

رفتار برشی نهایی ترکیبی بتون مسلح تیر به فولادمجموعه ستون

چکیده:

این مقاله، مکانیسم‌های انتقال برشی و رفتار نهایی سیستم‌های ترکیبی شامل نیروهای بتن‌آرمه مسطح، که به ستون فولادی سازه‌ای متصل شده است را مورد بررسی قرار می‌دهد. یک‌سری شامل پنج آزمایش مقیاس بزرگ بر روی مونتاژهای سازه‌ای که در آن، بازوهای برش فولادی مستقیماً بر ستون‌های فولادی جوش خورده است و در تیرهای دبتن‌آرمه گنجانده شده‌اند، ارائه شده است. پس از توصیف ترتیب آزمایشی و جزئیات نمونه، نتایج و مشاهدات اصلی که از این آزمایشات بدست آمده، ارائه و توصیف شده است. ارزیابی مستقیمی از رفتار برش نهایی یک چنین سیستم‌های ترکیبی را نشان می‌دهد. یافته‌های آزمایشی، این امکان را فراهم می‌کند که مقایسه‌ای با پیش‌بینی‌های مقاومت که از مدل‌های تحلیلی که کاربرد متداولی در طراحی اعضای بتن‌آرمه معمولی دارند، انجام شود. توضیحات و ارزیابی مقایسه‌ای که در این مقاله ارائه شده است، بینشی در مورد تأثیرات مکانیسم‌های مختلف انتقال برشی ارائه می‌کند که مقاومت عرفی، نواحی فشاری، تنش کششی باقی مانده، همبندی پایدارکننده بتن، و پیوند فاصل میانی بین پروفیل فولادی و بتن را شامل می‌شود. فعالسازی و نقش مکانیسم‌های اصلی انتقال برش از نظر افزایش ترک که به طور آزمایشی بررسی شده است و الگو و مسیر، ارزیابی شده است و مقایسه‌ای بین روش‌های تحلیلی که تطابق گسترده‌ای دارند، صورت گرفته است. این نتایج نشان می‌دهد که نقش هر مکانیسم انتقال، تابعی از سیماتیک (جابجایی) ترک و سطح بار وارد شده مطابق آن می‌باشد. در نهایت، اصلاحات روش‌های تحلیلی موجود برای اجزای بتن‌آرمه معمولی، به این منظور ارائه شده است که ارزیابی مطمئنی از ظرفیت برش نهایی یک چنین سیستم‌های ترکیبی ارائه کند. عبارات درباره تأثیر خصوصیات بازوی برشی بر مقاومت بار نهایی، بیان شده است و پیش‌بینی واقعی‌تری از این رفتار در مقایسه با ملاحظات طراحی بتن‌آرمه معمولی ارائه می‌کند.

کلید واژگان: سیستم‌های ترکیبی، مونتاژهای فولاد/ بتن‌آرمه، مکانیسم‌های انتقال برش، رفتار برشی، طراحی برشی.

1- مقدمه:

شرایطی که در آن باید اجزای ساختمانی بتن‌آرمه را با اعضای فولاد عمودی ترکیب کنیم، غالباً در ساختمان‌های چند طبقه می‌باشد که یا به محدودیت‌های عملکرد و یا به بارگذاری مربوط است یا در نتیجه ملاحظات سازه‌ای و کاربردی می‌باشد. بهر حال طراحی یک چنین اعضای ترکیبی فولادی و بتن‌آرمه‌ای در جهت کاربردپذیری قوانین آیین‌نامه‌ای است، که اساساً ایجاد شده و برای ترکیب‌بندی‌های فولاد سازه‌ای یا بتن‌آرمه معمولی، ایجاد شده و اثبات شده است.

بسیاری از بررسی‌های قبلی، عملکرد شکل‌های مختلف اجزای ترکیبی بتن/ فولاد را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای مثال، ارزیابی‌های مختلفی در زمینه عملکرد تیرهای که بر اجزای دیوار بتن‌آرمه متصل شده‌اند، صورت گرفته است. [1-4] و در مورد رفتار اتصالات بین تیرهای فولادی و ستون‌های بتن‌آرمه هم ارزیابی صورت گرفته است. [5-7] چندین بررسی اخیر هم عملکرد اتصالات ستون ترکیبی یا دال مسطح به لوله فولادی را [1-8] را بوسیله بازوهای برشی گنجانده شده مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با این وجود، هنوز هم ارزیابی‌های اساسی در زمینه مکانیسم‌های انتقال برشی و رفتار نهایی سیستم‌های ترکیبی و تیر بتن‌آرمه‌ای با فولاد، وجود ندارد. وجود یک عامل فولادی گنجانده شده در یک عضو بتن‌آرمه، یک ناپیوستگی در دو ناحیه مجزا ایجاد می‌کند. (یعنی سطوح ترکیبی و غیرترکیبی) و خصوصیات رفتاری بسیار پیچیده‌تری در مقایسه با خصوصیات رفتاری که در اعضای بتن‌آرمه معمولی وجود دارد، مشاهده کردیم. تعدادی از حالت‌های گسیختگی ممکن است در دو ناحیه عضو ترکیبی ایجاد شود که یا در ناحیه برشی و یا در ناحیه خمشی می‌باشد و مورد دوم، مکانیسم‌های رفتاری بسیار پیچیده‌تر و وابسته به هم را نشان می‌دهد. در یک بررسی شبیه‌سازی عددی که نویسندگان انجام داده‌اند [12] مکانیسم‌های اصلی گسیختگی برشی شامل تنش قطری یا شکست برشی است که در تیرهای ترکیبی ممکن است رخ دهد که مورد بررسی قرار گرفته است. چنانکه انتظار داریم مراحل اولیه این رفتار بوسیله ترک خمشی توضیح داده شده است.

وقتی گسیختگی خمشی، غالب نمی‌باشد، و نیروهای برشی زیاد، در مقطع، جابجا نمی‌شوند، ترک‌های قطری ایجاد می‌شود. گسیختگی برشی زمانی رخ می‌دهد که تنش‌ها نمی‌توانند از طریق فاصل ترک انتقال یابند و عضو به دو بدنه سختی تقسیم می‌شود که حول یک نقطه ثابت که در رأس ترک در منطقه فشار قرار گرفته است،

دوران دارد. در انتقال برشی، چند مکانیسم نقش دارند که شامل ناحیه فشاری بتن، همبندی پایدارکننده بتن، عامل میله پایدارکننده بتن و مقاومت عرفی. [13-26] و همچنین پیوند فاصل بین عضو فولادی و بتن اطراف آن می‌باشد. [27-29] فعالسازی هر یک از این مکانیسم‌ها به اندازه عضو و جزئیات آرماتور و مقاومت ماده بستگی دارد. [15 و 14] ارزیابی‌هایی انجام دود که بر توزیع شش برش در ناحیه تنش تیرهای بتن‌آرمه با نظارت کرنشی با استفاده از یک جزئیات ترکیب کرنشی سنج‌های الکتریکی انجام گرفته است این نتایج نشان می‌دهد که قبل از ترک، توزیع تنش برشی، تقریباً معمولی است و نیرویی که در ناحیه فشار حمل می‌شود، به آهستگی افزایش یافته و تا 20-40٪ مجموع نیروی برش هنوز هم به گسل می‌رسد.

گزارش شده است که ناحیه تنش تیر می‌تواند تا 75٪ مجموع نیروی برشی را انتقال دهد و انتقال از طریق همبند سنگدانه بتن است که 33-50٪ از طریق مجموع عامل برشی و پایدارکننده بتن در محدوده 15-25٪ می‌باشد. زمانی که میلگردهای رکابی وجود دارند، این دو مکانیسم آخر، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابند. نتایج را «سوآمی» و «آندرسولوس» [22] هم گزارش کرده‌اند که مطابق موارد بالا می‌باشد و نشان داد که بر برشی که از طریق همبند سنگدانه انتقال می‌یابد، با افزایش بار، کاهش می‌یابد.

چندین مدل برای ارزیابی نقش همبند سنگدانه برای مقاومت برش نهایی گزارش شده است. [مثل 19، 22، 30، 16 و 17]. مدلی که «والراون به ورنارد و والراون» [17] بیان کرده‌اند برای رفتار فیزیکی همبندی سطوح ترک گزارش شده است و بر مبنای تابع توزیع تجمعی سنگدانه‌ها در صفحه ترک می‌باشد.

روش‌های اصلاح‌شده‌ای که دیگر روابط پهنا به لغزش را دربر می‌گیرد هم توسط «اولاگا» [31] و «اگودونی» [32] ارائه شده است. از سوی دیگر، «دی‌پولی» [19] هم مدل ترک ایده آلسازی شده‌ای ارائه کرد که نقش همبند سنگدانه‌ها این فرض ارزیابی شد که تیر بتن‌آرمه ای به عنوان یک صفحه خرپا با تنش‌های محصور شدگی و برشی در طول ترک‌های قطری ارزیابی شده است. در مجموع، انتقال برش از طریق همبند سنگدانه غالباً با عامل میخ پرچی متصل شده است چون بشدت متصل شده‌اند. بر اساس مشاهدات آزمایش، ارزیابی‌های آماری انجام گرفت تا پیوستگی بین عامل میخ پرچی و همبند سنگدانه را ارزیابی کند. [22] نشان داده‌ایم که برشی که در این فاصل ایجاد می‌شود به مقدار آرماتور طولی، آرماتور عرفی (فاصله و بخش مقطع بین ترک و آرماتور طولی) و نسبت مقاومت ترک و نسبت گشتاور به برش، بستگی دارد.

ارزیابی‌های مختلفی هم به منظور ارزیابی ظرفیت یک میخ پرچ تحت برش انجام گرفته است. برای مثال، بر مبنای مشاهدات آزمایشی از آزمایشاتی که در میلگردهای دندانهای ایجاد شده است «دی‌پولی» [20] فرمول‌هایی بر اساس سختی جایگزینی زیربنایی بتنی انجام گرفته است. چندین مدل دیگر فرض می‌کند که عامل پرچ را می‌توان با مقایسه‌ای با تیر در پی الاستیکی بررسی کرد. [34 و 33] به‌رحال در وضعیت نهایی، بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد که این فرض با توجه به رفتار غیرخطی میلگرد فولادی و بتنی در ناحیه جایگزینی، فرض نادرستی است. رفتار غیرخطی را می‌توان با توجه به خمش پرچ مربوط با توجه به تغییر شکل بوسیله تحلیل حدی نشان داد که «پائولی» و «لوبر» [13] و «چانا» [23] و جدیداً «کامپانا» [26] بررسی کرد. از سوی دیگر، انتقال از طریق ناحیه فرآیند شکست را چند محقق با استفاده از نظریه مکانیک شکست مورد بررسی قرار دادند. [38] انتقال تنش‌های باقی مانده از طریق فاصل‌های ترک‌خورده از یک منحنی غیرخطی پس از نقطه اوج باشد که با رابطه باز شدن تنش - ترک ارزیابی کرده‌اند که ماکسیمم پهنای ترک و مقاومت کششی تک‌لبه‌ی ترک را شامل می‌شود.

Nomenclature

Greek letters

θ, θ_{cr}	crack inclination
Δ	deflection
Δ_{dow}	dowel displacement
Δ_s	crack slip
ε_i	strain
η	stiffness ratio ($E_c I_c / E_s I_s$)
λ	shape of the compression block factor, load proportionality factor
λ_K	proportionality constant
λ_v	embedded length factor
μ	friction coefficient
ρ_k	ratio between volume of aggregates to concrete
ρ_l	flexural reinforcement ratio
ρ_v	composite reinforcement ratio
ρ_w	shear reinforcement ratio
σ_i	normal stress
σ_{pu}	compressive strength of cement matrix
$\tau_{b,i}$	bond stress
τ_i	tangential stress
ψ	rotation
ν_i	shear stress

Lowercase latin letters

a	shear span
a_v	composite shear span
a_i	lever arm
a_w, a_s	contact areas (for aggregate interlock action)
b	concrete section width
c	depth of the compression zone
c_{nom}	concrete cover
d	effective depth
d_b	bar diameter
$d_{g,i}$	aggregate dimension
e'	eccentricity
f_c	concrete cylinder strength
f_{ct}	concrete tensile strength
$f_{y,i}$	yield strength of steel
$f_{t,i}$	ultimate strength steel
h	concrete section depth
$h_{c,v}$	column depth

h_v	depth of the shear-key
l_{dow}	dowel span
l_v	embedded length
$l_{x,cr}$	horizontal projection of the shear crack
T_s	clear half span (from column face)
s_w	spacing of transverse reinforcement
z_i	lever arm
w_i	crack width
w_{max}	maximum crack width
x, y, z	coordinates

Uppercase latin letters

$A_{s,i}$	reinforcement sectional area
A_w, A_s	contact areas (aggregate interlock action)
A_v	shearkey cross sectional area
E_i	modulus of elasticity
I_i	moment of inertia
L_s	moment span
L	length
N_i	axial force
M_i	bending moment
P_i	applied load
V_i	shear force

Subscripts

agg	aggregate interlock
ch	concrete compressive zone
b	bond
c	concrete
cr	crack
s	longitudinal steel
dow	dowel action
max	maximum
res	concrete residual stresses
$sw, i; sw; w$	transverse reinforcement
STM	values from detailed assessment
$test$	test values
u	ultimate
v	composite slip, shearkey

قابل ذکر است که نقش برشی که بوسیله اصطکاک در بتن-پروفیل فولادی در اعضای ترکیبی انتقال یافته است می تواند قابل توجه باشد اما به خصوصیات سطح و طول گنجانده شده و مقاومت بتن و روکش بتن بستگی دارد. «ویوم» و «لبرت» [23] نشان دادند که مقاومت تا اندازه زیادی به اندازه مقطع بتن گنجانده شده بستگی دارد. این مقاله بر ارزیابی مکانیسم های اصلی انتقال برش در سیستم های سازه ترکیبی می پردازد که شامل تیرهای بتن آرمه ای است که بوسیله بازوهای برشی گنجانده شده مستقیماً به ستون های فولادی متصل شده اند و به طور کاملی در تیرهای بتن آرمه گنجانده شده اند. نتایج زیادی از یک سری پنج آزمایش مقیاس اصلی مونتاژ ستون فولادی و تیر بتن آرمه ترکیبی، انجام گرفته است. این آزمایشات، بخشی از پروژه مشارکتی اروپایی گسترده است که با هدف ارائه روش طراحی یکپارچه ای برای ترکیب بندی های سازه ای بتنی/فولادی ترکیبی مختلف است. بر اساس ارزیابی جزئیات دتایل افزایش و تکثیر ترک در سطوح مختلف بار که به گسیختگی منجر می شود، نقش هر مکانیسم انتقال برشی در مقاومت برش نهایی، اندازه گیری شده است. این مقاله با استفاده از مشاهدات و

نتایج آزمایش، کافی بودن پیش‌بینی‌های مقاومت که از مدل‌های تحلیلی مختلف بدست آمده است را ارزیابی می‌کنیم که متناسب با طراحی اعضای بتن‌آرمه معمولی می‌باشد که بر ملاحظات آیین‌نامه‌ای اروپا و امریکای شمالی تأکید می‌کند. در نهایت، یک روش تحلیلی ارائه شده تا رفتار برش نهایی اعضای ترکیبی انواعی که در این مقاله ارزیابی شده است را پیش‌بینی کند.

2- برنامه آزمایشی:

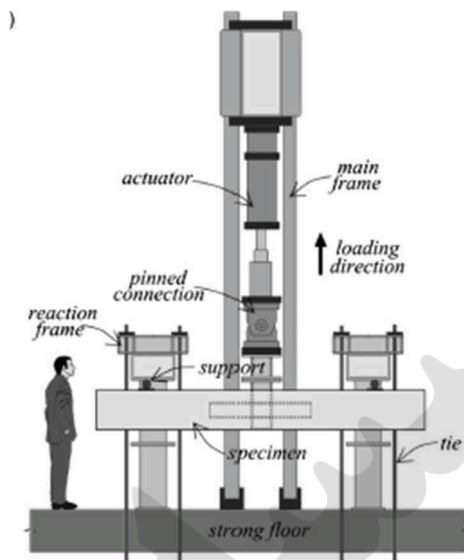
1-2 ترتیب آزمایش:

طرح ترتیب آزمایش به صورت نمادین در نمودار 1a آمده است در حالی که نمودار 1b یک بررسی کلی از تنظیم آزمایش نشان می‌دهد. طرح آزمایش به این منظور طراحی شد که ارزیابی آزمایش مطمئنی از رفتار نهایی نمونه‌های ترکیبی مقیاس بزرگ تیر/ستون را با توجه به گسیختگی نشان دهد. تجهیزات شامل یک قاب بارگذاری اصلی، است که در آن یک محرک با ظرفیت 1000KN نصب شد و دو قاب واکنشی که نقاط تکیه‌گاهی در دو انتهای تیر ایجاد کردند. بارگذاری ستون فولادی در جهت عمودی رو به بالا انجام گرفت در نتیجه، شبیه‌سازی بارهای واکنشی عمودی از پایین به بالا در دو انتهای تیر ارائه شد. واکنش‌های بین انتهای نمونه و قاب‌های تکیه‌گاه، از طریق دو غلطک فولادی با قطر 100mm انتقال یافت. دو ورقه فولادی با ضخامت 20mm و عرض 180mm بین غلطک‌ها و نمونه قرار گرفت تا از تأثیرات موضعی تکیه‌گاه‌ها اجتناب شود. تمامی آزمایشات در حالت کنترل جابجایی دستگاه مسلح‌کننده اجتناب شد تا ارزیابی و مشاهده جزئیات بویژه در مرحله واکنش نهایی امکان‌پذیر شود.

با وجود این جابجایی‌ها و اندازه‌گیری‌های بار که مستقیماً بوسیله محرک و با تعدادی از مبدل‌هایی که در طول نمونه وصل شده‌اند انجام می‌شود. در مجموع، ارزیابی جزئیات شروع، افزایش و الگوی ترک‌ها بوسیله اش‌های مدرج «Demec» بدست آمد. اندازه‌گیری‌های Demec انجام گرفت و کرنش‌سنج در مجموع در موقعیت‌های متفاوتی در نمونه‌ها قرار گرفت. روش‌هایی برای بررسی توسعه ترک و اندازه‌گیری‌های کرنش‌سنج با جزئیات بیشتری در بخش‌های بعدی این مقاله آمده است.

2-2 دتایل‌های (جزئیات) نمونه:

یک سری پنج نمونه مورد آزمایش قرار گرفت و پارامترهای اصلی تغییر کرد که طول گنجانده شده کلید برشی (طول گنجانده شده به عمق عنصر فولادی $I_v/h_f = 1 - 3/6$) وجود آرماتورهای عرضی (چهار نمونه، رکابی‌هایی با $P_w = 0/19\%$ داشتند و یک نمونه هم فاقد آن بود.) و نسبت سختی بین عضو و برش اصلی را وجود داشت که این نسبت با $n_1 = E_c I_c / E_v I_v$ نشان داده شده است که به مدول الاستیک بتن E_c بستگی دارد که بوسیله روش Eurocode 2 ارزیابی شده [39] و گشتاور الاستیک اینرسی مقطع بتن IC و ضریب الاستیک فولاد E_v که از آزمایشات ماده و گشتاور اینرسی برش اصلی I_v بدست آمد. نمودار 2 ارتفاع اصلی (برای نصف اجزای بررسی شده) و مقطع اصلی نمونه‌ها را نشان می‌دهد، درحالی‌که جدول 1، جزئیات مدل‌های آزمایش شده را نشان می‌دهد. ابعاد نمونه‌ها بر اساس دامنه‌های کاربری و محدودیت‌های آزمایشی انتخاب شد. که با هدف دستیابی به گسیختگی برشی بود که شامل تسلیم رکابی‌ها یا شکستن بتن بود نمونه‌ها، ناحیه اتصال یک سازه قاب ترکیبی را که از ستون‌های فولادی و تیرهای بتن‌آرمه تشکیل شده بود، تکرار کردند. ناحیه اتصال بوسیله یک تحلیل ستون فولادی و دوطرفه ترکیبی بتن‌آرمه ترکیبی نشان داده شده است. وضعیت تکیه‌گاه‌ها در مقطع گشتاور خمشی صفر یک تیر پیوسته با دهانه گشتاور حدود 6 متر نشان داده شده است. یک مقطع ستون HEB240 در تمام پنج نمونه استفاده شد. در چهار تا از نمونه‌ها (B10 - R10 - W20 - S8 , B25 - R10 - W0 - S8 ,) W20 - S8 , B36 - R10 - W20 - S8 - B25 - R10 - W0 - S8) برش‌های اصلی HEB20 به طور کامل به طور متقارن در هر دو سمت ستون جوش خوردند. دهانه مورد استفاده برای چهار عنصر $L_s = 2600\text{mm}$ بود. نمونه پنجم (B25 - R12 - W20 - S16) یک برش اصلی UC125 و دهانه گشتاور کمتر $L_s = 2300\text{mm}$ داشت. مجموع طول تمامی نمونه‌های گزارش شده $L = 3750\text{mm}$ بود. طول گنجانده شده برش اصلی I_v بین 200mm و 720mm متفاوت بود که در جدول 1 آمده است. ترتیب اصلی آرماتور طولی شامل $25\text{Ø}2$ میله است که از ستون فولادی رد می‌شود و $20\text{Ø}2$ میله که خارج از محوطه ستون قرار گرفته‌اند (نمودار 2b و c).



نسبت آرماتور (P_1) برای چهار نمونه اول (یعنی $B10 - R10 - W20 - S8$, $B25 - R10 - W0 - S8$, $B25 - R12 - S8$, $B36 - R10 - W20 - S8$) برابر $1/09\%$ بود و برای $B25 - R10 - W0 - S8$, $B36 - R10 - W20 - S8$, $B25 - R12 - S8$ برابر $1/21\%$ بود. چهار میله 2ϕ در ته تمام نمونه‌ها قرار گرفت تا از پیوستگی آن مطمئن شویم آرماتور عرضی که در فاصله مساوی از دورکابی تراز داشت $S_{w1}=150\text{mm}$ در یک ناحیه دهانه گشتاور و $S_{wT}=70\text{mm}$ خارج از ناحیه دهانه گشتاور بود. عمق مؤثر واقعی برای نمونه‌ها بوسیله برش‌های اره‌ای (لبه‌دار)، از عمق نمونه‌ها انجام گرفت و در جدول 1 آمده است. آزمایش مصالح به این منظور انجام گرفت که مشخصات مقاومت و نرمی (مشکل‌پذیری) فولاد بکار رفته در میله‌های آرماتور و برش‌های اصلی ارزیابی گردد. میانگین مقادیر خصوصیات آن‌ها بر مبنای حداقل سه آزمایش ماده در جدول 2 رسم شده است.

بتن مخلوط آماده درجه Co25/30 با یک ماکسیمم اندازه سنگدانه 10mm در تمام نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. یک مجموعه 12 نمونه آماده شد تا خصوصیات بتن سخت شده در 25 روز و 3 نمونه برای ارزیابی مقاومت روز آزمایش انجام گیرد. نمونه‌ها که برای تعیین مقاومت 28 روزه مورد آزمایش قرار گرفت، در آب غوطه‌ور شدند درحالی‌که نمونه‌های دیگر، نزدیک نمونه‌های آزمایش حفظ شدند. مقاومت فشاری بتن (f_c) که از استوانه‌ها در روز آزمایش بدست آمد از 27/3 تا 34/3 مگاپاسکال متفاوت بود (جدول 1) درحالی‌که مقاومت در 28 روز ($f_{c,2nd}$) از 29/9 تا 38/7 مگاپاسکال متغیر بود. مقاومت فشاری بتن که از مکعب‌ها بدست آمده بود ($f_{c,cube}$) از 33/3 تا 44/8 مگاپاسکال متفاوت بود و مقاومت کششی چند دسته‌ای از 2/14 تا 2/87 مگاپاسکال متفاوت بود.

Specimen	Shearkey	RC cross section	l_p (mm)	L_v (mm)	d (mm)	ρ_l (%)	ρ_w (%)	f_c (MPa)	$f_{c,2nd}$ (MPa)	Age (days)
B25-R1 0-W0-S8	HEB200	B360x455	500	2600	409	1.09	-	28.6	29.1	39
B10-R10-W20-S8	HEB200	B360x455	200	2600	412	1.09	0.19	27.3	29.1	28
B25-R1 0-W20-S8	HEB200	B360x460	500	2600	410	1.09	0.19	34.3	37.1	31
B36-R1 0-W20-S8	HEB200	B360x455	720	2600	408	1.10	0.19	29.9	29.1	35
B25-R1 2-W20-S16	UC152	B340x435	400	2300	391	1.21	0.20	28.7	29.1	50

جدول 1

Specimen	$f_{y,0.2\%}$ (MPa)	f_u (MPa)	ϵ_u (%)
HEB200 - flange	401	530	14.5
HEB200 - web	396	517	14.3
UC152 - flange	369	493	26.4
8 mm rebar	592	695	6.39
12 mm rebar	545	594	13.7
20 mm rebar	583	704	12.0
25 mm rebar	628	729	13.8

Notes: E_s = Elastic modulus, $f_{y,0.2\%}$ = 0.2% proof stress, f_u = tensile strength and ϵ_u = the elongation after fracture;

Cross-sectional dimensions:

For HEB 200: $b \times t/d \times t_w/A_s = 200 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}/200 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}/7810 \text{ mm}^2$.

For UC152: $b \times t/d \times t_w/A_s = 154.4 \text{ mm} \times 11.5 \text{ mm}/161.8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}/4719 \text{ mm}^2$.

جدول 2

2-3 بررسی ترک‌ها و کرنش‌ها:

ارزیابی جزئیات ترک‌ها در مراحل بارگذاری اصلی انجام گرفت که به شروع و افزایش ترک الگوی مدرج سنجش مکانیکی Demec بستگی دارد. سیستم Demec شامل یک سنجش عددی دیجیتال و یک میله نیکی می‌باشد یک نقطه کانونی ثابت در یک انتهای میله نیکی قرار گرفت و یک نقطه لولا در انتهای دیگر قرار گرفت. فاصله بین این و نقطه کانونی 15mm بود. در مجموع برای کرنش‌سنج‌ها، اندازه‌گیری کرنش بوسیله قرار دادن دو نقطه کانونی در حفره‌هایی در صفحه‌های فولادی که بوسیله چسب به سطوح بتنی متصل بود، انجام شد. هر یک از صفحات فولادی یک نقطه ارزیابی بتنی را نشان داد. تعداد نقاط Demec از 74 تا 82 متغییر بود که یک

شبکه الماس 178 تا 198 خط را نشان می‌دهد که در نمودار 2 رسم شده‌است. یک برنامه ساخت هدف به منظور جمع‌آوری داده‌های سنجش عددی دیجیتال از نقطه COMP PC انجام شد، مسیریابی دقیق گزارشات به این منظور دنبال شد که از بدست آوردن هر داده مبهمی جلوگیری شود.

اولین جمع‌آوری داده‌ها در ترکیب‌بندی اولیه، در زمانی انجام گرفت که نمونه‌ها در وضعیت کشش قرار داشتند (یعنی صرفاً وزن خود و وزن غلطک‌ها را حمل می‌کرد) جدول سه مرحله بارگذاری را در زمانی که جمع‌آوری داده Demec انجام گرفت نشان می‌دهد که در بخش‌های بعدی مقاله به همراه جزئیات بیشتری آمده است. پس هر اندازه‌گیری پردازش شد تا کرنش در نواحی مختلف نمونه را بدست آوریم. مراحل بار ابرازبندی شده برای هر نمونه به عنوان بخشی از بار گزارش شده‌تهایی به صورت زیر بود: 100٪ از $P_{u,test}$ برای B25-R10-W0-S8 و 83٪ از $P_{u,test}$ برای B10-R10-W20-S8 و 99٪ از $P_{u,test}$ برای P25-R10-W20-S8 و 90٪ از $P_{u,test}$ برای B36-R10-W20-S8 و 94٪ از $P_{u,test}$ برای B25-R12-W20-S16 می‌باشد.

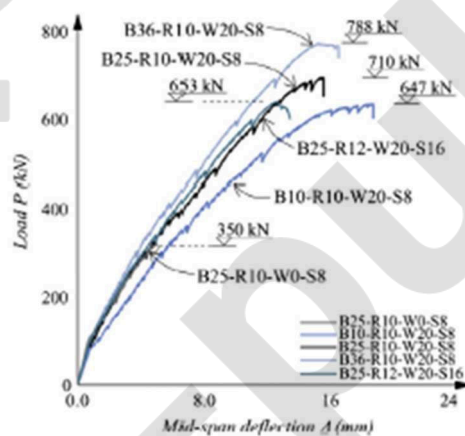
3- مشاهدات و نتایج آزمایش:

3-1 واکنش جابجایی بار:

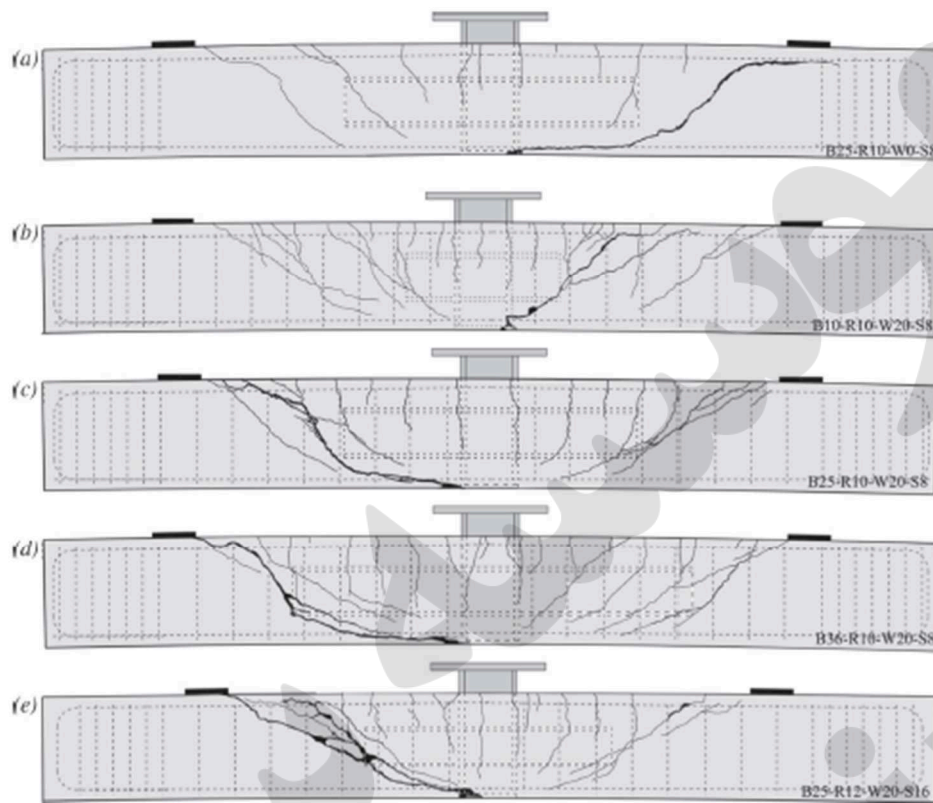
منحنی‌های جابجایی [5] در برابر بار (P_{10}) وارد شده دهانه متوسط برای تمامی 5 نمونه در نمودار 3 آمده است. از سویی دیگر، نمودار 4 طراحی الگوی ترک در گسیختگی را نشان می‌دهد. نمونه‌ای که آرماتور عرضی ندارد یعنی B25-R10-W0-S8 کمترین ظرفیت را نشان داد. ($P_{u,test} = 350\text{KN}$) سه نمونه‌ای که نسبت بخش مقطع مشابهی داشتند λ یعنی B3680.455 و HEB200 برش اصلی با توجه به افزایش طول گنجانده شده، مقاومت نهایی آنها هم افزایش یافت. نمونه‌ای که کمترین برش اصلی را داشت یعنی B10-R10-W20-S8 حداکثر بار $P_{u,test} = 647\text{KN}$ را نشان داد. نمونه مرجع با طول جایگزینی بی‌واسطه B25-R10-W20-S8 در $P_{u,test} = 710\text{KN}$ گسیخته شد درحالی‌که در موردی که با بیشترین طول جایگذاری اثبات شد B36-R10-W20-S8 گسیختگی در $P_{u,test} = 788\text{KN}$ گزارش شد. مقاومت در پنجمین نمونه گزارش شده که نسبت طول به عمق جایگزین شده مشابهی I_v/h_v داشت اما مقطع‌های برشی اصلی و بتنی کمتری داشت در 653KN $P_{u,test}$ گسیخته شد.

در نمونه‌ای که بدون آرماتور برشی بود (B25-R10-W0-S8) ترک گسیختگی در حدود 24٪ از $P_{u,test}$ مشاهده شد درحالی‌که با افزایش بار تیرها یا پایه‌هایی که بین ترک خمشی ستیک شده بود شروع به چرخش کرد و ترکهای مدرجی در سمت راست نمونه ایجاد کرد. کاهش تکثیر ترک در خلاف جهت مشاهده شد. گسیختگی که در سمت چپ ایجاد شد مربوط به توسعه ترک برش و نمونه‌ای بود که به تکیه‌گاه و رأس ستون متصل بود و از زیر برش اصلی عبور می‌کرد (نمودار 4a).

نمونه‌هایی که با آرماتور برشی تهیه شده بودند (یعنی B36-R10-W20-S8 و B25-R10-W0-S8 و B10-R10-W20-S8 و B25-R12-W20-S18) در کل فرآیند بارگذاری، رفتاری مشابه را نشان دادند. اولین ترک‌های خمشی در ناحیه حداکثر گشتاور خمشی در سطوح بار حدود 10٪ بار نهایی $P_{u,test}$ مشاهده شد. ترک‌های خمشی تمایل داشتند که در مجاورت آرماتور عرفی تقریباً در فواصل یکنواختی تشکیل گردید. با افزایش بار، ترک‌های خمشی که در کران بین ناحیه بیت‌آرمه و ناحیه ترکیب قرار گرفته بود، بتدریج چرخش داشته و رأس لبه پایینی برش اصلی را قطع کرد.

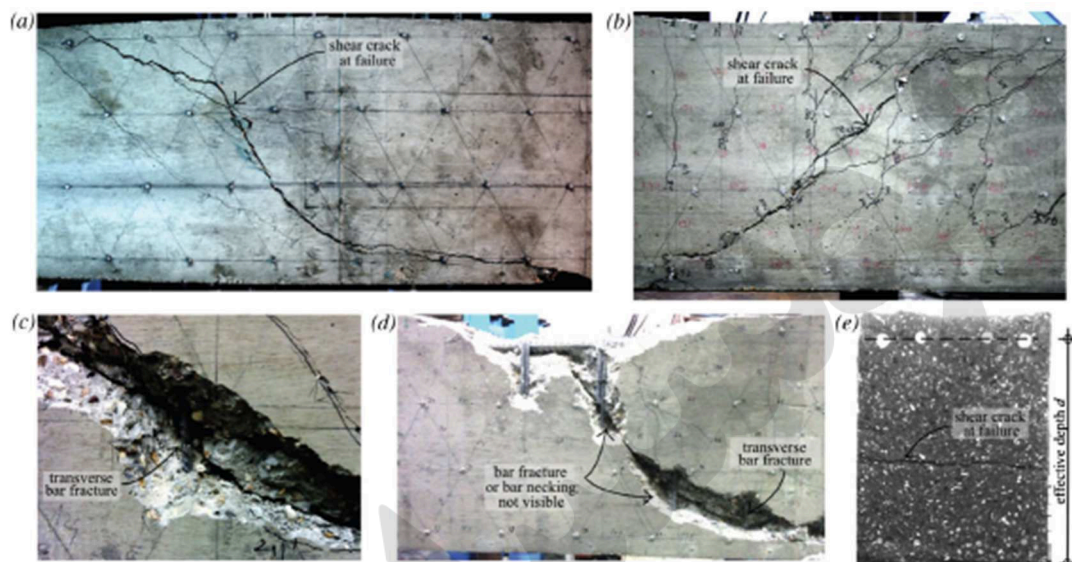


شکل 3



شکل 4

در مورد نمونه‌ای که کمترین برش اصلی را داشت، یعنی B10-R10-W20-S8 اولین ترک قطری در حدود $P_{u,test}$ از 40٪ در سمت راست نمونه مشاهده شد. یک ترک قطری با درجه 42^0 تحت رفتار سطوح بار نزدیک مقاومت نهایی قرار داشت. گسیختگی به صورت ترکیب برش-خمشی ایجاد شد چون سطوح بالای کرنش در آرماتور طولی مشاهده شد. (نمودارهای 4b و 5b) در مورد نمونه مرجع یعنی B25-R10-W20-S18 اولین ترک‌های خمشی در حدود 7٪ از $P_{u,test}$ مشاهده شد و ترک‌های اریب از نمونه‌های خمشی در حدود 28/5٪ از $P_{u,test}$ گزارش شد. ترک‌های قطری مربوط به تشکیل مستقیم پایه بود که از لبه صفحه تکیه‌گاه تا رأس انتهای برش اصلی ادامه داشت که در حدود 5٪ از $P_{u,test}$ مشاهده شد. ترک‌های تقریباً متقارن در هر دو سمت نمونه ایجاد شد. پهنای ترکی که طی آزمایش گزارش شد برای ترک‌های سمت راست، مقادیر اندکی بیشتر نشان داد. بهر حال گسیختگی به علت توسعه یک ترک برشی قطری در سمت راست نمونه ایجاد شد که از ورقه تکیه‌گاه رویه ستون شروع شده و به یک ترک خمشی پیوسته و از زیر لبه پایینی ترک اصلی عبور کرد. (نمودار 4c و 5a).



شکل 5

گسیختگی مربوط به تسلیم رکابی‌های بود که برترک برشی حاکم بود و میانگین اندازه آن 36^0 بود. برای موارد نهایی دیگر، نمونه B36-R10-W20-S8 که طولی‌ترین ترک برشی را داشت، ترک قطری در 35٪ از $P_{u,test}$ گزارش شد. ترک ابتدا از رأس ترک اصلی به سوی تکیه‌گاه در 44^0 رسید. ترک برشی غالب در الگوی بازویی شکلی از ترک اصلی بود و به ستون فولادی می‌رسید (نمودار 4d). در سمت راست نمونه، ترک‌های زاویه‌دار موازی در سطوح بارمین 278 و 649KN در ناحیه ترک اصلی مشاهده شد که یک عامل ترکیبی در برش را نشان می‌دهد. گسیختگی مربوط به برش از مقطع بتن‌آرمه (ناحیه بیرونی) بین تکیه‌گاه و رأس ترک اصلی ایجاد شده بود. یک رکابی که گسیخته شده بود پس از حذف روکش بتنی مشاهده شد (نمودار 5d) در مورد B25-R12-W20-S16 اولین ترک‌های خمشی خط لبه ستون را دنبال کرده و با افزایش بار به ترک‌های خمشی هم افزایش یافت. ترک‌های قطری ابتدا در 38٪ $P_{u,test}$ مشاهده شد که به ترویج در الگوی تقریباً متقارن تا لبه ستون در سمت بررسی شده ستون تشکیل شد. ترک برشی غالبی که در 37٪ مشاهده شد از لبه ناحیه فشاری شروع شده و به رأس ترک اصلی وصل شد. الگوی ترک نهایی با سه ترک مشخص شد که ریشه ستون تا صفحه تکیه‌گاه ادامه یافت. گسیختگی مربوط به شکست نزدیکترین رکابی‌های رأس ترک اصلی بود. (نمودار 4E و 5C)

3-2 مکانیسم‌های انتقال برش:

مقطع‌های مربوط به ارزیابی مکانیسم‌های انتقال برش (STM) بر اساس ارزیابی‌های آزمایش جزئیات با استفاده از شمارشگرهای مکانیکی انجام شد. چنانکه در نمودار 6 دیدیم، پهنای ترک و لغزش ترک با در نظر گرفتن درجه ترک موضعی و شکل هندسی ترک محاسبه شد. نتیجه مستقیم استفاده از سیستم سنجش مکانیکی، این است که نتایج درست مربوط به توسعه میدان‌های تنش برشی و فشاری در نمونه‌های یک سمت را می‌توان بدست آورد. برای مثال در نمودار 7 می‌بینیم که یک توزیع کمی میدان‌های تنشی در رویه وجه بررسی شده نمونه مرجع B25-R10-W20-S8 در سه مرحله بارگذاری مشاهده شد. هندسه میدان‌های ترک مطابق با مسیر ترک و رشد ترک تغییر کرد که تناسب دقیقی بین مسیر ترک بدست آمده با دوربین دیجیتال و میدان‌های تنش بدست آمده با استفاده از ارزیابی‌های Demec را نشان می‌دهد. (نمودار 4c و ترسیم مطابق $0/99P_u$ در نمودار 7) با ارزیابی آزمایش جزئیات، بخش زیر، یک ارزیابی همبندی سنگدانه و عامل پرچ و برش حمل شده در ناحیه فشاری و نقش آرماتور عرضی و لغزش ترکیبی بین برش اصلی فولاد و بدن‌آزاد بتن و حرکت انتقالی از طریق ناحیه فرآیند شکست را نشان می‌دهد، برآوردهای Demec به این منظور استفاده شد که نقش هر مکانیسم انتقال برشی برای B25-R10-W0-S8 و 83٪ از $P_{u,test}$ برای B10-R10-W20-S8 و 99٪ از $P_{u,test}$ برای B25-R10-W20-S8 و 90٪ از $P_{u,test}$ برای B36-R10-W20-S8 و 94٪ از $P_{u,test}$ برای B25-R12-W20-S16 را نشان دهد.

1-2-3 همبندی سنگدانه:

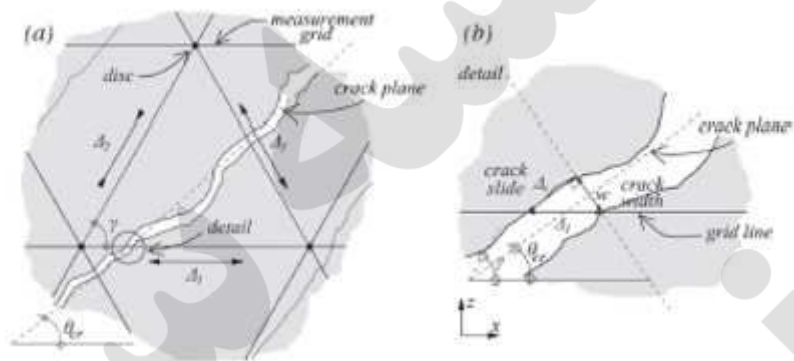
چنانکه در نمودار 8a نشان می‌دهد، وقتی پهنای ترک و لغزش افزایش می‌یابد، لبه سنگدانه‌ها، لبه‌های سنگدانه‌ها در رویه مخالف ترک ایجاد می‌شود که باعث می‌شود که تغییر شکل خمیری در خمیر سیمان ایجاد شود که برای بتنی که مقاومت نرمال دارد، با مقاومت کمتری به نسبت سنگدانه‌ها دارد. (نمودار 8b) [17 و 16] نقش همبندی سنگدانه، به زبری فاصل ترک، نوع سنگدانه، عمق جایگزینی آن در خمیر سیمان، اندازه لغزش و دهانه دو فاصل بستگی دارد. در ارزیابی کنونی، مدلی که «والراون» ارائه کرده [17 و 16] بکار رفته است. (نمودار 8a) با محاسبه جایگزینی سنگدانه در خمیر سیمان، این مدل، فازهای تماس زیر را بین اجزای سنگدانه و مخلوط سیمان ایجاد می‌کند: فاز افزایش تماس، فاز دارای تماس، و فاز بدون تماس می‌باشد و تنش‌های نرمال و برشی که در فاصل ترک ایجاد می‌شود با فرمول زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma_{agg} = \sigma_{pu}(A_s - \mu \cdot A_w) \quad (1a)$$

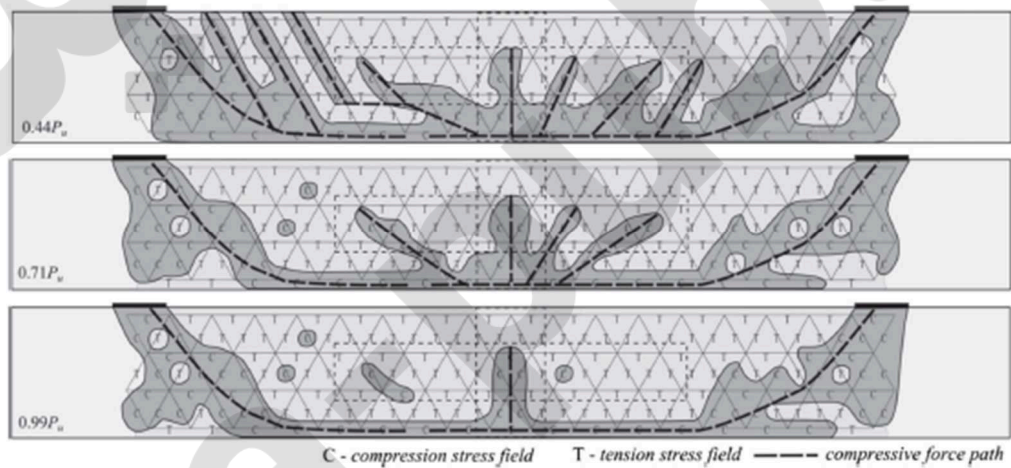
$$\tau_{agg} = \sigma_{pu}(A_w + \mu \cdot A_s) \quad (1b)$$

سطوح تماس A_s و A_w به عرض ترک w و لغزش ترک Δ بستگی دارد. ماکسیمم قطر سنگدانه d_g و مجموع حجم سنگدانه در واحد حجم بتن P_k می باشد. مقاومت فشاری شبکه SP_u به مقاومت فشاری بتن و ضریب اصطکاک $M = 0/5$ بستگی دارد (نمودار 8B) که به صورت زیر بیان می شود:

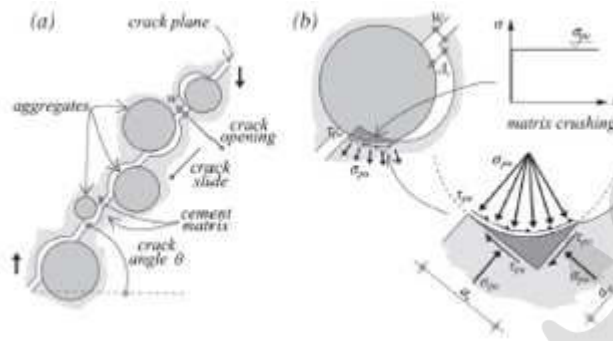
$$\sigma_{pu} = 5.83 f_c^{0.63} \quad (2)$$



شکل 6



شکل 7



شکل 8

فرمول کلی که به فاز تماس (اندازه لغزش ترک و پهنای ترک)، نواحی تماس بستگی دارد در معادله 3 آمده است:

$$A_i = \int_{d_1}^{d_2} \rho_k \frac{4}{\pi} \cdot F\left(\frac{D}{d_g}\right) \cdot G_2(\Delta_s, w, D) \cdot dD (i = w, s) \quad (3)$$

مدل ساده‌ای که در [16 و 17] آمده است، به ازای ماکسیمم ابعاد سنگدانه بین 16 و 32mm مشاهده می‌شود. در این بررسی، بتنی که ماکسیمم ابعاد سنگدانه $d_{g,max} = 10\text{mm}$ را دارد بکار رفته است، بنابراین، معادله 3 به این منظور است که سطوح تماس A_s و A_w را بدست آوریم. مشاهده می‌کنیم که نواحی تماس A_w و A_s پیوسته در تنش‌های فاصل قرار دارند که افزایش پهنای ترک و افزایش ترک باعث کاهش آن می‌شود. از سویی دیگر، ماکسیمم ابعاد سنگدانه، وقتی پهنا و لغزش ترک، زیاد است، تأثیر قابل توجهی بر پیش‌بینی تحلیل دارد. برای موارد حداکثری ($W = 1_s \Delta\text{mm} , = 2\text{mm}$) نواحی تماس برای $d_g = 10\text{mm}$ حدود نصف موردی است که برای $d_g = 32\text{mm}$ مشاهده کردیم (نمودار 9A)

نقش این مکانیسم انتقال برشی با استفاده از یک میانگین توزیع تنش بیش از ترک برشی غالب در مرحله بارگذاری ابزاربندی شده، مشاهده شد. (نمودار 9C)

تنش‌های تانژانتی و نرمال که در فاصل وارد می‌شود، بر مبنای جزئیات گزارشات موضعی می‌باشد. می‌بینیم که برای مراحل بارگذاری که نزدیک مقاومت نهایی می‌باشند، پهنای ترک و لغزشهای ترک، مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهند، بنابراین، نقش کمتری دارند. (یعنی 6٪ انتقال برش برآورد شده در 99٪ و $V_{u,test}$ برای B25-R10-W20-S8) از سویی دیگر مراحل بارگذاری اولیه نقش قابل توجهی دارند (مثلاً 28٪ مجموع انتقال برشی در

83٪ از $V_{u,test}$ برای (B10-R10-W20-S8) (جدول 4) وقتی که نمونه به وضعیت حدی نهایی می‌رسد، نقش این مکانیسم کاهش می‌یابد.

نمونه‌هایی که آرماتور برشی ندارند، ترک با پهنای باریکتری پیش‌بینی می‌شود بنابراین، نقش آن قابل توجه می‌شود (مثلاً 32٪ انتقال برشی که در گسیختگی برای B25-R10-W0-S8 تعیین شده است).

2-2-3 عامل پرچ پایدارکننده بتن:

یکی از عوامل اصلی گسیختگی برشدر مسیرهایی که آرماتور عرضی ندارند، شروع ترک و متلاشی شدن بتن در سطح میله‌های آرماتور طولی می‌باشد. [24]

در مواردی که فواصل رکابی، بزرگ است هم رفتاری مشابه رخ می‌دهد. وقتی آرماتور عرضی وجود دارد، گسیختگی به صورت کنترل شده‌تری ایجاد می‌شود و متلاشی شدن متوقف شده و تا زمان سیستم رکابی‌ها یا تسلیم آرماتور خمشی، تیر، پایدار می‌ماند. فعالسازی عامل پرچ، به سطح جابجایی پرچ D_{dow} بستگی دارد که شامل ترکیبی از مجموعه تأثیرات در ناحیه ترک می‌باشد که برای مثال خمشی پرچ و تأثیرات ثانویه آن (شکست بتن و خرد شدن بتن در وضعیت حدی نهایی) (نمودار 10a). نیروی پرچ به قطر میله c طرح میله‌های تنش، پهنای سطح گسیختگی پرچ و مقاومت کششی بتن بستگی دارد. رابطه بین خمش پرچ در نتیجه کاربرد دو نیروی متمرکز که با دهانه پرچ I_{daw} جدا شده است رخ می‌دهد. (نمودار 10b) محاسبه موازنه گشتاور در خط مرکز دهانه پرچ و برای سطح تنش در میله پرچ، نیروی پرچ نهایی (که در نتیجه تشکیل دو لبه خمیری ایجاد شده است) در معادله 4 آمده است. خمش پرچ در زمان افزایش بار رخ می‌دهد. شکستن بتن برای پوششهای ضخیم ترک، رخ می‌دهد که با تغییر موقعیت ترک‌های کوچک تحت میله‌های آرماتور مشخص می‌شود، درحالی‌که خرد شدن برای روکشی‌های بتنی نازک ایجاد می‌شود. نقش این دو مکانیسم به تنش‌های کششی در بتن در مجاورت برش بستگی دارد. (نمودار 10a) ثابت شده که شکل مخروط شکست اساساً مربوط به قطر پرچ می‌باشد. عمق مخروط (شعاع) حدود $0/5d_b$ و ارتفاع آن $1/5d_b$ می‌باشد (نمودار 10c) [20] نیروی مورد نیاز برای شکست بتن را می‌توان با معادله (5) برآورد کرد و نیرویی که منجر به خرد شدن می‌شود با معادله (6) بدست می‌آید. مجموع نقش عامل پرچ در وضعیت نهایی با مجموع مکانیسم‌های اولیه و ثانویه‌ای که به خمش پرچ مربوط است، مشخص می‌شود که در معادله (7) آمده است.

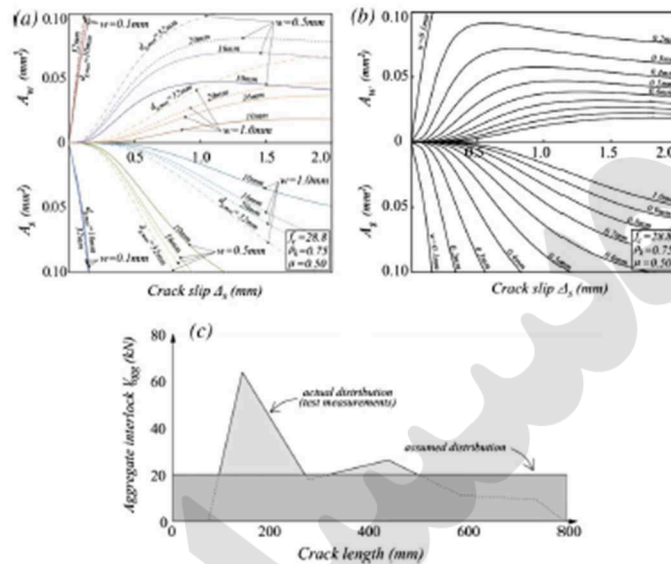
$$V_{dowx} = \frac{d_b^3 \cdot f_{ys} \left(1 - \frac{\sigma_c}{f_{ys}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{ax}}{\alpha_{dow}}\right)}{3 \cdot l_{dow}} \quad (4)$$

$$V_{dowbr} = \frac{\pi}{4} d_b^2 (0.5 + \sqrt{2.75}) f_{ct} \quad (5)$$

$$V_{dowsp} = c_1 \cot \theta \cdot f_{ct} \quad (6)$$

$$V_{dow} = V_{dowx} + V_{dowbr} + V_{dowsp} \quad (7)$$

نمودار 10 رابطه بین بازده پرچ I_{dow} و عامل پرچ V_{dow} را نشان می‌دهد که برای آرماتور خمشی که در نمونه-های آزمایش موجود است نشان داده شده است (یعنی $2 \times \emptyset 25 + 2 \times \emptyset 20$) نقش عامل پرچ برای انتقال برش، برای دهانه‌های کوچک پرچ، قابل توجه است، وقتی دهانه پرچ افزایش می‌یابد، عامل پرچ از بین می‌رود. (مثل مورد B10-R10-W20-S8 که $I_{dow}=616\text{mm}$ با محاسبه نمودار (4)، اندازه عامل پرچ، وابسته به تنش پرچ می‌باشد. برای سطوح تنش که به مقاومت تسلیم می‌رسد، عامل پرچ تمایل دارد وجود نداشته باشد. (مثل مورد B25-R10-W20-S8 درحالی‌که $\sigma_s/f_{ys}\delta=0/99$) تمامی نمونه‌هایی که با آرماتور عرضی فراهم شده-اند، سطوح فشار در آرماتور طولی بیشتر از 80٪ مقاومت تسلیم آن می‌باشد. در نتیجه در این ترکیب‌بندی، عامل پرچ، با توجه به مجموع انتقال برش، عامل قابل توجه می‌باشد. مکانیسم‌های ثانویه برای انتقال برش این اعضا محاسبه نمی‌شوند چون آنها صرفاً در وضعیت نهایی، فعال می‌شوند و اندازه‌گیری‌ها قبل از آن نقطه انجام می‌گیرد. به‌رحال در مورد B25-R10-W0-S8 تنش در آرماتور $\sigma_s/f_{ys}\delta=0/31$ و دهانه پرچ $I_{dow}=177\text{mm}$ می‌باشد و اندازه‌گیری‌ها در گسیختگی به صورت زیر می‌باشد: بنابراین زمانی که این نقش را برای مکانیسم‌های اولیه (خمش پرچ) و ثانویه (شکست و خرد شدن بتن) در نظر می‌گیریم، نقش زیادی می‌باشد که در جدول 4 می‌بینیم.



شکل 9

		Aggregate interlock	Dowel action	Composite slip	Shear reinforcement				Compressive zone	ΣV_i (kN)	$V_{a, tot}$ (kN)	$\Sigma V_i / V_{a, tot}$
					V_{inf}	V_{inf2}	V_{inf3}	V_{inf4}				
B25-R1 0-W20-S8	V_i (kN)	20.1	0.27	21.9	59.5	59.4	59.5	37.2	83.8	342	351	0.97
	N_i (kN)	18.5	977	27.4	-	-	-	-	583			
	x_i (mm)	708	935	633	486	640	795	943	232			
	y_i (mm)	205	352	133	-	-	-	-	35			
B10-R1 0-W20-S8	V_i (kN)	72.3	2.56	7.78	25.3	6.55	-	-	107	225	267	0.84
	N_i (kN)	81.4	827	9.72	-	-	-	-	669			
	x_i (mm)	404	594	303	349	498	-	-	232			
	y_i (mm)	265	411	151	-	-	-	-	32.5			
B36-R1 0-W20-S8	V_i (kN)	75.2	12.1	53.3	59.6	29.9	-	-	103	337	356	0.95
	N_i (kN)	48.7	824	63.2	-	-	-	-	447			
	x_i (mm)	786	970	685	695	845	-	-	706			
	y_i (mm)	222	408	159	-	-	-	-	41.5			
B25-R1 0-W0-S8	V_i (kN)	49.0	71.6	-	-	-	-	-	30.9	152	175	0.87
	N_i (kN)	57.7	363	-	-	-	-	-	187			
	x_i (mm)	882	1000	-	-	-	-	-	676			
	y_i (mm)	205	414	-	-	-	-	-	42.3			
B25-R1 2-W20-S16	V_i (kN)	56.7	12.6	11.6	35.8	40.7	59.7	39.2	44.3	305	326	0.93
	N_i (kN)	38.2	786	7.22	-	-	-	-	578			
	x_i (mm)	474	770	444	198	4321	467	611	196			
	y_i (mm)	282	397	133	-	-	-	-	27.5			

جدول 4

3-2-3 ناحیه فشاری بتن:

برشی که در ناحیه فشاری بتن ایجاد شده است، به اندازه عضو، وضعیت محور خنثی و توزیع نیروی داخلی بستگی دارد. مقاومت فشاری بتن بر وضعیت مقاومت برشی و تنش آن تأثیرگذار است. این ارزیابی، انتقال در ناحیه فشاری بتن را با بررسی یکسری معادلات موازنه داخلی در نمودار جسم آزاد، در نمودار 11 مورد بررسی قرار می‌دهد. نیروهایی که در انتقال برشی V_{tot} و همبندی سنگدانه V_{agg} و باقی مانده تنش بتن V_{res} و لغزش ترکیبی V_v و میله‌های عرضی که بر ترک برشی $\sum V_{sw,i}$ قطع شده‌اند نقش دارند. (معادله 8)

$$V_{tot} = V_{ch} + V_{dsw} + V_{agg} + V_{res} + V_v + \sum V_{sw,i} \quad (8)$$

محاسبه موازنه گشتاور برای نقطه چرخش جسم سخت به صورت زیر است:

$$\Sigma(V_{sw}a_{sw}) + V_{dow}a_{dow} + V_{agg}a_{agg} + V_{res}a_{res} + V_{p}a_p + N_{ch}(d - 0.5\lambda c) - V_{br}a_t = 0 \quad (9)$$

تنش‌های برشی در ناحیه فشاری به صورت یک *** در مراحل بارگذاری اولیه می‌باشد (مرحله الاستیک - $V_{ch,man}$ در محور خنثی) درحالی‌که در مراحل نزدیک وضعیت نهایی، ماکسیمم تنش برشی $V_{ch,man}$ بالاتر از محور خنثی و در بلوک فشاری قرار دارد. [15] به منظور ساده کردن، این بررسی، توزیع یکنواختی از تنش‌های نرمال و برش در ناحیه فشاری بتن را محاسبه می‌کند. (نمودار 13) که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$v_{ch} = \frac{V_{ch}}{b \cdot \lambda c} \quad (10a)$$

and

$$\sigma_{ch} = \frac{N_{ch}}{b \cdot \lambda c} \quad (10b)$$

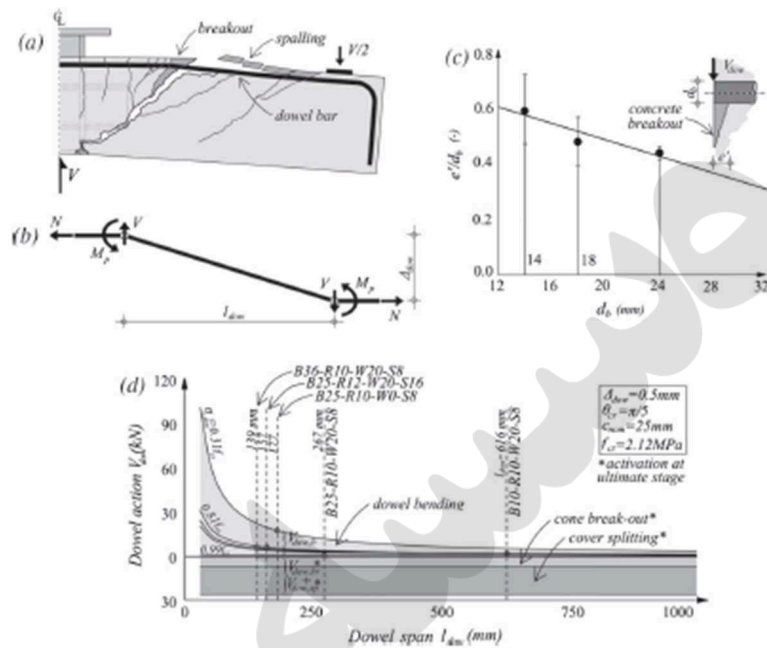
تحت بار وارد شده P_i ، تنش‌های برشی و تنش‌های نرمال در منطقه بحرانی برش به تناسب افزایش می‌یابد. در نتیجه به یک ثابت نسبت [36 و 37] λ_K مربوط است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sigma_{ch} = \lambda_K \cdot v_{ch} \quad (11a)$$

$$\text{where } \lambda_K = l_{x,cr}/c \quad (11b)$$

که در آن $I_{x,cr}$ طول طرح افقی ترک برشی قطری می‌باشد. از سویی دیگر عمق ناحیه فشاری با توجه به محاسبه توزیع خطی کرنش‌های بین نواحی کرنش و فشار محاسبه می‌شود که با استفاده از برآوردهای آزمایشی بر اساس مشاهدات بصری و شبکه Demec انجام می‌شود. در مرحله بارگذاری مطابق، محاسبه می‌شود.

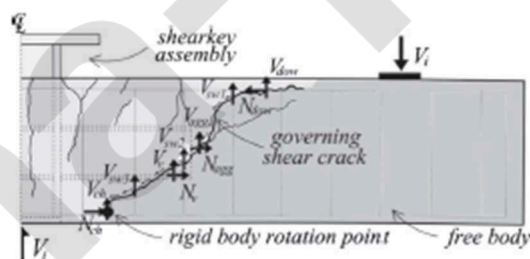
برای نمونه B10-R10-W20-S8 عمق ناحیه فشاری به صورت $65m^m$ محاسبه می‌شود که مطابق بار وارد و $P_i = 535KN$ می‌باشد. ترک خمشی محدود در بازه برشی مشاهده شد در نتیجه میدان تنش فشاری مدرج، تحت تأثیر قرار نگرفت. که ترکیب‌بندی الاستیک آن تقریباً از طریق کل فرآیند بارگذاری حفظ می‌شود. نقش انتقال برشی در ناحیه فشاری بتن برای مجموع برش، قابل توجه است (تا 41٪ نیروی برشی).



شکل 10

نمونه مرجع B25-R10-W20-S8 رفتار مشابهی را نشان می‌دهد. عمق ناحیه فشاری $c=70mm$ در 99٪ مقاومت نهایی بود. با توجه به نقش زیاد رکابی‌ها، محاسبه شرط موازنه نشان می‌دهد که 24٪ برش از طریق ناحیه فشاری انتقال یافته است. طیفی که طولانی‌ترین برش اصلی را دارد (B36-R10-W20-S8) کاهش انتقال در ناحیه فشاری را نشان می‌دهد. (29٪ نیروی برشی برآورد شده برای $c=83mm$ در 90٪ مقاومت نهایی را نشان می‌دهد.

برای آزمایشاتی که برآوردهای آن نزدیک وضعیت حدی نهایی است، این نقش کاهش قابل توجهی می‌یابد چون محور خنثی تا مقادیر بسیار کمی کاهش یافته و برش هم غالباً از طریق رکابی‌ها انجام می‌گیرد.



شکل 11

مجموع مقدار نیروی برشی که با آرماتور عرضی انجام گرفته است، با سطح تنش تعیین، قطر میله و مشخصات پیوند انجام می‌شود. نیروهای آرماتور بر اساس قطر میله و تنش‌های rebar محاسبه می‌شود. برآوردهای Demec با در نظر گرفتن طول سنج 150Demecmm و مدرج‌های ترک موضعی انجام گرفت. محاسبه خصوصیات مواد در جدول 2 گزارش شده. تنش آرماتور، به این صورت بدست آمد که فرض شد که قوانین ساختاری دوخطی باشد. کرنش در میله عرضی که با کرنش ایجاد شده است از ترک برشی غالب که میله را قطع کرده است، بدست آمده است. در این آزمایشات، رکابی‌ها با تعدادی ترک‌های دنداندار با وجود ترک‌های اصلی بدست آمده است. (نمودار 149) کرنش حداکثر در رکابی $\sum_{sw,i}$ چنانکه در معادله (12) پیش‌بینی شده است با پهنای ترک برش غالب w_{cr} که رکابی را قطع می‌کند. بدست آمده است (محاسبه اندازه آن: با توجه به ماکسیمم پهنای ترک که در نمودار 12 برای هر نمونه در مرحله بار بدست آمده است) ترک کرنشی در محاسبه

$$(\sum_{ct,cr} = f_{ct}/E_c)$$

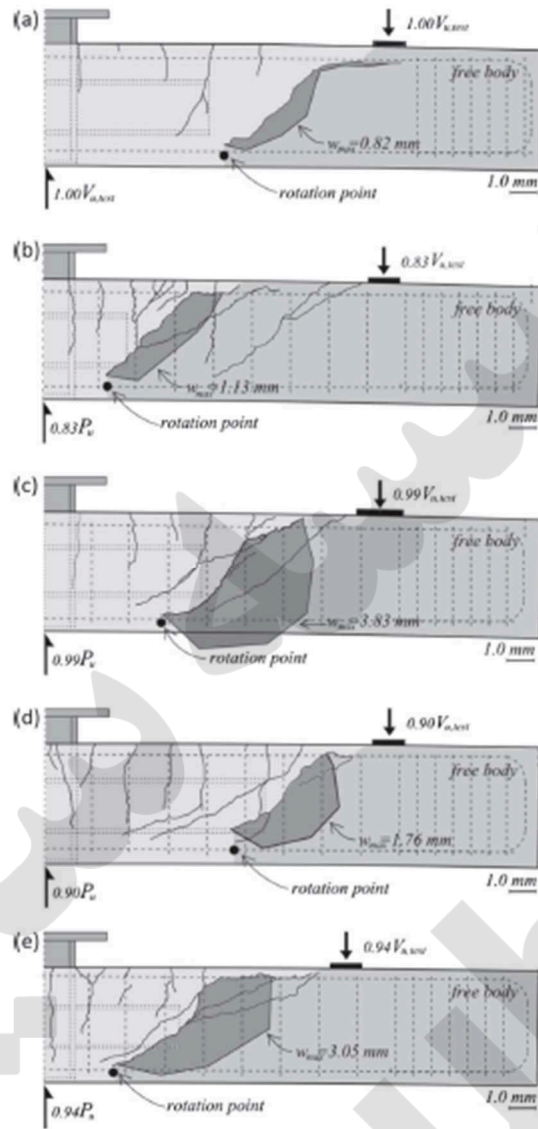
از گزارشات آزمایش مستقیم حذف شده است:

$$\epsilon_{sw,i} = \frac{w_{cr}}{l_{sw,i}} \quad (12)$$

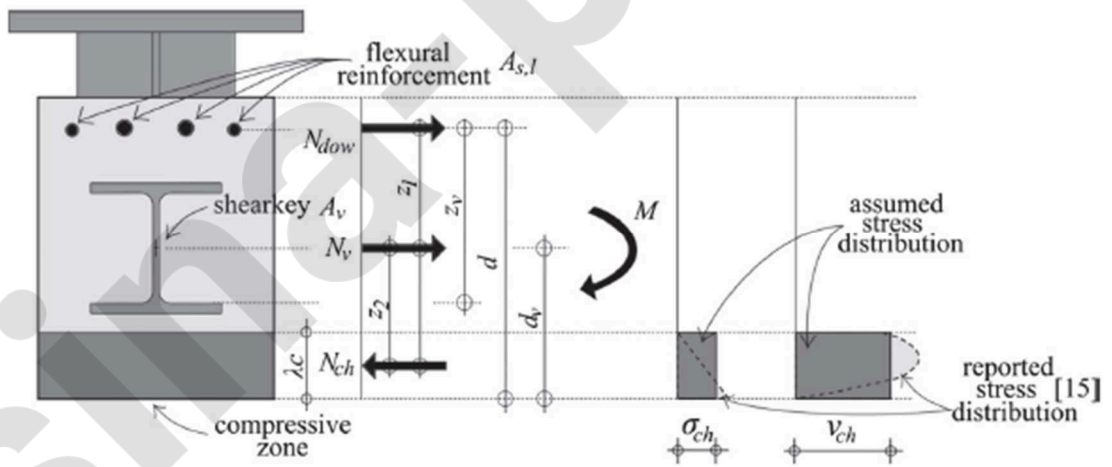
نقش یک میله عرضه با فرمول زیر بدست می‌آید:

$$V_{sw,i} = \frac{\pi}{4} d_{sw}^2 E_{sw} \epsilon_{sw,i} \quad (13)$$

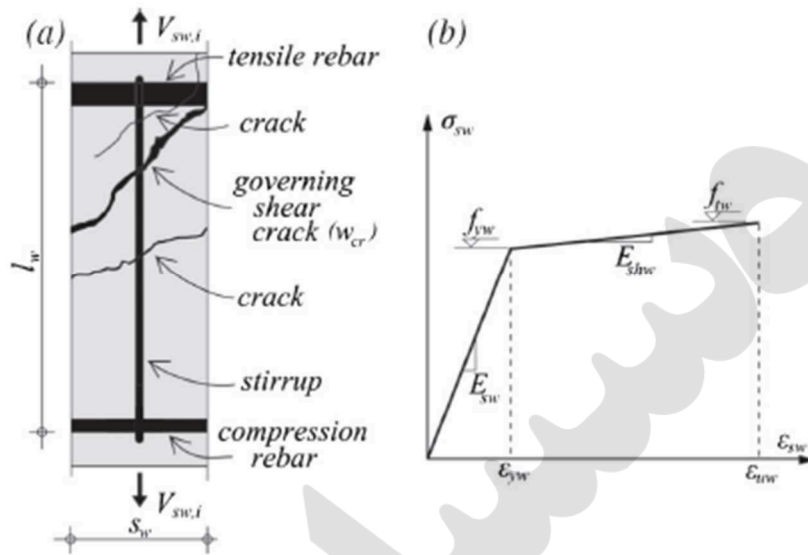
نمونه‌های این بررسی با رکابی‌های بسته تقویت شد که هر دسته $d_{bw} = 8\text{mm}$ در فواصل $S_w = 150\text{mm}$ قرار داشت. خصوصیات مادی مصالح فولادی رکابی در جدول 2 گزارش شده است. مدل پس از تسلیم که برای سخت شدن دسته نمودار تنش-کرنش دوخطی ایجاد شده است در ارزیابی $E_{shnr} = 1518\text{mfa}$ در نظر گرفته شده است. با محاسبه مجموع طول رکابی $L_{sw} = 402\text{mm}$ میانگین پهنای ترک در تسلیم دو دسته رکابی $2/4\text{mm}$ $\approx W$ می‌باشد. نقش آرماتور عرضی به سیستماتیک (جابجایی) ترک (الگو پهنای آن) وابسته است. دنداندار شدن ترک برش (جدول 3) یکی از پارامترهای غالب می‌باشد:



شکل 12



شکل 13



شکل 14

Sina-pub.ir