تاثير آرماتور طولي بر مقاومت پيچشي تير بتني

رضا پور حسيني[i]،رضا مرشد[i]، امير حسين خواجه حسيني[ii]

چكيده

در اين مقاله مقاومت پيچشي تيرهاي بتني مسلح با آرماتور طولي و بدون خاموت، هنگام و بعد از ترك خوردگي، تحت پيچش خالص مورد بررسي آزمايشگاهي قرار گرفته است. بيشتر آيين‌نامه‌هاي رايج براي اعضاي بتن مسلح تحت پيچش مقاومت پيچشي ناشي از بتن را در نظر نمي‌گيرند. با توجه به نتايج حاصل در صورت وجود آرماتورهاي طولي با نسبت متداول بميزان ۱% و بالاتر ، مقاومت پيچشي پس از ترك خوردگي (پس ماند) مناسبي نزديک۵۰% مقاومت ترك خوردگي فراهم می گردد. اين مقاومت پس‌ماند مي‌تواند مبناي تعيين مقاومت پيچشي ناشي از بتن قرار گيرد.

كلمات كليدي:

تير بتني، آرماتور طولي، مقاومت پيچشي پسماند، آزمايشات پيچشي، مقاومت پيچشي ترك خوردگي

Effect of Longitudinal Rebars on Torsional Strength in Concrete Beams

R. Porhosseini ,R. Morshed ,A.H.Khageh Hosseini

ABSTRACT

In this paper, test and evaluation of torsional strength of concrete beams reinforced with longitudinal rebars and without transverse reinforcement, is considered. Most of concrete codes dose not consider any post cracking torsional strength for concrete element which are not reinforced with torsional reinforcement. It seems that ordinary concrete elements, reinforced for bending, have a post cracking torsion strength (T_C), due to aggregate interlock and dowel action. According to the test results, beams which were reinforced by a moderate ratios of longitudinal rebars, showed a ductile torsional behavior in relatively high torsional rotations. A post cracking strength about 50 percent of (T_{cr}) is suggested for these beams.

KEY WORDS

Concrete beam, Longitudinal re-bars, Post cracking strength, Torsional test, Torsion strength

۱- مقدمه

نظريه‌هاي مختلفي براي پيش‌بيني مقاومت پيچشي ترك‌خوردگي(T_{cr}) اعضاي بتني ارائه شده است. مقاومت پيچشي اعضاي بتني، پس از ترك خوردگي به طور كامل وابسته به نسبت آرماتور و چگونگي توزيع آنها است.

آيين‌نامه‌هاي رايج (آبا [۱] و ACI [۳]) از مقاومت پيچشي عضو بتني پس از ترک صرف نظر مي‌كنند. بنابراين پديدهايي نظير درهم قفل‌شدگي[1] دانه‌ها كه در برش مي‌تواند مقاومت برشي(V_c) قابل توجه‌اي ايجاد كند براي پيچش در نظر گرفته نمي‌شود. بنظر مي‌رسد وجود آرماتور طولي تنها، بتواند امكان تحمل پيچش بعد از ترك را در تيرهاي بتني در مقايسه با تير غير مسلح فراهم سازد. اين مقدار مقاومت پيچشي كه مي‌توان از آن بعنوان (T_c) نام برد، مي‌تواند نقش بسزايي در اقتصادي‌تر و دقيق تر شدن طراحي پيچشي تيرها، داشته باشد.

در اين تحقيق اثرات وجود آرماتور طولي در مقاومت پيچشي پسماند تير بتني بررسي مي‌گردد.

---

[i] اعضای هيات علمي دانشكده مهندسی عمران، دانشگاه یزد و Email: r_porhoseini@yazduni.ac.ir, morshed@yazduni.ac.ir

[ii] دانش اندوخته مهندسی سازه دانشگاه یزد، اداره کل نوسازی مدارس استان یزد Email: aammiirr58@yahoo.com

گفتنی است مجموعه اقدامات برای انجام آزمایشات شامل طراحي و ساخت دستگاه آزمایش و قالبهاي نمونه‌هاي آزمایش، توسط نویسندگان در دانشگاه یزد انجام گرفته است.

۲- مقاومت پيچشي ترك خوردگي (T_{cr}) مقاطع بتني

به منظور مقايسه مقاومت پيچشي ترك‌خوردگي مقاطع بتني آزمايش شده با نظريه مختلف، به تعدادي از نظريه‌هاي موجود، اشاره مي‌شود[۷] ، [۱۱]، [۱۲]:

۲-۱- نظريه ارتجاعي[۲]

اين روابط براي اولين بار در سال ۱۹۱۲ مطرح گرديد. سپس توسط محققان بتدريج كاملتر شد. بر اساس اين نظريه شكست پيچشي هنگامي اتفاق مي‌افتد كه تنش كششي اصلي ماكزيمم با مقاومت كششي بتن (f_t) برابر شود. بنابراين ممان پيچشي ارتجاعي ترك خوردگي برابر است با [۵]:

$$T_{cr,e} = \alpha x^2 y f_t \qquad (۱)$$

كه در آن x و y بترتيب اضلاع كوچكتر و بزرگتر مقطع مي‌باشند. α ضريب سن ونان است [۵] كه بر اساس نسبت اضلاع بدست مي‌آيد (براي نمونه‌هاي مورد آزمايش x=۱۵۰ mm , y=۲۰۰ mm و α =۰,۲۲۲). f_t نيز بر اساس آبا [۱] بصورت رابطه (۲) بدست مي آيد (واحدها بر حسب mm و N مي‌باشند):

$$f_t = 0.6\sqrt{f'_c} \qquad (۲)$$

كه در آن f'_c مقاومت فشاري بتن مي‌باشد. با جاگذاري رابطه (۲) در رابطه (۱) بدست مي‌آيد:

$$T_{cr,e} = 0.133 x^2 y \sqrt{f'_c} \qquad (۳)$$

۲-۲- نظريه خميري[۳]

از آنجا كه نظريه ارتجاعي برآوردي كمتر از واقعيت دارد، نايلند [۸] توجيه مي‌كند كه اين مقاومت اضافي ناشي از خصوصيات خميري بتن مي‌باشد. در اين نظريه نيز معيار شكست، رسيدن تنش كششي اصلي ماكزيمم به مقاومت كششي بتن مي‌باشد.

$$T_{cr,p} = \alpha_p x^2 y f'_t \qquad (۴)$$

خاصيت خميري در اين رابطه بكمك ضريب α_p القاء مي‌گردد.

$$\alpha_p = (0.5 - x/6y) \qquad (۵)$$

بنابراين با توجه به رابطه(۲) و نسبت اضلاع نمونه‌ها α_p = ۰,۳۷۵ بدست مي‌آيد همچنين:

$$T_{cr,p} = 0.225 x^2 y \sqrt{f'_c} \qquad (۶)$$

α_p در اين نظريه نزديک به ٦٠% بزرگتر از α نظريه ارتجاعي مي‌باشد. آزمايشات نشان مي‌دهد اين نظريه در مورد نمونه‌هايي با ابعاد كوچك درست نمي‌باشد[۱۰].

۲-۳- نظريه خمش كج٤

براي پيش‌بيني مقاومت پيچشي اعضاي بتني، سو[٥] [۱۰] نظريه خمش كج را تكميل نمود. وي برای رسيدن به نتيجة دقيق، روند شكست پيچشي را به دقت مورد بررسي قرار داد. ممان پيچشي موجود مي‌تواند در سطح شكست به دو مؤلفة ممان خمشي T_b و ممان پيچشي T_t تجزيه شود. بر اساس اين نظريه ممان خمشي T_b باعث شكست خمشي در سطح شكست مي‌شود. المان تحت تنش نه تنها تحت تأثير تنش كششي قرار دارد بلكه تحت تنش فشاري عمودي ناشي از T_t نيز مي‌باشد. اين مسئله سبب كاهش مقاومت كششي بتن به ميزان ۱۵% خواهد شد. بنابراين با توجه به رابطه(۲)، بدست مي‌آيد:

$$T_{cr,sb} = 0.5\sqrt{f_c}\,\frac{x^2 y}{3} \qquad (۷)$$

۳- مقاومت پس ماند تيرهاي بتني

آيين‌نامه‌ها وجود خاموت پيچشي را شرط لازم براي مقاومت پيچشي كل پس از ترك خوردگي در نظر مي‌گيرند [۱] و[۳]. در اين تحقيق آزمايشاتي برای بررسي مقاومت پس ماند تيرهاي بتن مسلح با آرماتور طولي تنها و تحت پيچش خالص برنامه‌ريزي گرديد.

٤- برنامه‌ريزي آزمايشات

براي ارزيابي اثر مقدار آرماتور طولي بر روي مقاومت پيچشي، تعداد ٦ نمونه ساخته شد. در اين نمونه‌ها از يك طرح اختلاط استفاده شد كه مقدار آرماتورها در آنها متفاوت بود. مقادير آرماتورها و نسبت آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) : جزئيات آرماتورگذاري نمونه‌ها

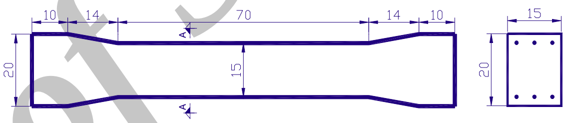
شماره نمونه	آرماتورگذاري بالا	آرماتورگذاري پايين	نسبت آرماتور بالا(%)	نسبت آرماتور پايين(%)
۱	0	0	۰	۰
۲	2Φ8	2Φ8	۰/۴	۰/۴
۳	2Φ10	2Φ10	۰/۶	۰/۶
۴	2Φ12 + 1Φ8	2Φ12 + 1Φ 8	۱	۱

۵	3Φ12	3Φ12	۱/۳	۱/۳
۶	3Φ12	2Φ10	۱/۳	۰/۶

Φ : قطر ميلگرد

٤-۱- انتخاب ابعاد نمونه‌ها

از آنجا كه ممكن است در محل اعمال لنگر تنشهاي اضافي ناشي از فشار فكهاي دستگاه بر نمونه ها، وارد شود قسمتهاي انتهايي نمونه با ابعاد بزرگتر (۲۰*۲۰) سانتيمتر ساخته شد. قسمتهاي انتهايي با شيب ملايم به قسمت مياني كه داراي ابعاد كوچكتر (۲۰*۱۵) سانتيمتر است، متصل مي‌گردند. شكل خاص نمونه ها احتمال وقوع شكست پيچشي در ناحية مياني كه اثرات تمركز تنش تكيه‌گاهي كمتر است را افزايش مي‌دهد.طول قسمت مياني ۷۰ سانتيمتر و معادل محيط مقطع مياني ۲*(۱۵+۲۰) سانتيمتر انتخاب شده تا امكان ايجاد يك ترك پيچشي كامل با زاوية ٤٥ درجه دورتادور مقطع فراهم گردد (شكل(۱)).

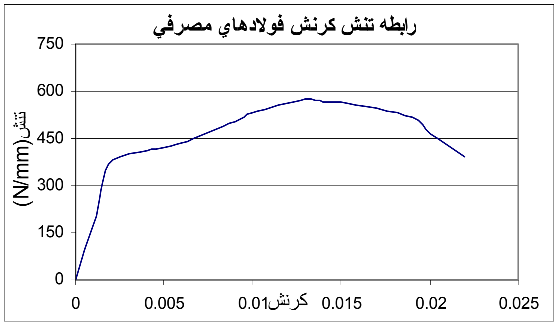


شكل(۱) : ابعاد نمونه پيچشي(cm)

٤-۲- مصالح مصرفي

٤-۲-۱- ميلگردها

از ميلگردهاي آجدار به قطرهاي ۸،۱۰و۱۲ ميليمتر بعنوان آرماتور طولي در نمونه‌ها استفاده شد. ميلگردها همگي از نوع S_{400} با تنش جاري شدن ٤۰۰ مگاپاسكال و كرنش نهايي به اندازه۲۰% بودند. بعنوان نمونه رابطه تنش-كرنش ميلگرد ۱۰ مصرفي كه بر اساس آزمايش كشش بدست آمده است، در شكل(۲) ارائه مي‌گردد.



شكل(۲) : نمودار تنش كرنش آرماتورهاي قطر ۱۰ بعنوان نمونه

٤-۲-۲-مصالح بتن

شن استفاده شده در اين آزمايش از نوع شن شكسته و ماسه، شسته بود. آزمايشاتي بر روي سنگدانه‌ها انجام گرفته كه نتايج آنها از اين قرار مي‌باشد: براي درشت دانه‌ها، درصد جذب آب (۰/۹%)، چگالي انباشتة ۲/۸، چگالي ظاهري (۲/۹)، درصد تخلخل (۲/۸%) و براي ريزدانه‌ها درصد لاي (٦ %) و مدول نرمي (۲/٤۹) مي‌باشد. همچنين آزمايش دانه‌بندي نيز انجام شد و با حدود بالا و پايين نمودار استاندارد ASTM مقايسه شد و نتايج مناسبي بدست آمد. سيمان مصرفي تيپ I مي‌باشد.

٤-۲-۳-طرح اختلاط

در ساخت نمونه‌ها از طرح اختلاط يكساني استفاده شد: شن بادامي (اندازه بزرگترين دانه ۲۰ ميليمتر) ٤۰۰ ، شن نخودي (اندازه بزرگترين دانه ۱۲ ميليمتر)۵۰۰ ، ماسه ۹۰۰، سيمان ٤۰۰ و آب ۲۰۰، كيلوگرم در متر مكعب. اسلامپ بتن در به ميزان ۸ سانتيمتر در نظر گرفته شد. اين طرح اختلاط براي رسيدن به مقاومت فشاري ۲۸ روزة ۲۵ مگاپاسكال تهيه شد.

٤-۳- ساخت نمونه‌ها

در هر مرحله از ساخت بتن، يك نمونه تير پيچشي و دو نمونه استوانه‌اي بتني، جهت اندازه‌گيري مقاومت فشاري ساخته شد. براي نگه‌داشتن ميلگردهاي طولي در جاي خود، از ورقه‌هاي يونوليتي، در دو انتهاي نمونه استفاده شد. وزن هر يك از نمونه‌ها در نزديک به ۹٦ كيلوگرم بود. همچنين ميزان پوشش بتن براي تمامي نمونه‌ها به اندازه ۲ سانتيمتر بود.

٤-٤- چگونگی انجام آزمايشات

برای انجام آزمايشات پيچشی، دستگاه تست پيچش، مطابق شكل(۳) در دانشگاه يزد طراحي و ساخته شد.

شكل(۳) : دستگاه تست پيچش

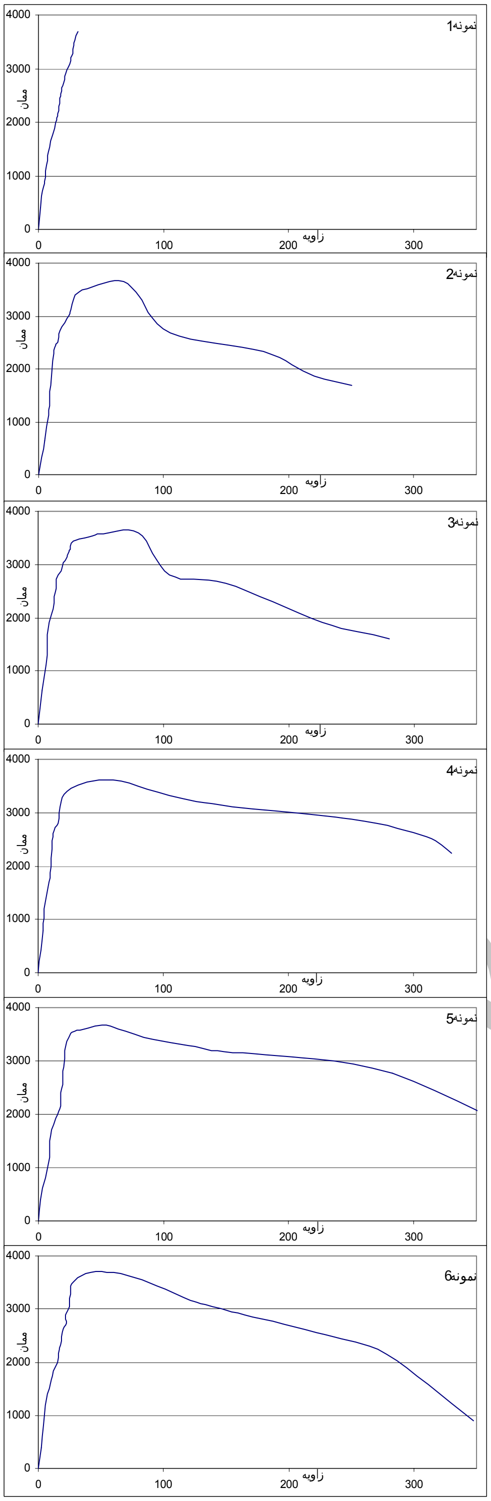
در این دستگاه تیر بتني با مقطع مستطیلي از يك طرف مقيد در برابر پیچش مي‌باشد و در طرف ديگر پیچش خالص بوسيلة بار خارج از مرکز و از طريق يك بازو بر مرکز سطح مقطع تير اعمال مي‌شود. محور بازوي پيچشي درون يك تكيه‌گاه بلبرينگي حرکت مي‌کند.

طول بازوي پيچش در این دستگاه برابر ۸۰ سانتيمتر مي‌باشد. در این دستگاه، بار بوسيله يك حلقة اندازه‌گيري بار، كه در انتهاي بازوي پيچشي قرار دارد، اعمال و اندازه‌گيري مي‌شود. براي اندازه‌گيري چرخش در طول نمونه از دو تغيير مكان سنج[٦] در دو انتهاي نمونه و در قسمت مياني آن، استفاده شد.

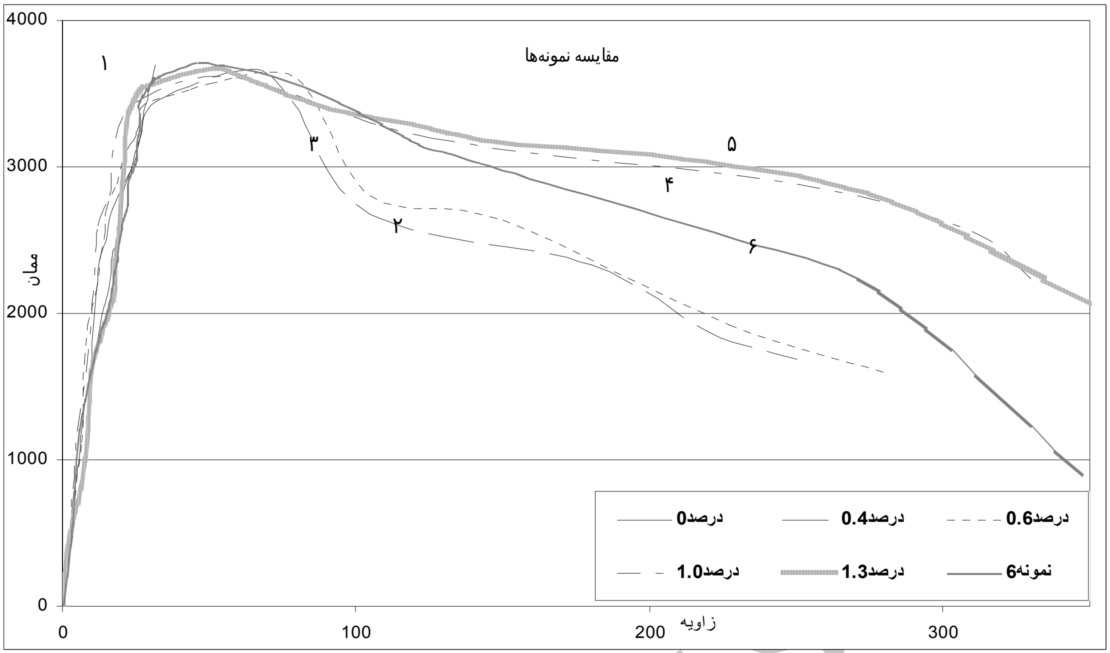
۵-۱-ارائه و بررسي نتايج آزمايشات و مقايسه با آزمايشات مشابه

رابطة لنگر پيچشي-زاويه پيچش، براي نمونه‌هاي مورد آزمايش درشكل(٤) ارائه گرديده است. در شكل(٥) نيز مقايسه كوتاهی از رفتار نمونه‌هاي مختلف ارائه مي‌كند. همچنين در شكل(٦) نيز چگونگی شکست نمونه ٤ نشان داده شده است.

درجدول (٢) مقاومت ترك خوردگي نمونه‌ها با روابط نظري مقايسه شده است.



شكل(٤) : نمودارهاي لنگر-چرخش نمونه‌ها (ممان برحسب($N.m$) و زاويه بر زاويه حسب $۱۰^{-۷} \times (Rad/mm)$ مي‌باشد)



شکل(۵) : نمودارهاي لنگر-چرخش نمونه‌ها (ممان برحسب(Nm) و زاويه حسب ۱۰$^{-۷}$ × (Rad/mm) مي‌باشد)

جدول (۲) :مشخصات مقاومتي نمونه‌ها و مقايسه با نظريه‌هاي ارتجاعي، خميري و خمش كج

نمونه	مقاومت فشاري N/mm^2	لنگر ترك خوردگي آزمايش ($N.m$)	لنگرحداكثر آزمايش $N.m$	لنگر ترك خوردگي ارتجاعي ($N.m$)	لنگر ترك خوردگي خميري ($N.m$)	لنگر ترك خوردگي خمش كج($N.m$)	نسبت ممان (خمش‌كج)/(آزمايش)
۱	۲۲/۶	۳۶۹۰	۳۶۹۰	۲۸۴۵	۴۸۱۳	۳۵۶۵	۱/۰۳
۲	۲۱/۷	۳۵۰۰	۳۶۷۰	۲۷۸۸	۴۷۱۶	۳۴۹۴	۱/۰۰
۳	۱۹/۸	۳۴۵۵	۳۶۰۰	۲۶۶۳	۴۵۰۵	۳۳۳۷	۱/۰۳
۴	۲۲	۳۴۹۰	۳۶۱۰	۲۸۰۷	۴۷۴۹	۳۵۱۸	۰/۹۹۲
۵	۲۰	۳۵۶۰	۳۶۶۰	۲۶۷۶	۴۵۲۸	۳۳۵۴	۱/۰۶
۶	۲۳/۱	۳۶۶۰	۳۷۱۰	۲۸۷۶	۴۸۶۶	۳۶۰۵	۱/۰۱

شکل(٦) : چگونگي ترك خوردگي در نمونه ٤

همان طور که درجدول (۲) مشخص مي‌باشد، نتايج تخميني نظريه خمش کج تا به ميزان به نتايج آزمايشات نزديك مي‌باشد.

بررسي نتايج نشان مي‌دهد، پس از ترك‌خوردگي بخش قابل ملاحظه‌اي از مقاومت پيچشي تا مقادير چرخشهاي زياد حفظ مي‌شود. مقدار اين مقاومت پيچشي (مقاومت پس‌ماند) با ميزان آرماتورهاي طولي رابطه مستقيم دارد.

با توجه به شكل (۵) ديده مي‌شود، با افزايش نسبت آرماتور مقاومت پسماند افزايش مي‌يابد و اين پديده به صورت مستمر تا زواياي چرخش بالا ادامه دارد.

با توجه به تفاوت اندک در مقاومت فشاري نمونه‌ها و در نتيجه مقاومت ترك‌خوردگي آنها، بمنظور مقايسه نمونه‌ها (بدون در نظر گيري تفاوت مقاومتهاي فشاري بتن)، معيار مقايسه اي ارائه مي‌گردد. براي تعريف اين معيار مي‌توان از مفهوم شكل پذيري در خمش يا نيرو محوري بهره گرفت[٤]. بدين ترتيب كه چرخش نهايي تير برابر چرخش متناظر با درصدي از مقاومت ترک پيچشي (در اين جا ۸۰%) فرض مي‌گردد. اين معيار مقايسه (شكل‌پذيري)، از نسبت چرخش نهايي به چرخش ترك خوردگي(θ_U/θ_{Cr})، حاصل مي‌شود.

مقدار چرخش نهايي براي اكثر نمونه‌ها (نمونه‌هاي ٤، ٥ و ٦ با نسبت آرماتور ۱% و بيشتر) قابل توجه و بيش از چرخش‌هاي مشاهده شده، در اعضاي بتني معمولي است [٢]، [٦]، [٩]، [١٣].

جدول (۳) : مقايسة نمونه‌ها از نظر شكل پذيري و مقاومت پسماند

نمونه	ممان ترك خوردگي آزمايش $N.m$	مقاومت پسماند $N.m$	چرخش ترك خوردگي $(Rad/mm)\times10^{-7}$	چرخش نهايي θ_u $(Rad/mm)\times10^{-7}$	شكل پذيري
۲	۳۵۰۰	۲۰۵۷	۲۶	۹۵	۳/۶۵
۳	۳۴۵۵	۲۰۹۸	۲۶	۱۲۰	۴/۶۲
۴	۳۴۹۰	۳۰۰۹	۲۵	۲۴۵	۹/۸
۵	۳۵۶۰	۳۰۸۴	۲۶/۷	۲۷۸	۱۰/۴۱
۶	۳۶۶۰	۲۵۰۷	۲۷	۱۴۹	۵/۵۲

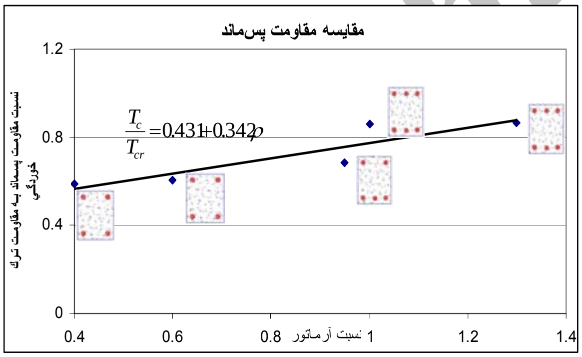
در شكل(۷) ميزان شكل‌پذيري در نمونه‌ها، ارائه شده است؛ همچنين در اين شكل به صورت ظاهري، تأثير تعداد و آرايش آرماتورها بر شكل‌پذيري مشخص مي‌باشد.

شكل(۷) : شكل پذيري در نمونه‌ها (ρ متوسط نسبت آرماتور در بالا و پايين مقطع)

براي انجام یک مقايسه ديگر بين تيرهاي آزمايش شده در اين تحقيق، مي‌توان با تعريف مقاومت پسماند، آن را در نمونه‌هاي مختلف، مورد مقايسه قرار داد. بدين ترتيب كه، زاوية چرخش نهايي هر تير را به برابر با ضريبي از زاويه ترک خوردگي (در اينجا ۸ برابر زاوية ترك‌خوردگي)، تعريف نمود. مقاومت متناظر با اين زاويه نهايي، بعنوان مقاومت پسماند، فرض مي‌گردد (ستون سوم جدول (۳)) .

بمنظور كاهش اثر اختلاف مقاومت فشاري نمونه‌ها، نسبت مقاومت پسماند به ترک خوردگي، معيار مناسبتري جهت مقايسه مي‌باشد.

شكل(۸) نسبت مقاومت پسماند را در نمونه‌هاي مختلف نشان مي‌دهد. همچنين رابطه بدست آمده تحت شرايط حاكم بر اين آزمايشات، تعاريف و فرضيات روي شكل(۸) ارائه شده است.



شكل(۸) : مقاومت پسماند برحسب نسبت آرماتور(ρ متوسط نسبت آرماتور در بالا و پايين مي‌باشد)

همانطور كه در شكل(۸) ديده مي‌شود، وجود آرماتور طولي باعث باقي ماندن مقداري از مقاومت، بعد از ترك شده است. همچنين با افزايش مقدار آرماتور، نسبت مقاومت پسماند نيز افزايش يافته است. در اين شكل همچنين تأثير جزئيات

آرماتورگذاري بر مقاومت پسماند به صورت ظاهري و در نمونه‌هاي مختلف، قابل مقايسه است.

۵-۲-مقايسه نتايج با آزمايشات مشابه

بيشتر آزمايشات مشابه صورت گرفته در زمينه پيچش در کميته ۴۳۸ [٤] آيين نامه بتن آمريکا [٤] جمع آوري و مورد بررسي قرار گرفته است.

آيين نامه ACI-89 براي مقطع بتني مقاومت پيچشي ناشي از بتن را در نظر مي‌گيرد و در طراحي اين مقاومت با مقاومت خاموت جمع مي‌گردد. مقاومت ناشي از بتن در تير بدون برش بکمک رابطه (۸) بيان مي‌شود.

$$T_c = 0.067\sqrt{f_c'}x^2 y \qquad (۸)$$

جدول(٤) مقايسه‌اي بين مقاومت پسماند آزمايشات اين گزارش با مقاومت پيچشي سفارش شده در آيين نامه ACI-89 ارائه مي‌کند.

جدول (٤): مقايسة مقاومت پسماند با ACI-89

نمونه	مقاومت فشاري	مقاومت پسماند آزمايشات	مقاومت توصيه شده ACI-89	نسبت
۲	۲۱/۷	۲۰۵۷	۱۴۰۴	۱,۴۶
۳	۱۹/۸	۲۰۹۸	۱۳۴۱	۱,۵۶
۴	۲۲	۳۰۰۹	۱۴۱۴	۲,۱۳
۵	۲۰	۳۰۸۴	۱۳۴۸	۲,۲۹
۶	۲۳/۱	۲۵۰۷	۱۴۴۹	۱,۷۳

بنظر مي‌رسد اختلاف موجود در مقاومتها با توجه به مبناي نظري محاسبه مقاومت ذاتي در ACI-89 که ۴۰% مقاومت ترک خوردگي حاصل از تئوري خمش کج مي‌باشد قابل توجيه مي‌باشد چرا که در اين تئوري مقاومت ناشي از وجود آرماتورهاي طولي لحاظ نمي‌شود. همچنين کاهش ياد شده در ACI-89 بدليل وجود لنگر خمشي محتمل در مقطع اعمال شده در حالي که در گزارش حاضر مقطع تنها تحت پيچش است.

٦- نتيجه گيري و پيشنهاد

۱- مقاومت ترك خوردگي بدست آمده از نظريه خمش کج، براي تخمين مقاومت پيچشي ترك خوردگي تيرهاي بتني، (با يا بدون آرماتور) به نتايج آزمايشات انجام شده نزديکتر بود (جدول (۲)).

۲- نمونه‌هاي بتني مسلح شده با آرماتور طولي، مقاومت پسماند پيچشي قابل ملاحظه‌اي را تا زواياي چرخش بالا، نشان دادند (شکل(۵)).

۳- با افزايش نسبت آرماتور، مقاومت پيچشي پسماند و شکل‌پذيري تعريف شده نمونه‌ها افزايش يافته است (شکل(۷)) .

٤- تحت پيچش خالص، در نظر نگرفتن مؤلفة پيچش ناشي از بتن تا حدي دور از واقعيت مي‌باشد. تأثير اين مؤلفه به حدي است که در مواردي که امکان بازتوزيع لنگر پيچشي وجود دارد، مي‌تواند نياز به در نظر گرفتن پيچش همسازي (معادل $۰,٦٧*T_{cr}$ [۱]) را به ميزان زيادي، برطرف نمايد.

٦- با توجه به شکل(۸) پيشنهاد مي‌گردد، درصدي از مقاومت ترك خوردگي (نزدیک ۵۰%) در طراحي تيرهايي که تحت پيچش مي‌باشند، بعنوان T_c (مقاومت پيچشي بتن) در نظر گرفته شود.

۷- تقدير و تشکر

از آنجا که برای انجام آزمايشات پيچشی، ساخت دستگاه تست پيچش و ساخت قالبهای بتنی در دانشگاه یزد انجام شده است. نويسندگان مقاله از تمامي دست‌اندرکاران آزمايشگاه بتن و سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزد بابت انجام اين تحقيق، تشکر مي‌نمايند.

۸-منابع:

[۱] معاونت امور فني ودفتر امور فني و تدوين معيارها؛ آيين نامه آبا (آيين نامة بتن ايران، تجديد نظر اول)، سازمان مديريت و برنامه ريزي کشور ،مرکز مدارك علمي و انتشارات ، ۱۳۸۲.

[۲] معاونت امور فني ودفتر امور فني و تدوين معيارها، دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمانهاي موجود، سازمان مديريت و برنامه ريزي کشور،مرکزمدارك علمي وانتشارات، پژوهشگاه بين‌المللي زلزله شناسي و مهندسي زلزله، ۱۳۸۱.

[۳] ACI 318-05; *ACI Code, (Building Code Requirements for Structural Concrete (318-2005) and Commentary*), American Concrete Institute, Farmington Hills, 2005.

[۴] ACI 318-89; *ACI Code, (Building Code Requirements for Structural Concrete (318-1989) and Commentary*), American Concrete Institute, Farmington Hills, 1989.

[۵] ACI committee 438; *ACI Code, (Tentative recommendations for the design reinforced concrete members to resist torsion*” ,Aci Journal proceedings, Vol. 66, No. 1, pp. 1-8, Jan, 1969.

[۶] Mau, S.T and Hsu, T. T. C ; *Concrete Shear in Earthquak*e, University of hoston, Texas, 1991.

[۷] Timoshenko, S.; *Strength of Materials*, (*Strength of Materials part2 Advanced Theory and Problems*), CBS Publishers, Indiana, 1995.

[۸] Mitchell, D. and Collins, M.P., “*Diagonal Compression Field Theory – (A Rational Model for Structural Concrete in Pure Torsion*), Structural Journal of the American Concrete Institute, Vol. 71,No. 8, pp. 396-408, 1974.

[۹] Tavio, A., and Teng, S., “*Effective Torsional Rigidity of Reinforced Concrete Members*”, Structural Journal of the American Concrete Institute, Vol. 101, No. 2, pp. 252-260, Mar-Apr, 2004.

[۱۰] Nyland, H., “*Torsional and Torsion Restraint by Concrete Structures*”, Stations Committee for Byggnadsforsking, Stockholm, Bulletin No. 3, 1945.

[۱۱] Koutchoukali, N. and Belarbi, A. “*Torsion of High-Strength Reinforced Concrete Beams and Minimum Reinforcement Requirements*”, Structural Journal of the American Concrete Institute, Vol. 98, No. 4, pp. 462-469, 2001.

[۱۲] Hsu, T. T. C. “*Torsion of Structural Concrete*”, Structural Journal of the American Concrete Institute, Sep 1964.

[۱۳] Humphreys, R., “*Torsional Properties of Prestressed Concrete*”, Structural engineering, London, Vol. 35, No. 6, June 1957, PP.213-224.

[۱۴] Zia, P., “*Torsional Strength of Presstresed Concrete Members*”, Structural Journal of the American Concrete Institute, Vol. 57, No. 10, April 1961.

[۱۵] Csikos,A., and Hegedus, I., “*Torsion of Reinforced Concrete Beams*”, Technical University of Budapest, Department of Reinforced Concrete Structures, H1521 Budapest, 1998.

۹- زیرنویس ها

---

[١] Interlocking
[٢] Elastic
[٣] Plastic
[٤] Skew bending
[٥] Hso
[٦] Dial gage