



مدل سازی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با آرماتور خارجی پیش کشیده و پیش بارگذاری شده با استفاده از روش اجزا محدود

مرتضی نقی پور^۱، مرضیه نعمتی^۲

۱-۲- دانشگاه صنعتی بابل

m-naghi@nit.ac.ir

خلاصه

استفاده از آرماتورهای خارجی یکی از روش‌های مقاوم سازی در مرحله بعد از بارگذاری و قبل از شکست می‌باشد که تاکنون به طرق مختلف کار مقاوم سازی با استفاده از آرماتورهای خارجی صورت گرفته است. به منظور مدل سازی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با آرماتور خارجی، تعدادی تیر بتن آرمه در ۲ دسته جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. مقاوم سازی توسط نصب آرماتور خارجی در طرفین تیر در تراز برابر با آرماتور کششی صورت گرفته است. نتایج مدل سازی در *Ansys* نشان می‌دهد که این روش مقاوم سازی باعث افزایش ظرفیت خمشی تیرها می‌شود این نتایج با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، مطابقت دارد.

کلمات کلیدی: تقویت با آرماتور خارجی، تیر بتن آرمه پیش بارگذاری شده، آرماتور خارجی پیش کشیده، تحلیل غیرخطی المان محدود، *Ansys*

مقدمه

سازه‌ها و اجزای آن به دلایل مختلفی نیاز به مقاوم سازی پیدا می‌کنند. عوامل عمومی که نیاز به مقاوم سازی را ایجاد می‌کند عبارتند از خطای طراحی، تغییر کاربری، اجرای نادرست، خرابی ناشی از گذشت زمان، عوامل محیطی و صدمات ناشی از جنگ و زلزله. امروزه به دلایل اقتصادی و فرهنگی، مقاوم سازی به جای روش‌هایی مانند تعویض و دوباره سازی مورد توجه قرار گرفته است. مقاوم سازی ساختمان‌ها شامل تقویت ستون‌ها، تیرها، اتصالات دیوارها و قاب‌های سازه‌ای می‌باشد. در این بین مقاوم سازی تیرهای بتن آرمه مورد توجه محققان بسیاری بوده است. روش‌های معمول مقاوم سازی تیرها عبارتند از: اتصال ورق‌های فولادی و کامپوزیت، استفاده از کابل‌های پیش تنیده و آرماتور خارجی. [۱] و [۶]

در این تحقیق توسط نرم افزار *Ansys*، تیرهای بتن آرمه تقویت شده با آرماتور خارجی مدل شده و در تحلیلی غیر خطی مقاومت نهایی و شکل پذیری آن‌ها تعیین می‌گردد. این تحقیق در دو فاز جداگانه صورت می‌گیرد. در فاز اول به بررسی تاثیر آرماتور خارجی در تیرهایی می‌پردازیم که قبل از مقاوم سازی تحت درصدی از بار نهایی خود بودند و با ثابت نگه داشتن بار روی آن‌ها، عملیات مقاوم سازی صورت گرفته است. این فاز شامل ۴ نمونه می‌باشد که در سه گروه جداگانه بررسی شدند و تفاوت گروه‌ها در درصد آرماتور داخلی آن‌ها می‌باشد و در هر گروه یک تیر به عنوان تیر مرجع (بدون پیش بارگذاری) می‌باشد. [۴] و [۵]

فاز دوم شامل، مدل سازی و تحلیل تیرهای بتن آرمه‌ای می‌باشد که بوسیله آرماتور خارجی پیش کشیده مقاوم سازی شدند و در این فاز نیز تعداد ۵ نمونه در ۲ گروه بررسی شدند که معیار تقسیم بندی آنها، درصد آرماتور داخلی تیرها می‌باشد. در هر دسته یک تیر به عنوان تیر مرجع (بدون آرماتور خارجی) و یک تیر با آرماتور خارجی بدون پیش کشیدگی وجود دارد و در سایر تیرها، آرماتور خارجی با نیروی متفاوتی پیش کشیده شده‌اند.

^۱ دانشیار دانشگاه صنعتی بابل

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی بابل



شرح کلی تیرهای مدل شده در Ansys

به منظور مدل سازی تیرها بوسیله نرم افزار *Ansys* و تعیین میزان بار نهایی آن‌ها و تاثیر پارامترهایی نظیر درصد پیش‌بارگذاری تیرها و میزان پیش‌کشیدگی آرماتور خارجی، همچنین درصد آرماتور داخلی بر روی مقاومت و شکل‌پذیری تیرها، تعداد ۲۴ تیر بتن‌آرمه با ابعاد $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ و طول دهانه 1.8 m مورد بررسی قرار گرفتند. تمامی تیرها در دو نقطه بارگذاری شدند و طراحی به گونه‌ای است که تمام تیرها در مود خمشی تخریب گردند.

نمونه‌ها در دو سری دسته بندی شدند. در سری اول، پارامتر مورد بررسی میزان پیش‌بارگذاری تیرها و در سری دوم، پارامتر مورد نظر میزان پیش‌کشیدگی آرماتور خارجی می‌باشد.

جزئیات مربوط به تیرهای دسته اول و دوم به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. [۴] و [۵]

جدول ۱- جزئیات تیرهای گروه اول

نام نمونه	نوع نمونه	آرماتور داخلی چسبیده			آرماتور خارجی غیرچسبیده			مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن kg/cm^2	درصد پیش‌بارگذاری اولیه	درصد ابتدای مقاوم سازی
		تعداد	قطر	تنش تسلیم kg/cm^2	تعداد	قطر	تنش تسلیم kg/cm^2			
A	مرجع	۳	۱۶	۴۲۰۰	-	-	-	-	-	
A ₁	تقویتی	۳	۱۶	۴۲۰۰	۲	۱۲	۳۵۴۹	۳۹۶,۴	۶۵,۴	
A ₂	تقویتی	۳	۱۶	۴۲۰۰	۲	۱۲	۳۵۴۹	۳۶۵,۴	۷۷	
B	مرجع	۳	۱۴	۴۲۶۹	-	-	-	۳۱۰,۴	-	
B ₁	تقویتی	۳	۱۴	۴۲۶۹	۲	۱۴	۴۲۶۹	۳۹۲	۶۸	
C	مرجع	۲	۱۴	۴۲۶۹	-	-	-	۳۶۳,۲	-	

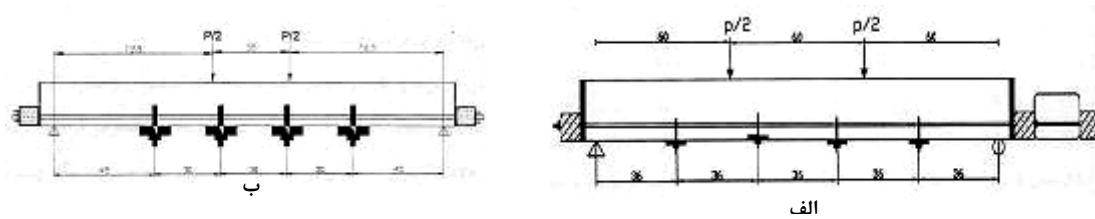
جدول ۲- جزئیات تیرهای گروه دوم

نام نمونه	نوع نمونه	آرماتور داخلی چسبیده			آرماتور خارجی غیرچسبیده			مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن kg/cm^2	نیروی پیش‌تنیدگی kg
		تعداد	قطر	تنش تسلیم kg/cm^2	تعداد	قطر	تنش تسلیم kg/cm^2		
A ₁	مرجع	۴	۱۲	۳۲۶۳	-	-	-	۳۴۵	۰
A ₂	تقویتی	۴	۱۲	۳۲۶۳	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۶۰	۰
A ₃	تقویتی	۴	۱۲	۳۲۶۳	۲	۱۸	۴۸۵۹	۴۰۰	۳۴۶۰
A ₄	تقویتی	۴	۱۲	۳۲۶۳	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۴۸	۴۵۸۰
A ₅	تقویتی	۴	۱۲	۳۲۶۳	۲	۱۸	۴۸۵۹	۴۲۳	۵۱۰۰
A ₆	تقویتی	۴	۱۲	۳۲۶۳	۲	۱۸	۴۸۵۹	۴۰۶	۶۵۰۰
B ₁	مرجع	۴	۱۸	۴۸۵۹	-	-	-	۳۵۰	۰
B ₂	تقویتی	۴	۱۸	۴۸۵۹	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۲۴	۰
B ₃	تقویتی	۴	۱۸	۴۸۵۹	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۵۲	۳۲۵۷
B ₄	تقویتی	۴	۱۸	۴۸۵۹	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۸۰	۴۵۸۰
B ₅	تقویتی	۴	۱۸	۴۸۵۹	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۸۲	۵۰۸۹
B ₆	تقویتی	۴	۱۸	۴۸۵۹	۲	۱۸	۴۸۵۹	۳۸۸	۶۳۲۸



شایان ذکر است که تیرهای دسته اول دارای ۲ میلگرد نمره ۱۲ و تیرهای دسته دوم نیز دارای ۲ تا میلگرد نمره ۱۰ به عنوان آرماتور فشاری می‌باشند و کلیه تیرهای دسته دوم با استفاده از ۲ تا میلگرد نمره ۱۸ مقاوم‌سازی شدند. در شکل زیر، شمای کلی تیرهای دسته اول و دسته دوم نشان داده شده است.

شمای کلی تیرهای گروه اول و دوم در شکل (۳) نشان داده شده است.



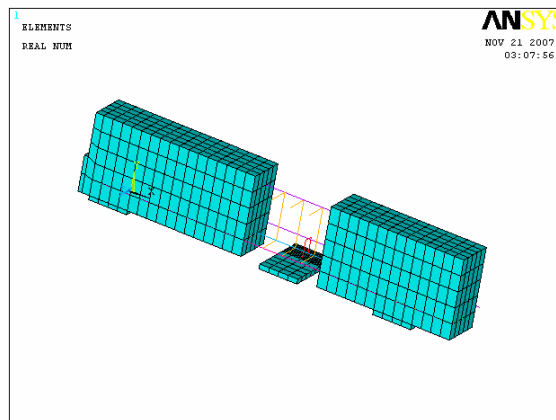
شکل (۱) - شمای کلی تیرها (الف) دسته دوم . (ب) دسته اول

مدل‌سازی تیرهای تقویت شده با آرماتور خارجی

نرم افزار *Ansys* قابلیت انجام تحلیل‌های ساده مانند تحلیل خطی یا استاتیکی و همچنین تحلیل‌های پیچیده مانند تحلیل غیرخطی و دینامیکی را دارد. چون این برنامه برای محاسبات در شاخه‌های مختلف علوم مهندسی کاربرد دارد و به منظور سرعت بخشیدن به روند تحلیل و کاهش فضای مورد نیاز، به چند گروه و زیر گروه تقسیم می‌شود که در هر گروه المان‌ها و دستورات خاص آن گروه آورده می‌شود. نرم افزار فوق مانند نرم افزارهای دیگر شامل سه بخش کلی است: ۱- ساخت مدل ۲- بارگذاری و تحلیل ۳- مشاهده نتایج

اصلی‌ترین مرحله در ساخت مدل، انتخاب المان مناسب است. این برنامه بیش از ۱۸۰ المان دارد که هر کدام خواص منحصر به خود دارند و در نتیجه انتخاب المان مناسب با خواص مورد نیاز به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. در بخش بارگذاری و تحلیل باید نوع آنالیز، گزینه‌های بارگذاری و شرایط تحلیل وارد شوند. نوع تحلیل به بارگذاری و پاسخی که مد نظر است بستگی دارد. این برنامه شامل تحلیل استاتیکی، مودال، بارهارمونیک، دینامیکی، گذرا، طیفی، پاره سازه‌ای و کمانشی است. نتایج حاصل از تحلیل به دو طریق قابل مشاهده است. یک نوع آن است که نتایج تمام مدل یا بخشی از مدل در یک زیر گام به صورت تغییرشکل مدل، جدول و یا منحنی رنگی نشان داده می‌شود و نوع دیگر نتایج، در نقطه خاصی از مدل در هر زیر گام داده می‌شود که به شکل نمودارهای برحسب زمان بوده و می‌توان آن‌ها را به صورت جداولی فهرست کرد. [۲]

برای مدل‌سازی تیر ذکر شده از سه نوع المان *Solid 65* و *Solid 45* و *Link 8* استفاده شده است. المان *Solid 65* یک المان سه بعدی بوده و دارای توان ترک‌خوردگی در کشش و خردشوندگی در فشار می‌باشد. در داخل این المان، آرماتور به صورت یک میله تک بعدی با رفتار فشاری و کششی، در وسط هر المان و در سه جهت قابل تعریف می‌باشد. در این جا برای مدل‌سازی تیر بتن‌آرمه از المان *Solid 65* با درصد آرماتور صفر و المان *Link 8* برای مدل کردن آرماتور فشاری، کششی و خاموت موجود در تیر استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی آرماتور خارجی از المان *Link 8* و برای مدل‌سازی تکیه گاه و صفحه زیر بار و صفحات انتهایی تیر از المان *Solid 45* استفاده شده است. در این نوع مدل‌سازی، به منظور مدل کردن آرماتورهای داخلی (آرماتور کششی، فشاری و خاموت) برای ایجاد شرایط لازم جهت انتقال نیرو باید حتما المان *Link 8* بین دو یا چند حجم ساخته شده از المان *Solid 65* واقع شود. در غیر این صورت، نیروها فقط در بین گره‌های المان *Solid 65* منتقل شده و وجود المان *Link 8* به عنوان آرماتور بی‌تاثیر است. در شکل زیر، یک نمونه از تیرهای مدل شده نشان داده می‌شود. [۳]



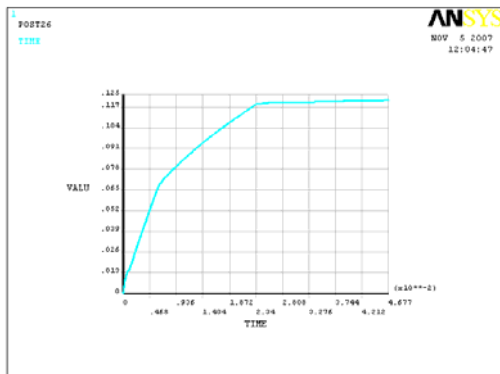
شکل (۲) - تیر مدل شده در *Ansys*



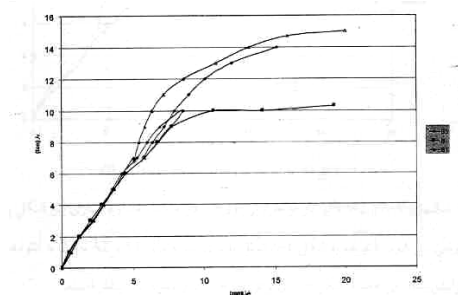
از طرفی، با استفاده از تقارن، تنها یک چهارم تیر مدل شده و پس از اعمال شرایط مرزی مناسب مورد تحلیل قرار گرفته است.

مقایسه نتایج تحلیل مدل‌های طراحی شده با نتایج آزمایشگاهی:

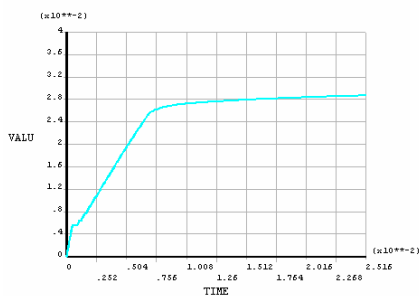
برای تعیین اعتبار مدل‌سازی و تحلیل، نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایشگاهی مطابق نمودارها و جداول زیر مقایسه می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج تحلیل با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد.



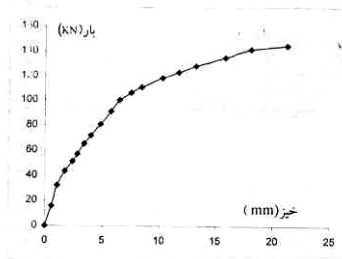
شکل (۳) - نمونه A_2 دسته اول (Ansys)



شکل (۴) - نمونه A_2 دسته اول (آزمایشگاه)



شکل (۵) - نمونه B دسته اول (Ansys)



شکل (۶) - نمونه B دسته اول (آزمایشگاه)



جدول (۳)-مقایسه نتایج تحلیل در Ansys با نتایج آزمایشگاهی

دسته دوم			دسته اول				
درصد خطا	P_u		نمونه	درصد خطا	P_u		نمونه
	Ansys	Exp			Ansys	Exp	
%	KN	KN		%	ton	ton	
۸,۹	۷۳,۱۲	۶۷,۱۴	A_1	۱۴,۳۵۴	۱۱,۱۳۴	۱۳	A
۱۹,۲	۱۷۲,۱۰۵	۱۴۴,۳۸	A_2	۱۳,۴۱۲	۱۴,۷۲	۱۷	A_1
۲,۸۷	۱۵۴,۰۵۱۳	۱۵۸,۶	A_3	۲۲,۳۳	۱۲,۳۵	۱۵,۹	A_2
۱۵,۸۹	۱۸۷,۷۴	۱۶۲	A_4	۱۰,۸۷۴	۹,۱۸	۱۰,۳	B
۰,۰۲۵	۱۸۹,۵۱۳	۱۸۹,۵۶	A_5	۳۰,۴۳	۱۰,۴۳۵	۱۵	B_1
۳,۹۳۵	۱۹۲,۱۳	۲۰۰	A_6	۱۸,۸۳	۶,۶۵۶	۸,۲	C
۱,۵۲	۲۱۳,۶۳۵	۲۱۰,۴۴	B_1				
۰,۰۱۸۷	۲۴۶,۶۸	۲۴۶,۲۲	B_2				
۷,۶۶۳	۲۷۵,۰۵۷	۲۵۵,۴۸	B_3				
۸,۳	۲۸۴,۷۶۶	۲۶۲,۹۳	B_4				
۴,۶۱	۲۸۷,۵۱۶	۲۷۴,۸۵	B_5				
-	۲۸۸,۸۸۴	-	B_6				

نتیجه گیری

به طور خلاصه نتایج بدست آمده از تحقیقات بعمل آمده عبارتند از:

دسته اول:

-درصد افزایش مقاومت در تیرهای تقویت شده با افزایش بار موجود بر تیر در هنگام مقاوم سازی کاهش می یابد و این کاهش با میزان آرماتور داخلی تیر رابطه مستقیم دارد.

-درصد افزایش مقاومت تیرهای پیش بارگذاری شده با مقدار آرماتور داخلی نسبت عکس دارد.

-افزایش مقاومت با افزایش درصد میلگردهای تقویت افزایش می یابد.

دسته دوم:

-مقاوم سازی تیرهای بتن آرمه با آرماتور غیرچسبیده پیش کشیده خارجی باعث افزایش مقاومت خمشی تیرهای بتنی می شود که این افزایش با درصد آرماتور کششی داخلی نسبت معکوس دارد.

-در این روش مقاوم سازی، هرچه نیروی پیش کشیدگی آرماتور خارجی افزایش یابد، ظرفیت خمشی تیر نیز افزایش می یابد.

-این روش مقاوم سازی باعث آن می شود که اولین ترک خمشی در تیر با بار بیشتری ایجاد شود، که علت آن وجود نیروی پس کشیدگی می باشد که ایجاد یک لنگر منفی اولیه می کند و همین لنگر منفی اولیه باعث آن می شود که لنگر ترک خوردگی در بار بزرگتری ایجاد شود.

-تقویت تیرهای بتن آرمه با استفاده از آرماتور خارجی پیش کشیده می تواند به عنوان یک روش مناسب به کار رود که از مزایای آن می توان به سرعت عمل، سادگی اجرا، عدم افزایش وزت سازه و اقتصادی بودن آن اشاره کرد.

مراجع

1. Farooq.A.H.S.(May 1997)Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by external unbounded reinforcement. *PHD thesis,heriot-watt university,Edinburgh,scotland, 358p.*
2. Ansys Manual.ver9.00

۳- رزاقی، جواد، حسینی، سید علی. وحامی، فرید. کاربرد روش اجزا محدود در تحلیل غیر خطی سازه های بتن آرمه



- ۴- فولادوند، رضا. (شهریور ۸۲) مقاوم سازی تیرهای بتن آرمه ترک خورده پیش بارگذاری شده با استفاده از آرماتور خارجی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی
- ۵- حسینی ابریشمی، سید محمد هادی. (زمستان ۸۴) بررسی تجربی مقاوم سازی تیرهای بتن مسلح با آرماتور غیرچسبیده پس کشیده خارجی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی
- ۶- عبدالهی، محمد. (خرداد ۸۰) مدل سازی و آنالیز تیرهای بتن آرمه تقویت شده توسط آرماتور خارجی با روش اجزا محدود. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی