

مقاوم سازی دالهای تخت تحت برش پانچ به کمک FRP

دکتر علی خیرالدین

دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشکده مهندسی - دانشگاه سمنان

Akheirodin@semnan.ac.ir

مهندس سید روح الله حسینی واعظ

کارشناس ارشد سازه

چکیده

این مقاله آنالیز المان محدود از اتصال دال-ستون را برای بررسی اثرات مقاوم سازی دال های تخت توسط CFRP ارائه می دهد. برای این منظور مدل های المان محدود جهت شبیه سازی، با استفاده از اطلاعات موجود از یک اتصال دال-ستون مورد آزمایش قرار گرفته، ایجاد گردیدند. مدل ها در دو گروه با سه لایه از المان های Solid 65 در عمق دال ایجاد شدند. در کل لایه های گروه اول از بتن آمیخته به آرماتور استفاده شد و در گروه دیگر فقط برای لایه پایینی از بتن آمیخته به آرماتور استفاده شد. منحنی های بار-خیز گروه اول مدل ها در درصد حجم $0.28/0$ رفتاری شبیه به مدل آزمایشگاهی نشان داد. این مقدار تقریباً در حدود سه برابر بیشتر از درصد فولاد اصلی مدل آزمایشگاهی است که تاثیر هندسه مش را نشان می دهد. همچنین مدل رفتار ترک خوردگی دال ها را به خوبی نشان می دهد. نتایج قسمت قرار گرفته منحنی ها در ناحیه ترک نخورده دقیقاً شبیه به نتایج آزمایشگاهی می باشد. بعد از ترک خوردگی، مدل های گروه دوم رفتار سخت تری نشان دادند. مدل دال با استفاده از صفحات CFRP که به کمک المان های Solid 46 به برنامه معرفی شدند، مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج حاصل از آن نشان داد که خیز نهایی دال تا حدی افزایش یافته در حالیکه مقاومت دال در حد بسیار کمی افزایش داشته است.

واژه های کلیدی: برش پانچ؛ دال تخت؛ اتصال دال-ستون؛ آنالیز المان محدود؛ CFRP

۱- مقدمه

در سال ۱۹۵۰ تمایل به ساخت سازه های سبکتر و انعطاف پذیرتر، باعث گسترش استفاده از سازه های دال تخت شد (مخصوصاً برای ساختمان های اداری و مسکونی متوسط تا بلند [1]). سازه های دال تخت بتن آرمه به عنوان یک سیستم سازه ای اقتصادی استفاده می گردید.

امروزه جزئیات شکل پذیر برای همه اتصالات سازه ای، همچنین برای آنهایی که فقط تحت بارهای ثقیلی می باشند؛ یک مفهوم کلیدی است، که اولین بار از نتایج گسیختگی که در طی زلزله ۱۹۷۱ Sanferando مشاهده گردید، درسهایی گرفته شد [1]. همه اتصالات دال-ستون در سازه های دال-تخت باید توانایی تحمل تغییر مکان

ماکزیمم سیستم جانبی را داشته باشند. به علت اینکه در طی این تغییر شکل جانبی امکان دارد گسیختگی ترد و شکننده پانچ در دال اتفاق بیافتد. گسیختگی برشی پانچ، بوسیله ترکیب بارهای ثقیلی و لرزه ای ممان نامتوازن در دال ایجاد می گردد، که امکان دارد با دادن اخطار و یا بدون آن اتفاق بیافتد و پیامد آن خرابی کلی باشد. در زلزله *Mexico City* در سال ۱۹۸۵، ۹۱ سازه دال تخت ویران شدند و ۴۴ سازه به علت گسیختگی پانچ خسارات شدیدی دیدند [2].

مهندسی سازه اغلب مجبور می شوند که سازه های موجود را برای مطابقت با شرایط طراحی لرزه ای جاری و یا شرایط افزایش بارهای زنده ترمیم نمایند. برای ترمیم سازه های قدیمی تر، اغلب اضافه کردن یک سیستم مقاوم جانبی به قاب دال-ستون اقتصادی می باشد، به طوری که ممکن است هزینه های ترمیم لرزه ای ساختمان را به طور چشمگیری کاهش دهد [3]. قبل از تجدید نظر آیین نامه *ACI* در سال ۱۹۷۰، که انعکاس جزئیات شکل پذیر از آموخته های زلزله مذکور، شروع گردید. در آرماتورگذاری برای سیستم های دال تخت نیازی به آرماتورهای پیوسته بالایی و پایینی نبود. آرماتور گذاری بالا، برای خمش منفی استفاده می شد، که می توانست کاملاً خارج از ستون قطع گردد. آرماتورگذاری پایینی، فقط نیاز بود به مقدار 150 mm (۶ اینچ) به داخل تکیه گاه ها ادامه پیدا کند. اکنون به خوبی مشخص شده است که طی تغییرمکان های جانبی، ممان مثبت می تواند در بر تکیه گاه ها اتفاق بیافتد، که موجب گسیختگی قید در محل های گیرداری کوتاه شود. به خاطر نارسایی ها در آیین نامه های طراحی قبل از ۱۹۷۱، درک رفتار سازه های طراحی شده با این آیین نامه ها و ارتقاء این سازه ها به سطح قابل قبولی از ایمنی لرزه ای نیاز می باشد.

مطالعات گذشته بر روی روش های بازسازی اتصالات خسارت دیده شکل پذیر دال-ستون با استفاده از صفحات فولادی و بولت بود [4]. همچنین این روش می توانست برای ارتقاء عملکرد اتصالات غیر شکل پذیر دال-ستون قبل از ۱۹۷۱ استفاده گردد، ولی تاثیر این روش بر زیبایی ساختمان یک مشکل اساسی می باشد. امروزه با ظهور الیاف کربنی (*CFRP*) و نقش آن در شکل پذیری قسمت های مختلف سازه، تحقیقاتی برای افزایش شکل پذیری اتصالات غیر شکل پذیر دال-ستون با استفاده از این الیاف انجام شده است. *Johnson*, [5] *Binici* و *Bayrak* و *Robertson* [6] از جمله کسانی هستند که در این زمینه تحقیقاتی انجام داده اند.

بیشتر کار انجام گرفته در این مقاله برای ایجاد مدل های اجزاء محدودی است که بتواند رفتار دال را شامل رفتار بار-خیز، بار نهایی و الگوی ترک پیش بینی نماید تا اثرات تقویت دال با تقریب مناسبی مشاهده گردد. مدل های المان محدود ۳ بعدی برای شبیه سازی رفتار دال-ستون با استفاده از نرم افزار *ANSYS* ایجاد گردیدند. مدل ها بر پایه یک المان ۸ گره ای ایزوپارامتریک می باشند. برای مطالعه پارامتریک، تاثیر تقویت دال در ناحیه میانی با استفاده از الیاف کربنی (*CFRP*) در این ناحیه مورد بررسی قرار گرفت.

۲- ایجاد مدل کامپیوتری اتصال دال-ستون به روش اجزاء محدود

روش المان محدود، از زمان ابداع آن در سال ۱۹۵۰، در بسیاری از موارد تکنیک مورد قبول در آنالیزهای مهندسی شد. بهر حال، تا سال ۱۹۶۰ محققان شروع به استفاده از این تکنیک در آنالیز ساختمان های بتنی کردند. هر چند پس از آن در این زمینه کارهای زیادی انجام گرفت [7]، ولی این تکنیک عموماً در طراحی انتخاب نمی شد. دلیل اصلی این است که اگرچه مقدار زیادی از اطلاعات آزمایشگاهی بر روی گسیختگی برشی پانچ دال ها موجود می باشد. موفقیت کمی در ایجاد یک مدل جامع برای تخمین رفتار یک سازه بتنی دلخواه بوجود آمده است [8]. انجمن مهندسی عمران آمریکا در سال ۱۹۸۲ مروری گسترده بر روش المان محدود و کاربرد آن در آنالیز خطی و غیرخطی ساختمان های بتن آرمه را در گزارش *State-of-the-art* ارائه داد [9]. گفته شده بود که نتایج آنالیزهای المان محدود به طور قابل توجهی بستگی به رابطه تنش-کرنش مصالح، معیارهای گسیختگی انتخابی، شبیه سازی ترک بتن و اثر متقابل تقویت کننده و بتن دارد. تلاش های قبلی بر روی پیش بینی گسیختگی دال ها در

برش پانچ با استفاده از مدل های گوناگون المان محدود متمرکز شده بود [10,11,12,13]. مدلی که در اینجا ارائه شده است برای مدل کردن رفتار نمونه آزمایشگاهی که مورد بحث قرار گرفته است، می باشد.

۲-۱- انتخاب نمونه آزمایشگاهی

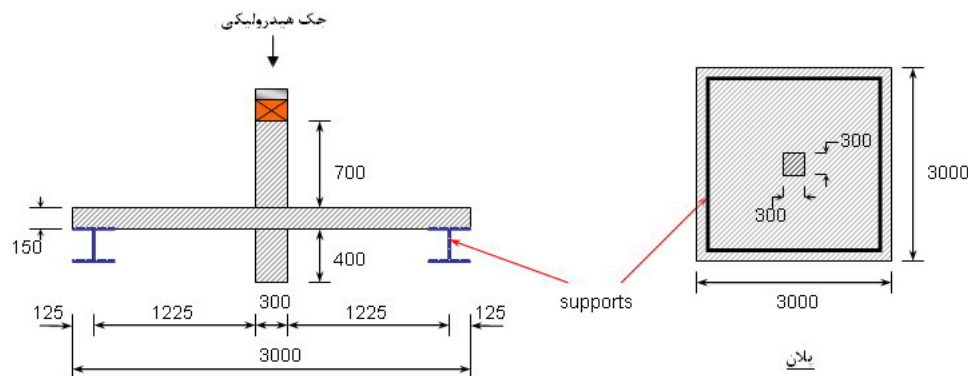
در اتصالات میانی به صورت نمونه های مربعی، مستطیلی و یا دایروی با تکیه گاه های ساده که از طریق یک ته ستون بارگذاری شده اند، سئوالی که مطرح می شود این است که آیا این مدل ها نسبت به مدل کامل اتصال دال ستون با توجه به موارد زیر مناسب می باشند:

۱- شرایط مرزی در مدل آزمایشی با شرایط یک ساختمان واقعی فرق دارد.

۲- باز توزیع لنگر در اطراف ستون در نمونه آزمایشی با یک ساختمان واقعی متفاوت است.

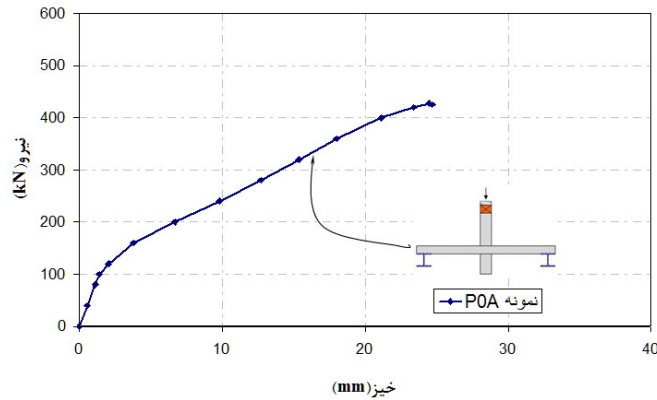
با این حال کاری که توسط *Shao و Gardner* [14] انجام گرفت، ثابت کرد که آزمایش های برش پانچ از این قبیل می توانند بیانگر رفتار برش پانچ در اتصالات دال-ستون میانی سیستم های دال پیوسته باشند. نمونه آزمایشگاهی *POA* که توسط *Kruger* [15] مورد آزمایش قرار گرفته بود؛ برای ایجاد مدل عددی انتخاب شد (شکل ۱). مدل آزمایشگاهی انتخاب شده، مدلی با مقیاس واقعی از اتصال دال-ستون میانی بود. برای نمونه تکیه گاه ساده در نظر گرفته شده بود و دال بر روی تیرهای فولادی به نحوی قرار گرفته بود که لبه ها می توانستند آزادانه بلند شوند. نحوه آزمایش و بارگذاری در شکل ۱ نشان داده شده است. دال مربعی به ابعاد 3000×3000 میلیمتر و ضخامت ۱۵۰ میلیمتر؛ و ستون به ابعاد 300×300 میلیمتر بود. مقاومت فشاری استوانه ای بتن f'_c ، ۳۵ MPa بود. میانگین درصد آرماتورهای خمشی دال در هر جهت ۱٪ بود. نمونه بصورت معکوس قرار گرفته بود. شرایط قرارگرفتن نمونه به نحوی انتخاب شده بود که هم برای بارگذاری و هم برای بررسی ترک خوردگی دال در طول آزمایش مناسب باشد.

بار قائم از طریق یک ته ستون به دالی که در چهار لبه بر روی تکیه گاه ساده قرار داشت؛ اعمال می شد؛ تا یک اتصال دال - ستون برعکس شبیه سازی شود. بار بوسیله یک جک هیدرولیکی به صورت یکنواخت اعمال می شد. اطلاعات در فواصل 40 kN قرائت می شد.



شکل ۱- نمونه و نحوه آزمایش (ابعاد به میلیمتر)

شکل ۲ ماکزیمم خیز دال را در مقابل بار اعمالی توسط جک هیدرولیکی نمایش می دهد. نمونه از بارگذاری اولیه تا وقوع اولین ترک به صورت خطی رفتار کرد. اولین ترک بین دومین و سومین مرحله بارگذاری تقریباً در بار 423 kN ظاهر شد. دال با رسیدن به اوج بار (423 kN)، به صورت ترد و شکننده و با از دست دادن ناگهانی ظرفیت خود بوسیله پانچ گسیخته شد، که شکل پذیری کم دال را مشخص کرد. با توجه به این حقیقت که زمانیکه گسیختگی به حدی که در شکل ۲ نشان داده شده است رسید، بار به سرعت افت کرد، می توان این نوع گسیختگی را گسیختگی برشی پانچ نامید.



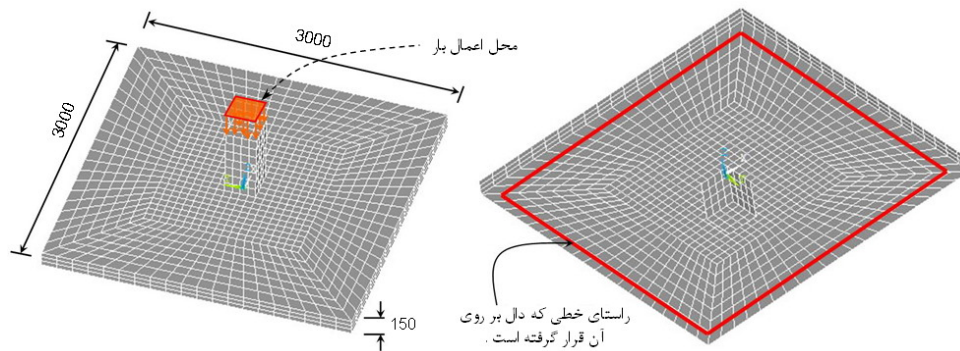
شکل ۲- نمودار بار در مقابل ماکزیمم خیز نمونه دال آزمایشگاهی .

۲-۲- مدل کردن اتصالات دال-ستون

در سال های قبل تعدادی آزمایش های عددی با استفاده از روش المان محدود انجام گرفت . از جمله آن ها ، سیستم های مدل شده ۲ بعدی با المان های متقارن دورانی [16,17] باید از سیستم های ۳ بعدی بهینه متمایز شوند . یک وضعیت جدید مدل هایی هستند که از المان های Shell قرار گرفته در لایه ها استفاده می کنند [13]. بهینه سازی ۳ بعدی تعریف و مدل سازی مشخصات مختلف در هر راستا را پیشنهاد داده است و همچنین مدل ۳ بعدی برای مشاهده شکل گیری ترک های پانچ و محل آن ها در دال بسیار مناسب می باشد .

تصمیم گرفته شد تا برای مدل کردن ، بر روی خصوصیات بار-خیز دال ها و همینطور شروع ترک خوردگی تمرکز شود . نتایج آزمایش که از یک مطالعه جامع گرفته شده بود و در بالا توضیح داده شد [15]، برای مقایسه با نتایج عددی مورد استفاده قرار گرفت . برنامه المان محدود ANSYS برای ایجاد مدل مورد استفاده قرار گرفت و از المان Solid 65 برای مدل کردن بتن استفاده گردید . المان Solid 65 یک المان ۳ بعدی ایزوپارامتریک با قابلیت ترک خوردگی در کشش و خرد شدگی در فشار می باشد . المان ANSYS توسط ۸ نقطه گره ای که هر کدام دارای ۳ درجه آزادی انتقالی در راستای x ، y و z به همراه یک مدل گوس $2 \times 2 \times 2$ که به منظور محاسبه ماتریس سختی المان مورد استفاده قرار می گیرد ، تعریف می شود . همچنین مدل قادر به فرض اثر متقابل بین دو مولفه بتن و فولاد می باشد . یعنی می تواند برای توضیح رفتار مصالح بتن آرمه استفاده شود . المان دارای یک ماده جامد و تا ۳ خصوصیت مصالح آرماتورهای تقویت کننده می باشد . مهمترین ویژگی المان آن است که می تواند هر دو رفتار خطی و غیرخطی بتن را نشان دهد . برای مرحله خطی ، بتن تا قبل از ترک خوردگی به صورت یک ماده ایزوتروپیک فرض می شود و برای بخش غیر خطی ، بتن قادر به تحمل پلاستیسیته و یا خزش می باشد . هندسه مدل در شکل ۳ نشان داده شده است . نیرو مرحله به مرحله با استفاده از روش نیوتن-رافسون^۱ تکرار می شد . همانطور که ذکر شد ، دال در طول چهار طرف بر روی تکیه گاه ساده قرار داشت ، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است ؛ شرایط مرزی برای مدل اعمال گردیده است . در یک گوشه تمام درجات آزادی انتقالی گیردار گرفته شد و در گوشه دیگر دو درجه آزادی بسته شد تا از حرکت و دوران دال در صفحه خودش جلوگیری شود . همانطور که در شکل ۳ دیده می شود ، لبه های مدل دال همانند نمونه آزمایشگاهی مقید نشده است .

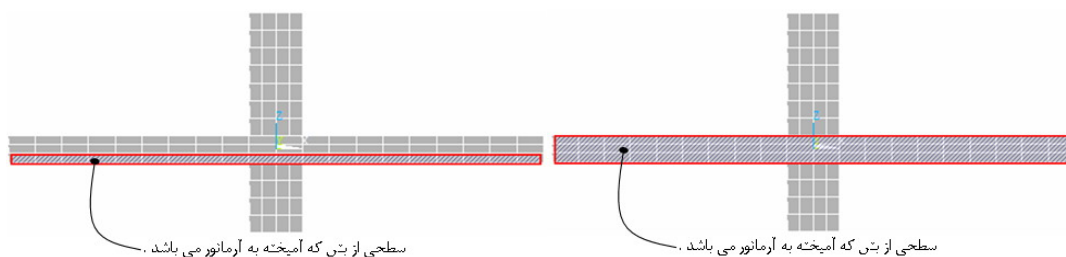
¹ Newton-Raphson method



شکل ۳- مدل المان محدود (ابعاد به میلیمتر) [18].

در آنالیز، رابطه های تنش- کرنش بتن برای وقوع ترک اصلاح شده اند. یک صفحه ضعیف در راستای نرمال سطح ترک و یک ضریب انتقال برش β_t (بیانگر شرایط سطح ترک) در المان *Solid 65* معرفی می شوند. کاهش مقاومت برشی برای بارهای بعدی، که برش را در راستای سطح ترک تحت تاثیر قرار می دهد، در تعریف مقدار β_t لحاظ شده است. دقت در شرایط بارگذاری بعد از ترک خوردگی، مخصوصا زمانیکه برش بر مقاومت اعضای بتنی حاکم است همانند دال ها، مهم می باشد. مقدار β_t ، $0.2+$ در نظر گرفته شد. چگالی γ و نسبت پواسون ν بتن به ترتیب برابر 2400 kg/m^3 و $0.2+$ فرض گردید.

ضریب انتقال برش برای ترک بسته، β_c برابر $0.9+$ گرفته شد. مقاومت فشاری تک محوری نهایی f'_c بر اساس کار آزمایشگاهی گرفته شد [15]. تکرارهای تعادلی نیوتن-رافسون برای آنالیز غیرخطی مورد استفاده قرار گرفت. بارگذاری افزایشی با کنترل تغییرمکان از طریق ته ستون اعمال گردید تا شرایط واقعی بارگذاری انجام گرفته در برنامه آزمایشگاهی شبیه سازی گردد. مراحل کوچک بارگذاری اولیه برای مشخص کردن اولین ترک در اتصال استفاده شد. سپس، زمان بندی خودکار برای کنترل اندازه های مرحله بارگذاری فعال شد. همچنین در آنالیز غیرخطی، روش های جستجوی خط¹ و پیش بینی کننده-اصلاح کننده² برای سرعت بخشیدن به همگرایی مورد استفاده قرار گرفت. گسیختگی اتصال برای زمانی تعریف شد که جواب ها برای جزء تغییرمکان های کوچک همگرا نشود. در نتیجه، با توجه به فرضیات و ملاحظات فوق الذکر مدل المان محدود ساخته شد. تمرکز اصلی آنالیزها بر روی مدل کردن نمونه *POA* می باشد که قبلا توضیحی در مورد آن داده شد. مدل های عددی در دو گروه مختلف ایجاد شدند. یکی از این گروه ها شامل دال با سه لایه المان در عمق آن می باشد به طوریکه در کل لایه ها از بتن آمیخته به آرماتور³ استفاده شد (شکل ۴-الف)، و در گروه دیگر فقط برای لایه پایینی از بتن آمیخته به آرماتور استفاده شد به صورتیکه دیگر لایه ها، دارای بتن بدون آرماتور بودند (شکل ۴-ب).



¹ Line Search

² Predictor-Corrector

³ Smeared Reinforcement

شکل ۴-الف - همه لایه های بتنی آمیخته به آرماتور می باشند . ب- فقط لایه پایینی آمیخته به آرماتور می باشد . همانطور که گفته شد ، یک مطالعه پارامتریک در بخش بعدی آورده شده است . این مطالعه بدین جهت انجام گرفت تا اثرات حجم آرماتور آمیخته شده به رفتار دال مشخص گردد . می توان رابطه ای بین درصد حجم و نسبت سطح مقطع آرماتور ایجاد کرد . اما ، مساله ای که در مشخص کردن یک حجمی از آرماتورهای آمیخته شده در یک آنالیز ۳ بعدی وجود دارد اینست که ؛ مرتبط کردن حجم به صورت مستقیم به سطح مقطع عرضی آرماتورهای موجود در نمونه آزمایشگاهی کار مشکلی است .

محاسبه درصد حجم به درصد سطح مقطع آرماتورها برای شکل های المان های جامد ایجاد شده کار مشکلی است . اگر مش بندی ذکر شده به صورت یکنواخت و با المان های مکعبی در تمام مدل بود این رابطه ، رابطه ساده ای بود ؛ و سطح مقطع عرضی دقیقاً با حجم یکی می شد . در آنالیزهای مقدماتی مش بندی یکنواخت به همراه المان های مکعبی بکارگرفته شد اما جواب ها دقت لازم را نداشتند . در المان محدود ساختمان های بتن آرمه انتخاب اندازه مش بندی مناسب برای ارضاء دقت و سرعت محاسبات مهم می باشد . طرح مش بندی استفاده شده در مدل ها یکسان بود که در شکل ۳ نشان داده شده است . چگالی مش در زیر ناحیه بارگذاری افزایش داده شده بود و بتدریج به سمت لبه ها کاهش می یافت . بنابراین ، چون مش بندی یکنواخت نمی باشد ، یک مطالعه پارامتریک و مشاهده اثر حجم آرماتورهای آمیخته شده ضروری می باشد .

۲-۳- تائید مدل المان محدود در مقایسه با مدل آزمایشگاهی

۲-۳-۱- گروه اول : همه لایه های بتنی آمیخته به آرماتور می باشند . این گروه از مدل ها شامل دال با سه لایه المان در عمق آن می باشد به طوریکه در کل لایه ها از بتن آمیخته به آرماتور استفاده شده است (شکل ۴-الف) . این گروه برای مشاهده تاثیر درصد حجم آرماتورهای آمیخته شده مورد بررسی قرارگرفت . مساله ای که در استفاده از بتن آمیخته شده به آرماتور وجود داشت این بود که تمایل به سخت کردن المان داشت . بنابراین تصمیم گرفته شد تا یک مطالعه پارامتریک انجام گیرد تا اثر مقادیر مختلف درصد حجم فولاد نمایان گردد .

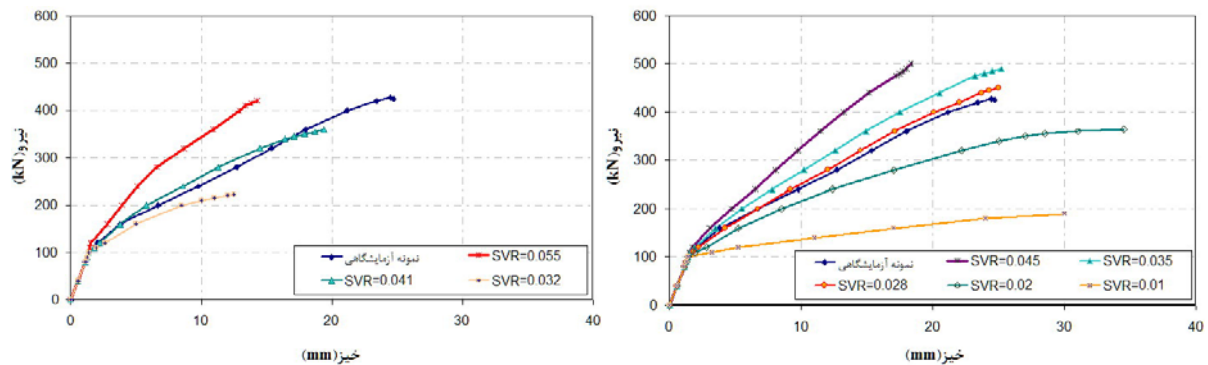
با توجه به نمودارهای مدل های عددی (شکل ۵) ، اولین چیزی که باید توجه شود این است که رفتار همه دال ها تا لحظه ترک خوردگی دقیقاً یکسان است ، در حالیکه اختلاف در رفتار آن ها تنها بعد از وقوع ترک خوردگی های اولیه رخ می دهد . ترک خوردگی مدل ها در همان نیروی ترک خوردگی نمونه آزمایشگاهی و تقریباً در حدود kN ۱۰۰ رخ داد . اگر منحنی اولین مدل عددی ، $SVR=0.045$ ، مورد مطالعه قرار گیرد ، می توان تاثیر حجم زیاد آرماتور را در رفتار المان دید . المان کاملاً سخت می باشد و بنابراین نسبت به نمونه آزمایشگاهی خیز کمتری دارد . مدل همچنین در باری بیشتر از نمونه آزمایشگاهی گسیخته می گردد . با کاهش درصد حجم آرماتورها تقریباً بهترین در نمودار بار-خیز با استفاده از مدل ها بدست می آید . با توجه به نمودارهای بار-خیز ، درصد حجمی فولاد 0.28 بهترین تقریب را نسبت به نمونه آزمایشگاهی می دهد .

۲-۳-۲- گروه دوم : فقط لایه پایینی آمیخته به آرماتور می باشد .

در این گروه از مدل های عددی ، دال به دو قسمت تقسیم شد : ۱- لایه پایینی که متشکل از المان های *Solid 65* و آمیخته به آرماتور می باشد . ۲- لایه بالایی و وسطی که متشکل از المان های *Solid 65* و بدون آرماتور می باشد (شکل ۴-ب) .

منحنی های بار-خیز برای این گروه از مدل ها روندی شبیه به آنچه قبلاً بدست آمده بود نشان داد (شکل ۶) . المان ها هنوز برای مقادیر بالای آرماتورها سخت می باشند . بهترین نمودار بار-خیز برای مقدار آرماتورحجمی 0.41 +

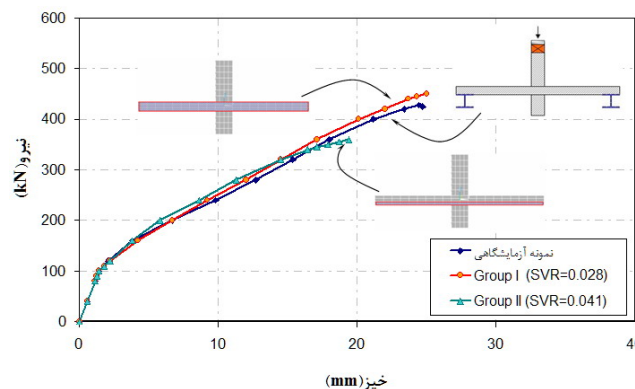
بدست آمد. ترک خوردگی در همه مدل های این گروه در همان نیرو و فقط اندکی بیشتر از مدل های قبلی و تقریباً در نیروی ۱۱۰ kN رخ داد.



شکل ۵- مقایسه نمودارهای بار-خیز برای مدل های دال گروه اول [18]. شکل ۶- مقایسه نمودارهای بار-خیز برای مدل های دال گروه دوم [18].

۲-۳-۳- مقایسه نمودارهای بار-خیز دو گروه

منحنی های بار-خیز که از بهترین مدل های هر گروه گرفته شده در شکل ۷ مورد مقایسه قرار گرفته اند. با توجه به نمودارها، می توان فهمید که بهترین تقریب از گروه اول بدست می آید. برای این دال ها درصد حجم بالایی آرماتورها، $45\%+$ ، سختی المان ها را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد و درصد حجم آرماتور بهینه ای، $28\%+$ ، حاصل می شود به طوریکه بهترین تقریب از نمودار بار-خیز نمونه آزمایشگاهی می دهد. باید توجه شود که این مقدار در حدود ۳ برابر بیشتر از درصد فولاد اصلی در نمونه آزمایشگاهی است، که بدلیل یکنواخت نبودن مش بندی و هندسه المان ها می باشد. برای مقادیر مشابه درصد حجمی فولاد در لایه پایینی، خیز دال ها و همچنین بار نهایی قابل تحمل توسط مدل دال کاهش یافت. منحنی بار-خیز گروه دوم مدل ها تقریب خوبی نسبت به گروه اول از نمونه آزمایشگاهی بوجود نمی آورد.



شکل ۷- مقایسه نمودارهای بار-خیز دو گروه با نمونه آزمایشگاهی [18].

با توجه به مقایسه ای که بین نمودارهای گروه اول و دوم انجام گرفت. مدل المان محدود گروه اول با درصد حجمی فولاد $28\%+$ به عنوان مدل مبنای^۱ انتخاب گردید تا مطالعات بعدی بر اساس این مدل تحلیلی انجام گیرد.

۳- تقویت دال بوسیله CFRP

در این قسمت تاثیر تقویت دال در ناحیه میانی با استفاده از الیاف کربنی (CFRP) در این ناحیه مورد بررسی قرار می گیرد. در مدل های اجزای محدود المان های جامد لایه ای Solid 46 برای مدل کردن کامپوزیت های FRP استفاده شده اند. المان دارای قابلیت تعریف ۱۰۰ لایه مصالح مختلف با راستاهای مختلف و خصوصیات مصالح

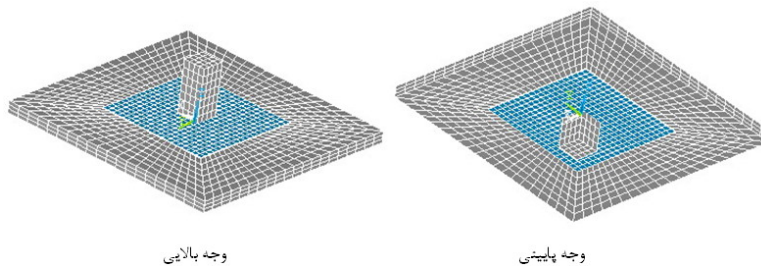
¹ Control Model (CM)

اورتوتروپیک در هر لایه می باشد. المان دارای سه درجه آزادی انتقالی در هر گره در راستاهای x ، y و z می باشد. این المان های لایه ای به المان های جامد بتنی مجاور به منظور ارضای اتصال کامل^۱ متصل شده اند. خلاصه ای از خصوصیات کامپوزیت های CFRP در جدول ۱ آورده شده اند. با استفاده از المان Solid 46 یک لایه CFRP به ضخامت ۲ میلیمتر در دو طرف مدل مبنا در ناحیه میانی تعریف گردید (شکل ۸).

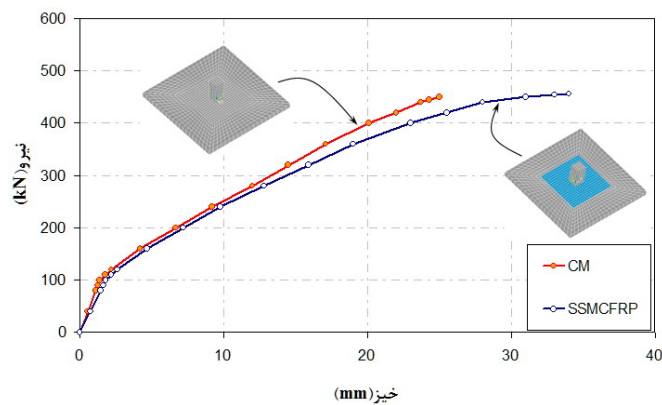
جدول ۱- خلاصه ای از خصوصیات کامپوزیت های CFRP

مدول الاستیسیته (MPa)	نسبت پواسون اصلی	مقاومت کششی (MPa)	مدول برشی (MPa)	ضخامت لایه (mm)	نوع کامپوزیت FRP
$E_x = 62000$	$\nu_{xy} = 0.22$	958	$G_{xy} = 3270$	1.0	CFRP
$E_y = 4800$	$\nu_{xz} = 0.22$		$G_{xz} = 3270$		
$E_z = 4800$	$\nu_{yz} = 0.30$		$G_{yz} = 1860$		

ضخامت های مختلف از کامپوزیت های FRP، ناپیوستگی هایی را بوجود می آورند. که برای آنالیز اجزای محدود مطلوب نمی باشند و تمرکز تنش های بالایی در نواحی موضعی مدل ها بوجود می آورند در نتیجه زمانی که مدل در حال آنالیز شدن می باشد، ممکن است مشکلاتی در همگرایی حاصل گردد. بنابراین یک ضخامت کلی سازگار برای کامپوزیت FRP به منظور اجتناب از ناپیوستگی ها استفاده شد. توسط اعمال تغییرات تنظیم شده در مدول های الاستیسیته و برشی مربوط به هر لایه FRP، سختی کلی معادل مصالح FRP حفظ گردید. به عنوان مثال، چنانچه ضخامت یک لایه FRP به منظور حفظ یک ضخامت کلی ثابت مضاعف گردد، مدول های الاستیسیته و برشی در آن مصالح تا ۵۰ درصد کاهش می یابند. توجه شود که ارتباط بین مدول های الاستیسیته و برشی خطی است [19].



شکل ۸- مدل تقویت دال در ناحیه میانی با استفاده از المان Solid 46



¹ Perfect Bond

شکل ۹- مقایسه نمودارهای بار-خیز مدل تقویت شده با CFRP و مدل مینا .

شکل ۹ نمودار بار-خیز مدل تقویت شده با CFRP را در مقابل نمودار بار-خیز مدل مینا نشان می دهد . با توجه به نمودارها می توان فهمید که شیب منحنی برای مدل مقاوم شده با CFRP نسبت به منحنی دیگر کمتر می باشد ، همچنین خیز مدل تقویت شده به میزان ۳۶ درصد افزایش داشته است ؛ در حالیکه مقاومت دال در حد بسیار کمی افزایش داشته است . خیز مدل تقویت شده ۳۴ میلیمتر و میزان بار نهایی ۴۵۶kN حاصل شد ، در حالیکه خیز مدل مینا ۲۵ میلیمتر و بار نهایی آن ۴۴۹kN می باشد . با توجه به اینکه برای افزایش شکل پذیری و مقاومت برشی لازم است تا خطوط ترک برشی توسط تقویت کننده های برشی قطع گردند ، به نظر می رسد با بکار بردن گل میخ هایی از جنس CFRP در ناحیه بحرانی رابط بین صفحات CFRP بتوان مقاومت برشی و شکل پذیری را به نحو مناسبی افزایش داد .

۴- نتیجه گیری

با بررسی نتایج بدست آمده از مدل های المان محدود می توان به نتایج زیر دست یافت :

- ۱- مدل عددی تقریب خوبی نسبت به نتایج مدل آزمایشگاهی و خیز مربوطه داد .
- ۲- در المان محدود ساختمان های بتن آرمه انتخاب اندازه مش بندی مناسب برای ارضاء دقت و سرعت محاسبات مهم می باشد .
- ۳- خیز مدل تقویت شده توسط CFRP به میزان ۳۶ درصد افزایش داشته است ؛ در حالیکه مقاومت دال در حد بسیار کمی افزایش داشته است .
- ۴- اتصال دال-ستون تقویت شده توسط لایه های CFRP در بالا و پایین مدل به همراه گل میخ هایی از جنس CFRP در محدوده ناحیه بحرانی برش می تواند موثر باشد .

مراجع

- [1] FEMA. "FEMA-274 Commentary on the Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures." Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., pp. 6-1 – 8, 1997.
- [2] AISI, performance of Steel Buildings in Past Earthquakes: The Mexico Earthquake of 1985, American Iron and Steel Institute, Washington DC, pp. 45-64, 1991.
- [3] Dovich, L. & Wight, J. K. "Lateral Response of Older Flat Slab Frames and the Economic Effect on Retrofit", Earthquake Spectra 1996; 12(4): pp. 667-691, 1996.
- [4] Farhey, D. N., Adin, M. A., & Yankelevsky, D. Z. "Repaired RC Flat-Slab-Column Subassemblages under Lateral Loading", Journal of Structural Engineering, pp.1710-1720, November 1995.
- [5] Binici, B., and Bayrak, O., "Punching Shear Strengthening of Reinforced Concrete Flat Plates Using Carbon Fiber Reinforced Polymers," ACI Journal, Proceedings V.129, No.9-10, pp. 1173-1182, 2003.
- [6] Johnson, G. P., and Robertson, I.N., "Retrofit of Slab-Column Connections Using CFRP," 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 142, August 1-6, 2004.
- [7] Ngo D, Scordelis AC. "Finite-element analysis of reinforced concrete beams." *ACI Structural Journal*, 152-63, 1967.
- [8] Vidosa, F.G., Kostsovov, M.D., and Pavlovic, M.N., "Three-dimensional Nonlinear Finite Element Model for Structural Concrete." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Part 2 Research and Theory*, ISSN: 0307-8361, 91: 517-560, 1991.
- [9] ASCE, Task Committee on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures. *State-of-the-Art Report on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete*, ASCE Special Publications, 1982.
- [10] Malvar, L.J., "Punching Shear Failure of a Reinforced Concrete Pier Deck Model." *ACI Structural Journal*, 89(5):569-576, 1992.

- [11] Marzouk, H. and Chen, Z., "Finite Element Analysis of High Strength Concrete Slabs." *ACI Structural Journal*, 90(5):505-513, 1993.
- [12] Marzouk, H. and Jjiang, D., "Finite Element Evaluation of Shear Enhancement of High Strength Concrete Plates." *ACI Structural Journal*, 93(6):667-673, 1996.
- [13] Polak, M., "Modeling Punching Shear of Reinforce Concrete Slabs Using Layered Finite Elements." *ACI Structural Journal*, 95(1):71-80, 1998.
- [14] Gardner, NJ. and Shao, XY., "Punching Shear of Continuous Flat Reinforced Concrete Slabs." *ACI Structural Journal*, 93:216-228, 1996.
- [15] Kruger, G., Burdet, O. and Favre, R., "Punching Tests on RC Flat Slabs with Eccentric Loading." *2nd Int. Ph.D. Symposium in Civil Engineering*, Budapest, Hongrie, pp. 1-8, 1998.
- [16] Hallgren, M., "Punching Shear Capacity of Reinforced High Strength Concrete Slabs." *Thesis*, Royal Institute of Technology, Department of Structural Engineering, TRITA-BKN. Stockholm, Bulletin 23, 1996.
- [17] Menétrey, Ph., "Numerical Analysis of Punching Failure in Reinforced Concrete Structures." *Thesis*, Lausanne. (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Thèse 1279), 1994.
- [18] Kheyroddin, A. and Hoseini Vaez, S.R., "Finite Element Analysis of Slab Column Connections", Submitted to CSCE, 1st International Structural Specialty Conference Calgary, Alberta, Canada, 2005.
- [19] ANSYS. *ANSYS User's Manual Revision 9.0*, ANSYS, Inc., United States, 2004.
- [20] خیرالدین، ع. و حسینی واعظ، س.ر.، " معرفی روش های نوین جهت مقابله با برش پانچ " فصلنامه انجمن مهندسی عمران ایران، اساس، سال هفتم، شماره ۱۶، زمستان ۱۳۸۳.
- [21] حسینی واعظ، س.ر.، " بررسی عملکرد لرزه ای سیستمهای دال تخت "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی، ۱۳۸۴.