

بررسی تقویت خمشی دال‌های ضعیف بتنی با لایه‌های متفاوت کامپوزیت‌های الیافی توانمند (HPFRCC)

نگین خرم
کارشناس ارشد سازه، دانشگاه سمنان
محمد کاظم شریبتدار
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

چکیده

امروزه بسیاری از ساختمان‌های بتن آرمه در ایران و جهان، عمری بیش از چند دهه دارند و به دلایل زیادی آسیب دیده‌اند. با توجه به آنکه جایگزین کردن این ساختمان‌ها هزینه‌های فراوانی به دنبال داشته و توجیه اقتصادی و زیست محیطی ندارد و به علت نیاز روز افزون مهندسیین و متخصصین صنعت ساختمان به تقویت، ترمیم و به‌سازی سازه‌های بتنی روشهای مختلف و متعددی برای این موضوع مطرح گشته است. یکی از روش‌های مقاوم‌سازی می‌تواند روبرکرد استفاده از بتن‌های ویژه با توانمندی و عملکرد بالا باشد که از انواع این بتن‌ها می‌توان به HPFRCC اشاره کرد. اخیراً مطالعات آزمایشگاهی در مورد مقاوم‌سازی با HPFRCC روی تیرها، ستون‌ها، دال‌ها و سایر المان‌های سازه‌ای صورت گرفته و قدرت این بتن در مقاوم‌سازی تأیید شده است. ترکیب کامپوزیت مسلح شده با الیاف با عملکرد بالا (HPFRCC) ماده‌ای است با ترکیبی از خمیره‌ی سیمان و الیاف تقویتی کوتاه که تحت تنش کششی ترک‌های متعددی در آن ایجاد می‌شود و به علت مقاومت پیوستگی بالا از آن به عنوان ماده‌ی تعمیر استفاده شده است. با این حال عملکرد مکانیکی عضو RC تعمیر شده با HPFRCC هنوز به میزان کافی مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مقاله از لایه‌های HPFRCC در ضخامت‌های مختلف با بهره‌گیری از تکنیک وصله برای تقویت خمشی دال‌های ضعیف بتنی استفاده گردیده و با استفاده از روش المان محدود به بررسی عددی اثر مقاومتی لایه‌های HPFRCC بر این دال‌ها پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که تقویت خمشی دال‌ها با HPFRCC سبب بهبود عملکرد مکانیکی و همچنین بهبود شکل پذیری دال‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مقاوم‌سازی، دال‌های بتنی، لایه‌های HPFRCC، تقویت خمشی

۱- مقدمه

تقویت و مقاوم سازی ساختمان ها به عنوان راهکاری درست و مقرون به صرفه برای استفاده بهینه و حداکثری از آنها مطرح می گردد. با توجه به سابقه ساخت و ساز در کشور ما، بحث مقاوم سازی دارای جایگاه ویژه ای است. امروزه در کشور ما نیز کارهای جدی در این زمینه آغاز شده است. هدف از مقاوم سازی این است که با اندک نوسان شرایط، ساختمان و سازه آن به پایین تر از سطح وظیفه تنزل نکند و غیر قابل بهره برداری نگردد. در نتیجه، صحت نتایج و طرح مقاوم سازی دارای اهمیت فوق العاده ای می باشد. انتخاب روش مقاوم سازی روند پیچیده ای دارد و تحت تاثیر توام پیشرفت فناوری، شرایط اقتصادی و اجتماعی قرار دارد. یکی از روش های مقاوم سازی می تواند رویکرد استفاده از بتن های ویژه با توانمندی و عملکرد بالا باشد که از انواع این بتن ها می توان به HSPFRCC اشاره کرد. HSPFRCC ترکیبی است از خمیر سیمان و الیاف تقویتی کوتاه فلزی یا کامپوزیت. از مشخصه های بارز این مواد مقاومت کششی و فشاری بالا نسبت به بتن های معمولی می باشد و مشخصه بارز تر این مواد مقاومت کششی بالاتر این مواد حدود ۱۰ برابر بتن معمولی است این مواد به دلیل خواص جذب انرژی و سختی بالا و دوام بالا کاربرد های فراوانی دارند یکی از این کاربردها اخیراً استفاده از آنها برای مقاوم سازی می باشد.

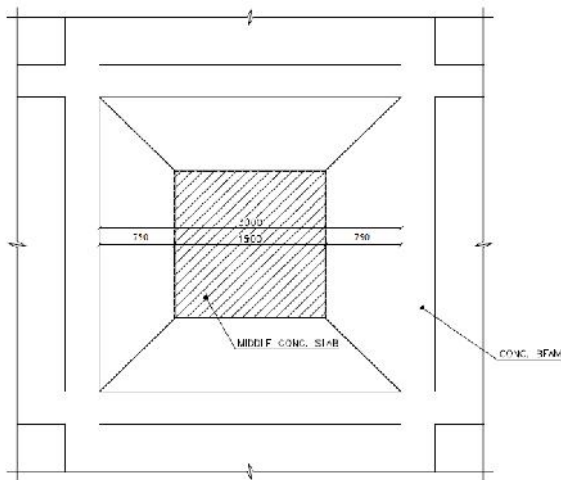
در دهه ۱۹۶۰، رامولدی و همکاران بررسی تاثیر الیاف فولادی بر کاهش شکنندگی بتن را در دستور کار قرار دادند [۱ و ۲]. این روند با کاربرد سایر انواع الیاف ادامه یافت و در سال های اخیر ترکیب انواع الیاف با طول های مختلف در دستور کار قرار گرفت. Lim Ym و همکارش [۱] در سال ۱۹۹۷ به این نتیجه رسیدند که بتن های الیافی به علت مقاومت پیوستگی بالا ماده ی مناسبی برای ترمیم می باشد. در اوایل دهه ی ۱۹۸۰، تولید یک مصالح بتن الیافی با رفتار کششی شکل پذیر مورد توجه قرار گرفت که شروع آن توسط اوستون و همکاران در سال ۱۹۷۱ بود [۴]. در سال ۱۹۸۹ کرنچل و استانگ با کاربرد مناسب الیاف به هم پیوسته به شکل پذیری کششی ۱۰۰ برابر نسبت به بتن معمولی دست یافتند [۵].

نامان و رینهارت در سال ۲۰۰۳ مصالحی را معرفی نمودند که جدا از FRC ها طبقه بندی می شدند و شامل یک بخش سخت شوندگی کرنش در منحنی تنش-کرنش کششی خود بودند و در رده مصالح توانمند HSPFRCC قرار گرفتند. بیشتر اعضای ساخته شده با این مصالح، شامل ملات سیمانی بدون درشت دانه هستند و به همین دلیل ملات یا خمیر سیمانی مسلح شده توسط الیاف نام گرفته اند [۶ تا ۸].

رفتار سخت شوندگی کرنش تحت کشش که با سایر کامپوزیت های سیمانی و بتنی متفاوت است، از HSPFRCC یک مصالح توانمند با قابلیت جذب انرژی بالا و قابلیت ترک خوردگی های زیاد قبل از شکست، ساخته است. از آنجایی که HSPFRCC یک مصالح نسبتاً جدید است، عمده ی پژوهش های انجام گرفته، بر روی شناخت ماهیت این مصالح، ترکیبات مختلف آن، نسبت های مختلف اختلاط مصالح، روابط حاکم بر منحنی تنش-کرنش، ابداع کامپوزیت های جدید و سایر موارد مشابه متمرکز بوده است. تحقیقاتی نیز بر روی کاربردهای عملی آن در سازه ها انجام گرفته است اما این مطالعات به اندازه تحقیقات مربوط به شناخت رفتار خود مصالح، گسترده نبوده و نیازمند انجام کارهای تحلیلی و آزمایشگاهی فراوان است که بر پایه ی روابط حاکم بر رفتار مصالح انجام می گیرد. در تعدادی از کتاب ها و مقالاتی که اخیراً منتشر شده است، پیشنهادهایی برای استفاده ترکیبی از بتن معمولی و HSPFRCC داده شده، اما کارهای عددی و آزمایشگاهی کمتری بر روی آنها انجام گرفته است. پیشنهاد مقدار استفاده بهینه از مصالح

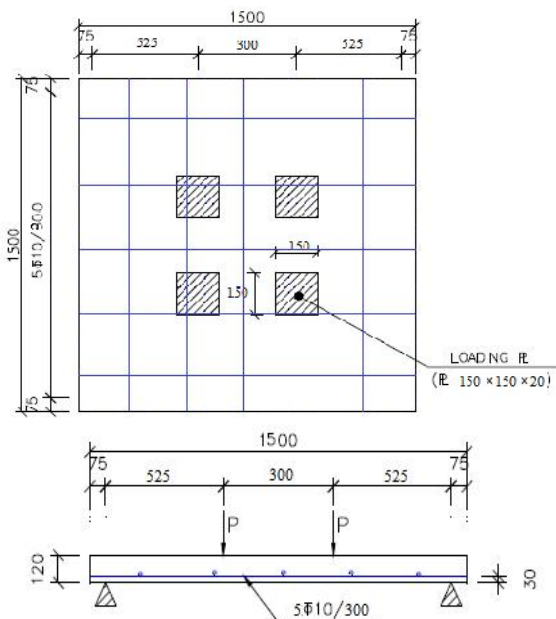
HSPFRCC در ترکیب با بتن معمولی، در قسمت هایی از سازه که تحت تنش های بالایی قرار دارند و شکست سازه بر روی آن بخش ها متمرکز است، ضروری به نظر می رسد و می بایست مورد بررسی قرار گیرد. سهامارام و همکارانش [۳] در سال ۲۰۰۸ با بررسی عملکرد تیرهای کامپوزیتی مسلح شده با فولاد در برابر خوردگی دریافتند که انتظار می رود بتوان از HSPFRCC به عنوان مصالحی برای تعمیر و یا پوشش سطحی جهت نگهداری پیشگیرانه از سازه هایی که در معرض تخریب هستند استفاده کرد. در این مقاله از لایه های HSPFRCC در ضخامت های مختلف با بهره گیری از فن وصله برای تقویت

مشخص کننده بخش میانی یک سیستم دال دو طرفه محدود به خطوط عطف می باشند (شکل ۱).



شکل ۱- بخش میانی سیستم دال دو طرفه محدود به خطوط عطف [۹]

دال دارای ۱۵۰۰ میلی متر طول و عرض و ۱۲۰ میلی متر ضخامت می باشد. لایه آرماتورهای کششی (نزدیک به سطح پایینی دال) از ۵ عدد میلگرد آجدار نمره ۱۰ به فواصل ۳۰۰ میلی متر در هر دو جهت تشکیل شده و جهت حصول به عمق مؤثر میانگین d ، برابر با ۸۰ میلی متر آرایش یافته است. نمایی از نمونه تیپ آزمایشگاهی دال میانی و جزئیات آرماتورگذاری آن در شکل (۲) نمایش داده شده است که نمونه ها جهت حصول مد گسیختگی خمشی خالص طراحی شده است.



شکل ۲- نمونه دال ساخته شده در آزمایشگاه [۹]

خمشی دال های ضعیف بتنی استفاده گردیده و با استفاده از روش المان محدود به بررسی عددی اثر مقاومتی لایه های HPCFRCC بر این تیرها پرداخته شده است.

این مقاله منحصراً روی رفتار خمشی دال های بتن مسلح و رفتار پیوستگی تسلیحات تقویت کننده آن متمرکز است و فرض می شود سایر مدهای گسیختگی مانند گسیختگی برشی در طراحی کنترل کننده نمی باشند.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

به منظور کالیبراسیون و صحت سنجی از نمونه های کنترلی که منحصراً از بتن معمولی ساخته شده است استفاده شد. دال موردنظر یک دال میانی است که توسط به زرد در آزمایشگاه سازه ی دانشگاه سمنان ساخته شد و تحت آزمایش خمش چهار نقطه ای قرار گرفت. نمونه دال میانی در چهار لبه روی تکیه گاه های ساده قرار گرفته و بارگذاری مونوتونیک به صورت متمرکز در چهار نقطه به دال وارد می شود [۹].

جهت شبیه سازی مقاومت بتن در ساختمان های موجود که در دهه های ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ با سیستم دال دو طرفه بتن مسلح ساخته شده اند، طرح اختلاط مورد استفاده جهت حصول مقاومت فشاری ۲۸ روزه 25 MPa طراحی شد. آرماتورهای فولادی از نوع آجدار رده AII با مقاومت تسلیم میانگین حاصل شده از آزمایش های کشش تک محوری برابر با 300 MPa در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات مصالح استفاده شده در آزمایش

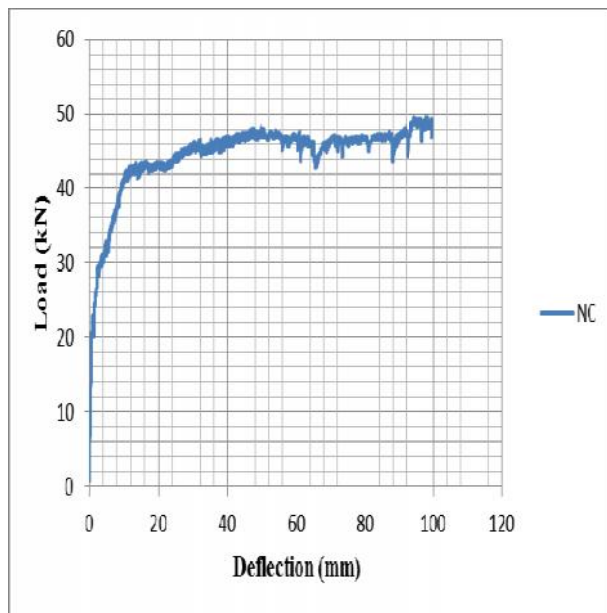
مشخصات مصالح	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	تنش تسلیم (MPa)
بتن	۲۵۰۰۰	۲۵	-
میلگرد فولادی	۲۰۰۰۰۰	-	۳۵۰

تعداد هفت نمونه دال دو طرفه میانی تمام مقیاس با پیکربندی هندسی و جزئیات آرماتورگذاری یکسان ساخته شد که نمونه ها

میلگردهای فولادی، بتن مسلح، FRP و کامپوزیت‌های سیمانی را دارا می‌باشد. برای مدل‌سازی بتن شیوه‌ها و گزینه‌های مختلفی در این نرم‌افزار موجود است که با عنایت به رفتار کششی ویژه‌ی کامپوزیت HPFRCC از گزینه‌ی Concrete Damage Plasticity استفاده می‌شود. در این گزینه امکان وارد نمودن نقاط مختلف منحنی تنش- کرنش بتن و کامپوزیت در کشش و فشار وجود دارد [۱۰].



شکل ۴- گسیختگی دال بتنی در لحظه‌ی نهایی بارگذاری

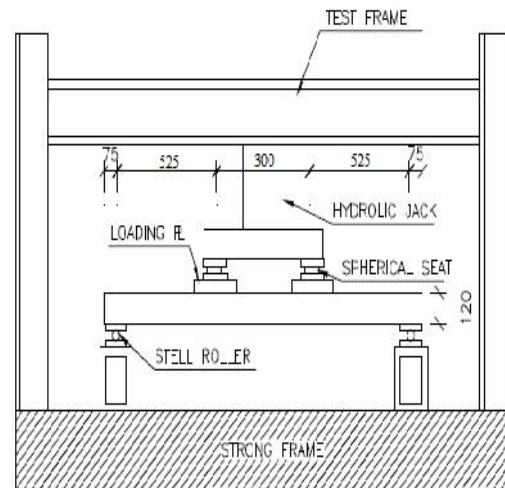


شکل ۵- نمودار بار-تغییر مکان دال میانی دوطرفه‌ی بتن معمولی

در این نرم‌افزار دو مکانیزم برای انهدام بتن پیش‌بینی شده است. مکانیزم اول، ترک خوردگی تحت کشش است و مکانیزم دوم، خردشدگی تحت فشار می‌باشد. در شکل (۶) منحنی تنش- کرنش بتن معمولی مورد استفاده در نرم‌افزار نشان داده شده است.

این نمونه کنترلی با استفاده از قوانین مربوط به 99-ACI 318 طراحی گردیده که شبیه ساز یک دال دو طرفه میانی بتن مسلح موجود و نیازمند به مقاوم سازی می باشد.

همانطور که در شکل ۳ دیده می شود نمونه ها تحت بارگذاری مونوتونیک به صورت متمرکز در ۴ نقطه (در یک سوم میانی دهانه به فاصله ۳۰۰ میلی متر از یکدیگر در هر دو جهت و به فاصله ۵۲۵ میلی متر از تکیه گاه) قرار گرفتند تا گسیخته شوند. بارگذاری از طریق پایه ستون فوقانی توسط یک جک هیدرولیکی قابل کنترل با حداکثر ظرفیت ۵۰۰ kN و حداکثر حرکت (جابجایی) ۱۵۰ mm به نمونه وارد شد.

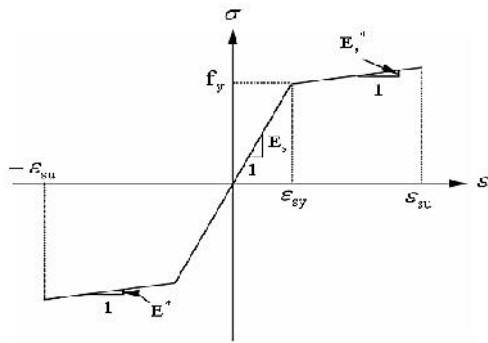


شکل ۳- برپایی آزمایش و جانمایی تجهیزات دال میانی تمام مقیاس [۹]

دال بتنی تحت بارگذاری افزاینده (مونوتونیک) قرار گرفت و تحت بار ۵۰ kN و تغییر مکان ۱۰۰ mm گسیخته شد (شکل ۴). پس از انجام آزمایش نمودار بار-تغییر مکان دال تحت آزمایش به صورت شکل (۵) به دست آمد.

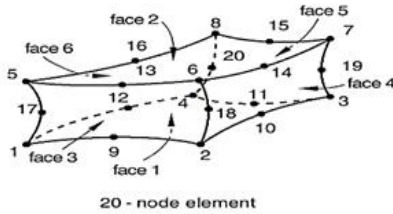
۳- مطالعات تحلیلی

در این مرحله با توجه به هزینه‌ی بالا و وقت گیر بودن کارهای آزمایشگاهی، کار تحلیلی بر روی این نمونه‌ها انجام گرفت که در ذیل می‌آید. برای انجام کار تحلیلی از نرم‌افزار ABAQUS استفاده شده است. این نرم‌افزار غیرخطی اجزای محدود با دارا بودن المان‌های متعدد، قابلیت مدل‌سازی بتن،



شکل ۸- منحنی تنش کرنش فولاد

برای مدل سازی بتن و کامپوزیت های سیمانی از المان مکعبی ۲۰ گرهی Solid که در شکل (۹) نیز نشان داده شده، استفاده می شود.



شکل ۹- المان مکعبی Solid ۲۰ گرهی

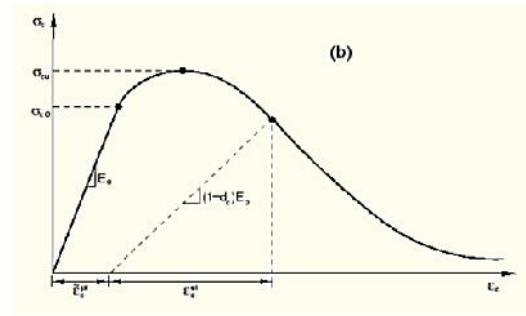
هر گره در این المان دارای ۶ درجه آزادی شامل ۳ درجه آزادی انتقالی و ۳ درجه آزادی دورانی است.



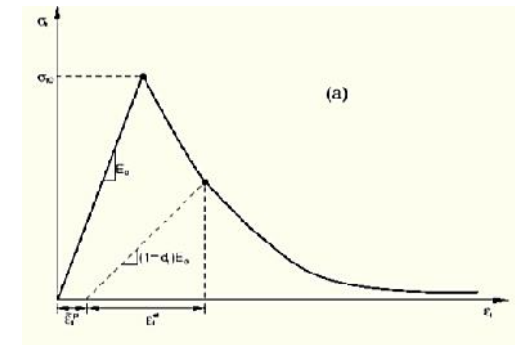
شکل ۱۰- المان دو بعدی Truss به عنوان آرماتورهای طولی و عرضی

برای مدل سازی میلگردهای فولادی، المان دو بعدی Truss که در شکل (۱۰) نشان داده شده، بکار می رود. این المان دو گرهی قابلیت مدل سازی رفتار غیرخطی فولاد را دارا می باشد.

الف) کالیبره کردن نتایج آزمایش و مدل سازی دال ها
در این بخش علاوه بر کالیبره کردن دال آزمایش مورد نظر که مشخصات وارد شده در نرم افزار در جدول ۲ و ۳ آورده شده است، فرض بر این است که لایه ی ضعیف کششی دال حذف شده و لایه هایی از بتن HPCFRCC به ضخامت های متفاوت به روش پاششی جایگزین آن خواهد شد. بدین منظور چند نمونه



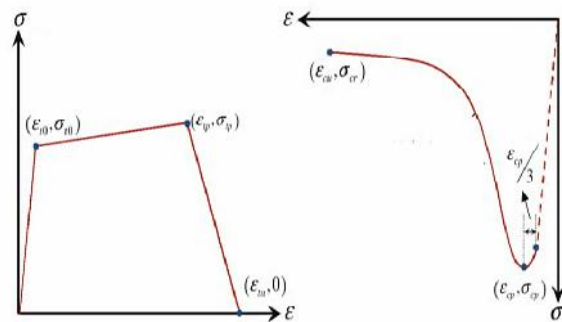
الف) تحت فشار



ب) تحت کشش

شکل ۶- منحنی تنش-کرنش بتن معمولی [۱۰]

از آنجا که در این مقاله مصالح HPCFRCC تحت بارگذاری افزایش یافته در یک جهت قرار داشته و بارگذاری رفت و برگشتی به آن اعمال نمی شود، منحنی های نشان داده شده در شکل (۷) در نرم افزار وارد می گردند. این منحنی ها که به عنوان منحنی پوش شناخته می شوند، از به هم پیوستن نقاط دارای تنش حداکثر در تاریخچه بارگذاری تشکیل می گردند.

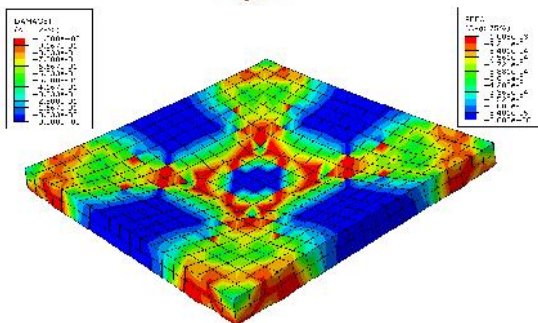
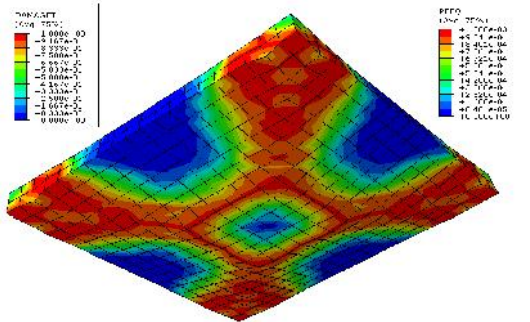


شکل ۷- منحنی تنش-کرنش HPCFRCC

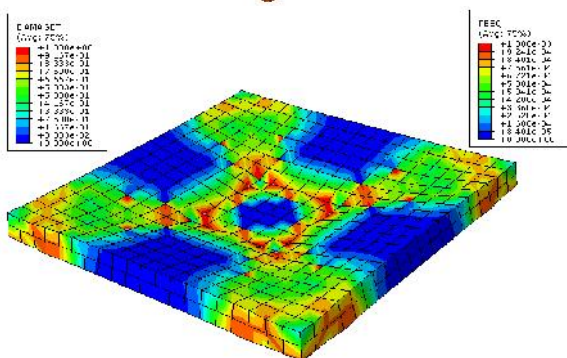
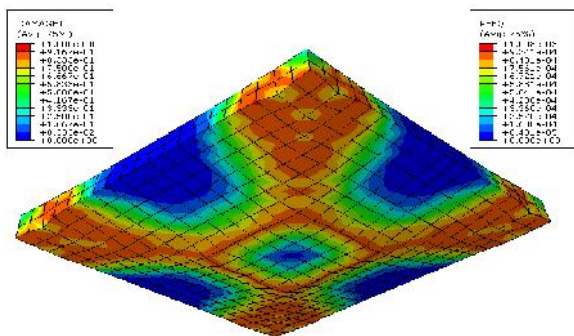
الف- فشار-ب- کشش [۱۱]

منحنی تنش-کرنش استفاده شده برای میلگردها نیز بصورت دوخطی مطابق شکل (۸) وارد می شود.

ب) نتایج مدل سازی و تحلیل در آباکوس
 اشکال ۱۱ تا ۱۵ آسیب های کششی ایجاد شده در دال های مورد
 آزمایش را نشان می دهند [۱۲].



شکل ۱۱- آسیب کششی ایجاد شده در دال بتن معمولی در
 لحظه نهایی بار گذاری



شکل ۱۲- آسیب کششی ایجاد شده در دال با وصله به ضخامت
 ۳۰ میلی متر (30-HP-F) در لحظه نهایی بار گذاری

دال تقویت شده جهت بررسی موقعیت و ضخامت های مختلف
 لایه ی وصله در نظر گرفته شد که در جدول ۴ آورده شده است.
 جهت ایجاد چسبندگی مناسب بین دو لایه سطح بتن بالایی
 خراش داده شده و مضرس می شود [۱۲]. این نمونه ها با تعبیه
 وصله ی HPFRCC در لایه ی کششی دال به ضخامت ۳۰
 میلیمتر ، ۴۰ میلیمتر و ۶۰ میلیمتر و یک نمونه هم به منظور
 مقایسه ی نتایج به طور کامل از HPFRCC ساخته شد [۱۳].

جدول ۲- مشخصات بتن و HPFRCC مورد استفاده در

مدل های تحلیلی

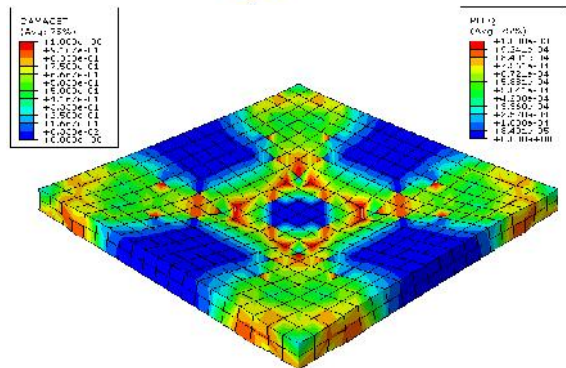
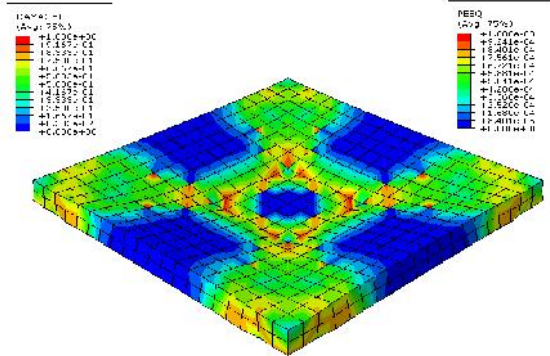
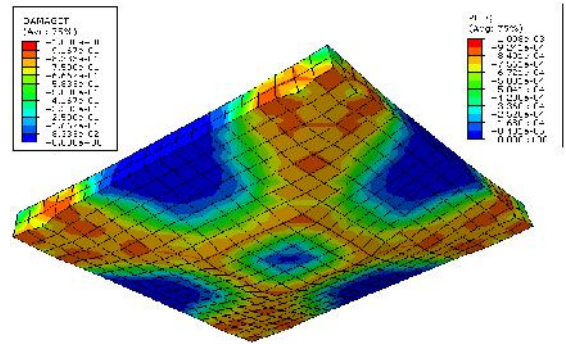
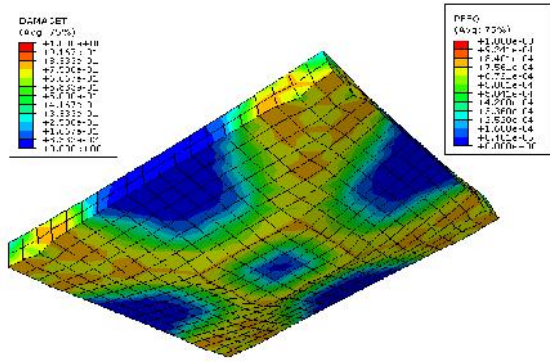
مصلح	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ضریب پواسون
بتن	۲۵۰۰۰	۲۵	-	۰/۲
HPFRCC	۲۵۰۰۰	۲۴	۳/۵	۰/۲

جدول ۳- مشخصات فولاد مورد استفاده در مدل های تحلیلی

مصلح	E_s (MPa)	ν_y	ν_u	f_y (MPa)
فولاد	۲۰۰۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۳۵۰

جدول ۴- نمونه های ساخته شده در نرم افزار

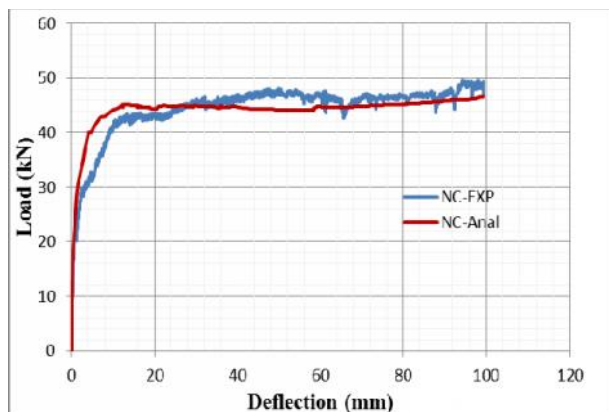
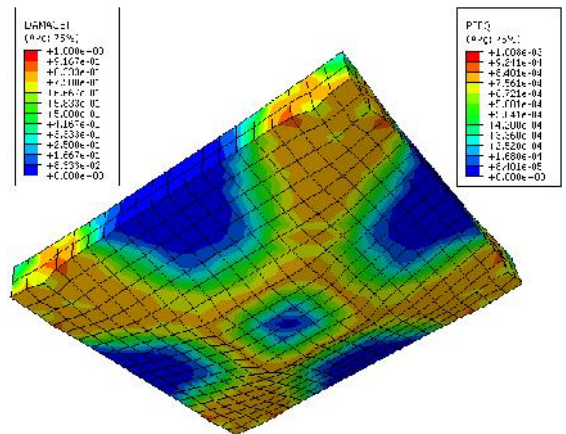
نمونه ها	وصله ی HPFRCC	ضخامت لایه ی HPFRCC
NC-F	-	-
30-HP-F	دارد	۳۰ میلی متر
40-HP-F	دارد	۴۰ میلی متر
60-HP-F	دارد	۶۰ میلی متر
HPF-F	دارد	۱۲۰ میلی متر



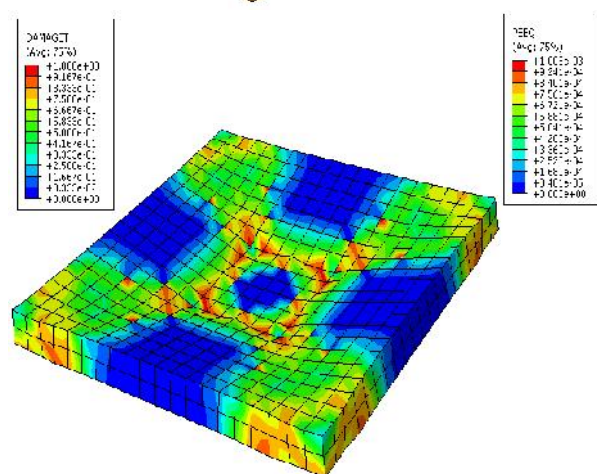
شکل ۱۵- آسیب کششی ایجاد شده در دال با HPFRCC کامل

شکل ۱۳- آسیب کششی ایجاد شده در دال با وصله به ضخامت ۴۰ میلیمتر (40-HP-F) در لحظه نهایی بارگذاری

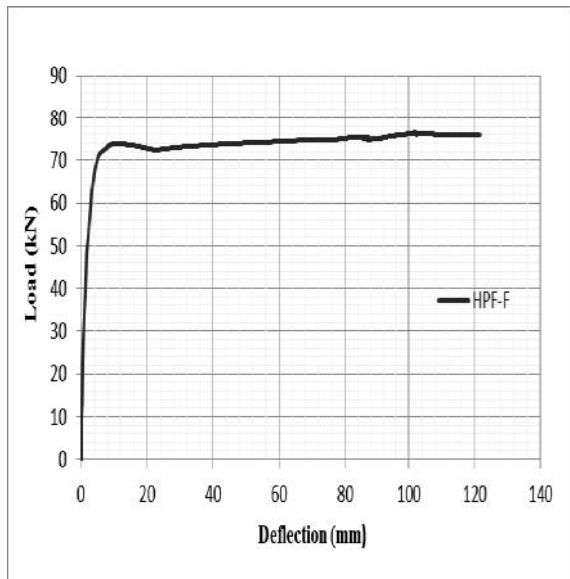
همانطور که دیده می شود آسیب های کششی در نمونه های با وصله HPFRCC برخلاف نمونه ی بتن معمولی به صورت موضعی و تخریب کننده نیست بلکه به صورت انتشار در کل دال و با شدت بسیار کمتری می باشد و با افزایش ضخامت لایه ی وصله ی HPFRCC این موضوع مشهودتر می شود. که این می تواند بیانگر توزیع ترک های بیشتر با عمق نفوذ کمتر در لایه ی HPFRCC باشد.



شکل ۱۶- مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان قائم آزمایشگاهی و تحلیلی دال NC (بتن معمولی)

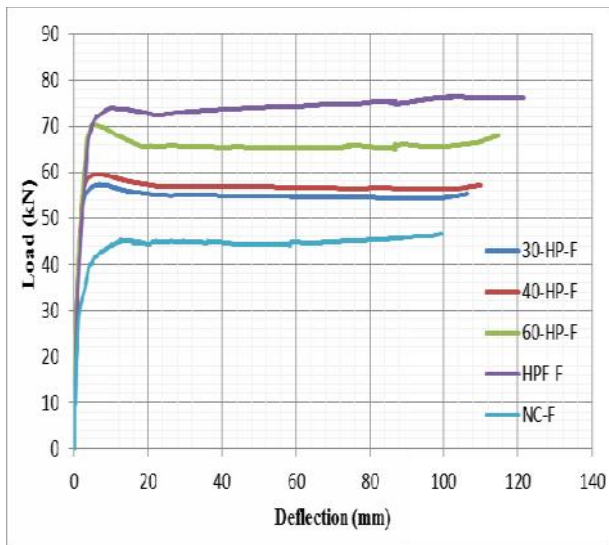


شکل ۱۴- آسیب کششی ایجاد شده در دال با وصله به ضخامت ۶۰ میلیمتر (60-HP-F) در لحظه نهایی بارگذاری



شکل ۲۰- منحنی نیرو- تغییر مکان تحلیلی دال با HPFRCC کامل

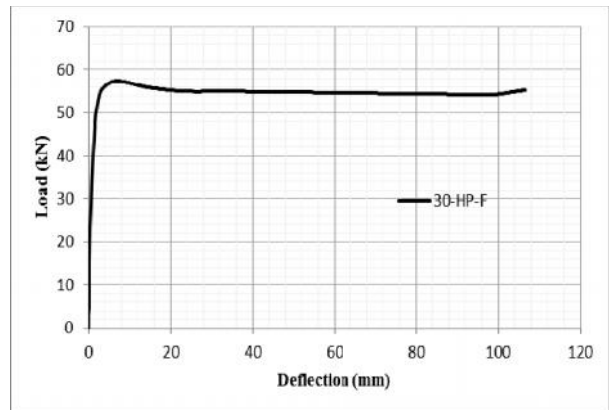
در شکل (۲۱) مقایسه ای بین نمودارهای دال با ضخامت های مختلف وصله ارائه گردیده است.



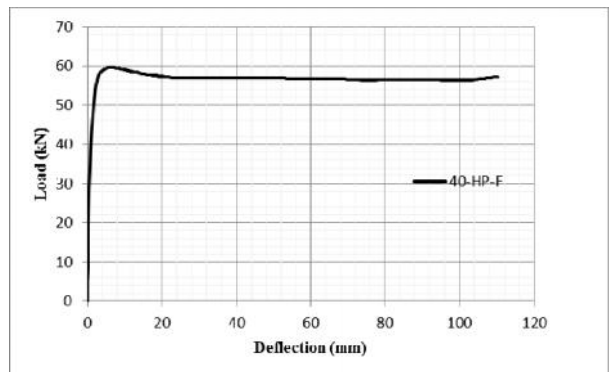
شکل ۲۱- مقایسه نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه ها

همانطور که از نمودارها پیداست با افزایش ضخامت لایه ی وصله عملکرد مکانیکی دال بهبود می یابد و دال در تغییر شکل و بار بیشتر به مرحله ی انهدام می رسد که در جدول ۵ میزان تغییر شکل ها و بارهای نمونه ها در لحظه ی انهدام آورده شده است.

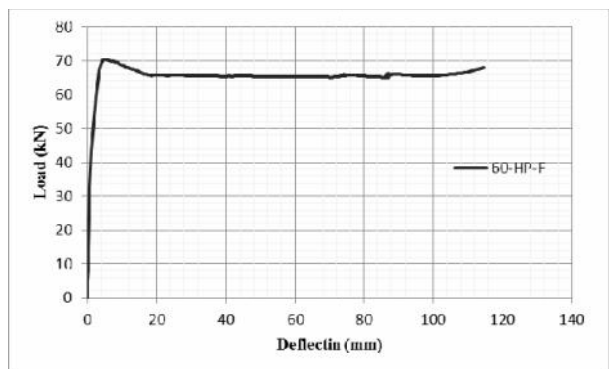
در شکل (۱۶) مقایسه ی بین منحنی بار-تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیلی نشان داده شده است و اشکال نشان داده شده در اشکال ۱۷ تا ۲۰ مربوط به نمونه های آزمایش تحلیلی در آباکوس می باشند. معیار شکست نهایی در مدل های تحلیل بر مبنای کرنش نهایی بتن در فشار یعنی $\epsilon_c = 0.0035$ و در کشش نیز $\epsilon_t = 0.001$ می باشد، بدین صورت که به محض رسیدن به کرنش های مذکور اعمال نیرو متوقف گردید [۱۲] .



شکل ۱۷- منحنی نیرو- تغییر مکان تحلیلی دال با لایه وصله به ضخامت ۳۰ میلی متر



شکل ۱۸- منحنی نیرو- تغییر مکان تحلیلی دال با لایه وصله به ضخامت ۴۰ میلی متر



شکل ۱۹- منحنی نیرو- تغییر مکان تحلیلی دال با لایه وصله به ضخامت ۶۰ میلی متر

جدول ۵- مقایسه ی تغییر شکل ها و بارهای وارد بر نمونه ها

نام مدل	P_u (kN)	Δ_u (mm)	درصد افزایش بار (%)	درصد افزایش تغییر مکان (%)
NC-F	۴۸/۲	۹۹/۸۳	-	-
30-HP-F	۵۵/۲۷	۱۰۶/۵۲	۱۴/۶۶	۶/۷۰
40-HP-F	۵۷/۲۳	۱۱۰/۱۶	۱۸/۷۳	۱۰/۳۴
60-HP-F	۶۷/۹۶	۱۱۴/۷۷	۴۰/۹۹	۱۴/۹۵
HPF-F	۷۶/۱۱	۱۲۱/۷۳	۵۷/۹۰	۲۱/۹۳

بلکه به صورت انتشار در کل دال و با شدت بسیار کمتری می باشد که این پدیده نیز بیانگر توزیع ترک های ریزتر و پراکنده تر با عمق نفوذ کمتر در بتن HPRCC می باشد.

- مقاوم سازی نمونه دال ها با وصله ی HPRCC با توجه به میزان ضخامت وصله، میزان تغییر مکان نهایی را ۶/۷۰ تا ۱۴/۹۵ درصد نسبت به دال بتن معمولی و میزان تحمل بار نهایی را ۱۴/۶۶ تا ۴۰/۹۹ درصد افزایش می دهد.

- دال های HPRCC دارای نیروی حداکثر و تغییر مکان حداکثری بیشتر از دال های بتنی مشابه خود می باشند که دلیل این موضوع آن است که وجود الیاف سبب می شود کامپوزیت HPRCC تحت بارهای شدید یکپارچگی خود را حفظ نماید و به سرعت متلاشی نگردد.

۵-مراجع

- [1]. Lim YM, Li VC. Durable repair of aged infrastructures using trapping mechanism of engineered cementitious composites. Cem Concr Compos. 1997.
- [2]. Sahmaran M, Li M, Li VC. Transport properties of engineered cementitious composites under chloride exposure. ACI Mater;104(6). J 2007.
- [۳]. خرم، ن، قلهکی، م، بررسی عددی عملکرد مکانیکی اعضای بتن مسلح خورده شده و تعمیر شده توسط وصله HPRCC و مقایسه با کار آزمایشگاهی. اولین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران. ۱۳۹۱.
- [4]. Koyanagi W, Rokugo K, Iwase H. The stress-strain relationship of reinforcing bars in concrete and mechanical behavior of RC beams in flexure. JSCE J Mater, Concr Struct Pavements;384/V-7:83-92 [in Japanese]. 1987.
- [5]. Koichi Kobayashi & Keitetsu Rokug Department of Civil Engineering, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu 501-1193, Japan
- [6]. Naaman A.E. "SIFCON: Tailored properties for structural performance". In High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, H.W. Reinhardt and A.E. Naaman, eds., 18-38. 1992.
- [7]. Alwan J., and Naaman, A.E., "New formulation for the elastic modulus of fiber reinforced quasi brittle matrices". ASCE Journal of Engineering Mechanics, 120 (11), 2443-2460. 1994.

۴- نتیجه گیری

با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی نمونه های مرجع و انجام تحلیل های عددی مقاوم سازی دال های خمشی ضعیف با لایه های HPRCC، نتایج ذیل حاصل می گردد:

- در همه نمونه ها بخش خطی اولیه همان گونه که انتظار می رود، رفتار بسیار نزدیک به هم داشته و اختلاف آنها بسیار اندک می باشد.

- اگرچه لایه ی وصله عملکرد مکانیکی را نسبت به دال بتن معمولی بهبود بخشیده است ولی تغییر در ضخامت های کم این لایه در حد چند میلی متر در بهبود عملکرد تاثیر داشته است.

- در ضخامت های بالاتر وصله شکل پذیری و عملکرد مکانیکی دال بهبود بیشتری نشان می دهد.

- مقایسه ی بین نمونه ها بیانگر این است که بتن با لایه ی HPRCC رفتار نرم تری نشان می دهد که این می تواند به علت وجود الیاف و پل زدن آن ها باشد و این خاصیت موجب می شود که به جای ایجاد ترک های عمیق با نفوذ زیاد ترک های ریزتر و به صورت پراکنده با عمق کم ایجاد شود و این پدیده به توزیع بهتر ترک ها کمک می کند.

- آسیب های کششی در نمونه های با وصله HPRCC برخلاف نمونه ی بتن معمولی به صورت موضعی و تخریب کننده نیست

- [۱۱]. همتی ع. بررسی رفتار خمشی تیرها و قاب های بتن مسلح کامپوزیتی الیافی توانمند. پایان نامه دکتری دانشگاه سمنان ۱۳۹۲
- [12]. Skazlic M., Utilization of high performance fiber-reinforced micro-concrete as a repair material, Materials Department, Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Croatia Civil Engineering. 2009.
- [۱۳]. خرم ن. بررسی عددی مقاوم سازی تیرها و دال های بتنی با استفاده از بتن الیافی توانمند تحت اثر بارهای استاتیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سمنان ۱۳۹۲.
- [8]. Balaguru P., and Shah, S.P., 1992. "Fiber reinforced cement composites". McGraw Hill, New York.
- [۹]. به زرد پ، مقاوم سازی دال های دوطرفه با استفاده از الیاف مسلح پلیمری به روش نزدیک سطح (NSM)، پایان نامه دکتری تخصصی، مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه سمنان، ایران. (۱۳۹۴).
- [10]. Help of ABAQUS. 2008. "Getting started with ABAQUS".

Flexural Strength Study The Deficient RC Slabs Strengthened with HPFRCC Different Layers

Negin Khorram*

MSc Student, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran,
Mohammad Kazem Sharbatdar

Assistant Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran,

Abstract

Many reinforced concrete buildings in the world and Iran, have a life of over several decades. And many reasons have been damaged. According to the Replacing these buildings will lead to high costs and is no economic and Environmental feasibility and Due to the need Increasing engineers and construction industry Professionals to strengthen, repair and rehabilitation of concrete structures, Several different methods have been proposed for this issue. One method of strengthening is the approach of using a special concrete With high capabilities. one of these concretes is HPFRCC. Experimental Studies have been carried lately about strengthening with HPFRCC on beams, Columns, slabs and other Structural elements and the strength of this concrete Has been confirmed in strengthening. High performance fiber reinforced cement composite (HPFRCC) is a material that is composed of a cement-based matrix and short composite and steel fibers. that Indicate multiple cracking under tensile stress and because of high bonding strength, HPFRCC used as a repair material. However, the mechanical performance of a RC member repaired with HPFRCC has yet been investigated sufficiently. In this paper, is used layers of HPFRCC (HPFR CC patching)in different thickness for deficient RC slabs Flexural Strengthened and numerical Study HPFRCC layers on this slabs with Finite Element.

Keywords: strengthening- concrete slabs- HPFRCC layers- Flexural strength.

* Corresponding author: n_khorram2002@yahoo.com