

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۱۳

مهرانگیز پیریایی^۱، امیرحسین پاپی^۲

ارزیابی رفتار و مقاومت نهایی تیرهای عمیق بتن مسلح دو سر ساده با استفاده از روش المان های محدود

چکیده :

به علت رفتار نامتقارن بتن در کشش و فشار و مسئله ترک خوردگی، و همچنین ابعاد تیرهای عمیق، جهت بررسی عوامل موثر در رفتار و مقاومت نهایی آنها بهتر است از تحلیل غیرخطی استفاده شود. در این مقاله رفتار بیش از ۱۰۰ نمونه تیر عمیق دو سر ساده با نسبت دهانه به ارتفاع، آرایش میلگرد و ابعاد متفاوت، تحت بارگذاری متمرکز از بالا با استفاده از نرم افزار انسیس مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با نتایج آزمایشات و نتایج روشهای تحلیل دیگر از قبیل تعادل نیروها، و روشهای آئین نامه ای مقایسه شده است. نتایج حاکی از آنست که با استفاده از روش تحلیل غیرخطی نتایج بهتری می توان به دست آورد. همچنین می توان نتیجه گرفت که چنانچه مقدار میلگرد مصرفی از ۲/۵ درصد اضافه تر گردد نه تنها به مقاومت تیر افزوده نمی شود بلکه باعث شکست زودرس تیر نیز می شود.

کلید واژه : تیر عمیق، بتن مسلح، برشی، خمشی، غیر خطی

۱- گروه معماری ، واحد دورود، دانشگاه آزاد اسلامی ، دورود، ایران

۲- گروه معماری ، واحد دورود، دانشگاه آزاد اسلامی ، دورود، ایران

۱- مقدمه و بیان مسئله

با توجه به کارایی بسیار بالای تیرهای عمیق بتن مسلح در ساختمانهای بلند، سازه‌های دریایی، پی‌های جعبه‌ای، سدها، پلها و سیلوها، در نتیجه رفتار اینگونه تیرها مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. به علت رفتار نامتقارن بتن در کشش و فشار، مسئله ترک‌خوردگی و هندسه آنها بهتر است از تحلیل غیرخطی برای اینگونه تیرها استفاده شود. در این مقاله نتایج حاصل از روش تحلیل غیرخطی برنامه انسیس جبا نتایج آزمایش، روش تعادل نیروها و آئین‌نامه‌ها مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل غیرخطی بر روی دو سری از تیرها انجام شده است. تیرهای سری اول در دانشگاه تربیت مدرس و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ساخته شده و در مرجع [۲]، به تفصیل در مورد آنها توضیح داده شده است. تیرهای سری دوم شامل ۸۲ نمونه است و توسط سایر محققین مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج و مشخصات آنها در مرجع [۳]، ارائه شده است. به طور خلاصه این تیرها دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۲، ۲/۴ و ۲/۸ و تیرهای شماره ۱B۱ تا ۱B۸ دارای یک شبکه و تیرهای شماره ۱B۹ تا ۱B۱۸ دو شبکه میلگرد جان از نوع ساده به قطر ۶mm و با میلگردگذاری اصلی متفاوت در بالا و پایین تیر هستند. تیرهای سری دوم دارای خصوصیات متنوع تری می باشند که در مرجع [۳] مشخصات و خصوصیات بتن و فولاد مصرفی آنها ارائه شده و به علت کمبود جا در اینجا از آوردن آنها صرفنظر می شود، فقط به صورت مختصر ابعاد تیرهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه می‌شود.

جدول ۱ مشخصات هندسی نمونه های سری اول

سری و شماره تیرها	دهانه L (mm)	عمق d (mm)	عرض b (mm)	نسبت دهانه به عمق
B۱ ۱B۴ تا ۱	۸۰۰	۴۰۰	۵۰	۲
۱B۸ تا ۱B۵	۸۰۰	۴۰۰	۵۰	۲
۱B۱۳ تا ۱B۹	۱۶۸۰	۶۰۰	۷۵	۲/۸
۱B۱۸ تا ۱B۱۴	۱۶۸۰	۷۵۰	۷۵	۲/۲۴

ادامه جدول ۱ مشخصات هندسی نمونه های سری دوم

سری و شماره تیرها	دهانه L (mm)	عمق d (mm)	عرض b (mm)	نسبت دهانه به عمق
۲B۴ تا ۲B۱	۸۰۰	۴۰۰	۵۰	۲
۲B۸ تا ۲B۵	۱۶۸۰	۶۰۰	۷۵	۲/۸
۲B۲۱ تا ۲B۹	۷۱۱	۳۵۰	۱۰۲	۲/۰۳
۲B۳۶ تا ۲B۲۲	۸۳۸	۳۵۰	۱۰۲	۲/۳۹
۲B۵۴ تا ۲B۳۷	۱۰۱۶	۳۵۰	۱۰۲	۲/۹۰
۲B۷۰ تا ۲B۵۵	۶۸۶	۲۵۰	۷۶	۲/۷۴
۲B۷۲ تا ۲B۷۱	۵۰۸	۲۵۰	۷۶	۲/۰۳
۲B۷۶ تا ۲B۷۳	۹۰۰	۸۹۰	۱۰۰	۱/۰۱
۲B۷۸ تا ۲B۷۷	۲۷۰۰	۸۹۰	۱۰۰	۳/۰۳
۲B۸۰ تا ۲B۷۹	۱۷۰۰	۸۹۰	۱۰۰	۱/۹۱
۲B۸۲ تا ۲B۸۱	۱۸۰۰	۸۹۰	۱۰۰	۲/۰۲

۲- رفتار و مقاومت نهایی

در حالیکه مفاهیم طراحی موجود براساس مشخصات تک محوری تنش- کرنش تنظیم شده‌اند، تحقیقات اخیر بطور قطعی ثابت کرده که تنها با در نظر گرفتن اثرات چند محوری که معمولاً در یک سازه وجود دارد، می‌توان رفتار حد نهایی المانهای بتن مسلح مانند تیرهای تحت خمش (یا خمش و برش) را توضیح داد [۳]. از تحقیقات صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت و رفتار تیرهای عمیق به عوامل مختلفی بستگی دارد به عنوان مثال دوسر سازه یا گیردار بودن تیر، نوع و محل اعمال بار، مقاومت بتن نوع و مقدار میلگرد استفاده شده از آن جمله‌اند [۳]، همچنین عوامل دیگر به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- مقاطع صفحه‌ای تیر بعد از خمش به صورت صفحه باقی نمانده و ممکن است که بیش از یک محور خمشی وجود داشته باشد.

- در مقام مقایسه، توزیع تنش در تیر با بارگذاری فوقانی با تیر با بارگذاری تحتانی متفاوت می‌باشد.
- بر روی تکیه‌گاه‌ها، خصوصاً در وجوه تکیه‌گاه، یک منطقه تنش محوری زیاد وجود دارد.
- ارتفاع مؤثر یک تیر عمیق به ارتفاعی برابر دهانه محدود می‌شود. در بالای این ارتفاع تیر مانند یک دیوار حمال عمل می‌کند و نقشی در حمل بار بین تکیه‌گاه‌ها ایفا نمی‌کند.
- کرنشهای عمودی و برشی در تیر عمیق در مقایسه با کرنشهای خمشی بزرگ هستند و بنابراین نقش مهمتری در تغییر شکل کلی تیر در مقایسه با تیرهای کم عمق دارند.
- بسته به تأثیر و مقدار آرماتور اصلی و آرماتور جان، مقاومت بتن و هندسه تیر طریقه‌های شکست مختلفی از جمله طریقه شکست خمشی، برشی یا شکاف قطری، لهیدگی، کمانش و خمش به علاوه برشی را برای تیرهای عمیق گزارش کرده‌اند که اغلب بر پایه مشاهدات آزمایشگاهی استوار می‌باشند [۳]. از میان روشهای تحلیل رایج روش تعادل نیروها برای پیش‌بینی طریقه شکست روش مناسبی می‌باشد [۴]. در ادامه بحث اشاره‌ای به انواع روشهای تحلیل خواهد شد و پس از آن روش اصلی مورد استفاده این مقاله که روش تحلیل غیرخطی توسط نرم افزار انسیس می‌باشد و نتایج آن تشریح خواهد شد.

۳- روشهای تحلیل

روشهای تحلیلی موجود شامل روش تعادل نیروها و روشهای آئین‌نامه‌ای که قبلاً توضیح داده شد و روش تحلیل غیرخطی برنامه انسیس می‌باشند. بار نهایی حاصل از این روشها با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده که نشان دهنده دقت روشهای مختلف در این مورد می‌باشد.

۳-۱- تحلیل غیرخطی برنامه انسیس

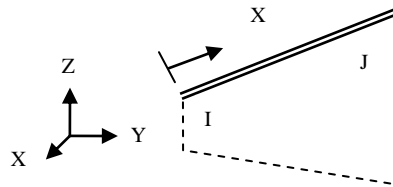
با توجه به عملکرد غیرخطی تیرهای عمیق از تحلیل غیرخطی، نرم افزار انسیس که قابلیت‌های بسیار زیادی در تحلیل غیرخطی دارد استفاده شده، شایان ذکر است تیرها از بالا و وسط دهانه به صورت استاتیکی بارگذاری شده‌اند.

۳-۱-۱- مدل سازی بتن و فولاد

در تحلیل غیرخطی، معرفی تنش و کرنش مصالح بسیار حائز اهمیت می‌باشد تا شرایط واقعی تطبیق داده شود، بنابراین مصالح (بتن و فولاد) به طور جداگانه به برنامه معرفی می‌شوند تا امکان دخالت دادن رفتارهای خاص هر یک مقدور باشد. از لحاظ اتصال بین فولاد و بتن، یک چسبندگی کامل بین اجزاء فرض شده است.

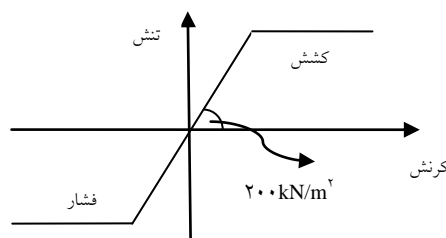
الف- مدل سازی آرماتور

برای فولاد از «المان LINK8» استفاده شده است؛ (شکل ۱). این المان تک محوری، دو گره دارد چون فولاد رفتار محوری دارد، مناسب‌ترین مدل برای شکست آن معیار فون- میزس است.



شکل ۱ المان فرض شده برای فولاد (LINK8)

منحنی رفتار آن به صورت الاستوپلاستیک کامل با شیب قسمت پلاستیک صفر در نظر گرفته شده است؛ (شکل ۲). این مقدار اخیر با واقعیت تطبیق دارد چون عوامل زوال مقطع در فولاد وجود ندارد. برای اطمینان از ورود فولاد به ناحیه پلاستیک و عملکرد نرم، حد معتبر کرنش پلاستیک ۱۰٪ در نظر گرفته شده است.



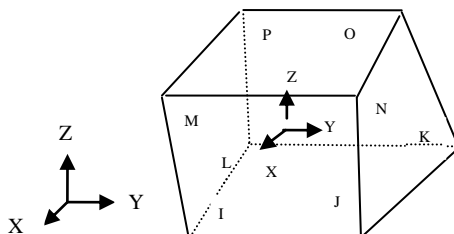
شکل ۲ رابطه تنش - کرنش برای فولاد

ب- مدل سازی بتن

برای بتن المان اختصاصی «بتن» به نام SOLID65 استفاده شده است؛ (شکل ۳). این المان با تغییر شکلهایش قادر است خود را با شرایط غیرخطی مسأله وفق دهد [۶]. با توجه به دستورالعمل برنامه مقدار ضریب انتقال برش برای ترک های باز ۰/۳ و برای ترک های بسته ۰/۹ و ضریب پواسون ۰/۳ استفاده گردید. پارامتر دیگر برای بتن، حد کرنش ماکزیمم است که آیین نامه ها مقادیر نزدیک به هم را توصیه می کنند. در آیین نامه بتن ایران آبا مقداری بین ۰/۰۳ و ۰/۰۳۵ توصیه شده است [۱۰]. برای تیر عمیق وجود تنش دو محوره فشاری در ناحیه بالای مقطع باعث می شود که کرنش بیشینه از حد تیرهای معمولی بالاتر رود از این رو در این مقاله حد ماکزیمم کرنش یعنی ۰/۰۳۵ انتخاب شده است. جدول ۳ مقایسه نسبت مقاومت نهایی به آزمایش

آزمایش	تحلیل				
	نسبت بار نهایی تحلیل به آزمایش				
سری اول					
تیرها	بار نهایی (kN)	ACI	CIRIA	تعادل نیرو	ANSYS
۱B۱	۱۵۵	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۹۷
۱B۲	۱۸۱	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۹۸
۱B۳	۲۰۲	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۹۷
۱B۴	۱۶۵	۰/۸۳	۰/۸۶	۱/۰۲	۰/۹۸
۱B۵	۳۸	۰/۴۵	۰/۳۶	۱/۱۲	۰/۹۶
۱B۶	۴۴	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۹۴

۱B۷	۱۳۲	۰/۶۰	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۹۳
۱B۸	۴۷	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۹۲	۰/۹۱
۱B۹	۲۶۴	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۸۹
۱B۱۰	۴۰۶	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۷۸
۱B۱۱	۴۱۸	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۸۲
۱B۱۲	۳۱۱	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۹۳
۱B۱۳	۳۸۵	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۹۵
۱B۱۴	۲۶۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۵۳	۰/۷۹
۱B۱۵	۲۸۷	۰/۱۲	۰/۱	۰/۴۸	۰/۸۵
۱B۱۶	۴۱۸	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۶۲	۰/۹۶
۱B۱۷	۴۹۲	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۶۴	۰/۸۴
۱B۱۸	۳۶۴	۰/۷۷	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۹۱



شکل ۳ المان فرض شده برای بتن (SOLID65)

۳-۱-۲- تحلیل بار

این نوع تحلیل از طریق اعمال بار با گامهای کوچک (روش تکراری- افزایشی) و استفاده از پارامترهای کنترل کننده زیر انجام گرفت:

- (i) تعداد ۱۰ گام بارگذاری (تکرار) برای هر افزایش بار که به میزان ۱۰٪ بار نهایی مفروض می‌باشد.
(ii) روش نیوتن رافسون اصلاح شده.

بار نهایی محاسبه شده از این طریق توسط برنامه انسیس برای تیرها در جدول ۳ لیست شده و قابل مقایسه با بارهای نهایی آزمایش و سایر روشهای تحلیل می‌باشد.

۳-۱-۳- نتایج

در جداول ذیل نسبت بار نهایی محاسبه شده از تحلیل به آزمایش توسط روش های مختلف برای ۱۰۰ نمونه از تیرها لیست شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود جوابهای برنامه انسیس دارای دقت بالاتری نسبت به سایر روشهاست.

ادامه جدول ۳ مقایسه نسبت مقاومت نهایی به آزمایش

آزمایش	تحلیل				
	نسبت بار نهایی تحلیل به آزمایش				
سری دوم					
تیرها	بار نهایی (kN)	ACI	CIRIA	تعداد نیرو	ANSYS
۲B۱	۱۵۵	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۹۱
۲B۲	۱۸۱	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۷۳	۰/۸۹
۲B۳	۲۰۲	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۷۸
۲B۴	۱۳۲	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۸۲
۲B۵	۴۰۶	۰/۴۵	۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۹۳
۲B۶	۴۱۸	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۹۱
۲B۷	۳۱۱	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۹
۲B۸	۴۹۲	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۶۳	۰/۷۸
۲B۹	۳۲۸	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۸۲
۲B۱۰	۲۸۸	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۹۳
۲B۱۱	۳۰۲	۰/۷۳	۰/۵۰	۰/۹۲	۰/۹۵
۲B۱۲	۳۴۸	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۷۹
۲B۱۳	۳۷۴	۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۵۰	۰/۸۸
۲B۱۴	۳۵۶	۰/۹۷	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۶۵
۲B۱۵	۳۴۸	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۷۳
۲B۱۶	۳۵۰	۰/۷۶	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۶۵
۲B۱۷	۳۳۰	۰/۹۷	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۷۳
۲B۱۸	۳۲۸	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۷۸
۲B۱۹	۳۶۴	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۵۳	۰/۸۲
۲B۲۰	۳۵۲	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۹۳
۲B۲۱	۳۴۲	۰/۴۵	۰/۹۲	۰/۴۲	۰/۹۵
۲B۲۲	۳۰۰	۰/۳۵	۰/۷۲	۰/۵۸	۰/۷۸
۲B۲۳	۲۹۲	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۸۶	۰/۹۷
۲B۲۴	۲۸۶	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۹۸
۲B۲۵	۳۱۲	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۲۸	۰/۹۷
۲B۲۶	۲۶۲	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۹۸
۲B۲۷	۲۹۶	۰/۸۶	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۹۶
۲B۲۸	۲۶۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۹۴
۲B۲۹	۲۵۶	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۷۳	۰/۹۳

ادامه جدول ۳ مقایسه نسبت مقاومت نهایی به آزمایش

آزمایش	تحلیل				
	نسبت بار نهایی تحلیل به آزمایش				
سری دوم					
تیرها	بار نهایی (kN)	ACI	CIRIA	تبادل نیرو	ANSYS
۲B۳۰	۳۰۶	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۸۸
۲B۳۱	۲۶۶	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۹۲
۲B۳۲	۳۲۴	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۸۳
۲B۳۳	۳۲۲	۰/۶۲	۰/۸۶	۱/۰۲	۰/۷۵
۲B۳۴	۳۱۶	۰/۴۸	۰/۳۶	۱/۱۲	۰/۸۹
۲B۳۵	۳۳۰	۰/۶۵	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۶۸
۲B۳۶	۳۱۲	۰/۷۳	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۹۱
۲B۳۷	۲۴۲	۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۹۲	۰/۸۹
۲B۳۸	۲۵۲	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۷۸
۲B۳۹	۲۶۶	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۸۲
۲B۴۰	۲۵۰	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۹۳
۲B۴۱	۲۵۲	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۹۵
۲B۴۲	۲۱۲	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۹۱
۲B۴۳	۲۳۴	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۹۴
۲B۴۴	۲۵۴	۰/۲۹	۰/۵۵	۰/۸۶	۰/۹۳
۲B۴۵	۲۵۲	۰/۴۸	۰/۷۵	۰/۳۶	۰/۸۱
۲B۴۶	۲۸۶	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۲۸	۰/۷۴
۲B۴۷	۲۵۴	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۸۹
۲B۴۸	۲۶۰	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۷۸
۲B۴۹	۲۸۰	۰/۷۴	۰/۵۰	۰/۸۸	۰/۸۲
۲B۵۰	۲۶۲	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۷۵	۰/۷۵
۲B۵۱	۲۹۸	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۷۴
۲B۵۲	۳۱۰	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۷۲
۲B۵۳	۳۱۲	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۶۶	۰/۹۰
۲B۵۴	۳۲۴	۰/۲۹	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۸
۲B۵۵	۱۷۸	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۷۷
۲B۵۶	۱۸۲	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۹۲
۲B۵۷	۴۸۶	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۸۲
۲B۵۸	۴۵۶	۰/۷۵	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۸۰

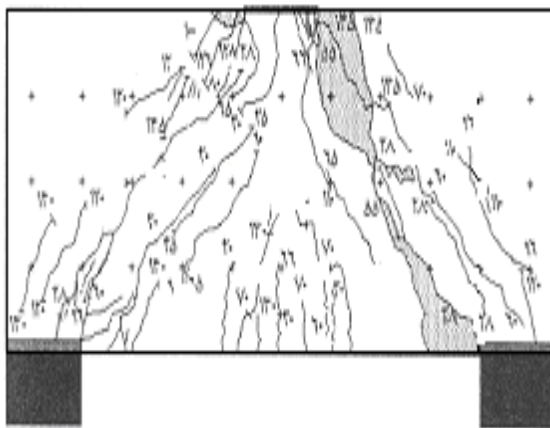
ادامه جدول ۳ مقایسه نسبت مقاومت نهایی به آزمایش

آزمایش	تحلیل				
	نسبت بار نهایی تحلیل به آزمایش				
سری دوم					
تیرها	بار نهایی (kN)	ACI	CIRIA	تعداد نیرو	ANSYS
۲B۵۹	۳۸۶	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۸۲
۲B۶۰	۳۳۴	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۹۳
۲B۶۱	۵۰۸	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۹۵
۲B۶۲	۴۵۶	۰/۶۳	۰/۸۶	۱/۰۲	۰/۷۸
۲B۶۳	۴۳۸	۰/۵۵	۰/۳۶	۱/۱۲	۰/۹۷
۲B۶۴	۲۸۴	۰/۷۵	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۸۲
۲B۶۵	۲۰۴	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۷۳
۲B۶۶	۴۸۸	۰/۶۶	۰/۲۹	۰/۹۲	۰/۸۵
۲B۶۷	۴۲۴	۰/۸۸	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۶۹
۲B۶۸	۳۵۲	۰/۷۵	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۸۸
۲B۶۹	۱۵۸	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۸۳
۲B۷۰	۲۶۰	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۹۳
۲B۷۱	۱۷۲	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۸۵
۲B۷۲	۲۰۶	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۸۲
۲B۷۳	۷۵۰	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۹۵
۲B۷۴	۲۹۹	۰/۸۳	۰/۵۶	۰/۸۶	۰/۷۶
۲B۷۵	۹۷۰	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۹۷
۲B۷۶	۱۲۹۶	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۸۲
۲B۷۷	۴۲۲	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۸۲
۲B۷۸	۶۱۵	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۷۰
۲B۷۹	۱۷۵	۰/۸۳	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۸۶
۲B۸۰	۳۹۸	۰/۶۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹۷
۲B۸۱	۱۱۲۱	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۸۲
۲B۸۲	۹۲۲	۰/۷۸	۰/۵۸	۰/۵۲	۰/۶۲

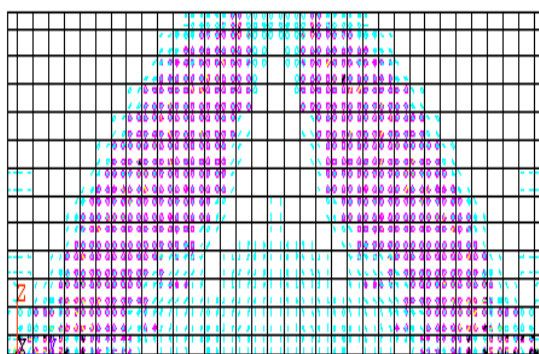
۳-۱-۴- شکل گیری ترک ها

نتایجی که می توان از مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج تحلیل گرفت حاکی از آن است که اولین ترکها در وسط دهانه تیرها بوجود آمده و این ترکها در باری حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد بار نهایی به وجود می آیند، در صورتی که شیوه گسیختگی خمشی حاکم باشد تا زیر نقطه بارگذاری ادامه می یابند. این ترکها، در تیرهایی که شیوه شکست آنها برشی است، گسترش نمی یابند. با اضافه شدن بار، ترکهای قطری که معمولا در وسط دهانه برشی تیر به وجود می آیند شروع به شکل گیری کرده و به سمت نقطه بارگذاری و تکیه گاهها گسترش می یابند. با افزایش بارگذاری تعداد ترکهای قطری که بر روی سطح تیر به صورت کرهای

شاری نمایان می گردند افزایش می یابند؛ (شکل ۴).



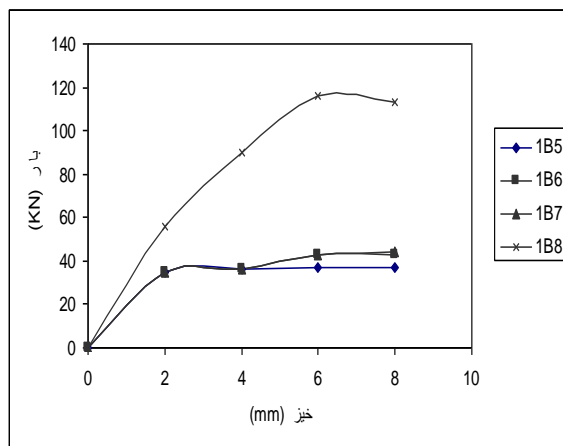
الف- آزمایشگاهی



ب- برنامه انسیس

شکل ۴ نمونه ای از شکل گیری و رشد ترکها

روند گسیختگی برشی در نمونه تیرهای مدل سازی شده با انسیس ، به این صورت است که پس از آنکه نیروی برشی اعمالی بیش از حد مقاومت نهایی تیر رسید گسیختگی در امتداد یکی از ترکهای قطری شروع شده، باربری تیر به یکباره کم می گردد؛ (شکل ۵).



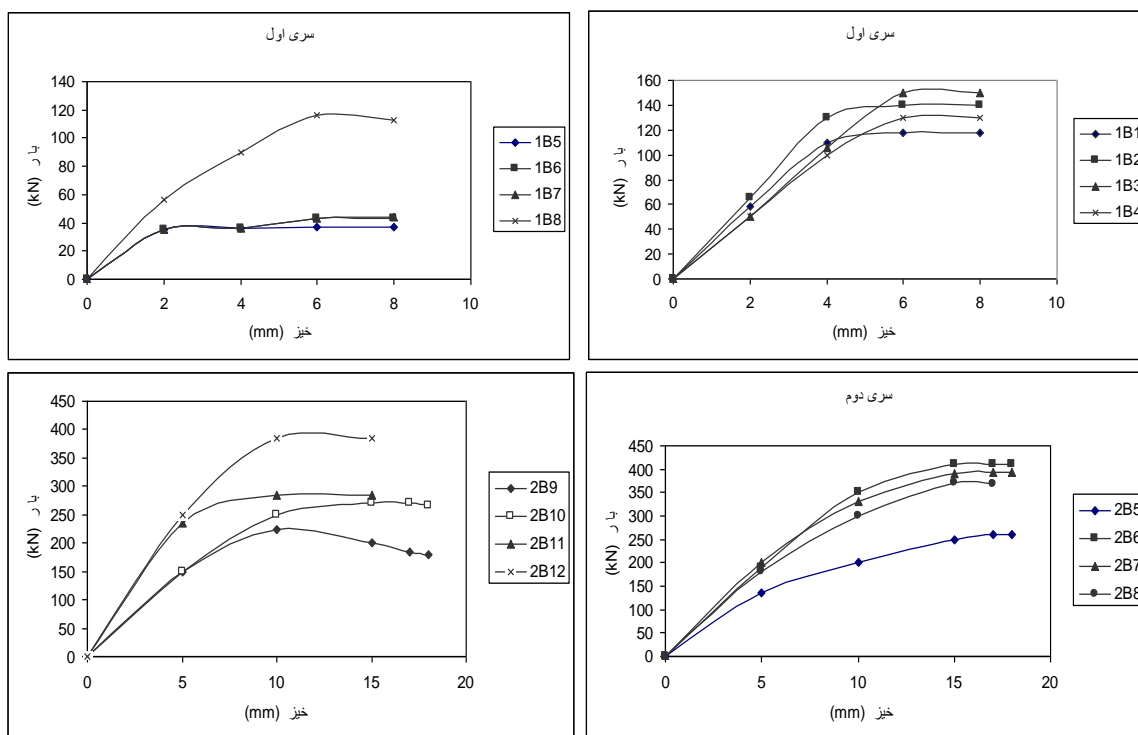
شکل ۵ روند گسیختگی برشی

در ضمن شکست برشی همراه با خرد شدن در کنار نقطه بارگذاری و تکیه گاه رخ می دهد که بیانگر مکانیزم گسیختگی برشی است.

۳-۱-۵- تغییر مکانها

بیشترین تغییر مکان در زیر بار متمرکز (وسط دهانه) بوده است. این امر بدون در نظر گرفتن نوع میلگرد مصرفی در تیرها صادق است. برای مقایسه تغییر مکانها در هر سری از این تیرها نمودارهایی رسم شده است؛ (شکل ۷). علت انتخاب وسط دهانه، وجود حداکثر تغییر مکان در آن است. با توجه به شکل ۷ مشخص می‌گردد که تغییر مکان وسط دهانه، رابطه مستقیم با میلگرد مصرفی دارد.

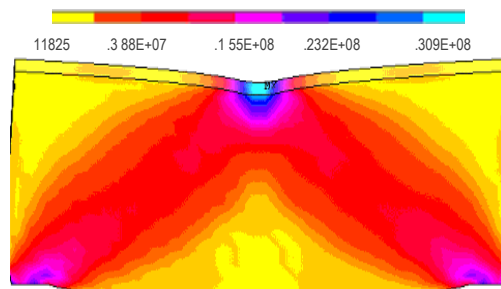
از مقایسه نمودارها چنین برمی‌آید که نمونه‌های ۱B۱ تا ۱B۴ منحنی تغییر مکان _ نیرو تقریباً مشابهی دارند و این در حالی است که در نمونه‌های ۱B۵ تا ۱B۸ نمونه ۱B۷ به علت تغییر مقاومت آرماتورهای مصرفی، مقاومت بالاتری دارد و نشان دهنده این واقعیت است که مقاومت‌نهایی تیرهای عمیق بتن مسلح به مقدار زیادی متأثر از مقاومت آرماتورهای مصرفی می‌باشد. مقایسه تیرهای سری دوم (۸۲ نمونه) نتایج ذکر شده در بالا را تایید می‌نماید. برای نمونه نمودارهای تیرهای شماره ۲B۵ و ۲B۶ و ۲B۷ و ۲B۸ و ۲B۹ و ۲B۱۰ و ۲B۱۱ و ۲B۱۲ ترسیم شده است.



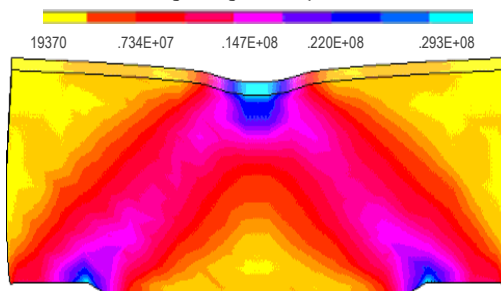
شکل ۷ نمودار تغییرات نیرو با جابه جایی

۳-۱-۶- شدت تنشهای اصلی

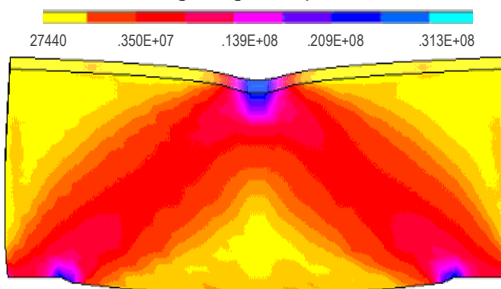
از شدت تنشهای اصلی نمونه که در شکل ۶ نشان داده شده می‌توان نتیجه گرفت که:
 - تنشهای فشاری اصلی خارج از محدوده مفروض (مسیر نیروی فشاری که بارنگ تیره نشان داده شده)، عملاً فاقد اهمیت بوده و کاهش پیش‌بینی شده شدت تنش‌رانشان می‌دهد.
 - انتشار تنش در وسط ارتفاع تیر دلالت بر تنشهای کششی دارد که می‌تواند در شکست ناگهانی تیر موثر باشد.



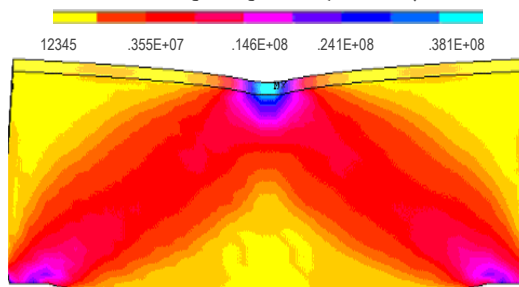
الف - تنشهای تیر شماره ۱B۱



ب - تنشهای تیر شماره ۱B۷



پ - تنشهای تیر شماره ۲B۱۹



ت - تنشهای تیر شماره ۲B۲۸

شکل ۶ نمونه هایی از شدت تنش های اصلی در تیرها

۴- نتیجه گیری

از مدل سازی و تحلیل های انجام شده، می توان نتیجه گرفت:

- ۱- میانگین نسبت مقاومت نهایی پیش بینی شده به مقاومت واقعی در روش ACI برابر ۰/۶۴، در روش CIRIA برابر ۰/۶۸، در روش تعادل نیرو برابر ۰/۸۷ و در روش برنامه ANSYS برابر ۰/۹۰، می باشد. بنابراین روش های CIRIA، ACI در پیش بینی مقاومت نهایی برشی محافظه کارانه عمل کرده و روش تعادل نیرو نتایج بهتری را نسبت به ACI، CIRIA نشان می دهند و برنامه "انسپس" نسبت به سایر روشها بهتر عمل کرده و با خطای کمتر و ضرائب اطمینان خوبی در مقایسه با نتایج آزمایشات مقاومت نهایی برشی را پیش بینی می کند.

- ۲- شیوه‌های گسیختگی تیرها، بستگی زیاد به مقدار میلگرد خمشی و فشاری مصرف شده دارد. هر گاه از مقادیر اندکی (۰/۱ تا ۰/۵ درصد) میلگرد خمشی استفاده شود، شیوه‌گسیختگی خمشی خواهد بود و هرگاه از مقادیر متوسطی (۰/۵۰ تا ۲ درصد) میلگرد خمشی استفاده شود، شیوه‌گسیختگی برشی و هرگاه از مقادیر بالایی (۲ تا ۲/۵ درصد) میلگرد خمشی استفاده شود، شیوه‌گسیختگی زودرس (موضعی) اتفاق خواهد افتاد. قابل توجه اینکه گسیختگی موضعی در این تیرها بر روی تکیه‌گاه اتفاق افتاد که این امر را باید به علت کوچک بودن سطح تکیه‌گاه و تمرکز تنش دانست.
- ۳- بار ترک خوردگی عموماً بسیار کمتر از بار نهایی است، ترکهای اصلی معمولاً ۳۵ درصد تا ۷۵ درصد بار نهایی در تیر تشکیل می‌شوند.
- ۴- مقاومت نهایی رابطه مستقیم با مقدار میلگرد و مقاومت بتن استفاده شده دارد.
- ۵- از مقایسه شکل‌های ترک خوردگی، مشاهده می‌شود ترکهای ایجاد شده در نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های مدل شده به وسیله برنامه انسیس، انطباق خوبی با هم دارند.
- ۶- تمرکز تنش لهیدگی زیر بارها دارای اثرات موضعی بوده و اثری بر روی مقاومت کلی تیرهای عمیق ندارد.
- ۷- بیشترین تغییر مکان در زیر بار متمرکز (وسط دهانه) بوده است. این امر بدون در نظر گرفتن نوع میلگرد مصرفی صادق است.

۵- مراجع

- [۸] امیدی نسب، فریدون؛ "پیش بینی مقاومت نهایی برشی تیرهای عمیق بتن مسلح با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"; پایان نامه کارشناسی ارشد، عمران- سازه، دانشگاه تربیت مدرس؛ (۱۳۸۱).
- [۹] آیین نامه بتن ایران "آبا"; (بهار ۱۳۷۵).
- [۱۰] ریاحی، فرهاد؛ "بررسی روشهای مختلف تحلیل و طراحی تیرهای عمیق دو سر ساده"; پایان نامه کارشناسی ارشد؛ عمران- سازه؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ (۱۳۷۶).

- [1] Arabzadeh, A.; "Analysis of ExperimentalResults of Simply Supported Deep BeamsUsing Turss Analogy Method"; Iranian Journal..of Science and Technology Shiraz University;Vol.25; No.1; (2001); pp. 115-128.
- [2] Arabzadeh, A., Adibi, M., and Ershadi B.;"Analysis of Simply Supported ReinforcedConcrete Deep Beams"; International Journalof Engineering Science University of Scienceand Technology ;(1999); pp. 110.
- [3] Asin, M. and Walraven, j. ;"Numericalanalysis of reinforced concrete deep beams ".....;Heron ;Vo l. 40 ;No. 2 ;(2004) ;pp. 163-178.
- [4] ACI; "Building Code Requirements forReinforced Concrete"; American ConcreteInstitute; Detroit ; (1995); pp.111.
- [5] CIRIA Guide 2;"The Design of Deep Beamsin Reinforced Concrete" ;Ove-Arup andPartners,Construction Industry Research and ...Information Association;London; (1977);pp131
- [6] ANSYS; " HELP V.6.1"; (2001); pp.2788.
- [7] Kong,F. K. "Reinforcement Concrete DeepBeams";Blackie and Son Ltd; Glasgow andLondon ;(1990); pp.288.