

# روشهای ارائه شده برای بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP

ایمان الیاسیان – کارشناس ارشد سازه  
iman.elyasian@gmail.com

## چکیده:

به طور کلی چندین مدل برای بررسی مسأله تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP وجود دارد که در ادامه به بررسی برخی از مدل‌های ارائه شده، ضوابط و فلسفه کاربرد آنها می‌پردازیم.

## کلید واژه:

تقویت برشی، تیر بتن آرمه، ورقه FRP، مدل چسبندگی، تشابه خرپایی، تئوری میدان فشاری، اصطکاک برشی

## ۱- مقدمه:

همانطوری که گفته شد در این مقاله به دنبال بررسی مسأله تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP به کمک روشهای موجود چون روش مدل‌های چسبندگی، روش تشابه خرپایی یا Strut & Tie، روش تئوری میدان فشاری و اصطکاک برشی هستیم.

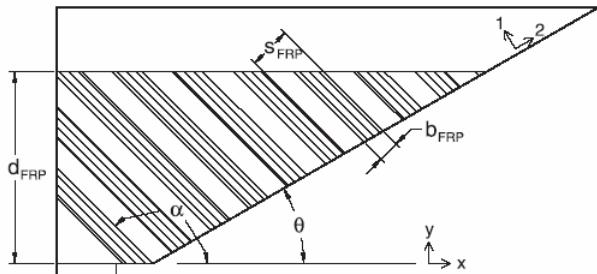
## ۲- پارامترهای مؤثر و فرضیات بکار رفته در روش طراحی برش در آین نامه کانادا:

به طور کلی پارامترهای مؤثر را می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد

- ۱- مقاومت برشی بتن<sup>۱</sup>
- ۲- مقدار و توزیع آرماتور طولی و عرضی<sup>۲</sup>
- ۳- پیش‌تنیدگی<sup>۳</sup>
- ۴- نسبت دهانه برشی به عمق<sup>۴</sup>
- ۵- ابعاد تیر<sup>۵</sup>

فرضیات بکار رفته در آین نامه کانادا در روش طراحی برش: ۱- تغییر شکل‌ها کوچک بوده، ۲- از تغییر شکل‌های برشی صرف نظر شده، ۳- از مقاومت کششی بتن صرف نظر شده، ۴- توزیع کرنش در ارتفاع تیر خطی در نظر گرفته شده، ۵- همسازی کامل کرنش بین بتن و ورقه FRP برقرار است. از فرض آخر استنباط می‌شود که از تأثیر لایه اپوکسی صرف نظر شده و پیوند بین بتن و ورقه FRP با تقریب بصورت کامل در نظر گرفته شده است.

### ۳- بررسی مدل‌های مختلف ارائه شده در تقویت برشی:



شکل ۱) کاربرد نوارهای FRP به صورت مورب [۲]

$$V_r = V_c + V_s + V_{FRP} \quad (1)$$

$$V_c = \beta \sqrt{f'_c} \frac{b_w d_v}{\tan \theta_c} \quad (2)$$

$$, \quad V_s = A_s f_{vy} \frac{d}{s \tan \theta_c} \quad (3)$$

$$\text{If } \theta_c = 45^\circ \Rightarrow V_s = A_s f_{vy} \frac{d}{s}, \quad \beta = \frac{260}{1000+d} \geq 0.1 \quad (4)$$

$\theta_c$  زاویه ترک خوردگی بتن و  $\beta$  ضریب انتقال برش در حالت ترک باز است.

$$V_{FRP} = A_{FRP} f_{FRP} \frac{d_{FRP} \sin \alpha}{s_{FRP} \tan \theta_c} (\sin \alpha + \cos \alpha \tan \theta_c), \quad V_{FRP} = A_{FRP} f_{FRP} \frac{d_{FRP}}{s_{FRP}} (\sin^2 \alpha + \cos \alpha \cdot \sin \alpha) \quad (5)$$

واحدها بر حسب نیوتون N و میلیمتر mm است.

### ۴-۱. مدل شبیه‌سازی خرپایی یا Strut & Tie

این روش که مبنای اکثر آینه‌ها است برای نخستین بار توسط یک مهندس سوئیسی به نام Ritter در سال ۱۹۸۹ بکاربرده شد. در این مدل به دلیل مقاومت مناسب بتن در فشار و ضعف آن در کشش به دلیل ترک خوردگی، از بتن به عنوان عضو فشاری خرپایی پیشنهادی و به صورت یک عضو مورب ۴۵ درجه و تر فشاری یال فوکانی و از آرماتور طولی تیر به عنوان وتر یال تحتانی و خاموتها یا آرماتور عرضی به عنوان اعضای مورب و قائم کششی خرپا در نظر گرفته شده است و به طور کلی اعضای تحت فشار را Strut و اعضای تحت کشش را Tie در نظر می‌گیریم. البته برخی از محققان چون Al-Nahlawi and Wight در سال ۱۹۹۲ مدل خرپایی ارائه کردند که در آن بتن تحت کشش به عنوان Tie ارائه دادند. تحت بار نهایی معمولاً آرماتورهای قائم تسليم شده و بتن تحت کشش نیز مقاومتش از مقاومت ترک خوردگی فراتر می‌رود. حال اگر ورقه کامپوزیتی FRP را اضافه کنیم بار نهایی زمان تسليم آرماتورهای قائم و بار ترک خوردگی بتن تحت کشش افزایش می‌یابد.

### ۲-۳. مدل چسبندگی (Bond model)

بر اساس روابط ارائه شده توسط Chaallal در سال ۱۹۹۸، مبنای روابط بر این اساس است که مقدار تنش مؤثر ورقه FRP در حدی بماند که همواره چسبندگی با سطح بتن حفظ شود:

$$f_{FRP} = \tau_{ult} \frac{b_{FRP} d}{A_{FRP}} \leq f_{ultFRP} \quad (6)$$

$$\tau_{ult} = \frac{5.4}{1 + k_1 \tan 33^\circ} \quad (7) \quad , \quad k_1 = t_{FRP} \left( \frac{3E_a}{E_{FRP} t_{FRP}^3 t_a} \right)^{0.25} \quad (8)$$

بر اساس روابط فوق می‌بینیم تنش درون ورقه FRP به تنش چسبندگی، عرض و سطح مقطع ورقه FRP و عمق مؤثر تیربستگی داشته و تنش چسبندگی به ضریب  $k_1$  بستگی دارد که این ضریب نیز با مدول الاستیسیته چسب، ورقه FRP، ضخامت لایه چسب و ضخامت ورقه FRP ارتباط دارد. رابطه پیشنهادی Khalifa در سال ۱۹۹۸ براساس مدل چسبندگی و کاهش تنش نهایی و تبدیل آن به تنش مؤثر استوار است.

$$f_{FRP} = R f_{ultFRP} \quad (\text{ضریب کاهش تنش یا کرنش})$$

$$R = 0.778 - 1.2188(\rho_{FRP} E_{FRP}) + 0.5622(\rho_{FRP} E_{FRP})^2 \leq 0.5 \quad (9)$$

رابطه (۹) رابطه ارائه شده توسط Triantafillou در سال ۱۹۹۸ است. مبنای این رابطه بر اساس گسیختگی کششی ورقه FRP استوار است و ۰.۵ به عنوان حد یا کران بالایی است.

$$R = \frac{0.0042(f'_c)^{2/3} w_{eff}}{(E_{FRP} t_{FRP})^{0.58} \varepsilon_{ultFRP} d_{FRP}} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{FRP} = \frac{f_{ultFRP}}{E_{FRP}} \quad (11) \quad , \quad w_{eff} = d_{FRP} - \exp(6.134 - 0.58 \ln(t_{FRP} E_{FRP})) \quad (12)$$

R در رابطه (۱۰) براساس مکانیزم چسبندگی استوار است. به طور کلی R مینیمم ۳ مقدار فوق (رابطه Triantafillou، مکانیزم چسبندگی ورقه FRP، گسیختگی کششی ورقه FRP، کرمان بالایی ۰.۵) می‌باشد.

### ۳-۳. تئوری میدان فشاری اصلاح شده ۱ (MCFT) :

مبانی تحقیقات بسیاری از محققان چون سعادتمنش و ملک در سال ۱۹۹۸ و کالیز و میشل در سال ۱۹۸۷ براساس این روش است. در این تئوری فرض بر این بوده که زاویه ترک خوردگی بتن متغیر بوده و چسبندگی کامل بین ورقه FRP و بتن برقرار بوده و تئوری لایه<sup>۲</sup> برای انتقال سختی ورقه از محورهای محلی FRP به محورهای اصلی

در راستای زاویه ترک خوردگی بتن بکار برده شده است و فرض بر این بوده است که ماکزیمم برش در طول زاویه ترک خوردگی بوده و نقش آنها در ضرایب انتقال برش و درگیر بودن دانه‌بندی بتن در برش لحاظ شده است.

#### ۴-۳. تئوری اصطکاک برشی اصلاح شده<sup>۱</sup> (MSFT)

به عنوان یک روش ساده شده برای طراحی در سال ۱۹۹۸ برای نخستین بار توسط Loov در آینه نامه طراحی بتن کانادا بکار برده شد. روابط بر مبنای این تئوری به شرح زیر هستند:

$$V_c = 0.25k^2 f'_c b_w h \tan \theta_c \quad (13)$$

ارتفاع مقطع و  $b_w$  عرض تیر

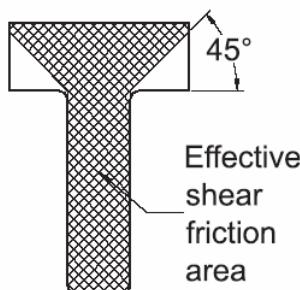
یک ضریب تجربی است و بر مبنای تحقیق Loov and Peng در سال ۱۹۹۸ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$k = 2.1(f'_c)^{-0.4} \quad (14)$$

مقاومت بتن بین ۲۰ MPa to 100 MPa است.

بر اساس تحقیق Tozer and Loov در سال ۱۹۹۹ مشاهده شده است که سطح مقطع  $b_w h$  برای تیرهای T و I شکل محافظه کارانه است. بنابراین آنها رابطه زیر را با سطح مقطع مؤثر نشان داده در شکل (۲) ارائه دادند.

$$V_c = 0.25k^2 f'_c (A_{ef} \tan \theta_{cf} + A_{cw} \tan \theta_{cw}) \quad (15)$$



شکل ۳) ناحیه مؤثر انتقال برش به صورت اصطکاکی [۲]

$$V_s = A_v f_{vy} n_s \quad (16)$$

بر اساس تئوری اصطکاک برشی، برقراری همسازی کرنش‌ها الزامی نیست:

$$f_{FRP} = E_{FRP} \epsilon_{\max} R_L \quad (17)$$

و  $R_L$  به وسیله مدل نواری<sup>۲</sup> ارائه شده توسط Alexander and Cheng در سال ۱۹۹۷ بدست می‌آیند.  $\epsilon_{\max}$  در اصل ماکزیمم کرنش موجود در یک باریکه FRP و نسبت  $R_L$  همان نسبت عرض باقیمانده چسبندگی نوار به عرض جان بتن ترک خورده است. در این روش فرض بر این است که نیرو بصورت خطی بین نوارهای FRP تقسیم می‌شود و

1- Modified Shear Friction Theory      2- Strip model

از بین تمامی مسیرهای ترک خوردگی بالقوه و ممکن، مسیری انتخاب می‌گردد که کمترین ظرفیت برشی تیر حاصل شود.

#### ۴- نتیجه گیری:

- ۱- به طور کلی مقادیر بدست آمده از روش های مختلف برای تعیین ظرفیت برشی مقطع تقویت شده با ورقه FRP چون: شبیه سازی خربایی، مدل چسبندگی، تئوری میدان فشاری اصلاح شده (به غیر از تئوری اصطکاک برشی) محافظه کارانه بوده و نسبت مقاومت برشی حاصل از نتایج آزمایشگاهی به روابط تئوری بیشتر از ۱ بوده و با نتایج آزمایشگاهی ۲۰٪ اختلاف داشته و از کران پایینی تعیت می کند.
- ۲- در روش اصطکاک برشی اصلاح شده که از کران بالایی تعیت می کند، تشخیص دقیق مسیر ترک خوردگی که ظرفیت برشی مینیمم به کمک آن حاصل می شود، مشکل بوده و احتمال ۱۰٪ اختلاف با نتایج آزمایشگاهی وجود دارد؛ ولی از آنجایی که نتایج این روش به نتایج آزمایشگاهی نزدیک بوده مبنای بسیاری از آینین نامه های جدید بتن و از جمله آینین نامه کانادا در تعیین ظرفیت برشی است.

#### ۵- مراجع:

[1] - Khaldoun N. Rahal- "Background to the general method of shear design in the 1994 CSA-A23.2 standard "- Kuwait University and Micheal P.Collins University Canada Journal of Civil Engineering (NRC Research) July 1999

[2] – Christophe Deniaud and J.J.Roger Cheng -" Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets " - University of Alberta, Edmonton - Canada Journal of Civil Engineering August 2001 (NRC) National Research Council Canada

[۳] ایمان الیاسیان - پایان نامه کارشناسی ارشد سازه دانشگاه یزد بهار ۱۳۸۴ - « بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP به روش اجزای محدود و به صورت پارامتریک »