

تعیین ضریب تخریب تیرهای بتنی مسلح شده با AFRP تحت خمش به کمک

سیستم‌های فازی

محمود میری، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

احسان عدیلی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

mmiri@hamoon.usb.ac.ir

ehsan_adili2006@yahoo.com

چکیده:

بعلت خواص بسیار مناسب پلیمرهای الیاف مصنوعی (FRP) استفاده از این کامپوزیت‌ها روز به روز گسترش می‌یابد. اگرچه تا کنون اغلب کاربرد FRP‌ها در تقویت و مقاوم سازی سازه‌ها بوده است. اما امروزه استفاده از FRP بعنوان مسلح کننده اصلی بتن (به جای میلگردهای فولادی) آغاز گردیده است. میلگردهای FRP بر میلگرد های فولادی برتری های فراوانی دارند اما رفتار خطی آنها تا لحظه شکست که منجر به انجام یک شکست ترد در تیر می‌گردد یک نقطه ضعف برای مسلح کننده محسوب می‌شود. در این مقاله نتایج حاصل از مطالعه تیرهای بتنی مسلح شده با AFRP به کمک سیستمهای فازی ارائه شده است. بدین صورت که چهار فاکتور عرض ترک در بتن، میزان خیز تیر، میزان لنگر و نیروی برشی وارده بعنوان ورودی در نظر گرفته شده اند. پس از فازی سازی آنها و تشکیل موتور استنتاج فازی (black box) یک خروجی به نام ضریب تخریب به دست آمده است که درصد خرابی تیر و میزان نزدیکی آن به شکست نهایی را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: تیر بتن مسلح، AFRP، ضریب تخریب، سیستم های فازی

مقدمه:

پلیمر های الیاف مصنوعی (FRP) غالباً به دو صورت ژاکتهای دور پیچ و مسلح کننده اصلی برای مقاوم سازی و تسلیح سازه های بتنی بکار می‌روند. در آغاز این پلیمرها فقط جهت مقاوم سازی و بصورت دورپیچ بکار می‌رفتند، اما از زمانیکه برتریهای خود را بر ژاکت های فولادی نشان دادند، ذهنیت استفاده از آنها بعنوان میلگرد های اصلی بتن شکل گرفت. استفاده از پلیمر بعنوان مسلح کننده اصلی بتن هنوز کاملاً جایگاه اصلی خود را

پیدا نموده است ولی خواص فوق العاده مسلح کننده های پلیمری مانند مقاومت کششی بسیار بالا (حدود ۳ برابر فولاد)، وزن اندک، مقاومت در برابر خوردگی و اجرای ساده، اشتیاق مهندسان جهت استفاده از آنان را روزافزون نموده است. [۱].

پلیمرهای الیاف مصنوعی چه به صورت ژاکت بکار روند و چه به صورت میلگرد، شامل سه نوع CFRP (پلیمر الیاف کربن)، GFRP (پلیمر الیاف شیشه) و AFRP (پلیمر الیاف آرامید) می باشند. کارهای تحقیقاتی در زمینه تسلیح سازه های بتنی با FRP عمری کوتاهتر از یک دهه دارند.

Cosenza و دیگران در سال ۱۹۹۷ به تحقیق روی سازه های بتنی مسلح شده با FRP البته در بتن نرمال ($f'_c \leq 41\text{Mpa}$) پرداختند. [۹] Grace و Masmoudi و دیگران در سال ۱۹۹۸ بتن هایی با مقاومت Mpa ۷۰ را با FRP مسلح نمودند [۱۰] و در نهایت Theriault و Benmokrane این کار را در بتن هایی با مقاومت Mpa ۱۰۰ را انجام دادند. [۱۱] تمامی این تحقیقات منحصر به مسلح کننده هایی از جنس CFRP و GFRP بودند. اما در سال ۲۰۰۵، Mansur، Rashid و Paramasivam [۲] این تسلیح را با پلیمر AFRP در بتنهای با مقاومت بالا انجام دادند و به نتایج مهمی دست یافتند آنها نتیجه گرفتند که تیرهای بتن مسلح که با AFRP مسلح شوند تا لحظه شکست رفتار خطی دارند.

در مقاله حاضر با بهره گیری از سیستم های فازی ضریب میزان تخریب تیرهای بتنی مسلح شده با AFRP تعیین گردیده است. چنین روشی قابل تعمیم به سایر تیرهای مسلح شده با پلیمرهای GFRP و CFRP نیز می باشد.

مقدمه ای بر کنترل فازی

در دهه ۱۹۶۰، پروفیسور لطفی زاده در دانشگاه برکلی کالیفرنیا، بیان نمود که ابهامات یک وضعیت نامعلوم ولی متفاوت از پدیده های تصادفی هستند، برای مثال نمی توان مردم را به دو گروه خوب و بد تقسیم کرد. یا دسته بندی پارامترهایی چون دما، فشار، اندازه و . . . در دو گروه صفر و یک ممکن نیست. برای توصیف چنین

پارامترهایی درجه ای به آنها تعلق می گیرد که این درجه ها بر اساس چندین فاکتور مانند موقعیت، آزمایش و .. است. این ایده اساس مجموعه های فازی نسبت به منطق کلاسیک است. در مجموعه کلاسیک یک شیء به مجموعه تعلق دارد یا ندارد ولی در مجموعه فازی درجه هایی از تعلق نسبت به یک مجموعه معرفی می شوند. یک مجموعه فازی تابع تعلق دارد که درجه های مختلفی از تعلق برای عناصر مشخص در آن تعریف می شود. تابع تعلق به صورت مقادیر گسسته یا به وسیله منحنی هایی تعریف می گردد. روش های متعددی برای توصیف یک مجموعه فازی وجود دارد [۳ و ۷].

پروسه فازی سازی (fuzzification) مجموعه ای کلاسیک را به یک مجموعه تقریب زنده که فازی است تبدیل می کند [۴]. از آنجاییکه هر عضو و درجه تعلق آن مستقل از عضو دیگر و درجه تعلق مربوط به آن است، پروسه فازی سازی یک پروسه خطی است و اصل جمع آثار در آن صدق می کند، یعنی هر عضو به تنهایی فازی می گردد [۵].

به منظور طراحی یک سیستم کنترل منطق فازی باید قادر به توصیف عملیات به صورت زبانی باشد. به بیان دیگر مراحل زیر باید انجام شود [۵]:

(۱) مشخص نمودن ورودی ها و خروجی ها با استفاده از متغیر های زبانی

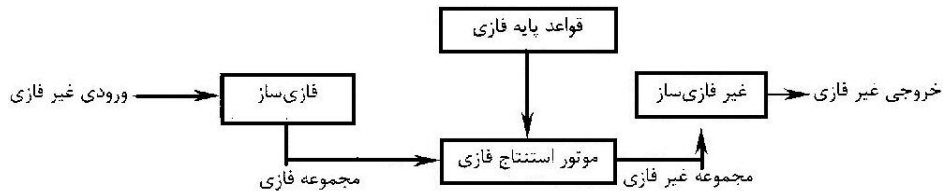
(۲) نسبت دادن توابع تعلق به متغیرها

(۳) ایجاد قواعد پایه (اساسی)

(۴) غیر فازی سازی (Defuzzification)

متغیر های زبانی، تعلق و قواعد پایه از تجربیات یک اپراتور ماهر بدست می آیند. قواعد پایه زیاد، معمولاً منجر به عملکرد بهتری می شوند. سیستم های فازی "سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد" هستند. قلب یک سیستم

فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر - آنگاه فازی تشکیل شده است. منظور از سیستم فازی در مهندسی سیستم فازی با فازی ساز (fuzzifier) و غیر فازی ساز (Defuzzifier) است، شکل (۱) [۶].



شکل ۱- نمایش یک سیستم فازی

در یک سیستم غیر فازی، تنها یک قاعده در یک زمان خاص وجود دارد ولی در سیستم فازی ممکن است در همان زمان خاص بیش از یک قاعده ولی با قوت‌های متفاوت وجود داشته باشد. این قواعد با قوت‌های متفاوت منجر به عملیات کلاسیک در خلال پروسه غیر فازی سازی می شوند [۳].

اساساً گرچه سیستم های فازی پدیده های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می کنند، با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می باشد. دو توجیه برای سیستم های فازی وجود دارد:

(۱) پیچیدگی بیش از حد دنیای واقعی که منجر به توصیفی تقریبی یا فازی برای مدل کردن یک سیستم می شود.

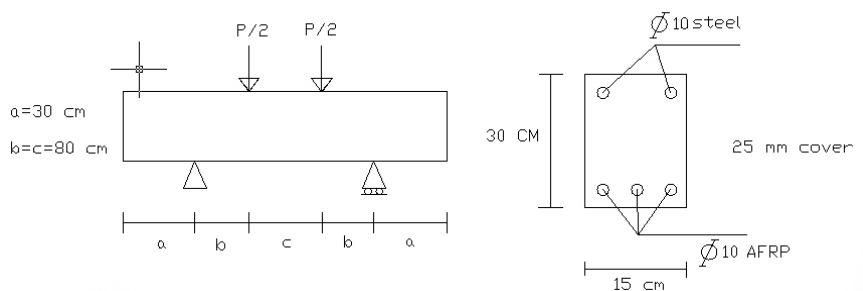
(۲) نیاز به فرضیه ای برای فرموله کردن دانش بشری به شکلی سیستماتیک و قرار دادن آن در سیستم های مهندسی.

توجیه دوم وجود تئوری سیستم های فازی را به عنوان یک شاخه مستقل در علوم مهندسی توجیه می کند

[۶].

معرفی تیر شاهد

یک تیر بتنی مسلح شده با AFRP بعنوان شاهد مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. تیرهایی که با میلگردهای کامپوزیتی مسلح می شوند تا لحظه شکست دارای رفتار خطی و به علت کرنش زیاد FRP دارای خیز زیاد می شوند اما در نهایت بدون جاری شدن و بصورت کاملاً ترد گسیخته می گردند. در چنین تیرهایی به محض ایجاد ترک در اثر خمش، ترک ها از ناحیه کششی وارد ناحیه فشاری می گردند و گسترش می یابند. اما هنوز تا گسیختگی تیر راه زیادی باقیست. نمونه شاهد بر اساس استاندارد آزمایش خمش بصورت زیر می باشد:



شکل ۲- مشخصات نمونه شاهد

ساخت مدل فازی

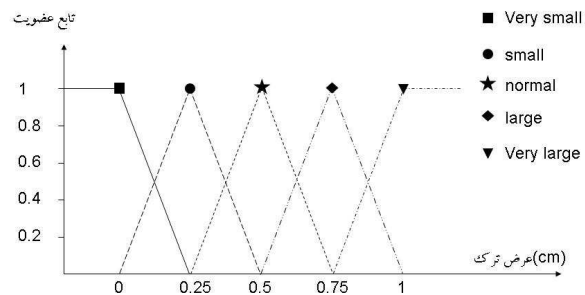
در این مقاله با استفاده از منطق فازی روشی برای تعیین میزان تخریب تیرهای بتنی مسلح شده با AFRP ارائه شده است. با معرفی چهار تابع عرض ترک ناحیه کششی، میزان خیز تیر، لنگر و نیروی برشی به عنوان توابع ورودی موتور استنتاج فازی (black box) تشکیل شده است و میزان تخریب بصورت ضربی در خروجی کار حاصل شده است. مراحل کار بصورت زیر بوده است:

الف) تعریف مجموعه های فازی که زوج های ورودی - خروجی را پوشش دهند

این مجموعه ها بصورت توابع مثلثی انتخاب شده اند. بعلا رفتار خطی خود تیر انتخاب توابع خطی ساده برای توابع خطی ساده برای توابع ورودی مناسب می باشد. برای ورودی اول یعنی عرض ترک، ۵ مجموعه فازی به

نام های very small ، small ، normal ، large و very large در بازه [۰ و ۱] سانتیمتر بصورت زیر در

نظر گرفته شده اند:

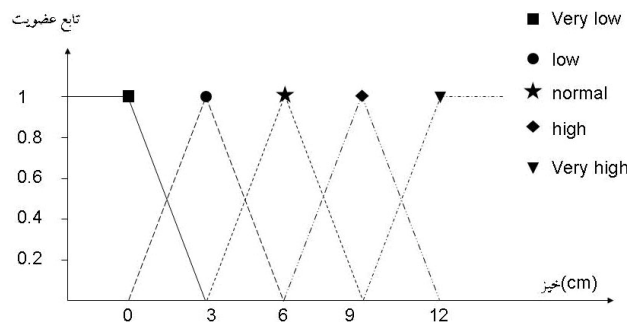


شکل ۳- ورودی اول (عرض ترک)

برای ورودی دوم یعنی میزان خیز باز هم ۵ مجموعه فازی به نام های high ، normal ، low ، very low و

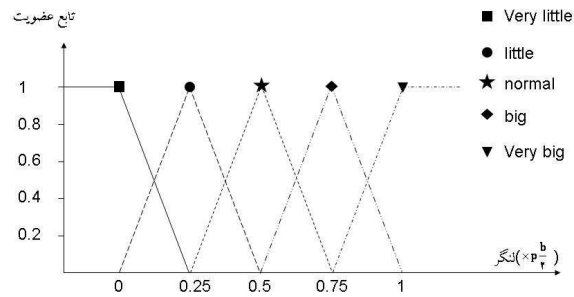
very high در بازه [۰ و ۱۲] سانتی متر در نظر گرفته شده اند. این اعداد بر اساس نتایج آزمایشگاهی آقای

Rashid [۲] که تعداد زیادی تیر مسلح شده با AFRP را مورد آزمایش قرار داد انتخاب شده اند.



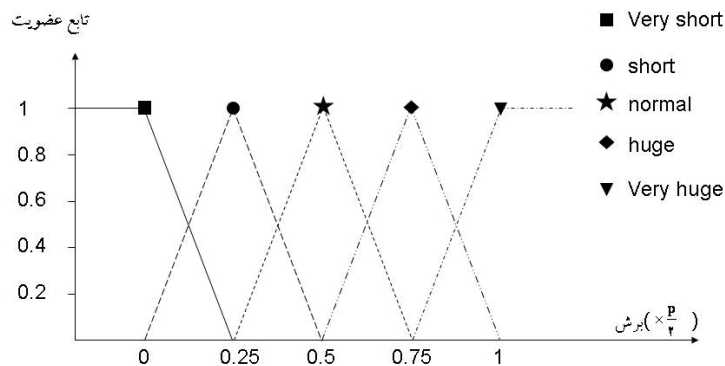
شکل ۴- ورودی دوم (خیز)

برای ورودی سوم یعنی لنگر نیز ۵ مجموع فازی در نظر گرفته شده است. اگر مطابق شکل ۲، ماکزیمم لنگر وارده به تیر $\frac{pb}{2}$ باشد (P نیروی نهایی که باعث شکست کامل تیر می شود)، مجموعه های فازی very little ، little ، normal ، big ، very big را در بازه $\frac{pb}{2}$ [۰ و ۱] مطابق شکل ۵ در نظر گرفته شده اند:



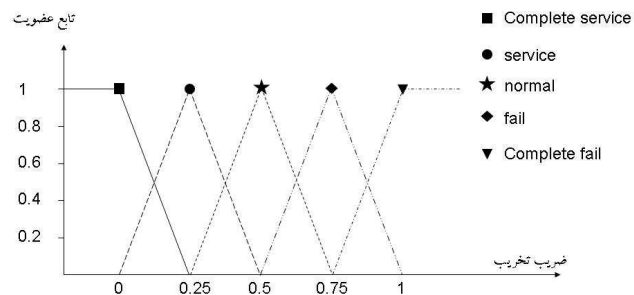
شکل ۵- ورودی سوم (لنگر)

وبالاخره به عنوان آخرین ورودی جهت تعریف تابع برش ۵ مجموعه very short ، short ، normal ، huge و very huge تعریف گردید اگر برش ماکزیمم که باعث شکست تیر می شود $\frac{p}{2}$ باشد، مشابه حالت قبل نمودار آن بصورت زیر خواهد بود:



شکل ۶- تابع ورودی چهارم (برش)

تابع خروجی ضریب تخریب نیز بصورت مثلثی با ۵ مجموعه normal ، service ، complete service ، fail و complete fail بصورت زیر می باشد:



شکل ۲- تابع خروجی (ضریب تخریب)

۲- تولید یک قاعده از روی یک زوج ورودی خروجی

ابتدا برای هر زوج ورودی خروجی مقادیر تعلق در مجموعه های فازی ورودی و خروجی را تعیین نموده و

قواعد اگر - آنگاه فازی بعنوان مثال بصورت زیر ایجاد گردیده اند:

اگر عرض ترک very large و میزان خیز high و مقدار برش huge و مقدار لنگر big باشد، آنگاه تیر در

وضعیت complete fail می باشد.

۳- ایجاد پایگاه قواعد فازی، استفاده از استلزام ممدانی و تشکیل موتور استنتاج

۴- تبدیل نتایج خروجی فازی به ریاضیات کلاسیک (defuzzification) و حصول ضریب تخریب

محاسبه عرض ترک:

جهت محاسبه عرض ترک از فرمول lutz و Gergely استفاده گردیده است. [۸] این فرمول بصورت زیر

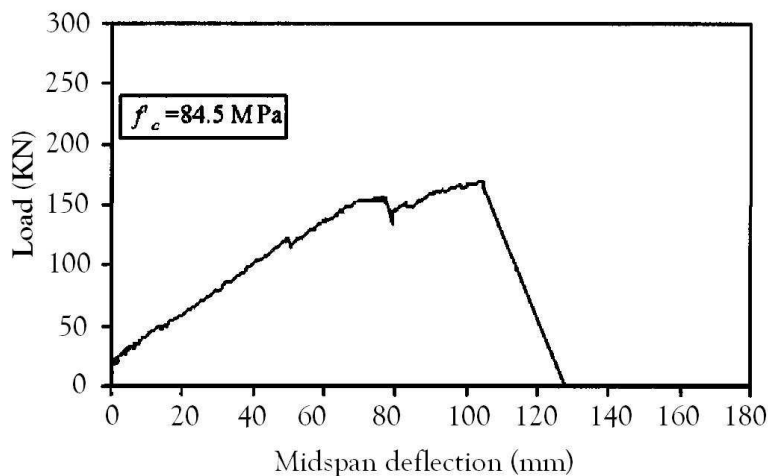
است:

$$W_{cr,G\&L} = \frac{k_g f_s \sqrt[3]{d_s A}}{1 + \frac{2}{3} \left(\frac{d_s}{h_1} \right)}$$

در این فرمول k_g ضریبی است که میزان آن بصورت اصلاح شده برابر 40×10^6 می باشد، f_s تنش فولاد (Mpa) تحت بار وارده است، d_s پوشش بتن (mm) نسبت به مرکز میلگرد می باشد، A سطحی از بتن است (mm^2) که به یک میلگرد اختصاص می یابد و برابر است با سطح کششی بتن تقسیم بر تعداد میلگردها و h_1 عبارتست از فاصله ترک از تار خنثی .

تطبیق با نمونه شاهد

اکنون سیستم فازی فوق با نمونه شاهد که قبلاً معرفی گردید و توسط آقایان Mansur, Rashid و Paramasivam [۲] آزمایش گردیده است تطبیق داده می شود. شکل ۸ نمودار نیرو تغییر شکل تیر را که در آزمایشگاه بدست آمده را نشان می دهد. در جدول ۱ میزان درصد ضریب تخریب تیر در اثر اعمال گام به گام نیرو نشان داده شده است.

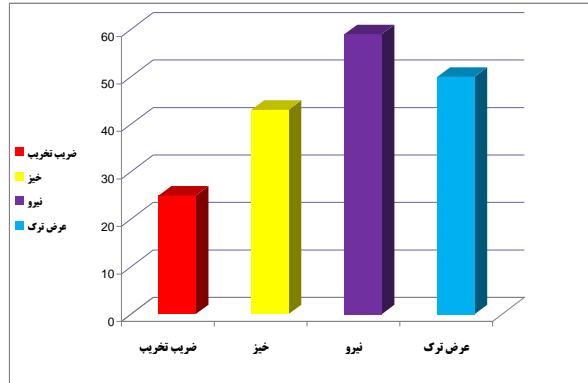


شکل ۸- نتیجه آزمایشگاهی تیر شاهد

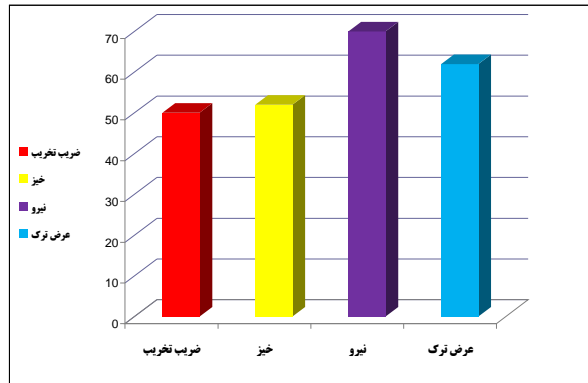
جدول ۱- ضریب تخریب نمونه شاهد در گام های مختلف بارگذاری

ردیف	نیرو (KN)	عرض ترک (CM)	لنگر ماکزیمم (KN.M)	برش ماکزیمم (KN)	خیز ماکزیمم (CM)	ضریب تخریب (در صد)
۱	۱۵	۰/۰۳۶	۶	۷/۵	۰	۰
۲	۳۰	۰/۰۷۵	۱۲	۱۵	۰/۲	۰/۰۸
۳	۴۵	۰/۱۱	۱۸	۲۲/۵	۱/۱	۳/۱
۴	۶۰	۰/۱۵	۲۴	۳۰	۲/۵	۸/۸
۵	۷۵	۰/۲	۳۰	۳۷/۵	۳	۲۰
۶	۹۰	۰/۲۴	۳۶	۴۵	۳/۶	۲۶/۹
۷	۱۰۵	۰/۲۹	۴۲	۵۲/۵	۴/۲	۵۱
۸	۱۲۰	۰/۳۶	۴۸	۶۰	۵/۴	۷۶
۹	۱۳۵	۰/۳۹	۵۴	۶۷/۵	۶/۵	۷۹/۲
۱۰	۱۵۰	۰/۴۷	۶۰	۷۵	۸	۹۱/۹

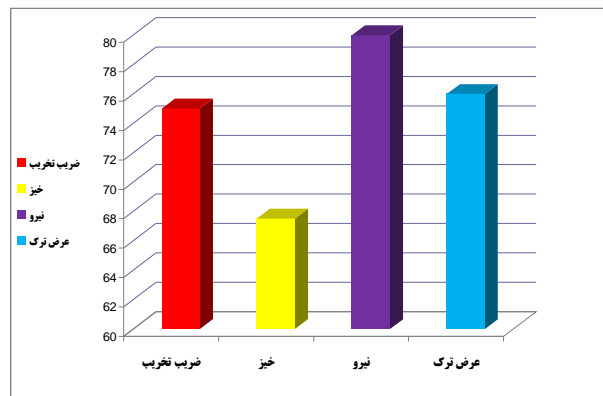
شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ وضعیت پارامترهای مختلف را در درصد های مختلف ضریب تخریب نشان میدهند.



شکل ۹- وضعیت پارامترهای مختلف در ضریب تخریب ۲۵ درصد



شکل ۱۰- وضعیت پارامترهای مختلف در ضریب تخریب ۵۰ درصد



شکل ۱۱- وضعیت پارامترهای مختلف در ضریب تخریب ۷۵ درصد

بررسی و تحلیل نتایج

- هنگامی که ضریب تخریب تیر ۲۵ درصد باشد تمامی پارامترهای دیگر مقداری بیش از ۲۵ درصد دارند در این هنگام نزدیکترین پارامتر به ضریب تخریب خیز است که بیش از ۴۰ درصد مقدار ماکزیمم خود را دارا می باشد.

- در زمانی که تیر ۵۰ درصد تخریب شده است تمامی فاکتور ها شامل خیز ماکزیمم، برش ماکزیمم، لنگر ماکزیمم، عرض ترک و نیرو بیش از ۵۰ درصد مقدار ماکزیمم خود را دارا میباشند. در این هنگام خیز نزدیکترین مقدار را به ضریب تخریب دارد .

- در زمانی که تیر ۷۵ درصد تخریب شده است تمامی فاکتور ها غیر خیز بیش از ۷۵ درصد مقدار ماکزیمم خود را دارا میباشند. در این زمان عرض ترک نزدیک ترین مقدار را به ضریب تخریب دارد.

- تا زمانی که تیر به حدود ۵۰ درصد تخریب خود برسد پارامتر خیز نزدیکترین مقدار به ضریب تخریب است، اما در درصدهای بالای تخریب عرض ترک می تواند به عنوان ضریب تخریب در نظر گرفته شود.

- هنگامیکه نیروی وارده به تیر دقیقا ۵۰ درصد نیروی قابل تحمل تیر باشد، تیر تنها ۲۰ درصد تخریب شده است. این ضریب دقیقا برای لنگر نیز صادق است.

- هنگامیکه عرض ترک دقیقا ۵۰ درصد عرض ترک نهایی گردد تیر تقریبا ۲۷ درصد تخریب شده است.

- هنگامیکه خیز تیر ۵۰ درصد خیز قابل تحمل آن باشد ضریب تخریب تقریبا ۵۰ درصد است که نشانگر تطبیق مناسب خیز تیر با درصد تخریب است.

قدردانی

نگارندگان بدینوسیله از راهنماییهای جناب آقای دکتر عبدالله نظری و جناب آقای دکتر میش مست تقدیر و تشکر مینمایند.

مراجع:

- (۱) حسینی، عبدالله و فدایی، سعید " بررسی معادلات تنش - کرنش بتن محصور شده توسط FRP " اولین همایش کاربرد کامپوزیت های FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، ۱۳۸۳
- 2) M.A.Rashid; M.A.Mansur & P.Paramasivam “ Behavior of Aramid Fiber-Reinforced Polymer Reinforced High Strength Concrete Beams Under Bending” journal of Composites for construction, March / April 2005.
- (۳) لی ونگ، ترجمه محمد تشنه لب "سیستم های فازی و کنترل فازی" انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۷۸
- 4) Ibrahim, A.M “Introduction to applied fuzzy electronics” , Prentice Hall.
- 5) Terano,T;Asai,k. & Sugeno,M “ Fuzzy System Theory and Its Applications ” , Toronto, Academic Press. Inc , 1992
- 6) Laviolette, M. & Seaman, J.W. “The Efficacy of Fuzzy Representation of Uncertioty ” , IEEE Tran. Fuzzy Systems, 2 (1994)
- (۷) عربانی، مهیار؛ موندوست، رحمت و ربیعی، شهره " بهره گیری از منطق فازی در تعیین مقاومت بتن درجا " دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، ۱۳۸۴

- 8) Gergely, P. & Lutz, L.A. "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural members." American Concrete Institute, Detroit, 1968.
- 9) Cosenza E, Greco, C. Manfredi, G. and Pecce, M.(1997). "Flexural behavior of concrete beams reinforced with fiber reinforced plastic (FRP) bars." Proc. 3rd Int. RILEM Symp. On non metallic FRP reinforcement for concrete structures. France, 463- 470.
- 10) Masmoudi, R. Theriault, M. and Benmokrane, B.(1998). "flexural behavior of concrete beams reinforced with deformed fiber reinforced plastic reinforcing rods." ACI Struct. J. 95(6), 665-676.
- 11) Theriault, M. and Benmokrane, B. (1998). "Effects of FRP reinforcement ratio and concrete strength on flexural behavior of concrete beams." J.Compos. Constr., 2(1), 7-16.