

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر کامپوزیت های توانمند الیافی بر رفتار تیرهای کوپله بدون میلگرد قطری و دورپیچ

علی خیرالدین^۱، محمد کاظم شربتدار^{۲*}، امید هادی زاده هاشم آبادی^۳

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

۳- کارشناس ارشد سازه و دانش آموخته دانشگاه سمنان

msharbatdar@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۲/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۴/۰۴]

چکیده

در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرماتورهای قطری و دورپیچها در سه نمونه تیر کوپله برشی تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداخته می‌شود. نمونه اول مرجع با بتن معمولی و آرایش آرماتورگذاری مطابق با آیین‌نامه ACI، نمونه دوم و سوم با مصالح الیافی توانمند HPFRCC با و بدون آرماتور قطری با حذف دورپیچ است. نتایج آزمایشها حاکی از تأثیر HPFRCC در بالا بردن ظرفیت باربری، شکل پذیری، جذب انرژی بوده و جایگزین مناسبی برای دورپیچها است و می‌توان مقدار آرماتورهای قطری را نیز کاهش داد. همچنین در نمونه بدون دورپیچ با جایگزینی بتن توانمند، ظرفیت باربری، ضریب شکل پذیری، جذب انرژی نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۱۵٪، ۳۶٪، ۶۹٪ افزایش یافته ولی در نمونه بدون آرماتورهای قطری ولی با بتن توانمند در مقایسه با نمونه مرجع، مقدار ظرفیت باربری ۳۶٪ کاهش داشته و ضریب شکل پذیری ۱۳٪ افزایش داشته و مقدار جذب انرژی تغییر چندانی نکرده است. ضمناً جمع‌شدگی نمودار هیستریزس نمونه‌های حاوی بتن توانمند کمتر از نمونه مرجع بوده و رفتار خمشی تری دارد. ظرفیت برشی الاستیک آزمایشگاهی نمونه مرجع و نمونه با بتن HPFRCC حدوداً ۵ برابر ظرفیت برشی الاستیک محاسباتی مطابق آیین‌نامه ACI است زیرا آیین‌نامه برای اطمینان فقط ظرفیت برشی میلگردهای مورب را در نظر می‌گیرد.

واژگان کلیدی - دیوار برشی کوپله، تیر رابط، شکل پذیری، کامپوزیت های سیمانی مسلح الیافی توانمند (HPFRCC)

۱- مقدمه

امروزه بتن گسترده‌ترین کاربرد را در بین مصالح ساخته شده به وسیله بشر دارد. با پیشرفت تکنولوژی بتن و به علت دوام کم و دوره بهره‌برداری کوتاه سازه‌های موجود، در دهه ۸۰ میلادی، بتنی با عنوان بتن توانمند استفاده شد. ژیا و همکاران بخشی از پژوهش‌های اولیه و کاربردهای HPC را

گردآوری نموده‌اند و راسل هم اطلاعات تکمیلی جمع‌آوری کرد [۲، ۱]. ACI نیز HPC را بتنی با توانمندی های ویژه و معیارهای یکسان شامل افزایش بتن ریزی و تراکم بدون جداشدگی دانه‌ها، ویژگی های مکانیکی دراز مدت، مقاومت اولیه، طاقت، پایداری حجمی، یا دوره بهره‌برداری در شرایط محیطی سخت می‌داند [۳]. به کار گرفتن الیاف در بتن و تولید بتن الیافی (FRC)، این امکان را فراهم کرده است که

ابتدا در تیرهای رابط مفصل پلاستیک برشی تشکیل شده و سپس با افزایش بارهای لرزه‌ای و با تشکیل مفصل پلاستیک خمشی در پای دیوار، سازه منهدم شود. با توجه به ضوابط آرماتورگذاری تیرهای کوبله طبق آیین نامه ACI برای تیرهای کوبله بتنی، بسته به نسبت طول تیر به ارتفاع آن، اجرای آرماتورهای قطری در تیر امری دشوار است. بررسی رفتار تیر همبند روی تیرهای کوبله ساخته شده از بتن‌های الیافی بر پایه مصالح سیمانی (HPFRCC) در دانشگاه میشیگان آمریکا به وسیله کنبلات و همکارانش [۱۹] تحت اثر بارهای شبه‌استاتیکی چرخه‌ای با کنترل تغییر مکان ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده از انجام آزمایش‌ها حاکی از آن است که آرماتورهای قطری برای دستیابی به تغییر شکل‌های بالاتر مورد نیاز است و می‌توان تنگ‌های مربوطه (خاموت‌های ماریچ آرماتورهای قطری) را حذف نمود. در همین زمینه، مطالعاتی روی تأثیر HPFRCC بر عملکرد لرزه‌ای تیر کوبله‌ی لاغر به وسیله میونگسو و همکاران [۲۰] انجام شد. این مطالعات نشان داد که استفاده از HPFRCC الگوی ترک خوردگی و خرابی برشی را در تیرهای کوبله باریک بهبود می‌بخشد. همچنین شکل‌پذیری آرماتورهای قطری تیر کوبله را افزایش می‌دهد. التاویل و هونگ [۲۱] در یک کار پژوهشی ۱۸ سیستم دیوار کوبله که در آنها از HPFRCC به جای بتن معمولی استفاده شده را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که بتن جدید توانایی تامین عملکرد مناسب را دارد. در پژوهش دیگری تأثیر جایگزینی بتن‌های کامپوزیتی توانمند الیافی HPFRCC بجای بتن معمولی در تیرهای کوبله در سیستم دیوار برشی با نسبت‌های مختلف دهانه به ارتفاع تحت بارهای رفت و برگشتی در مناطق مستعد لرزه‌ای با بتن درجا و پیش ساخته بررسی شد و نتیجه گرفتند که این جایگزینی می‌تواند باعث بهبود شکل‌پذیری و مقاومت برشی و تامین محصورشوندگی بیشتر شد [۲۴-۲۲].

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲- جزئیات نمونه‌ها

در این پژوهش از سه نمونه با ابعاد یکسان استفاده شده و آرماتورگذاری دیوارها یکسان ولی آرماتور گذاری تیر کوبله

بتن بتنی شکل‌پذیر و با قابلیت جذب انرژی بیشتر و نیز بتنی با توسعه‌ی ترک خوردگی کمتر تحت بار و تنش‌های ناشی از افت و حرارت، با مصارف مهمی تولید نمود [۴]. رامولدی و همکاران [۵ و ۶] بررسی تأثیر الیاف فولادی بر کاهش شکنندگی بتن را در دستور کار قرار دادند. گسترش دانش در خصوص چگونگی تأثیر الیاف بر ملات، منجر به تدوین توصیه‌هایی در مورد طراحی سازه‌ای به وسیله‌ی موسسه RILEM شد [۷، ۸] و تولید یک مصالح بتن الیافی با رفتار کششی شکل‌پذیر مورد توجه قرار گرفت که شروع آن به وسیله‌ی اوستون و همکاران [۹] بود و کرنچل و استانگ [۱۰] با کاربرد مناسب الیاف به هم پیوسته به شکل‌پذیری کششی ۱۰۰ برابر نسبت به بتن معمولی دست یافتند. کورباچ و جسی و نامان و رینهارت و همکاران [۱۱، ۱۲] نوع جدیدی از بتن الیافی با الیاف به هم پیوسته تحت عنوان بتن مسلح بافته شده (TRC) را ارائه نمودند. نامان و رینهارت [۱۳] مصالحی توانمند با نام کامپوزیت‌های سیمانی مسلح الیافی توانمند (HPFRCC) را معرفی نمودند که شامل یک بخش سخت شونده‌ی کرنش کششی در منحنی تنش-کرنش کششی خود بودند. مصالح HPFRCC انواع مختلفی دارد که مطالعات چانویلارد و ریگارد [۱۴] منجر به تولید بتن توانمند مخصوص با مقاومت کششی ۱۲ مگاپاسکال و شکل‌پذیری کششی ۲ تا ۶٪ شد. کامپوزیت‌های سیمانی مهندسی ECC نیز از انواع مصالح HPFRCC است که در دانشگاه میشیگان توسعه یافته که در آن، شکل‌پذیری کششی به واسطه گسترش ترک‌های ریز چندگانه افزایش یابد که مطالعات لیدر و فیشر و همکاران [۱۵، ۱۶] مقاومت کششی ۴ تا ۶ مگاپاسکال و شکل‌پذیری ۳ تا ۵٪ را برای این مصالح نتیجه داده است. ریچارد و چیززی و هابل و گائوورا [۱۷ و ۱۸] با ترکیب دو مفهوم UHPC و FRC، مصالح جدیدی تحت عنوان UHPFRC ارائه دادند که دارای مقاومت کششی، مقاومت فشاری و کرنش کششی نهایی به ترتیب بیش از ۱۰ مگاپاسکال، ۱۵۰ مگاپاسکال و ۰/۰۰۵ بود. تیرهای کوبله برای مقاومت در برابر بارگذاری سیکلی زلزله از محل‌هایی است که می‌توان برای ساخت آن از مصالح HPFRCC استفاده کرد. طراحی این سیستم بر این اصل استوار است که

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی

Spiral	Diagonal	Type	Specimen
Yes	Yes	Concrete	A
No	No	HPFRCC	D
No	Yes	HPFRCC	E

Table 1- Experimental Specimen Characteristics

عرض و عمق تیر هم برابر ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر است. برای سهولت اجراء آزمایش‌ها و شبیه‌سازی به رفتار واقعی تیرهای کوپله و دیوارهای برشی، دو دیوار بالا و پائین با ابعاد متفاوت ساخته شده‌اند. نمونه اول A (مرجع استاندارد) از بتن معمولی و آرماتورگذاری طولی و قطری مطابق با بندهای آیین‌نامه ACI 318-08 طراحی شده و در هر دو دیوار از میلگرد نمره ۱۶ به منظور آرماتور خمشی و از میلگرد نمره ۸ برای آرماتورهای برشی استفاده شده است. در تیر کوپله، برای آرماتورهای خمشی طولی از ۴ عدد میلگرد نمره ۲۰ و ۲ عدد میلگرد نمره ۱۴، و برای آرماتورهای قطری از ۴ عدد میلگرد نمره ۸ در هر قطر تیر مطابق شکل (۲) - الف) استفاده شده است. در این تیر از میلگردهای نمره ۶ بدون آج برای خاموت‌ها و همچنین دورپیچ برای آرماتورهای قطری استفاده شده است. در نمونه دوم D، از مصالح HPFRCC برای ساخت تیر کوپله استفاده شده است. علاوه بر آن آرماتورهای قطری و اسپیرال‌های به کار برده شده در تیر کوپله حذف شده است و فقط آرماتورهای طولی خمشی باقی مانده است و ابعاد هم مشابه نمونه A است. در نمونه سوم E، مانند نمونه D، در تیر کوپله از مصالح HPFRCC استفاده شده است با این تفاوت که در آرماتورگذاری آن از آرماتورقطری استفاده شده و تنها دورپیچ‌ها حذف شده‌اند. جزئیات آرماتورگذاری هر سه نمونه در شکل (۲) نشان داده شده است.

۲-۲- مدل‌سازی

مطابق شکل (۳) که سیستم شبیه‌سازی شده آزمایشگاهی است یک انتهای تیر آزاد بوده و طرف دیگر تیر به وسیله ی بولت‌های فولادی به کف صلب محکم شده است. بار اعمالی رفت و برگشتی به وسیله ی دو جک هیدرولیکی به این تیر اعمال شده و با تعبیه دو ستونک عمودی در دو طرف تیر و

متفاوت است. نمونه اول به عنوان نمونه مرجع با بتن معمولی و نمونه‌های دوم و سوم با آرماتورگذاری متفاوت و استفاده از مصالح HPFRCC در تیر کوپله ساخته شده است. تفاوت آرماتورگذاری به صورت اجمالی در جدول (۱) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱) نسبت طول به عمق تیر کوپله برابر ۲ است.

شکل ۱. مشخصات هندسی نمونه‌ها

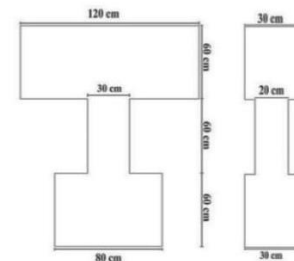
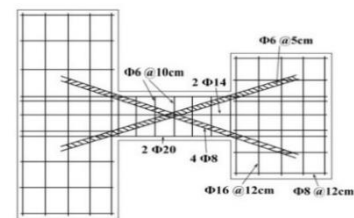
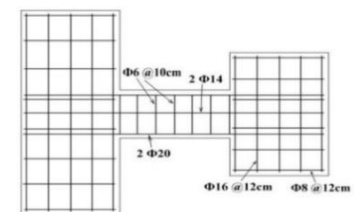


Fig 1. Specimens Geometry Properties

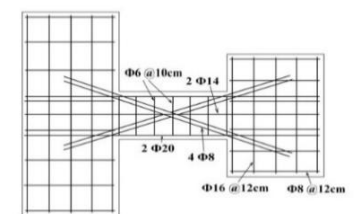
شکل ۲. آرماتورگذاری نمونه‌ها



الف- نمونه A



بأ- نمونه D



ج- نمونه E

Fig 2. Specimens Reinforcing

جدول ۲. مشخصات الیاف PPS

Length (mm)	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Absorb	shape
50-54	0.07	3500	0.02	smooth

Table 2- PPS Fiber Properties

شکل ۵. الیاف و بتن الیافی PPS



Fig 5. PPS Fiber and FRC concrete

طرح اختلاط بهینه برای بتن معمولی و بتن توانمند HPFRCC برای انجام آزمایش فشاری بتن مطابق جدول (۴) تهیه و ساخته شد و نمونه‌های استوانه‌ای نیز تهیه و سپس آزمایش‌های فشاری نیز انجام شد. مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌های استوانه‌ای برای بتن معمولی ۴۳ و برای بتن الیافی توانمند HPFRCC به میزان ۵۴ مگاپاسکال به دست آمد. بارگذاری روی نمونه‌ها به صورت رفت و برگشتی با الگوی کنترل تغییر مکان است، در این آزمایش هر سیکل دو بار تکرار شده است که الگوی بارگذاری بر اساس آیین‌نامه ATC در شکل (۶) نشان داده شده است. روی میلگردهای طولی و عرضی و قطری، کرنش سنج برای اندازه‌گیری کرنش‌ها در هر لحظه به خصوص در آستانه جاری شدن نصب شده‌اند.

۳- رفتار چرخه‌ای نمونه‌ها و الگوی بارگذاری

۳-۱- مشاهده و نتایج اولیه نمونه‌های آزمایشگاهی

نمونه A به عنوان نمونه مرجع استاندارد از بتن معمولی با آرما توره‌های طولی و قطری و خاموت مطابق با آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی در مقابل زلزله قرار داده شده‌اند. در شکل (۷) نمونه A قبل از بارگذاری و در پایان آزمایش و لحظه شکست نهایی مشاهده می‌شود. طبق نتایج به دست آمده مقدار نیروی ترک‌خوردگی برای این نمونه ۳۸ کیلو نیوتن و جابه‌جایی ۱/۵ میلی‌متر رخ داده است. روند افزایش نیرو در این آزمایش تا جابه‌جایی ۲۱ میلی‌متر و دریافت ۳/۵ درصد تحت نیروی ۱۸۹ کیلو نیوتن است. پس از آن در سیکل‌های بعدی مقدار نیرو کاهش پیدا کرد و در پایان نمونه

نصب بلبرینگ قوی از چرخش دیوار بالایی متصل به تیر جلوگیری می‌شود [۱۹]. در شکل (۴) چگونگی مدل‌سازی و شرایط مشابه وضعیت تیر کوپله واقعی در آزمایشگاه نشان داده شده است و نمونه‌ها در آزمایشگاه نسبت به حالت واقعی ۹۰ درجه چرخانده تا بتوان بارهای افقی رفت و برگشتی را با دقت بالا اعمال و تکیه‌گاه‌های لازم تامین شود. و علاوه بر دو عدد تغییر مکان سنج (LVDT) که برای محاسبه تغییر مکان جانبی تیرها در نظر گرفته شده بود دو عدد دیگر هم در زیر تیرها و جلوی بلبرینگ پیش‌بینی شد تا بلند شدن احتمالی دیوار پائین را کنترل کند.

شکل ۳. دستگاه آزمایش

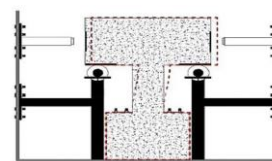


Fig 3. Test Set-up

شکل ۴. مدل‌سازی شرایط مشابه تیر کوپله واقعی

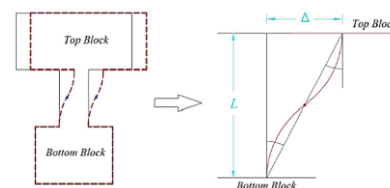


Fig 4. Coupling Beam real simulation

۳-۲- مصالح مصرفی

اندازه بزرگ‌ترین سنگدانه‌ها باید از ۴/۷۵ میلی‌متر کوچک تر و در دو گروه مانده و رد شده از الک نمره ۸ از نوع سیلیس و کاملاً شسته و خشک شده است. از سیمان پرتلند تیپ ۲ و فوق روان کننده نوترال با نام تجاری 102N، محصول شرکت بتن شیمی استفاده شده و الیاف به کار برده شده در این آزمایش نیز الیاف مصنوعی سینتتیک به نام PPS با مشخصات جدول (۲) است و در شکل (۵) به همراه بتن ساخته شده با این الیاف نشان داده شده است، روی میلگردها تست کشش نیز انجام شد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است.

نیروی ترک خوردگی نمونه D متناظر با تغییر مکان ۳ میلی-متر برابر با ۲۳ کیلو نیوتن است. همچنین مشاهده شد که نمونه در جابه‌جایی ۳۰ میلی‌متر معادل ۵٪ دررفت و نیروی ۱۲۵ کیلو نیوتن قابلیت باربری خود را از دست داده و در جابه‌جایی ۴۲ میلی‌متر معادل ۷٪ دررفت با کاهش ۲۰ درصدی ظرفیت باربری، گسیخته شده است.

شکل ۸. نمونه D قبل از بارگذاری و لحظه شکست



Fig 8. Specimen D, before and after loading

نمونه E بعنوان سومین نمونه، از لحاظ ابعاد و آرماتورگذاری شبیه به نمونه A ولی دارای آرماتور طولی خمشی و قطری است با این تفاوت که دورپیچ‌های دور آرماتورهای قطری در این نمونه حذف شده و مانند نمونه D از مصالح الیافی توانمند در ساخت تیر کوپله استفاده شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد در این نمونه نیروی ترک‌خوردگی برابر با ۴۷ کیلو نیوتن در جابه‌جایی ۳ میلی‌متر اتفاق افتاده است. افزایش نیرو تا سبک متناظر با جابه‌جایی ۳۳ میلی‌متر معادل ۵/۵٪ دررفت ادامه یافته و مقدار آن برابر با ۲۱۸ کیلو نیوتن است و پس از آن مقدار نیرو کاهش یافت و در تغییر مکان ۴۲ میلی-متر معادل ۷٪ دررفت با نیروی ۹۲ کیلو نیوتن نمونه دچار گسیختگی شد. همچنین بیشترین نیروی اعمالی در حالت الاستیک برای این نمونه ۱۷۰ کیلو نیوتن است که در تغییر مکان ۱۵ میلی‌متر معادل ۲/۵٪ دررفت رخ داده است. در شکل (۹) نمونه E قبل از بارگذاری و در پایان آزمایش و لحظه شکست نهایی مشاهده می‌شود که تعداد ترک‌ها در این نمونه بیشتر ولی عرض ترک‌ها کاهش یافته است و توزیع مناسب‌تری از ترک‌ها در مقطع اتفاق افتاده است شکست نهایی به تاخیر افتاده است. در شکل (۱۰) کرنش‌های قرائت شده روی میلگردهای طولی خمشی در سه نمونه مشاهده می‌شود. مطابق جدول (۳) میزان کرنش آستانه جاری شدن میلگردهای طولی برابر ۲۴۰۰ میکرون است، پس مشاهده

A در جابه‌جایی ۳۱ میلی‌متر معادل ۵٪ دررفت و با نیروی برشی ۱۵۶ کیلو نیوتن دچار گسیختگی برشی-کششی شد. در نمونه D، برای ساخت تیر کوپله از مصالح توانمند الیافی (HPFRCC) استفاده شده و تنها میلگردهای طولی خمشی در تیر پیش‌بینی شده و آرماتورهای قطری و همچنین دورپیچ که مطابق آئین نامه باید قرا داده شود تا تیر مقاوم برشی در برابر زلزله باشد چشم‌پوشی شده است. در شکل (۸) نمونه D قبل از بارگذاری و در پایان آزمایش و لحظه شکست نهایی مشاهده می‌شود.

جدول ۳. نتایج تست کشش روی میلگردها

Diameter (mm)	Yielding (MPa)	Ultimate (MPa)	Yielding Strain
6	248	326	0.00124
8	350	509	0.00175
14	490	665	0.0024
16	620	781	0.0031
20	490	630	0.0024
22	461	737	0.0023

Table 3. Steel bar Tensile Strength tests

جدول ۴. طرح اختلاط بتن معمولی و بتن HPFRCC

Ratio	Weigh	concrete	HPFRCC
Material			
cement	1	812	812
Fine sand (Passing)	0.75	609	609
Fine sand (Remained)	0.45	362	362
water	0.4	325	325
superplastizer	0.005	4.06	4.06
fiber	0.022	--	18
Total	--	2112	2130

Table 4. Mix Design of plain and HPFRCC Concrete

شکل ۶. تاریخچه بارگذاری

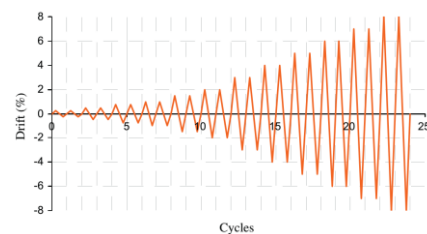


Fig 6. Loading History

شکل ۷. نمونه A قبل بارگذاری و لحظه شکست



Fig 7. Specimen A, before and after loading

۳-۲- تجزیه و تحلیل نتایج

در شکل (۱۱) منحنی‌های هیسترسیس برای هر یک از نمونه‌ها نشان داده شده است و در شکل (۱۲) منحنی‌های هیسترسیس و پوش همه نمونه‌ها در یک نمودار با هم مقایسه شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده از نمودارهای فوق، می‌توان مقاومت و شکل‌پذیری را به دست آورد. شکل پذیري نمونه برابر $\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$ است که Δ_u جابه‌جایی نهایی اتصال و در صورت وجود افت نیرو برابر جابه‌جایی مانند بار $0.85P_u$ است و Δ_y نیز جابه‌جایی مانند بار جاری شدگی P_y آرماتورهای طولی بر تیر اتصال است.

با محاسبه سطح زیر منحنی بار-جابه‌جایی به ترتیب مقادیر انرژی جذب شده نمونه‌های A، D و E به دست می‌آید که این مقادیر برای نمونه A برابر ۱۷۲۰۳ ژول، برای نمونه D برابر ۱۱۹۵۰ ژول و برای نمونه E برابر ۲۹۱۳۴ ژول است. مقایسه مقادیر انرژی جذب شده دو نمونه A و D، نشان می‌دهد در نمونه‌ی D، تأثیر استفاده از بتن الیافی توانمند و حذف آرماتورهای قطری در مقدار جذب انرژی تقریباً برابر ۶۰ درصد نمونه استاندارد A با آرماتورهای قطری و دورپیچ ولی با بتن معمولی برابر بوده و قابلیت جایگزینی بخشی را دارا است. اما در نمونه E، استفاده همزمان بتن الیافی توانمند و آرماتورهای قطری باعث شده مقدار جذب انرژی این نمونه به میزان نزدیک به ۷۰٪ نسبت به نمونه‌ی دیگر افزایش پیدا کند. بنابراین از نظر میزان جذب انرژی، عدم استفاده از دورپیچ‌ها را می‌توان با استفاده از مصالح HPRCC جبران کرد. در مقادیر مقاومت نهایی P_u (متناظر با ماکزیمم تغییر مکان در هنگام شکست) و شکل‌پذیری (نسبت تغییر مکان نهایی به تغییر مکان جاری شدن) هر سه نمونه آزمایشگاهی و درصد افزایش P_u و شکل‌پذیری نمونه‌های حاوی بتن HPRCC نسبت به نمونه بتن معمولی مرجع آمده است. نتایج نشان می‌دهد که حذف آرماتورهای قطری ولی با جایگزینی بتن HPRCC تنها کاهش ۳۴ درصدی در مقاومت نهایی وجود دارد که مطابق آئین‌نامه چنین تیری با بتن معمولی باید دارای مقاومت بسیار پائینی باشد. همچنین با

می‌شود که آرماتورهای خمشی نمونه مرجع A در جابه‌جایی ۱۸ میلی‌متر و در نیروی ۱۶۸ کیلو نیوتن جاری شده است و آرماتورهای خمشی نمونه مرجع D در جابه‌جایی ۱۸ میلی‌متر و در نیروی ۹۶ کیلو نیوتن و آرماتورهای خمشی نمونه مرجع E در جابه‌جایی ۲۱ میلی‌متر و در نیروی ۱۹۹ کیلو نیوتن جاری شده است.

شکل ۹. نمونه E قبل از بارگذاری و لحظه شکست

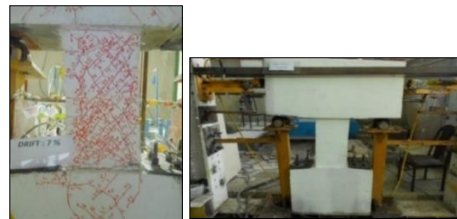
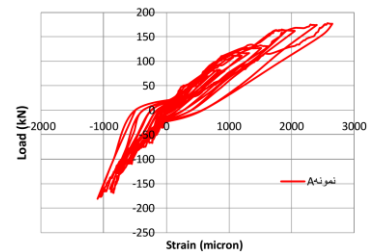
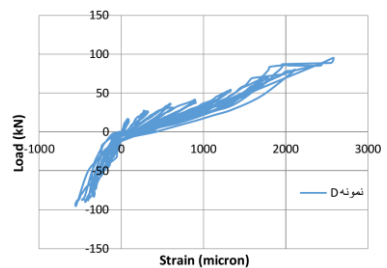


Fig 9. Specimen E, before and after loading

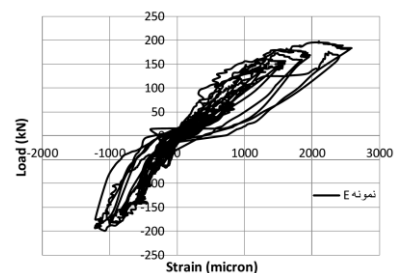
شکل ۱۰. منحنی بار- کرنش میلگردهای طولی نمونه‌ها



الف - نمونه A



ب - نمونه D



ج - نمونه E

Fig 10. Load-longitudinal bar strain curves

• مقایسه نتایج نمونه‌ها با مقادیر آیین‌نامه

در آیین‌نامه ACI 318-08 ظرفیت برشی تیر کوپله فقط بر اساس مقاومت آرماتور قطری است. بنابراین با حذف آرماتور قطری نباید ظرفیت برشی برای نمونه D منظور نمود. چنانچه بخواهیم مقاومت برشی تیر کوپله ساخته شده سه نمونه A، D و E را با هم مقایسه کنیم نمی‌توانیم از مقاومت برشی بتن و خاموت‌ها چشم‌پوشی کنیم و باید از رابطه (۲) استفاده شود که در این رابطه V_c مقاومت برشی بتن، V_d مقاومت برشی آرماتورهای قطری و V_s مقاومت برشی خاموت است.

جدول ۵. مقایسه کلی نتایج نمونه‌های آزمایش

Specimen	P_{cr}	P_y	P_u	$\frac{P_{ui}}{P_{UA}}$	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$	$\frac{\mu}{\mu(A)}$
A	38	163	189	-	15	31	2.06	1
D	27	96	125	0.66	18	42	2.33	1.13
E	41	170	218	1.15	15	42	2.8	1.36

Table 5. General Comparison of Experimental Results

شکل ۱۲. منحنی پوش برش-جابجایی نمونه‌ها

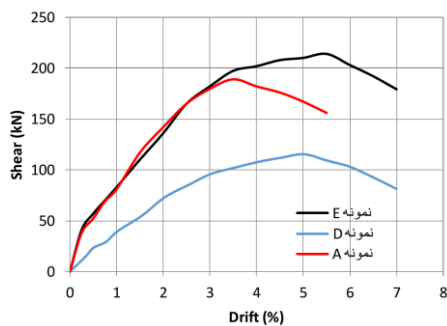


Fig 12. Back-bone Shear-Displacement curves

$$V = V_c + V_s + V_d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} = \frac{56.5 \times 248 \times 250}{100} = 35 \text{ kN}$$

$$V_d = 2A_{vd} f_y \sin \alpha = 2 \times 201 \times 350 \times \sin 14 = 34 \text{ kN} \quad (2)$$

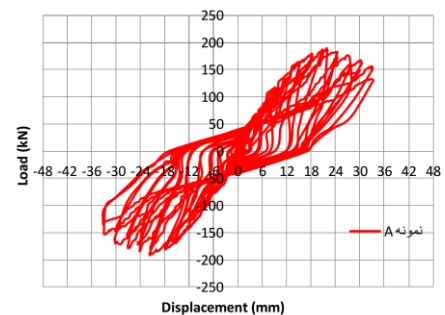
$$V_{c(A)} = 0.2 \sqrt{f'_c} b d = 65 \text{ kN}$$

$$V_{c(D)} = V_{c(E)} = 72 \text{ kN}$$

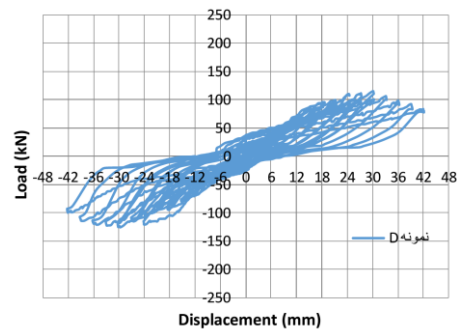
بطوری که A_v و f_y و S به ترتیب مساحت دو ساق و مقاومت جاری شدن و فاصله خاموت‌ها است و b و d

وجود آرماتورهای دورپیچ و جایگزینی بتن HPFRCC، مقاومت نهایی ۱۵ درصد افزایش یافت است. جالب اینکه با وجود حذف آرماتورهای قطری ولی جایگزینی بتن توانمند، شکل‌پذیری تا ۱۳ درصد افزایش یافته و این مقدار افزایش در نمونه سوم با بتن توانمند و آرماتور قطری تا ۳۶ درصد بوده است. نامان و همکاران [۲۵] شکل‌پذیری را برابر جذب انرژی می‌دانند که بر این اساس شکل‌پذیری جذب انرژی نمونه A و E به ترتیب ۴۰ و ۱۴۰ درصد بیش از همین مقدار در نمونه D است.

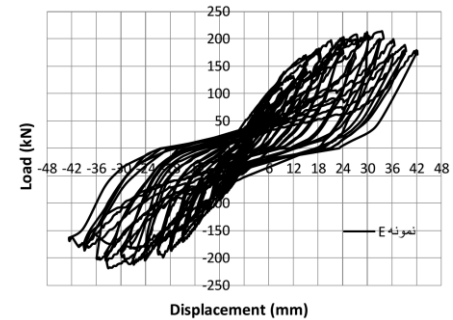
شکل ۱۱. منحنی هیستریسیس نیرو-جابجایی نمونه‌ها



الف - نمونه A



ب - نمونه D



ج - نمونه E

Fig 11. Hysteresis Load-Displacement curve of specimens

کرده است. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که استفاده از مصالح HPFRCC در ساخت تیر کوپله قابلیت این را دارد که با ضریب اطمینان بالایی، جایگزین دورپیچ ها در تیر کوپله شود.

• بررسی تأثیر نوع بتن و آرماتور قطری

در این قسمت با در نظر گرفتن تمام پارامترها، با رسم جدول و مقایسه نمونه A و D با یکدیگر، تأثیر نوع بتن و آرماتور قطری بررسی می شود. در جدول (۶) نتایج آزمایش برای نمونه A و D با هم مقایسه شده اند. همان گونه که در این جدول مشاهده می شود از نظر میزان جابه جایی و مقدار ضریب شکل پذیری نمونه D وضعیت بهتری از نمونه مرجع A و ۱۳٪ بیشتر است. در میزان جذب انرژی هر دو نمونه در سطح یکسانی قرار دارند و در باقی پارامترها مانند ظرفیت باربری، مقدار سختی، نمونه A مناسب تر از نمونه D است. همچنین مقایسه منحنی های بار-تغییر مکان دو نمونه در شکل (۱۳) نشان می دهد که نمونه A دارای جمع شدگی (pinching) کمتر و سختی بیشتری بوده و نمودار چاق تری دارد پس دارای رفتار خمشی-برشی است ولی جمع شدگی در نمونه D بیشتر بوده و سختی به کمتر از نصف کاهش یافته و نمودار لاغرتری دارد و بنابراین دارای رفتار برشی بیشتری نسبت به نمونه A دارد و میزان جذب انرژی تجمعی نمونه D تقریباً برابر ۶۰ درصد همین مقدار در نمونه A است. بنابراین با استفاده از نتایج دو نمونه می توان نتیجه گرفت که با حذف آرماتورهای قطری، تیر کوپله حتی با بتن HPFRCC ضعیف شده و قادر به تأمین پارامترهای مقاومتی نیست گرچه بتواند جذب انرژی متفاوتی تأمین کند.

• بررسی تأثیر نوع بتن و وجود اسپیرال

در جدول (۷) نتایج آزمایش برای نمونه های A و E نوشته شده است و این مقادیر با هم مقایسه شده اند. همانطور که در جدول مشاهده می شود استفاده از مصالح توانمند الیافی HPFRCC در تیر کوپله نمونه E باعث شده تا نمونه در تمام پارامترها از نمونه مرجع A رفتار بهتری داشته باشد. همان گونه که در جدول مشاهده می شود گرچه ظرفیت

عرض و ارتفاع موثر تیر و A_{vh} مساحت میلگردهای قطری و α زاویه میلگردهای قطری نسبت به افق است. پس مقاومت برشی نمونه های A و E و D به ترتیب ۱۳۴، ۱۴۱، و ۱۰۶ کیلو نیوتن است. گرچه مقاومت فشاری بتن نمونه E حدود ۳۳ درصد بیش از مقاومت فشاری بتن نمونه A است ولی اختلاف مقاومت برشی اسمی محاسباتی آنها حدود ۵ درصد است بنابراین مقاومت فشاری بتن تأثیر مستقیم زیاد در ظرفیت برشی ندارد. مقدار ظرفیت برشی آزمایشگاهی نمونه A در حالت جاری شدن ۱۶۳ کیلو نیوتن است که نسبت به مقدار ۱۳۴ کیلو نیوتن حدود ۲۰٪ افزایش نشان می دهد که برای اطمینان است. در نمونه E بر مبنای بتن توانمند، ظرفیت برشی برابر ۱۴۱ کیلو نیوتن خواهد شد. درحالی که مقدار ظرفیت برشی آزمایشگاهی در حالت جاری شدن برابر ۱۷۰ کیلو نیوتن است که نسبت به نمونه A که با بتن معمولی با مقاومت ۱۳۴ کیلو نیوتن حدود ۲۷٪ و نسبت به بتن توانمند با مقاومت ۱۴۱ کیلو نیوتن حدود ۲۰ درصد افزایش یافته که این اختلاف ناشی از به کارگیری بتن HPFRCC در نمونه E است و بخش کوچکی می تواند ناشی از افزایش مقاومت فشاری بتن باشد. بنابراین به این نتیجه می رسیم که در صورت استفاده از بتن HPFRCC علاوه بر حذف آرماتورهای دورپیچ می توان به میزان ۲۰٪ از آرماتورهای قطری را نیز حذف کرد. ظرفیت برشی آزمایشگاهی در حالت جاری شدن نمونه D برابر ۹۶ کیلو نیوتن است که مقاومت آیین نامه ای تقریباً برابر با این ظرفیت است. در آیین نامه ACI 318-08 ظرفیت برشی تیر کوپله فقط بر اساس مقاومت آرماتور قطری است. بنابراین با حذف آرماتور قطری نباید ظرفیت برشی برای نمونه C منظور نمود در صورتی که وجود بتن HPFRCC در این نمونه باعث تولید ظرفیت برشی مناسبی کرده است و مانع از شکست آنی شده و رفتار خمشی-برشی را در این تیر کوپله به وجود آورده است. ظرفیت باربری نهایی نمونه A و E، به ترتیب ۱۸۹ و ۲۱۸ کیلو نیوتن بیشینه نیروی اعمالی روی دو نمونه های در حالت الاستیک به ترتیب ۱۶۳ و ۱۷۰ کیلو نیوتن است. بنابراین نمونه A در حالت الاستیک ۴/۸ برابر مقدار طرح شده به وسیله آیین نامه و نمونه E نیز ۵ برابر مقدار نیروی محاسبه شده به وسیله آیین نامه را تحمل

جدول ۶. مقایسه نتایج نمونه A و D

D/A	D	A	Specimen Case
0.71	27	38	P_{cr} (kN)
0.59	96	163	P_y (kN)
0.66	125	189	P_{max} (kN)
0.64	100	156	P_u (kN)
2	3	1.5	Δ_{cr} (mm)
1.2	18	15	Δ_y (mm)
1.35	42	31	Δ_u (mm)
1.13	2.33	2.06	μ
0.4	10.1	24.66	K
1	17364	17203	E
0.77	96	124	Load at Stirrup yielding (kN)

Table 6. Comparison of Specimens A and D Results

باربری و مقدار سختی نمونه E به ترتیب ۱۵ و ۸ درصد نسبت به نمونه A افزایش یافته، ولی میزان ضریب شکل پذیری و جذب انرژی نمونه E وضعیت بهتری از نمونه مرجع A دارد و به ترتیب ۳۶٪ و ۶۹٪ بیشتر است. همچنین مقایسه منحنی های بار-تغییر مکان دو نمونه در شکل (۱۴) نشان می‌دهد که هر دو نمونه A و E دارای جمع‌شدگی (pinching) کمتر و مشابه هستند و سختی نمونه E حدود ۸٪ بیشتر بوده و نمودار نمونه E کمی چاق‌تر بوده و دارای رفتار مناسب‌تر خمشی-برشی است ولی میزان جذب انرژی نمونه E به دلیل تغییر مکان و ظرفیت نهایی ماکزیمم بیشتر، حدود ۷۰ درصد بیش از مقدار مربوطه نمودار مرجع یکسان است. بنابراین در صورت استفاده از مصالح HFRCC می‌توان دورپیچ‌ها را حذف نمود.

• بررسی تأثیر حذف آرماتور قطری

مقایسه‌ی نمونه‌های D و E که در هر دو نمونه از مصالح HFRCC در ساخت تیر کوپله آن‌ها استفاده شده است نشان می‌دهد که حذف آرماتور قطری تمامی پارامترها را تحت الشعاع خود قرار داده و همانطور که در جدول (۸) نشان داده شده از همه لحاظ نمونه D با اختلاف قابل توجهی از نمونه E ضعیف‌تر است. ظرفیت باربری و مقدار سختی نمونه E به ترتیب ۷۴ و ۱۶۴ درصد نسبت به نمونه D افزایش یافته، و میزان ضریب شکل پذیری و جذب انرژی نمونه E نسبت به نمونه مرجع D به ترتیب ۲۰٪ و ۱۴۰٪ بیشتر است.

شکل ۱۴. منحنی‌های بار-دریفت نمونه‌های A و E

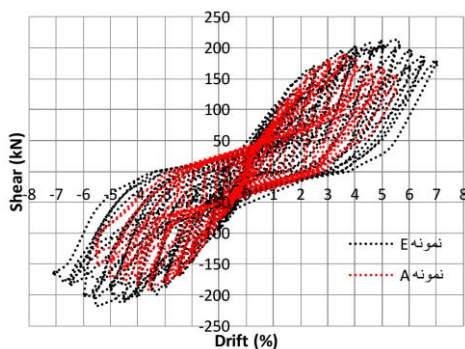


Fig 14. Load-Drift curve of specimens A and E

• بررسی تأثیر حذف آرماتور قطری

مقایسه‌ی نمونه‌های D و E که در هر دو نمونه از مصالح HFRCC در ساخت تیر کوپله آنها استفاده شده است نشان می‌دهد که حذف آرماتور قطری تمامی پارامترها را تحت الشعاع خود قرار داده و همان‌گونه که در جدول (۸) نشان داده شده از همه لحاظ نمونه D با اختلاف قابل توجهی از نمونه E ضعیف‌تر و ظرفیت باربری و مقدار سختی نمونه E به ترتیب ۷۴ و ۱۶۴٪ نسبت به نمونه D افزایش یافته، و میزان ضریب شکل‌پذیری و جذب انرژی نمونه E نسبت به نمونه مرجع D به ترتیب ۲۰ و ۱۴۰٪ بیشتر است.

شکل ۱۳. منحنی‌های بار-دریفت نمونه‌های A و D

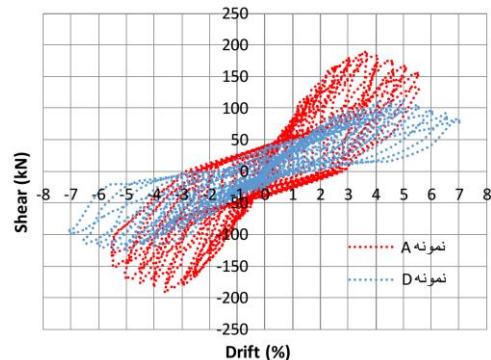


Fig 13. Load-Drift curve of specimens A and D

کوپله از کامپوزیت های سیمانی مسلح الیافی توانمند HPFRCC استفاده نمود.

جدول ۸. مقایسه نتایج نمونه E و D

E/D	E	D	Specimen	Case
1.52	41	27	P_{cr} (kN)	
1.77	170	96	P_y (kN)	
1.74	218	125	P_{max} (kN)	
1.79	179	100	P_{tu} (kN)	
0.5	1.5	3	Δ_{cr} (mm)	
0.83	15	18	Δ_y (mm)	
1	42	42	Δ_{tu} (mm)	
1.2	2.8	2.33	μ	
2.64	26.75	10.1	K	
1.67	29134	17364	E	
2.07	199	96	Load at Longitudinal bar yielding (kN)	
2.13	205	96	Load at Stirrup yielding (kN)	

Table 8. Comparison of Specimens E and D Results

شکل ۱۵. منحنی های بار-دریفت نمونه های E و D

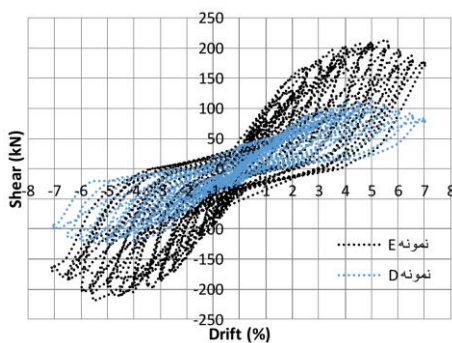


Fig 15. Load-Drift curve of specimens E and D

۴- نتیجه گیری

بر اساس مشاهده رفتاری و نتایج به دست آمده از انجام آزمایش بار رفت و برگشتی روی سه نمونه تیر کوپله بتنی، با بتن معمولی و بتن HPFRCC، نتایج زیر حاصل می شود:

۱- ظرفیت باربری تیر کوپله به مقدار ۱۵٪ با استفاده از مصالح الیافی توانمند با جود حذف دورپیچ های دور آرماتورهای قطری افزایش یافته است.

۲- مقدار ضریب شکل پذیری نمونه های با بتن توانمند با و بدون آرماتور قطری به ترتیب ۳۶٪ و ۱۳٪ نسبت به نمونه معمولی افزایش داشته است.

جدول ۷. مقایسه نتایج نمونه A و E

E/A	E	A	Specimen	Case
1.08	41	38	P_{cr} (kN)	
1.04	170	163	P_y (kN)	
1.15	218	189	P_{max} (kN)	
1.14	179	156	P_{tu} (kN)	
1	1.5	1.5	Δ_{cr} (mm)	
1	15	15	Δ_y (mm)	
1.35	42	31	Δ_{tu} (mm)	
1.36	2.8	2.06	μ	
1.08	26.75	24.66	K	
1.69	29134	17203	E	
1.18	199	168	Load at Longitudinal bar yielding (kN)	
1.65	205	124	Load at Stirrup yielding (kN)	
1.03	171	165	Load at Diagonal bar yielding (kN)	

Table 7. Comparison of Specimens A and E Results

همچنین مقایسه منحنی های بار-تغییر مکان دو نمونه در شکل (۱۵) نشان می دهد که نمونه E دارای جمع شدگی (pinching) کمتری نسبت به نمونه D ولی با سختی حدود ۱/۵ برابر بیشتر بوده و نمودار نمونه E چاق تر بوده و دارای رفتار خیلی بهتر خمشی-برشی است. همان گونه که مشاهده شد، آزمایشهای انجام شده در این پژوهش نشان می دهد که حذف آرماتور قطری و استفاده از مصالح HPFRCC به جای آن، قادر خواهد بود مقدار ضریب شکل پذیری را به اندازه ۱۳٪ و مقدار جابه جایی را تا رسیدن به گسیختگی به اندازه ۳۵٪ افزایش دهد ولی مقدار ظرفیت باربری آن و همچنین نیروی متناظر با جاری شدگی آرماتورهای خمشی و خاموت-ها به ترتیب به میزان ۵۷٪ و ۷۷٪ کاهش پیدا کرده است. پس جایگزینی مصالح HPFRCC با آرماتورهای قطری بستگی به پارامترهای مورد نیاز دارد و به طور کلی نمی تواند تمام احتیاجات تیر کوپله را برطرف کند. در نمونه دیگر، نتایج استفاده از مصالح HPFRCC در ساخت تیر کوپله و تنها حذف دورپیچ ها نشان می دهد که تمام پارامترها مانند ظرفیت باربری به میزان ۱۵٪، جابه جایی گسیختگی به میزان ۳۵٪، ضریب شکل پذیری به میزان ۳۶٪ افزایش داشته باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت به جای استفاده از دورپیچ ها که اجرای آن ها بسیار مشکل و زمان بر است می توان در ساخت تیر

- [10] Krenchel, H. and Stang, H. "Stable micro cracking in cementitious materials". In *Brittle Matrix Composites 2*. A.M. Brandt and J.H. Marshall, eds., pp 20-33, 1989.
- [11] Curbach, M. and Jesse, F. "High-Performance Textile-Reinforced Concrete", *Structural Engineering International* 9(4, 1): pp 289-291(3), 1999.
- [12] Majumdar A.J and Ryder J.R. "Glass fiber reinforcement of cement products". *Glass Technol*, 9(3), pp 78-84, 1968.
- [13] Naaman, A.E. and Reinhardt, H.W. "Setting the stage: toward performance-based classification of FRC composites". In *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC-4)*, Proc. Of the 4th Int'l RILEM Workshop, A.E. Naaman and H.W. Reinhardt, 2003.
- [14] Chanvillard, G. and Rigaud, S. "Complete characterization of tensile properties of Ductal UHPFRC according to the French recommendations". *HPFRCC4*, A.E. Naaman and H.W. Reinhardt, pp 21-34, 2003.
- [15] Li, V.C. "From micromechanics to structural engineering - the design of cementitious composites for civil engineering applications". *J. of Structural Mechanics and Earthquake Engineering* 10(2), pp 37-48, 1993.
- [16] Fischer, G., Wang, S. and Li, V.C. "Design of engineered cementitious composites for processing and workability requirements". 7th Inter. Symposium on Brittle Matrix Composites, pp 29-36, 2003.
- [17] Shi, C. Mo, Y. L. "High performance construction materials, science and applications", World Scientific Publishing, 2008, 448pp.
- [18] Fukuyama, H. and Suwada, H. "Experimental response of HPFRCC dampers for structural control", *Jornal of Advanced Concrete Technology*, 1(3), pp 317-326, 2003.
- [19] Canbolat, B. A. Parra-Montesinos, G. J. and Wight, J. K. "Experimental study on the seismic behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composite Coupling Beams," *ACI Structural Journal*, V. 102, No. 1, Jan-Feb. pp. 159-166, 2005.
- [20] Myoungsu Shin, Seong-Woo Gwon, Kihak Lee, Sang Whan Han, Yeong Wook Jo, "Effectiveness of high performance fiber-reinforced cement composites in slender coupling beams", *Construction and Building Materials* 68 , pp 476-490, 2014.
- [21] Hung , C. C., El-Tawil , S., Seismic Behavior of a Coupled-Wall System with HPFRCC Coupling Beams, *Structures Congress 2010*, Orlando, Florida, American Society of Civil Engineers , United States.
- [22] Parra-Montesinos , G.J., Wight , J.K., Kopczynski , C., Ferzli , J., High-performance fiber reinforced concrete coupling beams: From research to practice, *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*.
- [23] Lequesne, R., Parra-Montesinos, G., and Wight, J. (2013). "Seismic Behavior and Detailing of High-Performance Fiber-Reinforced Concrete Coupling Beams and Coupled Wall Systems." *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000687, 1362-1370.
- [24] Wight, J.K. , Parra-Montesinos, G.J. , Lequesne , R.D. , High-performance fiber reinforced concrete for earthquake-resistant design of coupled wall systems, *Fifth International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC5)*, Pages: 481 - 488.
- [25] Naaman, A. E., and Jeong, S. M., *Structural Ductility of Concrete Beams Prestressed with FRP Tendons, Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Proceeding of the Second International RILEM Symposium (FRPRCS-2), London, UK, pp. 379-386, 1995.

- ۳- مقدار جذب انرژی نمونه با بتن توانمند به دلیل استفاده از مصالح HPFRCC، ۶۷٪ نسبت به نمونه معمولی افزایش پیدا کرده و در نمونه D با وجود حذف کامل آرماتورهای قطری، با استفاده کردن از مصالح HPFRCC مقدار جذب انرژی کاهش نداشته است و نتیجتاً تبدیل شکست برشی - کششی نمونه مرجع بتن معمولی به شکست برشی - لغزشی شده است.
- ۴- استفاده از مصالح HPFRCC و حضور الیاف باعث شده تا مقدار سختی نمونه در سیکل‌های مختلف آزمایش افزایش داشته و دریافت نهایی نمونه‌های در آستانه رسیدن به بیشینه ظرفیت باربری و همچنین گسیختگی افزایش پیدا کند.
- ۵- در هر دو نمونه حاوی بتن HPFRCC الگوی ترک خوردگی بهبود پیدا کرده؛ به شکلی که تعداد ریز ترک‌ها افزایش، و عرض ترک‌ها کاهش پیدا کرده است.
- ۶- امکان کاهش ۲۰٪ آرماتور قطری و حذف دورپیچ‌ها در تیرهای کوپله با استفاده از مصالح HPFRCC حتی با بهبود رفتار سازه‌ای و لرزه‌ای تیر کوپله وجود دارد ولی مصالح HPFRCC نتوانسته جایگزین کامل برای آرماتور قطری شود.

References

۵. مراجع

- [1] Zia, P., Ahmad, S., and Ileming, M., *High-Performance Concretes: A State-of-Art Report (1989-1994)*, FHWA-RD-97-030, FHWA, 1997.
- [2] Russell, H.G., *ACI Defines High-Performance Concrete*, *Concrete International*, Vol. 21, No. 2, pp.56-57, February, 1999.
- [3] *ACI-MCP06, ACI Manual of Concrete Practice 2006 (Six-part set)*, American Concrete Institute, 01-jan-2006.
- [4] Mostofinezhad D., "RC Structures", *Esfahan University press*, 1383 (in Persian).
- [5] Romualdi J.P. and Batson G.B, "Mechanics of crack arrest in concrete". *Journal of Engineering Mechanics, ASCE Proc.*, 89(EM3): pp 147-168, 1963.
- [6] Romualdi J.P. and Mandel J.A. "Tensile strength of concrete affected by uniformly distributed and closely spaced short lengths of wire reinforcement". *Journal of ACI*, : pp 657-670, 1964.
- [7] Bolander, J. "Spring network model of fiber reinforced cement composites". *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites. HPFRCC 27-* H.W. Reinhardt and A.E. Naaman, pp 341-350, 1999.
- [8] Vandewalle, L., et al. "RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete", *Sigma-epsilon-design method - Final Recommendation. Materials and Structures* 36(262): pp 560-567, 2003.
- [9] Aveston, J., Cooper, G.A., and Kelly, A. "Single and multiple fracture, the properties of fiber composites". *Conference Proceedings of National Physical Laboratory, IPC, Science and Technology Press, Ltd.*, pp 14-24, 1971.

Experimental Evaluation of HPFRCC effect on behavior of coupled beams without diagonal and spiral reinforcement

Ali Kheyroddin¹, Mohammad Kazem Sharbatdar², Omid Hadizade³

- 1- Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University
- 2- Associate Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University, **corresponding Author**
- 3- Graduated M.Sc ,Structural, Civil Engineering faculty, Semnan University

msharbatdar@semnan.ac.ir

Abstract:

HPFRCC is the materials including cement mortar, aggregate, and fibers which represent strain hardening within tensile load. The HPFRCC can be used in numerous cases such as seismic rehabilitation of structural members. One of the structural members is the existed coupling beam in coupling shear walls which is applied as shear fuse. Using the materials in the members can enhance ductility and energy absorption and also delays failure. The one of the important research on HPFRCC material is experimental works conducted by Canbolat and his colleagues in Michigan University on coupling beams cast with fiber reinforced concrete based on composite mortar HPFRCC. The beams with length to depth ration equal 1 were tested under semi-static cyclic displacement controlled loading, the results indicated that the longitudinal re-bars were required for higher ductility and the transverse stirrups spirals can omitted. This paper investigates a study on the effect of existence of diagonal reinforcements and spirals of diagonal reinforcements of the coupling beam. For this purpose, three prototypes of coupling shear walls with coupling beam were designed by HPFRCC with length-to-depth ratio of 2 and 1/2 scales. The first prototype is considered as reference and we use concrete with reinforcement design based on ACI 318-08 code. The other prototypes are built by HPFRCC with PPS fibers. But in one of them the spiral of diagonal reinforcements and in the other both spirals and diagonal reinforcements are omitted. The several strain gauges were installed on longitudinal and diagonal and vertical bars to measure the strains during tests and particularly showing the displacement and load of yielding points of reinforcement. The 28-day compressive strength of cylinder specimens of plain and HPFRCC concrete were 43 and 54 MPa, respectively. The maximum size of aggregates was smaller than 4.75 millimeter in order to gain ductile mortar. The drift is the ratio of the tip displacement of the specimen to the beam length and the ductility is the ratio of ultimate displacement to the yielding displacement and finally the energy absorption is the area under load-displacement curve for each separate cycle. Results are indicating of appropriate effect of HPFRCC concrete in enhancing ductility and energy absorption capabilities and it can also reduce diagonal reinforcements. Comparing these prototypes, it is found the one in which spirals were omitted load capacity ,ductility factor ,energy absorption and failure displacement capabilities have been increased 15%, 36%, 69%, 35%. And the prototype in which diagonal reinforcements were omitted, has decreased load capacity down to 36% and ductility factor and failure displacement have been increased up to 13%, 35% and finally energy absorption has no changes. The stiffness slope of each specimen was calculated and results showed that the HPFRCC specimen with diagonal bars had more 8 percentage but the stiffness of HPFRCC specimen without diagonal bars was reduced up to 60% comparing to reference regular concrete specimen. Elastic experimental shear capacity of specimens was about 5 times of elastic Design code (ACI) shear capacity because the shear capacity calculated by ACI is conservatively only based of diagonal bar shear capacity.

Keywords: Coupling shear wall, Coupling beam, Ductility, High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites, HPFRCC