

تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در اعضای بتن آرمه تحت اثر بارهای دوره ای با استفاده از مدل میله و بست

هوشنگ دباغ *

استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

ریزان چوبداریان

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

چکیده

مدل میله و بست یک روش تحلیلی به منظور پیش بینی مقاومت اعضای بتن آرمه دارای نواحی ناپیوسته هندسی و یا استاتیکی است. این روش بر اساس مسیر بار، خرابایی متناظر با عضو سازه ای را تحلیل و طراحی می کند. اگرچه مدل میله و بست برای پیش بینی رفتار اعضای تحت اثر بارهای یکنواخت پیشنهاد شده است، اما استفاده از آن برای اعضای تحت اثر بارهای دوره ای نیازمند به مطالعه بیشتری است. تاکید مطالعه پیش رو بر تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با این بار می باشد. به این منظور از ۴۴ عضو سازه ای دارای نواحی ناپیوسته شامل تیرهای عمیق، دیوارهای برشی کوتاه و ستون های کوتاه تحت اثر بارهای دوره ای که رفتار آنها توسط سایر محققین بطور تجربی مطالعه شده اند انتخاب شده؛ سپس مدل خرابایی و مدل اجزاء محدود سه بعدی آنها در نرم افزار آباکوس تحلیل می شوند. نتایج تحلیلی بدست آمده از مدل خرابایی در مقایسه با نتایج تجربی نمونه های مورد مطالعه نشان دهنده همبستگی مناسب بار شکست و تغییر مکان متناظر با آنها می باشد.

واژه های کلیدی: مدل میله و بست، تحلیل اجزاء محدود، بتن آرمه، بارهای دوره ای، نواحی ناپیوسته.

* نویسنده مسئول: h.Dabbagh@uok.ac.ir

۱- مقدمه

در سال 2002 به ACI 318 پیوست [۱۰]. در مطالعه ای که توسط عرب زاده و همکاران در سال ۲۰۰۹ انجام شد یک مدل ساده برای پیش بینی مقاومت برشی نهایی تیرهای عمیق بتن مسلح پیشنهاد شد. هدف از این پژوهش تعیین مقاومت نهایی برشی با استفاده از مدل سازی تیر عمیق با STM بود [۱۱]. در تحقیق دیگری که در سال 2011 انجام شد تعدادی از اعضای سازه ای طبق مدل های STM طراحی شدند و تحت بارهای یکنواخت در آزمایش هم مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه بارهای شکست مناسب بودن مدل میله و بست پیشنهادی را در مقایسه با نتایج تجربی نشان داد [۱۲]. در سال ۲۰۱۳ در تحقیق دیگری مقاومت برشی تیرهای عمیق دو سر ساده ای تحت اثر بارهای دینامیکی بررسی شد و دو مدل برای تیرها پیشنهاد گردید که نتایج نهایی بار و تغییر مکان جواب های نزدیک به واقعیت را نشان داد [۱۳]. با اینکه تعیین مقاومت برشی اعضای مختلف تحت اثر بارهای یکنواخت توسط مدل میله و بست مورد توجه واقع شده است، اما به نظر می رسد که در مورد اعضای سازه ای مختلف تحت اثر بارهای دوره ای نیاز به مطالعه بیشتری وجود دارد. در این تحقیق به منظور تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با این بار از اعضای بتن آرمه دارای نواحی ناپیوسته شامل تیرهای عمیق، دیوارهای برشی کوتاه و ستون های کوتاه تحت اثر بارهای دوره ای استفاده می شود. افزایش تعداد و انواع اعضای سازه ای مورد مطالعه، هدف تحقیق و نتایج را بهتر بیان می کند. اگر مدل میله و بست متناظر با اعضای سازه ای مورد مطالعه تحت اثر بارهای دوره ای قادر به پیش بینی بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن باشد، می توان در اعضای مورد بحث از تحلیل ساده مدل میله و بست به جای تحلیل پیچیده و زمان بر اجزاء محدود استفاده کرد.

۲- روش انجام پژوهش

در اعضای بتن آرمه دارای نواحی ناپیوسته، مد برش حاکم بر شکست عضو سازه ای می باشد. استفاده از مدل میله و بست برای پیش بینی رفتار این اعضا مناسب است. در این پژوهش از سه دسته از اعضای سازه ای بتن آرمه دارای نواحی ناپیوسته، استفاده می شود. مدل سازی اعضا با توجه به ضوابط پیوست A از آئین نامه ACI 318-11 بر اساس مسیر بارها و هندسه اعضا صورت می گیرد [۱۴]. مدل های میله و بست متناظر هر کدام از اعضای سازه ای

تئوری تیرهای بتن مسلح بر پایه روابط تعادل، سازگاری و مشخصه رفتاری مصالح است. بر اساس این فرض و طبق اصل سنت و نانت در فاصله ای به اندازه بزرگ ترین بعد مقطع، توزیع کرنش در عمق مقطع به صورت خطی است و مقاطع صفحه ای همچنان به صورت صفحه باقی می ماند. قبل از رسیدن به فاصله ای مناسب از محل اعمال بار متمرکز یا عکس العمل تکیه گاهی، توزیع تنش ها در مقطع به صورت یکنواخت نیست. قسمت هایی از اعضای بتن آرمه نزدیک محل اعمال بارهای متمرکز یا عکس العمل های تکیه گاهی یا محل هایی نزدیک به تغییرات ناگهانی سطح مقطع، به عنوان نواحی ناپیوسته استاتیکی یا هندسی معرفی شوند. از این رو روش های دیگری به منظور پیش بینی رفتار نواحی ناپیوسته در اعضای بتن آرمه پیشنهاد می شود. مدل میله و بست یا Strut – and- Tie Model (STM) یکی از روش های ساده ای است که به منظور پیش بینی رفتار نواحی ناپیوسته پیشنهاد می شود [۱]. ایده استفاده از خرپا نخستین بار در سال ۱۸۹۹ توسط ریتر مطرح شد. ریتر یک تیر بتن مسلح ترک خورده را توسط خرپا مدل کرد [۲]. در سال ۱۹۰۲ مورش مدل ریتر را اصلاح کرد [۳]. تلاش ریتر و مورش در مطرح کردن مدل میله و بست، انگیزه جدیدی را برای پیگیری این روش طی سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ ایجاد کرد. تا اینکه در سال ۱۹۹۱ رامیرز و برین مدل اصلاح شده را مطرح کردند [۴]. مولر و تورلیمان این مساله را مطرح کردند که STM بر پایه تئوری کران تحتانی الاستیسیته است. از این رو مدل منحصر به فردی برای یک حالت خاص وجود ندارد [۵]. بیشترین مطالعات برای توسعه و ترویج این روش توسط شلاخ و همکارانش انجام شد. در سال 1987 شلاخ، شافر و جنوین مفهوم STM و استفاده از آن را در اعضای سازه ای مختلف ترویج دادند و اعضای مدل یعنی Tie، Strut و گره ها را معرفی کردند. در ادامه این تحقیقات شلاخ و شافر در سال 1991 این مساله را مطرح کردند که STM میتواند برای ترسیم و ردیابی نیروهای داخلی در سازه های پیچیده استفاده شود [۶]. با این مطالعات آئین نامه های بتن هم استفاده از STM را به عنوان روشی مستدل و مناسب برای تحلیل و طراحی سازه های بتن مسلح پذیرفتند. این آئین نامه ها شامل: CEB-، CSA و FIP و AASHTO LRFD هستند [۷]، [۸] و [۹]. STM

سنجی نتایج تحلیل مدل های میله و بست پیشنهادی و تحلیل اجزاء محدود اعضای سازه ای با نتایج تجربی انجام می شود. نسبت بارها و تغییر مکان ها در نتایج تحلیل به نتایج تجربی بیان گر مقدار دقت تحلیل مدل های پیشنهادی می باشد.

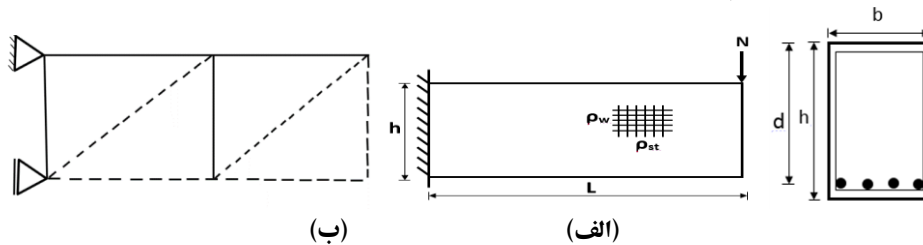
۲-۱-۱- تیرهای عمیق

طبق تعریف آئین نامه ACI318-11 تیر عمیق به تیری اطلاق می شود که دارای نسبت طول به ارتفاع مقطع کوچکتر یا مساوی ۴ باشد. تیرهای عمیق مورد مطالعه به صورت طره و با اعمال بار در نقطه انتهایی می باشند. از نمونه تیرهای مطالعه شده توسط فنویک (۲۰۰۳) و براین (۲۰۱۱) استفاده شده است [۱۶] و [۱۷]. در مدل میله و بست، اعضای کششی افقی میلگردهای طولی و اعضای کششی قائم میلگردهای عرضی را تشکیل می دهند. همچنین اتصال اعضا با استفاده از گره ها که به صورت اتصالات مفصلی خرابایی انتقال نیروها را میسر می سازند، می باشد. به دلیل اینکه طبق ضوابط آئین نامه ACI318-11 [۶] زاویه عضو فشاری مایل نسبت به عضو کششی افقی نباید از ۲۵ درجه کمتر باشد، لذا در مدل مورد نظر از یک عضو کششی میانی به منظور بهبود اندازه زاویه مورد نظر استفاده شده است.

و بار دیگر مدل های سه بعدی اعضا در نرم افزار اجزاء محدود آباکوس [۱۵] تحلیل می شوند. نتایج تجربی تحلیل اعضای بتن آرمه از مراجع استخراج شده و صحت سنجی تحلیل توسط آن ها انجام می شود. در نهایت، نتایج تحلیل مدل میله و بست، نتایج تحلیل اجزاء محدود و نتایج تجربی با هم مقایسه می شوند. هدف از این پژوهش سنجش توانایی مدل میله و بست در پیش بینی بار شکست و تغییر مکان متناظر با این بار در اعضای بتن آرمه تحت اثر بارهای دوره ای می باشد.

۲-۱- نمونه های مورد مطالعه

در این مطالعه از نتایج تجربی نمونه های تیرهای عمیق، دیوارهای برشی کوتاه و ستون های کوتاه استفاده شده است. مشخصات نمونه های مورد مطالعه در بخش های جداگانه مربوط به هر کدام از اعضای سازه ای در جداول و اشکال مربوطه از مقالات معتبر استخراج شده است. دلیل انتخاب نمونه های ذکر شده، وجود نواحی ناپیوسته در این اعضای سازه ای و در دسترس بودن نتایج تجربی این اعضا از مراجع و مقالات می باشد. به منظور درک بهتر پاسخ اعضای سازه ای در برابر اعمال بارهای دوره ای از تحلیل اجزاء محدود خود اعضای سازه ای هم استفاده شده است. صحت



شکل ۱- (الف) هندسه تیرهای عمیق مورد مطالعه (ب) مدل میله و بست پیشنهادی

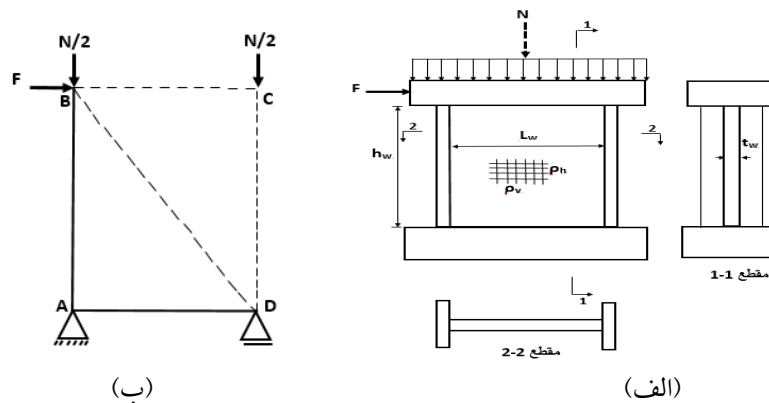
جدول ۱ - مشخصات تیرهای عمیق مورد مطالعه

تیرهای عمیق تحت اثر بارهای دوره ای										
محقق	تیر	ρ_w (%)	ρ_{st} (%)	F_y (MPa)	L/d	L	h	b	b_s	f_c (MPa)
نیروکا [۱۹]	1A	۰/۲۳	۲/۹۸	۲۹۰	۱/۷۵	۹۲۳	۴۴۲	۲۰۰	۲۰۰	۳۰
	1B	۰/۲۳	۲/۹۸	۲۹۰	۲/۵۲	۱۳۲۹	۴۴۲	۲۰۰	۲۰۰	۳۰
	2A	۰/۱۳	۲/۹۸	۲۸۰	۳/۲۹	۱۷۳۵	۴۴۲	۲۰۰	۲۰۰	۳۴/۷
	2B	۰/۱۳	۲/۹۸	۲۸۰	۴	۲۱۴۲	۴۴۲	۲۰۰	۲۰۰	۳۴/۷
	3A	۰/۲۳	۲/۴۴	۲۸۰	۲/۵۲	۱۳۲۹	۴۴۲	۲۰۰	۲۰۰	۲۷/۷
سارین [۱۷]	2A	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۰۶	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۷/۶
	S2A	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۳۲	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۷/۸
	M1	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۱۸	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۹/۴
	S1B	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۳۲	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۷
	M2	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۱۸	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۹/۴
	I1B	۰/۱۹	۳/۱۴	۳۲۱	۳	۱۵۰۰	۴۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۴۰

۲-۱-۲- دیوارهای برشی کوتاه

مطابق جدول ۲ و شکل ۲ است. مدل میله و بست دیوارهای مورد مطالعه بر اساس بارهای قائم و جانبی پیشنهاد شده است. در نمونه‌های فاقد بارهای قائم نیروی اعضای فشاری BC و CD صفر است. اما به دلیل حفظ پایداری مدل مورد نظر این اعضا در نظر گرفته می‌شوند. اعضای کششی و فشاری با استفاده از گره‌ها به صورت مفصلی مطابق اتصالات خرپایی به هم متصل می‌شوند.

دیوارهای برشی کوتاه طبق تعریف آئین نامه ACI318-11 به دیوارهایی اطلاق می‌شود که نسبت ارتفاع به طول ۲ یا کمتر دارند. بار جانبی در ارتفاع دیوارها وارد می‌شود. در مطالعه دیوارهای برشی مورد مطالعه از مطالعات تجربی لفاس (۱۹۹۰) و الناشای (۱۹۸۵) استفاده شده است [۱۸] و [۱۹]. مشخصات دیوارها



شکل ۲: (الف) هندسه دیوارهای برشی کوتاه مورد مطالعه (ب) مدل میله و بست پیشنهادی

جدول ۲ - مشخصات دیوارهای برشی مورد مطالعه

دیوارهای برشی کوتاه تحت اثر بارهای دوره‌ای									
Fv (KN)	H _w /L _w	t _w (mm)	L _w (mm)	H _w (mm)	f _c (MPa)	ρ _{ver} (%)	ρ _{hor} (%)	دیوار	محقق
۰	۲	۶۵	۶۵۰	۱۳۰۰	۳۵/۲	۱/۵	۰/۳۵	SW31	[۱۸]
۰	۲	۶۵	۶۵۰	۱۳۰۰	۵۳/۶	۱/۵	۰/۳۵	SW32	
۰	۲	۶۵	۶۵۰	۱۳۰۰	۴۹/۲	۱/۵	۰/۳۵	SW33	
۰	۱/۵	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۲۶/۱	۰/۵۶۵	۰/۵۶۵	MSW1	
۰	۱/۵	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۲۶/۲	۰/۲۷۷	۰/۲۷۷	MSW2	
۴۰/۵	۱/۵	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۲۴/۱	۰/۲۷۷	۰/۲۷۷	MSW3	
۰	۱/۵	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۲۷/۵	۰/۵۶۵	۰/۵۶۵	MSW6	
۰	۱	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۲/۲	۰/۵۶۵	۰/۵۶	LSW1	
۰	۱	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۱/۶	۰/۲۷۷	۰/۲۷۷	LSW2	
۴۸/۶	۱	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۲۸/۹	۰/۲۷۷	۰/۲۷۷	LSW3	
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۴۹/۵	۰/۳۹	۰/۳۱	SW4	[۱۹]
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۴۷/۵	۰/۳۱	۰/۴۷	SW5	
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۴۹/۶	۰/۳۱	۰/۳۱	SW6	
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۴۵/۲	۰/۳۹	۰/۴۷	SW7	
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۵۳/۷	۰/۳۱	۰/۳۱	SW8	
۰	۲	۶۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۵۳/۷	۰/۳۱	۰/۳۱	SW9	

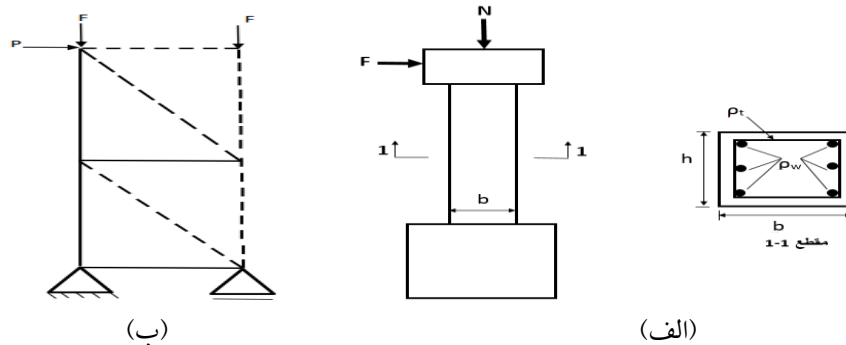
۳-۱-۲- ستون‌های کوتاه

نمونه‌های U3، U4 و U6 مقدار ۲۵۰×۲۵۰ میلیمتر است. نمونه‌های U3، U4 و U6 دارای ابعاد مقطع ۳۵۰×۳۵۰ میلیمتر هستند. از ستون‌های تحت مطالعه یونگ لی و ساچقولو به منظور صحت سنجی نتایج تحلیل استفاده شده است [۲۰] و [۲۱]. در مدل پیشنهادی اعضای

در مورد ستون‌های کوتاه از ۱۷ نمونه ستون تحت اثر بارهای دوره‌ای استفاده شده است. تعدادی از ستون‌ها دارای نیروهای محوری و مابقی فاقد این نوع بارها می‌باشند. ابعاد مقطع همه ستون‌ها به جز

تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در اعضای بتن آرمه تحت ...

کششی قائم میلگردهای طولی و اعضای کششی افقی خاموت‌ها را حفظ زاویه عضو فشاری مایل به عضو کششی افقی در محدوده مجاز نشان می‌دهند. اعضا به وسیله اتصال مفصلی در محل گره‌های خریای مورد نظر به هم متصل می‌شوند. در این مدل هم به دلیل آئین‌نامه، از یک عضو کششی میانی استفاده شده است. مشخصات ستون‌ها مطابق شکل ۳ و جدول ۳ است.



شکل ۳ - (الف) هندسه ستون‌های کوتاه مورد مطالعه (ب) مدل میله و بست پیشنهادی

جدول ۳ - مشخصات ستون‌های کوتاه مورد مطالعه

درصد بار قائم N (%)	مشخصات میلگردهای اصلی			مشخصات میلگردهای عرضی				f _c (MPa)	ستون	محقق
	F _{sw} (MPa)	ρ _w (%)	A _w (mm ²)	F _w (MPa)	A _t (mm ²)	ρ _t (%)	S (mm)			
۱۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۲۷/۴۷	C1-15	[۱۸] نیگی
۳۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۲۸/۰۲	C1-30	
۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۳۷/۳۷	C2-00S	
۱۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۲۷/۴۷	C2-15S	
۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۶۳	۴۰	۲۷/۳۷	C2-00L	
۱۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۶۳	۴۰	۲۷/۴۷	C2-15L	
۳۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۶۳	۴۰	۲۸/۰۲	C2-30L	
۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۳۲	۱۲۰	۳۰	C00-1	
۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۲۱	۸۰	۳۰	C00-2	
۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۲۱	۸۰	۳۰	C05-2	
۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۳۰	C05-3	
۵	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۶۳	۴۰	۳۰	C05-4	
۱۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۳۰	C10-2	
۱۰	۳۲۲/۴	۱/۱۳	۱۹۸/۶	۳۳۰	۳۱/۶	۰/۴۲	۶۰	۳۰	C10-3	
۲۳/۵۰	۴۳۸	۳/۲۷		۴۷۰	۲۰/۷	۰/۱۶۹	۷۵	۳۴/۸۰	U3	[۱۹] ساجدی
۲۵/۵۰	۴۳۸	۳/۲۷		۴۷۰	۳۱/۱	۰/۲۵۴	۵۰	۳۲	U4	
۲۱/۹۰	۴۳۷	۳/۲۷		۴۷۰	۶۰/۶	۰/۴۹۵	۶۵	۳۷/۳۰	U6	

افزار مدل می‌شوند و سپس در مرحله بعد در عضو بتن آرمه قرار می‌گیرند.

• مشخصات مصالح: مشخصات مصالح با توجه به رفتار غیر خطی برای فولاد و بتن در این مرحله تعریف می‌شود.

• تعریف مراحل تحلیل: تحلیل مدل در دو مرحله در نرم افزار تعریف می‌شود. یک مرحله برای تعریف قیود تکیه گاهی و بارهای ثابت مثل

۲-۱-۴- تحلیل اجزاء محدود نمونه‌های مورد مطالعه

در این مرحله اعضای بتن آرمه مورد مطالعه در نرم افزار اجزاء محدود آباکوس تحلیل می‌شوند. شبیه سازی اعضای سازه ای شامل مراحل زیر است:

• هندسه مدل: در این مرحله هندسه مدل با توجه به مشخصات نمونه‌های

تجربی مورد نظر در نرم افزار شکل می‌گیرد. در اعضای بتن آرمه بتن،

میلگردهای خمشی و میلگردهای برشی به صورت جداگانه در نرم

مشخصات مصالح در تیرهای مورد مطالعه تقریباً در یک محدوده قرار دارد و نمی توان آن را به عنوان عامل تاثیرگذار در مقایسه نتایج در نظر گرفت. تیرهای مورد مطالعه توسط فنوبک [۱۶] دارای درصد میلگرد عرضی ۰/۳۳ و تیرهای مورد مطالعه توسط براین [۱۷] دارای میلگرد عرضی ۰/۱۹ درصد می باشند. همانگونه که از جدول نتایج پیداست، مقدار تغییر مکان های جهت رفت و برگشت در مدل میله و بست تیرهای دسته اول به نتایج واقعی تجربی نزدیک تر است. با توجه به مدل پیشنهادی می توان دلیل این امر را عملکرد عضو کششی میانی که نقش میلگردهای عرضی را بیان می کند، دانست. با این توضیح که هر چه میزان میلگردهای برشی بیشتر باشد، مقدار نیروی تحمل شده توسط عضو کششی میانی بیشتر می باشد که بارهای نزدیک به واقعیت را نشان می دهد. با توجه به نتایج جداول و مقایسه بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در تحلیل مدل میله و بست و نتایج تجربی و همچنین مقایسه میانگین و انحراف معیار هم در مورد بارهای شکست و هم در مورد تغییر مکان های متناظر با آن تحلیل مدل میله و بست نتایج نزدیکی را به نتایج تجربی نشان می دهد. نیروها و تغییر مکان های جهت های رفت و برگشت اختلاف کمی با هم دارند. نسبت بارها و تغییر مکان های متناظر در تحلیل مدل میله و بست به نتایج تجربی نشان دهنده مناسب بودن مدل پیشنهادی برای تیرهای طره مورد نظر می باشد. در تحلیل های اجزاء محدود هم که به منظور مقایسه با نتایج تجربی و نتایج تحلیل مدل میله و بست انجام گرفته است، بارها و تغییر مکان های متناظر آن ها در جهت های رفت و برگشت نتایج مشابهی را ارائه می کند. اما با توجه به نمودارهای شکل ۴ مشاهده می شود که بیشترین پراکندگی نتایج مربوط به بارهای شکست جهت برگشت در تحلیل مدل میله و بست می باشد که با توجه به مدل پیشنهادی و قرار گرفتن اعضای فشاری در محل بارهای جهت برگشت نیروهای اعمال شده، این مساله قابل انتظار است. اعضای فشاری بتنی در دوره های بارگذاری دچار ترک خوردگی شده، لذا انتظار می رود که بارهای جهت برگشت فاصله بیشتری را با نتایج تجربی، نسبت به بارهای جهت رفت داشته باشند. در مورد مقایسه نتایج تحلیل مدل میله و بست با نتایج تحلیل اجزاء محدود در مورد تیرهای مورد مطالعه همان طور که از شکل ۴ و جداول ۴ و ۵ ملاحظه می شود، میانگین و انحراف معیار بارهای شکست و تغییر مکان متناظر با آن در هر دو تحلیل بسیار به هم

وزن عضو سازه ای و مرحله بعد برای تعریف بارگذاری دوره ای مورد نظر.

- بارگذاری: شامل تعریف قیود تکیه گاهی و بارهای وارد بر عضو سازه ای است.
- مش بندی: یکی از مهم ترین مراحل مدلسازی در نرم افزارهای اجزاء محدود، مش بندی عضو سازه ای است. برای مش بندی اعضای بتن آرمه و تحلیل اجزاء محدود از المان های سه بعدی ۸ گرهی استفاده شده است. در مورد بتن، چون از المان های Solid برای تعریف استفاده شده است این نوع المان ها از نوع C3D8R به معنی المان های از نوع Solid سه بعدی و ۸ گرهی هستند که با روش انتگرال گیری کاهش یافته حل می شوند. در مورد میلگردهای فولادی از المان های Beam با نام B31 به معنی المان های Beam سه بعدی مرتبه اول استفاده می شود.
- تحلیل مدل: در این مرحله مدل توسط نرم افزار تحلیل شده و خروجی های مورد نظر که در این پژوهش نمودار نیرو- تغییر مکان اعضا است، از نتایج استخراج می شود.

۳- نتایج تحقیق و تفسیر نتایج

پس از تحلیل مدل های پیشنهادی و همچنین تحلیل اجزاء محدود اعضای بتن آرمه در نرم افزار آباکوس به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در هر دو مورد، نتایج تحلیل ها با نتایج تجربی مقایسه می شوند. مقایسه نتایج شامل بارهای شکست نمونه های مطالعه شده و همچنین تغییر مکان متناظر با این بار است. به منظور مقایسه بهتر نتایج از میانگین و انحراف معیار استفاده شده است. در همه جداول F نشان دهنده بار شکست و D نشان دهنده تغییر مکان متناظر با این بار است. ضمن اینکه در تمام جداول F⁺ نشان دهنده بار جهت رفت و F⁻ بار جهت برگشت و D⁺ و D⁻ نشان دهنده تغییر مکان متناظر با این بارها است. نمودارها پراکندگی نتایج تحلیل را با نتایج تجربی نشان می دهند. در هر کدام از اعضا به طور جداگانه نسبت بارها و تغییر مکان های تحلیل به نتایج تجربی و در نهایت میانگین و مقدار پراکندگی نتایج به منظور مقایسه کلی نمونه های مورد مطالعه با نتایج تجربی در جداول قابل مشاهده است.

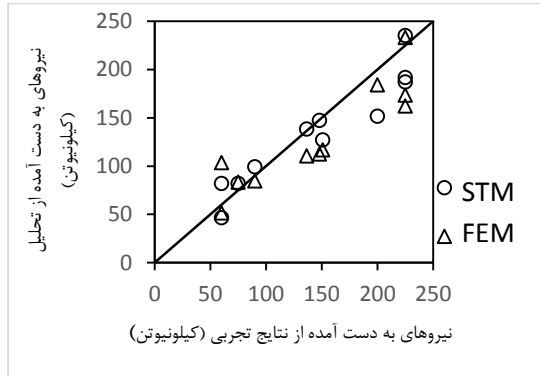
۳-۱- تیرهای عمیق

نتایج تحلیل مدل میله و بست و تحلیل اجزاء محدود تیرهای عمیق که مشخصات آن ها در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است، در جداول ۴ و ۵ و شکل ۴ آورده شده است.

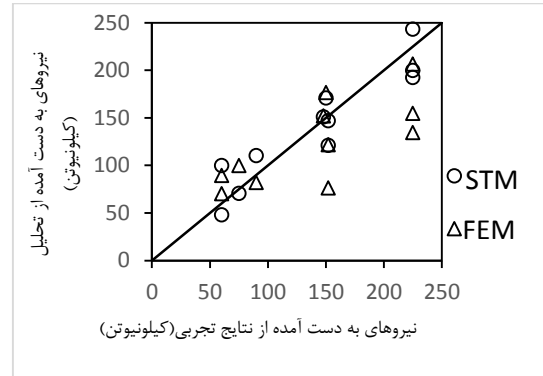
تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در اعضای بتن آرمه تحت ...

نتایج مربوط به بارها و تغییر مکان ها در دو مدل تحلیلی ۰/۰۷ است. این اختلاف اندک نشان دهنده ی نزدیک بودن نتایج مورد بحث در هر دو مدل است.

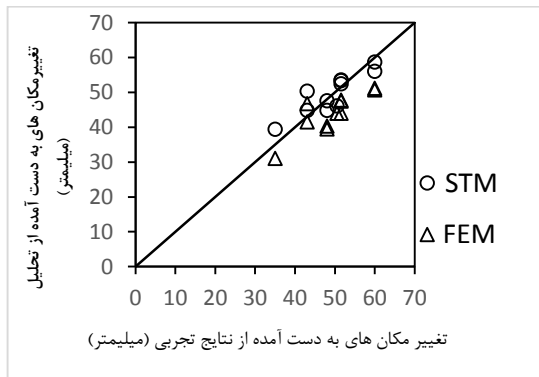
نزدیک می باشد، که نشان دهنده ی مناسب بودن مدل میله و بست در انتقال بارها مطابق مدل واقعی اجزاء محدود که شامل جزئیات مدلسازی عضو سازه ای مورد نظر است، می باشد. اختلاف میانگین



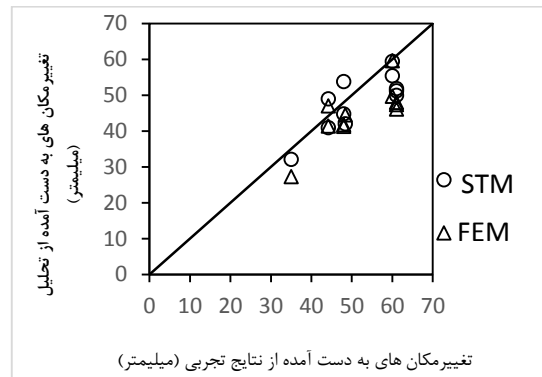
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴ - مقایسه نیروها و تغییر مکان های تحلیل مدل میله و بست و تحلیل اجزاء محدود تیرهای عمیق با نتایج تجربی (الف) نیروهای جهت مثبت (ب) نیروهای جهت منفی (ج) تغییر مکان های جهت مثبت (د) تغییر مکان های جهت منفی

جدول ۴ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل مدل میله و بست تیرهای عمیق با نتایج تجربی

مقایسه نتایج تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی				تحلیل مدل خرابایی				نتایج تجربی				نوع تیر	معمول
$\frac{D(STM)}{D(Exp)}$	$\frac{D(STM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(STM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(STM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۰/۹۳	۱/۱۲	۱/۱۴	۰/۷۶	۴۴/۸۷	۵۳/۸۲	۱۷/۷۶	۱۵/۴۷	۴۸	۴۸	۱۵۰	۲۰۰	1A	تیر یک [۱۷]
۰/۹۹	۰/۹۳	۱/۶۶	۱/۳۶	۴۷/۶۵	۴۴/۸۲	۹۹/۷۹	۸۱/۸۵	۴۸	۴۸	۶۰	۶۰	1B	
۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۴	۱/۰۹	۵۶/۱۱	۵۵/۴۴	۷۰/۴۱	۸۱/۸۰	۶۰	۶۰	۷۵	۷۵	2A	
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۷۷	۵۸/۷۸	۵۹/۴۴	۴۸/۰۲	۴۶/۵۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	2B	
۱/۱۳	۰/۹۲	۱/۲۲	۱/۱۰	۳۹/۴۲	۳۲/۱۲	۱۱/۱۰	۹۹/۳۰	۳۵	۳۵	۹۰	۹۰	3A	
۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۹۷	۱/۰۱	۴۴/۸۲	۴۱/۰۳	۱۴/۸۲	۱۳/۲۸	۴۳/۰۵	۴۴/۲۱	۱۵۲	۱۳/۳۶	I1B	تیرین [۱۷]
۰/۹۱	۰/۸۷	۱/۰۲	۰/۹۹	۴۶/۱۱	۴۲/۰۹	۱۵/۹۵	۱۴/۳۸	۵۰/۵۳	۴۸/۴۲	۱۴۸	۱۴۸	2A	
۱/۰۳	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۸۵	۵۳/۳۷	۵۱/۲۵	۱۹/۸۸	۱۹/۷۶	۵۱/۵۸	۶۱/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	S2A	
۱/۰۲	۰/۸۵	۱/۰۸	۱/۰۵	۵۲/۵۰	۵۱/۸۷	۲۴/۳۰	۲۳/۲۰	۵۱/۵۳	۶۱/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	M1	
۱/۰۴	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۳	۵۳/۶۳	۵۰/۰۴	۱۹/۵۳	۱۸/۱۹	۵۱/۵۸	۶۱/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	S1B	
۱/۱۷	۱/۱۰	۰/۸۰	۰/۸۴	۵۰/۵۲	۴۸/۹۹	۱۲/۰۸	۱۲/۰۹	۴۳/۰۵	۴۴/۲۱	۱۵۲	۱۵۱	M2	
۱/۰۲	۰/۹۴	۱/۰۳	۰/۹۷	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									
۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۸	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									

جدول ۵ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل اجزاء محدود تیرهای عمیق با نتایج تجربی

مقایسه نتایج تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی				تحلیل اجزاء محدود				نتایج تجربی				مقیاس	مختصات
$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۰/۸۲	۰/۸۷	۱/۱۸	۰/۹۲	۳۹/۰۰	۴/۷۹	۱۷/۳۸	۱۸/۹۷	۴۸	۴۸	۱۵۰	۲۰۰	1A	[۹] تیرهای
۰/۸۴	۰/۸۶	۱/۴۹	۱/۷۳	۴/۳۷	۴/۳۸	۸۹/۳۵	۱۰/۶۰	۴۸	۴۸	۶۰	۶۰	1B	
۰/۸۵	۰/۸۳	۱/۳۳	۱/۱۱	۵/۷۸	۴/۷۶	۹۹/۹۳	۸۳/۱۷	۶۰	۶۰	۷۵	۷۵	2A	
۰/۸۵	۰/۹۹	۱/۱۷	۰/۸۶	۵/۱۶	۵/۶۱	۷۰/۱۳	۵۱/۵۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	2B	
۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۹۱	۰/۹۴	۳/۰۴	۲/۳۴	۸۲/۱۲	۸۴/۶۳	۳۵	۳۵	۹۰	۹۰	3A	
۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۵۰	۰/۸۱	۴/۵۹	۴/۴۷	۷۶/۳۸	۱۱/۳۲	۴/۰۵	۴/۲۱	۱۵۲	۱۳۶/۳	11B	[۸] تیرهای
۰/۸۷	۰/۹۲	۱/۰۳	۰/۷۶	۴/۰۷	۴/۵۵	۱۵/۸۱	۱۱/۳۰	۵/۵۳	۴/۴۲	۱۴۸	۱۴۸	2A	
۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۵۹	۰/۷۲	۴/۵۳	۴/۱۸	۱۳/۳۳	۱۶/۲۸	۵/۵۸	۶/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	S2A	
۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۹۲	۱/۰۴	۴/۰۴	۴/۰۵	۲۰/۴۴	۲۳/۲۲	۵/۵۳	۶/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	M1	
۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۶۹	۰/۷۷	۴/۷۷	۴/۳۹	۱۵/۷۷	۱۷/۳۵	۵/۵۸	۶/۰۵	۲۲۵	۲۲۵	S1B	
۱/۰۹	۱/۰۶	۰/۸۰	۰/۷۷	۴/۷۷	۳۷/۰۴	۱۲/۶۴	۱۱/۷۶	۴/۰۵	۴/۲۱	۱۵۲	۱۵۱	M2	
۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۹۵	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									
۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۲۹	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									

جدول ۶ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل مدل میله و بست دیوارهای برشی با نتایج تجربی

مقایسه نتایج				نتایج تحلیل مدل میله و بست				نتایج تجربی				مقیاس	مختصات
$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۰/۶۳	۱/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۳/۱۶	۲۳	۶۹/۲۲	۱۱۰	۵	۲۲/۲	۷۰	۱۱۵/۸	SW31	[۱۸] نفاس
۱/۲۵	۰/۷۸	۰/۷۵	۱/۱۰	۹/۹۸	۱۹/۲۱	۶۷/۳۹	۱۲۱/۸۷	۸	۲۴/۵	۹۰	۱۱۱	SW32	
۰/۸۷	۱/۰۸	۰/۷۷	۰/۸۵	۷/۹۹	۲۷	۶۹/۱۳	۹۵/۸۶	۸	۲۵	۹۰	۱۱۱/۵	SW33	
۰/۶۵	۰/۷۷	۰/۹۸	۱/۰۱	۱۷/۴۷	۲۰/۸۸	۱۴۷/۳۹	۱۵۱/۱۹	۲۷	۲۷	۱۵۰	۱۵۰	MSW1	
۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۷۶	۱/۰۴	۳۰/۷۸	۳۵/۶۶	۷۹/۹۰	۸۳/۳۱	۳۲	۳۶	۱۰۵	۸۰	MSW2	
۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۹۹	۲۰/۳۰	۲۷/۴۰	۱۱۴/۸۰	۱۱۴/۷۹	۲۷	۲۸	۱۴۰	۱۱۵	MSW3	
۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۹۹	۲۲/۵۱	۲۷/۴۰	۹۸/۳۱	۱۱۴/۷۹	۲۸	۲۸	۱۳۰	۱۱۵	MSW6	
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۹	۱/۰۳	۹/۸۵	۹/۹۱	۱۹۵/۸۷	۲۰۱/۶۰	۱۰	۱۰	۲۲۰	۱۹۵	LSW1	
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۸	۰/۸۲	۱۰/۵۶	۱۰/۵۵	۸۱/۱۰	۹۸/۸۴	۱۱	۱۱	۱۲۰	۱۲۰	LSW2	
۰/۸۰	۰/۶۹	۰/۹۰	۰/۹۴	۱۲/۸۶	۱۱/۰۸	۱۷۹/۵۱	۱۸۷/۲۹	۱۶	۱۶	۲۰۰	۲۰۰	LSW3	
۰/۶۸	۰/۸۹	۰/۵۷	۰/۷۸	۱۵/۵۹	۲۰/۴۶	۵۶/۵۹	۷۷/۷۸	۲۳	۲۳	۱۰۰	۱۰۰	SW4	[۹] انشایی
۱/۰۲	۱/۰۷	۱/۴۳	۱/۴۴	۲۵/۴۵	۲۷/۶۳	۶۴/۲۰	۶۷/۷۷	۲۵	۲۵/۵۹	۴۵	۴۷/۰۹	SW5	
۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۷۲	۰/۷۰	۱۹/۸۵	۲۰/۶۳	۶۸/۲۱	۶۶/۵۳	۲۲	۲۲	۹۵	۹۵	SW6	
۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۲	۱۹/۹۸	۱۸/۷۱	۸۹/۴۲	۹۱/۹	۲۲	۲۲	۱۰۰	۱۰۰	SW7	
۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۸۹	۱۸/۸۱	۲۱/۰۱	۷۰/۹۵	۷۱/۰۰	۲۴	۲۵	۱۰۰	۸۰	SW8	
۱	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۳۲	۲۴/۹۳	۲۴/۶۰	۹۷/۹۳	۷۲/۶۳	۲۴/۹۳	۲۵	۹۷/۷۲	۵۵	SW9	
۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۹۹	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									
۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۹	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									

تحلیل بسیار مشابه اند. در مورد بارهای جهت برگشت (راست به چپ)، نتایج تحلیل اجزاء محدود نسبت به نتایج مدل میله و بست به نتایج تجربی نزدیک تر است. به نظر می رسد با عوض شدن جهت بارگذاری، مدل میله و بست با ترک خوردگی عضو بتنی مایل مواجه می شود که از ظرفیت باربری در این جهت می کاهد، اما مدل اجزاء محدود با در نظر گرفتن هندسه ی واقعی عضو، در هر دو جهت بارگذاری قادر به مقاومت می باشد. در مورد تغییر مکان های همین جهت باز هم اختلاف اندکی بین مدل های

۲-۳- دیوارهای برشی کوتاه

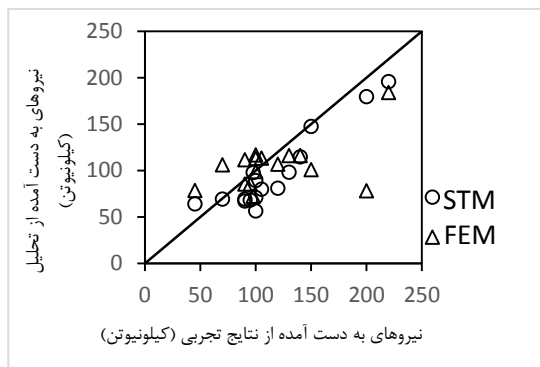
مشخصات هندسی و میله گردگذاری دیوارهای برشی کوتاه مطابق جدول ۲ و مدل میله و بست پیشنهادی مطابق شکل ۲ در نظر گرفته شده است. نتایج تحلیل مدل میله و بست پیشنهادی و تحلیل اجزاء محدود و مقایسه آن ها با نتایج تجربی مطابق جداول ۶ و ۷ و مقایسه نموداری نتایج از شکل ۵ قابل ملاحظه است. در مورد مقایسه نتایج تحلیل مدل میله و بست دیوارهای برشی با نتایج تحلیل اجزاء محدود این اعضای سازه ای، نتایج هر دو

تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در اعضای بتن آرمه تحت ...

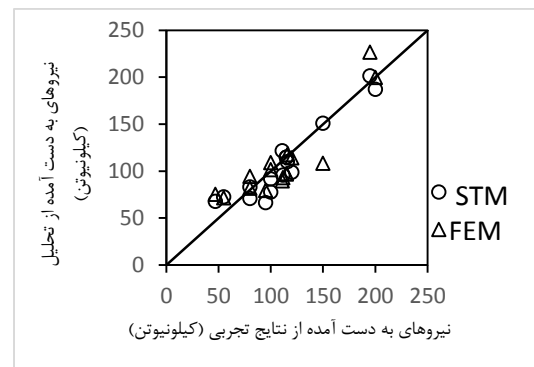
تحلیلی وجود دارد که نتایج تحلیل اجزاء محدود نسبت به نتایج تحلیل مدل میله و بست به نتایج تجربی نزدیک تر می باشد. باز هم می توان دلیل این اختلاف را به ترک خوردگی عضو فشاری

جدول ۷ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل اجزاء محدود دیوارهای برشی با نتایج تجربی

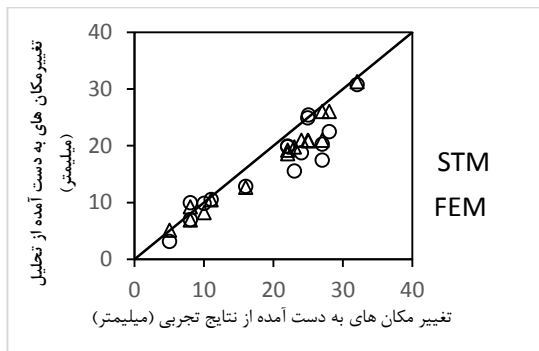
مقایسه نتایج				نتایج تحلیل اجزاء محدود				نتایج تجربی				نوع بار	تخمین
$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۵۲	۱/۰۱	۵/۱۲	۲۳	۱۰۶/۳۳	۱۱۷/۵۱	۵	۲۲/۲	۷۰	۱۱۵/۸	SW31	[۷۸]
۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۸۱	۶/۹۳	۲۰/۶	۸۵/۴۷	۸۹/۵۱	۸	۲۴/۵	۹۰	۱۱۱	SW32	
۱/۱۵	۰/۹۴	۱/۲۴	۰/۸۳	۹/۲۳	۲/۵۱	۱۱۱/۵۵	۹۳/۰۱	۸	۲۵	۹۰	۱۱۵	SW33	
۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۷۲	۲/۹۹	۲/۶۰	۱۰۰/۸۷	۱۰۸/۳۲	۲۷	۲۷	۱۵۰	۱۵۰	MSW1	
۰/۹۹	۰/۸۱	۱/۰۸	۱/۰۲	۳/۳۰	۲/۲۲	۱۱۳/۴۲	۸۱/۷۳	۳۲	۳۶	۱۰۵	۸۰	MSW2	
۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۸۴	۲/۰۴	۲۶	۱۱۶/۱۰	۹۷/۰۷	۲۷	۲۸	۱۴۰	۱۱۵	MSW3	
۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۴	۲/۰۴	۲۶	۱۱۶/۱۰	۹۷/۰۷	۲۸	۲۸	۱۳۰	۱۱۵	MSW6	
۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۱۶	۸/۲۶	۸/۳۶	۲۲۶/۴	۲۲۶/۵۴	۱۰	۱۰	۲۲۰	۱۹۵	LSW1	
۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۹۵	۱/۴۸	۸/۵۵	۱۰۶/۹۲	۱۱۴/۲۸	۱۱	۱۱	۱۲۰	۱۲۰	LSW2	
۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۳۹	۰/۹۹	۱/۶۷	۱۳/۲۱	۷۸/۷۰	۱۹۹/۸۰	۱۶	۱۶	۲۰۰	۲۰۰	LSW3	
۰/۸۶	۰/۹۱	۱/۱۷	۱/۰۲	۱/۸۱	۲۰/۹۸	۱۱۷/۰۲	۱۰۱/۷۲	۲۳	۲۳	۱۰۰	۱۰۰	SW4	[۱۰۱]
۰/۸۳	۰/۸۱	۱/۷۵	۱/۶۰	۲/۸۶	۲۰/۸۳	۷۸/۶۰	۷۵/۴۱	۲۵	۲۵/۵	۴۵	۴۷/۰۹	SW5	
۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۸۴	۱/۲۵	۱۹/۲۳	۸۵/۶۵	۷۹/۵۵	۲۲	۲۲	۹۵	۹۵	SW6	
۰/۸۵	۰/۸۷	۱/۱۳	۱/۰۹	۱/۶۲	۱۹/۱۴	۱۱۳/۱۰	۱۰۹/۰۱	۲۲	۲۲	۱۰۰	۱۰۰	SW7	
۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۹۹	۱/۱۸	۲/۹۶	۲۰/۰۴	۹۸/۹۸	۹۴/۴۵	۲۴	۲۵	۱۰۰	۸۰	SW8	
۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۷۴	۱/۳۰	۲۰/۹۳	۲۰/۳۹	۷۰/۵۳	۷۰/۵۴	۲۴/۹۳	۲۵	۹۷/۷۲	۵۵	SW9	
۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۹۹	۱/۰۱	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									
۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۲۲	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									



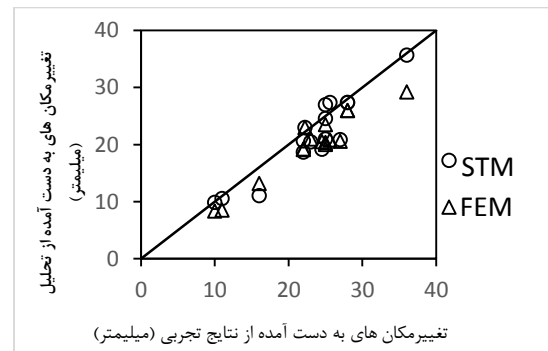
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵ - مقایسه نیروها و تغییر مکان های تحلیل مدل خرابی و تحلیل اجزاء محدود دیوارهای برشی کوتاه با نتایج تجربی (الف) نیروهای جهت مثبت (ب) نیروهای جهت منفی (ج) تغییر مکان های جهت مثبت (د) تغییر مکان های جهت منفی

مقایسه نتایج تحلیل مدل میله و بست دیوارهای برشی کوتاه نشان می دهد که در دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به طول ۱، ۱/۵ و ۲ هم در مورد بارهای شکست و هم در مورد تغییر مکان های متناظر با آن نتایج نزدیک به نتایج تجربی می باشند، اما هرچه نسبت ارتفاع به طول دیوارها افزایش یابد، تغییر مکان ها فاصله بیشتری را با نتایج تجربی نشان می دهند. با افزایش ارتفاع دیوار، زاویه عضو فشاری مایل به عضو کششی افقی کاهش می یابد. با کاهش این زاویه نیروی وارد بر عضو فشاری مایل و سطح مقطع آن کاهش می یابد. به نظر می رسد دلیل افزایش تغییر مکان ها با افزایش ارتفاع دیوار همین مساله باشد دیوارهای برشی کوتاه شامل اعضای فولادی کششی در بار جهت رفت می باشد. به همین دلیل در جهت برگشت اعمال بارها که اعضای فشاری قرار می گیرند احتمال ترک خوردگی و اختلاف بارهای شکست و تغییر مکان های متناظر با آن با نتایج تجربی بیشتر است. با اینکه در دیوارهای MSW3 و LSW3 بر خلاف سایر دیوارها، بار قائم به دیوار وارد می شود، اما به دلیل کم بودن مقادیر این بارها تفاوت زیادی بین دیوارهای بدون بار قائم و دیوارهای دارای بار قائم وجود ندارد. از طرفی این مساله بیان گر مناسب بودن مدل پیشنهادی برای تحمل بارهای جانبی و قائم به دیوارهای برشی کوتاه می باشد. در تحلیل اجزاء محدود دیوارهای برشی نتایج بارهای شکست و تغییر مکان های متناظر با آن ها در همه نمونه ها نزدیک به نتایج تجربی می باشد. مقایسه نمودار های شکل ۴ نشان دهنده پراکندگی نتایج تحلیل های مدل میله و بست و تحلیل اجزای محدودی نسبت به نتایج تجربی می باشد. با توجه به مقایسه میانگین و انحراف معیارها ملاحظه می شود که مدل پیشنهادی نتایج نزدیک به نتایج واقعی تجربی را نشان می دهد.

۴- مقایسه پراکندگی نتایج تحلیل همه اعضای سازه ای مورد مطالعه با نتایج تجربی

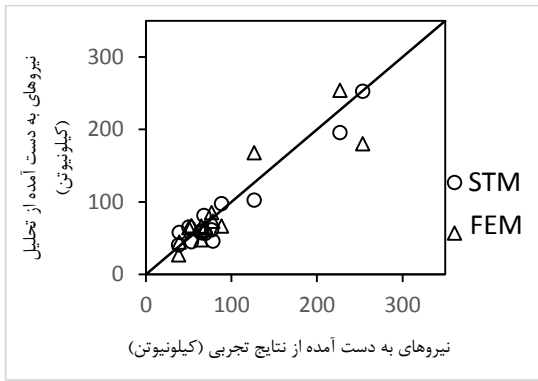
مقایسه نیروها و تغییر مکان های جهت رفت و برگشت تحلیل مدل میله و بست، تحلیل اجزای محدود و نتایج تجربی در همه اعضای سازه ای مورد مطالعه و مقدار همبستگی نتایج با نتایج تجربی از نمودارهای زیر قابل ملاحظه است.

با توجه به نمودارهای شکل ۷ و ۸ و مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل مدل های میله و بست پیشنهادی و تحلیل اجزای محدود با نتایج تجربی در اعضای سازه ای مورد مطالعه می توان استنباط کرد که در تحلیل مدل میله و بست اعضای سازه ای بیشترین اختلاف با نتایج تجربی مربوط به بارهای شکست جهت برگشت می باشد. نحوه قرارگیری اعضای فشاری و کششی در مدل های پیشنهادی، به نحوی که اعضای کششی فولادی مقاومت کششی بیشتری را در جهت اعمال بار نسبت به اعضای فشاری تحمل می کنند، می تواند دلیل این مقدار اختلاف در بارهای جهت برگشت در اعضای سازه ای مورد مطالعه باشد.

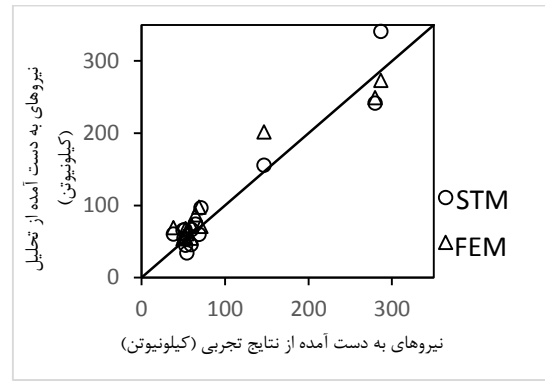
۳-۳- ستون های کوتاه

در مورد ستون های کوتاه همان گونه از جداول مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان مشاهده می شود، نتایج تحلیل مدل میله و بست و نتایج تحلیل اجزای محدود نزدیک به نتایج تجربی می باشد. در ستون های گروه دوم که درصد میلگردهای اصلی مقدار بیشتری نسبت به دسته اول دارد، مقدار تغییر مکان های مدل میله و بست نتایج نزدیک تری را به نسبت به دسته اول نشان می دهد، به دلیل اینکه مقدار این میلگردها با میلگردهای کششی قائم نشان داده می شود که با افزایش مقدار آن،

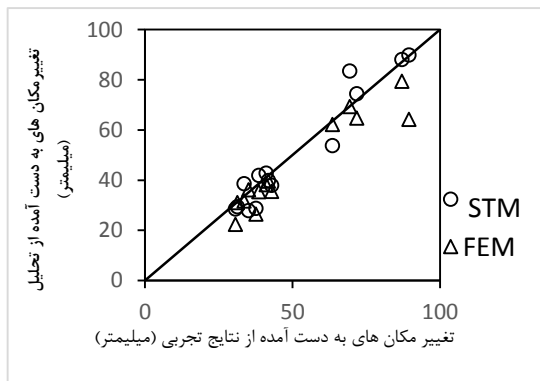
تخمین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن در اعضای بتن آرمه تحت ...



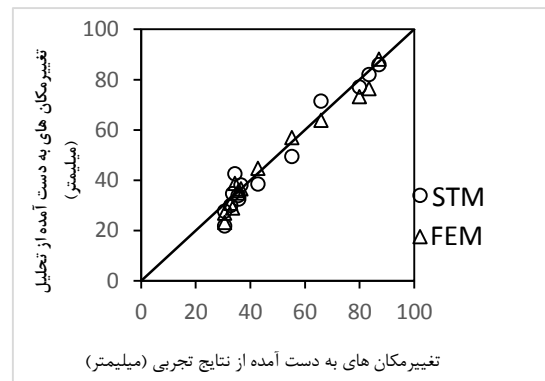
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

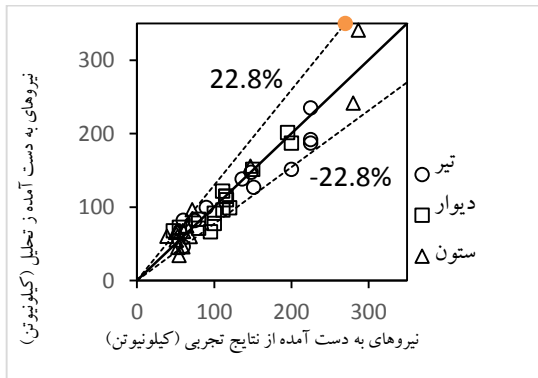
شکل ۶ - مقایسه نیروها و تغییر مکان های تحلیل مدل میله و بست و تحلیل اجزای محدودی ستون های کوتاه با نتایج تجربی (الف) نیروهای جهت مثبت (ب) نیروهای جهت منفی (ج) تغییر مکان های جهت مثبت (د) تغییر مکان های جهت منفی

جدول ۸ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل مدل میله و بست ستون های کوتاه با نتایج تجربی

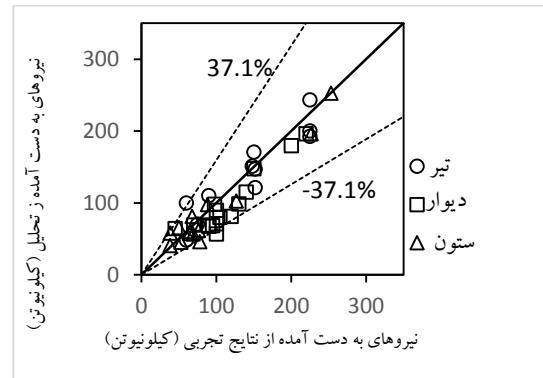
مقایسه نتایج				تحلیل مدل میله و بست				نتایج تجربی				نوع	تجهیز
$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۰/۹۰	۰/۸۸	۱/۴۹	۱/۵۶	۳۸/۴۴	۳۷/۹۳	۵۷/۸۳	۶۰/۱۷	۴۲/۸۶	۴۲/۸۶	۳۸/۸۶	۳۸/۶۳	[۱۸]	C2-00S
۰/۹۵	۱/۰۹	۱/۳۱	۱/۳۱	۳۳/۸۷	۴۱/۹۰	۶۵/۳۵	۶۵/۵۷	۳۵/۵۱	۳۸/۵۷	۵۰	۵۰		C2-15S
۰/۹۶	۱/۲۰	۱/۰۶	۰/۷۷	۷۷/۰۵	۸۳/۴۵	۴۰/۵۶	۴۵/۷۶	۸۰	۶۹/۴۱	۳۸/۱۰	۵۹/۵۳		C2-00L
۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۹	۱/۲۷	۴۹/۴۸	۵۳/۸۰	۵۷/۳۵	۶۶/۶۶	۵۵/۲۹	۶۳/۵۳	۶۴/۲۹	۵۲/۳۸		C2-15L
۰/۷۱	۰/۷۶	۱/۱۱	۱/۳۵	۲۱/۸۴	۲۸/۷۹	۹۷/۵۴	۹۶/۵۲	۳۰/۵۹	۳۷/۶۵	۸۸/۱۰	۷۱/۴۳		C2-30L
۱/۰۳	۱/۱۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۳۴/۷۰	۳۸/۵۳	۴۴/۸۶	۴۴/۸۶	۳۳/۵۸	۳۳/۵۸	۵۲/۹۴	۵۲/۹۴		C00-1
۱/۲۴	۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۶۳	۴۲/۵۸	۴۲/۸۱	۵۹/۹۷	۳۴/۱۳	۳۴/۳۳	۴۱/۰۴	۶۶/۷۱	۵۴/۴۱		C00-2
۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۸۷	۲۷/۷۲	۲۸/۴۲	۵۶/۵۸	۶۰/۰۳	۳۰/۶	۳۰/۶	۶۹/۱۲	۶۹/۱۲		C05-2
۰/۹۱	۰/۷۹	۱/۲۰	۱/۱۰	۳۲/۴۵	۲۷/۸۵	۸۱/۲۴	۶۶/۵۸	۳۵/۸۲	۳۵/۰۷	۶۷/۶۵	۶۰/۲۹		C05-3
۱/۰۴	۰/۹۵	۰/۸۰	۱/۱۴	۳۸/۱۴	۳۹/۸۹	۶۱/۴۶	۷۴/۰۳	۳۶/۵۷	۴۱/۷۹	۷۶/۴۷	۶۴/۷۱		C05-4
۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۵۹	۱/۰۸	۲۹/۹۹	۲۹/۳۹	۴۶/۰۷	۵۴/۸۳	۳۲/۸۴	۳۱/۳۴	۷۷/۹۴	۵۱		C10-2
۱/۰۹	۱/۰۴	۰/۸۱	۱/۰۶	۷۱/۴۹	۷۴/۴۲	۱۰۲/۳۷	۱۵۵/۶۵	۶۵/۸۸	۷۱/۷۶	۱۲۶/۵	۱۴۷		U3
۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۸۶	۰/۸۶	۸۱/۹۶	۸۹/۸۴	۱۹۵/۸۶	۲۴۱/۵۳	۸۳/۵۳	۸۹/۴۱	۲۲۶/۶۷	۲۸۰		U4
۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۱۹	۸۵/۹۱	۸۸/۱۱	۲۵۲/۷۱	۳۴۱/۰۶	۸۷/۰۶	۸۷/۰۶	۲۵۳/۳۳	۲۸۶/۶۷	U6	
۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۰۷	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									
۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۸	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل مدل میله و بست با نتایج تجربی									

جدول ۹ - مقایسه بارهای شکست و تغییر مکان متناظر تحلیل اجزاء محدود ستون های کوتاه با نتایج تجربی

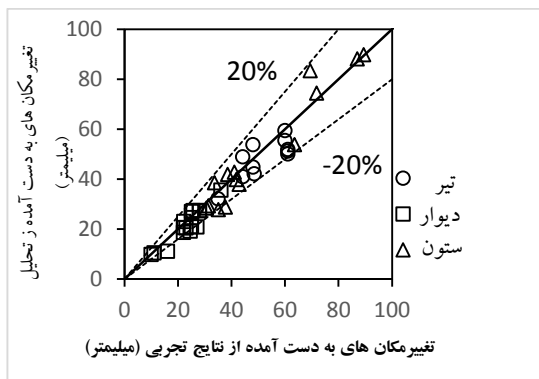
مقایسه نتایج				تحلیل اجزاء محدود				نتایج تجربی				ردیف	مختصات
$\frac{D(FEM)}{D(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	$\frac{F(FEM)}{F(Exp)}$	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)	D ⁻ (mm)	D ⁺ (mm)	F ⁻ (kN)	F ⁺ (kN)		
۱/۰۴	۰/۸۳	۱/۱۵	۱/۷۹	۴۴/۷۴	۳۵/۵۴	۴۴/۷۴	۶۹/۲۱	۴۲/۸۶	۴۲/۸۶	۳۸/۸۶	۳۸/۶۳	C2-00S	[۱۰] یکپارچه
۰/۹۸	۰/۹۲	۱/۲۹	۱/۰۸	۳۴/۹۷	۳۵/۳۸	۶۴/۴۵	۵۳/۸۵	۳۵/۵۱	۳۸/۵۷	۵۰	۵۰	C2-15S	
۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۹۲	۷۳/۲۲	۶۹/۳۱	۲۷/۰۷	۵۴/۶۳	۸۰	۶۹/۴۱	۳۸/۱۰	۵۹/۵۳	C2-00L	
۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۷۴	۱/۰۷	۵۶/۹۸	۶۲/۱۱	۴۷/۵۲	۵۶/۰۵	۵۵/۲۹	۶۳/۵۳	۶۴/۲۹	۵۲/۳۸	C2-15L	
۰/۸۸	۰/۷۰	۰/۷۵	۰/۹۹	۲۶/۹۵	۲۶/۴۶	۶۶/۴۹	۷۱/۰۸	۳۰/۵۹	۳۷/۶۵	۸۸/۱۰	۷۱/۴۳	C2-30L	
۰/۸۶	۰/۹۴	۱/۲۷	۱/۲۹	۲۸/۹۰	۳۱/۶۶	۶۷/۱۸	۶۸/۱۰	۳۳/۵۸	۳۳/۵۸	۵۲/۹۴	۵۲/۹۴	C00-1	
۱/۱۳	۰/۹۳	۱/۰۳	۱/۱۲	۳۸/۶۹	۳۸/۱۵	۶۶/۵۶	۶۰/۸۰	۳۴/۳۳	۴۱/۰۴	۶۶/۷۱	۵۴/۴۱	C00-2	
۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۹۴	۱/۴۱	۲۳/۲۲	۲۲/۳۲	۶۵/۰۸	۹۷/۷۲	۳۰/۶	۳۰/۶	۶۹/۱۲	۶۹/۱۲	C05-2	
۱/۰۰	۱/۰۳	۰/۹۱	۱/۱۹	۳۵/۹۳	۳۶/۱۹	۶۱/۲۷	۷۱/۹۶	۳۵/۸۲	۳۵/۰۷	۶۷/۶۵	۶۰/۲۹	C05-3	
۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۱۲	۱/۳۵	۳۶/۶۰	۳۹/۵۹	۸۵/۴۲	۸۷/۰۵	۳۶/۵۷	۴۱/۷۹	۷۶/۶۷	۶۴/۷۱	C05-4	
۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۴	۱/۱۲	۳۰/۸۴	۳۰/۹۹	۷۳/۱۸	۵۷/۲۴	۳۲/۸۴	۳۱/۳۴	۷۷/۹۴	۵۱	C10-2	
۰/۹۷	۰/۹۰	۱/۳۳	۱/۳۷	۶۳/۸۲	۶۴/۷۳	۱۶۷/۷۵	۲۰۱/۷۸	۶۵/۸۸	۷۱/۷۶	۱۲۶/۵	۱۴۷	U3	[۱۱] سازه‌های
۰/۹۱	۰/۷۲	۱/۱۲	۰/۸۹	۷۶/۴۲	۶۴/۳۵	۲۵۴/۰۴	۲۴۹/۴۰	۸۳/۵۳	۸۹/۴۱	۲۱۶/۶۷	۲۸۰	U4	
۱/۰۱	۰/۹۱	۰/۷۱	۰/۹۵	۸۸/۰۵	۷۹/۳۲	۱۸۰/۳۷	۲۷۲/۹۵	۸۷/۰۶	۸۷/۰۶	۲۵۳/۳۳	۲۸۶/۶۷	U6	
۰/۹۶	۰/۸۹	۱	۱/۱۸	مقایسه میانگین بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									
۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۲۴	مقایسه انحراف معیار بار شکست و تغییر مکان متناظر با آن از تحلیل اجزاء محدود با نتایج تجربی									



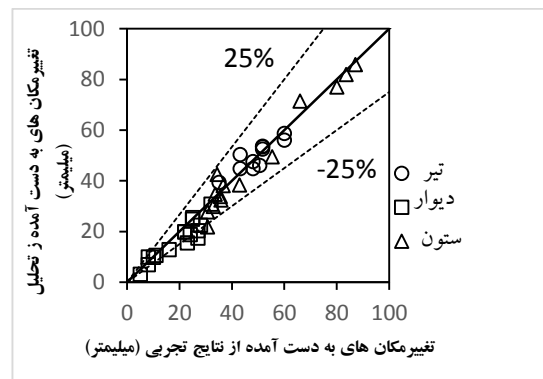
(ب)



(الف)

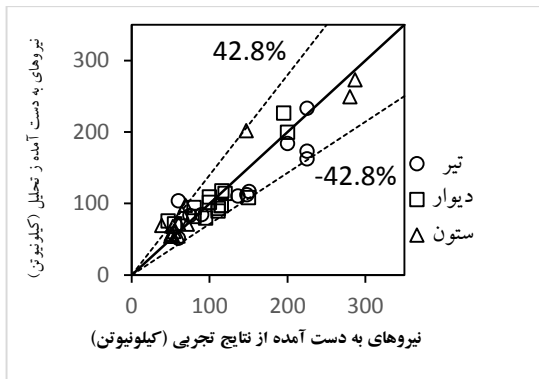


(د)

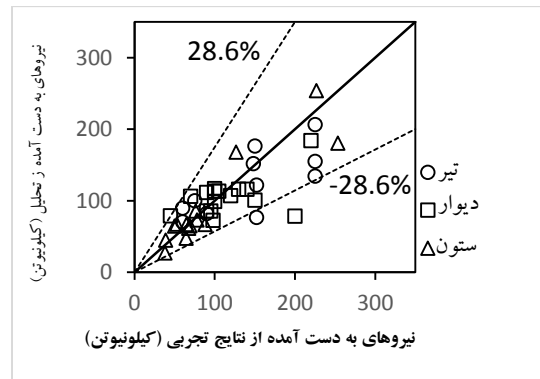


(ج)

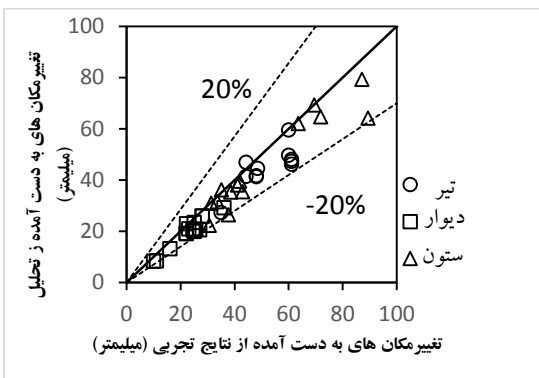
شکل ۷ - مقایسه نیروها و تغییر مکان های تحلیل مدل میله و بست اعضای سازه ای مورد مطالعه با نتایج تجربی (الف) نیروهای جهت منفی (ب) نیروهای جهت مثبت (ج) تغییر مکان های جهت منفی (د) تغییر مکان های جهت منفی



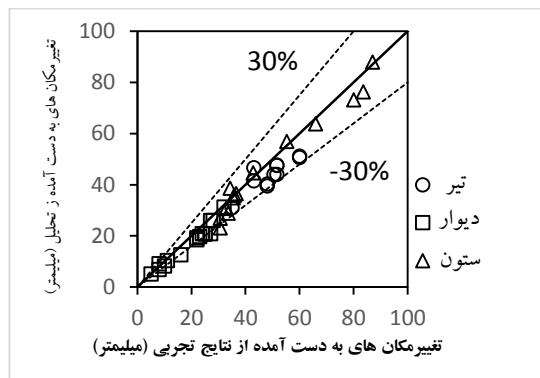
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸- مقایسه نیروها و تغییر مکان های تحلیل اجزاء محدود اعضای سازه ای مورد مطالعه با نتایج تجربی (الف) نیروهای جهت منفی (ب) نیروهای جهت منفی (ج) تغییر مکان های جهت منفی (د) تغییر مکان های جهت مثبت

می باشد. پس از مدل سازی مطابق با نمونه های واقعی تجربی، به منظور مقایسه و سنجش صحت نتایج به دست آمده از تحلیل، از نتایج تجربی که شامل بارهای شکست و تغییر مکان های متناظر با آن می باشد استفاده شده است.

۵- نتایج تحقیق

در محدوده مطالعه انجام شده نتایج تحقیق به طور خلاصه عبارتند از:

۱) بارهای شکست و تغییر مکان متناظر با آن در مدل های میله و بست پیشنهادی در اعضای مختلف سازه ای، نتایج نزدیک به واقعی را در مقایسه با نتایج تجربی نشان می دهد.

۲) نزدیک بودن نتایج تحلیل اجزا محدودی با نتایج مدل میله و بست این مساله را بیان می کند که می توان از تحلیل ساده مدل میله و بست به جای تحلیل زمان بر و طولانی اجزا محدودی اعضای سازه ای مورد مطالعه به منظور پیش بینی بار شکست و تغییر مکان متناظر با این بار در اعضای تحت اثر بارهای دوره ای استفاده کرد.

نتایج تحلیل اجزاء محدود هم نتایج نزدیک به تحلیل مدل میله و بست را نشان می دهد. هم در تحلیل مدل میله و بست و هم تحلیل اجزاء محدود، تغییر مکان های متناظر با بارهای شکست همبستگی بهتری را با نتایج تجربی نسبت به بارهای شکست نشان می دهند. بارگذاری همه نمونه های مورد مطالعه با استفاده از کنترل تغییر مکان صورت گرفته است که همین مساله ممکن است دلیل مطابقت بیشتر تغییر مکان ها نسبت به بارهای شکست باشد. هدف از این پژوهش مقایسه نتایج تحلیل مدل میله و بست در اعضای سازه ای تحت اثر بارهای دوره ای با نتایج تجربی است. لذا استفاده از تحلیل اجزاء محدود با هدف مقایسه بهتر نتایج با نتایج دقیق تجربی صورت گرفته است و صحت سنجی به مراتب دقیق تری را در نمونه های مورد مطالعه به دست می دهد. در خصوص صحت سنجی، از نتایج معتبر آزمایشگاهی مطابق با مراجع مربوطه که از مقالات معتبر استخراج شده است، استفاده شده است. مدل سازی با استفاده از مشخصات اعضای مورد مطالعه که شامل هندسه، نحوه بارگذاری و اطلاع از میلگردگذاری اعضای مورد مطالعه است، مطابق جداول ۱، ۲ و ۳

beams under dynamic loading conditions”, pp. 14-28, 2013.

[14] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary," American Concrete Institute, 2011.

[15] ABAQUS, Superior Finite Element Analysis(FEM) Solutions, Providence. RI, USA, 2011.

[16] R. C. Fenwick and A. Fong, "The Behavior of Reinforced Concrete Beams Under Cyclic Loading", Bulletin of the NEW ZEALAND national Society For Earthquake Engineering, Vol.12, No.3 , pp. 158-167, 1979.

[17] H. H. Briain Peng and R. P. Dhakal "Flexural ,Axial Load and Elongation Response of Plastic Hinges in Reinforced Concrete Member", Univercity of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

[18] L. D. Lefas, Kotsovos Mitchael D., and Ambraseys Nicholas N., " Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls: Strength, Deformation Characteristics, and Failure Mechanism", ACI Structural Journal , January- February, pp.23-31, , 1990.

[19] Pilakoutas Kypros, Elnashai Amr., "Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Cantilever walls, Part I: Experimental Results" , ACI Materials Journal, pp. 271-281, 1995.

[20] J. Y. lee, S. Kono and et al, " Softening behavior of RC Columns under Cyclic loading", The 14th World Conference on Earhquake Engeering, Beijing, China, 2008.

[21] Ozcebe and Saatcioglu, " Reinforced Concrete Under Large Seismic Action" Report BYG.DTU, R-076, 1987.

۳) نتایج تحلیل مدل‌های میله و بست به منظور هدف پژوهش که مقایسه بارها و تغییر مکان‌هایی بود، قابل قبول است و در خصوص رفتار، نحوه عملکرد اعضا تحت اثر بارهای دوره ای و میزان سختی و شکل پذیری نیاز به مطالعات بیشتری است.

۶- مراجع

[1] A. H. Nilson, D. Darwin, and C. W. Dolan, "Design of Concrete Structures". Fourteenth Edition, 2010.

[2] W. Ritter, "Die Bauweise Hennwbique" (The Hennebique System), Schweizerische Bauzeitung, Bd, XXXIII, No. 7, January 1899.

[3] E. Morsch, "Der Eisenbetonbique, Seine Theorie Und Anwendung" (Reinforced Concrete, Theory and Application), Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1912.

[4] J. A. Ramirez, and J. E. Breen, "Evaluation of a Modified Truss-Model Approach for Beams in Shear", ACI Structural Journal, pp. 562-571, 1991.

[5] P. Mueller, "Plastische Berechnung Von Stahlbetonscheiben Und Balken" (Plastic Analysis Of Reinforced Concrete Deep Beams and Beams), Bericht No. 83, Institute Fur Baustatik Und Konstrukton, Eth Zurich, 1978.

[6] J. Schlaich, K. Schaefer, and M. Jennewein, "Towards a Consistent Design of Structural Concrete" journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol.32, No 3, pp. 77-150, 1987.

[7] CSA Technical Committee on Reinforced Concrete Design, A23.3-04 Design of Concrete Structures, Canadian Standards Association, 1984.

[8] CEB-FIP Model Code ,Design Code, Comite Euro-International DU Beton, 1990.

[9] AASHTO, LRFD Bridge Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1994.

[10] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318 R-02), American Concrete Institute, 2002.

[11] A. Arabzadeh, R. Aghayari and A. Rahai, "Investigation of experimental and analytical shear strength of reinforced concrete deep beams" , International Journal of Civil Engineering, Vol.9, No. 3, 2009.

[12] Sergio M. Alcocer, Claudia M. Uribe, "Monotonic and cyclic behavior of deep beams designed using Strut -and - Tie Models. ACI Structural Journal, pp. 327-337, 2008.

[13] D. A. Satadru, B. Li , K. Fujikake, "Strength and behavior in shear of reinforced concrete deep

Estimating the Failure Load and Corresponding Displacement of Reinforced Concrete Members Under Cyclic Loading Using Strut-and-Tie Model

H. Dabbagh *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan

R. Chobdarian

Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan

Abstract

Strut-and-Tie model is an analytical approach to predict the strength of reinforced concrete members with geometric or statical discontinuous regions. This method based on load paths throughout the members, provides a corresponding truss. Then the failure load is predicted by analyzing the truss model. Although the strut-and-tie model is usually applied for monotonically loaded members, we need more studying about cyclic loading. The behavior of structures under cyclic loads due to the complex nature of this type of load on the structural performance requires the use of advanced finite element method which requires expertise in this base. The estimated failure load and its corresponding deformation are the main objective of this research. Forty and four samples including short shear walls, short columns and deep beams tested by other researchers throughout the literature have been selected. Then their truss models as well as their three dimensional finite element models are analyzed using ABAQUS software. The comparison of experimental and analytical results shows fair correlation between them.

Keywords: Strut-and-Tie model, finite element analyze, reinforced concrete, cyclic loading, discontinues area.

* Corresponding Author: h.Dabbagh@uok.ac.ir