دانشکده مهندسی عمران

بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی اثر جزئیات آرماتورگذاری در تیرهای کوپله بتنی ساخته شده با بتن الیافی توانمند *HPFRCC*

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

مرتضی دهقان

اساتید راهنما:

دکتر محمدکاظم شربتدار

دکتر علی خیرالدین

شهریور ماه ۱۳۹۰

دانشکده مهندسی عمران

بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی اثر جزئیات آرماتورگذاری در تیرهای کوپله بتنی ساخته شده با بتن الیافی توانمند *HPFRCC*

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

مرتضی دهقان

اساتید راهنما:

دکتر محمد کاظم شربتدار

دکتر علی خیرالدین

استاد مشاور:

دکتر مجید قلهکی

شهریور ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب **مرتضی دهقان** متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار بـا عنـوان " ***بررسـی آزمایشـگاهی و تحلیلی اثر جزئیات آرماتورگذاری در تیرهای کوپلـه بتنـی سـاخته شـده بـا بـتن الیـافی توانمنـد HPFRCC*** " 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: **مرتضی دهقان**

شماره دانشجویی: **۸۷۱۱۱۴۹۰۰۴**

امضاء

پایان نامه های تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران دانشگاه سمنان

این پاین نامه تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین نوین مهندسی عمران و در قالب گروه پژوهشی:

☐ روش های اجرایی نوین مهندسی عمران

☐ مصالح نوین مهندسی عمران

☐ سیستم های نوین ساخت

☐ روشهای تحلیل نوین در مهندسی عمران

ارائه شده است.

امضای مدیر گروه پژوهشی　　امضای رئیس پژوهشکده

این صفحه در صورتی تکمیل می گردد که فعالیت پژوهشی مورد نظر در راستای اهداف پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و با حمایت یکی از گروه های پژوهشی صورت پذیرد.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به :

مادرم:

آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست

و هرگز غروب نخواهد کرد

به پدرم:

که از نگاهش صلابت

و از صبرش ایستادگی را آموختم

تقدیم به

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپربلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

تشکر و قدردانی

خداوند یکتا را بی‌نهایت سپاسگزارم که الطاف بیکران خود را مرهون اینجانب نمود تا با انجام این مطالعه حاضر شاید بتوانم سهم هر چند بسیار ناچیز در راستای پیشرفت جامعه مهندسی کشور و تولید دانش داشته باشم. بدینوسیله از استاد ارجمندم جناب آقای *دکتر محمد کاظم شربتدار* که با لطف فراوان و دلگرمی خاص در تمامی مراحل تهیه و تدوین این پایان‌نامه از رهنمودهای ارزنده ایشان بهره‌مند شدم، کمال تشکر و سپاس فراوان را دارم و از خداوند متعال برای ایشان توفیق روز افزون مسئلت می نمایم. همچنین از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علی خیرالدین که با راهنمایی های خود انجام این پروژه را امکان پذیر ساختند نهایت تشکر و قدردانی را دارم. بر خود لازم می دانم از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مجید قلهکی استاد مشاور محترم به جهت راهنمایی های ایشان کمال سپاسگزاری را داشته باشم.

از جناب آقایان مهندس محمد بخشایی کارشناس آزمایشگاه سازه و مهندس علی فیروز بخت کارشناس آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه سمنان و همچنین از دوستان خوبم آقایان مهندس ماهان قاسمی نقیب دهی ، مهندس ایمان امیری سواد رودباری و مهندس احمد دالوند و همه دوستان دانشجو که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در انجام آزمایشات و تهیه پایان نامه به اینجانب کمک و یاری رسانده اند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از شرکت صنایع مفتولی زنجان بخصوص جناب آقای مهندس مالکی که زحمت تهیه الیاف فولادی مورد نیاز پروژه را متحمل شدند و همچنین شرکت بتن شیمی تهران و مدیر عامل محترم آن شرکت جناب آقای مهندس نوذری کمال سپاسگزاری و تشکر فراوان را دارم.

در پایان از پدر، مادر، خواهر، برادر و تمام کسانی که همواره پشتیبان من در کلیه مراحل زندگی بوده‌اند بی‌نهایت متشکر و سپاسگزارم و حاصل تلاش خود را تقدیم آنان می کنم.

چکیده

رفتار بتن های *HPFRCC* در کشش، برش، کرنش، جذب انرژی، مقاومت و کنترل ترک، بهبود چشم گیری نسبت به بتن معمولی دارد. کاهش میزان یا حذف آرماتورهای برشی یکی دیگر از نکات مثبت استفاده از این مواد است. تیرهای کوپله ساخته شده از بتن های الیافی توانمند بر پایه مصالح سیمانی *(HPFRCC)* که از نسل های پیشرفته بتن های الیافی به شمار می آیند، جایگزین مناسبی برای تیرهای کوپله بتنی معمولی می باشند. با استفاده از این مصالح علاوه بر افزایش شکل پذیری سازه و کاهش مقادیر آرماتورهای عرضی و قطری می توان به ظرفیت برشی بالاتری دست یافت.

در این پایان نامه به بررسی و مطالعه رفتار تیرکوپله بتنی و استفاده از بتن الیافی توانمند بر پایه مصالح سیمانی *(HPFRCC)* برای افزایش شکل پذیری و بهبود رفتار سازه ای آنها می باشد. دو تیرکوپله بتنی و بتن الیافی *(HPFRCC)* با مقیاس ۱ به ۲ آزمایشگاهی با نسبت غالب برشی طول به دهانه ۲ بر طبق آیین نامه ACI 318-08 طراحی و ساخته شد. در این تحقیق علاوه بر میلگردهای طولی و قطری و خاموت های قایم در طول تیر، از الیاف فولادی قلابدار به مقدار ۲٪ حجم کل استفاده شده است.

نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار مقاومت و جابجایی در حالت الاستیک تیرهای با بتن های الیافی توانمند *HPFRCC* دو برابر تیرهای مشابه با بتن معمولی بوده و وجود الیاف باعث افزایش ۶۰ درصدی جذب انرژی نمونه ساخته شده از بتن *HPFRCC* نسبت به نمونه بتن معمولی می گردد. همچنین می توان تا مقدار ۵۰٪ از مقادیر آرماتورهای قطری را کاهش داده و به رفتاری شکل پذیر با استهلاک انرژی مناسب دست یافت. مشاهده گردید که وجود الیاف در بتن باعث می شود که بتن و الیاف به صورت یکپارچه در آمده و راه مناسبی برای کاهش حجم آرماتور گذاری در نواحی پر تراکم است. مشاهدات نشان داد ترک های ایجاد شده در نمونه الیافی دارای عرض ترک کمتر می باشد.

کلمات کلیدی: بتن الیافی توانمند بر پایه مصالح سیمانی *(HPFRCC)*، تیر کوپله، شکل پذیری

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل۱ : کلیات	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- اهداف انجام پایان نامه	۴
۱-۳- روش انجام پایان نامه	۵
۱-۴- ساختار پایان نامه	۶
فصل ۲ : معرفی دیوار برشی کوپله و بررسی تحقیقات انجام شده	
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲-معرفی دیوار برشی کوپله	۸
۲-۳- رفتار دیوارهای برشی کوپله در برابر بارهای جانبی	۱۰
۲-۴- مقاومت خمشی دیوار دارای بازشو(کوپله):	۱۲
۲-۴-۱- نحوه مقاومت خمش دیوار دارای بازشو	۱۳
۲-۴-۲- آنالیز دیوار برشی کوپله	۱۳
۲-۵- انواع تیرهای کوپله	۱۵
۲-۵-۱- تیر کوپله ی بتنی	۱۵
۲-۵-۱-۱- ضوابط ACI 318-08 برای تیرهای تیرهای کوپله بتنی	۱۷
۲-۵-۲- تیر کوپله ی فولادی	۲۰
۲-۵-۳- تیر کوپله ی پیش ساخته با HPFRCC	۲۱
۲-۵-۴- تیر کوپله ی کامپوزیت (بتن- فولاد) و (PRC)	۲۳

۲-۵-۵- تیر کوپله ی پیش تنیده ۲۴
۲-۶- تاریخچه تحقیقات ۲۵

فصل ۳ : بتن های الیافی

۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- تاریخچه کاربرد الیاف ۳۲
۳-۳- بتن‌های الیافی ۳۳
۳-۴- بتن های الیافی توانمند HPFRC ۳۵
۳-۵- بتن های الیافی بر پایه مصالح سیمانی (HPFRCC) ۳۶
۳-۶- ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف فولادی ۳۸
۳- ۷- ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف پلیمری ۴۰
۳-۸- کاربرد بتن های الیافی توانمند (HPFRC) در طراحی لرزه ای سازه ها ۴۱
۳-۸-۱- کاربرد HPFRCC برای کنترل طبقه نرم در ساختمان های بتنی ۴۱
۳-۸-۲- اتصالات تیربه ستون با مصالح شکل پذیر ۴۲
۳-۸-۳- تیرهای کوپله ساخته شده توسط بتن های الیافی (HPFRC) ۴۳
۳-۸-۴- دیوارهای برشی کوتاه ساخته شده از مصالح شکل پذیر(ECC) ۴۴

فصل ۴ : طراحی و ساخت نمونه های آزمایشگاهی و سیستم آزمایشات

۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- برنامه آزمایش ۴۶
۴-۳- مدل سازی ۴۸

۴-۴- مشخصات نمونه های آزمایشگاهی ۵۰
۴-۴-۱- مشخصات نمونه A ۵۱
۴-۴-۲- مشخصات نمونه B ۵۲
۴-۵- معرفی مصالح مصرفی ۵۳
۴-۵-۱- سیمان ۵۳
۴-۵-۲- سنگدانه ۵۴
۴-۵-۳- آب ۵۶
۴-۵-۴- فوق روان کننده ۵۸
۴-۵-۵- الیاف فولادی ۵۹
۴-۵-۶- میلگردهای فولادی ۶۱
۴-۵-۷- کرنش سنج ۶۳
۴-۶- روند ساخت تیرهای کوپله در آزمایشگاه ۶۴
۴-۶-۱- ساخت قالب نمونه ها ۶۴
۴-۶-۲- آرماتوربندی تیرها ۶۵
۴-۶-۳- نصب کرنش سنج ها بر روی آرماتورهای طولی و خاموت ها ۶۷
۴-۶-۴- برچسب گذاری کرنش سنج ها ۷۲
۴-۶-۵- ساخت دستک برای بلند کردن نمونه ها ۷۲
۴-۶-۶- نصب ورق های تکیه گاهی و صفحات بارگذاری ۷۳
۴-۶-۷- سوراخ کاری قالب ها ۷۴
۴-۶-۸- آماده سازی قالب ها ۷۵
۴-۶-۹- بتن ریزی نمونه ها ۷۶

۴-۷- آماده کردن دستگاه آزمایش (SETUP) ۸۱
۴-۷-۱- اتصال نمونه ها به کف قوی ۸۱
۴-۷-۲- ساخت سیستم نگه دارنده جک ها ۸۱
۴-۷-۳- ساخت لینک های عمودی ۸۲
۴-۸ آماده سازی تیرها جهت انجام آزمایش ۸۳
۴-۹ بارگذاری ۸۶

فصل ۵ : مشاهدات، نتایج آزمایشات، تجزیه و تحلیل نتایج

۵-۱- مقدمه ۸۸
۵-۲- رفتار چرخه ای نمونه ها و الگوی بارگذاری ۸۸
۵-۳- مشاهدات و رفتار چرخه ای نمونه A (بتن معمولی) ۸۹
۵-۴- مشاهدات و رفتار چرخه ای نمونه B (HPFRCC) ۹۵
۵-۵- نتایج نمونه A (بتن معمولی) ۱۰۱
۵-۶- نتایج نمونه B (HPFRCC) ۱۰۸
۵-۷- مقایسه رفتار نمونه های A و B ۱۱۴
۵-۸- مقایسه نتایج نمونه های A و B و مقادیر آیین نامه ۱۲۰

فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه ۱۲۴
۶-۲- نتیجه گیری ۱۲۴
۶-۳- پیشنهادات ۱۲۶

فصل ۷ : مراجع ۱۲۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ دیوار برشی کوپله ۹
شکل ۲-۲ تیرهای همبند در سیستم دیوار برشی کوپله ۱۰
شکل ۲-۳ محل تشکیل مفاصل پلاستیک ۱۱
شکل ۲-۴ نیروهای داخلی دیوارهای دارای بازشو تحت اثر بارهای جانبی ۱۲
شکل ۲-۵ نمایش مشخصات دیوار برشی کوپله به کار رفته در روابط ۱۵
شکل ۲-۶ عملکرد خرپایی فولادهای قطری تیرهای کوپله بتنی ۱۶
شکل ۲-۷ ابعادهسته فولادهای قطری تیرکوپله بتنی طبق آیین نامه ACI 318-08 ۱۸
شکل ۲-۸ تیر کوپله ی فولادی ۲۱
شکل ۲-۹ تیرکوپله پیش ساخته از بتن های الیافی برپایه مصالح سیمانی (HPFRCC) ۲۲
شکل ۲-۱۰ تیرهای کوپله پیش ساخته بامصالح شکل پذیرECC -برج Nabaure (یوکوهاما-ژاپن) ۲۳
شکل ۲-۱۱ تیر کوپله PRC ۲۴
شکل ۲-۱۲ تیر کوپله ی پیش تنیده ۲۴
شکل ۳-۱ مقایسه منحنی تنش-کرنش HPFRCC و FRC تحت اثرکشش مستقیم ۳۶
شکل ۳–۲ الیاف فولادی و پلی پروپیلن (PP) ۳۷
شکل ۳-۳ المان های عمودی HPFRCC در کنار ستونهای طبقه نرم ۴۲
شکل ۳-۴ اتصال تیربه ستون با مصالح شکل پذیر HPFRCC ۴۳
شکل ۴-۱ جزئیات آرماتورگذاری تیر کوپله ساخته شده در آزمایشگاه ۴۷
شکل ۴-۲ وضعیت تعادل در تیر کوپله ۴۸
شکل ۴-۳ دستگاه آزمایش ۴۹
شکل ۴-۴ مدل سازی شرایط مشابه وضعیت تیر کوپله واقعی در آزمایشگاه ۴۹
شکل ۴-۵ تیر کوپله ساخته شده در آزمایشگاه ۵۰
شکل ۴-۶ ابعاد و اندازه گذاری نمونه های آزمایشگاهی ۵۱
شکل ۴-۷ جزئیات آرماتورگذاری تیر کوپله و دیوارهای متصل به آن ۵۲
شکل ۴-۸ سنگدانه های تفکیک شده ۵۴

شکل ۴-۹ مراحل انجام آزمایش هم ارز ماسه ای (S.E.) ۵۵
شکل ۴-۱۰ تعیین مقدار هم ارز ماسه ای (S.E.) ۵۶
شکل ۴-۱۱ فوق روان کننده ۵۹
شکل ۴-۱۲ الیاف فولادی قلابدار ۶۰
شکل ۴-۱۳ الیاف فولادی پیچ دار ۶۰
شکل ۴-۱۴ الیاف فولادی قلابدار دارای روکش مسی ۶۱
شکل ۴-۱۵ اطلاعات و مشخصات مربوط به کرنش سنج ها ۶۳
شکل ۴-۱۶ ساخت قالب ها ی چوبی و مونتاژ آن ها روی کف فلزی ۶۴
شکل ۴-۱۷ نبشی های نگه دارنده در محل اتصال قالب های چوبی به کف فلزی ۶۵
شکل ۴-۱۸ آب بندی قالب ها توسط بتونه روغنی ۶۵
شکل ۴-۱۹ بریدن آرماتورها ۶۶
شکل ۴-۲۰ خم زدن آرماتورها ۶۶
شکل ۴-۲۱ آرماتوربندی نمونه ها ۶۶
شکل ۴-۲۲ ساختار کلی سنسور کرنش سنج ۶۸
شکل ۴-۲۳ حذف اثر دما در اندازه گیری ۶۸
شکل ۴-۲۴ محل نصب کرنش سنج ها - نمای جلوی تیر کوپله ۶۹
شکل ۴-۲۵ محل نصب کرنش سنج ها - نمای پشت تیر کوپله ۶۹
شکل ۴-۲۶ چسب برای نصب کرنش سنج ها ۷۰
شکل ۴-۲۷ ماده پوشاننده کرنش سنج ها ۷۰
شکل ۴-۲۸ آماده سازی محل نصب کرنش سنج ها ۷۰
شکل ۴-۲۹ سیم لحیم و روغن لحیم ۷۰
شکل ۴-۳۰ نصب کرنش سنج ها ۷۱
شکل ۴-۳۱ استفاده از ماده پوشاننده روی کرنش سنج ها ۷۱
شکل ۴-۳۲ تست کرنش سنج ها ۷۱
شکل ۴-۳۳ برچسب گذاری کرنش سنج ها ۷۲
شکل ۴-۳۴ موقعیت دستک ها ر روی نمونه ها ۷۳
شکل ۴-۳۵ صفحه فولادی و شاخک های اتصال به شبکه میلگرد ۷۴
شکل ۴-۳۶ موقعیت قرار گیری ورق ها و صفحات روی نمونه ها ۷۴

شکل ۴-۳۷ سوراخ کاری قالب ها ۷۵
شکل ۴-۳۸ فاصله دهنده برای ایجاد پوشش روی بتن ۷۵
شکل ۴-۳۹ موقعیت فاصله دهنده ها در نمونه های آزمایشگاهی ۷۶
شکل ۴-۴۰ آرماتور گذاری نمونه های آزمایشگاهی ۷۶
شکل ۴-۴۱ آماده کردن مصالح – وزن کردن مصالح – ریختن مصالح در دستگاه ۷۸
شکل ۴-۴۲ ساخت بتن ۷۹
شکل ۴-۴۳ بتن ریزی ۷۹
شکل ۴-۴۴ باز کردن قاب ها ۷۹
شکل ۴-۴۵ نمونه گیری مکعبی جهت تست فشاری ۸۰
شکل ۴-۴۶ نمونه استوانه ای و عمل آوری آن ۸۰
شکل ۴-۴۷ اتصال نمونه های آزمایشگاهی به کف قوی ۸۱
شکل ۴-۴۸ جک ۲۵۰ کیلونیوتنی و سیستم نگهدارنده آن ۸۲
شکل ۴-۴۹ ابعاد سیستم نگهدارنده و جک ۲۵۰ کیلونیوتنی ۸۲
شکل ۴-۵۰ لینک های عمودی ۸۳
شکل ۴-۵۱ رنگ آمیزی نمونه ها برای نشان دادن ترک ها ۸۴
شکل ۴-۵۲ دستگاه ثبت اطلاعات ۸۵
شکل ۴-۵۳ تغییر مکان سنج (LVDT) ۸۵
شکل ۴-۵۴ پمپ ۸۵
شکل ۴-۵۵ جک ۸۵
شکل ۴-۵۶ بار سنج ۸۵
شکل ۴-۵۷ نمای کلی سیستم SETUP آزمایش ۸۵
شکل ۴-۵۸ ابعاد و اندازه های سیستم SETUP آزمایش ۸۶
شکل ۴-۵۹ الگوی بارگذاری رفت و برگشتی ۸۶
شکل ۵-۱ الگوی بارگذاری رفت و برگشتی ۸۹
شکل ۵-۲ نمونه A قبل از بارگذاری ۹۰
شکل ۵-۳ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۰/۲۵ ٪ ۹۰
شکل ۵-۴ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۰/۵ ٪ ۹۱
شکل ۵-۵ نمونه A تغییر مکان نسبی ۰/۷۵٪ ۹۱

شکل ۵-۶ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۱٪ ۹۱
شکل ۵-۷ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۱/۵ ٪ ۹۲
شکل ۵-۸ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۲ ٪ ۹۲
شکل ۵-۹ نمونه A در تغییر مکان نسبی ۲/۵ ٪ ۹۲
شکل ۵-۱۰ نمونه Aدر تغییر مکان نسبی ۳ ٪ - ایجاد ترک های برشی مورب درامتداد قطر تیر ۹۳
شکل ۵-۱۱ نمونه A در تغییرمکان نسبی ۳/۵ ٪ -گسیختگی تیرکوپله بصورت برشی- کششی ۹۴
شکل ۵-۱۲ گسیختگی نمونه A –شکست تیرکوپله ازنمای جلو و پشت تیردرانتهای آزمایش ۹۴
شکل ۵-۱۳ نمونه B قبل از بارگذاری ۹۶
شکل ۵-۱۴ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۰/۵ ٪ ۹۶
شکل ۵-۱۵ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۰/۷۵ ٪ ۹۷
شکل ۵-۱۶ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۱ ٪ ۹۷
شکل ۵-۱۷ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۱/۵ ٪ ۹۷
شکل ۵-۱۸ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۲ ٪ ۹۸
شکل ۵-۱۹ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۲/۵ ٪ ۹۸
شکل ۵-۲۰ نمونه B در تغییر مکان نسبی ۳ ٪ ۹۹
شکل ۵-۲۱ نمونه B درتغییر مکان نسبی ۳/۵٪ ۹۹
شکل ۵-۲۲ انتهای بارگذاری نمونه B - تغییر مکان نسبی ۴ ٪ ۱۰۰
شکل ۵-۲۳ منحنی نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه A ۱۰۱
شکل ۵-۲۴ منحنی پوش نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه A ۱۰۲
شکل ۵-۲۵ نمودار بار- کرنش آرماتور قطری نمونه A درکل طول بارگذاری ۱۰۳
شکل ۵-۲۶ نمودار بار- کرنش آرماتور قطری نمونه A در حالت الاستیک ۱۰۳
شکل ۵-۲۷ نمودار پوش بار- کرنش آرماتور قطری نمونه A در حالت الاستیک ۱۰۴
شکل ۵-۲۸ نمودار بار- کرنش خاموت ابتدای تیر کوپله نمونه A در حالت الاستیک ۱۰۵
شکل ۵-۲۹ نمودار پوش بار-کرنش خاموت ابتدای تیرکوپله نمونهA در حالت الاستیک ۱۰۵
شکل ۵-۳۰ نمودار بار- کرنش خاموت وسط تیر کوپله نمونه A در حالت الاستیک ۱۰۶
شکل ۵-۳۱ نمودار پوش بار- کرنش خاموت وسط تیرکوپله نمونه A درحالت الاستیک ۱۰۶
شکل ۵-۳۲ نمودار بار- کرنش آرماتور خمشی تیر کوپله نمونه A در حالت الاستیک ۱۰۷
شکل ۵-۳۳ منحنی نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه ۱۰۸

شکل ۵-۳۴ منحنی پوش نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه B ۱۰۹
شکل ۵-۳۵ نمودار بار- کرنش آرماتور قطری نمونه A درکل طول بارگذاری ۱۱۰
شکل ۵-۳۶ نمودار پوش بار- کرنش آرماتور قطری نمونه B ۱۱۰
شکل ۵-۳۷ نمودار بار- کرنش خاموت ابتدای تیر کوپله نمونه B در حالت الاستیک ۱۱۱
شکل ۵-۳۸ نمودار پوش بار-کرنش خاموت ابتدای تیرکوپله نمونه B درحالت الاستیک ۱۱۱
شکل ۵-۳۹ نمودار بار- کرنش خاموت وسط تیر کوپله نمونه B در حالت الاستیک ۱۱۲
شکل ۵-۴۰ نمودار پوش بار- کرنش خاموت وسط تیر کوپله نمونه B درحالت الاستیک ۱۱۲
شکل ۵-۴۱ نمودار بار- کرنش آرماتور خمشی تیر کوپله نمونه B در حالت الاستیک ۱۱۳
شکل ۵-۴۲ مقایسه منحنی نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه های A و B ۱۱۴
شکل ۵-۴۳ مقایسه پوش منحنی نیرو - تغییر مکان نسبی نمونه های A و B ۱۱۵
شکل ۵-۴۴ مقایسه منحنی نیرو - کرنش آرماتورهای قطری نمونه های A و B ۱۱۶
شکل ۵-۴۵ مقایسه پوش منحنی نیرو - کرنش آرماتورهای قطری نمونه های A و B ۱۱۶
شکل ۵-۴۶ مقایسه منحنی نیرو - کرنش خاموت ابتدای تیر کوپله نمونه های A و B ۱۱۷
شکل ۵-۴۷ مقایسه منحنی نیرو - کرنش خاموت وسط تیر کوپله نمونه های A و B ۱۱۷
شکل ۵-۴۸ مقایسه پوش منحنی نیرو- کرنش خاموت ابتدای تیر کوپله نمونه های A و B ۱۱۸
شکل ۵-۴۹ مقایسه پوش منحنی نیرو - کرنش خاموت وسط تیر کوپله نمونه های A و B ۱۱۸
شکل ۵-۵۰ مقایسه منحنی نیرو - کرنش آرماتور خمشی نمونه های A و B ۱۱۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱ آنالیز شیمیایی سیمان خاکستری ۵۳

جدول ۴-۲ آنالیز فیزیکی سیمان ۵۴

جدول ۴-۳ مشخصات فوق روان کننده مصرفی در طرح اختلاط بتن مصرفی ۵۹

جدول ۴-۴ مشخصات فنی الیاف فولادی مصرفی در نمونه های آزمایشگاهی ۶۱

جدول ۴-۵ مشخصات مکانیکی انواع میلگردهای رایج در ایران ۶۲

جدول ۴-۶ نتایج تست کشش روی میلگردها ۶۳

جدول ۴-۷ مقدار آرماتورهای مصرفی ۶۶

جدول ۴-۸ طرح اختلاط بتن معمولی ۷۷

جدول ۴-۹ طرح اختلاط بتن HPFRCC ۷۸

جدول ۵-۱ خلاصه نتایج و مشاهدات آزمایش نمونه A ۹۵

جدول ۵-۲ خلاصه نتایج و مشاهدات آزمایش نمونه B ۱۰۰

فصل ۱:

کلیات