

تحلیل غیر خطی تیرهای بتنی پیش تنیده با ورق GFRP به روش اجزای محدود

محسن ایزدی نیا^{۱*}، رسول شریفی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

چکیده

در این مقاله یک روش عددی برای تحلیل کامل تیرهای خمشی بتنی پیش تنیده، تقویت شده با ورق های پلیمر مسلح شده با الیاف شیشه با تمرکز بر رفتار شکل پذیری و مقاومت خمشی معرفی می گردد. پیش تنیده نمودن سازه های بتنی باعث افزایش ظرفیت خمشی این گونه سازه ها شده و باعث افزایش مقاومت سازه ها و افزایش طول دهانه و کاهش تغییر مکان تیرها می شود. که هم از لحاظ کارامدی و هم از لحاظ سازه ای مقرون به صرفه است. بررسی شکل پذیری این سازه ها که امروزه بسیار مورد استفاده قرار می گیرند، از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که بیانگر توان سازه در تغییر شکل غیر ارتجاعی قبل از تخریب اعضا می باشد. در تحقیق حاضر سعی بر آن است که تاثیر استفاده از ورق GFRP پیش تنیده بر شکل پذیری و تغییر شکل، در رفتار تیرهای مقاوم سازی شده به این روش بررسی شود. بدین منظور با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ANSYS/ابتدا به مدل سازی چندین نمونه تیر با شرایط مختلف پرداخته شد. پس از مقایسه ی نتایج تحلیل عددی تیر بتنی با ورق GFRP با نتایج تحلیل عددی دو نوع تیر بتنی پیش تنیده با مفتول و اثبات کارایی مدل ارائه شده، به بررسی شاخص شکل پذیری انرژی و جابجایی، تغییر شکل نهایی، مقاومت و مقدار جابجایی تیرهای بتنی پرداخته شده است. برای این منظور سه عدد تیر با ابعاد $3600\text{mm} \times 280\text{mm} \times 160\text{mm}$ مورد مدلسازی قرار گرفتند. به طور خلاصه نتایج این تحقیق حاکی از آن است که استفاده از ورق GFRP پیش تنیده باعث می شود مقدار جابجایی تیر بر اثر نیرو دارای کمترین مقدار و لذا لایه GFRP موجب افزایش ۱۰ درصدی و ۱۰/۴ درصدی بر سختی خمشی و شکل پذیری خواهد شد.

کلمات کلیدی: شکل پذیری، اجزای محدود، GFRP، پیش تنیدگی، ANSYS

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2018.104360.1369	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2018.104360.1369	۱۳۹۸/۰۶/۱۰	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۶/۱۱/۲۷	۱۳۹۶/۰۸/۱۱
				*نویسنده مسئول:		
				پست الکترونیکی:		
				محسن ایزدی نیا		
				izadinia@iaun.ac.ir		

Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Beams with GFRP Sheets by Finite Element Method

Mohsen Izadinia^{1*}, Rasoul Sharifi²

1-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2-Master of Science in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

ABSTRACT

*This paper describes a numerical method for the full-range analysis of prestressed concrete flexural beams strengthened with prestressed glass fiber-reinforced polymer (GFRP) sheets, focusing on ductility and flexural strength behaviour. Prestressing concrete structures cause increased flexural strength of these structures thus increased resistance of structures, increased span length, and reduced displacements of beams are resulted, which is very effective and economically feasible. The study of ductility of these structures that have been used a lot nowadays, has a great importance because it expresses the capability of structure in inelastic deformations before destruction of members. Present paper attempts to investigate the effect of prestressed GFRP sheets on ductility and deformation of beams strengthened by this method. Regarding to this, the modelling of three sample of beams in different conditions was studied using finite element software ANSYS. After comparing the results of numerical analysis of concrete beam with GFRP sheet and the numerical results of two types of prestressed concrete beam with wire and proofing the efficiency of presented model, the displacement and energy ductility index, deformation, resistance and the amount of displacement of concrete beams have been investigated. Three beams with 160mm*280mm*3600mm dimensions have been modelled. In summary, the results express that the application of prestressed GFRP sheet may cause the least displacements of beam and an increase of 10% and 10.4% will be achieved in the flexural stiffness and ductility.*

ARTICLE INFO

Receive Date: 02 November 2017

Revise Date: 16 February 2018

Accept Date: 03 March 2018

Keywords:

Ductility,
Finite element,
Glass fiber reinforced
polymers,
prestressing,
Ansys

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

Doi: 10.22065/jsce.2018.104360.1369

*Corresponding author: Mohsen Izadinia
Email address: izadinia@iaun.ac.ir

۱- مقدمه

جوامع شهری همواره با موضوع توسعه روبرو بوده و هست. توسعه شهری نیاز روز افزون به تکنولوژی های نوین صنعت ساخت و ساز را از پیش ضروری می‌سازد. از سوی دیگر به موازات توسعه شهری حجم تولید پسماند ضایعات نیز رو به افزایش است. سالیانه، میلیون ها تن انواع شیشه تولید می‌گردد و با توجه به روند افزایش جمعیت نیاز به تولید آن ها در حال افزایش است. در موضوع بازیافت شیشه، تبدیل شیشه‌های بازیافتی به الیاف شیشه ای با مشخصه های مختلف و مناسب جهت کاربردهای مختلف عمرانی و مطالعات صورت گرفته در این خصوص مطرح شده است [۱]. در دهه ۱۹۸۰، برنامه های پژوهشی گسترده ای در ژاپن و ایالت متحده ایجاد گردید که منجر به توسعه چندین سیستم تاندون تجاری و سیستم تسمه ای جدید برای تاندون های پلیمر تقویت شده با فیبر شیشه (GFRP) شد و همچنین در سال های اخیر، توسعه GFRP و چسب قوی اپوکسی پتانسیل بالایی در زمینه ارتقاء باربری سازه به وجود آورد [۲]. اساساً این روش شامل چسباندن صفحات GFRP به سطح بتن می باشد سپس صفحات به عنوان کامپوزیت با بتن در باربری شرکت می‌کنند. استفاده از GFRP برای تعمیر و بازسازی سازه های بتنی آسیب دیده به دلیل ساخته شدن خواص مکانیکی مناسب به طور فزاینده مورد توجه قرار گرفت. از جمله مزایای GFRP میتوان نسبت بسیار زیاد استحکام به چگالی، مقاومت در برابر خوردگی، کاهش هزینه نگهداری و زمان نصب سریعتر نسبت به مواد معمولی نام برد.

نظر به اینکه مطالعات کافی از نقطه نظر استحکام، شکل پذیری و مقاومت و سختی خمشی تیرهای بتنی پیش تنیده تقویت شده با ورق GFRP تکمیل نشده است لذا در این مقاله تاثیر استفاده از ورق GFRP پیش تنیده بر شکل پذیری و تغییر شکل و مقاومت خمشی، در تیرهای پیش تنیده به روش اجزای محدود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- شکل پذیری سازه

یکی از مهمترین ملاحظات که باید علاوه بر مقاومت و سرویس دهی در یک سازه پیش تنیده در نظر گرفت، مسئله شکل پذیری آن سازه می باشد. نکته مهم آن است که سازه در یک آسیب ناگهانی نزدیک به بار خرابی، رفتاری شکل پذیر از خود نشان دهد. این بدین معنی است که سازه در اثر یک شکست ترد ناگهانی، دچار خرابی نخواهد گردید، بلکه توانایی تحمل تغییر شکل های بزرگ را در نزدیکی حداکثر ظرفیت باربری خود دارد. ایجاد تغییر مکان های بزرگ در نزدیکی بار حداکثر، موجب اطلاع و آگاهی ساکنین قبل از خرابی آن شده و در نتیجه ایمنی لازم حاصل خواهد شد. هم چنین رفتار شکل پذیر اعضاء زمینه باز توزیع لنگرهای خمشی، و طراحی براساس آن را فراهم می‌آورد. در مواردی که طراحی برای بارگذاری زلزله نیاز باشد، شکل پذیری یکی از مهم ترین پارامترها به شمار می‌آید. زیرا عملکرد سازه در مقابل بار زلزله زمانی سودمند است که سازه از شکل پذیری کافی برای جذب و مستهلک نمودن انرژی زلزله برخوردار باشد [۳]. با این حال، کمیت شکل پذیری هنوز مسئله بحث انگیز است و تعریف مطلق برای این ویژگی وجود ندارد. با این وجود، روش های متعددی برای تعیین مقدار کمی رفتار شکل پذیر تیرهای بتنی پیش تنیده از جمله شکل پذیری انحناء، تغییر مکان و انرژی، وجود دارد.

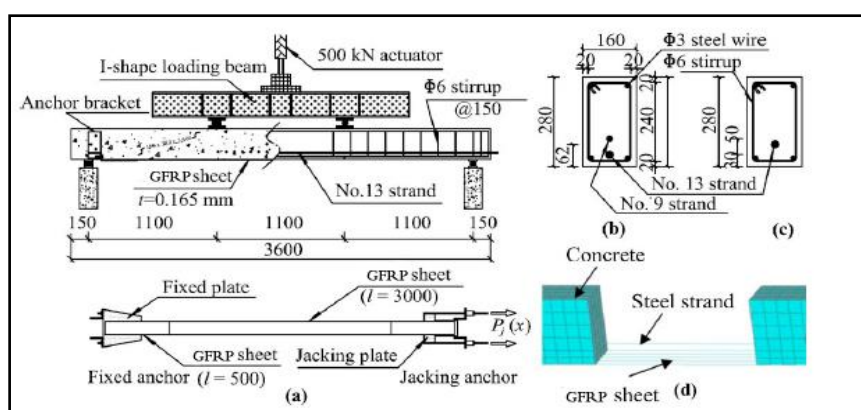
۱-۲- خواص شکل پذیری مصالح

سازه های پیش تنیده تقویت شده از چهار جزء فولاد معمولی، فولاد پیش تنیدگی، بتن و FRP تشکیل می‌گردد. شکل -پذیری بتن در فشار نسبتاً مطلوب می باشد و هر چه کرنش نهایی بتن بیشتر باشد شکل پذیری آن نیز بیشتر است. اگر بتن توسط فولادهای طولی و عرضی محصور شده باشد در بارهای نهایی کرنش بالایی را تحمل می‌کند و در نتیجه شکل پذیری آن بیشتر می‌شود. در فولاد، مقدار کرنش نهایی با تنش نهایی رابطه عکس دارد و در فولاد پیش تنیدگی کرنش نهایی اندک و تنش نهایی آن بسیار بالا می‌باشد. خواص کامپوزیت GFRP تا حد بسیار زیادی متأثر از خواص الیاف آنها می باشد. الیاف، منحنی تنش - کرنش الاستیک خطی را تا لحظه شکست، بدون داشتن هیچ گونه تسلیم شدگی از خود نشان می‌دهند [۴ و ۵].

۳- مدل سازی المان محدود

مدل سه بعدی تیر بتنی پیش تنیده، تقویت شده با ورق GFRP پیش تنیده در نرم افزار ANSYS Workbench static- structural ایجاد شده است. در مدل سازی تیر بتنی از المان سه بعدی Solid 65، این المان ۸ گره ای با سه درجه آزادی در هر گره قابلیت مدل سازی ترک خوردگی، خرد شدگی، خزش، تغییر شکل بزرگ، کرنش های بزرگ و تولد و مرگ المان بتن را داراست. همچنین برای مدل سازی آرماتورها از المان Solid 186 از مجموعه المان های نرم افزار که یک المان سه بعدی ۲۰ گره ای با سه درجه آزادی در هر گره است استفاده شد. برای فولاد پیش تنیدگی از المان Link 8 که یک المان دو گره ای با سه درجه آزادی و برای ورق GFRP از المان سه بعدی Solid 46 استفاده شد [۶، ۷]. به منظور مقاوم سازی تیر B-3 به کمک ورق GFRP پیش تنیده از روش تعریف کرنش ابتدایی نرم افزار با المان LINK8 استفاده گردید.

در تحقیق حاضر از مدل سه بعدی، سه تیر پیش تنیده (عرض 160mm × ارتفاع 280mm × طول 3600mm) که در شکل (۱) نشان داده شده است، شامل یک تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ (B-1)، یک تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۹ و شماره ۱۳ (B-2) و تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ تقویت شده (B-3) با یک لایه GFRP پیش تنیده (0.165mm × 150mm × 3000mm) استفاده می شود [۲].



شکل (۱): جزئیات نمونه های مدل سازی شده: (a) ساختار نمونه تست، (b) سطح مقطع تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۹ و ۱۳ (B-2)، (c) سطح مقطع تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و هم چنین تیر بتنی تقویت شده با GFRP (B-1 و B-3)، (d) مدل نمونه FEA [۲]

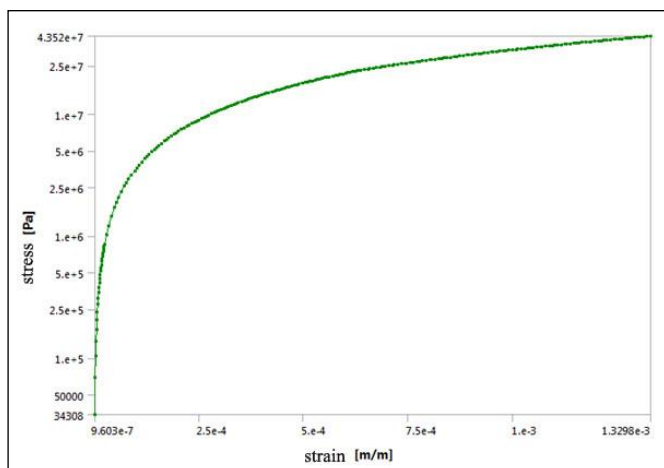
۴- رفتار و خواص مواد

۴-۱- بتن

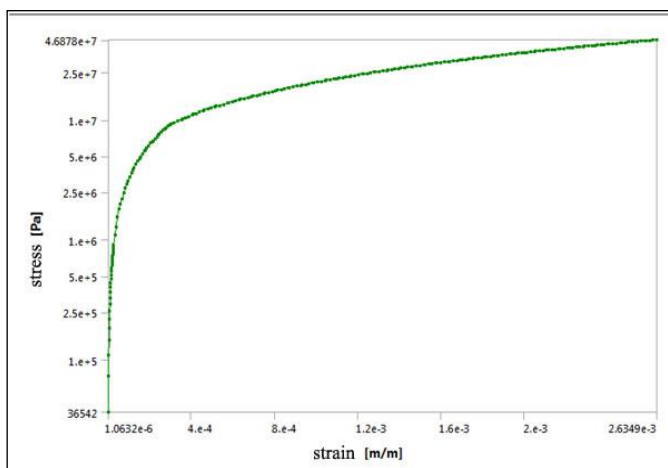
تحت یک تنش تک محوره فشاری، پاسخ تنش- کرنش یک رابطه غیر خطی را دنبال می کند تا زمانی که به مقدار تنش شکست برسد. تنش شکست مربوط به زمانی است که ترک های خیلی ریز در ساختار بتن ایجاد می شود. برای بتن تیر مقاومت فشاری 70 MPa در نظر گرفته شد. چگالی بتن 24 kN/m^3 در نظر گرفته شد، ضریب پواسون 0.2 در نظر گرفته شد. مشخصات مکانیکی بتن در جدول (1) نشان داده شده است [۹، ۱۰ و ۱۱].

جدول ۱: خواص مواد بتن

مقدار	نام
3 E10	مدول یانگ (N/m^2)
0.2	ضریب پواسون
2400	چگالی (Kg/m^3)

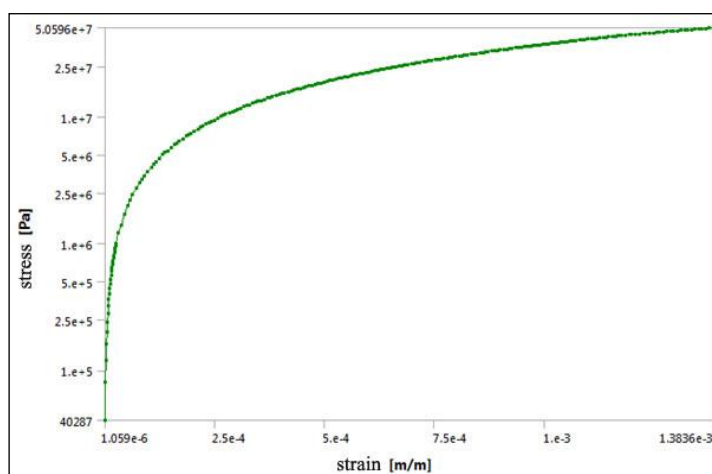


(الف)



(ب)

شکل (۲) منحنی پاسخ تنش - کرنش بتن در نمونه های تیر تحقیق حاضر حاصل از بارگذاری بر اساس نتایج عددی را نشان می دهد.



(ج)

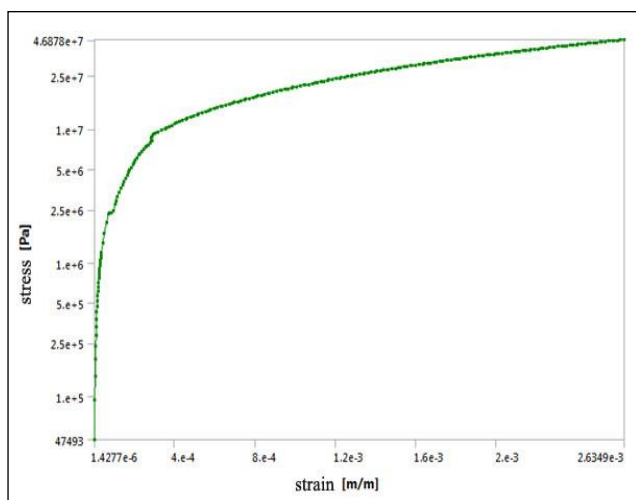
شکل ۲: منحنی تنش - کرنش بتن پیش تنیده الف) تیر B-1، ب) تیر B-2 و ج) تیر B-3.

۲-۴- فولاد

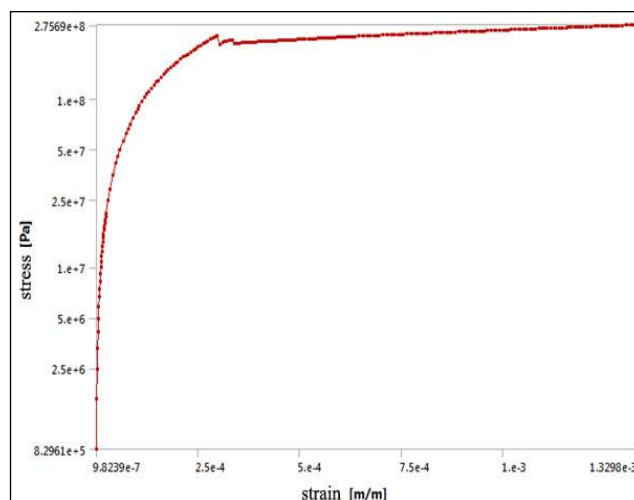
فولاد استفاده شده برای تقویت تیر بتنی باعث افزایش مقاومت تسلیم می شود. ضریب پواسون 0.3 در نظر گرفته شد. چگالی فولاد 78 kN/m^3 در نظر گرفته شد. در جدول (۲) مشخصات مواد سازنده فولاد تقویتی نشان داده شده است [۹، ۱۰ و ۱۱].

جدول ۲: خواص مواد سازنده فولاد پیش تنیدگی

مقدار	نام
2 e11	مدول یانگ (N/m^2)
0.3	ضریب پواسون
7850	چگالی (Kg/m^3)
2300	مقاومت تسلیم (kg/cm^2)
3800	مقاومت نهایی (kg/cm^2)

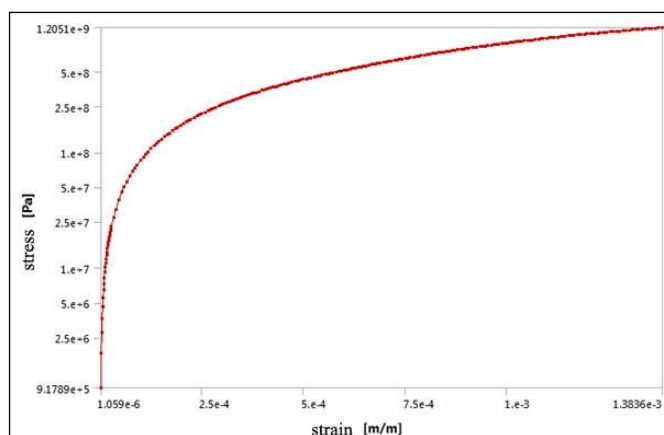


(الف)



(ب)

شکل (۳) منحنی تنش - کرنش فولاد پیش تنیدگی نمونه های تیر تحقیق حاضر حاصل از بارگذاری بر اساس نتایج عددی را نشان می دهد.



(ج)

شکل (۳) - منحنی تنش - کرنش فولاد پیش تنیدگی (الف) تیر B-1، (ب) تیر B-2 و (ج) تیر B-3.

۳-۴ - صفحات GFRP

صفحات GRFP به عنوان یک ماده ایزوتروپیک به منظور بالا بردن مقاومت شکست استفاده می شود. ضریب پواسون ۰/۲۸ در نظر گرفته شد. در جدول (۳) مشخصات ماده GFRP نشان داده شده است.

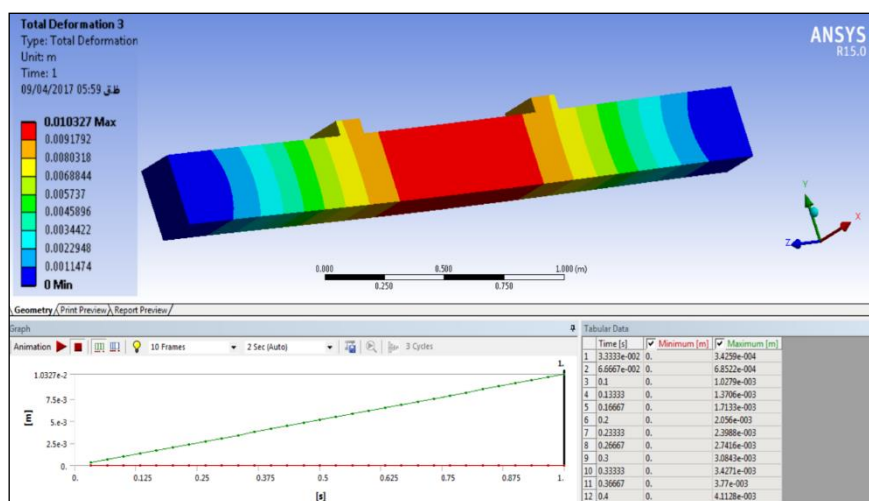
جدول ۳: خواص مواد سازنده GFRP

مقدار	نام
2.6 e11	مدول یانگ (N/m ²)
0.28	ضریب پواسون
1.8e-6	چگالی (Kg/m ³)
83-1600	مقاومت کششی (Mpa)

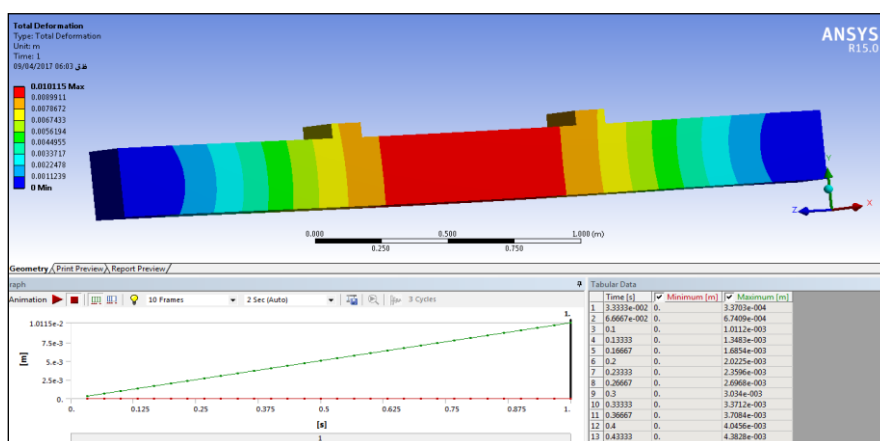
۵- تجزیه و تحلیل نتایج

۵-۱- تغییر شکل سه نوع تیر

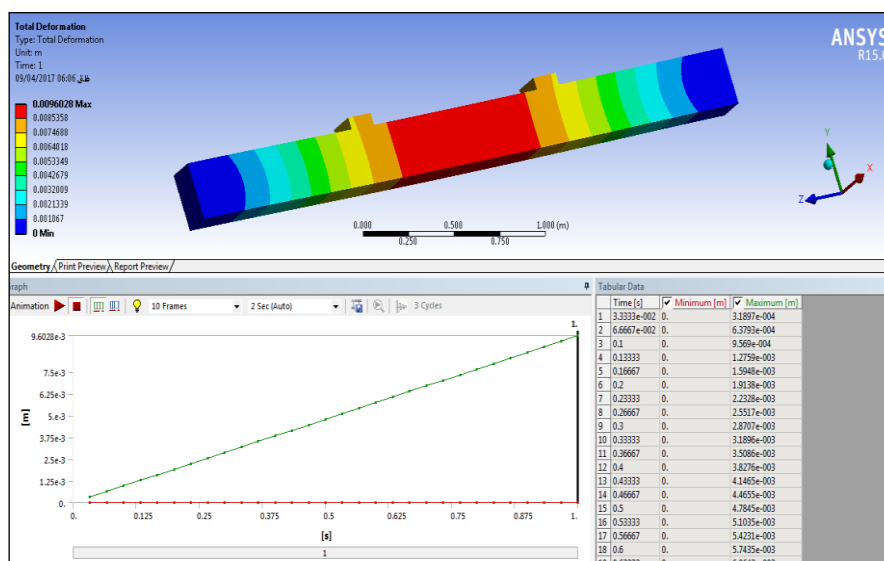
در شکل (۴)، (۵) و (۶) تغییر شکل ناشی از بارگذاری (افزایش بار به روش کنترل تغییر مکان) و کانتور تغییرات جابجایی برای تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳، تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و ۹ و تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و تقویت شده با لایه GFRP نشان داده شده است. همچنان که در شکل (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است در وسط تیر مقدار جابجایی تیر دارای بیشترین مقدار است و با نزدیک شدن به دو انتهای تیر جایی که درجه آزادی صفر است مقدار تغییر شکل صفر است. بیشترین مقدار جابجایی در تیر B-1 برابر $0/0103$ متر، تیر B-2 برابر $0/0101$ متر و تیر B-3 برابر $0/009$ متر است.



شکل (۴): کانتور تغییر شکل تیر بتنی پیش تنیده با مفتول فولادی شماره ۱۳ (B-1).



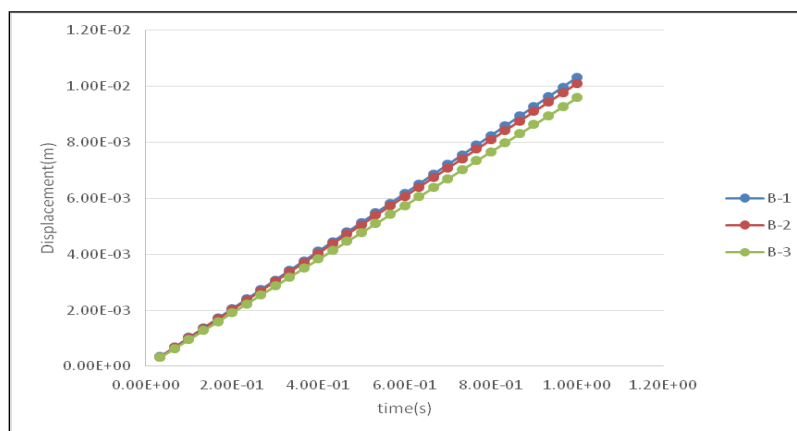
شکل (۵): کانتور تغییر شکل تیر بتنی پیش تنیده با مفتول فولادی شماره ۱۳ و شماره ۹ (B-2).



شکل (۶): کانتور تغییر شکل تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و لایه تقویت شده توسط GFRP پیش تنیده (B-3).

۵-۲- مقایسه جابجایی در سه نوع تیر

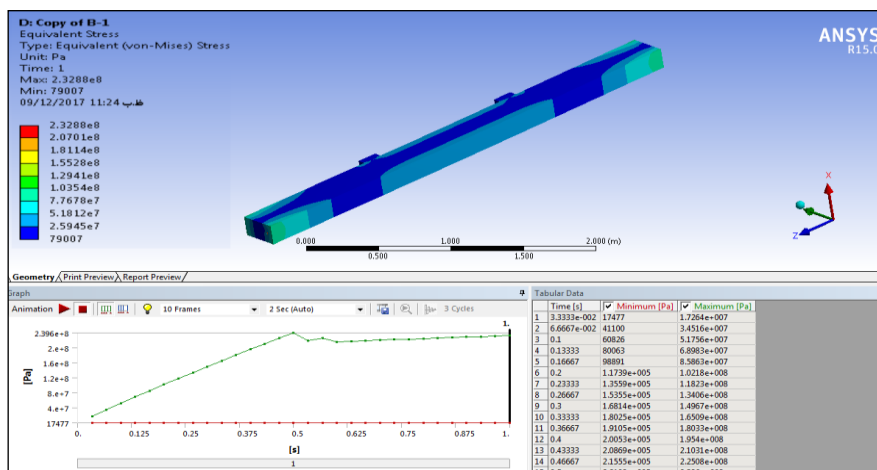
شکل (۷) مقدار جابجایی وسط دهانه هریک از تیرها را نسبت به زمان یا شماره قدم بارگذاری نشان می دهد. با توجه به شکل (۷) مشخص است زمانی که از ورق GFRP پیش تنیده استفاده می شود مقدار جابجایی کمتر است و تیر سختی خمشی بیشتری خواهد داشت.



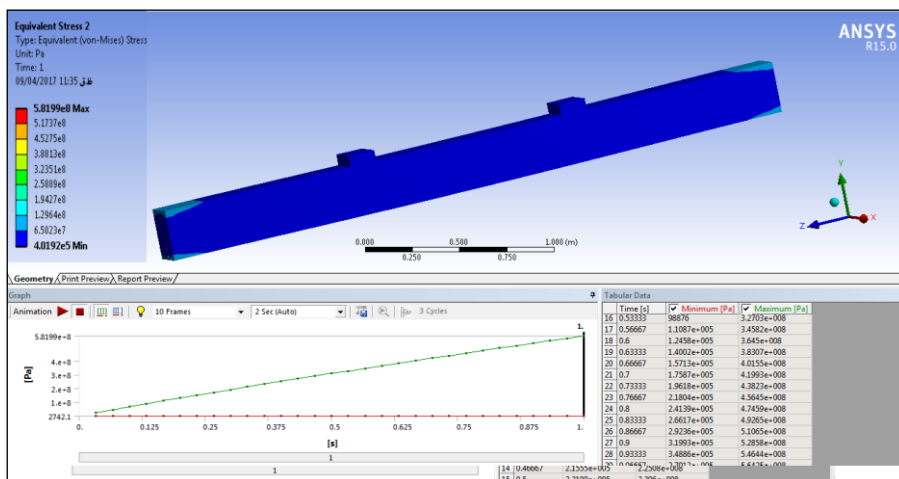
شکل (۷): مقدار جابجایی هریک از تیرها در طول زمان بارگذاری.

۵-۳- تنش ایجاد شده در سه نوع تیر

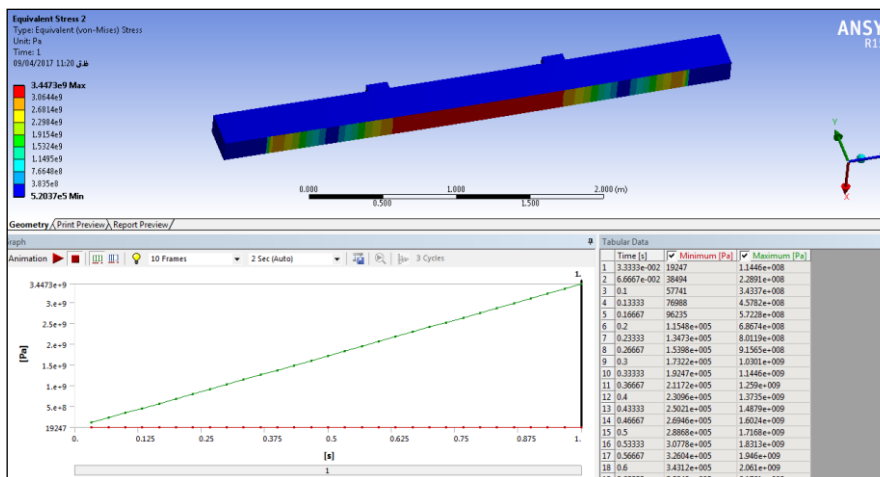
در شکل (۸)، (۹) و (۱۰) تنش معادل وان میس وارده بر تیر پیش تنیده شده با مفتول فولادی شماره ۱۳ و تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و ۹ و تیر بتنی پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و تقویت شده با لایه GFRP پیش تنیده در انتهای گام بارگذاری نشان داده شده است. معیار فون مایسز یک معیار تسلیم برحسب ماکزیمم انرژی سیستم بوده و به تئوری Maxwell-Huber-Hencky-von Mises نیز شناخته شده است. این معیار برای تخمین تسلیم مواد شکل پذیر بکار می رود. طبق این معیار گسیختگی وقتی رخ می دهد که انرژی تغییر شکل برابر انرژی تغییر شکل در تسلیم یا گسیختگی در تنش تک محوره باشد. تنش معادل یا فون میز برای پیش بینی تسلیم مواد مورد استفاده قرار می گیرد [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. همچنان که در شکل (۹) نشان داده شده است تنش در نقاط تکیه گاهی به دلیل وجود نیروی عکس العمل تکیه گاهی افزایش یافته است. نکته دیگر اینکه با توجه به شکل (۱۰) مقدار تنش معادل در لایه GFRP بیشترین مقدار را دارد.



شکل (۸): کانتور تنش معادل وان میس ایجاد شده (Pa) در تیر پیش تنیده شده بامفتول شماره ۱۳.



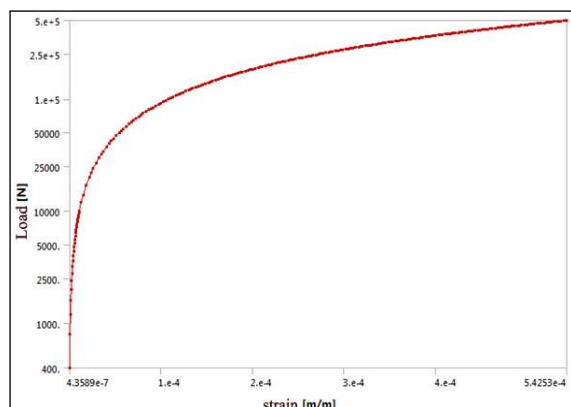
شکل (۹): کانتور تنش معادل وان میس (Pa) تیر پیش تنیده شده با مفتول فولادی شماره ۱۳ و شماره ۹.



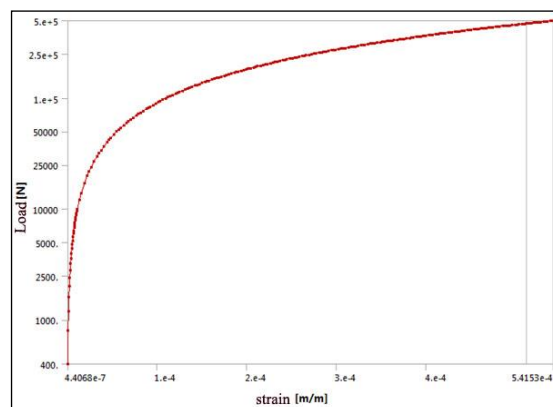
شکل (۱۰): کانتور تنش معادل وان میس (Pa) وارده بر تیر پیش تنیده شده با مفتول شماره ۱۳ و تقویت شده با لایه GFRP پیش تنیده.

۴-۵- مقایسه نمودار بار- کرنش فشاری در سه نوع تیر

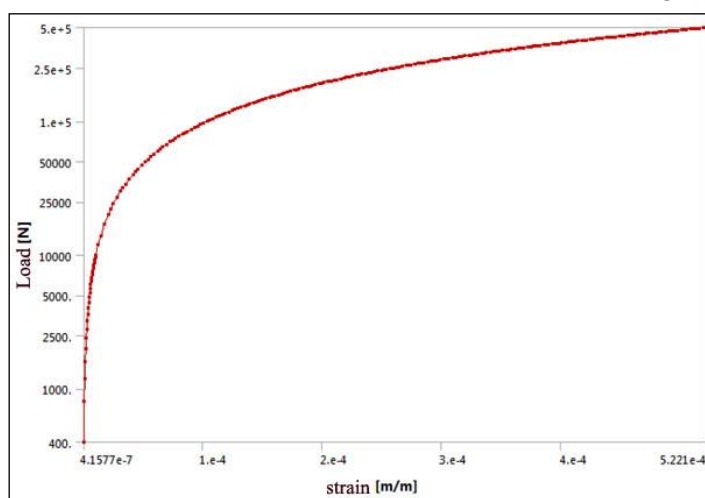
در شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نمودار بار- کرنش فشاری در بتن در وسط دهانه بالای مقطع تیر پیش تنیده شده با مفتول فولادی شماره ۱۳ در (B-1)، تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و ۹ (B-2) و تیر پیش تنیده با مفتول شماره ۱۳ و تقویت شده با لایه GFRP پیش تنیده (B-3) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که با وارد کردن نیروی افزایشده وارد شده، سازه وارد بخش پلاستیک می شود و مقدار کرنش با افزایش بار تا یک قسمت به صورت خطی افزایش پیدا می کند. و از یک قسمت به بعد تغییرات کرنش با افزایش نیرو به صورت خطی افزایش پیدا نمی کند و تغییرات وارد قسمت غیرارتجاعی می شود.



شکل (۱۲): نمودار بار- کرنش فشاری در بتن در وسط دهانه بالای مقطع در تیر B-2



شکل (۱۱): نمودار بار- کرنش فشاری در بتن در وسط دهانه بالای مقطع تیر B-1



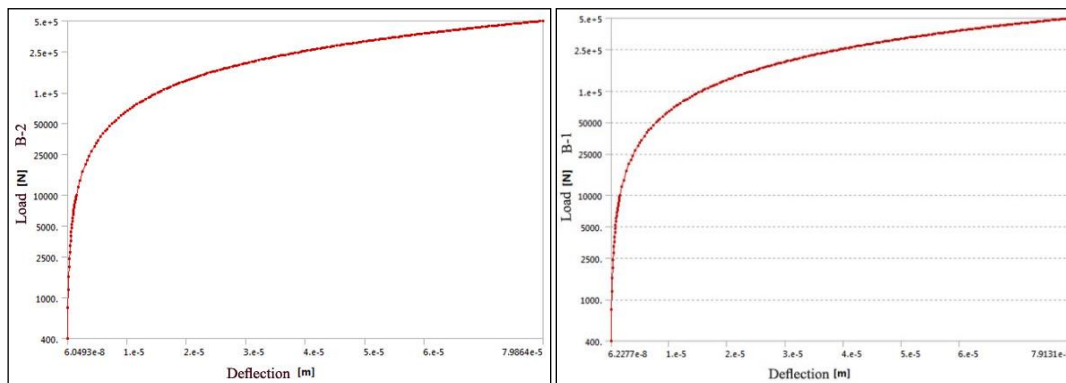
شکل (۱۳): نمودار بار- کرنش فشاری در بتن در وسط دهانه بالای مقطع تیر B-3

۵-۵- بررسی شکل پذیری

برای ارزیابی شکل پذیری از دو روش جابجایی و انرژی استفاده می شود. بدین ترتیب شاخص شکل پذیری جابجایی طبق رابطه (۱) عبارت از نسبت جابجایی نهایی محاسبه شده به جابجایی تسلیم محاسبه شده یک سازه است و شاخص شکل پذیری انرژی طبق رابطه (۲) عبارت از نسبت میزان انرژی جذب شده در بخش نهایی به میزان انرژی جذب شده در سطح سرویس می باشد. به عبارتی سطح زیر منحنی بار- تغییر شکل برابر با میزان انرژی جذب شده است [۳، ۴ و ۵]. شکل (۱۴) پاسخ های بار- تغییر مکان برای تیرهای B-1، B-2 و B-3 را نشان می دهد.

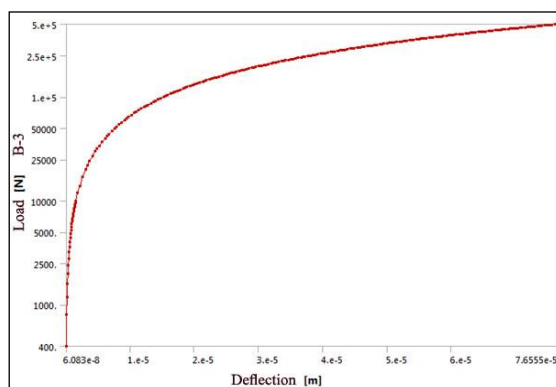
$$u_{\Delta} = \Delta u / \Delta y \quad (1)$$

$$u_{E} = E_u / E_y \quad (2)$$



(ب)

(الف)



(ج)

شکل (۱۴): منحنی های بار - تغییر شکل (در وسط دهانه)، تیر B-1 (الف)، تیر B-2 (ب)، تیر B-3 (ج) و تیر B-3.

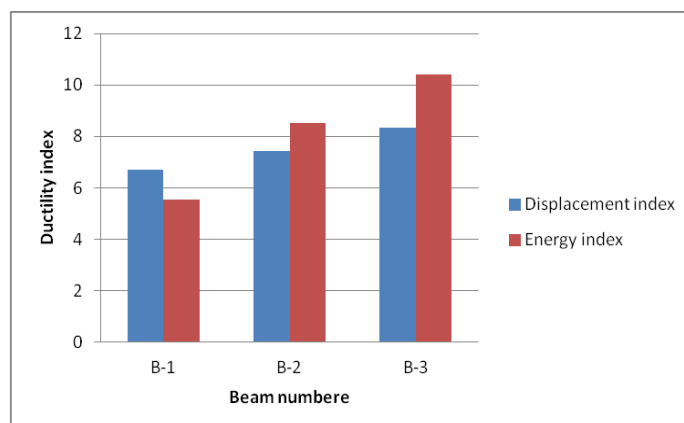
در این قسمت مقادیر نتایج اجزا محدود تغییر مکان ها در بار جاری شدن Δy ، تغییر مکان نهایی Δu و شاخص شکل پذیری جابجایی و همچنین میزان انرژی جذب شده نهایی در بخش نهایی E_u ، میزان انرژی جذب شده در سطح سرویس E_y و شاخص شکل پذیری انرژی هر یک از تیرها در جدول (۴) محاسبه گردید.

جدول (۴): شاخص شکل پذیری تیرها

Beam No	Displacement (m)		u_{Δ}	Energy (Nm)		u_E
	Δy	Δu	$\Delta u / \Delta y$	E_y	E_u	E_u / E_y
B-1	0.00001182	0.000079131	6.69	7.27	40.369	5.55
B-2	0.00001075	0.00007986	7.42	4.7	40.1365	8.53
B-3	0.00000918	0.000076555	8.33	3.99	41.62299	10.4

در نمودار شکل (۱۴) نتایج شاخص شکل پذیری جابجایی و انرژی تیرهای مدل سازی شده مقایسه شده اند، که شاخص شکل پذیری انرژی برای تیرهای B-2 و B-3 حدوداً ۱/۲ برابر بیشتر از شاخص شکل پذیری جابجایی است و همچنین شاخص شکل پذیری جابجایی برای تیر B-1 حدوداً ۱/۲ برابر بیشتر از شاخص شکل پذیری انرژی است. همانطور که در شکل (۱۴) نشان داده شده است تیر B-1 کمترین شاخص جابجایی و انرژی را دارد. کاهش شاخص شکل پذیری تیر B-1 را می توان به کاهش سطح پیش تنیدگی در این تیر نسبت داد.

شاخص شکل پذیری انرژی در تیر B-1 و تیر B-2 نسبت به تیر B-3 به ترتیب ۱۷/۹۸٪ و ۴۶٪ کاهش یافته و شاخص شکل پذیری جابجایی در تیر B-1 و تیر B-2 نسبت به تیر B-3 به ترتیب ۱۰/۹۲٪ و ۲۴/۵۱٪ کاهش یافته است.



شکل (۱۴): نمودار مقایسه‌ی نتایج شاخص شکل پذیری تیرها

۶- نتیجه گیری

تحلیل‌های انجام شده برای نمونه‌های تیرهای بتنی پیش‌تنیده با و بدون ورق GFRP پیش‌تنیده در حالت‌های مختلف نتایجی را به شرح زیر دنبال داشت:

۱- در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ANSYS Workbench-static structural تاثیر استفاده از ورق GFRP پیش‌تنیده بر روی مقاومت و مقدار جابجایی تیر بتنی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج تحلیل عددی با نتایج تحلیل عددی دو نوع تیر بتنی پیش‌تنیده با مفتول مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با بکارگیری ورق GFRP پیش‌تنیده در تیرهای بتنی می‌توان مقاومت در برابر بارها را در تیرهای بتنی به مقدار قابل توجهی نسبت به تیرهای دیگر افزایش داد.

۲- بر اساس نتایج تحلیل‌های المان محدود که به منظور بررسی تأثیر ورق تقویت در سختی تیرهای بتنی پیش‌تنیده صورت گرفت، سختی خمشی تیر پیش‌تنیده با تقویت ورق GFRP پیش‌تنیده ۱۰ درصد افزایش یافته است.

۳- در تحقیق حاضر، پس از حصول اطمینان از صحت و دقت نتایج تحلیل‌های مدل‌های المان محدود و کارایی این مدل‌ها در شبیه‌سازی رفتار واقعی تیرهای پیش‌تنیده و تقویت شده، تأثیر تقویت ورق GFRP پیش‌تنیده در شکل‌پذیری تیرهای پیش‌تنیده تحت بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌های انجام شده بر روی تیرهای بتنی پیش‌تنیده و تقویت شده، نشان داد که تقویت با استفاده از ورق GFRP پیش‌تنیده روشی بسیار مؤثر و کارآمد می‌باشد، بطوریکه تقویت تیر بتنی پیش‌تنیده با استفاده از این روش، منجر به افزایش ۱۰/۴ درصدی و ۲۶/۵ درصدی، شاخص شکل‌پذیری جابجایی و انرژی در برابر بارگذاری می‌شود و مقایسه نمودار بار - کرنش فشاری برای تیرهای تقویت شده با لایه GFRP پیش‌تنیده در مقایسه با دو تیر دیگر نشان داد که تیرهای تقویت شده با GFRP پیش‌تنیده نسبت به دو تیر دیگر شکل‌پذیرتر است.

مراجع

- [1] Fintel, M., (1974), "Ductility of structural element", Hank book of Concrete Engineering, Chapter 8.
- [2] Kim, Y.J., Chi, C., Green, M.F., (2008) "Ductility and cracking behavior of prestressed concrete beams strengthened with prestressed CFRP sheets", Journal of Composites for Construction, ASCE.
- [3] Oudah, F., El-Hacha, R., (2012) "A new ductility model of reinforced concrete beams strengthened using fiber reinforced polymer reinforcement", Composite: Part B, 43, Vol. 3338- 3347.
- [4] Du, J.S., Cheung, F.T.K., Kwan, A.K.H., (2008) "Ductility analysis of prestressed concrete beams with unbonded tendons", Engineering Structure, 30, pp. 13-21.
- [5] Ghallab, A., (2014), "Ductility of externally prestressed continuous concrete beams", KSCE Journal of Civil Engineering, pp. 595- 606.
- [6] Parandman, P., Jayaramam, M., (2014), "Finite element analysis of reinforced concrete beam retrofitted with different fiber composites", Middle- East Journal of Scientific Research, 22, pp. 948- 953.
- [7] Prashant B, K., Sudhir P, P.P., Keshav K, S., (2014), "Finite element analysis of prestressed beam", International Journal of Advance Foundation and Research in Science & Engineering (IJAFRSE), 1(3).
- [8] Kast, A.S., Varghese, V., (2012) "Finite element analysis of prestressed concrete beams", International Journal of Advance Technology in Civil Engineering, Vol. 1.
- [9] Subramani, T., Jayalakshmi, J., (2015), "Analytical investigation of bonded glass fiber reinforced polymer sheets with reinforced concrete beam using ansys", International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol. 4.
- [10] Chen, W., Hao, H., Chen, S., (2015), "Numerical analysis prestressed reinforced concrete beam subjected to blast loading", Material and Design, 65, pp. 662-674.
- [11] Vasudevan, G., Kothandaraman, S., (2011), "Parametric study on nonlinear finite element analysis on flexural behavior of RC beams using", International Journal of Civil and Structural Engineering, 2(1).
- [12] Amer M, I., Saad K, M., Qusay W, A., (2012), "Finite element modeling of composite steel- concrete beams with external prestressing", International Journal of Civil and Structural Engineering, 3(1).
- [13] Jayajothi, P., Kumutha, R., Vijai, K., (2013) "Finite element analysis of FRP strengthened RC beams using ansys", Asian Journal of Civil Engineering (BHRC), 1(4).
- [14] Rose Joshua, N., Saibabu, S., Eapen Sakaria, P., Lakshmikandhan, K.N., Sivakumar, P., (2012), "Finite element analysis of reinforced and pre-tensioned concrete", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 4.