43	Jiang_SSW-3	18.3	291	0.20	1.10	1.01	0.28	1.10
44	Kabeyasawa_HW-1	35.5	367	0.03	0.57	0.57	0.10	0.20
45	Kabeyasawa_HW-2	35.5	367	0.03	1.57	0.57	0.10	0.20
46	Kabeyasawa_HW-3	35.5	367	0.03	2.31	0.57	0.10	0.20
47	Lombard_1'	40	400	0.00	0.79	0.79	0.10	0.39
48	Lopes_SW13	55	527	0.00	0.54	0.93	1.27	0.93
49	Lopes_SW16	44.5	527	0.00	0.54	0.93	1.27	4.19

1.86	1.27	0.93	0.54	0.00	527	45.1	Lopes_SW17	50
1.86	1.27	0.93	0.54	0.00	527	44.6	Lopes_SW18	51
0.00	0.35	0.15	0.38	0.00	448.2	25.5	Massone_WS-T1-S1	52
0.00	0.11	0.18	0.31	0.00	351.6	33	Massone_WS-T4-S2	53
0.00	0.13	0.17	0.26	0.10	351.6	31.4	Massone_WP-T5-N10-S2	54
0.34	0.29	1.01	0.50	0.10	375	24.2	Matsuoka_F1W5-0.00-1.3-0.014	55
0.34	0.29	1.01	0.50	0.10	375	24.2	Matsuoka_F1W5-0.00-1.3-1.4	56
0.34	0.58	1.01	0.50	0.10	368	24.9	Matsuoka_FS1W5-0.00-2.5-0.014	57
0.34	0.58	1.01	1.27	0.10	368	24.9	Matsuoka_FS1W5-0.00-2.5-1.4	58
0.34	1.04	1.01	1.27	0.10	354	27	Matsuoka_S1W5-0.00-4.5-0.014	59
0.34	1.04	1.01	1.27	0.10	354	27	Matsuoka_S1W5-0.00-4.5-1.4	60
0.19	0.35	1.00	1.00	0.06	296	39.3	Nakamura_I-1	61
0.26	0.49	1.00	1.00	0.06	296	41.8	Nakamura_I-2	62
0.39	0.18	0.31	0.24	0.10	449	27.6	Oh, Han_HRI-W2	63
0.79	0.18	0.31	0.24	0.10	449	27.6	Oh, Han_HRI-W5	64
0.44	0.26	0.31	0.38	0.10	342	27.6	Oh, Han_HRI-W7	65
0.10	0.29	0.31	0.24	0.22	342	27.6	Oh, Han_HRI-W8	66
0.02	0.14	0.73	0.79	0.07	605	21.7	Palermo_DP1	67
0.02	0.13	0.73	0.79	0.08	605	18.8	Palermo_DP2	68
1.13	0.15	3.35	0.81	0.10	310	27.2	Paulay_wall 1	69
1.13	0.15	2.98	0.65	0.06	310	28	Paulay_wall 2	70
1.03	0.34	0.28	0.17	0.00	585	24	Salonikios_LSW1	71
1.03	0.25	0.28	0.17	0.00	585	24	Salonikios_LSW2	72
1.03	0.25	0.28	0.17	0.00	585	24	Salonikios_LSW4	73
1.03	0.25	0.28	0.17	0.00	585	24	Salonikios_LSW5	74
0.66	0.34	0.28	0.17	0.00	585	26.1	Salonikios_MSW1	75
0.66	0.25	0.28	0.17	0.00	585	26.2	Salonikios_MSW2	76
0.66	0.25	0.28	0.17	0.07	585	24.6	Salonikios_MSW3	77
1.03	0.25	0.28	0.17	0.00	585	24.6	Salonikios_MSW4	78
1.03	0.34	0.28	0.17	0.00	585	27.5	Salonikios_MSW6	79
0.42	0.63	0.81	0.81	0.05	574.9	27.3	Shaingchin_WC150	80
0.42	0.63	0.81	0.81	0.05	574.9	40.3	Shaingchin_WD150	81
0.42	0.63	0.71	0.71	0.05	595.7	32.9	Shaingchin_WD170	82
0.42	0.63	0.60	0.60	0.05	574.9	33.7	Shaingchin_WD200	83
0.23	0.62	0.38	0.39	0.00	473	36.6	Sittipunt_W1	84
0.23	0.62	0.38	0.39	0.00	473	35.8	Sittipunt_W2	85
0.23	0.62	0.38	0.39	0.00	473	37.8	Sittipunt_W3	86
0.23	0.62	0.38	0.39	0.00	473	36.3	Sittipunt_W4	87
0.42	0.84	2.24	1.12	0.00	814	85.8	Takehara_93SWH-6	88
0.42	0.85	2.42	1.21	0.02	388	61.2	Takehara_96SWH-4	89
0.59	1.17	1.88	1.88	0.00	260.68	29.7	Tubei_2-1	90
0.59	2.44	1.88	0.94	0.00	301.84	28.6	Tubei_2-2	91
0.57	0.13	0.57	0.26	0.05	424	31	Wallace_0.05'	92
0.57	0.13	0.57	0.26	0.10	424	31	Wallace_0.1'	93
0.57	0.38	0.57	0.36	0.30	366	30.8	Zhang_SW2-1	94
0.57	0.38	0.57	0.36	0.30	366	30.8	Zhang_SW2-2	95
0.84	1.15	0.84	0.75	0.10	475	56	Tran_RW-A15-P10-S78	96
0.18	0.85	0.18	0.49	0.00	414	27	Barda_B3-2	97
0.39	0.18	0.39	0.36	0.10	449	27.6	Oh_WR-20	98
0.39	0.18	0.39	0.36	0.10	449	27.6	Oh_WR-0	99

- curves by three parameters, (1943).
- [13] M. Menegotto, P. Pinto, Method of Analysis for Cyclically Loaded Reinforced Concrete Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements Under Combined Normal Force and Bending, Proceedings. IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads, (1973).
- [14] S.K. Kunnath, A.M. Reinhorn, Y.J. Park, Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures, Journal of Structural Engineering, 116(4) (1990) 996-1017.
- [15] M.V. Sivaselvan, A.M. Reinhorn, Hysteretic Models for Deteriorating Inelastic Structures, Journal of Engineering Mechanics, 126(6) (2000) 633-640.
- [16] K. Lee, B. Stojadinovic, Low-cycle fatigue limit on seismic rotation capacity for US Steel moment connections, in: Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004.
- [17] J.K. Song, J.A. Pincheira, Spectral Displacement Demands of Stiffness- and Strength-Degrading Systems, Earthquake Spectra, 16(4) (2000) 817-851.
- [18] M. Rahnama, H. Krawinkler, Effects of soft soil and hysteresis model on seismic demands, John A. Blume Earthquake Engineering Center Stanford, 1993.
- [19] L.F. Ibarra, H. Krawinkler, Global collapse of frame structures under seismic excitations, Pacific Earthquake Engineering Research Center Berkeley, CA, 2005.
- [20] L.F. Ibarra, R.A. Medina, H. Krawinkler, Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 34(12) (2005) 1489-1511.
- [21] D. Cardone, G. Perrone, Damage and Loss Assessment of Pre-70 RC Frame Buildings with FEMA P-58, Journal of Earthquake Engineering, 21(1) (2017) 23-61.
- [22] M.T. De Risi, P. Ricci, G.M. Verderame, Modelling exterior unreinforced beam-column joints in seismic analysis of non-ductile RC frames, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 46(6) (2017) 899-923.
- [1] M. Sharifi, M. Shafieian, Effective stiffness of concrete shear walls based on statistical analysis, Structural Concrete, 19(6) (2018) 1560-1576.
- [2] R.W. Clough, Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements, in: Proceedings of Japan earthquake engineering symposium, 1966.
- [3] T. Hisada, K. Nakagawa, M. Izumi, Earthquake Response of Structures Having Various Restoring Force Characteristics, in: Proceedings, Japan National Conference on Earthquake Engineering, 1962, pp. 63-68.
- [4] S.A. Mahin, V.V. Bertero, Rate of loading effects on uncracked and repaired reinforced concrete members, Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1972.
- [5] H. Sucuoğlu, A. Erberik, Energy-based hysteresis and damage models for deteriorating systems, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 33(1) (2004) 69-88.
- [6] T. Takeda, M.A. Sozen, N.N. Nielsen, Reinforced concrete response to simulated earthquakes, Journal of the Structural Division, 96(12) (1970) 2557-2573.
- [7] R. Bouc, Forced vibrations of mechanical systems with hysteresis, in: Proc. of the Fourth Conference on Nonlinear Oscillations, Prague, 1967, 1967.
- [8] Y.K. Wen, Equivalent Linearization for Hysteretic Systems under Random Excitation, Journal of Applied Mechanics, 47(1) (1980) 150-154.
- [9] T.T. Baber, Y.-K. Wen, Random vibration hysteretic, degrading systems, Journal of the Engineering Mechanics, 107(6) (1981) 1069-1087.
- [10] T.T. Baber, M.N. Noori, Modeling General Hysteresis Behavior and Random Vibration Application, Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, 108(4) (1986) 411-420.
- [11] G.C. Foliente, Hysteresis Modeling of Wood Joints and Structural Systems, Journal of Structural Engineering, 121(6) (1995) 1013-1022.
- [12] W. Ramberg, W.R. Osgood, Description of stress-strain

- [34] J.D.A.-O.K.N.S. R.G. Oesterle, W.G. Corley, Web Crushing of Reinforced Concrete Structural Walls, *ACI Journal Proceedings*, 81(3) (1984).
- [35] J.I. Daniel, K.N. Shiu, W.G. Corley, Openings in Earthquake-Resistant Structural Walls, *Journal of Structural Engineering*, 112(7) (1986) 1660-1676.
- [36] T. Kabeyasawa, K. Matsumoto, Tests and analyses of ultra-high strength reinforced concrete shear walls, in: 10th World Conference on Earthquake Engineering, 1992, pp. 3291-3296.
- [37] F. Esaki, Reinforcing Effect of Square Steel Tube on Ductility of R/C Framed Shear Wall Whose Predominant Action is Flexure, *Proceedings of the JCI*, 16(2) (1994) 1325-1330.
- [38] C. Sittipunt, S.L. Wood, Improving the cyclic response of slender structural walls by changing the orientation of the web reinforcement, *ACI Structural Journal*, 92(6) (1995) 745-767.
- [39] A.J. Caringal, T. Yamaguchi, H. Imai, Seismic Behavior of Precast Shear Wall with Bar Splices Confined to Spiral Steel, *Transactions of the Japan Concrete Institute*, 17(2) (1996) 189-196.
- [40] H. Kimura, S. Sugano, Seismic behavior of high strength concrete slender wall under high axial load, in: 11th World Conference on Earthquake Engineering, Paper, 1996.
- [41] T. Nakachi, T. Toda, K. Tabata, Experimental study on deformation capacity of reinforced concrete core walls after flexural yielding, in: 11th World Conference on Earthquake Engineering, 1996.
- [42] I. Tatsuya, Post-yield behaviours of multi-story reinforced concrete shear walls subjected to bilateral deformations under axial loading, in: The Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996.
- [43] C.P. TAYLOR, J.H. THOMSENIV, J.W. WALLACE, Experimental Verification of Displacement-Based Design Procedures for Slender RC Structural Walls, in: Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996.
- [44] A.S. ELNASHAI, R. PINHO, Repair and Retrofitting of RC Walls using Selective Techniques, *Journal of Earthquake Engineering*, 02(04) (1998) 525-568.
- [23] D. Deniz, J. Song, J.F. Hajjar, Energy-based seismic collapse criterion for ductile planar structural frames, *Engineering Structures*, 141 (2017) 1-13.
- [24] J. Kiani, S. Pezeshk, Sensitivity analysis of the seismic demands of RC moment resisting frames to different aspects of ground motions, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(15) (2017) 2739-2755.
- [25] N. Mohammad Noh, L. Liberatore, F. Mollaioli, S. Tesfamariam, Modelling of masonry infilled RC frames subjected to cyclic loads: State of the art review and modelling with OpenSees, *Engineering Structures*, 150 (2017) 599-621.
- [26] J. Chen, T.-M. Chan, Experimental assessment of the flexural behaviour of concrete-filled steel tubular beams with octagonal sections, *Engineering Structures*, 199 (2019) 109604.
- [27] G.J. O'Reilly, T.J. Sullivan, Modeling Techniques for the Seismic Assessment of the Existing Italian RC Frame Structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 23(8) (2019) 1262-1296.
- [28] M. Hirose, Past Experimental Results on Reinforced Concrete Shear Walls and Analysis on Them, *Kenchiku Kenkyu Shiryo*, 6 (1975) 33-34.
- [29] F. Barda, J.M. Hanson, W.G. Corley, Shear strength of low-rise walls with boundary elements, *Special Publication*, 53 (1977) 149-202.
- [30] J.M.H. Felix Barda, W.G. Corley, Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements, *Special Publication*, 53 (1977).
- [31] T. Endo, H. Adachi, M. Nakanishi, Force-Deformation Hysteresis Curves of Reinforced Concrete Shear Walls, in: *Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, 1980, pp. 315-322.
- [32] M.J.N.P. T. Paulay, A.J. Syngde, Ductility in Earthquake Resisting Squat Shearwalls, *ACI Journal Proceedings*, 79(4) (1982).
- [33] H. Aoyama, D. Kato, H. Katsumata, Y. Hosokawa, Strength and behavior of postcast shear walls for strengthening of existing R/C buildings, in: *Proceeding of eight world conference on earthquake engineering*, 1984, pp. 485-492.

- Structural Journal, 101(4) (2004).
- [56] S.-J. Hwang, Y.-S. Tu, Y.-H. Yeh, T.-C. Chiou, Reinforced concrete partition walls retrofitted with carbon fiber reinforced polymer, in: ANCEER annual meeting: networking of young earthquake engineering researchers and professionals, 2004.
- [57] J.H. Thomsen, J.W. Wallace, Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls-Experimental Verification, Journal of Structural Engineering, 130(4) (2004) 618-630.
- [58] C. Greifenhagen, D. Papas, P. Lestuzzi, Static-cyclic tests on reinforced concrete shear walls with low reinforcement ratios, Gen Inf, (2005) 1-113.
- [59] Y.-H. Oh, S.-W. Han, Y.-S. Choi, Evaluation and Improvement of Deformation Capacities of Shear Walls Using Displacement-Based Seismic Design, International Journal of Concrete Structures and Materials, 18(1E) (2006) 55-61.
- [60] Y. Belmouden, P. Lestuzzi, Analytical model for predicting nonlinear reversed cyclic behavior of reinforced concrete structural walls, Engineering Structures, 29(7) (2007) 1263-1276.
- [61] S. Shaingchin, P. Lukunaprasit, S.L. Wood, Influence of diagonal web reinforcement on cyclic behavior of structural walls, Engineering Structures, 29(4) (2007) 498-510.
- [62] R.K.L. Su, S.M. Wong, Seismic behaviour of slender reinforced concrete shear walls under high axial load ratio, Engineering Structures, 29(8) (2007) 1957-1965.
- [63] A. Birely, D. Lehman, L. Lowes, D. Kuchma, C. Hart, K. Marley, Investigation of the seismic behavior and analysis of reinforced concrete structural walls, in: Proceedings 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
- [64] M. Deng, X. Liang, K. Yang, Experimental study on seismic behavior of high performance concrete shear wall with new strategy of transverse confining stirrups, in: Proceeding of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, China, 2008, pp. 1-8.
- [45] M. Takehara, M. Takeuchi, M. Mochizuki, Failure Behavior and Macroscopic Model of Framed Shear Walls Using High Strength Concrete, Transactions of the Japan Concrete Institute, 19 (1998) 303-310.
- [46] H. Jiang, Research on seismic behavior of shear walls dissipating energy along vertical direction with application, Doctoral Dissertation, Tongji University, China, 1999.
- [47] J. Lombard, D.T. Lau, J.L. Humar, S. Foo, M. Cheung, Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls, in: Proceedings of 12th World Conf. on Earthquake Engineering, 2000, pp. 1-8.
- [48] T.N. Salonikios, A.J. Kappos, I.A. Tegos, G.G. Penelis, Cyclic load behavior of low-slenderness reinforced concrete walls: failure modes, strength and deformation analysis, and design implications, ACI Structural Journal, 97(1) (2000) 132-141.
- [49] A.A. Tasnimi, Strength and deformation of mid-rise shear walls under load reversal, Engineering Structures, 22(4) (2000) 311-322.
- [50] A.J.K.I.A.T. Thomas N. Salonikios, G.P. Georgios, Cyclic Load Behavior of Low-Slenderness Reinforced Concrete Walls: Failure Modes, Strength and Deformation Analysis, and Design Implications, ACI Structural Journal, 97(1) (2000).
- [51] M.S. Lopes, Experimental shear-dominated response of RC walls: Part I: Objectives, methodology and results, Engineering Structures, 23(3) (2001) 229-239.
- [52] P. Daniel, J.V. Frank, Behavior of Three-Dimensional Reinforced Concrete Shear Walls, ACI Structural Journal, 99(1) (2002).
- [53] J. Paterson, D. Mitchell, Seismic Retrofit of Shear Walls with Headed Bars and Carbon Fiber Wrap, Journal of Structural Engineering, 129(5) (2003) 606-614.
- [54] Y. Chiou, Y. Mo, F. Hsiao, Y. Liou, M. Sheu, Behavior of High Seismic Performance Walls, in: 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, August, paper, 2004.
- [55] J.I.R. Eric M. Hines, S. Frieder, Force-Displacement Characterization of Well-Confined Bridge Piers, ACI

- of Asian Architecture and Building Engineering, 9(2) (2010) 447-454.
- [73] H. Layssi, W.D. Cook, D. Mitchell, Seismic Response and CFRP Retrofit of Poorly Detailed Shear Walls, Journal of Composites for Construction, 16(3) (2012) 332-339.
- [74] T.A. Tran, J. Wallace, Experimental study of nonlinear flexural and shear deformations of reinforced concrete structural walls, in: 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012.
- [75] S. Mazzoni, F. McKenna, M.H. Scott, G.L. Fenves, Open system for earthquake engineering simulation (OpenSees): version 2.5.0, Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, Berkeley, California, USA, 2016.
- [76] D. Lignos, Sidesway collapse of deteriorating structural systems under seismic excitations, Stanford University, 2008.
- [77] SERIES, Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies in.
- [78] C. Magna, S. Kunnath, Simulation of nonlinear seismic response of reinforced concrete structural walls, in: 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012.
- [79] W. Corley, A. Derecho, T. Takayanagi, Analysis of inelastic shear deformation effects in reinforced concrete structural wall systems, Portland Cement Association, 1979.
- [80] C.B. Haselton, P.E.E.R. Center, Beam-column element model calibrated for predicting flexural response leading to global collapse of RC frame buildings, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2008.
- [65] F.-P. Hsiao, J.-C. Wang, Y.-J. Chiou, Shear strengthening of reinforced concrete framed shear walls using CFRP strips, in: 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.
- [66] J.W. Wallace, K.J. Elwood, L.M. Massone, Investigation of the Axial Load Capacity for Lightly Reinforced Wall Piers, Journal of Structural Engineering, 134(9) (2008) 1548-1557.
- [67] H. Xiaolei, C. Xuewei, J. Cheang, M. Guiniu, W. Peifeng, Numerical analysis of cyclic loading test of shear walls based on open SEES, Proceedings of the 14th WCEE, China, (2008).
- [68] A. Dazio, K. Beyer, H. Bachmann, Quasi-static cyclic tests and plastic hinge analysis of RC structural walls, Engineering Structures, 31(7) (2009) 1556-1571.
- [69] Ghorbani-Renani, N. Velev, R. Tremblay, D. Palermo, B. Massicotte, P. Léger, Modeling and testing influence of scaling effects on inelastic response of shear walls, ACI Structural Journal, 106(3) (2009) 358.
- [70] K.O. Leonardo M. Massone, W.W. John, Modeling of Squat Structural Walls Controlled by Shear, ACI Structural Journal, 106(5) (2009).
- [71] N. Nakamura, N. Tsunashima, T. Nakano, E. Tachibana, Analytical study on energy consumption and damage to cylindrical and I-shaped reinforced concrete shear walls subjected to cyclic loading, Engineering Structures, 31(4) (2009) 999-1009.
- [72] H. Zhang, X. Lu, X. Wu, Experimental Study and Numerical Simulation of the Reinforced Concrete Walls with Different Stirrup in the Boundary Element, Journal

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Sharifi, M. A. Fathali, M. A. Ansari pour, A. R. Mohammad Amri, *Determining Hysteretic Parameter Model for RC Shear Wall. Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021) 1137_1178.*

DOI: [10.22060/ceej.2019.16822.6358](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16822.6358)

