عملکرد برشی الیاف فولادی در تراورسهای بتنی پیش تنیده راه آهن

ابوالفضل حسنی[1*]، محمد عابدینی کارشک[2]

۱- استادیاربخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- مربی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند

* تهران، صندوق پستی ۱۴۳- ۱۴۱۱۵

hassani@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۱، پذیرش مقاله: تیر ۱۳۸۲)

چکیده ـ یکی از کاربردهای مهم الیاف فولادی در بتن، تقویت مقاومت برشی آن است. استفاده از الیاف فولادی در المانهای سازه ای نظیر تیرهای بتنی پیش ساخته یا پیش تنیده به‌کار رفته در پل های راه و راه آهن و محل اتصال آن به کوله ها، سبب ایجاد شکل پذیری، افزایش جذب انرژی، بهبود عملکرد خستگی، افزایش ظرفیت برشی و در نتیجه کاهش تراکم خاموتها می‌شود. در این مقاله عملکرد برشی الیاف فولادی در تراورسهای بتنی پیش تنیده تک بلوکی تحلیل شده و از نتایج آن، معادلاتی برای محاسبه ظرفیت برشی الیاف فولادی به‌کار رفته در بتن، تهیه شده است. تراورسهای بتنی پیش تنیده تک بلوکی، در واقع تیرهای بتنی پیش تنیده‌ای هستند که دارای بارگذاری بحرانی تری نسبت به تیرهای بتنی معمولی (تیرهای پل های راه و راه آهن) می باشند. این درحالی است که این المانها فاقد عضو برشی محصور کننده ـ حتی در ناحیه اعمال نیروی پیش تنیدگی ـ می باشند. از آنجا که نتایج به‌دست آمده از افزودن الیاف فولادی در بتن تیرهای بتنی پیش تنیده بیانگر تاثیر مثبت آنها بر افزایش مقاومت برشی ، کاهش تراکم خاموتها، کنترل ترک خوردگی، افزایش سختی تیرها و افزایش مقاومت نهایی آنها است، بنابر این می‌توان در تراورسهای بتنی پیش تنیده به‌جای افزایش پارامتر پیش تنیدگی ـ که سبب کاهش سختی نهایی تراورسها می‌شود ـ از الیاف فولادی استفاده کرد تا ضمن افزایش لنگر ترک خوردگی، موجبات افزایش مقاومت برشی نهایی و سختی تراورس بعد از ترک خوردگی نیز فراهم شود. نتایج به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی بیانگر محافظه کارانه بودن روابط تحلیلی ارائه شده برای محاسبه ظرفیت برشی الیاف فولادی به‌کار رفته در بتن است.

کلید واژگان: تراورس بتنی پیش تنیده، الیاف فولادی، مقاومت برشی، راه‌آهن.

۱- مقدمه

تراورس بتنی پیش تنیده تک بلوکی، در واقع تیر بتنی پیش تنیده ای است که بارگذاری بحرانی تر از تیرهای بتنی معمولی را تحمل می‌کند. در تیرهای بتنی

www.SID.ir

Archive of SID

معمولی‌حداکثر خمش و برش در نقاط متفاوت دهانه تیر حادث می‌شود و معمولا محلی که یکی حداکثر است دیگری حداقل می‌شود؛ در حالی که در تراورسهای بتنی به‌دلیل وجود انتهای طره‌ای، محل حداکثر برش و حداکثر خمش، تقریبا در یک مقطع است. حالت دیگر در بحرانی بودن بارگذاری تراورسهای بتنی پیش تنیده آن است که در تیرهای بتنی پیش تنیده خاموتهای بسته یا حلقوی جهت کنترل ترکها اجرا می شود در صورتی که با وجود بحرانی بودن بارگذاری تراورسهای بتنی پیش تنیده، این تراورسها به دلیل محدودیت مقطع تراورس، فاقد هرگونه تسلیح برشی نظیر خاموتها می‌باشند که از جمله ضعفهای عمده ترک خوردگی تراورس در هنگام تولید و کاربرد آن محسوب می‌شود [۱]. استفاده از الیاف به منظور تقویت بتن از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی شروع شد. در ابتدا فقط از الیاف فولادی مستقیم استفاده می‌شد. که موجب افزایش قابل توجه شکل پذیری و طاقت شکست شد [۱-۳]. آمار مصرف الیاف فولادی در کارهای بتنی در کشورهای صنعتی جهان نشان می‌دهد که فقط در بیست سال گذشته چندین میلیون متر مربع از روسازی راهها، فرودگاهها، کف سالن‌های صنعتی، عرشه پلها، سازه های هیدرولیکی، پلهای راه آهن و غیره. با بتن مسلح به الیاف فولادی اجرا شده است [۱]. از طرفی مسلح کردن بتن با استفاده از الیاف فولادی در راستای ایجاد مقطعی همگن و یکنواخت در بتن برای ایجاد تحمل کشش، گزینه مناسبی به منظور کنترل ترکهای ناشی از پیش تنیدگی است. در این حالت تنشها (تنش های ناشی از پیش تنیدگی) از ناحیه مرکزی مقطع اعمال پیش‌تنیدگی شروع می‌شود. در حالی که تسلیح بتن با استفاده از فولادهای برشی نظیر خاموتهای بسته یا حلقوی مقطعی هموژن و ایزوتروپ برای تحمل تنشهای کششی ایجاد نمی کند [۱، ٤].

درحقیقت از ابتدای ساخت تراورسهای بتنی، اجرای تراورس بتنی بدون استفاده از خاموت موضوعی اساسی و دشوار بوده است، به طوری‌که حتی فرسنیت فرانسوی ـ که یکی از مجریان پیش تنیدگی مدرن است ـ در تراورس پیشنهادی خود ـ که قبل از جنگ جهانی ساخت ـ مفتولهای مهار شده و خاموتهای عرضی زیادی به‌کار برده بود [۱].

۲- اهمیت و کاربرد

اضافه کردن الیاف فولادی در بتن به بهبود مقاومت کششی بعد از ترک خوردگی کمک کرده و منجر به افزایش قابل ملاحظه مقاومت برشی تیرهای بتنی مسلح شده و نحوه شکست آنها را از حالت شکست ناگهانی به شکست شکل پذیر تبدیل می‌کند. کاربرد این الیاف در تراورسهای بتنی ـ به‌دلیل عدم وجود عضو محصور کننده برای کنترل ترکهای کششی ـ اهمیت زیادی دارد.

در بتن مسلح به الیاف ، الیاف بعد از ایجاد ترکها و تا قبل از رسیدن به حد تسلیم یا بیرون کشیده شدن از بتن سبب نزدیکتر شدن فواصل ترکهای ایجادشده در تیرهای بتنی مسلح به الیاف فولادی می شود. این موضوع در تراورسهای بتنی پیش تنیده، از نظر مقاومت و دوام دارای اهمیت ویژه بوده و در افزایش سختی ، مقاومت نهایی و دوام تراورس موثر است [۵].

۳- روابط طراحی محاسبه ظرفیت برشی الیاف فولادی در تیرهای بتنی پیش تنیده

در بررسی ساده تنشهای ایجاد شده پر اثر بارگذاری تأثیرهای الیاف فولادی را بر ظرفیت برشی تیرهای بتنی پیش تنیده می‌توان تحلیل کرد.

شکل ۱ نحوه توزیع تنش را در یک المان ترک خورده تحت خمش و برش نشان می‌دهد. برای المان ترک خورده معادلات تعادل را می توان به صورت زیر

www.SID.ir

Archive of SID

نوشت[۵] :

$$\sigma_x = \sigma_3.\cos^2\alpha + \sigma_1 \sin^2\alpha + \rho_x.f_x \qquad (۱)$$

$$\sigma_y = \sigma_3.\sin^2\alpha + \sigma_1.\cos^2\alpha + \rho_y.f_y \qquad (۲)$$

$$\tau_{xy} = (\sigma_1 - \sigma_3)\sin\alpha.\cos\alpha \qquad (۳)$$

که σ تنش اصلی و τ تنش برشی در جهت های x , y

ρ_x , ρ_y نسبتهای فولاد برشی در راستای x , y و

f_x,f_y= تنشهای مربوط به فولاد در جهتهای x , y است.

در تیر بدون پیش تنیدگی قائم (مانند تراورسها و تیرهای پیش تنیده معمولی)، σ_y برابر صفر است که در نتیجه با توجه به روابط ۱و۲و۳ رابطه ٤ نتیجه می‌شود:

$$\tau_{xy} = \sigma_1 \cot\alpha + \rho_x.f_x \cot\alpha \qquad (٤)$$

با فرض اینکه در برش حد نهایی، مقدار تنش کششی اصلی در بتن الیافی برابر با تنش کششی بعد از ترک خوردگی (یعنیσ_r) و f_{yv} برابر با تنش تسلیم فولاد برشی باشد، داریم:

$$\tau_{xy} = \sigma_r \cot\alpha + \rho_x.f_y \cot\alpha \qquad (۵)$$

و نیروی برشی مقطع برابر است با :

$$V = \tau_{xy}.b_w.d = (\sigma_r \cot\alpha + \rho_v.f_{yv}\cot\alpha).b_w.d \qquad (٦)$$

b_w = عرض مقطع

d = عمق مؤثر مقطع

بنابراین افزایش مقاومت برشی بر اثر افزودن الیاف فولادی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{SF} = V_{SFC} - V_{PC} = [(\sigma_r \cot\alpha)_{SFC} - (\sigma_r \cot\alpha)_{PC}]\,b_w.d \qquad (۷)$$

که شاخص‌های " SFC " و " PC " به ترتیب بیانگر بتن الیافی و بتن خالص است.

با فرض " 45 = α داریم :

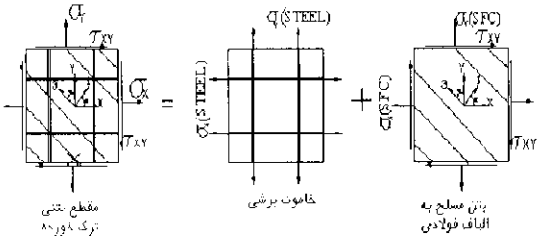
$$V_{SF} = [(\sigma_r)_{SFC} - (\sigma_r)_{PC}].b_w.d \qquad (۸)$$

نتایج به‌دست آمده از آزمایشهای محققان نشان می‌دهد که متوسط کرنش کششی بتن الیافی در مقطع ترک خورده در هنگام شکست تقریباً 100×10^{-3} mm/mm است با توجه به این کرنش مقدار σ_r به صورت زیر به‌دست می‌آید[۵].

$$\sigma_r = \frac{(f_{cr} + \sqrt{2}.\sigma_{tu})}{(1+\sqrt{2})} \qquad (۹)$$

f_{cr} = تنش ترک خوردگی بتن (مدول گسیختگی بتن)

σ_{tu} = مقاومت کششی(بعد از ترک خوردگی) تیرهای بتنی حاوی الیاف فولادی (SFC) تحت تاثیر کشش محوری مستقیم (شکل ۱).



شکل ۱ توزیع تنش در یک المان بتن مسلح به الیاف فولادی پس از ترک خوردگی

بدین ترتیب ظرفیت باربری برشی الیاف فولادی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [٦]:

$$V_{SF} = \frac{b_w.d}{(1+\sqrt{2})}.\{[(f_{cr})_{SFC} - (f_{cr})_{PC}] + \sqrt{2}.\sigma_{tu}\} \qquad (۱۰)$$

بادرنظر گرفتن درصدهای معمول به‌کارگیری الیاف فولادی در بتن (که عموماً کمتر از ۲ درصد است)، f_{cr} بتن الیافی تقریبا مساوی f_{cr} بتن خالص است بدین ترتیب مقدار تقریبی V_{SF} برابر است با [٦]:

$$V_{SF} = 0.6\sigma_{tu}b_w.d \qquad (۱۱)$$

که در این رابطه:

V_{SF} = افزایش مقاومت برشی بر اثر افزودن الیاف فولادی به بتن،

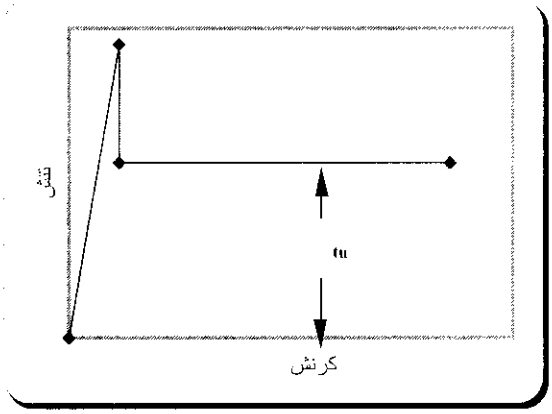
σ_{tu} = مقاومت کششی بعد از ترک خوردگی تیرهای بتنی

www.SID.ir

Archive of SID

حاوی الیاف فولادی.

از آنجا که افزودن الیاف فولادی، سبب بهبود مقاومت کششی بعد از ترک خوردگی می شود، بنابراین موجبات افزایش مقاومت برشی تیرها نیزفراهم می‌شود (رابطه ۱۲ وشکل ۲)، [۷].



شکل ۲ منحنی تنش ـ کرنش ایده آل بتن الیافی تحت کشش [۷]

$$\sigma_{tu} = 0.00772\ F_{be}(l/d).\rho f \qquad (۱۲)$$

در این رابطه:

σ_{tu} = مقاومت کششی بعد از ترک خوردگی (MPa)،

F_{be} = ضریب تاثیر الیاف که عددی است بین ۱ تا ۱/۲،

l = طول الیاف،

d = قطر الیاف،

ρ_f = درصد حجمی الیاف فولادی.

بدین ترتیب ظرفیت باربری برشی حد نهایی تیرهای بتنی پیش تنیده حاوی الیاف فولادی را می توان با جمع‌زدن نیروهای برشی حاصل از بتن (V_c)، نیروی برشی تحمل شده توسط خاموتها (V_{ST}) و نیروی برشی تحمل شده توسط الیاف فولادی (V_{SF}) به‌صورت رابطه ۱۳ به‌دست آورد.

$$V_u = V_c + V_{ST} + V_{SF} \qquad (۱۳)$$

V_c را که بیانگر مشارکت بتن در تحمل برش است می‌توان با توجه به آیین نامه های ACI 318 یا BS 8110 به‌دست آورد، همچنین V_{ST} با توجه به فاصله بین خاموتها و کشش تسلیم آنها به راحتی قابل محاسبه است. V_{SF} نیز که بیانگر تاثیر الیاف فولادی در تحمل برش است با توجه به رابطه‌های (۱۱) و (۱۲) به صورت زیرقابل محاسبه است:

$$V_{SF} = 4.33\times10^{-3}\ F_{be}.(l/d).\rho f.b_w.d \qquad (۱۴)$$

در این رابطه:

V_{SF} = ظرفیت برشی الیاف فولادی (کیلوگرم)،

$\frac{l}{d}$ = نسبت ظاهری الیاف،

F_{be} = ضریب تاثیر الیاف که عددی است بین ۱ تا ۱/۲،

ρ_f = درصد حجمی الیاف فولادی،

b_w ، d به ترتیب عرض مقطع و عمق مؤثر مقطع تیر بتنی بر حسب سانتیمتر.

٤- نتایج آزمایشگاهی تاثیر الیاف فولادی برمقاومت برشی تیرهای بتنی پیش تنیده

در آزمایشاتی که توسط محققان برای جایگزینی الیاف فولادی به‌جای فولاد برشی در تیرهای بتنی پیش تنیده و پیش‌ساخته صورت گرفت[۷]، از تیرهای بتنی T شکل و الیاف فولادی قلابدار (طول ۳۰ و قطر ۰/۵ میلیمتر) استفاده شد. در این تحقیق سه پارامتر اصلی بررسی شد:

الف) تاثیر درصد الیاف فولادی بر مقاومت برشی تیرهای بتنی پیش تنیده (تیرهای TB21 ، TB22 ، TB23).

ب) تاثیر پارامتر پیش تنیدگی (PPR) بر مقاومت برشی تیرهای بتنی پیش تنیده (تیرهای TB23 , TB26 , TB27 , TB28).

این تاثیر مطابق رابطه زیر است:

$$PPR = \frac{A_{ps}.f_{py}}{A_{ps}.f_{py} + A_s.f_{sy}} \qquad (۱۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ مشخصات و نتایج تیرهای بتنی پیش تنیده تحت آزمایش برش[۷]

شماره تیر	*درصد حجمی الیاف	درصد فولاد برشی	** PPR	Fc (MPa)	نیروی برشی (kN)		توضیحات
					ترک خوردگی	نهایی	
TB 21	۰	۰	۰/۵	۳۳/۷	٤٤/۸	۸۰/۱	بدون الیاف و خاموت
TB 22	۰/۵	۰	۰/۵	۳٤/۷	۵۲/۷	۸۷/۵	بدون خاموت
TB 23	۱	۰	۰/۵	٤۰/۷	۵۵	۱۱۳	بدون خاموت
TB 26	۱	۰	۰/۲۵	۳۹/۱	٤٤/۱	۱۱۰/۱	بدون خاموت
TB 27	۱	۰	۰	۳۸/۵	۳۱/۱	۹۱/۲	بدون خاموت
TB 28	۱	۰	۱	۳٤	۷۹	۹۳/۵	بدون خاموت
TB 23-A	۰/۵	۰/۲۳	۰/۵	۳۱/۵	٤۸	۹۳/۵	دارای الیاف و خاموت
TB 23-B	۰	۰/٤٦	۰/۵	۳٤/۵	۵۲	۹۹	بدون الیاف و دارای خاموت

* الیاف فولادی قلابدار با طول ۳۰ و قطر ۰/۵ میلیمتر

** $$PPR = \frac{A_{ps}.f_{py}}{A_{ps}.f_{py} + A_s.f_{sy}}$$

که در این رابطه:

A_s , A_{ps} به‌ترتیب عبارتند از سطح فولاد پیش تنیده و غیر پیش تنیده

f_{sy} , f_{py} به‌ترتیب عبارتند از تنش فولاد پیش تنیده و غیر پیش تنیده

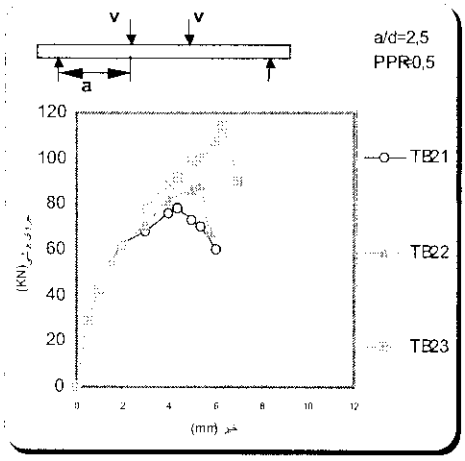
مقدار PPR از صفر (تیر بتنی پیش ساخته) تا ۱ (تیر کاملا پیش تنیده) تغییر می کند.

ج) ارزیابی عملکرد الیاف فولادی به‌جای خاموت برشی (تیرهای TB23-A , TB23-B).

مشخصات تیرهای بتنی پیش تنیده و نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

در شکل ۳ تاثیر الیاف فولادی بر مقاومت برشی تیرهای بتنی پیش تنیده نشان داده شده است. همچنان که دیده می شود سختی تیرهای بتنی پیش تنیده (شیب منحنی) بعد از ترک‌خوردگی، به‌نحو چشمگیری بستگی به حضور الیاف فولادی دارد. از آنجا که کاهش سختی تراورسها یا تیرها، سبب افزایش تنش در فولاد پیش تنیده و ایجاد شکست ناگهانی می‌شود این موضوع حایز اهمیت است.

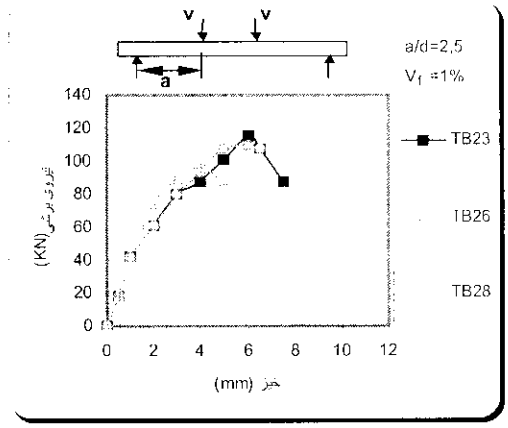
هرچند که افزایش پارامتر پیش تنیدگی (تعداد یا قطر پیش تنیده) سبب ازدیاد ظرفیت ترک خوردگی می شود (جدول۱)، اما شکل ٤ نشان می دهد که بعد از ترک خوردگی سختی تیرهای دارای پیش تنیدگی بیشتر، به‌نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می یابد.



شکل ۳ تأثیر درصد الیاف فولادی بر منحنی بار ـ خیز تیرهای بتنی پیش تنیده [۷]

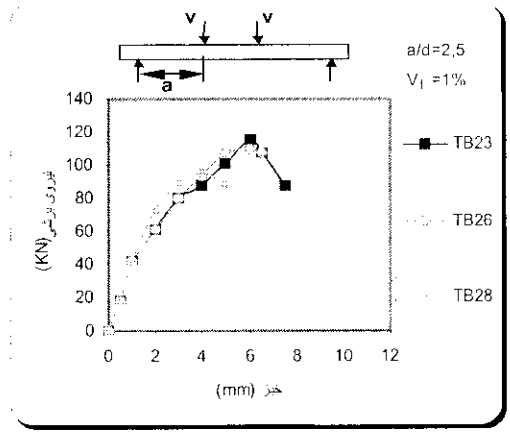
www.SID.ir

Archive of SID

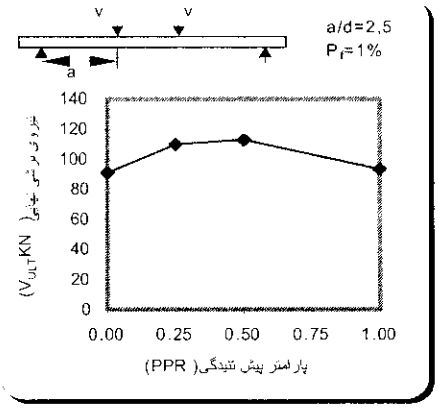


شکل ٤ تاثیر پیش تنیدگی بر منحنی بار ـ خیز تیرهای بتنی پیش تنیده [V]

در ارزیابی ظرفیت برشی نهایی تیرهای بتنی پیش تنیده، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش درصد حجمی فولاد در تیرهای بتنی دارای پیش تنیدگی مساوی، سبب ازدیاد ظرفیت برشی حد نهایی می شود (شکل ٥). در حالی که تاثیر پارامتر پیش تنیدگی بر ظرفیت برشی حد نهایی قابل ملاحظه نیست. نتایج آزمایشهای به‌دست آمده از تیرهای TB23، TB26، TB27 و TB28 بیانگر این موضوع است (شکل ٦).



شکل ٥ تاثیر درصد الیاف فولادی بر ظرفیت برشی حد نهایی تیرهالی بتنی پیش تنیده (PPR=0.5) [V]



شکل ٦ تاثیر پارامتر پیش تنیدگی (PPR) بر ظرفیت برشی حد نهایی تیرهای پیش تنیده (١ درصد الیاف فولادی)[V]

در ارزیابی نقش الیاف فولادی به‌جای خاموت برشی مشخص شد که تیرهای TB23 ، TB23-A ، TB23-B دارای بار برشی حد نهایی یکسان با اختلاف ناچیز کمتر از ١٠ درصد است که تفاوت بین TB23 و دو تیر دیگر را می توان به تفاوت مقاومت فشاری بتن تیرها نسبت داد (جدول ١).

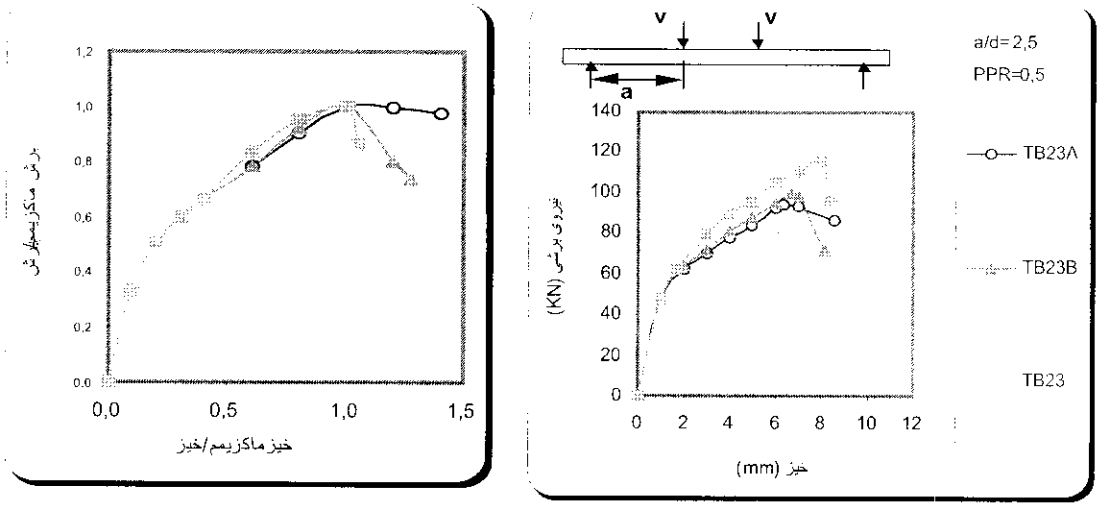
از آنجا که هر سه منحنی بار – خیز تیرها تقریبا بر یکدیگر منطبق است. بنابراین می توان از الیاف فولادی به‌جای خاموت برشی در تراورسهای بتنی پیش تنیده استفاده کرد (شکل ٧).

٥- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روابط طراحی

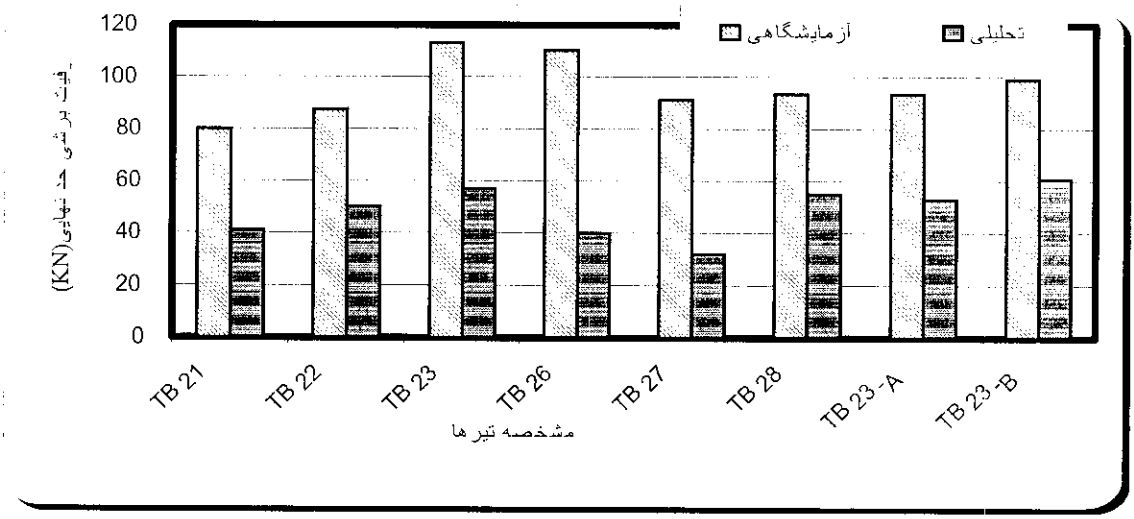
نمودار شکل ٨ ظرفیت برشی حد نهایی به‌دست آمده از رابطه ١٣ با مقادیر آزمایشگاهی را برای تیرهای بتنی پیش تنیده حاوی الیاف فولادی نشان می دهد. همچنان که در شکل ٨ دیده می شود، نتیجه به‌دست آمده برای متوسط نسبت عدد حاصل از آزمایش به عدد به‌دست آمده از روابط تحلیلی، تقریبا برابر٢ است که این موضوع نشان دهنده آن است که استفاده از رابطه ١٣ برای ارزیابی مقاومت برشی حد نهایی تیرهای بتنی پیش تنیده حاوی الیاف، بسیار محافظه کارانه است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ منحنی بار - خیز تیرهای بتنی پیش تنیده با ترکیبهای مختلف الیاف فولادی و خاموت برشی [۷]



شکل ۸ مقایسه مقاومت برشی حد نهایی تراورسهای بتنی پیش تنیده آزمایشگاهی با روش تحلیلی[۱]

www.SID.ir

Archive of SID

٦- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایشهای صورت گرفته بر روی تیرهای بتنی پیش تنیده حاوی الیاف فولادی و تشابه عملکرد تراورسهای بتنی پیش تنیده با این تیرها، موارد زیر را می توان نتیجه گیری کرد :

۱- افزودن الیاف فولادی به بتن، سبب ازدیاد سختی تراورسهای بتنی پیش تنیده بعد از ترک خوردگی می‌شود. از آنجا که کاهش سختی تراورسها سبب ازدیاد تنش فولاد پیش‌تنیده و ایجاد شکست ناگهانی می‌شود این موضوع در عملکرد تراورسها حایز اهمیت است.

۲- افزودن الیاف فولادی به بتن، تاثیر مطلوبی بر افزایش مقاومت برشی نهایی تراورسهای بتنی پیش تنیده دارد. این موضوع بویژه برای تراورسهای بتنی پیش‌تنیده - که برای جاگذاری خاموت به آرماتور طولی اضافی نیاز داشته و مقطع آنها ظریف است - سبب کاهش زمان و هزینه می‌شود.

۳- از آنجا که مقاومت حد نهایی تراورسهای بتنی پیش تنیده بر اثر ازدیاد پارامتر پیش تنیدگی تغییر محسوسی نمی کند و حتی سبب کاهش سختی تراورسها بعد از ترک خوردگی نیز می شود، بنابراین به‌جای ازدیاد پارامتر پیش تنیدگی (ازدیاد تعداد یا قطر فولاد پیش تنیدگی)، می توان از درصدی از الیاف فولادی در بتن استفاده کرد تا ضمن افزایش لنگر ترک خوردگی، ازدیاد مقاومت برشی حد نهایی و سختی تراورس پیش تنیده را نیز به همراه داشته باشد.

٤- مقایسه نتایج به‌دست آمده از تحقیقات صورت گرفته بر روی مقاومت برشی حد نهایی تراورسهای بتنی پیش تنیده با روابط تحلیلی نشان می دهد که کاربرد روابط تحلیلی برای محاسبه ظرفیت برشی بتن مسلح به الیاف فولادی، محافظه کارانه است و بدین ترتیب طراحان می‌توانند با روش تحلیلی، تاثیر الیاف فولادی مصرفی را در طراحی برشی تراورسهای بتنی محاسبه کنند.

۷- پیشنهادها

۱- با توجه به تحقیقات صورت گرفته و محافظه کارانه بودن روابط تحلیلی پیشنهاد می شود که در تراورسهای بتنی پیش تنیده تک بلوکی - که فاقد عضو محصور کننده برشی می‌باشند به‌جای ازدیاد پارامتر پیش تنیدگی، از الیاف فولادی استفاده گردد تا ضمن ایجاد عضو محصور کننده برای کنترل ترک، افزایش مقاومت نهایی برشی و سختی تراورس را نیز در پی داشته باشد

۲- با توجه به تاثیر مثبت الیاف فولادی بر عملکرد برشی تیرهای بتنی پیش تنیده پیشنهاد می شود این موضوع برای تراورسهای بتنی پیش تنیده به‌صورت نمونه واقعی نیز بررسی شود تا مقدار بهینه درصد الیاف فولادی مصرفی به‌دست آید.

۸- منابع

[۱] عابدینی کارشک ، محمد؛ بهبود دوام تراورسهای بتنی در راه آهن با استفاده از الیاف فلزی"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس؛ اسفند ۱۳۷۸.

[۲] کیوانی، عبدالله؛"اصول و تکنولوژی بتن مسلح به الیاف فولادی؛"انتشارات رودکی؛ ۱۳٦۹.

[۳] محمد، سعید؛"بررسی رفتار جمع شدگی خشک میان مدت در روسازی های بتنی مسلح به الیاف فولادی تولید داخل؛"پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۷۷.

[4] Hashim, M.S.; Abdul-Wahab; Sabah, G.Al-Kadhimi;"Effect of SFRC on Strength of Prestressed Concrete Beams";Magazine of Concrete Research; Vol.52, No.1, Feb.2000; pp.42-51.

www.SID.ir

Archive of SID

[5] Taylor, H.P.J, " The Railway Sleeper: 50 Years of Pretensioned , Prestressed Concrete " , The Structural Engineering , Vol.71 , No. 16-17 ,1993 ; pp.265-281

[6] Ezeldin, A.S.; "Analytical Deflection Evaluation of Partially Prestressed Fiber Reinforced Concrete Beam;" Fiber Reinforced Concrete Developments and Innovations ; SP 142 , Daniel I . and Shah P. Detriot Michigan ; 1994 , pp. 264-293.

[7] Tan, K.H.; Paramasivam, P.; Murugappan, K.; " Steel Fibers as Shear Reinforced in Partially Prestressed Beams;" ACI Structural Journal; Vol.9, 1996; pp. 472 - 479.

www.SID.ir