



کد مقاله: ۱-۱۳۹

آنالیز اجزا محدود نشیمن گاه بتن مسلح تقویت شده با ورقه های پلیمری کربن (CFRP)

امیر رأفتی^۱، سید وحید رضوی طوسی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، amirrafati911@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

چکیده

در سالیان اخیر استفاده از کامپوزیت های CFRP به لحاظ خصوصیت ارزشمند آن ها از جمله مقاومت و دوام بالا در برابر شرایط محیطی^۱ وزن کم و نصب آسان^۲ در مقاوم سازی اجزای سازه های بتنی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نشیمن گاه های بتنی (براکت) نیز همچون سایر قسمت های سازه های بتنی اگر به درستی محاسبه و اجرا نشوند^۳ نیاز به مقاوم سازی دارند. استفاده از CFRP یکی از روش های مقاوم سازی برای این نوع اتصالات می باشد. در این پژوهش از پنج نوع آرایش متفاوت ورقه های CFRP در تقویت نشیمن گاه بتنی استفاده شده است. آنالیز به روش المان محدود و در نرم افزار آباکوس به روش آنالیز دینامیکی غیر خطی انجام شده است. با مقایسه نتایج آنالیز مدل های مذکور با مدل نشیمن گاه تقویت نشده مشاهده گردیده است که ظرفیت باربری مدل های تقویت شده با CFRP^۴ نسبت به مدل اولیه (بدون CFRP) افزایش یافته است. این افزایش بار برای مدل های C1 و C2 و C3 و C4 و C5 به ترتیب برابر با ۲۳،۱۲٪، ۲۲،۸۲٪، ۲۵،۵۲٪، ۱۶،۵۱٪، ۱۹،۲۱٪ بدست آمده است.

کلمات کلیدی: نشیمن گاه بتنی، ظرفیت باربری، المان محدود، CFRP، آباکوس

۱- مقدمه

نشیمن های بتن مسلح قسمت های برجسته ای از ستون های بتنی هستند که در سازه های بتنی پیش ساخته برای نگهداری تیرها بکار می روند و به دو صورت براکت (دستک) و کربل (شانه) وجود دارند. نشیمن گاه های بتنی همانند سایر اجزای سازه های بتنی اگر به درستی طراحی و اجرا شوند، باعث عملکرد مناسب سازه بتنی در مقابل بارهای ثقلی و جانبی خواهند شد اما به دلایلی همچون مشکلات اجرایی و محاسباتی، کافی نبودن تعداد میلگردها، مرغوب نبودن مصالح مورد استفاده، اجرای نامناسب بتن ریزی و غیره این نشیمن گاه های بتنی دچار آسیب و تخریب می شوند.

حالات مختلف شکست در یک نشیمن گاه بتنی عبارتند از: شکست برشی در بر ستون، جاری شدن میلگردهای کششی اصلی، شکست فشاری در ناحیه بین ترک و لبه خارجی نشیمن، شکست موضعی در انتهای آزاد. با تقویت و مقاوم سازی نشیمن گاه های بتنی در مقابل عواملی که بیان شد می توان از آسیب دیدگی و تخریب سازه بتنی جلوگیری کرد و همچنین باعث شکل پذیری و مقاوم بودن سازه در برابر بارهای جانبی و ثقلی شد. یکی از روش های تقویت و مقاوم سازی نشیمن گاه های بتنی استفاده از کامپوزیت های پلیمری می باشد.

در بین کامپوزیت های پلیمری، کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف کربن (CFRP) به دلایلی همچون وزن سبک، نسبت استحکام به وزن بالا، نسبت مدول کشسانی به وزن خیلی بالا، استحکام بالا در برابر خستگی، مقاومت خوب در برابر خوردگی، هدایت الکتریکی پایین، نسبت به سایر الیاف برای تقویت و مقاوم سازی مناسب تر هستند [1].

استفاده از کامپوزیت های پلیمری با الیاف کربن (CFRP) جهت تقویت سازه های بتنی توسط ابویایلز ۱۹۹۷ و نوریس ۱۹۸۹ برای تقویت سازه های بتنی پیشنهاد گردید [3] و [2]. در سال ۲۰۰۵ رابرت دابلیو کوری به همراه چارلز دابلیو دولان به مطالعه تقویت این نشیمن گاه های بتنی با ورق های CFRP در آزمایشگاه پرداختند و توانستند ظرفیت برشی و خمشی کربل را بین ۵۰ تا ۷۵ درصد افزایش دهند [4]. عبدالرحمن و همکاران ۲۰۰۱ به بررسی رفتار پراکت های بتن مسلح، تقویت شده با الیاف کربن پرداختند و نتایج آن ها نشان داد که میزان سختی مدل های تقویت شده با CFRP نسبت به مدل تقویت نشده افزایش یافته است [5]. در سال ۲۰۰۹ محمد الجواد، محمد ربیع و محمد مصطفی از دانشگاه قاهره تحقیقات آزمایشگاهی در مورد تقویت کربل ها با CFRP، بدون برداشتن بار از روی کربل انجام دادند. این محققان با تنظیمات مختلف CFRP بر روی کربل به صورت آزمایشگاهی نشان دادند که ورقه های CFRP باعث افزایش باربری کربل ها می شوند. این افزایش باربری در محدوده بار نهایی بین ۸ تا ۷۰ درصد در مقایسه با نمونه کنترل (نمونه ای که در آن از CFRP استفاده نشده است) می باشد [6]. در سال ۲۰۱۱ سوکت اوزدن و هیلال میدانلی آتالای به مطالعه بر روی تعداد لایه های CFRP و جهت گیری الیاف کربن برای تقویت کربل های بتنی پرداختند و به افزایش مقاومت و باربری ۷۳ درصد رسیدند [7]. در سال ۲۰۱۲ لو ون یائو به کمک همکاران با استفاده از ورقه های CFRP به صورت موازی بر روی کربل توانستند میزان افزایش ظرفیت برشی کربل را بین ۵۰ تا ۸۰ درصد افزایش دهند [8].

هدف از این تحقیق بررسی نمودار بار- تغییر شکل نشیمن های تقویت شده در حالت های مختلف استفاده از CFRP و بدون استفاده از CFRP و مقایسه آن ها با یکدیگر می باشد. برای این منظور از نرم افزار المان محدود آباکوس استفاده می شود. خروجی های بدست آمده از نرم افزار آباکوس با نتایج آزمایشگاهی عبدالرحمن و همکاران صحت سنجی می شود.

۲- انتخاب خصوصیات مصالح در نرم افزار

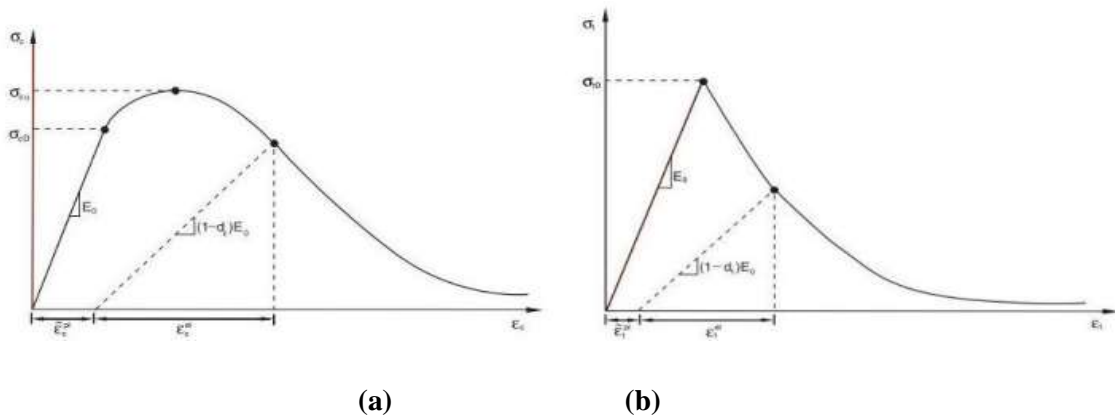
برای مدل سازی در نرم افزار آباکوس باید مدل های رفتاری مناسبی برای مصالح در نظر گرفت. انتخاب مدل های رفتاری تاثیر بسیار زیادی در جواب ها دارد و باید شرایط را به گونه ای در نظر گرفت تا مدل به واقعیت نزدیک و نزدیک تر شود. فرضیات مربوط به مصالح مصرفی در نرم افزار آباکوس به صورت زیر تعریف می شود.

۲-۱- معرفی بتن

بتن بنا بر طبیعتش ماده ای با رفتار پیچیده است و حتی در سطوح تنش پایین هم رفتار کاملاً غیر خطی دارد. دلایل اصلی پاسخ غیر خطی بتن را علاوه بر غیر خطی بودن خود ماده می توان در اثرات محیطی، ترک خوردگی، سخت شدگی دو محوره و نرم شدن کرنش ها خلاصه نمود. از میان تئوری هایی که برای رفتار بتن ارائه شده اند، دو تئوری پلاستیسیته و مکانیسم خرابی بیشترین تطابق را با رفتار واقعی بتن دارند. هر کدام از این دو تئوری، رفتار بتن مسلح را در بسیاری موارد به خوبی پیش بینی می کنند ولی در بعضی محدوده ها دقتشان کاهش می یابد. به نظر می رسد کامل ترین مدل برای شبیه سازی رفتار بتن، مدلی باشد که پلاستیسیته و خرابی را ترکیب نماید. چنین مدلی را محققان بر اساس مدل های موجود بدست آورده اند، که در واقع رفتار ایزوتروپیک خرابی الاستیک را با مفهوم رفتار ایزوتروپیک پلاستیک در فشار و کشش ترکیب نموده

است. نرم افزار آباکوس نیز از چنین مدلی برای شبیه سازی رفتار بتن بهره می گیرد. در مدل Concrete Damaged Plasticity (CDP) این نرم افزار برای بتن، رفتار پلاستیک (در کشش و فشار) تعریف شده است که می توان با وارد نمودن پارامترهای مناسب، مکانیک خرابی دلخواه برای کشش و فشار را نیز به آن افزود [1] و [9].

برای معرفی رفتار کامل بتن باید علاوه بر پارامترهای الاستیک (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) با مدل CDP، مقادیر عددی پنج پارامتر پلاستیک و پارامترهای اختصاصی معرف رفتار بتن در کشش و فشار به نرم افزار آباکوس داده شوند. اولین پارامتری که در معرفی خواص پلاستیک بتن معرفی می گردد زاویه اتساع است. زاویه اتساع داخلی، نسبت کرنش حجمی به کرنش برشی مصالح می باشد. زاویه اتساع داخلی که برای بتن معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ درجه فرض می شود، بر روی شکل پذیری مصالح و در نتایج شکل پذیری کل مدل تاثیر قابل توجه دارد و با افزایش این زاویه مقدار شکل پذیری نیز افزایش می یابد. در این تحقیق مقدار این زاویه برابر با ۲۵ درجه در نظر گرفته شده است [10]. دومین پارامتر پلاستیسیتیه تعریف CDP در نرم افزار، خروج از محوریت می باشد. خروج از محوریت سرعت نزدیک شدن تابع پتانسیل پلاستیک به مجانبش را به دست می دهد و هر چه مقدار آن بیشتر باشد انحنا در پتانسیل های کم، بیشتر می گردد. مقدار این پارامتر به عنوان پیش فرض در نرم افزار ۰,۱ در نظر گرفته شده است. سومین پارامتر در مدل CDP پارامتر f_{bo}/f_{bc} یعنی نسبت تنش تسلیم دو جهته به تنش تسلیم یک جهته فشاری است که در آزمایش ها معمولاً بین ۱,۱ تا ۱,۱۶ به دست می آید [10]. مقدار پیش فرض این پارامتر بدون بعد در نرم افزار آباکوس ۱,۱۶ است که در این تحقیق نیز همین ملاک عمل قرار گرفته است. چهارمین پارامتر در تعریف بخش پلاستیسیتیه مدل CDP پارامتر K می باشد که شکل سطح تسلیم را مشخص می سازد و می تواند مقداری بین ۰,۵ تا ۱ داشته باشد. مقدار K در نرم افزار آباکوس ۰,۶۶۷ تعیین شده است که بنا بر اتفاق نظر مراجع موجود برای مدل سازی بتن مناسب خواهد بود [11]. آخرین پارامتر مدل CDP در قسمت پارامترهای پلاستیسیتیه، پارامتر ویسکوزیته (μ) است، که زمان آسودگی سیستم ویسکو پلاستیک را نشان می دهد. بعضی از مشکلات همگرایی را می توان با استاندارد سازی و تنظیم ویسکو پلاستیک معادلات رفع نمود و بدین وسیله اجازه داد تنش ها از سطح تسلیم خارج شوند. در این تحقیق مقدار پارامتر مدول الاستیسیته برابر ۲۳,۴۹ گیگا پاسکال و مقدار ضریب پواسون برابر ۰,۲ در نظر گرفته شده است. در این تحقیق از جدول شماره ۱ که بر اساس مدل رفتاری ماندرو پارک برای بتن محصور استخراج گردیده، برای معرفی رفتار بتن در فاز فشاری، و از جدول شماره ۲ برای معرفی رفتار بتن در فاز کششی استفاده شده است [12]. برای نشان دادن گسترش سطح خرابی باید مقادیر عددی دو متغیر کرنش پلاستیک معادل بتن در فشار (ϵ_{cpl}) و کرنش پلاستیک معادل بتن در کشش (ϵ_{ctr}) را معرفی نمود. همانطور که در شکل ۱ دیده می شود می توان با داشتن مقادیر تنش و کرنش فشاری یا کششی بتن، پارامترهای خرابی و مدول الاستیسیته الاستیک بتن، کرنش های پلاستیک معادل را بدست آورد.



(a)

(b)

شکل ۱: کرنش پلاستیک و کرنش غیر الاستیک در منحنی پاسخ بتن به بار تک محوره (a) فشاری، (b) کششی

در جدول ۱ و ۲ مقادیر عددی پارامترهای مشخص کننده رفتار فشاری و کششی بتن CDP مشاهده می شود.

جدول ۱: رفتار فشاری بتن برای مدل سازی در نرم افزار آباکوس

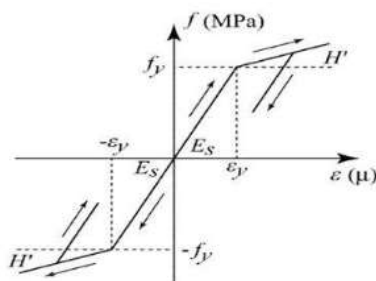
۳۵.۰۸	۳۴.۲	۳۳.۴	۳۲.۵۵	۳۱.۷	۲۹.۰۹	۲۶.۴۱	۲۳.۶۶	۲۱.۷۷	۱۸.۸۴	۱۵.۷۷	۱۳.۶۳	تنش تسلای م (مگا پاسکال)	رفتار فشاری
۳.۶۶	۳.۴۹	۳.۳۵	۳.۱۷	۳	۲.۵۱	۲.۰۳	۱.۵۴	۱.۲۳	۰.۷۵	۰.۲۸	۰	کرنش غیر الاستیک (میلی متر)	

جدول ۲: رفتار کششی بتن برای مدل سازی در نرم افزار آباکوس

رفتار کششی	
تنش تسلای م (مگا پاسکال)	کرنش ترک خوردگی (میلی متر)
۳.۴	۰
۰.۰۳۴	۰.۰۰۱

۲-۲- معرفی فولاد

برای بسیاری از مقاصد طراحی و تحقیقاتی در بتن مسلح رفتار فولاد را ایده آل سازی می کنند و همچنین رفتار کششی و فشاری این ماده را یکسان فرض می نمایند بدون اینکه تاثیر خاصی در نتایج حاصل گردد. در این تحقیق نیز برای کاهش زمان آنالیز و جلوگیری از مشکلات عدم همگرایی مدل های الاستیک- کاملاً پلاستیک، از منحنی ایده آل دو خطی برای مدل سازی استفاده شده است. منحنی رفتار مصالح فولادی (آرماتورها) به صورت دو خطی و با شیب ۰,۰۱ مدول الاستیسیته در ناحیه سخت شوندگی همانند شکل ۲ فرض شده است. در این تحقیق مقدار جرم حجمی برای مصالح فولاد برابر با ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مدول الاستیسیته برابر با ۲۰۰ گیگا پاسکال، ضریب پواسون برابر با ۰,۳ و تنش تسلیم برابر با ۳۶۰ مگا پاسکال در نظر گرفته شده است.



شکل ۲: منحنی دو خطی رفتار مصالح فولادی

۳-۲- معرفی CFRP

خواص مکانیکی CFRP در جهات مختلف متفاوت می باشد و الیاف کربن به صورت چند لایه و همراه با رزین اپوکسی تشکیل یک ورق CFRP را می دهند. از آنجا که CFRP مصالح ترد محسوب می شود، نیازی به تعریف Damage Evolution نمی باشد و فقط برای آن Hashin Damage تعریف می نماییم. خصوصیات ورق های کامپوزیتی پلیمری تقویت شده با الیاف کربن (CFRP) را با توجه به مشخصات استخراج شده از نمونه های آزمایشگاهی به نرم افزار آباکوس معرفی می کنیم. مشخصات مکانیکی و مقاومتی ورق های CFRP به شرح جدول ۴ و ۳ می باشد.

جدول ۳: مشخصات مقاومتی ورق های CFRP

مقاومت کششی طولی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری طولی (مگاپاسکال)	مقاومت کششی عرضی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری عرضی (مگاپاسکال)	مقاومت برشی طولی (مگاپاسکال)	مقاومت برشی عرضی (مگاپاسکال)
۳۱۰۰	۲۳۰۰	۳۱۰۰	۲۳۰۰	۳	۳

جدول ۴: مشخصات مکانیکی ورق های CFRP

P(kg/m ³)	E1(Mpa)	E2(Mpa)	Nu12	G12(Mpa)	G13(Mpa)	G23(Mpa)
۱۸۰۰	۱۶۵۰۰۰	۸۲۵۰۰	۰٫۳	۱۰۱۹	۲۰۳۸	۲۰۳۸

۳- مدل سازی در آباکوس

۳-۱- اندر کنش بین مصالح

از آنجاییکه در مدل سازی دارای مصالح متفاوتی هستیم برای مشخص کردن مرز بین مصالح و صحیح انجام شدن تحلیل باید قید interaction را تعریف نماییم. از قیود موجود در نرم افزار آباکوس از قید Embedded Region به عنوان اندر کنش بین فولاد (آرماتورها) و بتن استفاده شده است. برای تعریف اندر کنش بین CFRP و سطح بتن تفاوتی نسبت به تعریف اندرکنش بین میلگرد و بتن وجود دارد و آن هم این که برای تعریف اندرکنش بین بتن و CFRP هم می توان از قید Tie استفاده کرد و هم رزین را بین این دو تعریف کرد. در این تحقیق برای کاهش دادن زمان آنالیز از قید Tie استفاده شده است.

۳-۲- تقسیم مدل به اجزا محدود (Meshing)

انواع المان های قسمت های مختلف با توجه به عملکرد اجزا انتخاب گردید. برای مدل سازی بتن از المان C3D8R از نوع المان Solid با هشت گره و سه درجه آزادی در هر گره استفاده شده است. این المان دارای قابلیت اعمال تغییر شکل های پلاستیک و تغییر شکل های بزرگ بوده و همچنین در تمامی هشت نقطه انتگرال گیری خود می تواند ترک خوردگی را در سه جهت متعامد مدل کند. برای مدل سازی آرماتورهای داخل نشیمن گاه و ستون بتنی، از المان T3D2 از نوع المان های Beam با دو گره ی انتهایی استفاده شده است. این المان یک المان خطی مرتبه اول سه بعدی می باشد. برای مدل سازی پوشش کامپوزیتی CFRP، از المان پوسته ای S4R با چهار گره و شش درجه آزادی در هر گره (سه

درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی) استفاده شده است. المان پوسته ای فوق می تواند دارای مقطع ایزوتروپیک تک لایه و ارتوتروپیک تک لایه یا چند لایه با آرایش مختلف زاویه ای لایه ها باشد.

جهت به دست آوردن مش مناسب جهت تحلیل و به دست آوردن جواب دقیق، از آنالیز حساسیت مش استفاده شده است. با توجه به خروجی های مورد نیاز، ابعاد مش بندی را تا جایی کوچک می کنیم تا تغییرات پارامتر خروجی مورد نظر در دو مش بندی قابل اغماض باشد. برای اعمال مش بندی منظم روی مدل ها، در محل اتصال برکت به ستون، از عملیات پارتیشن بندی استفاده شده است.

۳-۳- تعریف شرایط مرزی و بارگذاری (Load)

شرایط مرزی دو انتهای ستون به صورت مفصلی در نظر گرفته شد. از آنجایی که در المان های Solid امکان ایجاد تکیه گاه مفصلی وجود ندارد، با ایجاد **Refrence Point** (نقطه نشانه) در دو انتهای ستون، به این نقاط تکیه گاه مفصلی اختصاص داده شده است. به برکت بتنی یک نیروی محوری **Nu** (نیروی افقی) و یک نیروی برشی **Vu** (نیروی قائم) وارد می شود. با توجه به آنکه تیر به صورت مستقیم بر روی برکت قرار می گیرد و اتکا تیر روی آن به نحوی انجام خواهد شد که حرکت افقی تیر آزاد باشد لذا $Nu=0$ و همچنین با توجه به روش تست نمونه (برکت) در آزمایشگاه، نیروی قائم **Vu** به صورت گسترده به صفحه بارگذاری نشیمن وارد می شود. جهت اعمال بارگذاری روی برکت دو راه وجود دارد: اینکه بارگذاری را به صورت اعمال نیروی اولیه انجام دهیم و یا با اعمال تغییر مکان اولیه روی برکت عملیات بارگذاری انجام شود. در این تحقیق تمامی مدل ها بر اساس اعمال تغییر مکان اولیه ۱ سانتی متر بارگذاری شده است.

۳-۴- نوع تحلیل

از آنجایی که بتن دارای رفتار غیر خطی می باشد، لذا آنالیز باید به صورت غیر خطی انجام گیرد. نحوه کار دارای ماهیت استاتیکی می باشد ولی از آنجایی که برخی از مسائل استاتیکی با مشکل عدم همگرایی روبه رو هستند لذا در این پژوهش از تحلیل دینامیکی غیر خطی استفاده شده است. لازم به ذکر است که استفاده از تحلیل دینامیکی به جای تحلیل استاتیکی زمانی می تواند صحیح باشد که پس از حصول نتایج آنالیز مدل، نسبت **ALLKE** (انرژی جنبشی) به **ALLIE** (انرژی داخلی) در هر لحظه از بارگذاری کمتر از ۰,۱ باشد [5].

$$(1) \quad (ALLIE/ALLKE) < 0,1$$

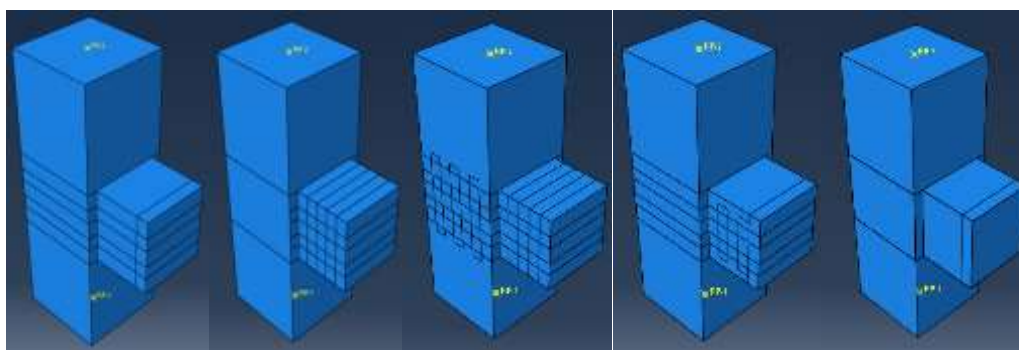
۴- آرایش های CFRP و نامگذاری مدل ها

در این تحقیق مشخصات مدل های آنالیز شده مطابق جدول ۵ تعریف شده است. فواصل ورقه های CFRP از یکدیگر و نحوه قرار گیری CFRP بر روی برکت با توجه به نمونه های آزمایشگاهی انتخاب گردیده است.

جدول ۵: نام گذاری مدل ها و نوع آرایش CFRP جهت تقویت

نوع آرایش	مشخصات ورق		نام مدل
	ضخامت (میلی متر)	پهنای (میلی متر)	
مدل تقویت نشده - مدل اولیه	-	-	C0
دو نوار افقی دور تا دور براکت و سه وجه از ستون	۶	۱	C1
دو نوار افقی و دو نوار عمودی دور تا دور براکت	۶	۱	C2
دو نوار افقی روی براکت و ستون و دو نوار عمودی روی براکت و استفاده از وصله های عمودی روی ستون	۶	۱	C3
دو نوار افقی دور تا دور براکت و ستون و استفاده از وصله های عمودی روی براکت	۶	۱	C4
یک نوار افقی دور تا دور ستون و براکت	۳۵	۱	C5

همانطور که مشاهده می شود از ۵ مدل مقاوم سازی با نام C1 و C2 و C3 و C4 و C5 استفاده شده است و نتایج با نمونه مقاوم سازی نشده C0 بررسی می شود. همچنین نوع آرایش های CFRP استفاده شده در شکل ۳ نشان داده شده است. آرایش های CFRP استفاده شده در مدل های C1 و C5 جهت افزایش ظرفیت برشی و آرایش های CFRP در مدل های C2 و C3 و C4 جهت افزایش ظرفیت برشی و خمشی مقطع بکار رفته اند.



(۱) (۲) (۳) (۴) (۵)

شکل ۳: آرایش های CFRP و مدل های مورد تحقیق: ۱- مدل C1، ۲- مدل C2، ۳- مدل C3، ۴- مدل C4، ۵- مدل C5

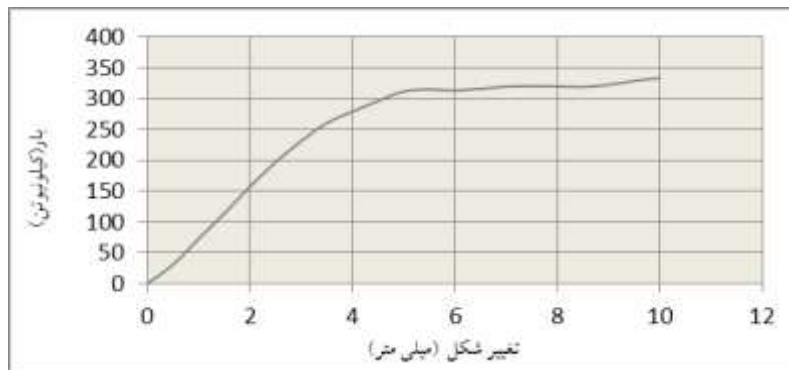
۵- نتایج حاصل از آنالیز نرم افزار

نتایج به دست آمده با تحقیق آزمایشگاهی عبدالرحمن و همکاران کنترل شد و صحت مدل سازی و نتایج به دست آمده مورد تایید قرار گرفت [۵]. نمودارهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، نمودارهای بار - تغییر شکل مدل های تقویت شده با CFRP می باشند. محور قائم نمودار، بار وارده بر حسب کیلونیوتن و محور افقی نمودار تغییر شکل بر حسب میلی متر می باشد. تغییر مکان مربوط به نقطه ای است که در آن نمونه به بار نهایی خود

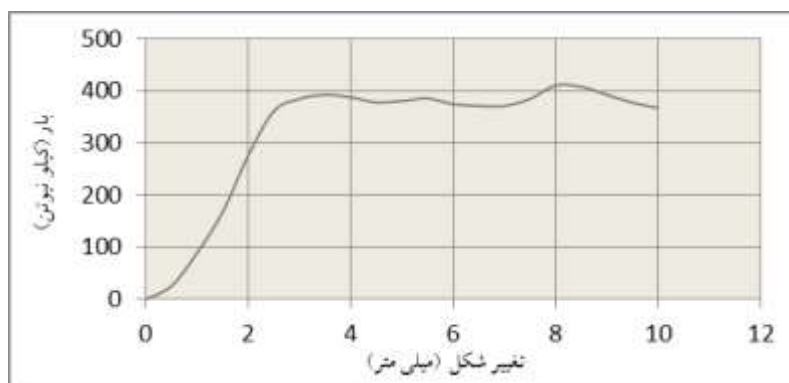
می‌رسد. در جدول شماره ۶، مقدار بار نهایی (V_u) و تغییر شکل قائم نهایی (Δu) کلیه مدل‌ها در برابر تغییر مکان قائم ۱ سانتی متر آورده شده است.

جدول ۶: بار نهایی و تغییر شکل نهایی کلیه مدل‌ها

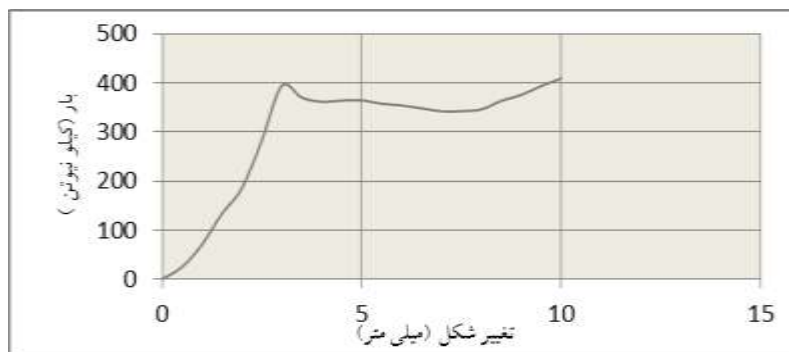
مدل	C0	C1	C2	C3	C4	C5
بار نهایی (V_u) - کیلو نیوتن	۳۳۳	۴۱۰	۴۰۹	۴۱۸	۳۸۸	۳۹۷
تغییر شکل نهایی (Δu) - میلی متر	۱۰	۸	۱۰	۴	۵.۵	۶



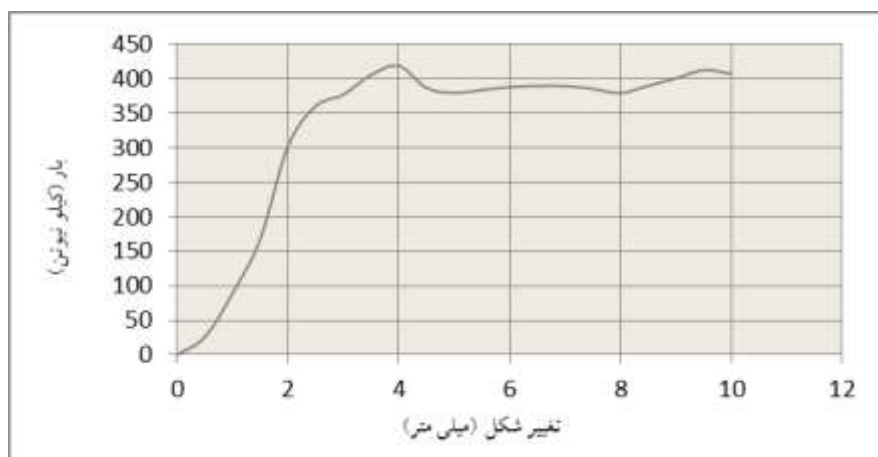
نمودار ۱: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل اولیه C0



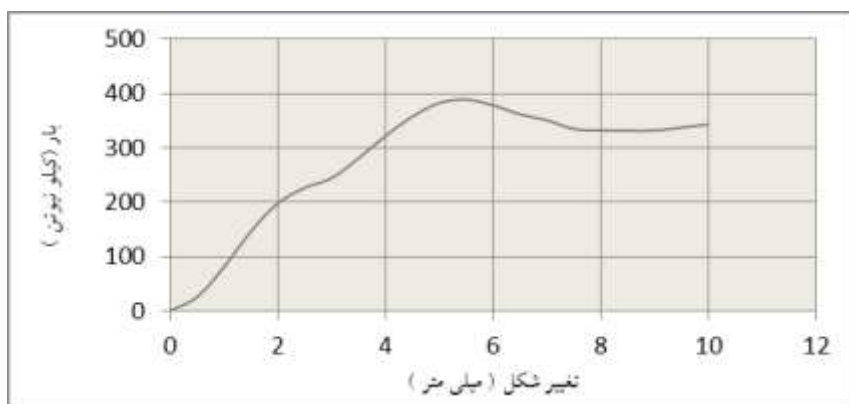
نمودار ۲: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل C1



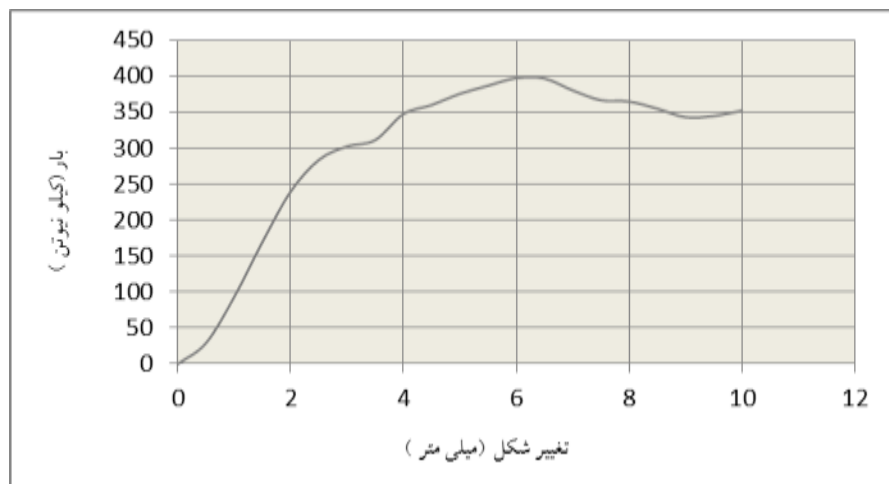
نمودار ۳: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل C2



نمودار ۴: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل C3



نمودار ۵: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل C4



نمودار ۶: نمودار بار - تغییر شکل بدست آمده از مدل C5

همانطور که از نمودار های بار - تغییر شکل مدل های تقویت شده با CFRP پیداست، شیب نمودارها نسبت به شیب نمودار مدل C0 (نمودار ۱) افزایش دارد و این امر نشان دهنده افزایش سختی به علت استفاده از ورق های CFRP می باشد. شیب نمودار بار - تغییر شکل در مدل های C1 و C4 بیشترین افزایش را نسبت به مدل C0 (نمودار ۱) دارد. در جدول ۷ میزان افزایش ظرفیت باربری مدل های تقویت شده نسبت به مدل اولیه، تحت اثر تغییر مکان ۱ سانتی متر به دست آمده است.

جدول ۷: میزان افزایش ظرفیت باربری مدل های تقویت شده نسبت به مدل C0

مدل	C0	C1	C2	C3	C4	C5
افزایش ظرفیت باربری (درصد)	۰	۲۳,۱۲	۲۲,۸۲	۲۵,۵۲	۱۶,۵۱	۱۹,۲۱

۶- نتیجه گیری

استفاده از ورق های CFRP می تواند تغییر شکل ها را در برکت کاهش دهد. استفاده از CFRP، المان های بتن را محصور کرده و باعث می شود المان های بتن کرنش کمتری داشته و در نتیجه تغییر شکل کمتری در نشیمن گاه بتنی بوجود آید. در بین آرایش های استفاده شده، آرایش استفاده شده در مدل C3 از عملکرد مناسبی برخوردار بوده و نسبت به سایر آرایش ها تغییر شکل بیشتری را کاهش می دهد. استفاده از ورق های CFRP باعث افزایش شیب نمودار بار - تغییر شکل، که معادل سختی می باشد، گردید. میزان سختی در مدل C3 نسبت به سایر مدل ها افزایش بیشتری داشت. استفاده از این نوع آرایش علاوه بر افزایش ظرفیت برشی، باعث افزایش ظرفیت خمشی مقطع گردید.

مراجع

- [۱] زین الدینی، م.، ۱۳۸۹، « بررسی اجرایی عملکرد مواد FRP در مقاوم سازی ساختمان های بتنی »، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [2] Abou Elez, Y., 1997, " Behavior Of Reinforced Concrete Columns Confined With Advanced Composite Materials ", Ph.D. Thesis, Minia University, Egypt.
- [3] Norris, T., Saadatmanesh, H. and Ehsani, M., 1997, " Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets ", ASCE, Journal of Structural Engineering, 123, 7, pp. 903-911.
- [4] Dolan, Ch., Corry, R., 2001, " Strengthening and Repair of a column Bracket using a Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP)Fabric ", Daniel P.Jenny Research Fellowship.
- [5] Erfan, A., Abdel Rahman, G., Nassif, M. and Hammad, Y., 2001, " Behaviour of reinforced concrete corbels strengthened with CFRP fabrics ", Benha University.
- [6] Elgwady, M., RABIE, M. and Mostafa, M., 2009, " Strengthening of Corbels Using CFRP an Experimental Program ", Cairo University, Giza, Egypt.
- [7] Ozden, S., Meydanli Atalay, H., 2011, " Strengthening and Repair of a column Bracket using a Carbon Fiber Reinforced Polymer Fabric ", Ankara University, Journal: Computers and Concrete.
- [8] Yao, L., Wan, Y., Liang, Ch., Hwan, Y. and Sin, L., 2012, " Reinforced concrete corbels strengthened with carbon fiber reinforced plastics ", Korea University, Journal: Computers and Concrete, pp.259-276.
- [9] Hansen, E. Willam, K. and carol, I. (2001). " A two-surface anisotropic damage/plasticity model for plain covcrete ". Proc. Framcos-4 Conf. Paris Fracture Mechanics of concrete Materials, (pp.549-56).
- [10] ABAQUS V6.13 Manuals, 2013, Providence, RI: Dassault Systemes.
- [11] Taqieddin, Z., 2008, " Elasto-Plastic and Damage Modeling of Reinforced Concrete ", Ph.D. dissertation, Dept. Civil & Environmental Eng., Louisiana State Univ., Baton Rouge, LA.
- [12] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. (1988), " Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete " Fellow, ASCE.