



## مدلسازی برش منگنه‌ای (پانچ) فونداسیون یک قاب ساختمانی

مرتضی نقی پور<sup>۱</sup>، کیا مقدس نیاک<sup>۲</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی بابل

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی بابل، [km.niak@gmail.com](mailto:km.niak@gmail.com)

### چکیده

پدیده برش منگنه‌ای در فونداسیون ساختمانها یکی از انواع خرابی در ساختمان‌ها می باشد که به دلیل ضعف در فونداسیون رخ می دهد. این نوع خرابی در ناحیه زیرین ۶ ستون از یک ساختمان ۵ طبقه مسکونی که دارای ۹ ستون بود، اتفاق افتاد و باعث تغییر مکان های نامتقارن در قاب این ساختمان شد. در مقاله حاضر فونداسیون این ساختمان با ابعاد واقعی و با مدل ماده ای تقریباً مشابه با مصالح به کار رفته در ساختمان مذکور در نرم افزار آباکوس مدلسازی شد و برش های منگنه ای فونداسیون در محل هر ستون مورد بررسی قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** برش منگنه ای، فونداسیون

### ۱- مقدمه

یکی از مهمترین بخش های یک قاب ساختمانی، فونداسیون است که نیروها و بارهای وارد بر ساختمان را به زمین منتقل می کند. یکی از عواملی که باعث تخریب یا کاهش عملکرد فونداسیون می شود برش پانچ یا برش منگنه ای می باشد. مکانیزم شکست پانچ از ترکیب تنش های برشی و فشاری در نزدیکی پای ستون بدست می آید که در این شکست، ستون در محل اتصالش با فونداسیون به صورت موضعی به شکل یک مخروط ناقص جدا می شود. از اینرو کنترل ظرفیت برش منگنه ای فونداسیون فاکتور بسیار مهم در طراحی آن می باشد. اکثر قریب به اتفاق تحقیقاتی که در زمینه برش منگنه ای انجام شده به بررسی این پدیده در محل اتصال ستون با دال پرداختند که به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره کرد.

در سال ۲۰۱۱ در دانشگاه ملی Seol توسط هونگ (Hong) و همکارانش [۴] آزمایشی انجام شد و در آن برای پیش بینی مقاومت برش پانچ در دالی با ستون میانی مدل مقاومتی ساخته شد. در این آزمایش مدلهایی ساخته شد که در آنها دو پارامتر مختلف اندازه و توزیع تنش برشی غیر یکنواخت مورد بررسی قرار گرفت. هونگ (Hong) [۴] در پژوهشی که بر روی دالهایی با درصد آرماتور خمشی متفاوت انجام داد نشان داد که درصد آرماتورهای خمشی، به اندازه مقاومت فشاری بتن و عمق موثر دال، بر روی مقاومت برش پانچ تاثیرگذار می باشد و با افزایش نسبت آرماتور خمشی، عمق منطقه فشار افزایش می یابد و در نتیجه باعث افزایش مقاومت برش پانچ می شود [۴].

در سال ۱۳۸۹ در دانشگاه سمنان توسط علی خیرالدین و نازنین کاشیها [۲] مقاله ای ارائه شد. در این مقاله کنفرانسی، ابتدا جهت اطمینان از صحت نتایج حل عددی، یک نمونه واقعی آزمایشگاهی دال پس کشیده در نرم افزار المان محدود ANSYS مدل سازی شد و مدل تحلیلی حاصل به کمک نتایج آزمایشگاهی واسنجی گردید. در این میان سه مدل رفتاری متفاوت (ویلیام - وارنک، فون - مایسز و دراگر - پراگر) برای مصالح بتن مورد

مطالعه قرار گرفت. پس از واسنجی، مطالعات گسترده‌ای روی مکانیزم گسیختگی برش پانچ، عوامل بنیادی ایجاد کننده گسیختگی، الگوهای ترک خوردگی و حالات تنش و کرنش در حد نهایی انجام شد. در ادامه، اهمیت و تأثیر پارامترهای مختلف از جمله تأثیر میزان پیش تنیدگی، مقاومت فشاری بتن، مقاومت تسلیم آرماتورها و ضخامت دال بر رفتار دال پس کشیده که مطالعه آن‌ها در برنامه‌های آزمایشگاهی مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است، طی یک مجموعه مطالعات پارامتریک مورد بررسی قرار گرفت [۲].

## ۲- مطالعه موردی

ساختمانی مسکونی ۵ طبقه در شهرستان بابل، در هنگام ساخت، تحت بارهای سرویس، دچار آسیب شده است. بازدید های اولیه نشان داد که این ساختمان که دارای ۹ ستون بود در ۶ نقطه از محل اتصال ستون به فونداسیون دچار پانچ شده و ساختمان به یک سمت منحرف شده است. پس از مشاهدات مقدماتی ملاحظه شد که فونداسیون اجرا شده نسبت به فونداسیون طراحی شده برای این ساختمان تفاوت هایی را داشته است و این تفاوت ها شامل حذف کلیه پاشنه های فونداسیون و تقلیل ضخامت آن بوده است [۱].

در مورد تفاوت های فاحش فونداسیون ساختمان با نقشه های طراحی شده می توان به این اشاره کرد که ضخامت آن در محل ستون های کناری و آکس A می بایست ۹۰ سانتی متر و در دیگر نقاط ۷۰ سانتی متر اجرا می شده که ضخامت همه نقاط فونداسیون ۶۰ سانتی متر اجرا گردید. در ضلع شمالی و جنوبی پاشنه هایی به طول ۱۱۰ سانتی متر و در ضلع غربی و شرقی به ترتیب پاشنه هایی به طول ۲۰ و ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شده بود که متاسفانه هیچکدام اجرا نگردید. مقاومت فشاری بتن فونداسیون در حین طراحی  $210 \text{ kg/cm}^2$  در نظر گرفته شده بود، در حالیکه مقاومت بتن فونداسیون اجرا شده در حدود  $85 \text{ kg/cm}^2$  می باشد [۱].

در مقاله حاضر برای بررسی تنش های به وجود آمده در فونداسیون این ساختمان و چگونگی وقوع برش پانچ (منگنه ای) در نقاط مختلف آن، فونداسیون ساختمان مذکور با ابعاد و هندسه واقعی و با آرماتورها و بتنی با مقاومت مشابه، آرماتورها و بتن اجرا شده در فونداسیون در نرم افزار ABAQUS شبیه سازی گردید.

## ۳- روش های عددی

یکی از روش هایی که برای انجام محاسبات در علوم مهندسی به کار می رود، روش های عددی می باشد. از این روش ها برای محاسبه و کنترل ظرفیت برش پانچ نیز می توان استفاده کرد اما به دلیل نا مشخص بودن رفتار بتن، حل عددی دقیقی نمی توان برای اجزای بتنی ارائه نمود. از سوی دیگر روش های عددی به دلیل ماهیتی که دارند قابلیت تعیین عواملی مانند نیروی آرماتورها، نیروی پیوستگی بین فولاد و بتن و ... را در محاسبه مقاومت پانچ دارند در حالی که مدل های مکانیکی و فرمول های آیین نامه ای قادر به انجام چنین کاری نمی باشند.

به عنوان یکی از کاراترین روش های عددی می توان به روش اجزا محدود اشاره کرد که می توان آن را به پنج مرحله کلی تقسیم کرد:

✓ تقسیم ناحیه مورد بحث به تعداد زیادی زیر ناحیه کوچک به نام المان. نقاط اتصال المان ها به یکدیگر گره نامیده می شود.

✓ تعیین تقریب اولیه برای حل یک تابع با ضرائب ثابت مجهول که همواره یا خطی است یا مرتبه دوم.

✓ استخراج دستگاه معادلات جبری

✓ حل دستگاه معادلات ایجاد شده

✓ محاسبه سایر کمیت ها از روی مقادیر گرهی [۳].

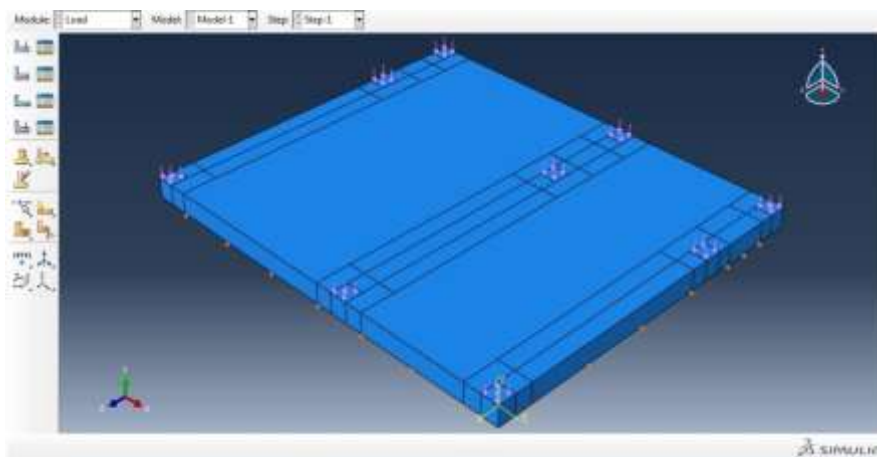
نرم افزار ABAQUS یکی از قدرتمندترین برنامه های شبیه سازی مهندسی است که بر مبنای روش اجزا محدود می باشد. این نرم افزار دارای مجموعه عظیمی از المان ها و مدل های مواد مختلفی است که قابلیت شبیه سازی هر هندسه و بسیاری از مواد رایج در مهندسی را برای آن فراهم کرده است. همچنین این نرم افزار قابلیت تحلیل مسائل ساختاری در سطوح مختلف مانند انتقال حرارت، انتقال جرم، کنترل حرارت اجزای الکتریکی و ... را دارا می باشد [۳].

#### ۴- بحث و بررسی

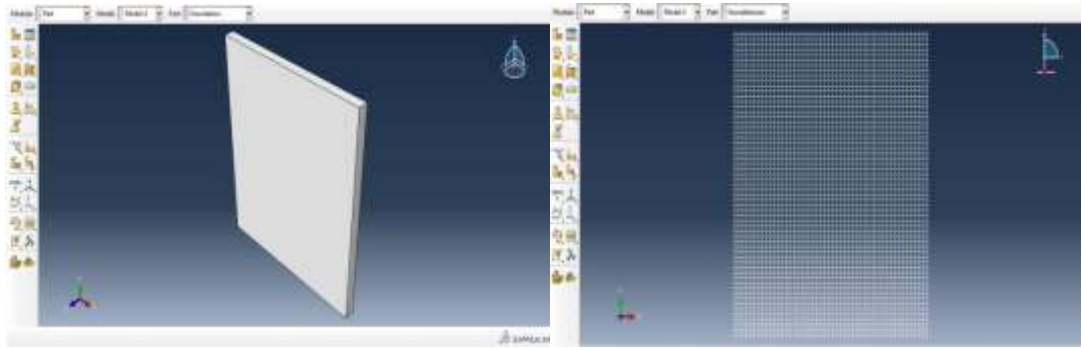
برای بررسی پدیده برش پانچ (منگنه ای) در فونداسیون ساختمان ۵ طبقه مسکونی مذکور ابتدا قاب اجرا شده این ساختمان مدل سازی شد و بارهایی که از هر ستون در محل اتصالش با فونداسیون به آن وارد می شود به دست آمد. فونداسیون اجرا شده ساختمان، همانطوری که در شکل ۱ نشان داده شده در نرم افزار ABAUS 6-12 مدل سازی و بارهای هر ستون در محل خودش به فونداسیون اعمال گردید. در روند مدل سازی موارد زیر انجام گرفت.

(۱) تعریف part و مشخصات مصالح

در ابتدای امر مدل سازی از ماژول part مکعبی بتنی به ابعاد  $۱۰*۱۰*۱۱/۸۵$  متر مکعب (شکل ۲) و شبکه میلگردهای موجود در فونداسیون مطابق شکل ۳ ایجاد گردید. سپس از ماژول property مشخصات مصالح بکار رفته در مدل سازی ایجاد و به part اختصاص داده شد. در تعریف مصالح بتن از آنجاییکه هدف از مدل سازی بررسی خرابی به وجود آمده در فونداسیون می باشد از مدل رفتاری **concrete damage plasticity** (شکل ۴) استفاده گردید تا رفتار بتن در کشش و فشار به طور مجزا تعریف گردد. میلگرد به کار رفته در فونداسیون از جنس فولاد بوده و و برای تعریف ناحیه جاری شدگی در میلگرد از مدل مصالح **plastic** استفاده شد.



شکل ۱: بارهای انتقالی از قاب به فونداسیون

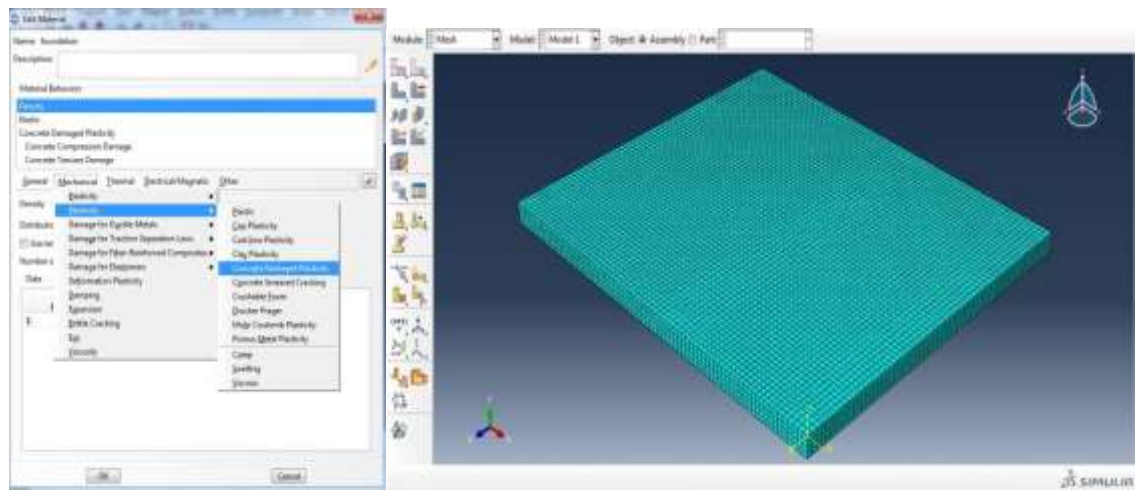


شکل ۲: مکعب بتنی برای مدلسازی فونداسیون

شکل ۳: شبکه میلگرد برای فونداسیون

(۲) سرهم بندی، بارگذاری و مش بندی

از ماژول Assembly دو part تعریف شده را فراخوانی کردیم و سپس شبکه میلگردهای فولادی را در مکعب بتنی قرار دادیم. از ماژول load مطابق شکل ۱ بارهای وارده از ستون ها بر فونداسیون را در محل اعمالشان ایجاد کردیم. و در نهایت از ماژول Mesh مدل ایجاد شده را همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده مش بندی کردیم. برای مکعب بتنی از مش C3D8R و برای میلگردها از مش B31 استفاده شد.

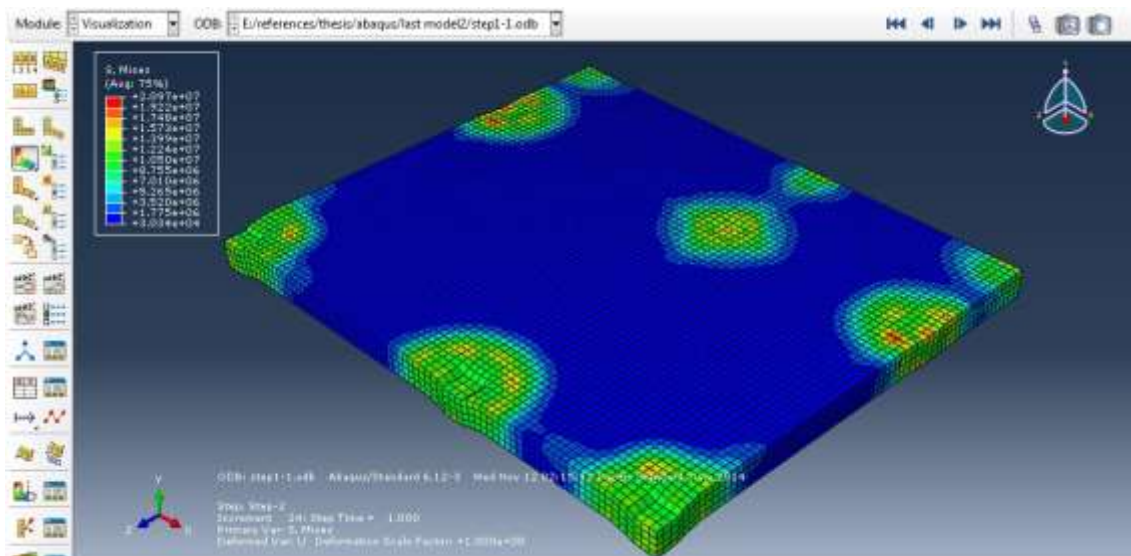


شکل ۴: مدل رفتاری تعریف شده برای بتن

شکل ۵: مش بندی فونداسیون مدلسازی شده

پس از پایان یافتن تحلیل، تغییر شکل هایی مطابق شکل ۶ از شبیه سازی فونداسیون بدست آمد. این تغییر شکل ها اختلافاتی کمتر از ۱۰٪ نسبت به تغییر مکان های واقعی ایجاد شده در فونداسیون مذکور داشته است. به طور مثال محل قرار گیری ستون های آکس A هر کدام حدود ۲۰ سانتی متر در جهت قائم تغییر مکان داشته اند در حالیکه موقعیت همین ستون ها در فونداسیون مدلسازی شده در بازه ۱۸ تا ۱۹ سانتی متر در جهت قائم تغییر مکان داشت و محل ستون های آکس B که تغییر مکانشان در حدود ۵ سانتی متر گزارش شده بود، این تغییر مکان در فونداسیون مدلسازی شده حدود ۴ تا ۵ سانتی متر بدست آمد و محل ستون های آکس C نه در فونداسیون واقعی و نه در فونداسیون شبیه سازی شده دچار هیچ خرابی نشدند. از نزدیکی تغییر مکان های بدست آمده از نتایج مدلسازی با تغییر مکان های واقعی به وجود آمده در فونداسیون ساختمان مورد مطالعه می توان

دریافت که موارد رعایت شده در مدل‌سازی و نتایج بدست آمده از آن، از صحت کافی برخوردار بوده و تنش‌های پسماند ایجاد شده در فونداسیون مقادیری نزدیک به واقعیت خواهد داشت.



شکل ۶: کانتورهای تنش ایجاد شده در فونداسیون شبیه‌سازی شده

همانطوریکه در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، کانتورهای تنش نشان داده شده در محل ستون‌های پانچ شده (آکس A و B) با توجه به مقادیرشان از مقاومت بتن فونداسیون که  $85 \text{ kg/cm}^2$  بود، فراتر رفته و این یعنی بتن فونداسیون در پیرامون محل قرارگیری ستون‌ها دچار ترک خوردگی شده و بخشی از تنش‌های موجود در بتن به میگلردهای درون فونداسیون منتقل شد. با ادامه این روند بازشدگی ترک‌های بتن فونداسیون بیشتر شده و این یعنی افزایش مقادیر تنشی که از بتن به میگلرد منتقل می‌شود. تنش‌های منتقل شده به میگلرد تا مرحله‌ای ادامه می‌یابد که بتن این ناحیه کاملاً از باربری خارج شده و همه تنش‌ها به میگلردها منتقل می‌شود. مقدار این تنش‌ها از تنش جاری شدگی میگلردهای فولادی موجود در فونداسیون بیشتر است. در این مرحله است که پدیده پانچ با جاری شدن میگلردها و وقوع یک تغییر شکل بزرگ تکمیل می‌شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

همانطوریکه می‌دانیم در طراحی فونداسیون‌ها بر اساس آیین‌نامه‌ها برش پانچ (منگنه‌ای)، در اکثر قریب به اتفاق آنها به عنوان یک معیار کنترلی مطرح است. در واقع ابتدا ابعاد و اندازه‌های فونداسیون تعیین می‌شود سپس ظرفیت برش پانچ آن با این ابعاد کنترل می‌شود که در صورت جوابگو نبودن، راهکارهای مناسبی باید اتخاذ شود. با توجه به مطالبی که در این مقاله ارائه شد و از یک نمونه واقعی این پدیده، به عنوان مطالعه موردی استفاده کردیم بر می‌آید که این معیار کنترلی در طراحی فونداسیون‌ها و همچنین دال‌ها نقش بسیار مهمی در تعیین ظرفیت باربری آنها دارد و کم توجهی به آن می‌تواند باعث وقوع زیان‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری شود.

## مراجع

- [۱] مهندسین مشاور شالوده های مقاوم عمران (شمع)، گزارش مطالعات و تحقیقات ژئوتکنیک امکان سنجی مقاوم سازی سازه و بهسازی زیرسازه
- [۲] خیرالدین، علی و کاشیها، نازنین، "بررسی رفتار سازه ای اتصال دال پسکشیده به ستون در معرض برش پانچ"، مجله مدلسازی در مهندسی، سال هشتم، شماره ۲۳
- [۳] لنگری، صدیقه، "بررسی امکان سنجی مقاوم سازی ساختمان های بتنی دارای شکست پای ستون به علت برش پانچ"، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مهندسی عمران، پایان نامه کارشناسی ارشد

[4] LC Hoang, Punching shear test on RC slabs with different initial crack pattern, 2011, procedia engineering 14, 1183-1189.