

### بررسی شکل پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله‌دار\*

براتعلی محمدزاده<sup>(۱)</sup>      محمدرضا اصفهانی<sup>(۲)</sup>      احمد شوشتری<sup>(۳)</sup>

**چکیده** در این تحقیق، شکل‌پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله‌دار، بررسی و تحلیل می‌شود. پارامترهای مقاومت فشاری بتن، قطر میل‌گردهای کششی، مقدار و قطر خاموت‌های دور وصله به عنوان متغیرهای اصلی نمونه‌های مختلف آزمایشگاهی، در نظر گرفته شده‌اند. تعداد ۱۶ تیر نمونه‌ی آزمایشگاهی در مقیاس واقعی ساخته و آزمایش شدند. در آزمایش‌ها به کمک دستگاه دریافت و ثبت داده‌ها مقادیر بار و تغییر مکان وسط دهانه تعیین شدند. با استفاده از مقادیر بار و تغییر مکان اندازه‌گیری شده، منحنی بار-تغییر مکان و شکل‌پذیری تیرها تعیین و مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور ارزیابی شکل‌پذیری تیرها، از شاخص شکل‌پذیری که قبلاً توسط محققین ارائه شده است، استفاده شد. مقایسه‌ی شاخص شکل‌پذیری در نمونه‌های مختلف، نشان می‌دهد که مقاومت فشاری بتن و مقدار و قطر خاموت، اثر قابل توجهی روی شکل‌پذیری تیرهای وصله‌دار دارد؛ در عین حال با استفاده از مقدار مناسب خاموت، می‌توان برای مقاومت‌های مختلف به شکل‌پذیری مناسب رسید.

**واژه‌های کلیدی** میل‌گرد کششی، میل‌گرد جانبی (خاموت) (تیر)، بتن آرمه، پیوستگی، طول وصله، شکل‌پذیری.

### Ductility Analysis of Lap-Spliced Reinforced Concrete Beams

B. Mohammadzadeh    M. Reza. Esfahani    A. Shooshtari

**Abstract** *In this research, the ductility of lap-spliced concrete beams reinforced with steel and FRP bars is analyzed. A number of 16 beam specimens reinforced with steel bars and 7 with FRP bar were designed and manufactured in real sizes and dimensions for laboratory experiments. The parameters of concrete compressive strength, amount of transverse reinforcement over the splice length and the diameter of longitudinal bars, are selected as the main variables for the beam specimens. Mid-span displacements and the corresponding forces were obtained by means of a hydraulic jack, load cell, LVDT and a Data Logger set. The force versus mid-span displacement curves were obtained using the experimental data. A ductility index which has been defined by researchers, was used to evaluate the ductility of the specimens. Comparison of the ductility index of different specimens shows that the compressive strength of concrete and the amount and the bar diameter of the transverse reinforcement over the splice length, has a major effect on the ductility of lap-spliced reinforced concrete beams. The results show that by using an appropriate amount of transverse reinforcement, a satisfactory ductility response for different compressive strengths of concrete can be obtained.*

**Key Words** Longitudinal Tensile Reinforcement, Transverse Reinforcement, Reinforced Concrete Beam, Bond, Splice Length, Ductility.

\* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸۸/۱۲/۸ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۹/۳/۹ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، عضو هیئت علمی گروه عمران و دانشجوی دکترای سازه، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) استاد، گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۳) استادیار، گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

## مقدمه

پیوستگی بین بتن و میلگردهای فولادی، یکی از مهم‌ترین مسائل در مقاومت سازه‌های بتن آرمه می‌باشد. وصله‌ی میلگردها یکی از جنبه‌های عملی پیوستگی بین بتن و میلگردهاست. به علت پیچیدگی‌های پدیده‌ی پیوستگی، علی‌رغم سال‌ها تلاش و تحقیق، راه‌حلی‌های تئوریک که بتوانند تأثیر همه‌ی عوامل و پارامترهای مختلف را روی پیوستگی نشان دهند، پیدا نشده است؛ بنابراین، مهندسين و محققين، عموماً جنبه‌ها و راه‌حل‌های آزمایشی و عملی را به صورت آزمون و خطا در نظر گرفته‌اند.

در تحقیقات تپفرز (Tepfers) [1]، اورنگان (Orangun)، جیرسا (Jirsa)، و برین (Breen) [2]، داروین (Darwin) و گراهام (Graham) [3,4] مشاهده شد که فولاد جانبی (خاموت)، وصله را در داخل بتن محصور کرده و با محدود نمودن و جلوگیری از ترک خوردن زودرس بتن، باعث افزایش مقاومت پیوستگی می‌گردد. اورنگان، جیرسا و برین [2] براساس نتایج سری‌های مختلف آزمایشگاهی گذشته و روش‌های آماری رابطه‌ای برای پیش‌بینی مقاومت پیوستگی ارائه کردند که بعدها پایه‌ی روابط آیین نامه‌ی ACI318 شد. در مطالعات بعد، مشخص شد که این روابط، اگر چه مقاومت پیوستگی را به خوبی پیش‌بینی می‌کنند، لیکن تیرهای وصله دار محاسبه شده، به صورت ناگهانی شکست خورده و ضوابط شکل پذیری خمشی آیین نامه-ی ACI318 در تیرهای خمشی برآورده نمی‌شود. هم‌چنین زو (Zuo) و داروین [5] نشان دادند که وجود خاموت در محل وصله، سبب کاهش طول مؤثر ترک‌ها در بین میلگردها شده و مقاومت پیوستگی را بالا می‌برد. عزیزمی‌نمی و هم‌کاران [6] در مورد تیرهای وصله دار ساخته شده از بتن‌های با مقاومت بالا، ضوابطی برای آیین‌نامه ACI318-95 پیشنهاد کردند.

عزیزمی‌نمی و هم‌کاران [7]، نشان دادند که روابط موجود آیین‌نامه‌ها برای تأمین شکل‌پذیری خمشی لازم در تیرهایی که دارای وصله می‌باشند، کفایت نمی‌کنند. در این تحقیقات، لزوم استفاده از مقداری خاموت برای

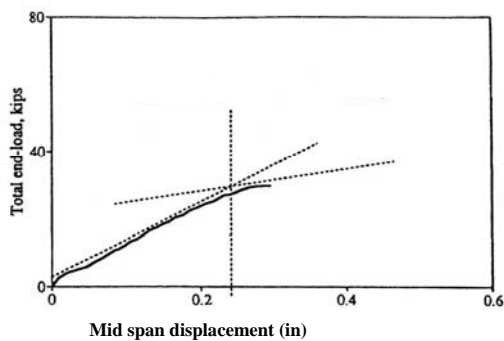
ایجاد شکل‌پذیری خمشی در تیرها توصیه شده است. اصفهانی [8]، مطالعات عزیزی‌نمینی و هم‌کاران [7] را تحلیل و بررسی کرده و پیشنهادهایی برای شکل‌پذیری تیرهای وصله دار ساخته شده از بتن با مقاومت بالا ارائه داد. اصفهانی و رنگان (Rangan) [9,10,11] از نتایج آزمایش‌های متعدد تیرهای وصله‌دار، رابطه‌ای برای در نظر گرفتن اثر خاموت بر مقاومت پیوستگی تیرهای وصله‌دار ارائه کردند. سپس اصفهانی و کیانوش [12] تأثیر مقدار خاموت بر شکل‌پذیری تیرهای خمشی وصله‌دار را مطالعه نمودند. نتایجی که از این تحقیقات به دست آمده، نشان می‌دهد که ازدیاد طول مهار (L<sub>d</sub>) مخصوصاً در بتن‌های مقاوم‌تر، لزوماً باعث افزایش مقاومت پیوستگی و شکل‌پذیری نمی‌شود؛ درحالی‌که با استفاده از مقداری خاموت در طول وصله، می‌توان به مقاومت پیوستگی و شکل‌پذیری مناسب دست یافت. اثر آرماتور جانبی محصورکننده‌ی بتن در شکل‌پذیری ستون‌های ساخته شده از بتن با مقاومت بالا نیز قابل توجه است. در مورد این ستون‌ها، وجود آرماتور جانبی کافی برای شکل‌پذیری مناسب ستون ضروری است. پسکی و پیرونی [13]، با توجه به نتایج آزمایشات مختلف به این نتیجه رسیدند که برای حفظ شکل‌پذیری بالا در ستون ساخته شده از بتن با مقاومت بالا، می‌باید نسبت  $\rho_s \frac{f_y}{f'_c}$  ثابت در نظر گرفته شود؛ بنابراین با توجه به این رابطه، لازم است با افزایش  $f'_c$ ، مقدار  $\rho_s$  نیز افزایش یابد.  $\rho_s$  نسبت حجمی آرماتور جانبی در هسته ستون است.

عزیزمی‌نمی و هم‌کاران [7]، برای ارزیابی شکل‌پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله‌دار، شاخص شکل‌پذیری را براساس شکل زیر و با رابطه‌ی (۱) پیشنهاد کردند:

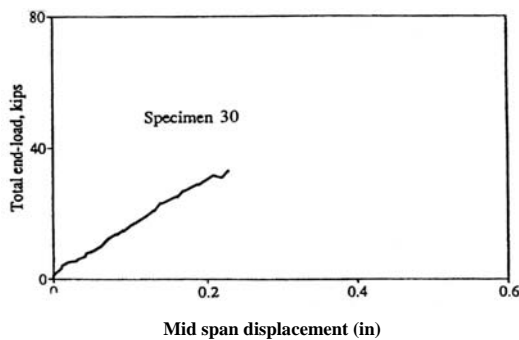
$$i = \frac{\Delta_{MAX}}{\Delta_y} \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)،  $\Delta_{MAX}$  حداکثر تغییر مکان مرکز تیر نمونه در طول بارگذاری و  $\Delta_y$  = تغییر مکان تیر نمونه، مربوط به نقطه‌ی Q می‌باشند. نقطه‌ی Q، محل تقاطع دو مماس OQ و OS به ترتیب از نقاط O و S بر

شکل (۴) چگونگی محاسبه‌ی این شاخص را نشان می‌دهد.



شکل ۲ منحنی نمایش تغییرات نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی ۲۹ عزیزی نمینی و همکاران [7]



شکل ۳ منحنی نمایش تغییرات نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی ۳۰ عزیزی نمینی و همکاران [7]

$$i = \frac{\Delta_{0.85}}{\Delta_y} \quad (2)$$

اصفهانی و کیانوش [12]، معادله‌ی (۳) را برای محاسبه‌ی طول وصله  $L_d$  پیشنهاد کردند:

$$L_d = \frac{T}{a\sqrt{f'_c}} = \frac{A_b f_y}{a\sqrt{f'_c}} \quad (3)$$

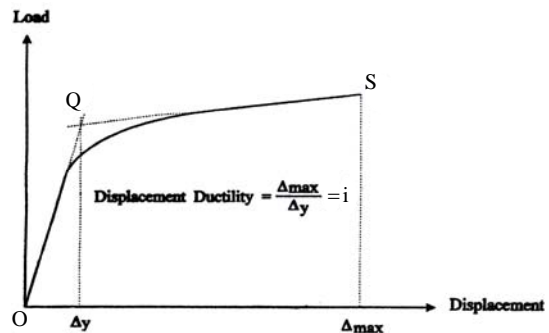
که در آن:

$$a = 7.2 d_b \frac{C/d_b + 0.5}{C/d_b + 3.6} \quad (4)$$

رابطه‌ی (۳) در صورتی قابل استفاده برای تعیین طول وصله است که مقداری خاموت با استفاده از رابطه‌ی (۵) در طول آن قرار داده شود:

$$\frac{A_t}{S} = \frac{67C}{f_R A_b} \left\{ \frac{1.63 M}{[(M+1)(0.88 + 0.12 \times (C_{Med}/C)]} - 1 \right\} \quad (5)$$

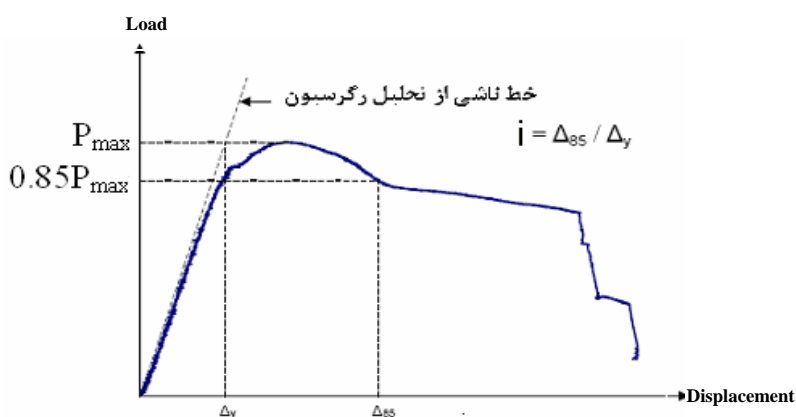
منحنی نیرو- تغییر مکان است. رسم دو مماس فوق، طوری است که بیشترین قسمت خطی در دو بخش OQ و OS از منحنی را پوشش دهند (شکل (۱)). اگر مقدار  $i$  برابر ۱ شود، تیر نمونه، شکل‌پذیر نبوده و گسیختگی به حالت تُرد و ناگهانی خواهد بود. با افزایش مقدار  $i$  بیشتر از ۱، رفتار تیر، شکل‌پذیرتر شده و دیگر گسیختگی آنی و تُرد نخواهد بود.



شکل ۱ چگونگی محاسبه‌ی شاخص شکل‌پذیری (i) عزیزی نمینی و همکاران [7]

عزیزی نمینی و همکاران [7]، در نمونه‌های ۲۹ و ۳۰ (اشکال (۲) و (۳)) خود نشان دادند که اگر در طول وصله از خاموت استفاده نشود، حتی در صورتی که از طول وصله‌ی زیادتری استفاده شود شکست، ناگهانی بوده و شاخص شکل‌پذیری نزدیک به ۱ می‌باشد. در نمونه‌های ۲۹ و ۳۰، مقدار طول وصله به ترتیب ۷۷ و ۲۷ درصد بیشتر از مقدار پیشنهادی آئین‌نامه ACI 318-95 در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که نسبت تنش پیوستگی آزمایشگاهی به تنش پیوستگی آئین‌نامه‌ی ( $\frac{u_{test}}{u_{ACI}}$ ) در نمونه‌های ۲۹ و ۳۰ بیشتر از ۱ بوده و اگرچه نمونه‌ها از نظر مقاومت پیوستگی مشکلی نداشته‌اند، ولی به هیچ وجه شکل‌پذیر نبوده و شکست آنها تُرد و ناگهانی بوده است.

پسیکی (Pessiki) و پیرونی (Pieroni) [13]، برای محاسبه‌ی شاخص شکل‌پذیری، تعریف نسبتاً مناسب‌تری، ارائه داده‌اند. آن‌ها نسبت تغییر مکان متناظر با ۸۵٪ نیروی ماکزیمم (روی شاخه‌ی نزولی منحنی بار- تغییر مکان) به تغییر مکان متناظر با نیروی ماکزیمم (حد رفتار الاستیک) را شاخص شکل‌پذیری تعریف کردند.



شکل ۴ چگونگی محاسبه‌ی شاخص شکل پذیری پسیکی و پی یرونی [13]

که در آن  $u_c$ ؛ حداکثر تنش پیوستگی موضعی (MPa) در هنگام شکست می‌باشد که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$u_c = 2.7 \frac{C/d_b + 0.5}{C/d_b + 3.6} \sqrt{f'_c} \quad (۸)$$

هدف از انجام این طرح پژوهشی، بررسی شکل‌پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله‌دار، دارای فولاد جانبی در محل وصله است. بدین منظور، تعدادی نمونه از تیرهای بتن آرمه‌ی وصله‌دار در مقیاس واقعی طراحی و ساخته شد. طول وصله‌ها و مقدار خاموت اطراف وصله‌ها به کمک روابط (۳) الی (۵) تعیین شدند.

قبلاً نشان داده شد که این روابط در مقایسه با سایر روابط پیشنهادی، بهترین مطابقت را با نتایج آزمایشگاهی مختلف دارد. نمونه‌ها تحت آزمایش بارگذاری چهار نقطه‌ای قرار گرفتند تا شکست پیوستگی، صورت پذیرد. پس از انجام آزمایش و رسم منحنی نیرو-تغییر مکان برای هر نمونه، شکل‌پذیری آن، ارزیابی شده و اثر پارامترهای مختلف روی شکل‌پذیری بررسی شد.

### طراحی و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی تیرهای بتن مسلح وصله‌دار

تعداد ۱۶ نمونه تیر دو سر ساده‌ی بتن آرمه به طول ۳.۳۰

در روابط فوق،  $C$ ؛ کوچک‌ترین سه مقدار  $C_{Med}$ ،  $C_Y$ ،  $C_X$  و  $\frac{1}{2}(C_S + d_b)$  بوده و عدد میانی سه مقدار،  $\frac{1}{2}(C_S + d_b)$ ،  $C_Y$ ،  $C_X$  می‌باشد.  $C_X$ ؛ پوشش جانبی (mm)،  $C_Y$ ؛ پوشش بالایی یا پایینی (mm)،  $C_S$ ؛ فاصله‌ی بین میل‌گردهای وصله شده‌ی (mm)،  $A_b$ ؛ سطح مقطع میل‌گرد،  $d_b$ ؛ قطر میل‌گرد (mm)،  $L_d$ ؛ طول وصله (mm)،  $f'_c$ ؛ مقاومت استوانه‌ای فشاری بتن (MPa)،  $A_t$ ؛ سطح مقطع یک خاموت (mm<sup>2</sup>)،  $S$ ؛ فاصله‌ی خاموت‌های دور وصله (mm) می‌باشند. و مقدار  $M$  برابر است با:

$$M = \text{Cosh}(0.0022L_d \sqrt{3 \frac{f'_c}{d_b}}) \quad (۶)$$

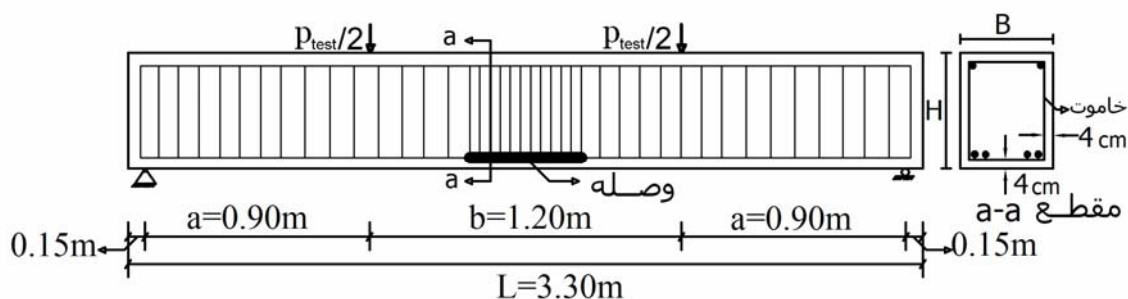
روابط پیشنهادی فوق براساس تنش پیوستگی زیر به دست آمده است [12].

$$\begin{aligned} u_{Esf} &= \frac{T}{\pi d_b L_d} \\ &= u_c \frac{1+1/M}{1.85+0.024\sqrt{M}} (0.88+ \\ &\quad 0.12 \frac{C_{Med}}{C} (1+0.015 f_R \frac{A_t A_b}{CS})) \end{aligned} \quad (۷)$$

شکل پذیری این تیر می تواند مبنای مقایسه با سایر تیرهای وصله دار باشد.

شایان ذکر است که حاصل آزمایش دو نمونه ی B-01 و B-02، تغییر پارامترهایی مثل قطر میل گردهای کششی و ابعاد مقطع برای سایر نمونه ها بود؛ از این رو برای نمونه های بعدی میل گردهای  $\Phi_{25}$  و  $\Phi_{20}$  انتخاب شدند تا اثر تغییر قطر میل گرد، بهتر بررسی شود. تنش جاری شدن میل گردهای  $\Phi_{25}$ ،  $\Phi_{22}$ ،  $\Phi_{20}$ ، با انجام آزمایش کششی در آزمایشگاه به ترتیب برابر 440، 460 و 420 مگاپاسکال تعیین شد. بعد از ساخت و آزمایش نمونه های B-01 و B-02، بقیه ی نمونه ها به صورت چهارتایی در چهار قالب، بتن ریزی شدند. به عنوان مثال، نمونه های: B-1، B-2، B-7 و B-8 که دارای بتن با مقاومت فشاری طراحی یکسان (20 MPa) بودند، در یک زمان ساخته و در یک زمان آزمایش شدند. برای بتن با مقاومت طراحی 70 مگاپاسکال از میکروسیلیس و فوق روان کننده استفاده شد. بتن ریزی تمام نمونه ها در شرایط کارگاهی مناسب، توسط یک تولید کننده ی تجاری بتن انجام شد. از سه نوع بتن با مقاومت های فشاری طراحی استوانه ای 20، 45 و 70 مگاپاسکال برای انواع نمونه ها استفاده شد.

متر (فاصله ی بین دو تکیه گاه 3.00 متر) طبق شکل (۵) طراحی و ساخته شدند. جزئیات نمونه ها در جدول (۱) ارائه شده است. برای محاسبه ی طول وصله، از معادله ی (۳) و برای محاسبه ی مقدار خاموت در طول وصله از معادله ی (۵) استفاده شده است. برای این که از شکست تیرها به صورت پیوستگی اطمینان حاصل شود یا به عبارت دیگر، میل گردهای خمشی قبل از شکست پیوستگی به تنش جاری شدن نرسند، طول وصله در معادله ی (۳) برای تنش  $0.8 f_y$  محاسبه شد. نمونه های اولیه برای اطمینان از نوع شکست، دستگاه آزمایش و محاسبات تیرها، ساخته و با نام های B-01 و B-02 نام گذاری شدند. میل گردهای طولی نمونه های B-01 و B-02 با قطر 22mm و ابعاد مقطع آنها 200×300mm انتخاب شدند. پس از ارزیابی نتایج آزمایش این دو نمونه، سایر نمونه ها از B-1 تا B-14 طراحی و ساخته شدند. بجز نمونه ی B-13 که مشابه نمونه ی B-1 می باشد ولی فاقد خاموت در طول وصله است، در سایر نمونه ها از خاموت در طول وصله براساس رابطه ی (۵) استفاده شد. در نمونه ی B-14 که مشابه نمونه ی B-1 است، آرماتورهای خمشی وصله نشده اند تا شکست تیر به صورت خمشی و شکل پذیر صورت پذیرد. شاخص

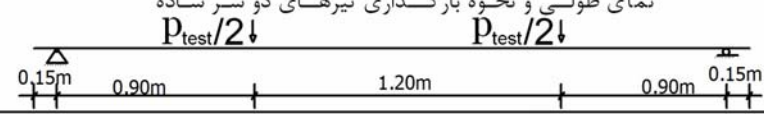

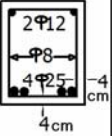
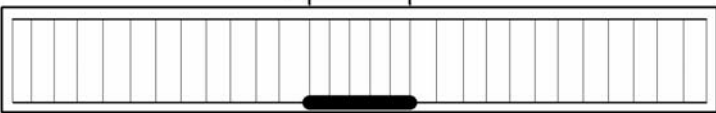
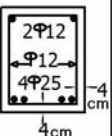
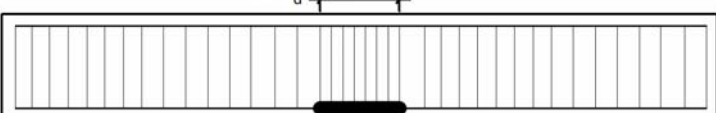
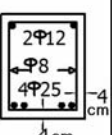
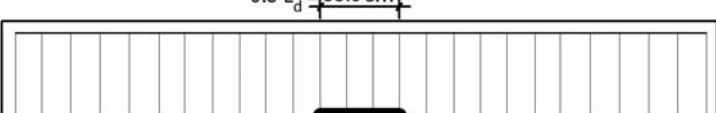
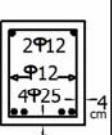
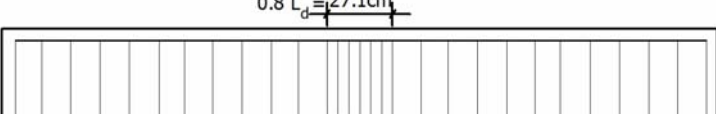
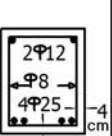
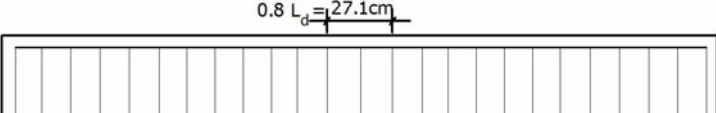
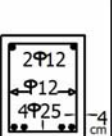
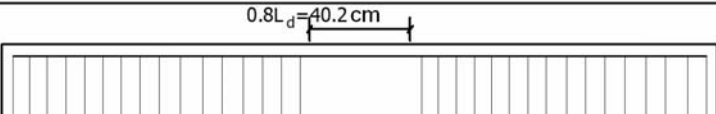
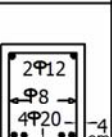

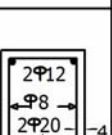


شکل ۵ نمای طولی و مقطع یک تیر بتن آرمه ی وصله دار

جدول ۱ جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی

نمای طولی و نحوه بارگذاری تیرهای دو سر ساده		$f'_c$ MPa	H mm	B mm	شماره نمونه
		20	300	200	B-01
		20	300	200	B-02
		20	300	250	B-1
		20	300	250	B-2
		45	300	250	B-3
		45	300	250	B-4
		70	300	250	B-5
		70	300	250	B-6

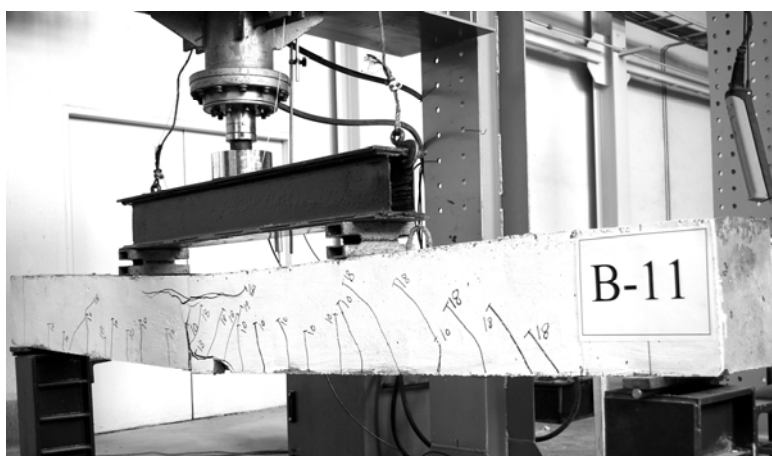
ادامه‌ی جدول ۱ جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی

نمای طولی و نحوه بارگذاری تیرهای دو سر ساده 		$f'_c$ MPa	H mm	B mm	شماره نمونه
 $0.8 L_d = 50.7 \text{ cm}$ 12 $\Phi 8 @ 4.3 \text{ cm}$		20	300	250	B-7
 $0.8 L_d = 50.7 \text{ cm}$ 6 $\Phi 12 @ 9.7 \text{ cm}$		20	300	250	B-8
 $0.8 L_d = 33.8 \text{ cm}$ 8 $\Phi 8 @ 4.3 \text{ cm}$		45	300	250	B-9
 $0.8 L_d = 33.8 \text{ cm}$ 4 $\Phi 12 @ 9.7 \text{ cm}$		45	300	250	B-10
 $0.8 L_d = 27.1 \text{ cm}$ 7 $\Phi 8 @ 4.3 \text{ cm}$		70	300	250	B-11
 $0.8 L_d = 27.1 \text{ cm}$ 3 $\Phi 12 @ 9.7 \text{ cm}$		70	300	250	B-12
 $0.8 L_d = 40.2 \text{ cm}$ 15 $\Phi 8 @ 8.4 \text{ cm}$		20	300	250	B-13
 $0.8 L_d = 40.2 \text{ cm}$ 35 $\Phi 8 @ 8.4 \text{ cm}$		20	300	250	B-14

عدد LVDT و دستگاه Data logger ثبت شدند. با شروع بارگذاری، دستگاه ثبت داده‌ها، هم‌زمان نیروها و تغییر مکان‌های مربوط به آن‌ها در مرکز تیر نمونه را ثبت می‌کند، سپس با رسم منحنی نیرو-تغییر مکان برای هر نمونه، شکل‌پذیری آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. شکل (۷) نمونه‌های آزمایشگاهی را پس از شکست پیوستگی نشان می‌دهد.

### آزمایش نمونه‌های آزمایشگاهی

مطابق شکل (۶)، نیرو توسط یک جک هیدرولیکی و یک تیر توزیع‌کننده به صورت بار دو نقطه‌ای به تیر نمونه‌ی آزمایشگاهی وارد می‌شود. در بالای تیر توزیع‌کننده‌ی بار و در زیر جک هیدرولیکی، یک عدد load cell قرار داده شده تا به کمک آن و دستگاه دریافت و ثبت داده‌ها (Data logger)، نیروها مستقیماً قرائت شوند. هم‌چنین تغییر مکان‌های وسط تیرهای آزمایشگاهی به وسیله‌ی یک



شکل ۶ دستگاه آزمایش نمونه‌ها



شکل ۷ نمایش رشد ترک‌ها و چگونگی شکست تیرهای آزمایشگاهی





ادامه‌ی شکل ۷ نمایش رشد ترک‌ها و چگونگی شکست تیرهای آزمایشگاهی

فاصله‌ی مرکز میل گرد کششی تا نزدیک‌ترین سطح بتن و (b)؛ نصف فاصله‌ی میل‌گردهای کششی وصله شده و  $K_{tr}$ ؛ ضریب فولاد جانبی می‌باشند. سپس از معادله‌ی زیر، مقدار مقاومت پیوستگی ACI به دست می‌آید:

$$u_{ACI} = \frac{A_b f_y}{\pi d_b L_d} \quad (12)$$

در رابطه‌ی (۱۲)، طبق ضوابط ACI، مقدار  $f_s$  برابر  $f_y$  در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده از محاسبات فوق در جدول (۲) مشاهده می‌شود. در ستون (۷)، جدول (۲) مشاهده می‌شود که ظرفیت  $P_{test}$  نمونه‌های B-1 و B-13 به ترتیب: 130.2 و 89.1 کیلو نیوتن است. یادآوری می‌شود که نمونه‌ی B-13 مشابه نمونه‌ی B-1 می‌باشد؛ با این تفاوت که در امتداد وصله‌ی آن، خاموتی به کار گرفته نشده است. به عبارت دیگر، با قرار دادن مقدار خاموت در دور وصله‌ی نمونه B-1، مقاومت پیوستگی تقریباً 1.5 برابر نسبت به نمونه‌ی B-13 افزایش پیدا کرده است. از طرفی شاخص شکل پذیری (i)، ستون ۱۴ جدول (۲) برای نمونه‌ی B-1 ( $i = 2.32$ ) به مقدار قابل ملاحظه‌ای از مقدار آن برای نمونه‌ی بدون خاموت B-13 ( $i = 1.15$ ) افزایش یافته است. در ستون‌های ۱۰ و ۱۱ جدول (۲)، نسبت تنش پیوستگی آزمایشی ( $u_{test}$ ) به تنش پیوستگی محاسباتی از رابطه‌های (۷) و ACI318-08 به ترتیب:  $\frac{u_{test}}{u_{ACI}}$  و  $\frac{u_{test}}{u_{Esf}}$  آورده شده است. میانگین نسبت برای تمام نمونه‌ها برابر 1.00 با انحراف معیار 0.12 می‌باشد. این مقادیر، نشان می‌دهد که رابطه‌ی پیشنهادی اصفهانی و کیانوش [12] با دقت خوبی مقاومت پیوستگی را برای تمام حالات مقاومت‌های بتن و مقدار خاموت متفاوت پیش بینی می‌کند. میانگین نسبت برای تمام نمونه‌ها برابر 2.64 با انحراف معیار 0.57 می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که رابطه‌ی ACI318-08 [14] دست بالا بوده و عوامل مؤثر مختلف را به خوبی در نظر نمی‌گیرد.

## نتایج آزمایشگاهی

مقاومت پیوستگی نمونه‌های آزمایشگاهی. در این بخش، مقاومت پیوستگی نمونه‌ها ( $u_{test}$ ) محاسبه شده، سپس با مقاومت‌های پیوستگی محاسبه شده از معادله‌ی (۷) و روابط ACI318-08 (به ترتیب:  $u_{ACI}$  و  $u_{Esf}$ ) مقایسه می‌شوند. مقاومت پیوستگی ( $u_{test}$ ) برای نمونه‌ها از معادله‌ی زیر به دست می‌آید:

$$u_{test} = \frac{A_b f_s}{\pi d_b L_d} \quad (9)$$

باتوجه به این که طول وصله طوری تعیین شده که تنش‌های میل‌گردها حدود  $0.8f_y$  باشد، می‌توان تنش میل‌گردها را از روابط الاستو-پلاستیک مقاطع خمشی بتن مسلح به دست آورد. این مسأله قبلاً توسط محققین استفاده و توصیه شده است [7,10]:

$$f_s = \frac{M}{A_s j d} \quad (10)$$

در رابطه‌ی فوق،  $M$ ؛ لنگر نهائی شکست بوده و برابر با  $M = 0.9P_{test} / 2$  می‌باشد. برای محاسبه‌ی  $u_{ACI}$ ، ابتدا طول وصله از رابطه‌ی ACI 318-08 [14] که در ذیل آمده، محاسبه می‌شود:

$$L_d = \left[ \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left( \frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b \quad (11)$$

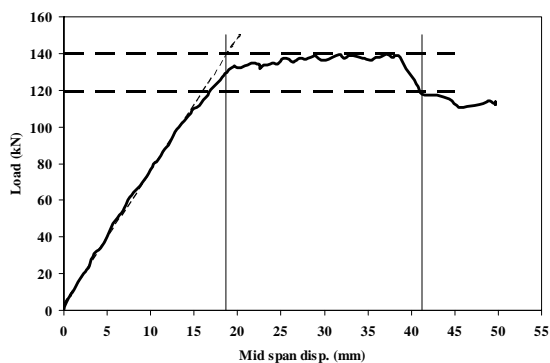
در رابطه‌ی فوق،  $\lambda$ ؛ ضریب تعدیل برای بتن‌های سبک،  $\psi_t$ ؛ ضریب تعدیل بر مبنای محل میل‌گردهای کششی،  $\psi_e$ ، ضریب تعدیل برای میل‌گردهایی که سطح آن‌ها با ضد زنگ پوشیده شده،  $\psi_s$ ؛ ضریب تعدیل برای قطر میل‌گردهای کششی،  $c_b$ ؛ کوچک‌تر دو مقدار (a)

جدول ۲ نتایج آزمایشگاهی نمونه ها

۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
(i)	$\Delta_{0.85}$ mm	$\Delta_y$ mm	$u_{test}/$ $u_{ACI}$	$u_{test}/$ $u_{Esf.}$	$u_{test}$ MPa	$f_s$ MPa	$P_{test}$ kN	$L_{d,ACI}$ mm	$L_{d, Esf.}$ mm	$f_y$ MPa	$f'_c$ MPa	$d_b$ mm	شماره نمونه
2.15	38.0	17.6	1.9	1.12	4.6	408	154	1013	607	440	24.0	22	B-01
1.95	32.0	16.5	1.8	1.04	4.3	378	143	1013	607	440	24.0	22	B-02
2.32	29.7	12.8	3.0	1.08	5.2	414	130	1363	502	460	21.7	20	B-1
1.81	26.4	14.6	2.8	1.00	4.8	386	121	1363	502	460	21.7	20	B-2
1.91	27.5	14.4	3.5	1.22	8.6	458	144	947	335	460	45.0	20	B-3
1.60	22.0	13.9	3.5	1.22	8.5	456	143	647	335	460	45.0	20	B-4
1.35	21.7	16.0	3.5	0.94	10.6	458	143	757	268	460	70.3	20	B-5
1.32	25.4	19.2	3.2	0.87	9.8	422	132	757	268	460	70.3	20	B-6
1.80	20.9	11.8	2.2	0.98	4.2	341	166	1382	633	420	21.7	25	B-7
1.60	23.0	14.5	2.2	0.96	4.2	336	163	1382	633	420	21.7	25	B-8
1.60	22.5	14.0	2.4	1.06	6.7	360	175	960	422	420	45.0	25	B-9
1.50	25.1	16.9	2.4	1.05	6.6	357	173	960	422	420	45.0	25	B-10
1.25	21.5	17.4	2.5	0.85	8.5	368	179	768	338	420	70.3	25	B-11
1.23	24.3	19.7	2.4	0.82	8.2	357	173	768	338	420	20.0	25	B-12
1.15	10.3	8.90	2.2	0.87	3.5	283	89	1420	502	460	20.0	20	B-13
2.21	41.2	18.7				446	140	--	--	460	20.0	20	B-14
			2.64	1.00									میانگین
			0.57	0.12									انحراف معیار

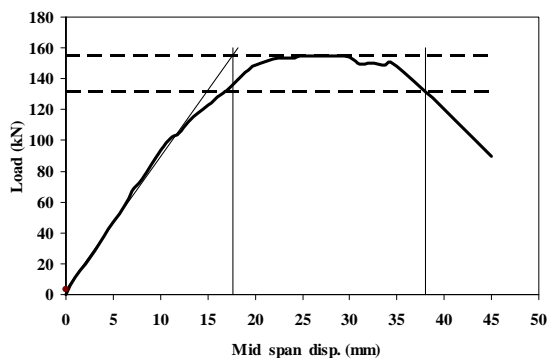
فاقد خاموت در طول وصله بوده و از آن برای مقایسه‌ی شاخص شکل‌پذیری نمونه‌ی فاقد خاموت و نمونه‌های دارای خاموت استفاده خواهد شد. با توجه به شکل (۸)،

شکل‌پذیری نمونه‌های آزمایشگاهی. در شکل‌های (۸) تا (۲۳) رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان وسط دهانه‌ی نمونه‌ها ارائه شده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد، نمونه‌ی B-13

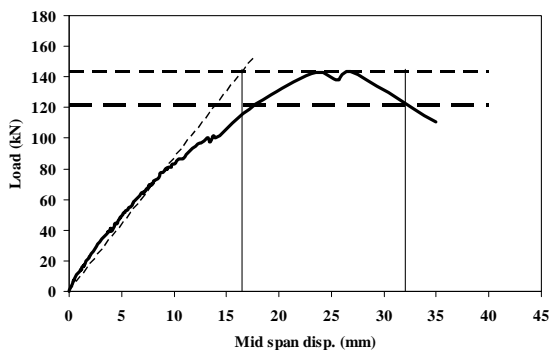


شکل ۹ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-14 (بدون وصله)

در شکل‌های (۱۰) تا (۲۳)، رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان وسط دهانه‌ی سایر نمونه‌ها ارائه شده است:

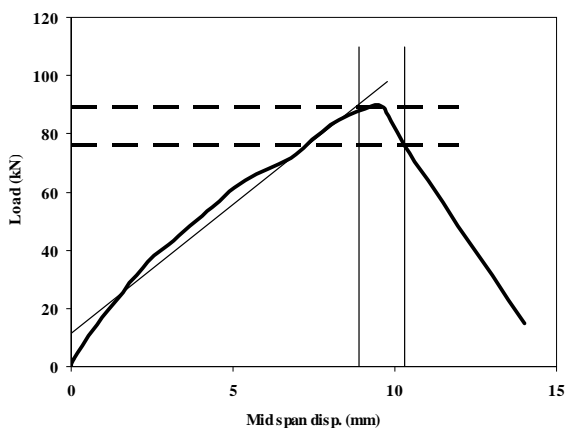


شکل ۱۰ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-01



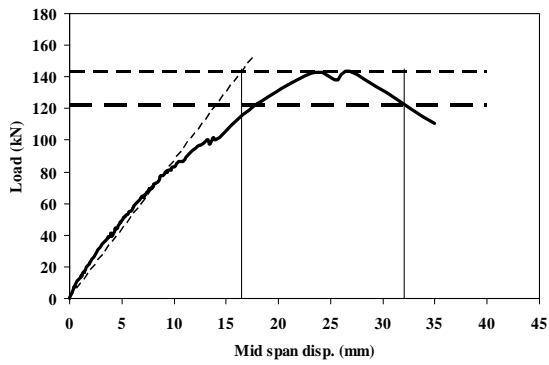
شکل ۱۱ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-02

مشاهده می‌شود که در تیر B-13 مقادیر  $\Delta_y$  و  $\Delta_{0.85}$  نزدیک به هم بوده و شکل‌پذیری این تیر، تقریباً برابر شده است. این بدان معنی است که این نمونه، شکل‌پذیر نبوده و شکست به صورت ترد و آنی است. گسیختگی این نمونه در هنگام آزمایش ناگهانی و همراه با صدایی بلند، به صورت شکافت در پوشش زیر وصله اتفاق افتاد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، بعد از نقطه‌ی ماکزیمم، منحنی با شیبی تند افت کرده است:

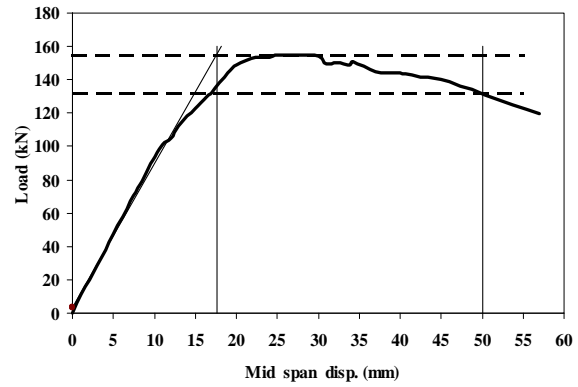


شکل ۸ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-13

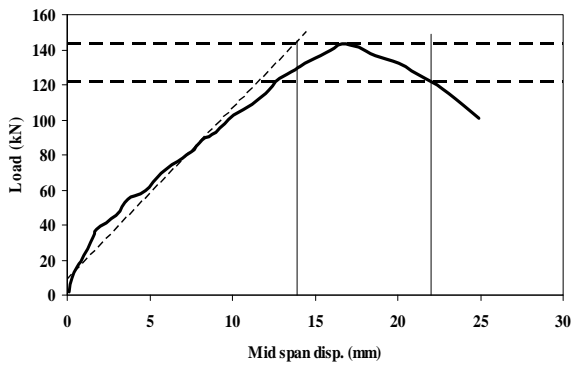
نمونه‌ی B-14 فاقد وصله بوده و از نتایج این نمونه که از نظر خمشی شکل‌پذیر می‌باشد، می‌توان به عنوان تعریف شکل‌پذیری استفاده کرد. این نمونه دارای مقدار آرماتور خمشی کم‌تر از مقدار ماکزیمم آئین‌نامه‌ی 318- ACI 08 است ( $\rho < \rho_{MAX}$ ) و از نظر این آئین‌نامه، دارای شکل‌پذیری مناسب است. با توجه به شکل (۹)، مشاهده می‌شود که شاخص شکل‌پذیری این نمونه در محدوده‌ی تغییر مکان‌های 18.7 و 41.25 میلی‌متر حدود 2.2 برآورد شده است. با استفاده از این مقدار، می‌توان شکل‌پذیری سایر نمونه‌ها را تعریف کرد:



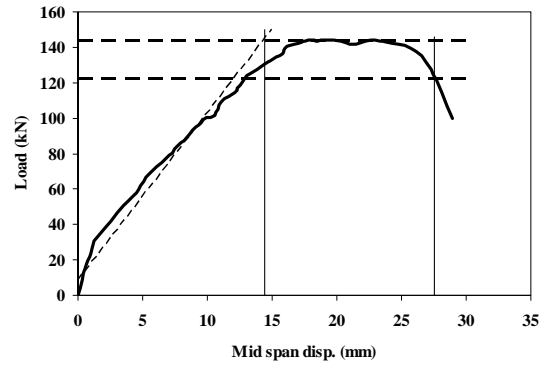
شکل ۱۳ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-2



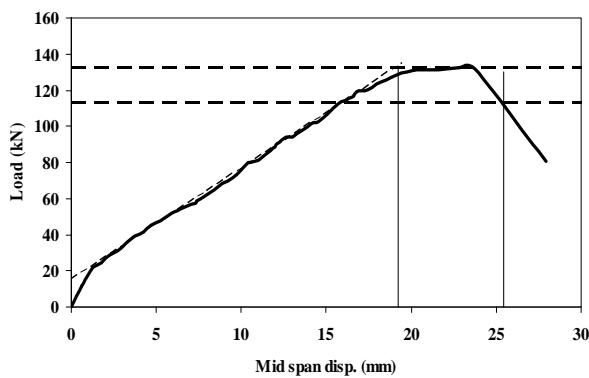
شکل ۱۲ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-1



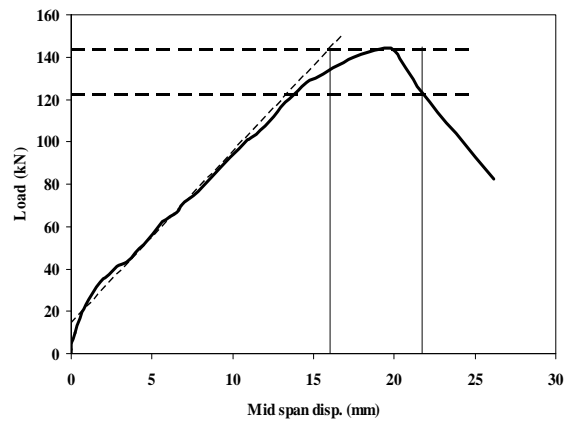
شکل ۱۵ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-4



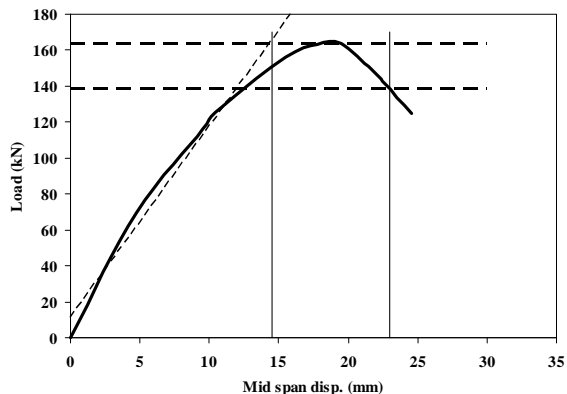
شکل ۱۴ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-3



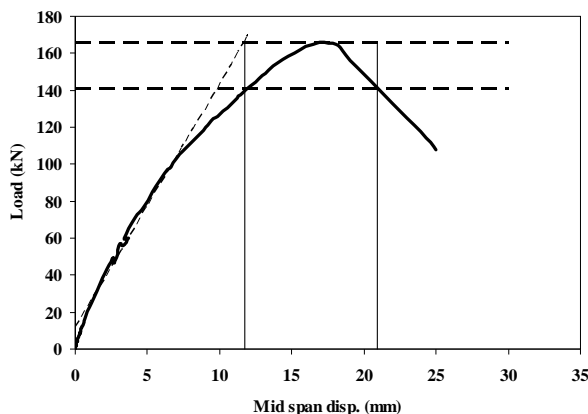
شکل ۱۷ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-6



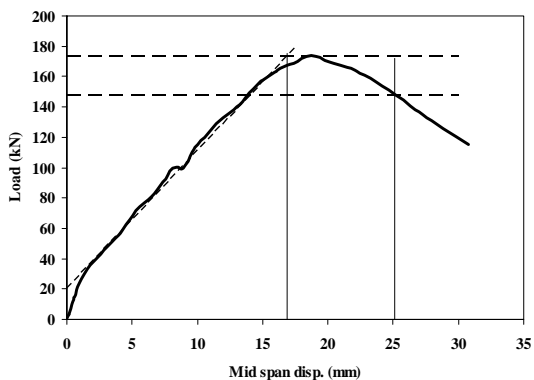
شکل ۱۶ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-5



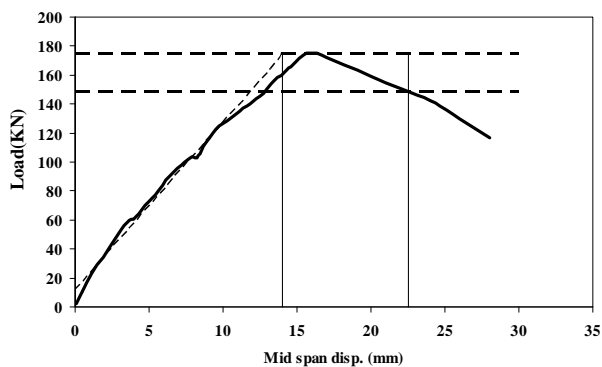
شکل ۱۹ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-8



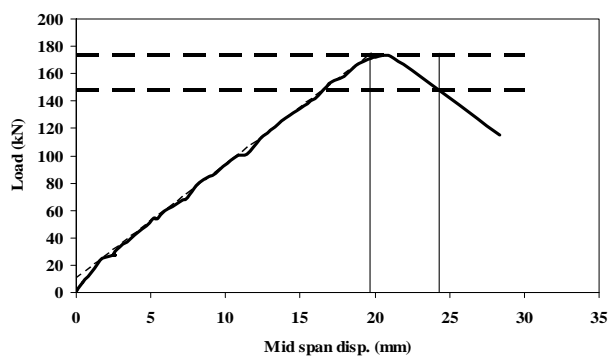
شکل ۱۸ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-7



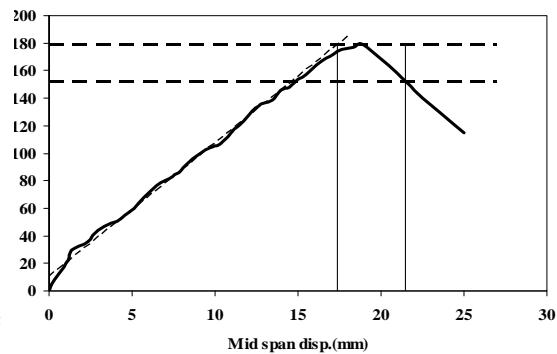
شکل ۲۱ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-10



شکل ۲۰ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-9



شکل ۲۳ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-12



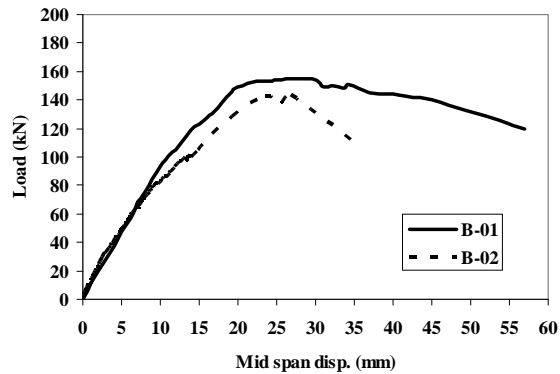
شکل ۲۲ رابطه‌ی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ی B-11

مقاومت پیوستگی نمونه‌های دارای خاموت و فاقد خاموت در دور وصله (به ترتیب B-1 و B-13)، در مقایسه با نمونه‌ی بدون وصله (B-14)، در شکل (۲۴)

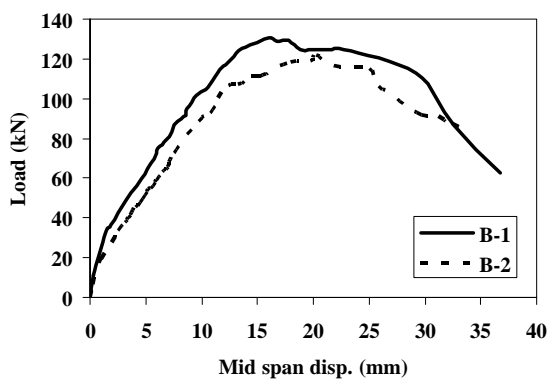
### بحث و مقایسه‌ی شکل پذیری نمونه‌های آزمایشگاهی

اثر خاموت دور وصله بر شکل پذیری. شکل پذیری و

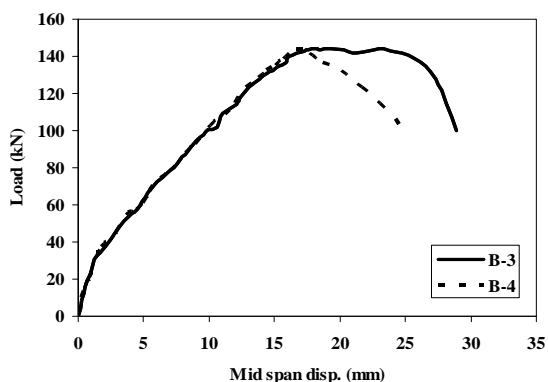
فوق الذکر، صحت روابط محاسباتی پیشنهادی (۳) تا (۵) را به خوبی تأیید می‌کند:



شکل ۲۵ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-01 و B-02

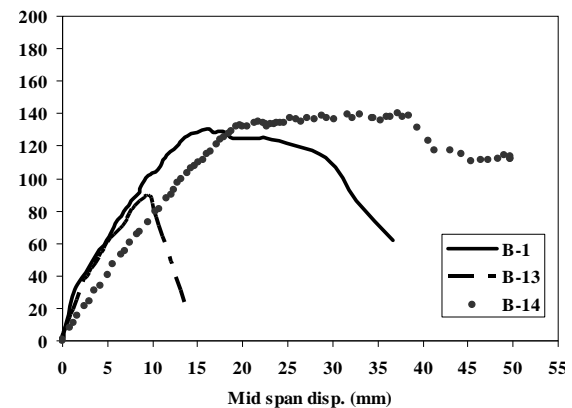


شکل ۲۶ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-1 و B-2



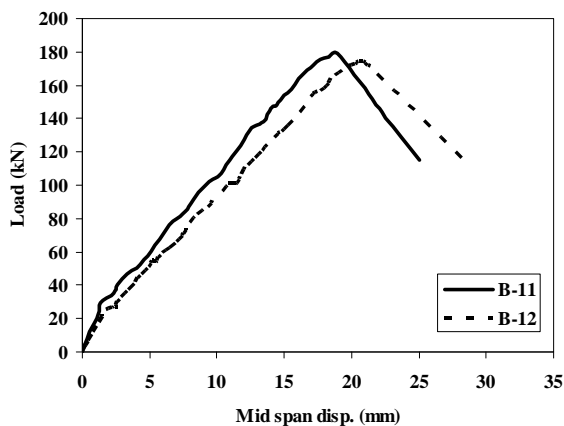
شکل ۲۷ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-3 و B-4

مشاهده می‌شود. نمونه‌ی بدون وصله‌ی B-14 دارای نسبت میل‌گرد  $\rho < \rho_{max}$  بوده و از نظر آئین نامیه‌ی ACI318-08 شکل‌پذیر است. نمونه‌ی دارای وصله، ولی بدون خاموت B-13 با شکست ناگهانی فاقد شکل‌پذیری و نمونه‌ی B-1 که مشابه نمونه‌ی B-13 بوده، ولی دارای خاموت مناسب است، دارای شکل‌پذیری مناسب می‌باشد. بنابراین روابط پیشنهادی (۳) الی (۵) برای محاسبه‌ی طول وصله و خاموت لازم برای شکل‌پذیری به خوبی، ضوابط شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی را برآورده می‌سازند،

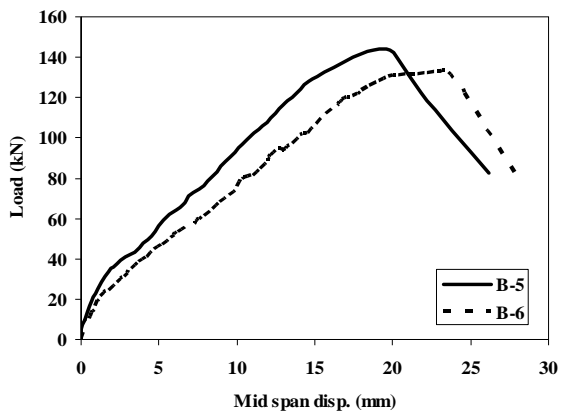


شکل ۲۴ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-1 و B-13 و B-14

اثر فاصله‌ی خاموت‌های اطراف وصله (S) در حالتی که مقدار فولاد جانبی ( $\frac{A_t}{S}$ ) ثابت در نظر گرفته شده باشد، در شکل‌های (۲۵) تا (۳۱) بررسی می‌شود. در هر یک از شکل‌ها، نتایج آزمایشی دو نمونه‌ی مشابه با مقدار مساوی  $\frac{A_t}{S}$  ولی با فاصله و قطر خاموت متفاوت (یا  $A_t$  متفاوت) ارائه شده است. مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های با  $\frac{A_t}{S}$  یکسان ولی  $A_t$  و S متفاوت هر جفت از نمونه‌ها در شکل‌های (۲۵-۳۱) نشان می‌دهد که انتخاب آرماتور خاموت دور وصله با قطر و فاصله‌ی کمتر به شکل‌پذیری نسبتاً مناسب‌تری منجر می‌شود. هم‌چنین نتایج آزمایشگاهی در شکل‌های

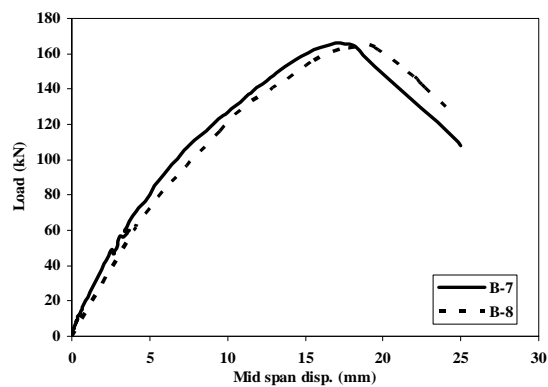


شکل ۳۱ مقایسه شکل پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-11 و B-12

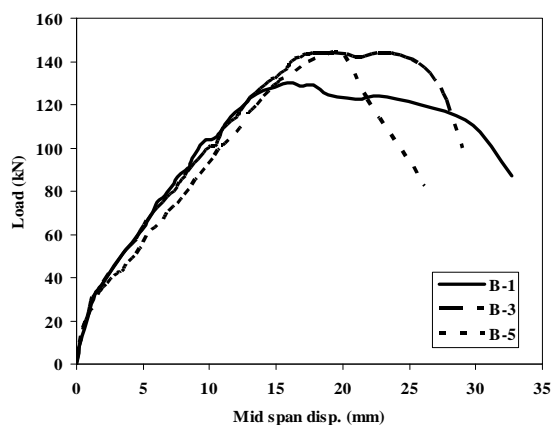


شکل ۲۸ مقایسه‌ی شکل پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-5 و B-6

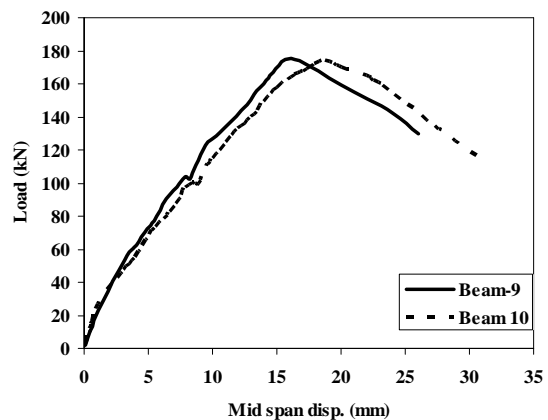
اثر مقاومت فشاری بتن بر شکل پذیری. در شکل (۳۲) منحنی نیرو- تغییر مکان سه نمونه‌ی مشابه B-1، B-3 و B-5 با مقاومت فشاری متفاوت به ترتیب: 21.7، 45.0 و 70.3 مگاپاسکال مقایسه می‌شوند. ملاحظه می‌شود که با افزایش مقاومت فشاری، شکل پذیری نمونه‌ها کاهش می‌یابد. مناسب‌ترین شکل پذیری، مربوط به نمونه‌ی B-1 با مقاومت فشاری 21.7 مگاپاسکال است. میل‌گردهای کششی این نمونه  $\phi_{20}$  و خاموت آن‌ها از میل‌گرد  $\phi_8$  بوده است.



شکل ۲۹ مقایسه‌ی شکل پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-7 و B-8



شکل ۳۲ مقایسه‌ی شکل پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-1، B-3 و B-5

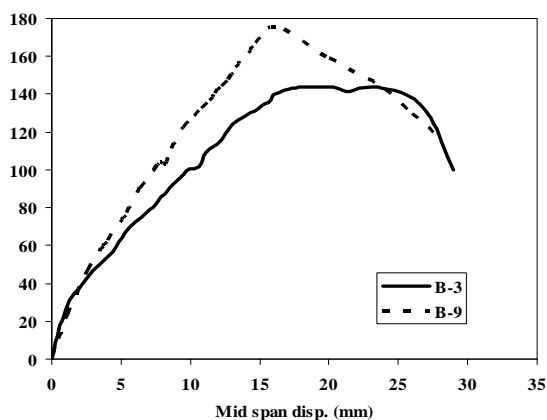


شکل ۳۰ مقایسه‌ی شکل پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-9 و B-10

هم‌چنین تأثیر افزایش مقاومت فشاری بتن در کاهش شکل‌پذیری نمونه‌ها در شکل (۳۳)، برای

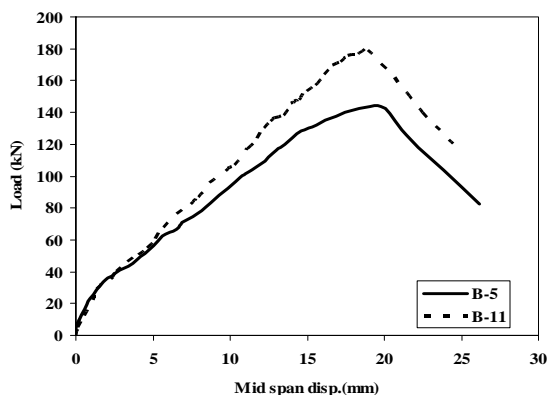


تأثیر متغیر قطر میل‌گردهای کششی بر شکل پذیری، در دو نمونه‌ی B-3 و B-9 از بتن با مقاومت فشاری 45.0 مگاپاسکال و میل‌گردهای کششی به ترتیب:  $\phi_{25}$  و  $\phi_{20}$  در شکل (۳۵) نیز مشاهده می‌شود. مقایسه‌ی منحنی‌ها نشان می‌دهد که شکل‌پذیری نمونه‌ی B-3 بیشتر از شکل‌پذیری نمونه‌ی B-9 می‌باشد.



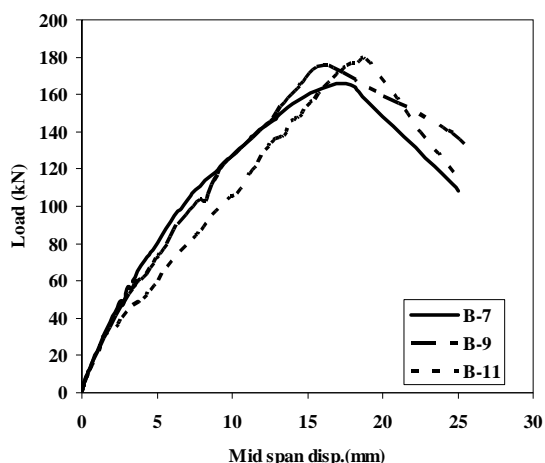
شکل ۳۵ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-3 و B-9

در شکل (۳۶) نیز مشاهده می‌شود که شکل‌پذیری نمونه‌ی B-5 با مقاومت فشاری 70.3 مگاپاسکال و میل‌گردهای کششی  $\phi_{20}$  از نمونه‌ی نظیرش B-11 با همان مقاومت فشاری، ولی با میل‌گردهای کششی  $\phi_{25}$  بیشتر می‌باشد. بنابراین، با توجه به شکل‌های (۳۴)، (۳۵) و (۳۶) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش قطر آرماتور کششی، شکل‌پذیری تیرهای وصله دار کاهش می‌یابد.



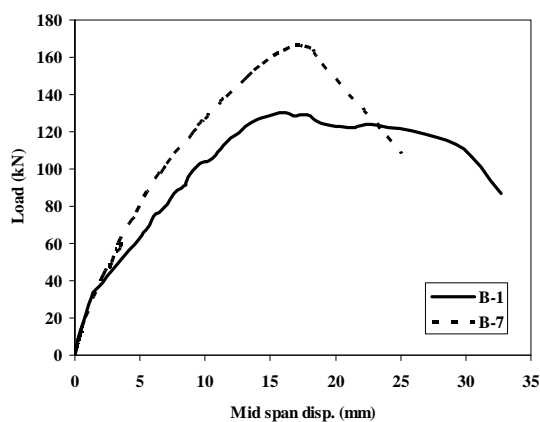
شکل ۳۶ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-5 و B-11

نمونه‌های مشابه B-7، B-9 و B-11 با مقاومت‌های فشاری به ترتیب: 21.7، 45.0 و 70.3 مگاپاسکال مشاهده می‌شود. میل‌گردهای کششی طولی این نمونه‌ها،  $\phi_{25}$  و خاموت آن‌ها از میل‌گرد،  $\phi_8$  بوده است.



شکل ۳۳ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-7، B-9 و B-11

اثر قطر میل‌گردهای کششی بر شکل‌پذیری. در شکل (۳۴) شکل‌پذیری نمونه‌های B-1 و B-7 از بتن با مقاومت فشاری 21.7 مگاپاسکال مقایسه می‌شوند. مقایسه‌ی منحنی‌های بار-تغییر مکان شکل (۳۴) نشان می‌دهند که شکل‌پذیری نمونه‌ی B-1 با میل‌گردهای کششی  $\phi_{20}$  از نمونه‌ی B-7 با میل‌گردهای  $\phi_{25}$  بیشتر است.



شکل ۳۴ مقایسه‌ی شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی نمونه‌های B-1 و B-7

## نتیجه گیری

محل وصله با استفاده از معادله‌ی (۴)، شکل پذیری کلی و الحاقی آنها رضایتبخش بوده و منحنی نیرو-تغییر مکان آنها در حالت گسیختگی پیوستگی، بدون جاری شدن هیچ‌گونه فولادی، شبیه شکست در حالت خمشی می‌شود.

۵. چون شکل پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله دار در حالت گسیختگی خمشی نسبت به شکست آنها در فاز پیوستگی بیشتر است و طبق داده‌های آزمایشی، معادله‌ی (۲) ظرفیت تیرهای ساخته شده از بتن‌های با مقاومت فشاری 45 مگاپاسکال و پائین‌تر با میل‌گردهای  $\varnothing_{20}$  و کوچکتر را یازده درصد بیشتر از ظرفیت خمشی به دست می‌دهد، برای حصول اطمینان از گسیختگی این‌گونه تیرها در حالت خمشی، لازم است که یک ضریب تعدیل به مقدار 1.15 در معادله‌ی (۲) اعمال گردد.

۶. تیرهای بتن آرمه‌ی وصله دار، ساخته شده از بتن‌های با مقاومت 70 مگاپاسکال و بالاتر با میل‌گردهای  $\varnothing_{25}$  و بزرگتر که در حالت پیوستگی گسیخته شده‌اند، از شکل پذیری مناسبی برخوردار نیستند و چون طبق نتایج آزمایشی ظرفیت پیوستگی آنها فقط سه درصد بیشتر از ظرفیت خمشی می‌باشد (مقایسه‌ی  $P_{bend}$  و  $P_{test}$ )، لذا اعمال یک ضریب تعدیل به مقدار 1.3 در معادله‌ی (۲) ضروری به نظر می‌رسد تا با افزایش طول وصله و ازدیاد قسمت نسبتاً یکنواخت توزیع تنش در انتهای بارگذاری شده، ظرفیت پیوستگی بیشتر شده و تیر در فاز خمشی گسیخته گردد. و اگر به هر دلیلی تیر بتنی در حالت پیوستگی گسیخته گردد، با افزایش طول وصله، شکل پذیری آن هم بهبود می‌یابد. شایان ذکر است که با اعمال این ضریب تعدیل در معادله‌ی (۲)، طول وصله‌ی به دست آمده هنوز هم از مقدار پیشنهادی ضوابط آئین‌نامه‌ها خیلی کمتر است.

۷. استفاده از معادله‌ی (۴) برای محاسبه‌ی مقدار خاموت

این تحقیق برای به دست آوردن راهکاری جدید در رابطه با محاسبه‌ی طول مهار یا وصله و خاموت مورد نیاز در دور وصله‌ها، با استفاده از معادلات به دست آمده (۲ و ۴) توسط اصفهانی و رنگان [6,7,8,9] و اصفهانی و کیانوش [10]، در مقایسه با ضوابط فعلی آئین‌نامه‌ها (ACI و غیره)، با هدف بررسی مقاومت پیوستگی و شکل پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله دار انجام گرفت. با بررسی و تحلیل اثر پارامترهای تأثیرگذار روی شکل پذیری براساس داده‌های آزمایشی تیرهای نمونه، نتایج زیر حاصل می‌شوند.

۱. عدم استفاده از خاموت در محل وصله‌ی تیرهای بتن آرمه، نه تنها سبب کاهش چشمگیر مقاومت پیوستگی می‌گردد، بلکه این‌گونه تیرها به هیچ وجه شکل پذیر نبوده و شکست آنها تُرد و ناگهانی خواهد بود.

۲. گرچه ضابطه‌ی ACI ( $\frac{u_{test}}{u_{ACI}} > 1$ ) برای تأمین مقاومت پیوستگی کفایت می‌کند، ولی هیچ‌گونه تضمینی برای شکل پذیری تیرهای بتن آرمه‌ی وصله دار ایجاد نمی‌کند.

۳. نتایج آزمایشی ( $\frac{u_{test}}{u_{Esf}} = 1$ ) نشان دادند که کارایی معادلات (۲)، (۴) و (۵) برای محاسبه‌ی به ترتیب طول وصله، مقدار خاموت دور وصله و مقاومت پیوستگی کاملاً رضایت بخش می‌باشد.

۴. اگر به هر دلیلی مانند اشتباه در طراحی یا ساخت و ساز تیرهای بتن آرمه‌ی وصله دار، ساخته شده از بتن‌های با مقاومت فشاری 45 مگاپاسکال و پائین‌تر و میل‌گردهای  $\varnothing_8$  و کوچکتر، به جای گسیختگی در حالت خمشی که به علت جاری شدن میل‌گردهای کششی از شکل پذیری مطلوبی برخوردار می‌شوند، در حالت از دست دادن مقاومت پیوستگی منهدم شوند، به شرط به کارگیری خاموت‌های  $\varnothing_8$  و کوچکتر در

$C_s$ : فاصله‌ی بین وصله‌ها

$$C = C_{\text{Min}}: \text{حداقل سه مقدار } C_x, C_y \text{ و } \frac{C_s + d_b}{2}$$

$$C_{\text{Med}}: \text{مقدار میانی سه مقدار } C_x, C_y \text{ و } \frac{C_s + d_b}{2}$$

$d_b$ : قطر میل گرد کششی

$c_b$  = کوچکتر دو مقدار (a) فاصله‌ی مرکز میل گرد

کششی تا نزدیکترین سطح بتن و (b) نصف فاصله‌ی میل‌گردهای کششی وصله شده.

$f'_c$ : مقاومت فشاری بتن

$f_s$ : تنش موجود میل‌گردهای کششی

$f_y$ : تنش تسلیم میل‌گردهای کششی

$j$ : عامل سختی

$k_{tr}$ : ضریب فولاد جانبی

$L_d$ : طول وصله

$M$ :  $\cosh(j L_d / 2)$

$P_{\text{test}}$ : حداکثر نیروئی که در آن تیر بتن آرمه وصله‌دار، در

آزمایش بارگذاری در حالت پیوستگی گسیخته می‌گردد.

$P_{\text{bend}}$ : حداکثر نیروی محاسباتی که در آن تیر بتن آرمه‌ی

وصله‌دار، در حالت خمشی منهدم می‌شود.

تصویر سطح آج روی سطح عمود

$R_r$ : سطح نسبی بر امتداد میل گرد

محیط اسمی میل گرد  $\times$  فاصله‌ی

مرکز تا مرکز دو آج مجاور

$u_{\text{Esfahani}}$ : تنش پیوستگی از رابطه‌ی (۵)

$u_{\text{ACI}}$ : تنش پیوستگی از روابط ACI

$u_c$ : تنش پیوستگی در ترک‌خوردگی پوشش بتنی

$S$ : فاصله‌ی بین خاموت‌های دور وصله

$\lambda$ : ضریب تعدیل برای بتن‌های سبک

$\psi_c$ : ضریب تعدیل برای میل‌گردهایی که سطح آنها با

ضد‌رنگ پوشیده شده باشد

$\psi_s$ : ضریب تعدیل برای قطر میل‌گردهای کششی

$\psi_t$ : ضریب تعدیل بر مبنای محل میل‌گردهای کششی

دور وصله و فاصله‌ی آنها از یکدیگر، در صورتی که خاموت‌های  $\phi_8$  و کوچک‌تر به کار گرفته شوند، سبب افزایش قابل توجه شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی می‌گردد. لذا این معادله برای حالت فوق کاملاً جوابگوی مسأله می‌باشد.

۸. کارائی معادله‌ی (۴) برای محاسبه‌ی مقدار خاموت در دور وصله و فاصله‌ی آنها از یکدیگر در صورت استفاده از خاموت‌های  $\phi_{12}$  و بزرگتر، به علت کاهش شکل‌پذیری و مقاومت پیوستگی رضایتبخش نیست. لذا اگر به هر دلیلی لازم شود که خاموت‌های  $\phi_{12}$  و بزرگتر در محل وصله‌ها به کار گرفته شوند، ضروری است که فاصله‌ی خاموت‌ها بیشتر از حداقل لازم طبق ضوابط آئین‌نامه‌ی مورد استفاده نشود.

**تشکر و قدردانی.** بخشی اعظمی از هزینه‌های این طرح توسط شرکت فرآورده‌های سیمان شرق مشهد تأمین شده است. نویسندگان از همکاری صمیمانه‌ی مدیریت محترم این شرکت جناب آقای مهندس سعید قاضی‌خانی، مسئول کنترل کیفیت بتن، آقای مهندس حسن تحان‌پور مقدم و مسئول کارهای اجرایی، آقای مهدی دادجو قدردانی می‌کنند.

همچنین از همکاری مدیریت محترم دانشگاه فردوسی مشهد در رابطه با تأمین هزینه‌ی تکمیل تجهیزات آزمایشگاه سازه‌ی گروه عمران صمیمانه تشکر می‌شود.

### نشانه‌ها

$A_b$ : سطح مقطع یک میل گرد کششی

$A_s$ : سطح مقطع میل‌گردهای کششی

$A_t$ : سطح مقطع یک خاموت دور وصله

$C_x$ : پوشش جانبی

$C_y$ : پوشش تحتانی

## مراجع

1. Tepfers, R., "A Theory of Bond Applied to Overlapping Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars," Publication 73:2, Division of Concrete Structures, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 328 pp, (1973).
2. Orangun, C. O.; Jirsa, J. O.; and Breen, J. E., "Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," *ACI Journal, Proceedings V. 74*, No. 3, PP. 114-122, (1977).
3. Darwin, D., and Graham, E. K., "Effect of Deformation Height and Spacing on Bond Strength of Reinforcing Bars," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 6, PP. 646-657, (1993a).
4. Darwin, D., and Graham, E. K., "Effect of Deformation Height and Spacing on Bond Strength of Reinforcing Bars," SL Report 93-1, University of Kansas Center for Research, Lawrence, Kans., 68 PP, (1993b).
5. Zou, J., and Darwin, D., "Splice Strength" of Conventional and High Relative Rib Area Bars in Normal and High-Strength Concrete," *ACI structural Journal*, V. 97, pp. 630-641, (2000).
6. Azizinamini, A.; Darwin, D.; Eligehausen, R.; Pavel, R.; and Ghosh, S.K., "Proposed Modifications to ACI 318-95 Tension Development and Lap splice for High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, pp. 922-927, (1999).
7. Azizinamini, A.; Pavel, R.; Hatfield, E.; and Gosh, S. K., "Behavior of Lap-Spliced Reinforcing Bars Embedded in High Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 5, PP. 826-836, (1999).
8. Esfahani, M.R., "Discussion of Behavior of Lap Spliced Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete" by Azizinamini, A.; Pavel, R.; Hatfield, E.; and Gosh, S.K., *ACI Structural Journal*, V. 97, 669 PP, (2000).
9. Esfahani, M. R., and Vijaya Rangan, B. V., "Local Bond Strength of Reinforcing Bars in Normal Strength and High-Strength Concrete (HSC)," *ACI Structural Journal*, V. 95, NO. 2, PP. 96-106, (1998a).
10. Esfahani, M. R., and Vijaya Rangan, B. V., "Bond between Normal Strength and High-Strength Concrete (HSC) and Reinforcing Bars in Splices in Beams," *ACI Structural Journal*, V. 95, No. 3, PP. 272-280, (1998b).
11. Esfahani, M.R., and Rangan, B.V., "Influence of Transverse Reinforcement on Bond Strength of Tensile Splices," *Cement and concrete composites*, V. 22, pp. 159-163, (2000).
12. Esfahani, M. R., and Kianoush, M. R., "Development / Splice Length of Reinforcing Bars," *ACI Structural Journal Technical paper no. 102-S03*, (2005).
13. Pessiki, S., and Pieroni, A., "Axial Load Behavior of Large-Scale Spirally-Reinforced High Strength Concrete Columns," *ACI Structural Journal*, Vol. 94, NO. 3, pp. 304-314, (1997).
14. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08), Farmington Hills, MI, PP. 234-241.