

مدلسازی عددی تیر کوپله فولادی و بتنی در دیوار برشی کوپله بتن

مسلح

حبیب اکبرزاده بنگر^۱، ابوزر جعفری^۲، میثم بهشتی^۳

^۱دانشیار دانشگاه مازندران، ^۲دانشجوی دکترا، ^۳دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه مازندران

h.akbarzadeh@umz.ac.ir

abouzar_jafari@yahoo.com

maysambeheshti@gmail.com

چکیده:

دیوار برشی بتنی کوپله، متشکل از دو دیوار برشی بتنی است که به وسیله تیرهایی کوپله کننده، غالباً بتنی و در بعضی موارد فولادی، در ارتفاع دیوار به یک دیگر اتصال یافته اند. از سوی دیگر مدل سازی عددی دقیق دیوارهای برشی کوپله سازه‌ای جهت شناخت دقیق رفتار سازه های بلند در مقابل زلزله الزامی می باشد. اغلب روش های مدل سازی عددی تیرهای کوپله به استفاده از روش اجزای محدود با المان های کوچک منحصر شده است که به افزایش زمان و هزینه ی تحلیل ها می انجامد. در این مقاله با ارائه روشی جدید، مدل سازی عددی دینامیکی دیوارهای برشی کوپله بتنی با تیر کوپله بتنی و فولادی با المانهای میله ای با دقتی بالا انجام گرفته است. در این روش تیرهای کوپله با استفاده از تیر با رفتار الاستیک و مفاصل برشی - خمشی و با مفصل لغزشی مدل سازی گردید. همچنین برای مدل سازی دیوارهای برشی از المان های چند لایه با مقاطع فایبر استفاده شده که اثر محصورشدگی در المان مرزی در آن لحاظ شده است. جهت صحت سنجی مدل پیشنهادی برای دیوارهای برشی کوپله بتنی با تیر کوپله بتنی و فلزی از نتایج آزمایشگاهی موجود استفاده شده است. مقایسه رفتار پیش بینی شده توسط مدل پیشنهادی و نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که مدل سازی عددی پیشنهادی از دقت بالایی برخوردار می باشد.

واژه های کلیدی: دیوار برشی کوپله بتنی، تیر کوپله بتنی، تیر کوپله فولادی، مدل سازی عددی، تحلیل دینامیکی

Keywords: Concrete Coupled Shear Wall, Concrete Coupled Beam, Steel Coupled Beam, Numerical Modeling, Dynamic Analyses

Abstract

Concrete coupled shear walls consist of two RC shear walls that are connected by coupling beams over the height of the wall. These beams are usually made of concrete or sometimes steel. On the other hand, it is obvious that for a precise understanding of the seismic behavior of tall buildings with coupled shear walls, their accurate nonlinear modeling is necessary. most of the numerical modeling methods for coupling beams employ the FEM with fine meshes that are costly and time-consuming. In this paper by introducing a new technique, accurate dynamic modeling of the concrete shear wall with steel or concrete coupling beam is performed by employing bar elements. In this technique, coupling beams are modeled using an elastic beam, shear-flexural hinges and shear and sliding hinge. In addition, shear walls are modeled by employing multi-layer shell finite elements with fiber sections that they can consider the confinement effect in wall's edges. In order to verify the proposed model of coupled shear walls, results of numerical analyses are compared with the results of experimental load tests. The results indicate that the technique used in this paper to model the dynamic behavior of these walls can accurately simulate their behavior.

۱- مقدمه

سیستم دیوار برشی بتنی از سیستم های رایج جهت مقابله با نیروی جانبی ناشی از زلزله در ساختمانهای بتن مسلح بخصوص ساختمان بلند می‌باشد. به دلیل استفاده از بازشوهای در یا پنجره به طور منظم در ارتفاع، دیوار برشی اغلب به دو دیوار کوچکتر تقسیم می‌شود که به وسیله تیرهای کوپله به هم متصل می‌شوند. تیرهای کوپله نیروهای عمودی را بین دو دیوار انتقال می‌دهند و باعث مقاومت کوپل شدگی در مقابل بخشی از لنگر واژگونی ایجاد شده به وسیله نیروی زلزله می‌گردند [1].

در زلزله های بزرگ، تیرهای کوپله بسیار قوی نیروهای محوری بزرگ و لنگرهای خمشی در دیوارها را ایجاد می‌کنند که موجب گسیختگی پایه‌های دیوار قبل از تیرهای کوپله می‌شوند. دیوارها علاوه بر بارهای جانبی مقداری از بارهای ثقلی را نیز تحمل می‌کنند، لذا هر گونه آسیب به دیوار در حالت نهایی می‌تواند ایمنی ساختمان را به خطر اندازد و حتی تعمیر را پس از زلزله بسیار دشوار نماید. در حالت دیگر اگر تیرهای کوپله در مقابل دیوار برشی خیلی قوی نباشند، از طرفی دیگر در حالت نهایی تیرهای کوپله قبل از دیوار تسلیم می‌شوند و انرژی وارده از طرف زلزله را مستهلک می‌کنند، لذا خرابی دیوارها در حالت نهایی بحرانی نمی‌گردد. بنابراین از مزیت های سیستم دیوارکوپله، اتلاف انرژی لرزه‌ای در ارتفاع سیستم جانبی بدلیل تحمل تغییرشکل‌های غیرالاستیک تیرها و همچنین سختی جانبی دیوار برشی بتنی کوپله از جمع سختی های دیوارهای تک بیشتر می‌باشد [2].

بدلیل اینکه عرض بازشوها در اکثر دیوارهای برشی کوپله بین ۱ تا ۲ متر می‌باشد لذا تیرهای کوپله، دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ یا حتی کمتر می‌باشند پس بعنوان تیر عمیق شناخته می‌شوند. بنابراین این تیرها تمایل به گسیختگی برشی دارند. تیر کوپله بتنی رایج ترین تیر کوپله در المان دیواربرشی کوپله بتنی می‌باشد. همانطوری که گفته شد تیرهای کوپله با نسبت دهانه به عمق مقطع کمتر از ۲، دارای جذب انرژی بالا و رفتار غالب برشی می‌باشند. پارک و پاولی، تحقیقاتی بر روی رفتار تیرهای کوپله بتنی با نسبت دهانه به عمق مقطع کمتر از ۲ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که جهت جلوگیری از شکست برشی و افزایش جذب انرژی و شکل پذیری تیرهای کوپله بتنی با نسبت دهانه به عمق مقطع کمتر از ۲، میلگرد گذاری قطری ویژه‌ای نیاز می‌باشد [3]. بدلیل مشکلات ساخت و زمان بر بودن اجرای این تیرها، محققان روش‌های مختلفی جهت جایگزین کردن تیرهای کوپله بتنی پیشنهاد نمودند [4]، [5]، [6]، [7]. یکی از راه حل های پیشنهادی، استفاده از تیرهای کوپله فولادی با تکیه گاه های محاط شده در دیواربرشی بتنی می‌باشد [5] و [4] و [8] و [9]. تحقیقات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تیرهای کوپله فولادی مقاومت، شکل پذیری، سختی و پاسخ چرخه ای خوبی را برای عملکرد سازه‌ای جهت جایگزینی تیر کوپله بتنی در زلزله از خود نشان می‌دهند. جهت تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی سیستم های سازه، دیواربرشی بتنی مدلهای زیادی با دقت کافی در نرم افزارهای تجاری توسعه داده شده است. تحقیقات محدودی در روی تحلیل غیرخطی سیستم دیوار برشی بتنی کوپله با تیر کوپله بتنی و فولادی انجام گرفته است [1] و [10].

در سال ۲۰۰۲، ایل-تاوی و همکاران [11]، با مدلسازی چندین نمونه دیوار برشی بتنی کوپله با تیر فولادی مدفون در دیوار که قبلا آزمایش شده بودند در نرم افزار اجزا محدود DIANA روشی را جهت طراحی و مدلسازی اجزا محدودی دیوار برشی بتنی کوپله با تیر فولادی جهت تحلیل استاتیکی غیرخطی در نرم افزار DIANA ارائه کردند. دیوارهای برشی بتنی در این نرم افزار با استفاده از المان های ریز خمشی همسان گرد ۳ گره‌ای و ۴ گره‌ای، همچنین جان تیرهای کوپله فولادی با استفاده المان‌های خمشی همسان گرد ۴ گره ای و بال‌های تیرهای کوپله با استفاده از المان خرابایی مدلسازی شدند. این مدل ها اثرات غیرخطی مواد، ترک خوردگی بتن، باز و بسته شدن بتن در ناحیه مدفون تیر کوپله و سطح دیوار را در بر می‌گیرند.

در سال ۲۰۰۷، مور [12]، با مدلسازی دیوار کوپله بتن مسلح ۳ طبقه دارای تیر کوپله بتن مسلح با میلگرد قطری در نرم افزار اجزا محدود VecTor2 بررسی اثر میلگردهای محصور کننده تیرهای کوپله بر مقاومت تیرهای کوپله و رفتار دیوار کوپله بتن مسلح پرداخت. او از مش‌های ریز مثلثی و مستطیلی جهت مدلسازی المان های دیوار کوپله بتن مسلح استفاده کرد. همچنین میلگردهای قطری را با استفاده از المان خرابایی مدل سازی کرد.

نتایج کارهای محققین نشان می‌دهد که مدلهای ارائه شده برای تحلیل غیرخطی دینامیکی برای یک تک تیر کوپله بتنی یا دیوار برشی بتنی ارزیابی شده است و برای دیواربرشی کوپله بتنی، تیر کوپله بتنی مدل های غیرخطی استاتیکی پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است. تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی و دینامیکی پیشنهادی برای تیر کوپله فلزی بسیار محدود می‌باشد [10].

در سال ۲۰۱۱، حسینی و همکاران [13]، با مدلسازی اجزا محدود تیر کوپله بتن آرمه و تیر کوپله فولادی که قبلا آزمایش شده بودند،

به بررسی تفاوت پاسخ چرخه ای این دو المان در دیوارهای برشی کوپله بتنی پرداختند. نتایج بررسی های آنها نشان دهنده ی عملکرد بهتر تیر کوپله فولادی در جذب انرژی لرزه ای می باشد. در سال ۱۳۹۳، عرب زاده و عمرانیان [10]، با مدلسازی غیرخطی اجزاء محدود تیرهای کوپله با سخت کننده های قطری و قائم در نرم افزار ABQUS به این نتیجه رسیدند که سخت کننده ی قطری در جان تیر کوپله فولادی ظرفیت برشی و سختی اولیه و جذب انرژی بهتری نسبت به تیر کوپله فولادی با سخت کننده قائم دارد. همچنین با مطالعه پارامتریک بر روی نسبت ارتفاع تیر بر ضخامت جان و زاویه سخت کننده قطری، حالت بهینه زاویه سخت کننده قطری را ۳۰ درجه پیشنهاد می کنند. در سال ۲۰۱۰، نیشا و همکاران [14]، با آزمایش بر روی تیرهای کوپله بتن مسلح با میلگرد قطری روشی جهت مدلسازی تیرهای کوپله در نرم افزار PERFORM-3D جهت تحلیل دینامیکی پیشنهاد دادند. روش او به سختی الاستیک تیر کوپله بتنی و مشخصات بار تغییر مکان مفاصل تیر کوپله وابسته می باشد. بررسی های نتایج نیشا و همکاران نشان می دهد که این روش دارای دقت بسیار بالایی می باشد.

همانطوری که کارهای انجام شده روی تحلیل غیرخطی تیرهای کوپله فلزی نشان می دهد، مدل های پیشنهادی بر روی تک تیر کوپله بتنی و فلزی ارزیابی شده است. همچنین مدل های تئوری با نرم افزارهای اجزاء محدود با المان های کوچک انجام گرفته که برای مهندسی کاربردی نمی باشد. لذا در این تحقیق مدل تئوری کاربردی دقیق در نرم افزار PERFORM 3D جهت تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی سیستم دیوارهای برشی کوپله بتنی با تیر کوپله بتنی و فلزی پیشنهاد شده است. این مدلسازی پیشنهادی علاوه بر دقت بالا دارای سادگی برای مهندسی می باشد.

برای بررسی بیشتر دیوارهای برشی کوپله بتنی با تیر کوپله بتنی یا فلزی در برابر بارهای لرزه ای، نیاز به مدلسازی دقیق و با سرعت آنالیز بالا می باشد. لذا در ادامه نحوه مدلسازی چنین دیوارها جهت تحلیل غیرخطی با تکنیک جدید در نرم افزار Perform-3D ورژن ۵ توضیح داده شده است.

۲-۱- مدلسازی دیوار برشی بتن مسلح

برای مدلسازی رفتار دیوارها از مدل اجزای محدود با المانهای پوسته ای چند لایه نشان داده شده در شکل (۱) استفاده می شود. در این مطالعه با استفاده از مقاطع موسوم به فایبر^۱، که می تواند برای تعریف سطح مقطع عرضی هر المان استفاده شود، رفتار غیرخطی دیوارها مدل شده است. برای این کار، با بکارگیری یک چیدمان صحیح از الیاف بتنی و فولادی که رفتار هر یک از آنها به صورت نمودارهای تنش- کرنش با دقت بالایی تعریف شده اند، می توان سطح مقطع هر المان را مدلسازی کرد. سپس با استفاده از این المانها در لایه های مختلف که هر یک بیانگر یکی از خواص مکانیکی و رفتاری بتن مسلح است، آنها را به صورت موازی به یکدیگر متصل کرده و رفتار کلی یک دیوار را مدلسازی می کنیم. بنابراین جهت مدلسازی رفتار غیرخطی دیوارهای بتنی، از المان های shear wall در نرم افزار PERFORM-3D استفاده می شود که رفتارهای خمشی و برشی در این دیوارها از المانی که ترکیبی از دو لایه خمشی- محوری و برشی، استفاده شده است [15]. این لایه ها در گره های المان ها به یکدیگر متصل شده و به صورت لایه هایی موازی با هم عمل می کنند. در این پژوهش از ۳ نوع لایه برای مدلسازی رفتار دیوارها استفاده شده که شامل لایه خمشی- محوری بتنی، لایه خمشی- محوری فولادی و لایه برشی بتن می باشد.

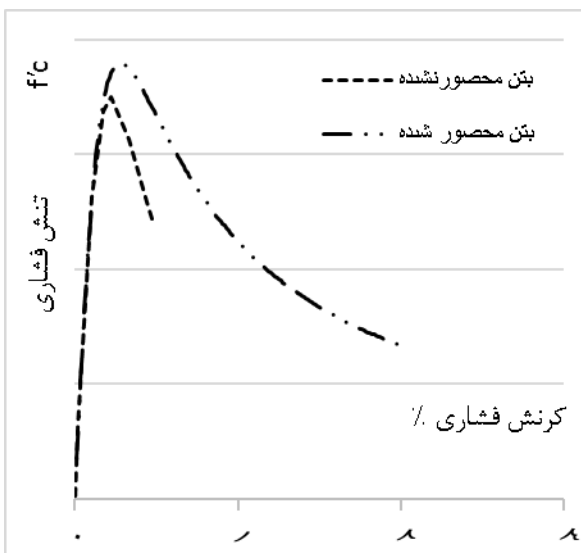
۲-۱-۱- خواص مکانیکی الیاف خمشی-محوری بتن و فولاد

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده آرماتورهای فولادی بصورت رفتار سه خطی تنش-کرنش مدل می شوند. در لایه خمشی-محوری فولادی، توزیع الیاف فولادی همانند توزیع آرماتورها در ساختار مقطع دیوار مدل می شوند. مطابق شکل (۳) مدل تنش کرنش مندر و همکاران، جهت مدلسازی بتن در وضعیت های محصور شده و محصور نشده در تنش فشاری در المان های دیوار استفاده می شود [16].

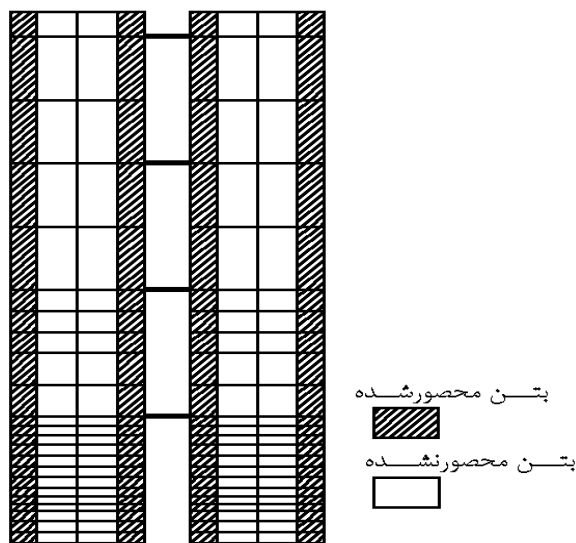
جهت مدل سازی تنش-کرنش بتن در کشش از مدل تنش کرنش کششی کولین و همکاران همانند شکل (۴)، برای بتن محصور شده و نشده استفاده می گردد. در این مدل، تنش کششی بتن به صورت خطی با معادله (۱) تا تنش ترک خوردگی افزایش می یابد و سپس

^۱ Fiber section

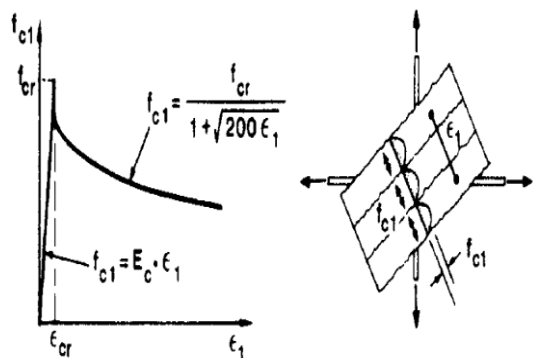
با معادله (۱) به صورت غیرخطی کاهش می یابد [17]. f_{c1} تنش کششی، f_{cr} تنش ترک خوردگی بتن می باشد که کولین برابر با $0.33\sqrt{f_c}$ پیشنهاد می کند ولی ACI318-2008 تنش کششی ماکسیمم بتن را برابر با $0.55\sqrt{f_c}$ پیشنهاد می نماید. لذا در این تحقیق f_{cr} برابر با $0.55\sqrt{f_c}$ و کرنش نهایی بتن با استفاده از نتایج بررسی های کولین حدود 0.0025 در نظر گرفته شده است.



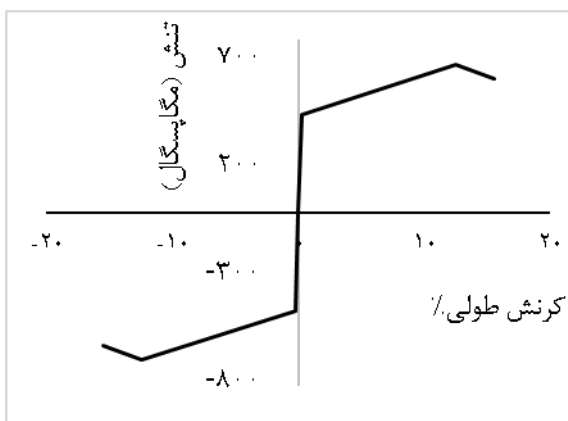
شکل (۳) منحنی های تنش - کرنش تک محوری بتن



شکل (۱) چیدمان المان الیاف بتنی



شکل (۴) منحنی تنش - کرنش کششی بتن جهت مدلسازی



شکل (۲) منحنی تنش - کرنش تک محوری فولاد

$$f_{c1} = E_c \epsilon_1 \quad (1)$$

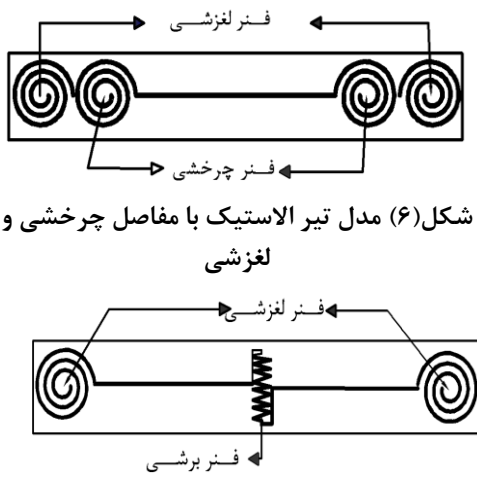
$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \quad (2)$$

$$f_{c1} = \frac{f_{cr}}{1 + \sqrt{200\epsilon_1}} \quad (3)$$

۲-۱-۲- لایه برشی بتنی

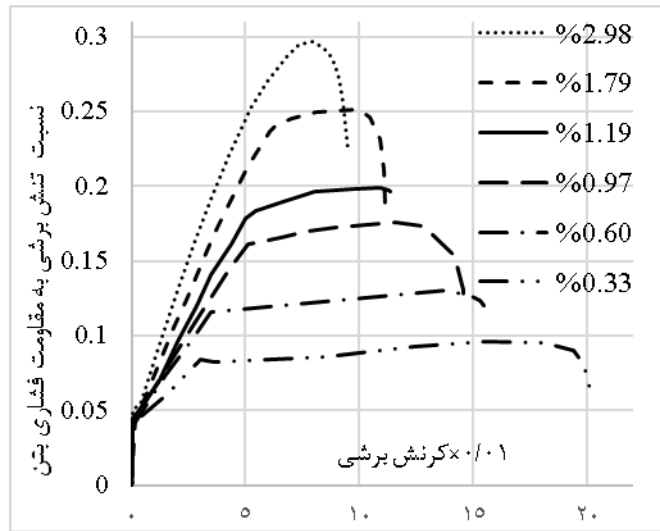
لایه سوم استفاده شده برای مدلسازی المانهای دیوار، لایه برشی بتن می باشد که فاقد مقطع فایبر است که این رفتار بصورت غیرخطی فرض می شود. جهت مدلسازی برشی بتن در مقاطع فایبر المان های دیوار از مدل پیشنهادی بنتز و کولین، استفاده می شود [18].

شکل (۵)، نمودار تنش- کرنش نرمال شده ای را براساس تنش حداکثر محوری، کرنش نهایی برشی و درصد میلگرد عرضی ارائه شده است. با داشتن پارامترهای مقاومت فشاری حداکثر بتن و درصد میلگرد عرضی در دیوار به طور مستقیم تنش حداکثر برشی مقاوم بتن، کرنش نهایی و کرنش الاستیک با استفاده از نمودار مربوطه استخراج شده و در نرم افزار استفاده می شود. در این شکل هر یک منحنی ها برای دیوار با میلگرد عرضی با درصد های ۲/۹۸، ۱/۷۹، ۱/۱۹، ۰/۹۷، ۰/۶، و ۰/۳۳ ترسیم شده است. همچنین مدول برشی (G) برابر با $0/4Ec$ در نظر گرفته می شود.



شکل (۶) مدل تیر الاستیک با مفاصل چرخشی و لغزشی

شکل (۷) مدل تیر الاستیک با مفصل برشی و دو مفصل لغزشی



شکل (۵) منحنی تنش- کرنش برش جهت مدلسازی

۲-۲-مدلسازی تیرهای کوپله

استفاده بسیار زیادی از روش های مدلسازی مفاصل پلاستیک و مدل های فایبر با روابط تک محوری مواد برای بتن و میلگرد در مدلسازی تیر-ستون جهت تحلیل و طراحی ساختمان انجام می گیرد. برای تیرهای کوپله معمولاً "مدل تیر-ستون استفاده می شود، زیرا استفاده از مدل فایبر دارای پیچیدگی و در اکثر موارد برای تیرهای کوپله با میلگرد قطری پاسخ تضمین شده ای ندارد. بنابراین جهت بررسی دقیق تر مدلسازی تیرکوپله روش های مختلف مدلسازی شامل مفاصل پلاستیک استفاده شده است.

۲-۲-۱-تیرهای کوپله بتنی

دو روش مدلسازی برای تیرهای کوپله بتنی با مفصل پلاستیک می توان استفاده نمود. روش اول متشکل از یک تیر الاستیک با سختی خمشی و برشی جهت محاسبه تغییرشکل های خطی و یک فنر غیرخطی چرخشی در هر انتهای تیر جهت در نظر گرفتن تغییرشکل های غیرخطی خمشی و برشی استفاده می شود (شکل (۶)). همچنین همانطوری که در شکل (۶) نشان داده شده از یک فنر الاستیک چرخشی جهت در نظر گرفتن تغییرشکل های لغزشی استفاده می شود.

در روش دوم همانند شکل (۷) از تیر الاستیک با سختی خمشی و برشی و یک فنر غیرخطی برش- تغییرمکان در وسط دهانه تیر جهت در نظر گرفتن برش و تغییر شکل های برشی و همچنین از یک فنر الاستیک چرخشی جهت تغییرشکل های لغزشی استفاده می شود. در این مطالعه پارامترهای مدلسازی بار-تغییرشکل مفاصل هر یک از روش ها را می توان از نتایج [19]ASCE41-06 و یا از نتایج بررسی های نیشا (۲۰۱۰) [20]، استفاده نمود. نتایج بار-تغییرمکانی که نیشا [20] بدست آورده، دلیل در نظر گرفتن تغییرشکل های لغزشی با نتایج ASCE41-06 اختلاف دارد، در حالی که نتایج ارائه شده توسط ASCE41-06 محافظه کارانه تر می باشد. لذا در این مطالعه از نتایج بدست آمده توسط نیشا جهت بدست آوردن روابط بار-تغییرمکان تیرهای کوپله بتنی استفاده می گردد.

روش تحلیل الاستیک نیاز به تخمین مقادیر سختی موثر الاستیک خمشی و برشی بخاطر ترک خوردگی دارد. FEMA 356، مقادیر

سختی موثر را سختی الاستیک خمشی و برشی $0.5E_c I_{eff}$ و $0.4A_{cw}E_c$ پیشنهاد داده است [21]. اصلاحیه ASCE41-06 در سال ۲۰۱۰، مقادیر کمتر از $0.3E_c I_{eff}$ پیشنهاد می کند. همچنین نیشا، با آزمایش بر روی تیرهای کوپله بتن مسلح دارای میلگرد قطری، سختی خمشی تیر کوپله بتنی را بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ سختی مقطع کل تیر کوپله بتنی پیشنهاد داده است. لذا در این مطالعه از سختی موثر خمشی پیشنهادی نیشا [14] برای تیرهای کوپله بتنی دارای میلگرد قطری، استفاده شده است. همچنین سختی برشی تیر کوپله برابر با ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ سختی مقطع کل تیر فرض می شود.

۲-۲-۲-مدلسازی تیرهای کوپله فولادی

هریس و همکاران، با بارگذاری سیکلی نمونه های واقعی تیرهای کوپله فولادی که جان آنها در برابر کماتش تقویت شده بود به بررسی رفتار این تیرها پرداختند. در این مطالعه حداکثر مقاومت برشی در حدود ۱/۵ برابر مقاومت برشی اسمی جان براساس 22]ANSI/AISC 360-10[و چرخشی برابر با ۱۰٪ گزارش شد. همچنین مقاومت برشی مورد انتظار V_p را برابر با ۱/۲۵ برابر برش اسمی توصیه می کنند [4]. شهروز و همکاران، با بررسی مشکلات دیوار کوپله بتن مسلح با تیرهای فولادی و کامپوزیتی فولادی-بتنی، مقدار دوران تیرهای فولادی در حدود ۰/۰۶ رادیان و تیرهای کامپوزیتی را در حدود ۰/۱۲ رادیان بیان می کنند [8]. ماتر، با استفاده از نتایج آزمایش های انجام شده بر روی تیرهای کوپله کامپوزیتی فولادی-بتنی به بررسی طول محاطی تیر فولادی در دیوار کوپله بتنی و همچنین روشی را جهت مدلسازی غیرخطی این تیرها پیشنهاد کرد. او تیرهای کوپله کامپوزیتی را با روش هایی که برای مدلسازی تیرهای کوپله بتن مسلح ذکر گردید در نرم افزار PERFORM-3D مدلسازی کرد نتایج مدلسازی او دقت بسیار بالایی را برای مدلسازی اینگونه تیرها در نظر می گیرند [23]. لذا روشی که در این تحقیق جهت مدل سازی تیرهای کوپله فولادی استفاده شده است، همانند مدل پیشنهاد شده برای تیر کوپله بتن مسلح که در بخش ۲-۲-۱- تیرهای کوپله بتنی می باشد (شکل ۶) و شکل (۷)). همانگونه که قبلا ذکر گردید در این روش تیر کوپله با استفاده از مفاصل برشی در وسط تیر یا مفاصل خمشی در دو انتها تیر و مفصل لغزشی در دو انتها تیر و یک تیر الاستیک مدل می گردند. در این روش سختی الاستیک تیرهای کوپله فولادی از معادله (۵) که توسط هریس و همکاران، پیشنهاد شده بدست می آید [5]، [4]، [24].

$$EI_{eff} = 0.6k'E_s I_{gs} \rightarrow k' = \left(1 + \frac{12E_s I_{g,s} \lambda}{L_c^2 G_s A_w}\right)^{-1} \quad (4)$$

K' بیانگر کاهش سختی خمشی به دلیل تغییر شکل های برشی می باشد، $I_{g,s}$ ممان اینرسی مقطع کامل، E_s مدول الاستیسیته فولاد، G_s مدول برشی فولاد، A_w مساحت مقطع فولادی مقاوم در برابر برش، λ ضریب شکل برای برش است (مقطع I شکل برابر با ۱،۲۵)، L_c دهانه موثر از تیر کوپله، و همچنین سختی الاستیک برشی برای تیر کوپله با فرض $K'=1$ برابر با $0.16G_s A_w$ استفاده می شود.

۲-۲-۳-محاسبات فنر الاستیک لغزشی

لغزش میلگردهای خمشی بخش بزرگی از تغییر شکل تیر (۴۰-۵۰٪) را در حالت تسلیم به خود اختصاص می دهند [20]. در اصلاحیه ASCE41-06 سختی تیر الاستیک به دلیل اثرات لغزش در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش داده شده است [25]. در سال ۱۹۹۲، الیوات و ساچیگلو [26]، جهت مدلسازی اثرات لغزش در چرخش تسلیم عضو، روشی را برای مدلسازی لغزش میلگردها در تکیه گاه تیرهای کوپله، سطح مشترک تیر و دیوار پیشنهاد دادند. در این روش مدلسازی اثرات لغزش در نرم افزار از یک مفصل چرخشی نیمه صلب استفاده می گردد. لذا در این مقاله جهت تعیین رابطه بار-تغییر مکان مفصل لغزشی از این روش استفاده می گردد.

۳- معرفی نمونه ها

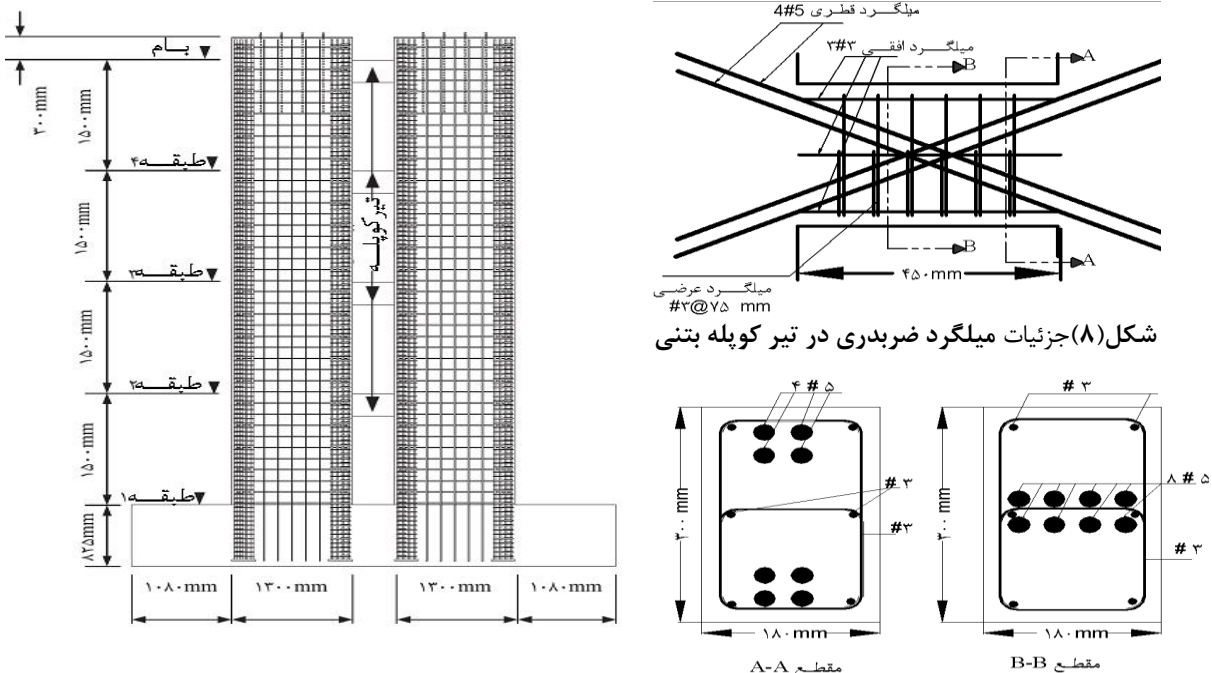
در سال ۲۰۱۴، چنگ و همکاران [6]، دو دیوار کوپله برشی بتن آرمه چهار طبقه دارای مقیاسی برابر با نصف مقیاس واقعی با تیرهای کوپله بتن آرمه با میلگردهای قطری و تیرهای فولادی با ورق فولادی با تنش تسلیم پایین در جان آزمایش کردند. این دیوارها به منظور بررسی رفتار چرخه ای دیوارهای کوپله با تیرهای بتن آرمه و فولادی طراحی و آزمایش شدند. با توجه به شکل (۱۰) و منبع شماره ۶ ارتفاع کلی دیوارها از فونداسیون، طول افقی پایه ها، ارتفاع هر یک از طبقات، طول تیرهای کوپله و ضخامت دیوارهای مورد آزمایش به ترتیب ۶۳۰ سانتیمتر، ۱۳۰ سانتیمتر، ۱۵۰ سانتیمتر، ۴۵۰ میلیمتر و ۲۰۰ میلیمتر می باشند. مقاطع و خصوصیات بتن و میلگردهای پایه های دیوارها برای هر یک از دیوارهای کوپله با توجه به نوع تیر مورد استفاده در دیوارهای کوپله در ارتفاع مشابه

یکدیگر و ثابت هستند.

بارهای وارده به دیوارهای کوبله برشی بتن مسلح با تیرهای فولادی و بتنی مشابه می باشند. قبل از اعمال بارهای افقی، بر سطح هر یک پایه های دیوار، وزنی معادل با ۲۴۵ کیلونیوتن از طریق ۲ جک هیدرولیکی در طبقه بام اعمال می گردد. بارهای افقی در ترازهای ۳متر و ۶ متر از سطح فونداسیون به وسیله جک هایی به صورت رفت و برگشتی به دیوار وارد می گردند.

تیرهای کوبله بتن مسلح در این دیوارهای برشی کوبله دارای ابعادی به طول ۴۵۰ میلیمتر، ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر و عرض ۱۸۰ میلیمتر می باشند، جزئیات آرماتورگذاری این تیرها در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده است. زاویه میلگردهای قطری نسبت به افق ۱۹ درجه می باشد. جهت محاسبه ظرفیت برشی تیر کوبله از معادله (۵) [27]، استفاده می شود. در این معادله A_s مساحت یک دسته از میلگردهای قطری، f_y تنش تسلیم میلگردهای قطری برابر با ۴۲۰ مگاپاسکال و α زاویه ی میلگردهای قطری با افق می باشند. بنابراین ظرفیت برشی نهایی تیر کوبله بتنی تقریباً ۲۱۴ کیلونیوتن می باشد.

$$V_{n,cb} = 2A_s f_y \sin(\alpha) \quad (5)$$



شکل (۱۰) ارتفاع و طول های دیوارهای کوبله بتن مسلح

برای دیوارها [6]

شکل (۹) جزئیات مقطع تیر کوبله بتن آرمه

تیرهای کوبله فولادی مورد استفاده از دو بخش کناری و یک بخش میانی تشکیل شده است. طول بخش میانی ۳۰۰ میلیمتر که فولاد جان از فولاد با تسلیم پایین و بخش کناری ۷۵ میلیمتر که فولاد جان از فولاد معمولی تشکیل شده است. بال تیر کوبله از فولاد معمولی می باشد. جهت جلوگیری از کماتش تیر کوبله از دو سخت کننده با فولاد معمولی استفاده شده است. ارتفاع، عرض، ضخامت بال، ضخامت جان، ضخامت سخت کننده های تیر فولادی به ترتیب برابر با ۳۱۲ میلیمتر، ۸۰ میلیمتر، و بقیه موارد ۱۲ میلیمتر می باشند. ظرفیت برشی نهایی تیر فولادی با توجه به پانل میانی تیر براساس معادله (۶) برابر با ۲۴۰ کیلونیوتن می باشد [22]. در این معادله $f_{y,LYP}$ تنش تسلیم فولاد جان برابر با ۱۰۰ مگاپاسکال و A_w مساحت مقطع جان تیر کوبله فولادی می باشد.

$$V_{n,LYP} = 0.6 f_{y,LYP} A_w$$

(۶)

۳-۱-صحت سنجی و بحث

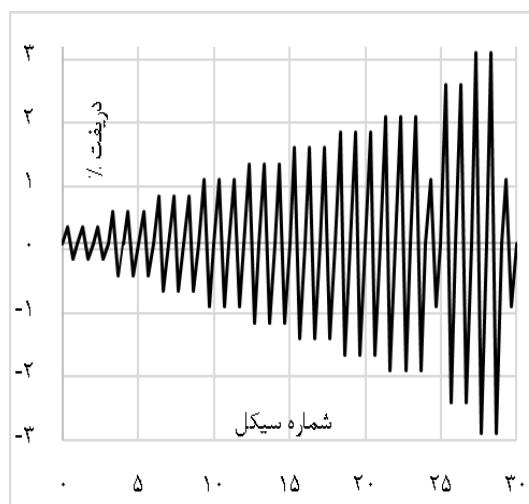
برای صحت سنجی مدل های دیوار برشی کوپله بتنی، با استفاده از نتایج موجود [6]، منحنی لنگر واژگونی پایه دیوارها-دریافت کلی طبقه بام بدست آمده از آزمایش و مدل های غیرخطی دیوارهای کوپله با یکدیگر مقایسه شده اند. دیوار کوپله با تیر بتنی و تیر فولادی به ترتیب تا اولین سیکل دریافت ۳٪ و ۲٪ طبقه بام مطابق بارگذاری چرخه ای شکل (۱۱)، تحت آزمایش قرار گرفته اند.

برای رسم منحنی لنگر واژگونی پایه-دریافت بام مدل، پس از اعمال بار ثقلی، بار جانبی افقی را در نقاط ذکر شده در اوایل بخش، به اندازه های افزایش می دهیم تا دریافت مشابهی همانند آنچه در سیکل های شکل (۱۱) وجود دارد بدست آید. پس از آن با اندازه گیری لنگر واژگونی پایه های دیوار حاصل از بارگذاری جانبی افقی و دریافت طبقه بام مدل در هر گام، منحنی لنگر واژگونی-دریافت کلی طبقه بام برای سیکل های ذکر شده دیوار کوپله ترسیم می گردد.

جدول ۱ نشانگر نسبت لنگر واژگونی حاصل از تحلیل سیکلی به لنگر واژگونی حاصل از آزمایش نمونه ها با انواع مختلف مدلسازی دیوار کوپله بتنی می باشد. با توجه به جدول ۱، میانگین لنگر تخمین زده شده از نتایج عددی به نتایج آزمایشگاهی برای دیوار کوپله با تیر بتنی و فولادی به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۰/۹۹۵ بدست می آید. این نتیجه بیانگر دقت مناسب روش های به کار گرفته شده در تخمین لنگر واژگونی دیوارهای برشی کوپله در نرم افزار می باشد. در ادامه برای هر نمونه آزمایشی ابتدا نمودار لنگر واژگونی-دریافت طبقه بام حاصل از تحلیل سیکلی مدل های ذکر شده ارائه و نیز بررسی می شوند.

جدول ۱ نسبت حداکثر لنگر واژگونی از تحلیل عددی به آزمایشگاهی حاصل از تحلیل سیکلی نمونه ها

۲	۱	روش مدلسازی دیوار کوپله بتنی
دیوار کوپله با تیر کوپله بتن آرمه با میلگرد قطری		
۰/۹۶	۱/۰۲	نسبت تحلیل عددی به آزمایشگاهی
دیوار کوپله با تیر کوپله فولادی		
۰/۹۹	۰/۹۸	نسبت تحلیل عددی به آزمایشگاهی



شکل (۱۱) منحنی تاریخچه بارگذاری در دیوارهای

برشی کوپله بتن مسلح [6]

از کلمات کوتاه شده روش ۱ و روش ۲ به جای مخفف عباراتی که مدل ها را توضیح می دهند، استفاده شده است.

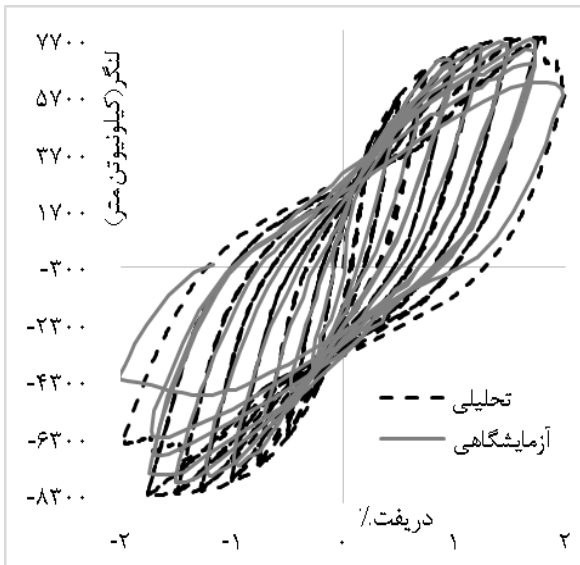
روش ۱ بیان کننده مدلسازی پایه های دیوار کوپله بتنی با مقطع فایبر و تیر کوپله بتنی با المان خطی با مقطع الاستیک و مفاصل خمشی و لغزشی در دو انتها

روش ۲ بیان کننده مدلسازی پایه های دیوار کوپله بتنی با مقطع فایبر و تیر کوپله بتنی با المان خطی با مقطع الاستیک و مفصل برشی در وسط تیر و مفصل لغزشی در دو انتها

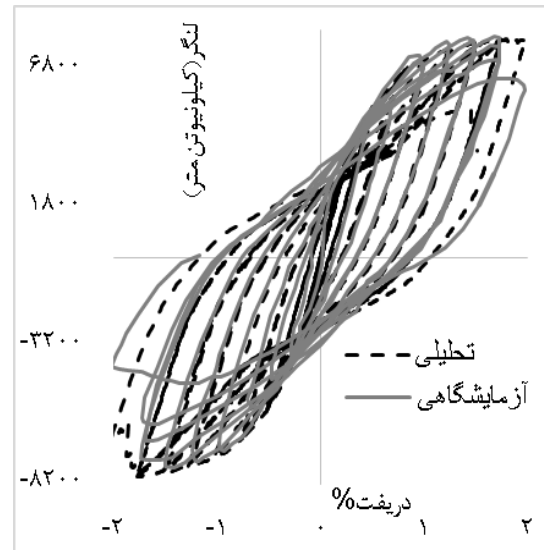
نمودارهای اشکال (۱۲) و (۱۳)، منحنی های لنگر واژگونی-دریافت، حاصل از تحلیل سیکلی مدل های ایجاد شده از دیوار کوپله با تیر فولادی در نرم افزار بار روش های ۱ و ۲ با نمونه آزمایشگاهی را نشان می دهند. با توجه به این اشکال تطابق خوبی بین دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی، هم از نظر مقاومت و هم سختی، در بارگذاری در جهات رفت و برگشت بارگذاری افقی مشاهده می شود. در جهت رفت

بارگذاری افقی در هر سیکل (در جهت مثبت محور افقی شکل (۱۲) و (۱۳))، حداکثر لنگر واژگونی در هر دو روش در نزدیکی دریافت واقعی بدست می‌آید. در جهت برگشت بارگذاری افقی در هر سیکل (در جهت منفی محور افقی شکل (۱۲) و (۱۳))، حداکثر لنگر واژگونی با روش ۱ با خطای بسیار کمتری نسبت به روش ۲ بدست می‌آید. در مدل‌های ساخته شده با هر دو روش، دریافت افت مقاومت نهایی در همان سیکلی که در نمونه واقعی رخ داده، بدست می‌آید. ولی تنها تفاوت آن‌ها، دریافت افت مقاومت نهایی با روش ۱ در حداکثر دریافت سیکل ۲ درصد در جهت منفی محور افقی شکل (۱۲) بدست آمده اما با روش ۲ در همان سیکل ۲ درصد و در جهت مثبت محور افقی شکل (۱۳) و در نزدیکی دریافت ۱/۷۵ درصد بدست می‌آید. هر دو روش با دقت بالایی نمودار دریافت-لنگر واژگونی را پیش بینی کرده‌اند، ولی روش اول بهتر از روش دوم مقاومت وسختی و حتی تطابق بیشتری بین منحنی‌های آزمایشگاهی و تحلیلی را نشان می‌دهد.

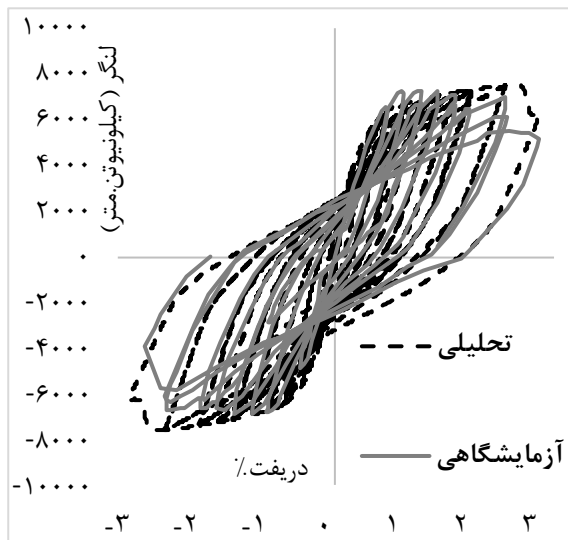
نمودارهای اشکال (۱۳) و (۱۴)، منحنی‌های لنگر واژگونی-دریافت، حاصل از تحلیل سیکلی مدل‌های ساخته شده دیوار کوبله با تیر کوبله بتنی در نرم افزار با روش‌های ۱ و ۲ را با مدل آزمایشگاهی مقایسه می‌کنند. با توجه به این اشکال تطابق خوبی بین دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی از نظر سختی در وضعیت‌های بارگذاری و باربرداری مشاهده می‌شود. حداکثر لنگر واژگونی با روش ۱ در دریافت ۲/۲۵ درصد و با روش ۲ در دریافت ۲/۷ درصد و در حالت واقعی در دریافت ۱ درصد مشاهده می‌گردد. افت نهایی لنگر واژگونی در روش ۱ در دریافت ۲/۵ درصد و در روش ۲ در دریافتی بزرگتر از ۲/۷۶ درصد بدست می‌آید. دلیل اختلاف زیاد بین دریافت حداکثر لنگر با روش‌های به کار رفته در مدلسازی دیوار کوبله بتنی با تیر کوبله بتنی از مقدار آزمایشگاهی، پیچیدگی در مدل‌سازی تیرهای کوبله با میلگرد قطری می‌باشد. هر دو روش با دقت خوبی نمودار دریافت لنگر واژگونی را پیش بینی می‌کنند ولی روش دوم همانطور که شکل (۱۵) نشان می‌دهد تطابق بیشتری بین منحنی‌های تحلیلی و آزمایشگاهی ایجاد می‌کند.



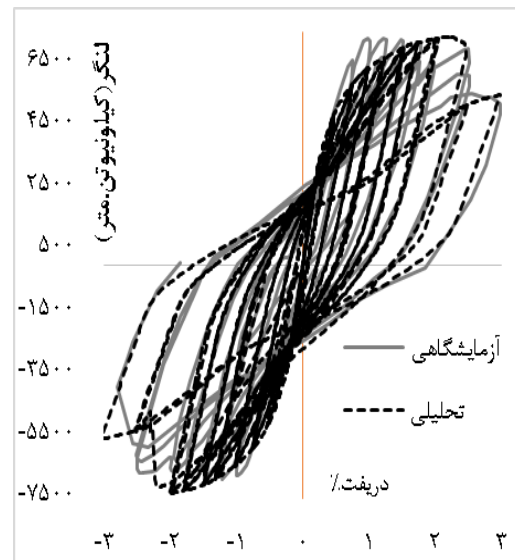
شکل (۱۳) منحنی لنگر واژگونی-دریافت کلی طبقه بام دیواربرشی کوبله دارای تیر فولادی با روش ۲



شکل (۱۴) منحنی لنگر واژگونی پایه-دریافت کلی طبقه بام دیوار برشی کوبله دارای تیر فولادی با روش ۱



شکل (۱۵) منحنی لنگر واژگونی پایه-دریفت، دیوار کوپله با تیر کوپله بتنی با روش ۳



شکل (۱۴) منحنی لنگر واژگونی پایه-دریفت، دیوار کوپله با تیر کوپله بتنی با روش ۱

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با مقایسه ی نتایج تحلیل با آزمایشات انجام شده روی نمونه های دیوار برشی کوپله بتنی با تیر کوپله فولادی و دیوار برشی کوپله بتنی با تیر کوپله فولادی، پارامترهای کلیدی در مدل سازی دیوارهای کوپله بتنی در نرم افزار پرکاربرد -PERFORM 3D مشخص و چگونگی تعریف این پارامترها بیان شد. نتایج مهم را به شرح زیر می توان بیان نمود.

۱- تحلیل های انجام شده با نرم افزار، لنگر واژگونی و شکل کلی نمودار لنگر واژگونی-دریفت نمونه ها را با اکثر روش های مدل سازی با دقت بسیار بالایی تخمین زده است. به طور کلی با توجه به جدول (۱) مدل های ساخته شده در نرم افزار با روش های ارائه شده، حداکثر لنگر واژگونی برای دیوار کوپله با تیر کوپله بتنی با میلگرد قطری از ۴ درصد کمتر تا ۲۲ درصد بیشتر نسبت به لنگر واژگونی واقعی و همچنین برای دیوار کوپله با تیر کوپله فولادی از ۲ درصد کمتر تا ۱ درصد کمتر نسبت به لنگر واژگونی واقعی تخمین می زنند.

۲- تحلیل پوش آور دیوار کوپله با تیر فولادی با استفاده از روش ۱ بهترین تطابق بین پاسخ تحلیلی و آزمایشگاهی را نشان می دهد همچنین جهت تحلیل دیوار کوپله با تیر کوپله بتنی با میلگرد قطری استفاده از روش ۲ مناسب می باشد.

۳- پاسخ تحلیلی مدل سازی دیوار کوپله با تیر فولادی در مقایسه با دیوار کوپله با تیر بتنی با میلگرد قطری بسیار بهتر می باشد. این هم بدلیل پیچیدگی کم در مدل سازی تیر کوپله فولادی نسبت به تیر کوپله بتنی با میلگرد قطری در نرم افزار می باشد.

۴- مدل سازی با روش مفصل پلاستیک برشی در مرکز تیر کوپله ومفاصل لغزشی در دو انتهای تیر کوپله در عین سادگی مدل سازی پارامترها ولی مطابقت خوبی بین نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلی را نشان می دهد.

۵- مراجع

- [2] Eljadei. A. A, "PERFORMANCE BASED DESIGN OF COUPLED WALL STRUCTURES," Doctor of Philosophy .University of Pittsburgh, 2012.
- [3] Park. R. and T. c. s. J. W. & Paulay.S, Reinforced concrete structures, John Wiley & Sons., 1975.
- [4] Harries.K. A, Mitchell .D, Cook .W. D. and Redwood .R. G, "Seismic response of steel beams coupling concrete walls," Journal of Structural Engineering, vol. 119, no. 12, pp. 3611--3629, 1993.
- [5] Harries.K. A , Gong . B and Shahrooz .B. M, "Behavior and Design of Reinforced Concrete,Steel, and Steel-Concrete Coupling Beams," Earthquake Spectra, pp. 775-779, 2000.
- [6] Cheng, M.-Y., Fikri, R., & Chen, C.-C , "Experimental study of reinforced concrete and hybrid coupled shear wall systems," Engineering Structures, vol. 82, p. 214–225, 2015.
- [7] Khalifa, E , "Analytical model for steel fiber concrete composite short-coupling beam," Composites Part B: Engineering, p. 318–329, 2014.
- [8] Shahrooz, B. M., Gong, B., Tunc, G., & Deason, J. T , "An overview of reinforced concrete core wall`steel frame hybrid structures," Progress in Structural Engineering and Materials, vol. 3, no. 2, pp. 149-158, 2001.
- [9] Park, W.-S., & Yun, H.-D , "Seismic behaviour of coupling beams in a hybrid coupled shear walls," Journal of Constructional Steel Research, p. 1492–1524, 2005.
- [۱۰] ا. عرب زاده و ا. عمرانیان. "بررسی پارامتریک رفتار یک تیر همبند فولادی پیشنهادی در سازه های با دیوار برشی همبسته تحت بارگذاری چرخه یی." مهندسی عمران شریف. شماره ۲، ۱۳۹۳، pp. 141-133.
- [11] El-Tawil, S., Kuenzli, C. M., & Hassan, M , "Pushover of Hybrid Coupled Walls. I: Design and Modelling," Journal of Structural Engineering, vol. 128, no. 10, pp. 1272-1281, 2002.
- [13] Mohr, D. S , Nonlinear Analysis and Performance Based Design Methods for Reinforced Concrete Coupled Shear Walls, Seattle,University of Washington: Master's thesis, 2007.
- [۱۳] Hosseini, M., Sadeghi, H., & Habiby, S , "Comparing the Nonlinear Behaviors of Steel and Concrete Link Beams in Coupled Shear Walls System by Finite Element Analysis," in The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 2011.
- [۱۴] Naish, David; Wallace, John; Fry, J. Andrew; Klemencic, Ron,; "MODELING OF DIAGONALLY REINFORCED CONCRETE COUPLING BEAMS," in 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (SICEE), Tokyo, 2010.
- [۱۵] Computers and Structures, Inc, User Guide PERFORM 3D Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, University Ave.Berkeley, USA, 2011.
- [۱۶] Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R , "Theoretical stress-strain model for confined concrete," Journal of structural engineering, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.
- [۱۷] Vecchio, F. J., & Collins, M. P , "The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear," ACI Journal, vol. 83, no. 22, pp. 219-231, 1986.
- [۱۸] Bentz, E. C., & Collins, M. P , "Development of the 2004 Canadian Standards Association (CSA) A23.3 shear provisions for reinforced concrete," Canadian Journal of Civil Engineering,

vol. 33, no. 5, pp. 521-534, 2006.

- [19] American Society of Civil Engineers , ASCE/SEI Standard 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Reston, Virginia, 2007.
- [20] Naish, D. A , Testing and Modeling of Reinforced Concrete Coupling Beams, Los Angeles , UNIVERSITY OF CALIFORNIA: Doctor of Philosophy, 2010.
- [21] Agency, F. E , Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA-356), Washington DC, 2000.
- [22] AISC, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI /AISC 360-10, Chicago Illinois: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, 2010.
- [23] Motter, C. J , Large-Scale Testing of Steel-Reinforced Concrete (SRC) Coupling Beams Embedded into Reinforced Concrete Structural Walls, Doctor of Philosophy: UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2014.
- [24] Harries, K. A., Mitchell, D., Redwood, R. G., & Cook, W. D , "Nonlinear seismic response predictions of walls coupled with steel and concrete beams," Can. J. Civ. Eng, vol. 25, p. 803–818, 1998.
- [25] Elwood .K. J, Matamoros . A. B, J. W. Wallace, D. E. Lehman, J. A. Heintz, A. D. Mitchell and J. P. Moehle, "Update to ASCE/SEI 41 concrete provisions," Earthquake Spectra, vol. 23, no. 3, pp. 493-523, 2007.
- [26] Alsiwat.J and Saatcioglu . M, "Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading," Journal of Structural Engineering, vol. 188, no. 9, pp. 2421-2438, 1992.
- [30] ACI Committee, American Concrete Institute and International Organization for Standardization, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary, American Concrete Institute, 2008.