



اثر آرماتور جانبی در پیوستگی بین آرماتور و بتن (بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا)

محمد رضا اصفهانی - استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

چکیده

در این مقاله اثر آرماتور جانبی (خاموت) در ظرفیت پیوستگی وصله های تعبیه شده در تیرهای بتن آرمه بررسی می شود. کلیه وصله ها اعم از محصور شده و غیر محصور در آرماتور جانبی مورد توجه قرار گرفته و معادله ای برای تعیین ظرفیت پیوستگی آنها ارائه می گردد. این معادله برای تیرهای ساخته شده از بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا قابل استفاده خواهد بود. برای تعداد ۱۳۸ نتیجه آزمایشگاهی موجود در مورد بتن با مقاومت معمولی، میانگین نسبت ظرفیت پیوستگی آزمایشی به محاسباتی برابر $1/004$ با انحراف معیار $0/101$ می باشد. این اعداد نشان می دهند که معادله ارائه شده به مراتب دقیق تر از سایر معادلات پیشنهادی و ضوابط آیین نامه های مختلف، ظرفیت پیوستگی در وصله ها را محاسبه می کند. مقایسه مقادیر محاسباتی با نتایج آزمایش های مربوط به بتن با مقاومت بالا (HSC) نشان می دهد که این معادله به خوبی برای پیش بینی ظرفیت پیوستگی بین آرماتور و بتن با مقاومت بالا نیز قابل استفاده است.

کلمه های کلیدی: آرماتور جانبی، بتن آرمه، بتن با مقاومت بالا، پیوستگی، طول مهار، وصله

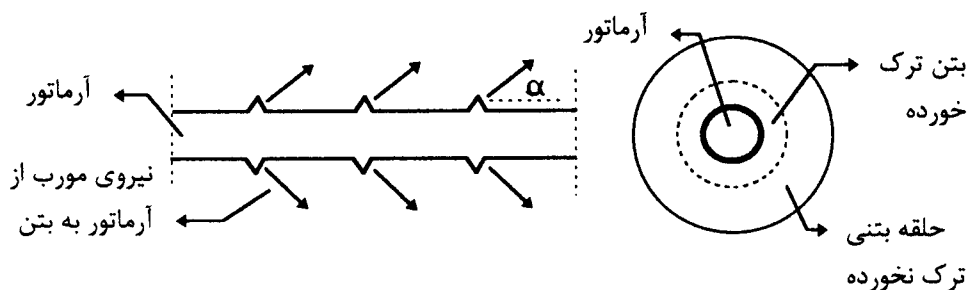
مقدمه

پیوستگی بین بتن و آرماتور مهم ترین مکانیزم برای مقاومت سازه های بتن آرمه در برابر بارهای وارده می باشد. علیرغم اینکه ده ها سال از مطالعه روی موضوع پیوستگی می گذرد، هنوز یک مدل تئوریک که بتواند اثر عوامل مختلف را به خوبی در برداشته و با نتایج آزمایشگاهی تطبیق نماید ارایه نشده است. در مطالعات مختلف از هر دو روش آنالیز الاستیک و پلاستیک استفاده شده است لیکن به علت پیچیدگی پدیده پیوستگی تا کنون عموماً روشهای تجربی جوابگو بوده اند. همزمان با تقاضای روزافزون برای بتن با مقاومت بالا در صنعت سازه های بتن آرمه لازم است که مدلها و ضوابط موجود برای تعیین ظرفیت پیوستگی هر چه سریعتر مورد تجدید نظر قرار گیرند چرا که مدلهای موجود بر پایه نتایج آزمایشی روی بتن معمولی می باشند و بدون پشتوانه های تئوری و تجربی قابل استفاده برای بتن با مقاومت بالا نخواهند بود.

نتایج آزمایش وصله ها نشان می دهند که آرماتور جانبی ظرفیت مقاومتی وصله را افزایش می دهد. اثر آرماتور جانبی بر ظرفیت پیوستگی را می توان به کمک عوامل A_t یا A_{tr} و S و f_{yt} به حساب آورد. A_t سطح مقطع یک آرماتور جانبی، A_{tr} سطح کل آرماتور جانبی که در فاصله S توسط سطح شکست قطع می شود، S فاصله آرماتورهای جانبی و f_{yt} تنش جاری شدن آرماتور جانبی است. مطالعات اخیر نشان داده است که ظرفیت وصله، عموماً به تنش جاری شدن آرماتور جانبی f_{yt} بستگی ندارد.

سابقه موضوع

Tepfers توزیع تنش های حلقوی در پهنای پوشش بتنی اطراف آرماتور را به کمک تئوری الاستیسیته مطالعه نمود (۱). تنش های حلقوی در اثر نیروهای شعاعی مورب که از آرماتور به بتن اطراف اعمال می شوند، ایجاد می گردند. Tepfers برای محاسبه ظرفیت پیوستگی ترک خوردگی در طولهای کوتاه، تئوری استوانه ضخیم نیمه ترک خورده را پیشنهاد نمود (۱). در این تئوری فرض می شود که یک حلقه بتنی ترک نخورده وجود دارد که بتن ترک خورده و آرماتور را در بر می گیرد. این حلقه ترک نخورده نیروهای شعاعی مورب را که با زاویه α از آرماتور به بتن اعمال می شوند، تحمل می کند (شکل ۱).



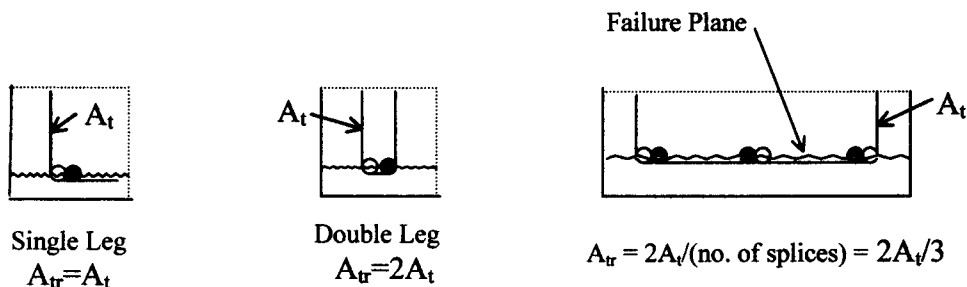
شکل ۱ نیروی مورب از آرماتور به بتن در اثر پیوستگی

برخلاف طول های کوتاه که در آنها توزیع تنش های پیوستگی تقریباً یکنواخت است، در طول های عملی و بلند تنش های پیوستگی در طول وصله و یا طول مهاریه به مقدار قابل ملاحظه ای تغییر می کند. این امر باعث می شود که ظرفیت پیوستگی u در طول های بلند کاهش یابد. u ظرفیت معادل یکنواخت در طول وصله یا طول مهاریه بوده و با رابطه $u = A_b f_s / (\pi d_b L)$ محاسبه می شود. A_b سطح مقطع یک آرماتور، f_s تنش کششی آرماتور در شکست پیوستگی، d_b قطر آرماتور و L طول وصله یا مهاریه می باشد. چگونگی توزیع تنشهای پیوستگی بین آرماتور و بتن در طول وصله توسط بسیاری از محققین انجام شده است. Tepfers به کمک تئوری جابجایی (Displacement Theory) معادله ای برای توزیع تنشهای پیوستگی در طول

وصله ها ارائه نمود (۱). وی سپس توزیع تنشهای تئوریک را با مقادیر آزمایشی مقایسه کرد و نشان داد که تئوری جابجایی به خوبی برای پیش بینی توزیع تنشها قابل استفاده می باشد. در تئوری جابجایی از معادله تعادل، رابطه تنش پیوستگی با تنش کششی به همراه رابطه ای بین تنش پیوستگی و جابجایی بین بتن و آرماتور استفاده شده و یک معادله دیفرانسیلی بدست می آید. با حل این معادله تغییر مکان ها و ظرفیت پیوستگی محاسبه می شوند.

Orangun et al اثر عوامل مختلف را روی پیوستگی به کمک روشهای آماری مطالعه و با استفاده از روش آنالیز برازش غیر خطی معادله ای تجربی ارائه نمودند (۲). مطالعه آنها نشان داد که ظرفیت پیوستگی طولهای مهاریه تفاوت قابل محسوسی با ظرفیت پیوستگی وصله ها ندارد. همچنین مشخص شد که ظرفیت پیوستگی با افزایش فاصله بین آرماتور ها اضافه می شود. Darwin et al (۳) معادله تجربی پیشنهادی (۲) Orangun et al را با در نظر گرفتن نسبت پوششهای بتنی جانبی، تحتانی و فاصله آرماتور ها اصلاح نمودند.

اثر آرماتور جانبی در ظرفیت پیوستگی را می توان توسط پارامترهای A_t یا A_{tr} و f_{yt} به حساب آورد. A_t سطح مقطع یک آرماتور جانبی، A_{tr} سطح کل آرماتور جانبی است که در فاصله S توسط سطح شکست قطع می شود (شکل ۲)، f_{yt} تنش جاری شدن آرماتور جانبی، S فاصله بین آرماتورهای جانبی و d_b قطر آرماتور جانبی است. آزمایش های انجام شده توسط Reynolds et al (۴) و Morita and Fujii (۵) تنشهای بسیار کمی را در آرماتور جانبی در موقع شکست نشان داد. به همین دلیل نتیجه گیری شد که نیازی به در نظر گرفتن f_{yt} در پارامتر مربوط به اثر آرماتور جانبی نیست.



شکل ۲ تعریف A_{tr} توسط Orangun et al (۲)

Esfahani and Rangan (۶) تئوری استوانه جدار ضخیم نیمه ترک خورده Tepfers را با در نظر گرفتن زاویه α اصلاح نموده و معادله ای برای ظرفیت پیوستگی موضعی بدست آوردند. همچنین ایشان معادله ای برای توزیع تنشهای پیوستگی در طول وصله بدست آوردند (۷). سپس با استفاده از نتایج آزمایشی گذشته در مورد وصله ها، ظرفیت پیوستگی موضعی و معادله بدست آمده برای توزیع تنشهای پیوستگی، مدلی تحلیلی برای پیش بینی ظرفیت وصله های محصور نشده در آرماتور جانبی بدست آوردند (۷). این معادله به صورت زیر می باشد.

$$u = u_c \frac{1 + 1/M}{0.85 + 0.024\sqrt{M}} (0.88 + 0.12 \frac{C_{med}}{C}) \quad (1)$$

$$M = \cosh(0.0022L \sqrt{r \frac{f'_c}{d_b}}) \quad (2)$$

که در آن

$$u_c = 4.9 \frac{C/d_b + 0.5}{C/d_b + 3.6} f_{ct} \quad (\text{NSC}) \quad (3)$$

$$u_c = 8.6 \frac{C/d_b + 0.5}{C/d_b + 5.5} f_{ct} \quad (\text{HSC}) \quad (4)$$

$$C_{\text{med}} = \text{median of } C_x, C_y, (C_s + d_b)/2$$

$$C = \text{minimum of } C_x, C_y, (C_s + d_b)/2$$

L طول وصله، $f_{ct} = 0.55(f_c')^{0.5}$ مقاومت کششی بتن، d_b قطر آرماتور و r عاملی است که به شکل هندسی آجها بستگی دارد و برای آرماتورهایی که مطابق استاندارد ASTM A615 ساخته شده اند برابر ۳ می باشد.

در معادله ۱، اثر آرماتور جانبی در ظرفیت پیوستگی در نظر گرفته نشده است. در این تحقیق با استفاده از نتایج آزمایشی وصله های محصور شده، معادله ۱ برای محاسبه ظرفیت پیوستگی کلیه وصله ها تعمیم داده می شود.

ظرفیت پیوستگی وصله ها

نتایج آزمایشی نشان می دهند که آرماتور جانبی ظرفیت وصله را افزایش می دهد. برای در نظر گرفتن اثر آرماتور جانبی رابطه های زیر توسط (۱) Orangun et al ارائه شده اند.

$$\frac{u_{tr}}{\sqrt{f_c'}} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{500 s d_b} \leq 3 \quad (\text{English Units}) \quad (5)$$

$$\frac{u}{\sqrt{f_c'}} = 1.2 + \frac{3C}{d_b} + \frac{50d_b}{L} + \frac{A_{tr} f_{yt}}{500 s d_b} \quad (\text{English Units}) \quad (6)$$

در معادلات ۵ و ۶، u_{tr} ظرفیت پیوستگی مربوط به آرماتور جانبی، A_{tr} سطح آرماتور جانبی عمود بر صفحه شکستی که از وصله ها می گذرد (شکل ۲)، f_{yt} تنش جاری شدن آرماتور جانبی، C کمترین مقادیر پوشش های بتنی C_x ، C_y و نصف فاصله آزاد وصله ها $C_s/2$ ، d_b قطر آرماتور و s فاصله بین آرماتور های جانبی می باشد. در معادلات ۵ و ۶ فرض شده است که آرماتور جانبی قبل از شکست پیوستگی جاری شده باشد. مطالعات اخیر نشان داده اند که ظرفیت پیوستگی عموماً به تنش جاری شدن آرماتور جانبی بستگی ندارد. در بخش بعد، بر اساس نتیجه گیری های فوق عاملی برای در نظر گرفتن آرماتور جانبی در محاسبه ظرفیت وصله پیشنهاد می شود.

وصله های محصور نشده توسط آرماتور جانبی

در کارهای پژوهشی قبلی (۶ و ۷) پیوستگی موضعی و ظرفیت پیوستگی وصله ها مورد مطالعه قرار گرفتند و معادله ۱ برای محاسبه ظرفیت پیوستگی وصله ها در تیرها پیشنهاد شد. مقایسه بین مقادیر محاسبه شده و نتایج آزمایشی نشان داد که معادله پیشنهادی با دقت خوبی ظرفیت پیوستگی را محاسبه می کند. البته در مطالعه قبلی نتایج مربوط به وصله های محصور شده توسط آرماتور جانبی مورد بحث و تحلیل قرار نگرفت. برای ارزیابی اثر آرماتور جانبی در ظرفیت پیوستگی، معادله ۱ را در مورد نتایج آزمایشی وصله های محصور شده بکار می بریم. سپس با احتساب عاملی برای آرماتور جانبی، معادله ۱ را برای وصله های محصور شده توسط آرماتور جانبی تعمیم خواهیم داد.

وصله های محصور شده توسط آرماتور جانبی

جدول ۱ خلاصه نتایج آزمایشی وصله های محصور شده توسط آرماتور جانبی می باشد. مجموعه نتایج مندرج در این جدول ها با توجه به محدودیت های زیر از مراجع مختلف استخراج شده است.

- $C/d_b \geq 1$
- آزمایشهایی که در آنها دو یا بیش از دو وصله موجود بوده و تمام آرماتورها در یک محل وصله شده باشند.
- در موقع بتن ریزی، آرماتور در پایین قالب واقع شده باشد.
- در موقع شکست، تنش کششی آرماتورها کمتر از حد جاری شدن باشد.
- شکست از نوع شکست پیوستگی باشد.

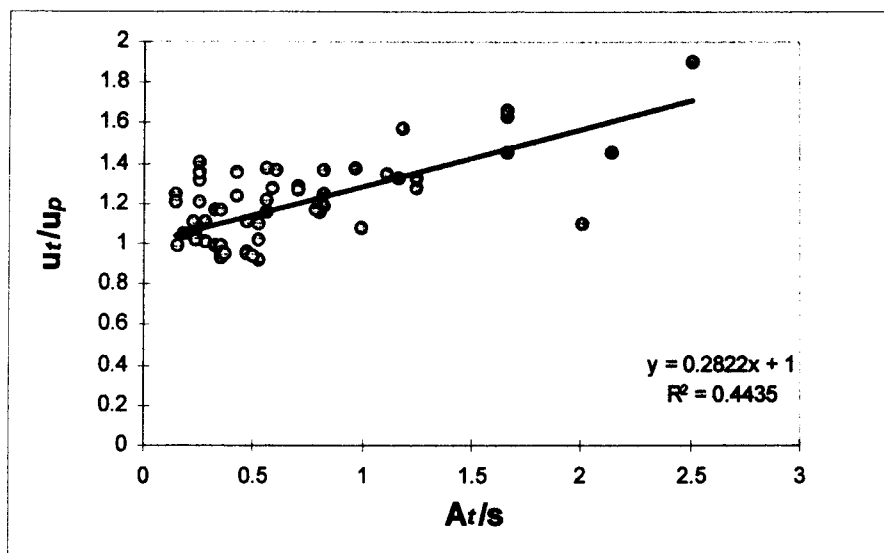
نتایج آزمایشی مندرج در جدول ۱ توسط معادله ۱ تحلیل شده و مقادیر ظرفیت پیوستگی بدست آورده شده اند. همچنانکه پیش بینی می شد، مقادیر نسبت های ظرفیت پیوستگی آزمایشی به محاسباتی برای وصله هایی که توسط آرماتور جانبی محصور شده اند بزرگتر از میانگین نسبت مذکور برای وصله های غیر محصور شده (یعنی ۱/۰۰۰) می باشند.

به منظور ارزیابی اثر آرماتور جانبی در افزایش ظرفیت پیوستگی، عاملهای A_{tr}/s , $A_{tr}/s d_b$, A_t/s , $A_t/s d_b$ موردنظر و آزمون قرار می گیرند. A_t سطح مقطع یک آرماتور جانبی و s فاصله بین آرماتور های جانبی می باشند. A_{tr} که توسط Orangun et al استفاده شده است مطابق شکل ۲ تعیین می شود. رابطه بین u_t/u_p و A_t/s برای وصله ها در شکل ۳ رسم شده است. u_t ظرفیت پیوستگی آزمایشی و u_p ظرفیت پیوستگی محاسباتی می باشند. برای نقاط شکل ۳ بهترین رابطه خطی که از نقطه $(u_t/u_p=1, A_t/s=0)$ بگذرد عبارتست از:

$$\frac{u_t}{u_p} = 1 + 0.28 \frac{A_t}{s} \quad (7)$$

جدول ۱ سری های آزمایشی مربوط به وصله های محصور شده در آرماتور جانبی

میانگین (u_t/u_p) معادله ۱	تعداد آزمایش	سری های آزمایشی
۱/۰۰۰	۸۱	تمام وصله های محصور نشده
۱/۱۰۹	۵	(۸)
۱/۲۱۴	۳	(۹)
۱/۲۸۲	۴	(۱۰)
۰/۹۹۴	۱۰	(۱۱)
۱/۳۱۱	۲۴	(۳)
۱/۳۶۸	۱۱	(۱۲)



شکل ۳ رابطه u_r/u_p با A_t/s برای معادله ۱

جدول ۲ مقایسه بین ظرفیت های پیوستگی محاسباتی و آزمایشی در مورد وصله های محصور شده و محصور نشده در آرماتور جانبی

	سری های آزمایشی	تعداد آزمایش ها	میانگین (u_r/u_p) معادله ۸	انحراف معیار (u_r/u_p) معادله ۸
وصله های محصور نشده	(۷)	۸۱	۱/۰۰۰	۰/۰۷۷
وصله های محصور شده* (NSC)	(۸)	۵	۱/۰۲۷	۰/۱۰۷
	(۹)	۳	۱/۰۵۵	۰/۰۸۸
	(۱۰)	۴	۱/۰۸۲	۰/۰۶۷
	(۱۱)	۱۰	۰/۸۹۰	۰/۰۷۲
	(۳)	۲۴	۰/۹۹۱	۰/۰۸۶
	(۱۲)	۱۱	۱/۱۱۶	۰/۱۶۶
تمام وصله های محصور شده	-	۵۷	۱/۰۱۱	۰/۱۲۸
تمام آزمایش های (NSC)*	-	۱۳۸	۱/۰۰۴	۰/۱۰۱
آزمایش های (HSC)**	(۱۴)	۸	۱/۰۱۲	۰/۱۱۴

* $f'_c < 50 \text{ MPa}$ بتن با مقاومت معمولی

** $f'_c \geq 50 \text{ MPa}$ (HSC) بتن با مقاومت بالا

برای مقادیر A_{tr}/s , A_{tr}/s , A_t/sd_b می توان روابطی مشابه رابطه ۷ بدست آورد (۱۳). مقایسه این روابط با رابطه ۷ نشان می دهد که استفاده از عامل A_t/s نه تنها به سادگی محاسبات کمک می کند بلکه اثر آرماتور جانبی را در ظرفیت پیوستگی با دقت بیشتری به حساب می آورد. برای جزئیات بیشتر به مرجع ۱۳ مراجعه شود. با جایگزینی مقدار u از رابطه ۱ در معادله ۷ بجای u_p داریم:

$$u = u_c \frac{1 + 1/M}{0.85 + 0.024\sqrt{M}} (0.88 + 0.12 \frac{C_{med}}{C}) (1 + 0.28 \frac{A_t}{s}) \quad (۸)$$

به طوری که M و u_c توسط معادلات ۲ و ۳ یا ۴ محاسبه می شوند.

در جدول ۲ نتایج ۵۷ آزمایش مربوط به وصله های محصور شده در آرماتور جانبی با مقادیر محاسبه شده توسط معادله ۸ مقایسه شده است. برای معادله ۸ میانگین مقادیر نسبت ظرفیت آزمایشی به ظرفیت محاسباتی برابر ۱/۰۱۱ با انحراف معیار ۰/۱۲۸ است.

مقایسه نتایج آزمایشی با معادله پیشنهادی و ضوابط آیین نامه ACI

مجموعاً نتایج ۱۳۸ آزمایش وصله (۵۷ آزمایش مربوط به وصله محصور شده و ۸۱ آزمایش مربوط به وصله محصور نشده) در نظر گرفته شده اند (جدول ۲). ظرفیت پیوستگی وصله ها به کمک معادله ۸ محاسبه می شوند. میانگین مقادیر نسبت آزمایشی به محاسباتی ظرفیت وصله ها برابر با ۱/۰۰۴ با انحراف معیار ۰/۱۰۱ می باشد. این اعداد نشان می دهند که معادله ۸ با دقت خوبی ظرفیت وصله را محاسبه می کند. نتایج ۸ آزمایش در مورد بتن با مقاومت بالا که توسط (۱۴) Hwang et al ارائه شده اند نیز در جدول ۲ آورده شده اند. برای این آزمایشها، میانگین نسبت ظرفیت پیوستگی آزمایشی به محاسباتی برابر با ۱/۰۱۲ با انحراف معیار ۰/۱۱۴ می باشد. بنابراین معادله ۸ به خوبی برای بتن با مقاومت بالا قابل استفاده می باشد. جدول ۳ مقادیر ظرفیت پیوستگی محاسبه شده توسط معادله ۸ را با مقادیر حاصله از ضوابط آیین نامه (۱۵) ACI مقایسه می کند. آیین نامه ACI برای محاسبه طول مهاری یا وصله روابطی را پیشنهاد می کند. بر اساس این روابط و استفاده از رابطه $u = A_{tr}f_y/(\pi d_b L) = d_b f_y/(4L)$ می توان مقادیر ظرفیت پیوستگی u را به شرح زیر محاسبه کرد.

ظرفیت پیوستگی محاسباتی بر اساس آیین نامه (۱۵) ACI 318-95 (حالت بدون آرماتور جانبی)

آرماتور با قطر مساوی و بیشتر از ۲۰ mm	آرماتور با قطر کمتر از ۲۰ mm	
$u = 5\sqrt{f_c}/(\alpha\beta\lambda)$	$u = (25/4)\sqrt{f_c}/(\alpha\beta\lambda)$	$C_s > d_b$, $C_x \& C_v > d_b$ $A_t/s > (A_t/s)_{min}$ یا $C_s > 2d_b$, $C_x \& C_v > d_b$
$u = (40/12)\sqrt{f_c}/(\alpha\beta\lambda)$	$u = (50/12)\sqrt{f_c}/(\alpha\beta\lambda)$	سایر حالات

برای حالتی که طول مهاری یا وصله در امتداد خود توسط آرماتور جانبی محصور شده باشد، ظرفیت پیوستگی بر اساس آیین نامه ACI به صورت زیر خواهد بود.

$$u = (40/12)(C+K_{tr})\sqrt{f_c}/(\alpha\beta\gamma\lambda d_b) \quad (9)$$

در روابط فوق $\alpha=1$ برای آرماتور واقع در پایین قالب (ضخامت بتن زیر آرماتور کمتر از ۳۰ سانتیمتر)، $\beta=1$ برای آرماتور های بدون پوشش اپوکسی، $\gamma=1$ برای آرماتور های با قطر مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلیمتر و $\lambda=1$ برای بتن معمولی (بتنی که سبک نباشد).

در جدول ۳ ملاحظه می شود که معادله ۸ مقاومت پیوستگی را به مقدار زیادی دقیق تر از آیین نامه ACI 318-95 محاسبه می کند.

جدول ۳ مقایسه بین معادله ۸ و ضوابط آیین نامه ACI 318-95

سری های آزمایشی	تعداد آزمایشها	میانگین (u_f/u_p) معادله ۸	انحراف معیار (u_f/u_p) معادله ۸	میانگین (u_f/u_p) ACI 318-95	انحراف معیار (u_f/u_p) ACI 318-95
وصله های محصور نشده	۸۱	۱/۰۰۰	۰/۰۷۷	۱/۷۳۹	۰/۳۹۲
وصله های محصور شده	۵۷	۱/۰۱۱	۰/۱۲۸	۱/۵۱۷	۰/۵۳۲
آزمایشهای (HSC)	۸	۱/۰۱۲	۰/۱۱۴	۲/۱۵۱	۰/۳۶۷

نتیجه گیری

بر اساس تحلیل داده های آزمایشی و مقایسه آنها با مقادیر محاسبه شده توسط معادله پیشنهادی نتایج زیر بدست می آیند.

۱- تحلیل داده های آزمایشی نشان می دهد که A_f/S عامل مناسبی برای در نظر گرفتن اثر آرماتور جانبی در ظرفیت پیوستگی می باشد. بنابراین به نظر می رسد که نیازی به در نظر گرفتن چگونگی سطح شکست در عامل مربوط به اثر آرماتور جانبی (یا استفاده از عامل A_{fr}/S) نمی باشد. در نظر گرفتن عامل A_{fr}/S نه تنها محاسبات را پیچیده تر می کند بلکه دقت محاسبات را نیز کاهش می دهد.

۲- مقایسه مقادیر محاسباتی با نتایج آزمایشی نشان می دهد که برای کلیه وصله ها چه محصور شده و چه نشده، معادله پیشنهادی با دقت خوبی ظرفیت وصله را محاسبه می کند.

قدردانی

مقاله ارائه شده مربوط به طرح پژوهشی شماره ۴۳۰ از طرح های مصوب دانشگاه فردوسی می باشد. هزینه های این طرح توسط دانشگاه فردوسی تأمین شده است. نویسندگان از این همکاری قدردانی می کنند.

نشانه ها

A_b	سطح مقطع آرماتور
A_t	سطح مقطع یک آرماتور جانبی
A_{tr}	سطح کل آرماتور جانبی که در فاصله s توسط سطح شکست قطع می شود
C_x	پوشش جانبی
C_y	پوشش تحتانی
C_s	فاصله بین وصله ها
$C=C_{min}$	$[C_x, C_y, (C_s+d_b)/2]$ حداقل
C_{med}	$[C_x, C_y, (C_s+d_b)/2]$ مقدار میانی
C_{max}	$[C_x, C_y, (C_s+d_b)/2]$ حداکثر
d_b	قطر آرماتور
E_c	مدول الاستیسیته بتن
f_{ct}	ظرفیت کششی بتن
f_s	تنش کششی فولاد
L	طول وصله
u_c	تنش پیوستگی در ترک خوردگی پوشش بتنی
$u = u_p$	تنش پیوستگی یکنواخت معادل در لحظه شکست (مقاومت پیوستگی)
s	فاصله بین آرماتورهای جانبی
α	زاویه امتداد نیروی مورب از آرماتور به بتن

مراجع:

1. Tepfers, R., "A Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars," Publication No. 73:2, Division of Concrete Structures, Chalmers University of Technology, Goteborg, 1973, 328 pp.
2. Orangun, C. O., Jirsa, J. O., and Breen, J. E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal, Proceedings V. 74, No. 3, March 1977, pp. 114-122.

3. Darwin, D., Tholen, M. L., Idun, E. K., and Zuo, J., "Splice Strength of High Relative Rib Area Reinforcing Bars," *ACI Structural Journal*, V. 93, No. 1, Jan.-Feb. 1996, pp. 95-107.
4. Reynolds, G.C., and Beeby, A.W., "Bond Strength of Deformed Bars," *Proceeding of the International Conference on Bond in Concrete*, Paisley, Scotland, June 1982, pp. 434-445.
5. Morita S., Fujii S., "Bond Capacity of Deformed Bars Due to Splitting of Surrounding Concrete," *Proceeding of the International Conference on Bond in Concrete*, Paisley, Scotland, June 1982, pp. 331-341.
6. Esfahani, M. R., and Rangan, B. V., "local Bond Strength of Reinforcing Bars in Normal Strength and High Strength Concrete (HSC), *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 2, March-April 1998, pp. 96-106.
7. Esfahani, M. R., and Rangan, B. V., "Bond between Normal Strength and High Strength Concrete (HSC) and Reinforcing Bars in Splices in Beams, *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 3, May-June 1998, pp 272-280.
8. Ferguson, P.M., and Breen, J., "Lapped Splices for High Strength Reinforcing Bars," *ACI Journal*, V.62, No., 9, Sept. 1965, pp. 1063-1078.
9. Ferguson, P. M., and Krishnaswamy, C. N., "Tensile Lap Splices- Part 2: Design Recommendation for Retaining Wall Splices and Large Bar Splices," *Research Report No. 113-3*, Center for Highway Research, University of Texas at Austin, Apr. 1971.
10. Thompson, M. A., Jirsa, J. O., Breen, J. E., and Meinheit, D. F., "Behaviour of Multiple Lap Splices in Wide Sections," *ACI Journal*, *Proceedings* V. 76, No. 2, Feb. 1979, pp. 227-248.
11. Hester, C. J., Salamizavaregh, S., Darwin, D., McCabe, S. L., "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement: Splices," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 1, Jan.-Feb. 1993, pp. 89-102.
12. Rezanoff, T., Akanni, A., and Sparling, B., "Tensile Lap Splices under Static Loading: A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 4, July-August 1993, pp. 374-384.
13. Esfahani, M. R., "Bond Strength of Splices," *Research Report No. 360*, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, Jan. 1998, 60 pp.
14. Hwang S. J., Leu Y. R., and Hwang H. L., "Tensile Bond Strength of Deformed Bars of High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 93, No. 1, Jan.-Feb. 1996, pp. 11-20.
15. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318/318R-95," American Concrete Institute, Farmington Hills, 369 pp.