یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

تحلیل عددی تیر بتن مسلح پیش‌تنیده تحت بارگذاری انفجار با تاکید بر مقاومت فشاری بتن

حسین گلشنی[۱]، احمد ملکی[۲]

[۱] کارشناس ارشد عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران golshani_info@yahoo.com

[۲] استادیار دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران Maleki_civil@yahoo.com

چکیده

پیش تنیدگی بطور گسترده در ساخت و سازهای نظامی و غیرنظامی استفاده شده است. اجزای سازه‌ای بتن مسلح پیش تنیده مثل تیرها و ستون‌ها معمولاً برای پاسخ‌های غیر پیش تنیده بتن مسلح به خوبی جواب می‌دهند به خاطر اینکه پیش تنیدگی علاوه بر افزایش در سختی و ظرفیت باربری سازه‌ای، مقاومت ترک بیشتری نیز از اجزای غیرپیش تنیده دارد. به عنوان یک نتیجه معمولاً به یک سازه سبکتری می‌انجامد. بررسی اجزای بتن مسلح غیرپیش تنیده تحت بارگذاری انفجار در مطالعات قبلی آمده است. بنابراین مطالعه بر روی ظرفیت مقاومت-انفجار اجزای بتن مسلح پیش تنیده خیلی محدود است. در این پایان نامه پاسخ دینامیکی تیر بتن مسلح پیش تنیده با تکیه گاه ساده با مقطع مستطیلی تحت بارگذاری انفجار بطور عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس بررسی شده است. پیش تنیدگی از قبل بر روی تیر بتن مسلح با یک رویکرد تحلیلی اعمال گردید. قابلیت اعتماد به مدل عددی توسط مقایسه با نتایج آزمایشات موجود در نشریات قبلی بدست آمد. در کل ۴ مدل عددی شامل مقاومت‌های مختلف فشاری بتن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند، با افزایش مقاومت بتن از ۲۰ مگاپاسکال به ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال، مقدار جابجایی ماکزیمم به ترتیب ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۶ درصد کاهش و مقدار مقاومت نهایی به ترتیب ۵/۸، ۱۱/۴ و ۱۳/۱ درصد افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی

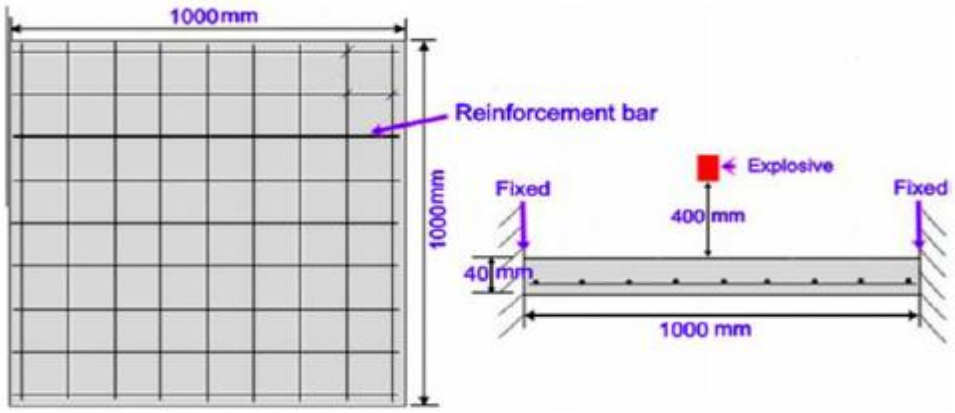
بتن پیش تنیده، پاسخ دینامیکی، مقاومت بتن، ظرفیت باربری، بار انفجار، تحلیل اجزای محدود.

۱. مقدمه

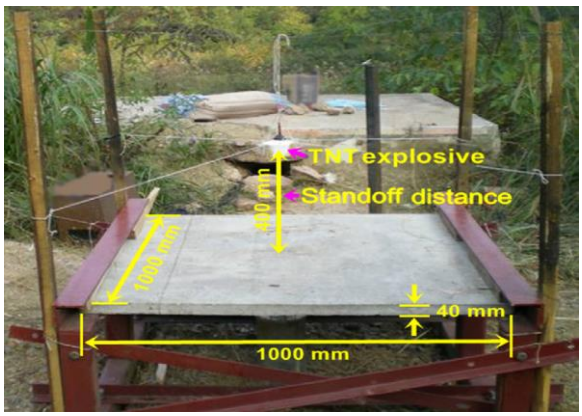
اهمیت بناهای مسکونی، صنعتی، نظامی و استراتژیکی در برابر شوک ایجاد شده توسط انفجار، یکی از اهداف مهم در جهان امروز به شمار می‌رود. بارگذاری انفجار ناشی از بمب‌گذاری تروریستی یا انفجار گاز ممکن است باعث آسیب‌های سازه‌ای، تلفات و زیان‌های مالی مهمی شوند. بتن مسلح بطور معمول در صنعت ساختمان‌سازی استفاده می‌شود. بطور قراردادی ستون، تیر و پانل بتن مسلح اجزای باربر اصلی هستند که اغلب به هنگام بارگذاری انفجار آسیب می‌بینند که ممکن است به فروپاشی جزیی یا کلی سازه‌ای بیانجامد. در سال ۱۹۶۸ یک انفجار گاز در داخل ساختمان مسکونی Ronan Point در انگلستان آسیب جدی وارد کرد که با گسیختگی چند مولفه سازه‌ای نهایتاً به خرابی پیش‌رونده منجر گردید. در سال‌های گذشته تحقیق بر روی اجزای بتن غیرپیش‌تنیده تحت بارگذاری‌های ضربه و انفجار توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. اکثر مطالعات گذشته بر روی پاسخ‌های سازه‌ای دینامیکی نرخ بالا از اجزای بتن مسلح پیش‌تنیده تحت بارگذاری ضربه‌ای می‌باشند. مطالعه خیلی محدودی در رابطه با ظرفیت مقاومت- انفجار اجزای بتن مسلح پیش‌تنیده در نشریات انجام یافته است. لی و همکاران (۲۰۱۳) سه تیر بتنی جزئاً پیش‌تنیده شده را با استفاده از چکش سقوط آزاد آزمایش کرد و عملکردهای مقاومت- ضربه تیرهای بررسی شده در این مطالعه نشان داده شد. در این تحقیق پاسخ دینامیکی تیرهای بتن مسلح پیش‌تنیده با تکیه‌گاه ساده تحت بارگذاری‌های انفجار با نتایج آزمایش‌های موجود در نشریات، صحت‌سنجی شد. با مدل صحت‌سنجی شده، شبیه‌سازی‌های عددی از تیرهای بتن مسلح پیش‌تنیده در بارگذاری‌های انفجار با در نظرگیری سطوح مختلف مقاومت‌های فشاری بتن انجام شد. در این راستا از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس برای مدل‌سازی پارامتریک نمونه‌ها استفاده شد [۱].

۲. پیشینه تحقیق

امروزه با گسترش حملات انفجاری وارده به سازه‌های مختلف، بررسی دقیق رفتار سازه‌ها تحت بارهای انفجاری یک ضرورت محسوب‌می شود [۲]. لذا رفتار سازه‌های بتنی و مقاوم سازی آن تحت بارهای انفجاری در این تحقیق مورد کنکاش قرار گرفته است، تا کنون تحقیقات وسیعی در زمینه‌ی بارگذاری انفجاری بر روی سازه‌های مختلف صورت گرفته است، اما تحقیقات چندانی در راستای به کار گیری انفجار در تیرهای بتنی در داخل کشور انجام نشده است. ژائو و چن [۳] نمونه‌های بتنی مربعی به طول ۱۰۰۰ و به ضخامت ۴۰ میلی‌متر را با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال مقاوم سازی کردند و با استفاده از المان محدود نشان دادند که نمونه مقاوم سازی شده دارای رفتار دینامیکی بهتری نسبت به نمونه‌های اولیه می‌باشد (شکل ۱ و ۲).

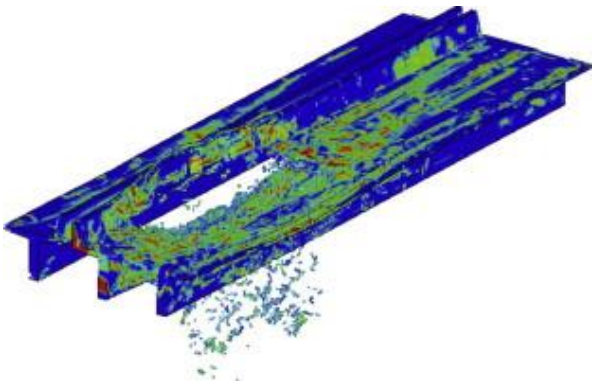


شکل ۱. مشخصات هندسی دال بتنی تقویت شده، [۳]



شکل ۲. پیکربندی آزمایش، [۳]

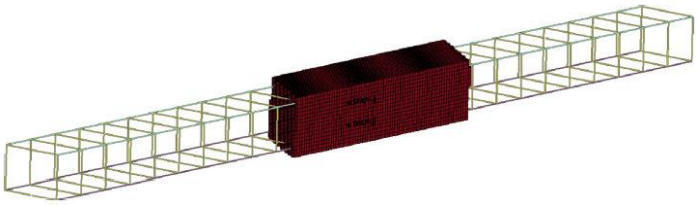
در سال ۲۰۱۴، آقای وانگ و همکاران [۴] به بررسی ریزش ناگهانی پایه پل پرداخته است. در تحقیق حاضر با در نظر گیری بارگذاری دینامیکی بر روی پل و در نظر گرفتن اثر انفجار پرداخته شده است (شکل ۳).



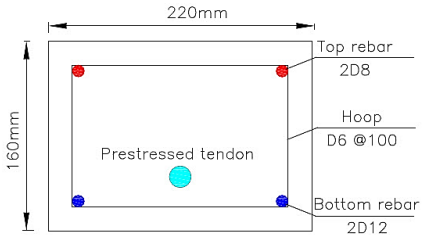
شکل ۳. توزیع کرنش پلاستیک پل تک دهانه، [۴]

۳. راستی آزمایی روش اجزای محدود

در نشریات مطالعات اصولی که نشانگر ارزیابی اثر سطوح پیش تنیدگی جهت بهبود ظرفیت بار- انفجار تیرهای بتن مسلح باشد وجود ندارد. در این پایان نامه پاسخ دینامیکی تیرهای بتن مسلح پیش تنیده با تکیه‌گاه ساده تحت بارگذاری‌های انفجار با نتایج تحقیق چن و همکاران [۵] در نشریات صحت‌سنجی می‌شود. با مدل صحت‌سنجی شده، شبیه‌سازی‌های عددی از تیرهای بتن مسلح پیش تنیده در بارگذاری‌های انفجار با در نظرگیری سطوح مختلف پیش تنیدگی، مقاومت‌های فشاری بتن مختلف و شدت‌های انفجار انجام می‌شود. مشخصات تیر بتن مسلح پیش تنیده جهت شبیه‌سازی در ادامه آمده است. تیر بتن مسلح پیش تنیده با تکیه‌گاه ساده با عرض ۲۲۰ میلی‌متر و عمق ۱۶۰ میلی‌متر و دهانه ۲۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شماتیک تیر در شکل ۴ نشان داده شده است. قطر فولادهای طولی در وجوه بالا و پایین به ترتیب برابر ۸ میلی‌متر و ۱۲ میلی‌متر می‌باشند. فولادهای عرضی به قطر ۶ میلی‌متر و در فواصل ۱۰۰ میلی‌متری در طول تیر می‌باشند. یک تاندون پیش تنیده به قطر ۱۵/۲ میلی‌متر همانند شکل ۵ مورد استفاده قرار گرفته است. بطور عمومی فرض گردیده است که تیر تحت بار انفجار مثلثی با فشار بازتابیده اوج ۶۱۰۰۰ کیلوپاسکال، ضربه بازتابیده مثبت ۳۰۵۰ کیلوپاسکال و مدت فاز مثبت ۱ میلی ثانیه بصورت یکنواخت توزیع شده قرار می‌گیرد.



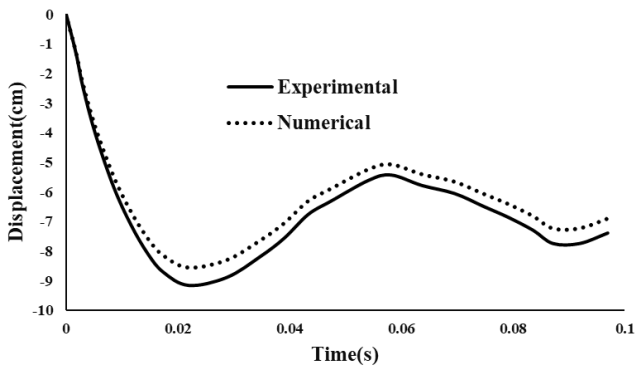
شکل ۴. شماتیک تیر بتن‌آرمه [۵]



شکل ۵. شماتیک سطح مقطع عرضی تیر بتن‌آرمه‌ی پیش تنیده، [۵]

برای صحت سنجی مدل عددی، نمونه آزمایشگاهی شماره 12# چن و همکاران [۵]در نرم افزار آباکوس مطابق شکل ۶ مدلسازی شده است. داده‌های منحنی جابجایی – زمان مرکز تیر مربوط به تحلیل عددی به برنامه‌ی Excel انتقال داده شده و با منحنی جابجایی – زمان نمونه‌ی آزمایشگاهی به صورت شکل ۷ مقایسه شده است.

شکل ۷. مدل عددی مش بندی شده

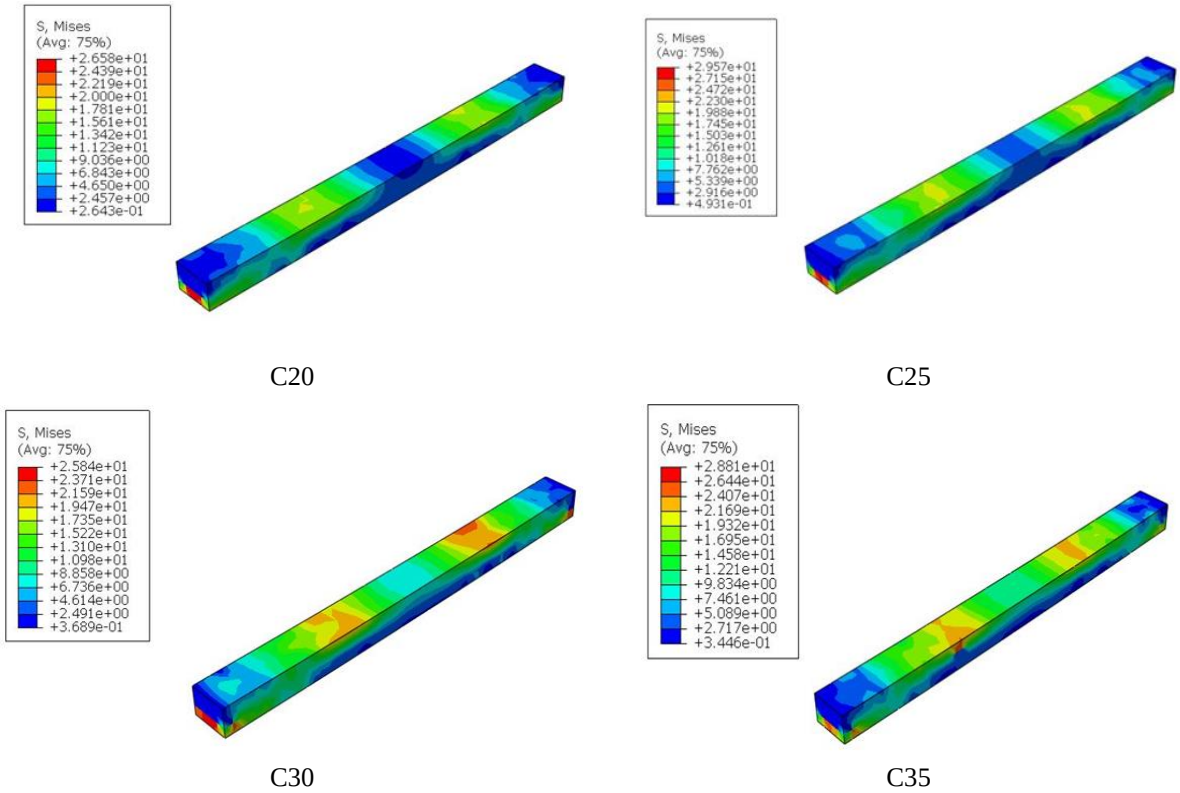


شکل ۷. مقایسه‌ی منحنی جابجایی (وسط دهانه‌ی تیر) - زمان در مدل آزمایشگاهی و عددی

همانطور که از شکل ۷ واضح است، منحنی جابجایی - زمان حاصل از تحلیل عددی آباکوس، جابجایی متفاوتی نسبت به مدل مقاله دارد که این به علت نبود اطلاعات کافی در مورد مصالح در مقاله مورد نظر می‌باشد. در مدل‌های عددی با بارگذاری انفجار، هم پوشانی منحنی‌ها تا این حد قابل قبول بوده و صحت مدل سازی عددی را تامین می‌کند. بنابراین با توجه به صحت و مقایسه‌ی شبیه سازی یاد شده، در بخش بعدی تاثیر مقاومت فشاری بتن مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل در شرایط گوناگون گزارش شده است.

۴. تاثیر مقاومت فشاری بتن بر رفتار تیر بتن مسلح پیش‌تنیده تحت بارگذاری انفجار

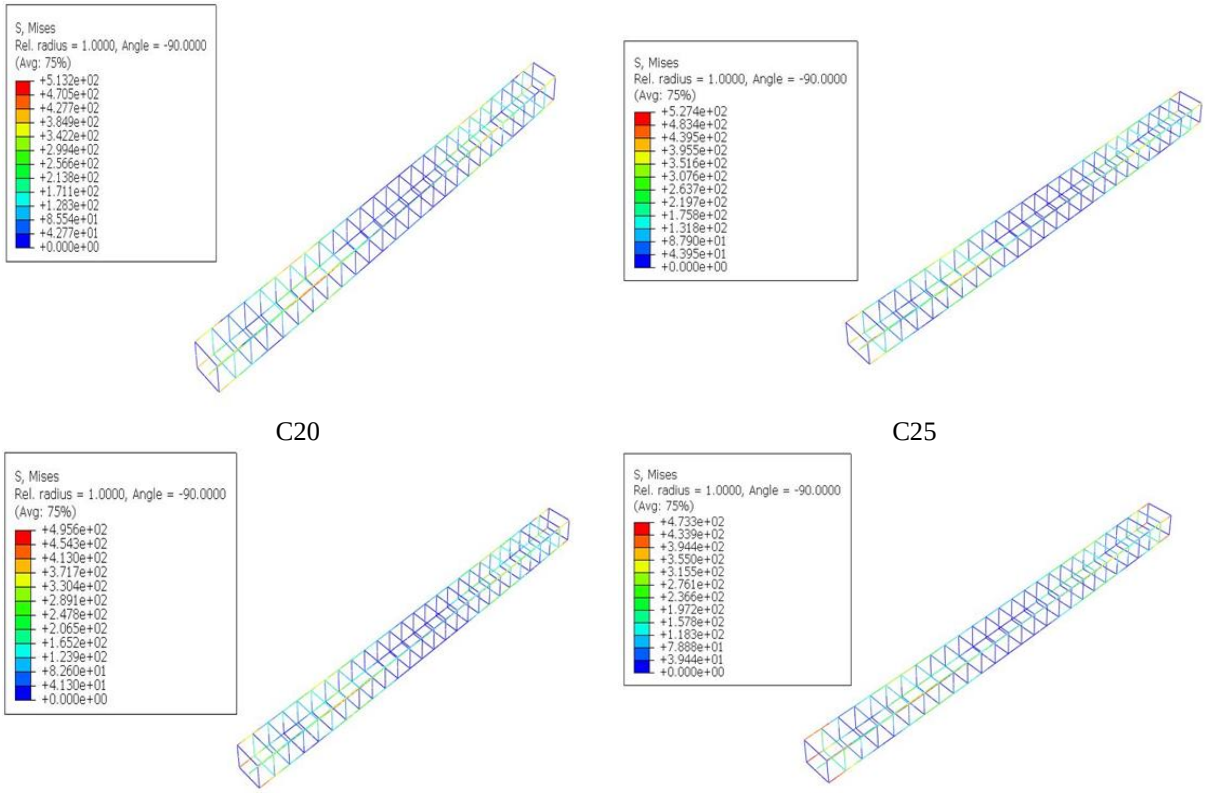
در این قسمت به منظور بررسی تاثیر مقاومت فشاری بتن بر رفتار تیر بتن مسلح پیش تنیده تحت بارگذاری انفجار، در چهار مدل C20، C25، C30 و C35 به ترتیب مقاومت فشاری بتن برابر با ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. سپس در ادامه به صورت کانتورهای رنگی مطابق شکل‌های ۸تا ۱۳ مقایسه شده است. همچنین در شکل ۱۴ نمودار بار-جابجایی تیر بتنی با مقاومت فشاری‌های مختلف بتن و در شکل‌های ۱۵و ۱۶ و جدول ۱ تاثیر مقاومت بتن بر مقدار جابجایی ماکزیمم و ظرفیت باربری تیر مقایسه شده است.



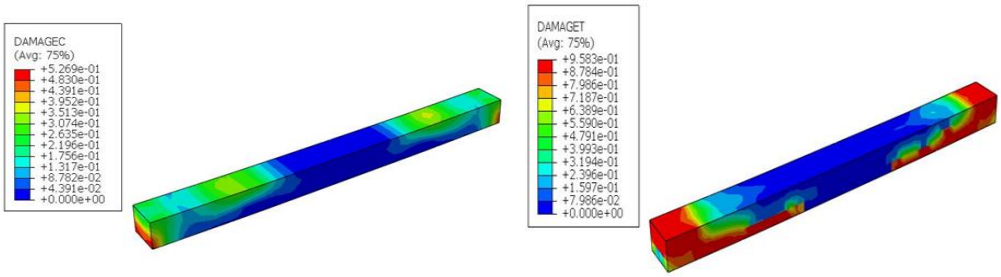
شکل ۸. کانتور تنش تیر بتنی با مقاومت فشاری مختلف

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، با افزایش مقاومت فشاری بتن از۲۰ مگاپاسکال به ۲۵ مگاپاسکال تنش ایجاد شده در تیر بتنی پیش تنیده تحت اثر بار انفجار از مقدار ۲۶/۵۸ مگاپاسکال به مقدار۲۹/۵۷ مگاپاسکال و تنش ایجاد شده در آرماتورها و کابل پیش تنیده از مقدار۵۱۳ مگاپاسکال به مقدار۵۲۷/۴ مگاپاسکال افزایش پیدا می‌کند سپس با افزایش مقاومت فشاری بتن از ۲۵ مگاپاسکال به ۳۰ مگاپاسکال تنش ایجاد شده در تیر بتنی پیش تنیده تحت اثر بار انفجار از مقدار ۲۹/۵۷ مگاپاسکال به مقدار ۲۵/۸۴ مگاپاسکال و تنش ایجاد شده در

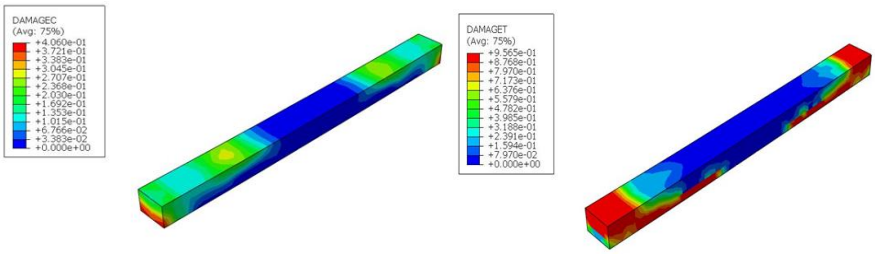
آرماتورها و کابل پیش تنیده از مقدار ۵۲۷/۴ مگاپاسکال به مقدار ۴۹۵/۶ مگاپاسکال کاهش پیدا می‌کند در نهایت با افزایش مقاومت فشاری بتن از ۳۰ مگاپاسکال به ۳۵ مگاپاسکال تنش ایجاد شده در تیر بتنی پیش تنیده تحت اثر بار انفجار از مقدار ۲۵/۸۴ مگاپاسکال به مقدار ۲۸/۸۱ مگاپاسکال افزایش و تنش ایجاد شده در آرماتورها و کابل پیش تنیده از مقدار ۴۹۵/۶ مگاپاسکال به مقدار ۴۷۳/۳۰ مگاپاسکال کاهش پیدا می‌کند.



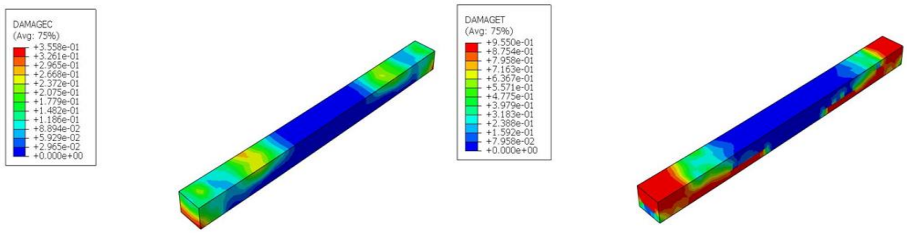
شکل ۹. کانتور تنش آرماتور و کابل پیش تنیده با مقاومت فشاری مختلف



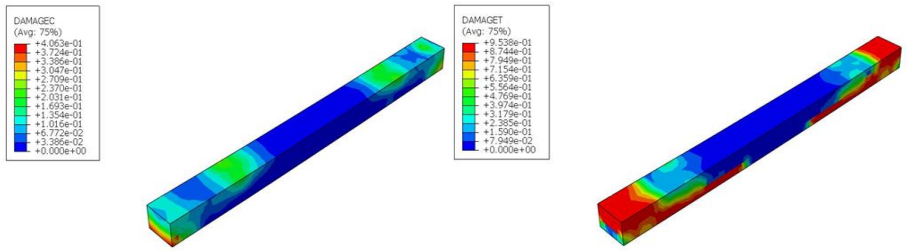
شکل ۱۰. کانتور ترک کششی و فشاری تیر بتنی با مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال



شکل ۱۱. کانتور ترک کششی و فشاری تیر بتنی با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال

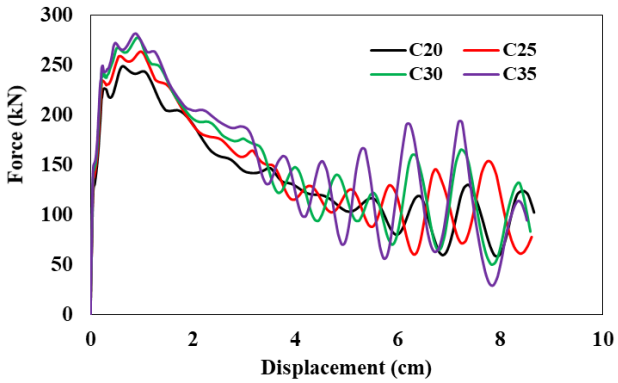


شکل ۱۲. کانتور ترک کششی و فشاری تیر بتنی با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال

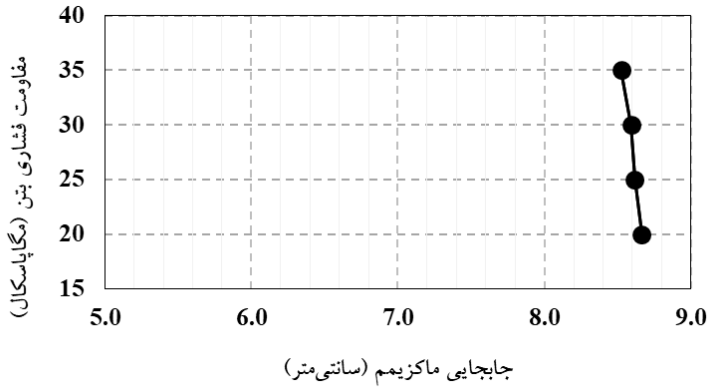


شکل ۱۳. کانتور ترک کششی و فشاری تیر بتنی با مقاومت فشاری ۳۵ مگاپاسکال

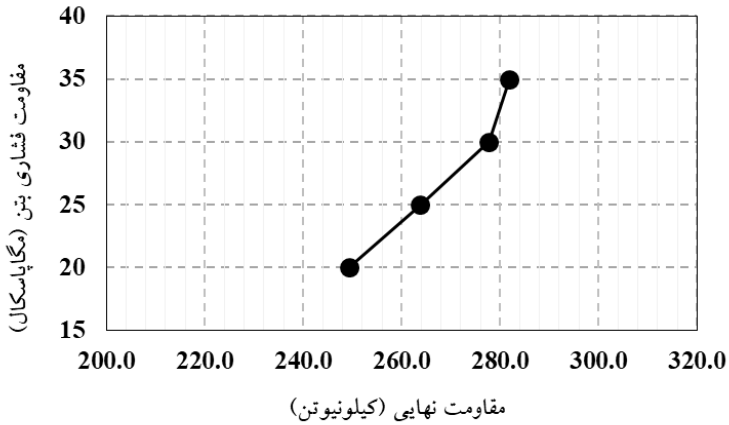
در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ کانتور ترک کششی و فشاری تیر بتنی با مقاومت فشاری مختلف آورده شده است همانطور که از اشکال مشخص است ترک کششی ایجاد شده در تیر بتنی نسبت به ترک فشاری بیشتر می‌باشد که علت آن به خاطر ضعیف بودن بتن در کشش می‌باشد همچنین با افزایش مقاومت فشاری بتن درصد ترک‌های کششی و فشاری در تیر بتنی کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۱۴. نمودار بار – جابجایی مدل‌های C20، C25، C30 و C35



شکل ۱۵. تاثیر مقاومت فشاری بتن بر مقدار جابجایی ماکزیمم تیر بتن مسلح پیش تنیده



شکل ۱۶. تاثیر مقاومت فشاری بتن بر مقدار مقاومت نهایی تیر بتن مسلح پیش تنیده

جدول ۱. مقایسه‌ی نتایج مدل‌های C20، C25، C30 و C35

ردیف	نام مدل	مقاومت فشاری بتن (مگاپاسکال)	ماکزیمم جابجایی (سانتی‌متر)	درصد افزایش جابجایی نسبت به C20	ماکزیمم مقاومت (کیلونیوتن)	درصد افزایش مقاومت نسبت به C20
1	C20	20	8.7	0.0	249.2	0.0
2	C25	25	8.6	-0.5	263.8	5.8
3	C30	30	8.6	-0.8	277.7	11.4
4	C35	35	8.5	-1.6	281.9	13.1

همانطور که از شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ و جدول ۱ مشخص است با افزایش مقاومت فشاری بتن از ۲۰ مگاپاسکال به ۳۵ مگاپاسکال ظرفیت تحمل تیر بتنی پیش تنیده از مقدار ۲۴۹/۲ کیلونیوتن به مقدار ۲۸۱/۹ کیلونیوتن افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش مقاومت فشاری بتن مقدار ماکزیمم جابجایی کاهش و مقاومت افزایش می‌یابد.

۴. نتایج کلی

به منظور بررسی تاثیر مقاومت بتن بر رفتار تیر بتن مسلح پیش‌تنیده تحت بارگذاری انفجار، درقالب چهار مدل عددی مقدار مقاومت بتن به ترتیب ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شده و تحلیل شده است. مقایسه‌ی نتایج مدل‌ها نشان داد، با افزایش مقاومت، تنش ایجاد شده در تیر بتنی پیش تنیده تحت اثر بار انفجار افزایش و تنش ایجاد شده در آرماتورها و کابل پیش تنیده کاهش پیدا می‌کند. با افزایش مقاومت فشاری بتن محدوده‌ی ترک‌های کششی و فشاری در تیر بتنی کوچکتر شده است. همچنین مقایسه‌ی منحنی‌های بار-جابجایی نشان داد، با افزایش مقاومت بتن از ۲۰ مگاپاسکال به ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مگاپاسکال، مقدار جابجایی ماکزیمم به ترتیب ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۶ درصد کاهش و مقدار مقاومت نهایی به ترتیب ۵/۸، ۱۱/۴ و ۱۳/۱ درصد افزایش یافته است.

منابع

[1] Li, J. and Hao, H., (2013). Influence of brittle shear damage on accuracy of the two-step method in prediction of structural response to blast loads. International Journal of Impact Engineering, 54, pp.217-231.
[2] Marjanishvili, S.M., (2004). Progressive analysis procedure for progressive collapse. Journal of performance of constructed facilities, 18(2), pp.79-85.
[3] Zhao, C.F. and Chen, J.Y., (2013). Damage mechanism and mode of square reinforced concrete slab subjected to blast loading. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 63, pp.54-62.
[4] Wang, W., Liu, R. and Wu, B., (2014). Analysis of a bridge collapsed by an accidental blast loads. Engineering Failure Analysis, 36, pp.353-361.
[5] Chen, W., Hao, H. and Chen, S., (2015). Numerical analysis of prestressed reinforced concrete beam subjected to blast loading. Materials & Design (1980-2015), 65, pp.662-674.