بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران – سازه

عنوان :

بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار برشی و خمشی تیرهای کوپله بتنی ساخته شده با بتن های الیافی توانمند (HPFRCC) در دیوار برشی کوپله

توسط :

ایمان امیری سوادرودباری

اساتید راهنما :

دکتر علی خیرالدین

دکتر محمد کاظم شربتدار

استاد مشاور :

دکتر محمد علی کافی

شهریور ۱۳۹۰

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب **ایمان امیری سوادرودباری** متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " **بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار برشی و خمشی تیرهای کوپله بتنی ساخته شده با بتن های الیافی توانمند (HPFRCC) در دیوار برشی کوپله"** که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش **سازه** به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: **ایمان امیری سوادرودباری**

شماره دانشجویی: **۸۷۱۲۱۴۹۰۰۱**

امضاء

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس بی کران به درگاه خداوند یکتا که توفیق تحصیل علم و دانش را به من ارزانی داشت .تدوین و نگارش این رساله مرهون تلاش و زحمات افرادی است که اینجانب تشکر و قدردانی از آنها را بر خود لازم می‌دانم . نخست از اساتید گرامی ، جناب آقای دکتر علی خیرالدین و دکتر محمد کاظم شربتدار که سهم بزرگی در داشته‌ها و دانسته‌هایم داشته و از بذل هرگونه مساعدت و یاری به اینجانب دریغ نورزیدند و با صبر و حوصله ، مشکلات تدوین این رساله را بر من آسان نمودند ، کمال تشکر و سپاسگزاری را تقدیم می‌دارم .

همچنین شایسته است از مهندس محمد بخشایی و مهندس علی فیروزبخت که با زحمات دلسوزانه خود سختی های کار در آزمایشگاه سازه را بر بنده آسان نمودند ، تشکر و قدردانی ویژه نمایم . ضمنا از همکاری مهندس مرتضی دهقان و مهندس ماهان قاسمی نقیب دهی که در آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان نهایت همکاری را با بنده داشته اند کمال تشکر را دارم .

سزاوار است که از همسر مهربان و پدر و مادر عزیزم که در طی نگارش پایان نامه سختی‌هایم را التیام داده و موجب دلگرمی و آرامش خاطرم شده‌اند ، تشکر و قدردانی نموده و از خداوند بزرگ برایشان آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون ، در تمامی مراحل زندگی را نمایم .

با تقدیم احترام

ایمان امیری سوادرودباری

شهریورماه ۱۳۹۰

چکیده

از آنجا که در بین سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر نیروهای جانبی ، دیوارهای برشی از سختی مناسبی برخوردار هستند ، کاربرد و طراحی آنها در سازه های بلند ، گسترش یافته و لزوم رعایت ملاحظات معماری ، استفاده از دیوارهای برشی کوپله را بسیار متداول نموده است . در دیوار برشی کوپله ، دو دیوار برشی مجزا توسط تیرهای کوپله به هم متصل می‌شوند . تیر رابط در دیوار برشی کوپله به عنوان خط اول دفاع بوده و همچون فیوز برشی عمل می‌نماید و اولین مفصل پلاستیک در آن تشکیل می‌شود ، بنابراین رفتار مناسب آن جهت بهبود عملکرد سازه در برابر زلزله دارای اهمیت زیادی می‌باشد. با توجه به پیچیده و زمان بر بودن ساخت و اجرای آرماتورهای قطری در تیر کوپله ، تیرهای کوپله ساخته شده از بتن‌های الیافی توانمند[1] که از نسل‌های پیشرفته بتن‌های الیافی به شمار می‌آیند جایگزین مناسبی برای تیرهای کوپله بتنی معمولی می‌باشند ، چرا که استفاده از این بتن در ساخت تیر کوپله ، علاوه بر افزایش ظرفیت برشی و کاهش مقادیر آرماتورهای عرضی و قطری ، افزایش شکل پذیری سازه را نیز در بر خواهد داشت .

هدف از انجام این پایان نامه ، مطالعه و بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار تیرهای کوپله ساخته شده از بتن‌های الیافی توانمند (HPFRC) در دیوار برشی کوپله ، برای افزایش شکل پذیری و بهبود رفتار لرزه‌ای سازه می‌باشد . برای این منظور به بررسی دو نمونه آزمایشگاهی با نسبت طول به ارتفاع ۲ که با بتن معمولی و الیافی ساخته شده اند پرداخته خواهد شد . ضمن اینکه برای مطالعه تیرهای کوپله در مود خمشی ، بررسی ها برای نمونه های با نسبت طول به ارتفاع ۲ و ۳ و۴ در نرم‌افزار ABAQUS ادامه خواهد یافت .

نتایج حاصل از تحقیقات نشان دهنده رفتار برشی در نمونه های با نسبت طول به دهانه ۲ و ۳ ، و رفتار کاملا خمشی در نمونه با نسبت طول به دهانه ۴ بوده است . ضمن اینکه استفاده از بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی سبب افزایش مقاومت نهایی و شکل پذیری سازه می گردد و علاوه بر آن می توان در نمونه های با نسبت طول به ارتفاع کمتر از ۴ به میزان قابل توجهی از میزان آرماتورهای برشی کاست .

واژه‌های کلیدی: دیوار برشی کوپله ، تیر رابط ، بتن الیافی

[1] High-Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC)

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات ..... (۱ تا ۴)

۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. لزوم مطالعه رفتار لرزه‌ای دیوار برشی کوپله ۲
۱-۳. هدف از انجام تحقیق ۳
۱-۴. ساختار پایان نامه ۳

فصل دوم : بررسی رفتار دیوارهای برشی کوپله ..... (۵ تا ۳۳)

۲-۱. مقدمه ۶
۲-۲. تعریف دیوار برشی ۶
۲-۳. دیوار برشی کوپله ۷
۲-۴. مقایسه سیستم‌های قاب خمشی و دیوار برشی کوپله ۸
۲-۴-۱. سیستم قاب خمشی ۸
۲-۴-۲. سیستم دیوار برشی کوپله ۹
۲-۵. رفتار دیوار برشی کوپله ۱۲
۲-۶. تحلیل دیوار برشی کوپله ۱۶
۲-۷. انواع تیرهای رابط در دیوار برشی کوپله ۱۸
۲-۷-۱. تیر رابط بتنی ۱۸
۲-۷-۱-۱. تیر رابط بتنی با آرماتورهای برشی معمولی ۱۸
۲-۷-۱-۲. تیر رابط بتنی با آرماتورهای برشی قطری ۱۸
۲-۷-۱-۳. تیرهای کوپله ساخته شده از بتن های الیافی توانمند ۱۹

۲-۷-۱-۴. تیرهای پیش ساخته از بتن‌های الیافی توانمند ۱۹
۲-۸-۲. تیرهای رابط فولادی ۲۱
۲-۹-۳. تیرهای رابط مرکب ۲۲
۲-۱۰. تاریخچه تحقیقات ۲۳

فصل سوم : معرفی بتن الیافی ..... (۳۴ تا ۴۶)

۳-۱. مقدمه ۳۵
۳-۲. بتن معمولی ۳۷
۳-۳. بتن پرمقاومت ۳۷
۳-۴. بتن الیافی ۳۹
۳-۴-۱. بتن مسلح به الیاف فولادی ۴۰
۳-۴-۲. بتن مسلح به الیاف پلیمری ۴۱
۳-۴-۲-۱. بتن الیافی با الیاف PVA ۴۲
۳-۴-۲-۲. بتن الیافی با الیاف PP ۴۵

فصل چهارم : بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی کوپله ..... (۴۷ تا ۱۳۶)

۴-۱. مقدمه ۴۸
۴-۲. مشخصات هندسی نمونه های مورد بررسی ۴۸
۴-۳. مواد و مصالح مصرفی ۵۳
۴-۳-۱. سنگدانه ۵۳

۴-۳-۲. سیمان ۵۶
۴-۳-۳. آب ۵۶
۴-۳-۴. فوق روان کننده ۵۷
۴-۳-۵. الیاف فولادی ۵۸
۴-۳-۶. آرماتور ۵۹
۴-۴. جزییات نمونه ها ۶۴
۴-۴-۱. آرماتورگذاری ۶۴
۴-۴-۲. طرح اختلاط ۶۹
۴-۵. ساخت نمونه ها ۷۱
۴-۵-۱. آرماتوربندی ۷۱
۴-۵-۲. نصب کرنش سنج ۷۴
۴-۵-۳. قالب بندی ۷۷
۴-۵-۴. تعبیه آرماتورها در قالب ۷۹
۴-۶. ساخت بتن ۸۰
۴-۷. بتن ریزی ۸۲
۴-۸. عمل آوری ۸۳
۴-۹. ساخت setup آزمایش ۸۳
۴-۱۰. بارگذاری ۸۸
۴-۱۱. مشاهدات و نتایج آزمایشگاهی و تجزیه تحلیل آنها ۹۰
۶-۱۱-۱. مقدمه ۹۰
۴-۱۱-۲. بارگذاری نمونه A ۹۰

۴-۱۱-۲-۱. مشاهدات و نتایج اولیه نمونه A ۹۰
۴-۱۱-۲-۲. نمودارهای بار-دریفت و پوش نمونه A ۱۰۴
۴-۱۱-۲-۳. نمودار برش-کرنش آرماتورهای نمونه A ۱۰۵
۴-۱۱-۳. بارگذاری نمونه B ۱۱۰
۴-۱۱-۳-۱. مشاهدات و نتایج اولیه نمونه B ۱۱۰
۴-۱۱-۳-۲. نمودارهای بار-دریفت و پوش نمونه B ۱۲۲
۴-۱۱-۳-۳. نمودار برش-کرنش آرماتورهای نمونه B ۱۲۳
۴-۱۱-۴. مقایسه نتایج نمونه های تیر رابط دیوار برشی کوپله ۱۲۸
۴-۱۱-۴-۱. مقایسه نمودارهای بار-دریفت و پوش ۱۲۸
۴-۱۱-۴-۲. مقایسه نمودار برش-کرنش آرماتورهای قطری ۱۳۰
۴-۱۱-۴-۳. مقایسه نمودار برش-کرنش آرماتورهای خمشی ۱۳۱
۴-۱۱-۴-۴. مقایسه نمودار برش-کرنش خاموت های برشی عرضی ۱۳۲
۴-۱۱-۵. نتایج ۱۳۳

فصل پنجم : بررسی نمونه ها در نرم افزار ABAQUS ..... (۱۳۷ تا ۱۶۴)

۵-۱. مقدمه ۱۳۸
۵-۲. مدل سازی نرم افزاری ۱۳۸
۵-۲-۱. ساخت مدل ۱۳۸
۵-۲-۲. معرفی مشخصات مصالح ۱۴۱
۵-۲-۲-۱. معرفی مشخصات آرماتورها ۱۴۱
۵-۲-۲-۲. معرفی مشخصات بتن ۱۴۵

۵-۲-۳. اختصاص مشخصات ۱۴۶
۵-۲-۴. تعریف نوع تحلیل ۱۴۷
۵-۲-۵. تعریف پیوستگی بین آرماتورها و بتن ۱۴۷
۵-۲-۶. تعریف شرایط مرزی ۱۴۸
۵-۲-۷. معرفی شرایط بارگذاری ۱۴۹
۵-۲-۸. مش بندی ۱۵۰
۵-۳. کالیبراسیون ۱۵۲
۵-۴. بررسی نمونه های نرم افزاری ۱۵۳
۵-۴-۱. نمونه C ۱۵۳
۵-۴-۲. نمونه D ۱۵۷
۵-۵. مقایسه نتایج نمونه های تیر رابط دیوار برشی کوپله ۱۶۰

فصل ششم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ..... (۱۶۵ تا ۱۶۸)

۶-۱. مقدمه ۱۶۶
۶-۲. نتایج ۱۶۶
۶-۳. ارائه پیشنهادات ۱۶۸
مراجع ۱۶۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱. مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی تیرهای کوپله ۲۸

جدول ۲-۲. خلاصه نتایج بدست آمده حاصل از آزمایشات تیرهای کوپله ۳۲

جدول ۳-۱. ویژگی های الیاف تقویت کننده در ترکیبات سیمانی ۴۴

جدول ۴-۱. مشخصات نمونه های مورد بررسی ۵۲

جدول ۴-۲. مشخصات سیمان پرتلند ۱-۴۲۵ ..... ۵۶

جدول ۴-۳. مشخصات فنی فوق روان کننده ۵۷

جدول ۴-۴. مشخصات فنی الیاف فولادی ۵۹

جدول ۴-۵. مشخصات آرماتور گذاری نمونه ها ۶۰

جدول ۴-۶. طرح اختلاط ۶۹

جدول ۴-۷. سیکل های بارگذاری ۸۹

جدول ۴-۸. مشخصات بارگذاری ۹۲

جدول ۴-۹. کرنش جاری شدگی آرماتورها ۱۰۵

جدول ۵-۱. المان های مورد استفاده در مدل سازی اجزای دیوار برشی کوپله ۱۵۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱. نماهایی از دیوار برشی کوپله ۷

شکل ۲-۲. سیستم قاب خمشی ۹

شکل ۲-۳. سیستم دیوار برشی کوپله ۱۰

شکل ۲-۴. تشکیل مفصل پلاستیک در پای دیوار ۱۱

شکل۲-۵. توزیع تنش در حالات مختلف ۱۳

شکل۲-۶. خمش دو انتهایی در تیر رابط ۱۴

شکل۲-۷. ایجاد برش و لنگر در تیر رابط ۱۴

شکل ۲-۸. نمایش نیروی به وجود آمده در دیوار برشی کوپله ۱۵

شکل ۲-۹. نمایش مشخصات دیوار برشی کوپله به کار رفته در روابط ۱۷

شکل ۲-۱۰. آرماتورهای قطری تیر رابط ۱۸

شکل ۲-۱۱. نمونه آزمایشگاهی از تیر کوپله ساخته شده از (HPFRC) ۲۰

شکل ۲-۱۲. تیر کوپله درجا و پیش ساخته ۲۱

شکل ۲-۱۳. تیر رابط فولادی در دیوار برشی کوپله ۲۲

شکل ۲-۱۴. تیر رابط مرکب ۲۳

شکل ۲-۱۵. گسیختگی برشی-کششی ۲۴

شکل ۲-۱۶. گسیختگی لغزشی -برشی ۲۴

شکل۲-۱۷. نمونه شماره ۱ ..... ۲۸

شکل۲-۱۸. نمونه شماره ۲ ..... ۲۹

شکل۲-۱۹. نمونه شماره ۳ ..... ۲۹

شکل۲-۲۰. نمونه شماره ۴ ..... ۳۰

شکل۲-۲۱. منحنی هیسترسیس نمونه شماره ۱ ..... ۳۰

شکل۲-۲۲. منحنی هیسترسیس نمونه شماره ۲ ..... ۳۱

شکل۲-۲۳. منحنی هیسترسیس نمونه شماره ۳ ..... ۳۱

شکل۲-۲۴. منحنی هیسترسیس نمونه شماره ۴ ..... ۳۲

شکل ۴-۱. مشخصات آزمایشگاهی دیوار برشی کوپله (نمونه A) ۴۸

شکل ۴-۲. مشخصات آزمایشگاهی دیوار برشی کوپله (نمونه B) ۴۹

شکل ۴-۳. مشخصات مدل نرم افزاری دیوار برشی کوپله (نمونه C) ۵۰

شکل ۴-۴. مشخصات مدل نرم افزاری دیوار برشی کوپله (نمونه D) ۵۱

شکل ۴-۵. ماسه مانده روی الک نمره ۸ ..... ۵۴

شکل ۴-۶. ماسه رد شده از الک نمره ۸ ..... ۵۴

شکل ۴-۷. آزمایش ارزش ماسه ای SE ۵۵

شکل ۴-۸. فوق روان کننده ۵۷

شکل ۴-۹. الیاف فولادی مصرفی ۵۸

شکل ۴-۱۰. دستگاه کشش مستقیم ۵۹

شکل ۴-۱۱. میلگردهای انتخابی ۶۰

شکل ۴-۱۲-الف. دیاگرام تنش-کرنش میلگردها ۶۱

شکل ۴-۱۲-ب. دیاگرام تنش-کرنش میلگردها ۶۱

شکل ۴-۱۲-ج. دیاگرام تنش-کرنش میلگردها ۶۲

شکل ۴-۱۲-د. دیاگرام تنش-کرنش میلگردها ۶۲

شکل ۴-۱۲-و. دیاگرام تنش-کرنش میلگردها ۶۳

شکل ۴-۱۳-الف. نمای کلی آرماتورهای نمونه A و B ۶۴

شکل ۴-۱۳-ب. مشخصات آرماتور گذاری نمونه A و B ۶۵

شکل ۴-۱۳-ج. مشخصات آرماتور گذاری نمونه A و B (آرماتورهای قطری) ۶۵

شکل ۴-۱۴-الف. نمای کلی آرماتورهای نمونه C ۶۶

شکل ۴-۱۴-ب. مشخصات آرماتور گذاری نمونه C ۶۶

شکل ۴-۱۴-ج. مشخصات آرماتور گذاری نمونه C (آرماتورهای قطری) ۶۷

شکل ۴-۱۵-الف. نمای کلی آرماتورهای نمونه D ۶۷

شکل ۴-۱۵-ب. مشخصات آرماتور گذاری نمونه D ۶۸

شکل ۴-۱۵-ج. مشخصات آرماتور گذاری نمونه D (آرماتورهای قطری) ۶۸

شکل ۴-۱۶. ساخت نمونه های اولیه ۷۰

شکل ۴-۱۷. نمونه های اولیه ۷۰

شکل ۴-۱۸. آزمایش نمونه های اولیه ۷۱

شکل ۴-۱۹. خم کردن میلگردها ۷۲

شکل ۴-۲۰. برش میلگرد توسط قیچی ۷۲

شکل ۴-۲۱. برش میلگرد توسط دستگاه برش ۷۳

شکل ۴-۲۲. بافتن میلگردها توسط سیم مفتول ۷۳

شکل ۴-۲۳. آماده کردن محل نصب کرنش سنج ۷۴

شکل ۴-۲۴. متصل کردن کرنش سنج به سیم اتصال ۷۵

شکل ۴-۲۵. روکش کردن (Coating) کرنش سنج ۷۵

شکل ۴-۲۶. کنترل صحت نصب کرنش سنج ها ۷۶

شکل ۴-۲۷. محل نصب کرنش سنج ها ۷۷

شکل ۴-۲۸. روغن کاری قالب ۷۷

شکل ۴-۲۹. تعبیه محل عبور بولت ها ۷۸

شکل ۴-۳۰. بتونه کاری قالب ۷۸

شکل ۴-۳۱. تعبیه دستگیره lift ۷۹

شکل ۴-۳۲. تعبیه plate برای اعمال بار ۷۹

شکل ۴-۳۳. تعبیه آرماتورها در قالب ۸۰

شکل ۴-۳۴. اضافه کردن تدریجی الیاف فولادی به درون مخلوط کن ۸۱

شکل ۴-۳۵. بتن ساخته شده با الیاف فولادی ۸۱

شکل ۴-۳۶. بتن ریزی و تراکم نمونه ۸۲

شکل ۴-۳۷. محل قرارگیری بولتها ۸۴

شکل ۴-۳۸. محل قرارگیری جک ها و LVDTها ۸۵

شکل ۴-۳۹. دستگاه Data Logger ۸۵

شکل ۴-۴۰. Load Cell ۸۶

شکل ۴-۴۱. جک و پمپ ۸۶

شکل ۴-۴۲. لینک ها ۸۷

شکل ۴-۴۳. بولبرینگ ۸۷

شکل ۴-۴۴. تاریخچه بارگذاری ۸۸

شکل ۴-۴۵. نحوه آرماتورگذاری نمونه A ۹۱

شکل ۴-۴۶. محل اعمال بار به نمونه A ۹۱
شکل ۴-۴۷. ایجاد ترک در محل اتصال تیر به دیوار نمونه A ۹۳
شکل ۴-۴۸. ایجاد ترک های برشی در تیر نمونه A ۹۳
شکل ۴-۴۹. جاری شدن خاموت در نمونه A ۹۴
شکل ۴-۵۰-الف. وضعیت دیوار در دریفت 0.75% در نمونه A ۹۴
شکل ۴-۵۰-ب. وضعیت دیوار در دریفت 0.75% در نمونه A ۹۵
شکل ۴-۵۱. ایجاد ترک در دیوار برشی کوچکتر در نمونه A ۹۶
شکل ۴-۵۲. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 1% در نمونه A ۹۶
شکل ۴-۵۳. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 1.5% در نمونه A ۹۷
شکل ۴-۵۴. جاری شدن خاموت در نمونه A ۹۸
شکل ۴-۵۵. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 2% در نمونه A ۹۸
شکل ۴-۵۶. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 2.5% در نمونه A ۹۹
شکل ۴-۵۷. جاری شدن آرماتورهای قطری وسط دهانه در نمونه A ۱۰۰
شکل ۴-۵۸. جاری شدن آرماتورهای قطری تکیه گاه در نمونه A ۱۰۰
شکل ۴-۵۹. باز شدن عرض ترک قطری در نمونه A ۱۰۱
شکل ۴-۶۰. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 3% در نمونه A ۱۰۲
شکل ۴-۶۱. گسیختگی دیوار برشی کوپله در دریفت 3.5% در نمونه A ۱۰۳
شکل ۴-۶۲. وضعیت دیوار برشی کوپله پس از گسیختگی در نمونه A ۱۰۴
شکل ۴-۶۳. نمودار بار-دریفت نمونه A ۱۰۴

شکل ۴-۶۴. نمودار پوش نمونه A ۱۰۵
شکل ۴-۶۵. جاری شدن آرماتور قطری در نمونه A ۱۰۶
شکل ۴-۶۶. موقعیت کرنش سنج آرماتور قطری جاری شده در نمونه A ۱۰۶
شکل ۴-۶۷. عدم جاری شدن آرماتورهای خمشی در نمونه A ۱۰۷
شکل ۴-۶۸. موقعیت کرنش سنج آرماتور خمشی در نمونه A ۱۰۷
شکل ۴-۶۹. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه A ۱۰۸
شکل ۴-۷۰. موقعیت کرنش سنج خاموت برشی عرضی جاری شده در نمونه A ۱۰۸
شکل ۴-۷۱. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه A ۱۰۹
شکل ۴-۷۲. موقعیت کرنش سنج خاموت برشی عرضی جاری شده در نمونه A ۱۰۹
شکل ۴-۷۳. محل اعمال بار به نمونه B ۱۱۰
شکل ۴-۷۴. ایجاد ترک در محل اتصال تیر به دیوار در نمونه B ۱۱۱
شکل ۴-۷۵. ایجاد اولین ترک های برشی در نمونه B ۱۱۲
شکل ۴-۷۶. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 1% در نمونه B ۱۱۳
شکل ۴-۷۷. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 1.5% در نمونه B ۱۱۴
شکل ۴-۷۸. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 2% در نمونه B ۱۱۵
شکل ۴-۷۹. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 2.5% در نمونه B ۱۱۶
شکل ۴-۸۰. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 3% در نمونه B ۱۱۷
شکل ۴-۸۱. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۱۸
شکل ۴-۸۲. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۱۸

شکل ۴-۸۳. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 3.5% در نمونه B ۱۱۹
شکل ۴-۸۴. جاری شدن خاموت در نمونه B ۱۱۹
شکل ۴-۸۵. وضعیت دیوار برشی کوپله در دریفت 4% در نمونه B ۱۲۰
شکل ۴-۸۶. باز شدن عرض ترک در محل اتصال تیر به دیوار کوچکتر ۱۲۱
شکل ۴-۸۷. نمودار بار-دریفت نمونه B ۱۲۲
شکل ۴-۸۸. نمودار پوش نمونه B ۱۲۳
شکل ۴-۸۹. جاری شدن آرماتور قطری در نمونه B ۱۲۴
شکل ۴-۹۰. موقعیت کرنش سنج آرماتور قطری در نمونه B ۱۲۴
شکل ۴-۹۱. جاری شدن آرماتورهای خمشی در نمونه B ۱۲۵
شکل ۴-۹۲. موقعیت کرنش سنج آرماتور خمشی در نمونه B ۱۲۵
شکل ۴-۹۳. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۲۶
شکل ۴-۹۴. موقعیت کرنش سنج خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۲۶
شکل ۴-۹۵. جاری شدن خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۲۷
شکل ۴-۹۶. موقعیت کرنش سنج خاموت برشی عرضی در نمونه B ۱۲۷
شکل ۴-۹۷. مقایسه نمودار بار-دریفت ۱۲۹
شکل ۴-۹۸. مقایسه نمودار پوش ۱۲۹
شکل ۴-۹۹. مقایسه نمودار برش-کرنش آرماتورهای قطری ۱۳۰
شکل ۴-۱۰۰. مقایسه نمودار برش-کرنش آرماتورهای خمشی ۱۳۱
شکل ۴-۱۰۱. مقایسه نمودار برش-کرنش خاموت های برشی عرضی در تکیه گاه ۱۳۲

شکل ۴-۱۰۲. مقایسه نمودار برش-کرنش خاموت های برشی عرضی در وسط دهانه ۱۳۳

شکل ۴-۱۰۳. گسیختگی برشی-کششی در نمونه A ۱۳۵

شکل ۴-۱۰۴. ترک های لغزشی-برشی در نمونه B ۱۳۶

شکل ۵-۱. سرهمبندی آرماتورهای طولی و عرضی تیر رابط ۱۳۹

شکل ۵-۲. مدل نمونه B ۱۳۹

شکل ۵-۳. مدل نمونه C ۱۴۰

شکل ۵-۴. مدل نمونه D ۱۴۰

شکل ۵-۵-الف. دیاگرام تنش-کرنش حقیقی میلگردها ۱۴۲

شکل ۵-۵-ب. دیاگرام تنش-کرنش حقیقی میلگردها ۱۴۲

شکل ۵-۵-ج. دیاگرام تنش-کرنش حقیقی میلگردها ۱۴۳

شکل ۵-۵-د. دیاگرام تنش-کرنش حقیقی میلگردها ۱۴۳

شکل ۵-۵-و. دیاگرام تنش-کرنش حقیقی میلگردها ۱۴۴

شکل ۵-۶. نحوه ورود اطلاعات مربوط به آرماتورها در نرم افزار ABAQUS ۱۴۴

شکل ۵-۷. نحوه ورود اطلاعات مربوط به بتن در نرم افزار ABAQUS ۱۴۵

شکل ۵-۸. نحوه ورود شعاع آرماتور برای مدل سازی سه بعدی ۱۴۶

شکل ۵-۹. نحوه تعریف نوع تحلیل در نرم افزار ABAQUS ۱۴۷

شکل ۵-۱۰. گیردار کردن نمونه در نرم افزار ABAQUS ۱۴۸

شکل ۵-۱۱. اعمال شرایط مرزی در نرم افزار ABAQUS ۱۴۹