



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۴۱ تا ۵۱
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 41- 51



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

تخمین ظرفیت پیچشی تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم

موسی مظلوم^{۱*}، مرتضی مهروند^۲

۱- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲- کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

(دریافت ۱۳۹۱/۷/۱۹، پذیرش ۱۳۹۴/۳/۱۱)

چکیده

در این مقاله به بررسی تاثیر میکروسیلیس، فوق روان کننده و الیاف GFRP بر مقاومت پیچشی در تیرهای بتنی ساخته شده از بتن خودتراکم پرداخته شده است. بتن خودتراکم و بتن شاهد در این تحقیق بر مبنای ۲۰ طرح اختلاط متفاوت و با دو نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴۵ ساخته شده‌اند. برای آزمایش پیچش، تیرها با ابعاد ۱۰×۱۰×۴۰ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. برای تعیین مقاومت فشاری و انجام آزمایش امواج فراصوت، نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر و استوانه‌ای استاندارد با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متر ساخته شد و پس از نگهداری مرطوب در یک دوره ۲۸ روزه تحت آزمایش قرار گرفتند. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده نشان داده است که تاثیر میکروسیلیس در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بر روی ظرفیت پیچشی تیر بتنی بیشتر است. افزایش مقاومت پیچشی در تیرهای بتنی دورپیچ شده با الیاف GFRP در حدود ۴۳٪ برآورد شد. با استفاده از آزمایش‌امواج فراصوت، مقاومت فشاری بتن خودتراکم با خطای ۲٪ بدست آمد. همچنین می‌توان از روابط آئین‌نامه‌ای مربوط به تخمین ظرفیت پیچشی بتن معمولی برای تعیین مقاومت پیچشی بتن خودتراکم استفاده نمود.

کلمات کلیدی

بتن خودتراکم، مقاومت فشاری، مقاومت پیچشی، فوق روان کننده، میکروسیلیس.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: mazloom@Srttu.edu

۱- مقدمه

بتن خودتراکم نخستین بار توسط پروفیسور هاشیمه اوکامورا^۱ در سال ۱۹۸۶ در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد [۱۷]. بتن خودتراکم به بتنی اطلاق می‌گردد که تحت وزن خود جاری شده و با توجه به روانی بالا، بدون نیاز به تراکم و لرزش، به راحتی در هر قالب و با هر میزان تراکم آرماتور به صورت همگن شکل قالب را به خود بگیرد. در واقع بتن خودتراکم مخلوطی با روانی و قابلیت شکل-پذیری بالا است، با استفاده از این بتن و بدون به وجود آمدن مسئله جداسدگی سنگدانه‌ها می‌توان به یک بتن یک دست و کاملاً متراکم رسید. علاوه بر امتیازات فوق با استفاده از بتن خودتراکم، هزینه و زمان بتن ریزی و همچنین آلودگی صوتی ناشی از عملیات لرزاندن بتن کاهش می‌یابد [۸]. از ناپایداری‌های بتن خودتراکم می‌توان به جداسدگی سنگدانه‌ها و همچنین بروز پدیده آب انداختگی اشاره نمود [۱، ۱۸]. طرح اختلاط و توجه به دانه‌بندی سنگدانه‌های به کار رفته در ساخت بتن خودتراکم از عوامل موثر بر پایداری این نوع بتن می‌باشد [۷، ۱۶]. با توجه به مزایای گسترده این نوع بتن در سالهای اخیر از این بتن در برخی پژوهش‌های کشوری اعم از تونل رسالت، تونل نیایش و برج میلاد استفاده شده است.

در اعضای سازه‌ای بتنی همانند تیرهای لبه که به یک دال طره متصل می‌باشند نیروی پیچشی به وجود می‌آید که باید کمتر از ظرفیت پیچشی مقطع باشد [۲]. مقاومت پیچشی بتن از جمله پارامترهایی است که بر روی آن کمتر بحث و بررسی صورت گرفته است. البته در زمینه مقاومت پیچشی بتن معمولی و مسلح افرادی همچون سی ای کالیوریس (۲۰۰۶) [۲۲، ۹]، های آکی (۲۰۰۶) [۱۰، ۱۱]، جینگام رائونگ جانت (۲۰۰۷) [۱۲] و غیره بررسی‌هایی را از بابت مقاومت پیچشی مقاطع مختلف بتنی نموده‌اند که از نتایج و روش انجام آزمایش آنها در این مقاله استفاده شده است. ولی در زمینه بتن خودتراکم و اثر پیچش در مقاطع مستطیل شکل، این تحقیقات اندک بوده و تقریباً می‌توان گفت به این مقوله کمتر پرداخته شده است.

آقایان خالو و حسینیان^۲ [۱۳]، در مطالعاتشان اثر میکروسیلیس بر روی مقاومت‌های بتن را بررسی نمودند. خیات [۱۴] در سال ۱۹۹۷ اثر جایگزینی میکروسیلیس با سیمان، بر روی برخی خصوصیات بتن تازه و بتن سخت شده همانند آب-انداختگی، روانی، گیرش و مقاومت فشاری را بررسی کرد.

با توجه به نتایج مقاومت فشاری، خیات [۱۴] دریافت که

پس از ۳ روز از عملیات عمل‌آوری بتن، هیچ اثری از نوع سیمان بر روی افزایش مقاومت فشاری بتن‌ها دیده نشد. با این حال این خصیصه در روز هفتم شروع شد و نشان داد که در بتن دارای میکروسیلیس جایگزین سیمان، مقاومت فشاری نسبت به سیمان پرتلند بیشتر و بهتر است.

بررسی اثر میکروسیلیس بر روی کارایی و مقاومت فشاری بتن‌های خودتراکم، اهداف اصلی پژوهش آقایان کدری و جول^۳ (۱۹۹۸) بود. در بتن‌هایی که دارای نسبت آب به سیمان (W/C) پایین (۰/۴۰ - ۰/۲۵) بودند و سیمان پرتلند، با ۴ تا ۸ درصد جرمی میکروسیلیس جایگزین شده، بهترین افزایش برای مقاومت فشاری (۲۵ درصد) و کارپذیری بتن‌ها بدست آمد [۱۵]. کدری و جول همچنین دریافتند که اگر میکروسیلیس بیش از ۱۵ درصد ترکیبات سیمانی باشد، هر دو مقاومت فشاری و کششی کاهش می‌یابند.

بررسی آزمایشگاهی خصوصیات سازه‌ای بتن خودتراکم از لحاظ مقدار مقاومت پیچشی در مقایسه با بتن معمولی و همچنین بررسی تاثیر میکروسیلیس و فوق روان کننده بر مقاومت پیچشی بتن خودتراکم از اهداف این مقاله است.

۱- مشخصات مصالح مصرفی

۱-۱- درشت دانه

سنگدانه‌های مصرفی در این پژوهش، از کارخانه زرنان کرج تهیه شده‌اند. مصالح درشت دانه (شن) از نوع شکسته هستند. اندازه حداکثر دانه شن در محدوده ۴/۷۵ تا ۱۹ میلیمتر متغیر است که سهم چشمه الک‌های بزرگتر، کمتر می‌باشد. زیرا با بزرگتر شدن قطر سنگدانه و افزایش حجم درشت دانه امکان بروز پدیده انسداد افزایش یافته و پایداری و قابلیت عبور بتن خود تراکم کاهش می‌یابد [۶].

برای تولید بتن‌های با مقاومت بالا باید حداکثر اندازه شن را تا حد امکان کاهش داد [۱] اما در این تحقیق حداکثر قطر درشت دانه‌ها به ۱۶ میلیمتر محدود شده است. در این پژوهش وزن مخصوص شن بر اساس استاندارد ASTM C ۱۲۷-۸۸ در حالت SSD (اشباع با سطح خشک) برابر با ۲۵۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب و همچنین درصد جذب آب بر اساس همان استاندارد برای رسیدن به حالت SSD معادل ۱/۵٪ است. خصوصیات درشت دانه مصرفی در این تحقیق، در جدول (۱) بر اساس مبحث ۹ مقررات ملی ایران و آبا [۴، ۳] قید شده است.

جدول (۱): دانه‌بندی شن مصرفی و مقایسه آن با مبحث ۹ مقررات ملی ایران

اندازه الک		درصد عبوری براساس مبحث ۹ مقررات ملی ایران	درصد عبوری شن مصرفی
ASTM (اینچ)	BS میلیمتر		
۳/۴	۱۹	۱۰۰	۱۰۰
۱/۲	۱۲/۵	۹۰-۱۰۰	۹۲
۳/۸	۹/۵	۴۰-۷۰	۵۲
#۴	۴/۷۵	۰-۱۵	۵/۵
#۸	۲/۳۶	۰-۵	۰/۵

۱-۲- ریزدانه

ماسه مصرفی در این تحقیق، ماسه طبیعی دوبار شور از کارخانه زرنان کرج با وزن مخصوص 2530 Kg/m^3 و درصد جذب آب $2/512$ ٪ می‌باشد. برای تعیین منحنی دانه‌بندی این ماسه از دانه‌بندی پیشنهادی مبحث نهم مقررات ملی ایران استفاده شده است. جدول ۲ مقایسه دانه‌بندی ماسه مصرفی در این تحقیق، با ماسه پیشنهادی مبحث ۹ مقررات ملی ایران [۳] را نشان می‌دهد.

جدول (۲): دانه‌بندی ماسه مصرفی و مقایسه آن با مبحث ۹ مقررات ملی ایران

اندازه الک		درصد عبوری براساس مبحث ۹ مقررات ملی ایران	درصد عبوری ماسه مصرفی
ASTM (اینچ)	BS میلیمتر		
#۴	۴/۷۵	۸۹-۱۰۰	۱۰۰
#۸	۲/۳۶	۶۰-۱۰۰	۸۲
#۱۶	۱/۱۸	۳۰-۹۰	۶۲
#۳۰	۰/۶۰	۱۵-۵۴	۲۷
#۵۰	۰/۳۰	۵-۴۰	۱۲
#۱۰۰	۰/۱۵	۰-۱۵	۱

۱-۳- آب

آب مورد استفاده در این تحقیق آب شرب شهر تهران بوده است.

۱-۴- میکروسیلیس

در این تحقیق از میکروسیلیس از نای لرستان استفاده شده است. وزن مخصوص آن حدود $2/14$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و سطح مخصوص 14 متر مربع بر گرم گزارش شده است. خصوصیات و ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳): ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی

ترکیب شیمیایی	درصد موجود در میکروسیلیس مصرفی	ترکیب شیمیایی	درصد موجود در میکروسیلیس مصرفی
SiO ₂	۹۱/۷	MgO	۱/۸۰
Al ₂ O ₃	۱/۰۰	SO ₃	۰/۸۷
Fe ₂ O ₃	۰/۹	Cl	۰/۰۸
CaO	۱/۶۸		

۱-۵- سیمان

از سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ کارخانه سیمان تهران در این تحقیق استفاده شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان مصرفی در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.

جدول (۴): خصوصیات فیزیکی سیمان مصرفی

مقدار	خاصیت فیزیکی
۳۳۰	ریزی بلین (مترمربع بر کیلوگرم)
۱۲۰	گیرش اولیه (دقیقه)
۲۴۰	گیرش نهایی (دقیقه)
۱۷	مقاومت ۳ روزه (مگاپاسکال)
۲۷	مقاومت ۷ روزه (مگاپاسکال)
۴۰	مقاومت ۲۸ روزه (مگاپاسکال)

جدول (۵): خصوصیات شیمیایی سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی سیمان	درصد موجود در سیمان	ترکیب شیمیایی سیمان	درصد موجود در سیمان
CaO	۶۳/۹۵	K ₂ O ₃	۰/۵۴
SiO ₂	۲۱/۴۶	Na ₂ O	۰/۲۶
Al ₂ O ₃	۵/۵۵	C ₃ S	۵۰/۹۶
Fe ₂ O ₃	۳/۴۶	C ₂ S	۲۳/۱۰
MgO	۱/۸۶	C ₃ A	۸/۸۵
SO ₃	۱/۴۲	C ₄ AF	۱۰/۵۳

۱-۶- پودر سنگ آهک

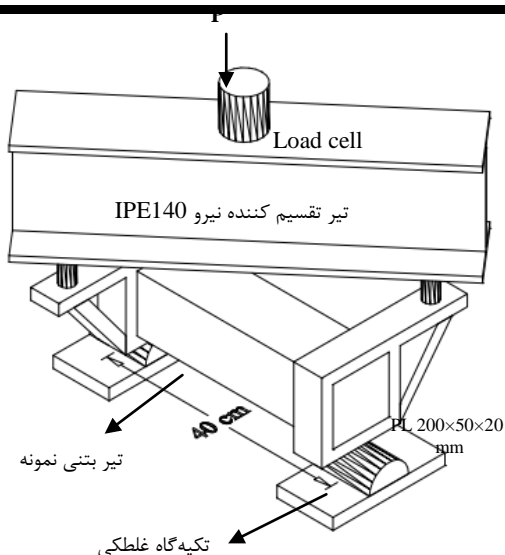
به عنوان یک فیلر خنثی در این تحقیق از پودر سنگ آهک کارخانه قم استفاده شده است.

۱-۷- فوق روان کننده

در این تحقیق از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک- اتر با نام تجاری Glenium 110p محصول شرکت BASF استفاده شده است.

۱-۸- الیاف GFRP

از الیاف GFRP محصول شرکت Sika با نام تجاری SikaWrap-Hex 430G در این تحقیق با مشخصات قید شده در جدول (۶) استفاده شده است. رزین مورد استفاده در این تحقیق از نوع Sikadur-330 بوده است. این رزین از دو قسمت



شکل (۱): مشخصات فنی دستگاه آزمایش مقاومت پیچشی بتن

روند انجام این آزمایش در اجرا به صورت شکل ۲ انجام گرفته است.

چند نمونه شکسته از تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم تحت آزمایش پیچش در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): دستگاه ساخته شده توسط مولف برای انجام آزمایش مقاومت پیچشی بتن



شکل (۳): نمونه‌های شکسته شده در آزمایش مقاومت پیچشی بتن

مجزا به نامهای Part A , Part B تشکیل شده است که با نسبت یک به سه مخلوط شدند

جدول (۶): مشخصات GFRP مورد استفاده در این تحقیق

مشخصه	مقدار	واحد
وزن الیاف	۴۴۰	gram/m ²
مدول الاستیسیته	۷۲/۴۱۳	Mpa
دانسیته	۲/۵۴	gr/cm ³

۲- طرح اختلاط بتن خودتراکم

برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی از ۱۶ طرح اختلاط بتن خودتراکم مطابق با جدول ۱۰ استفاده شده است [۵].

۳- نمونه‌های ساخته شده و نحوه عمل‌آوری

در این تحقیق نمونه‌های مکعبی ساخته شده با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر و نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد ۱۵×۳۰ سانتی‌متر برای بررسی مقاومت فشاری بتن خودتراکم و تیرهای نمونه ساخته شده با ابعاد مقطع ۱۰×۱۰ و طول ۴۰ سانتی‌متر برای بررسی مقاومت پیچشی بتن خودتراکم و شاهد مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌ها ۲۴ ساعت پس از ساخت از قالب جدا شده و تا زمان انجام آزمایشها در یک دوره ۲۸ روزه در شرایط مرطوب نگهداری شده، سپس یک روز قبل از انجام آزمایش از حوضچه آب خارج شده‌اند.

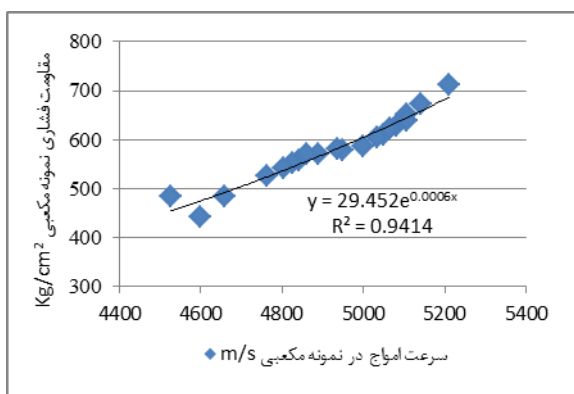
۴- آزمایشهای انجام شده

۴-۱- مقاومت فشاری

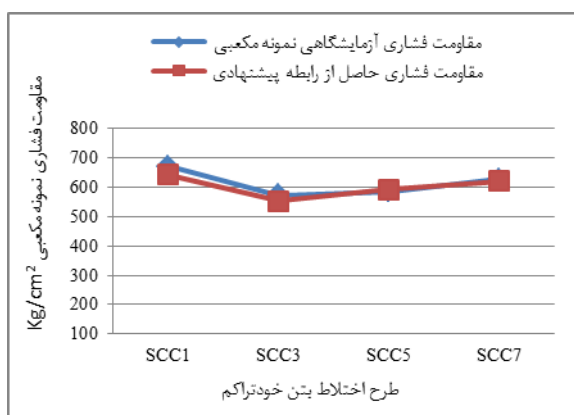
برای هر طرح اختلاط سه نمونه مکعبی و سه نمونه استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه و در مجموع تعداد ۶۰ نمونه مکعبی و ۶۰ نمونه استوانه‌ای برای تعیین مقاومت فشاری بتن خودتراکم مورد آزمایش قرار گرفته است.

۴-۲- مقاومت پیچشی

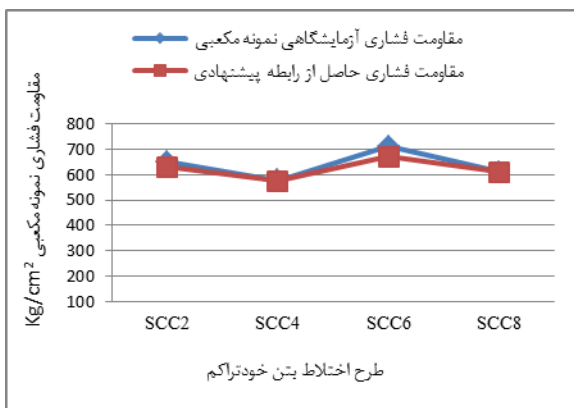
تحقیقات بسیاری بر روی مقاومت پیچشی اعضای بتنی انجام شده است [۲۲، ۲۴، ۲۵]. در آزمایش پیچش نیز برای هر طرح اختلاط سه تیر بتنی نمونه ۲۸ روزه، در مجموع برای ۱۶ طرح اختلاط بتن خودتراکم و ۴ طرح اختلاط بتن شاهد به تعداد ۶۰ نمونه تیر بتنی مورد آزمایش قرار گرفته است. برای ارزیابی مقاومت پیچشی بتن خودتراکم از تنظیمات شکل (۱) برای آزمایش مورد نظر استفاده شده است.



شکل (۴): رابطه پیشنهادی بین مقاومت فشاری نمونه مکعبی و سرعت امواج فراصوت



شکل (۵): مقایسه مقاومت فشاری حاصل از رابطه پیشنهادی و آزمایشگاهی در بتن بدون میکروسیلیس و $w/c=0/35$



شکل (۶): مقایسه مقاومت فشاری حاصل از رابطه پیشنهادی و آزمایشگاهی در بتن با میکروسیلیس و $w/c=0/35$

۵- بررسی و تحلیل نتایج

۵-۱- مقاومت فشاری

برای ۱۶ طرح اختلاط مربوط به بتن خودتراکم و ۴ طرح اختلاط بتن شاهد در مجموع ۶۰ نمونه استوانه‌ای استاندارد و ۶۰ نمونه مکعبی $10 \times 10 \times 10$ مورد آزمایش قرار گرفته است که میانگین نتایج آن در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده است.

جدول (۷): نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای

مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگا پاسکال)	طرح اختلاط	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (مگا پاسکال)	طرح اختلاط
۲۶/۶	SCC9	۴۴	SCC1
۳۳/۹	SCC10	۴۰/۹	SCC2
۴۴/۷	SCC11	۳۸/۳	SCC3
۵۰/۷	SCC12	۳۹/۲	SCC4
۴۳/۷	SCC13	۵۱/۹	SCC5
۴۶/۲	SCC14	۶۵/۷	SCC6
۳۷/۷	SCC15	۴۶/۵	SCC7
۴۵/۲	SCC16	۴۱/۱	SCC8
۲۹/۱	NC3	۳۰/۶	NC1
۳۵	NC4	۳۴/۲	NC2

جدول (۸): نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی

مقاومت فشاری نمونه مکعبی (مگا پاسکال)	طرح اختلاط	مقاومت فشاری نمونه مکعبی (مگا پاسکال)	طرح اختلاط
۵۵/۸	SCC9	۶۷/۱۵	SCC1
۶۳/۸۵	SCC10	۶۵/۱۲	SCC2
۵۶/۹۹	SCC11	۵۷/۱۸	SCC3
۵۵/۲۲	SCC12	۵۷/۷۷	SCC4
۴۸/۳۱	SCC13	۵۸/۵	SCC5
۵۴/۱۴	SCC14	۷۱/۲۵	SCC6
۵۲/۷۱	SCC15	۶۲/۸	SCC7
۵۸/۱۵	SCC16	۶۱	SCC8
۴۴/۱۵	NC3	۶۰/۴۴	NC1
۴۸/۵۲	NC4	۶۲/۲۳	NC2

۵-۲- آزمایش امواج فراصوت^۴

از دستگاه Pundit Lab مدل Proceq طبق استاندارد BS 1881 Part 203 برای انجام این آزمایش استفاده شده است. پس از انجام آزمایش امواج فراصوت، رابطه‌ای بین مقاومت فشاری نمونه مکعبی بتن و سرعت امواج فراصوت مطابق شکل (۴) استخراج شد و در شکل‌های (۵) تا (۹) مقایسه مقاومت فشاری آزمایشگاهی و مقاومت حاصل از رابطه پیشنهادی نشان داده شده است. برای هر طرح اختلاط از بتن خودتراکم ۳ نمونه مکعبی و در کل تعداد ۴۸ نمونه در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

$$T_{cr} = 0.51 \sqrt{f_c} \frac{x^2 y}{3} \quad (1)$$

$$T_{cr} = 0.4 \phi_c \sqrt{f_c} \left[\frac{A_c^2}{P_c} \right] \quad (2)$$

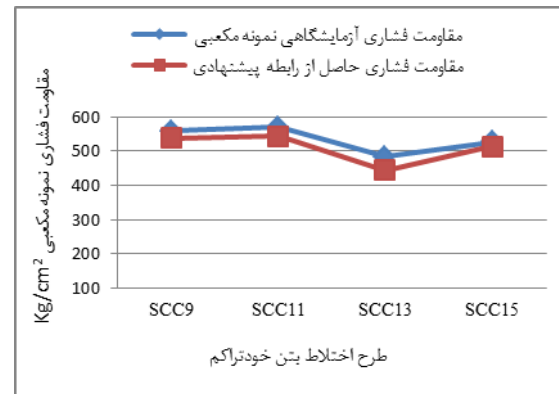
با توجه به نتایج به دست آمده از برنامه آزمایشگاهی حاصل از آزمایش سه نمونه تیر بتنی برای هر طرح اختلاط، نتایج آزمایش مربوط به لنگر ترک خوردگی پیچشی در بتن خودتراکم و شاهد در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول (۹): نتایج آزمایش مقاومت پیچشی

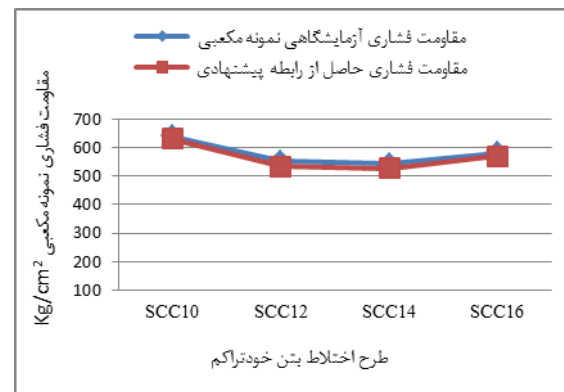
طرح اختلاط	لنگر ترک خوردگی KN.m	طرح اختلاط	لنگر ترک خوردگی KN.m
SCC1	۱/۱۴	SCC9	۰/۸۴
SCC2	۱/۱۲	SCC10	۰/۹۷
SCC3	۱/۱۰	SCC11	۱/۳۰
SCC4	۱/۰۷	SCC12	۱/۲۵
SCC5	۱/۳۱	SCC13	۱/۱۷
SCC6	۱/۴۴	SCC14	۱/۲۲
SCC7	۱/۲۳	SCC15	۱/۰۶
SCC8	۱/۱۰	SCC16	۱/۱۶
NC1	۰/۹۵	NC3	۰/۹۲
NC2	۱/۰۴	NC4	۱/۰۵

در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به بررسی تاثیر میکروسیلیس در حضور درصدهای مختلف فوق روان کننده بر روی مقاومت پیچشی بتن خودتراکم پرداخته شده است. با توجه به نتایج حاصل در این قسمت دیده می‌گردد که در نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ وجود میکروسیلیس در بتن خودتراکم تاثیری بر افزایش مقاومت پیچشی نداشته است ولی در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ حضور میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت پیچشی بتن خودتراکم شده است.

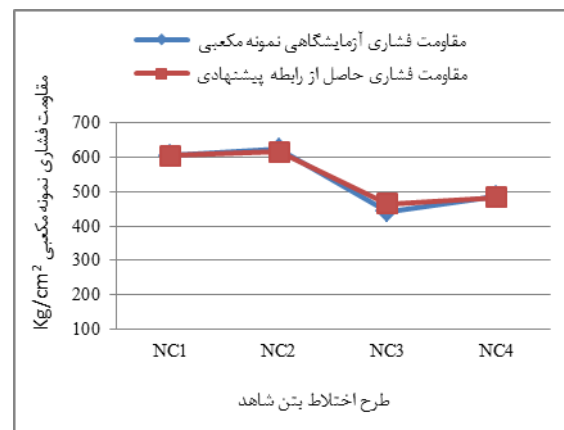
در شکل‌های (۱۲) الی (۱۶) به مقایسه لنگر ترک خوردگی پیچشی آزمایشگاهی با لنگر ترک خوردگی پیچشی بدست آمده از فرمول (۱) در بتن خودتراکم و معمولی پرداخته شده است. همانگونه که استنتاج می‌شود با توجه به نتایج آزمایشگاهی و نتایج به دست آمده از فرمول محاسبه ظرفیت پیچشی مقطع در آبا و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، از فرمول (۱) و (۲) می‌توان برای بدست آوردن ظرفیت پیچشی تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم با دقت مناسب استفاده نمود. روند این مقایسه برای نسبت‌های آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴۵، با و بدون میکروسیلیس در نظر گرفته شده است.



شکل (۷): مقایسه مقاومت فشاری حاصل از رابطه پیشنهادی و

آزمایشگاهی در بتن بدون میکروسیلیس و $w/c=0/45$ 

شکل (۸): مقایسه مقاومت فشاری حاصل از رابطه پیشنهادی و

آزمایشگاهی در بتن با میکروسیلیس و $w/c=0.45$ 

شکل (۹): مقایسه مقاومت فشاری حاصل از رابطه پیشنهادی و

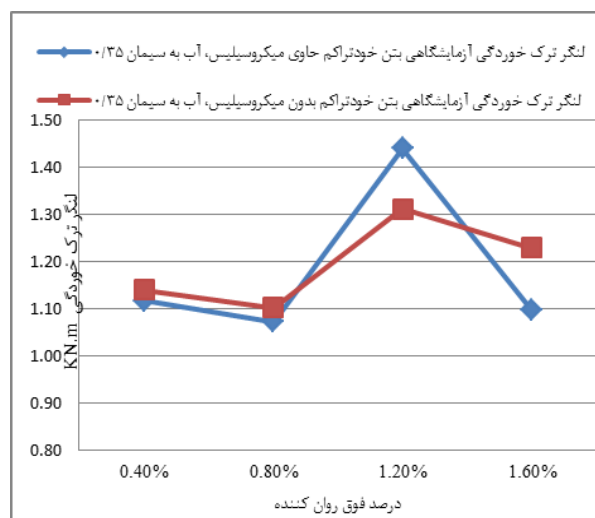
آزمایشگاهی در بتن شاهد

۵-۳- مقاومت پیچشی

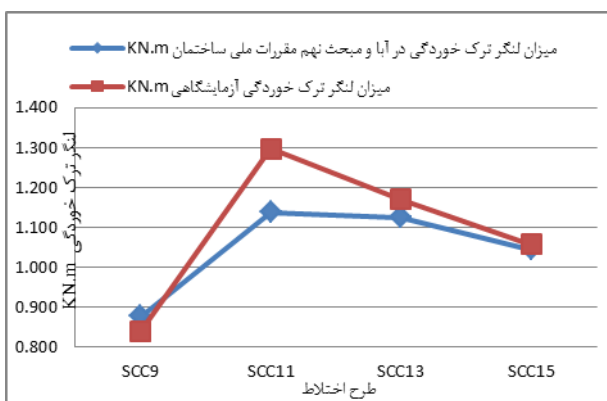
لنگر ترک خوردگی در مبحث نهم مقررات ملی و آئین نامه بتن ایران برای بتن معمولی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود، این رابطه در آئین نامه بتن ایران و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان با اعمال ضرایب کاهنده به صورت رابطه شماره (۲) به دست می‌آید [۴،۳].



شکل (۱۳): مقایسه لنگر ترک خوردگی آزمایشگاهی و لنگر به دست آمده از روابط آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران، آب به سیمان ۰/۳۵، حاوی میکروسیلیس



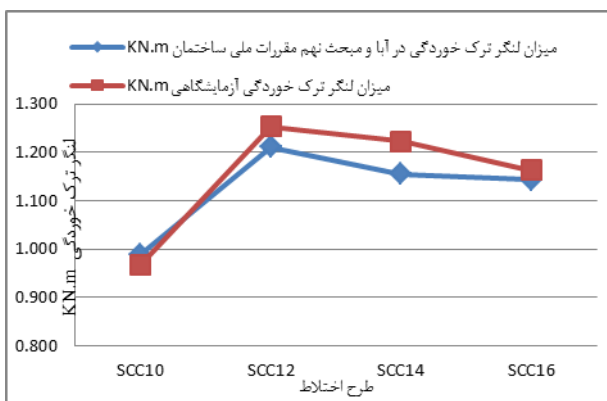
شکل (۱۰): تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت پیچشی بتن خودتراکم با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵



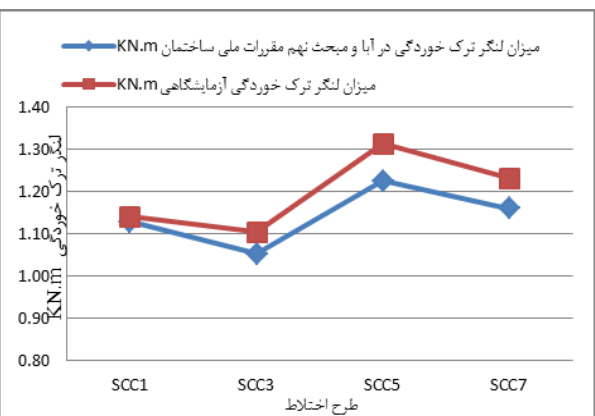
شکل (۱۴): مقایسه لنگر ترک خوردگی آزمایشگاهی و لنگر به دست آمده از روابط آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران، آب به سیمان ۰/۴۵، بدون میکروسیلیس



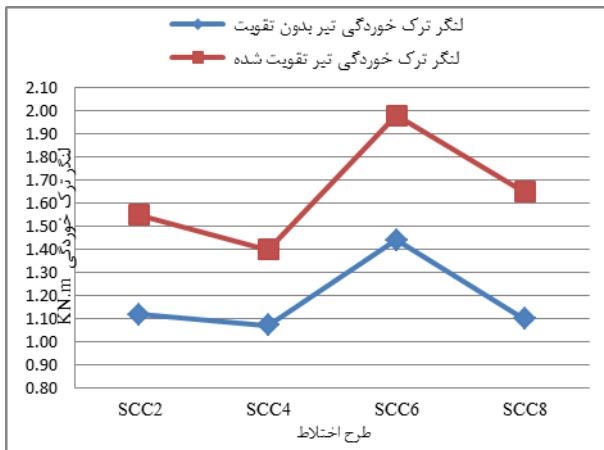
شکل (۱۱): تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت پیچشی بتن خودتراکم با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵



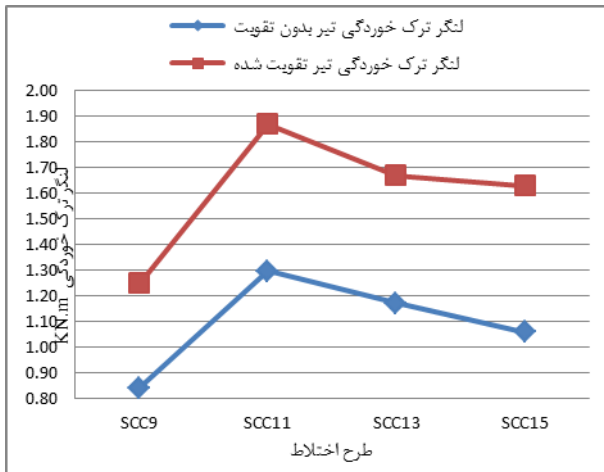
شکل (۱۵): مقایسه لنگر ترک خوردگی آزمایشگاهی و لنگر به دست آمده از روابط آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران، آب به سیمان ۰/۴۵، حاوی میکروسیلیس



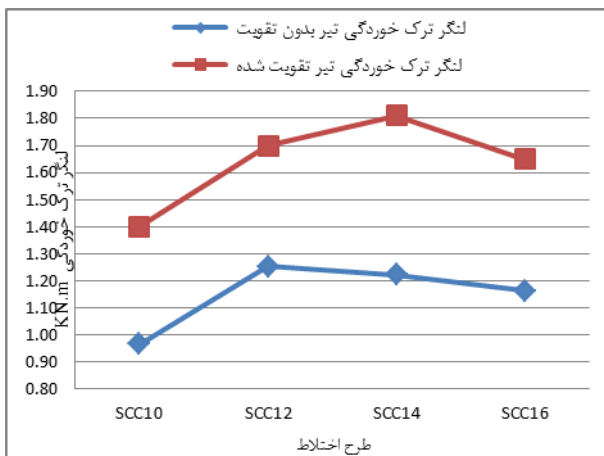
شکل (۱۲): مقایسه لنگر ترک خوردگی آزمایشگاهی و لنگر به دست آمده از روابط آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران، آب به سیمان ۰/۳۵، بدون میکروسیلیس



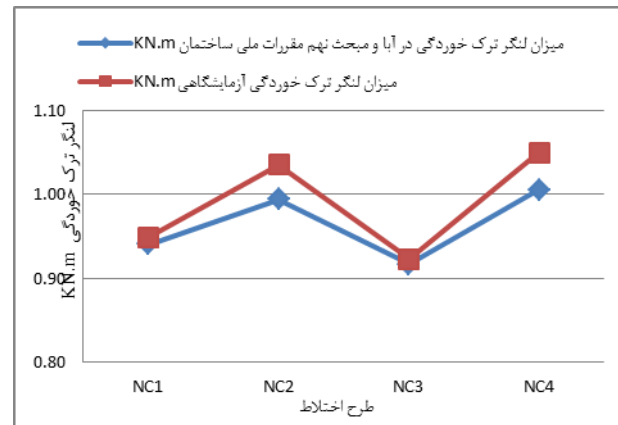
شکل (۱۸): افزایش مقاومت پیچشی ناشی از تاثیر GFRP در تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم، آب به سیمان ۰/۳۵، حاوی میکروسیلیس



شکل (۱۹): افزایش مقاومت پیچشی ناشی از تاثیر GFRP در تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم، آب به سیمان ۰/۴۵، بدون میکروسیلیس



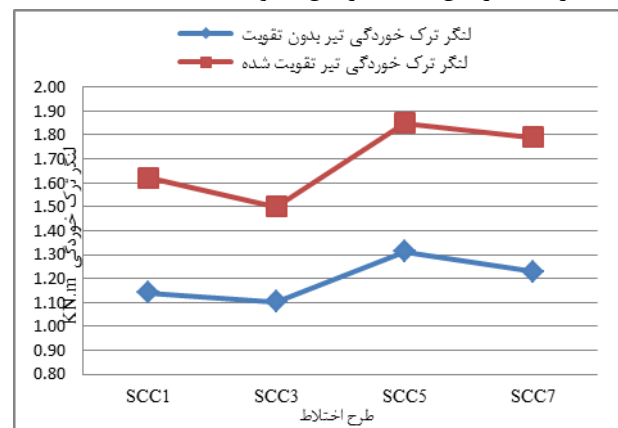
شکل (۲۰): افزایش مقاومت پیچشی ناشی از تاثیر GFRP در تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم، آب به سیمان ۰/۴۵، حاوی میکروسیلیس



شکل (۱۶): مقایسه لنگر ترک خوردگی آزمایشگاهی و لنگر به دست آمده از روابط آب و مبحث نهم مقررات ملی ایران، بتن شاهد

۵-۴- مقاومت پیچشی در تیرهای تقویت شده با GFRP

در این تحقیق تیرهای بتنی با استفاده از الیاف GFRP و رزین مخصوص به صورت دورپیچ تقویت شدند [۲۰، ۲۶] و سپس با استفاده از دستگاه ساخته شده مورد آزمایش پیچش قرار گرفت. برای هر طرح اختلاط ۳ نمونه و در کل تعداد ۴۸ نمونه تیر بتنی برای ۱۶ طرح اختلاط بتن خود تراکم و ۱۲ نمونه تیر بتنی برای ۴ طرح اختلاط بتن شاهد با الیاف GFRP تقویت شد. نتایج این آزمایش در اشکال (۱۷) الی (۲۰) نمایش داده شده است. در بتن خودتراکم با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ تاثیر الیاف GFRP در افزایش مقاومت پیچشی به طور میانگین ۴۰٪ و در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بتن خودتراکم نیز این افزایش به مرز ۴۵٪ رسید. در بتن شاهد افزایش مقاومت تا ۴۲٪ مشاهده شد.



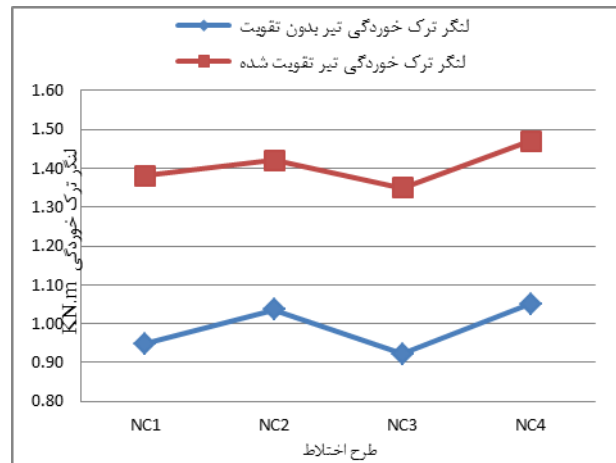
شکل (۱۷): افزایش مقاومت پیچشی ناشی از تاثیر GFRP در تیرهای ساخته شده از بتن خودتراکم، آب به سیمان ۰/۳۵، بدون میکروسیلیس

طرح اختلاط بتن خودتراکم در نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ افزایش مقاومتی ناشی از تاثیر میکروسیلیس مشاهده نشد، ولی در طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ میانگین تاثیر میکروسیلیس در افزایش مقاومت پیچشی بتن خودتراکم به میزان ۱۰٪ بوده است.

- با افزایش میزان فوق روان کننده تا مقدار ۱٪ افزایش مقاومت پیچشی در بتن خودتراکم مشاهده شد و مقادیر بیشتر فوق روان کننده کاهش مقاومت پیچشی و جداسازی خفیف دانه بندی بتن خودتراکم را به همراه داشت.

- میانگین خطای تخمین مقاومت بتن با دستگاه امواج فراصوت، ۲٪ بوده است. بنابراین می توان با دقت قابل قبولی مقاومت فشاری بتن را با این دستگاه بدست آورد.

- افزایش مقاومت پیچشی تیرهای بتنی ساخته شده از بتن خودتراکم، دورپیچ شده با الیاف GFRP، تا ۴۰٪ در $w/c=0/35$ مشاهده شد. این افزایش در $w/c=0/45$ به مقدار ۴۵٪ دیده شد.



شکل (۲۱): افزایش مقاومت پیچشی ناشی از تاثیر GFRP در تیرهای ساخته شده از بتن شاهد

۶- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشگاهی به دست آمده در این تحقیق نتایج زیر حاصل شده است:

- در محاسبه مقاومت پیچشی بتن خودتراکم می توان از رابطه های موجود در آئین نامه آبا و مبحث نهم مقررات ملی ایران استفاده نمود.

- با کاهش نسبت آب به سیمان در بتن های خودتراکم اثر میکروسیلیس در افزایش مقاومت پیچشی بتن کاهش می یابد، یعنی با توجه به مقدار ۱۰٪ میکروسیلیس جایگزین شده در

جدول (۱۰): طرح اختلاط بتن خودتراکم

شماره طرح	نسبت آب به سیمان	مقدار آب Kg	مقدار میکروسیلیس (درصد وزن سیمان)	مقدار فوق روان کننده (درصد وزن سیمان)	مقدار پودر سنگ Kg	مقدار شن Kg	مقدار ماسه Kg	
۱	۰/۳۵	۱۷۵	۵۰۰	٪۰	٪۰/۴	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۲	۰/۳۵	۱۷۵	۴۵۰	٪۱۰	٪۰/۴	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۳	۰/۳۵	۱۷۵	۵۰۰	٪۰	٪۰/۸	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۴	۰/۳۵	۱۷۵	۴۵۰	٪۱۰	٪۰/۸	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۵	۰/۳۵	۱۷۵	۵۰۰	٪۰	٪۱/۲	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۶	۰/۳۵	۱۷۵	۴۵۰	٪۱۰	٪۱/۲	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۷	۰/۳۵	۱۷۵	۵۰۰	٪۰	٪۱/۶	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۸	۰/۳۵	۱۷۵	۴۵۰	٪۱۰	٪۱/۶	۱۵۵	۸۶۷	۶۶۸
۹	۰/۴۵	۱۸۰	۴۰۰	٪۰	٪۰/۴	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۰	۰/۴۵	۱۸۰	۳۶۰	٪۱۰	٪۰/۴	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۱	۰/۴۵	۱۸۰	۴۰۰	٪۰	٪۰/۸	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۲	۰/۴۵	۱۸۰	۳۶۰	٪۱۰	٪۰/۸	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۳	۰/۴۵	۱۸۰	۴۰۰	٪۰	٪۱/۲	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۴	۰/۴۵	۱۸۰	۳۶۰	٪۱۰	٪۱/۲	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۵	۰/۴۵	۱۸۰	۴۰۰	٪۰	٪۱/۶	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲
۱۶	۰/۴۵	۱۸۰	۳۶۰	٪۱۰	٪۱/۶	۱۵۰	۸۳۳	۷۲۲

- Jing M, Raongjant W, Li Z, "Torsional strengthening of reinforced concrete box beams using carbon fiber reinforced polymer", *Composite Structures*, 78, pp. 264– 70, 2007. [۱۲]
- Khaloo, A. R., M. R. Hosuseinian, "Evaluation of properties of silica fume for use in concrete", *International Conference on concrete*, Dundee, Scotland, 1999. [۱۳]
- Khayat, K. H., K. Manai, A. Trudel, "In situ mechanical properties of wall elements using self- compacting concrete", *ACI Materials JOURNAL*, pp. 491- 500, 1997. [۱۴]
- Duval, R., E. H. Kardi, "Influence of silica fume on the workability And the compressive strength of high-performance concrete", *cement and concrete research Journal*, Vol. 28, Issue. 4, pp. 533- 547, 1998. [۱۵]
- Emadi, A., Liber, N. A., Mehdipour, I., Vahdani, M., Dara, S, "SCC mixture with different aggregate gradation and limestone powder", 5th international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Ghent, Belgium, pp. 155- 162, 2007. [۱۶]
- kamura, H, "Self- Compacting high performance Concrete", *Concrete International*, pp. 50- 54, 1997. [۱۷]
- Koehler E. P., Fowler D. W, "Summary of concrete workability Test methods", *ICAR report*, pp. 39- 40, 2003. [۱۸]
- Chen JF., Teng JG, "Shear capacity of FRP-strengthened RD beams FRP debonding", *Constr Build Mater*, 17 pp. 27– 41, 2003. [۱۹]
- Tsonos AG., Stylianidis KH, "Pre-earthquake and post-earthquake strengthening of R/C structural subassemblages using GFRP (in Greek)", *Sci Rev Ktirio*, pp.41- 50, 2001. [۲۰]
- Ghobarah A., Ghorbel MN., Chidiac SE, "Upgrading torsional resistance of reinforced concrete beams using fiber-reinforced polymer", *J Compos Constr ASCE*, pp. 63- 257, 2002. [۲۱]
- Chalioris CE, "Experimental study of the torsion of reinforced concrete members", *Struct Eng Mech*, pp. 37- 713, 2006. [۲۲]
- Jing M., Grunberg J, "Mechanical Analysis of reinforced concrete box beam strengthened with carbon fiber sheets under combined actions", [۲۳]
- ۷- مراجع**
- [۱] اس. اچ. احمد، اس. پی. شاه، "بتن‌های توانمند و کاربرد آنها"، ترجمه دکتر موسی مظلوم- دکتر علی اکبر رضانیانپور، دانشگاه شهید رجایی، تهران، ۱۳۸۳.
- [۲] طاحونی، شاپور، "طراحی ساختمانهای بتن مسلح بر مبنای آئین نامه بتن ایران - آبا"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۹۰.
- [۳] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، "مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه"، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۸.
- [۴] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، "نشریه شماره ۱۲۶ راهنمای آئین نامه بتن ایران آبا"، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- [۵] رنجبر، اسدالله، "بررسی مدول گسیختگی بتن خود متراکم"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ۱۳۹۰.
- [۶] شکرچی زاده، محمد و نیکلاس علی لیبر، مهرداد ماهوتیان، علیرضا محبی، و یکتا بهرادی، "آزمایشهای بتن خودتراکم و تفسیر نتایج بدست آمده در برآورد پایداری بتن تازه"، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۵.
- [۷] Shekarchi, M., Liber, N. A., Khoshnazar, R., Bagherzadeh chehreh, A., Babanezhad Mamaghani, S. K., "Highly flowable concrete made with different aggregate gradation", *Proceeding of the International Symposium on HSC- HPC Conference*, Japan, 2008.
- [۸] Nunes S., Figueiras H., Oliveira P. M. Coutinho J. S. and Figueiras J., "A methodology to assess robustness of SCC mixtures", *Cement ans Concrete Research*, 36, pp. 2115- 2122, 2006.
- [۹] Chalioris, CE, "Tests and analysis of reinforced concrete beams under torsion retrofitted with FRP strips", *In Proceedings 13th computational methods and experimental measurements*, pp. 633– 42, 2007.
- [۱۰] Hii AKY, Al-Mahaidi R, "An experimental and numerical investigation on torsional strengthening of solid and box-section RC beams using CFRP laminates", *Composite Structures*, 75, pp. 213– 21, 2006.
- [۱۱] Hii AKY, Al-Mahaidi R, "Torsional capacity of CFRP strengthened reinforced concrete beams", *Journal of Composites for Construction*, 11(1), pp. 71– 80, 2007.

۸- زیر نویس

^۱ Hajime Okamura
^۲ khaloo & Houseinian
^۳ duval & kadri
^۴ pundit

Compos Struct, pp. 94- 488, 2006.

Karayannis CG, "Nonlinear analysis and tests of [۲۴]
 steel-fiber concrete beams in torsion", Struct
 Eng Mech, pp. 38- 323, 2000.

Karayannis CG., Chalioris CE; "Strength of [۲۵]
 prestressed concrete beams in torsion", Struct
 Eng Mech, pp. 80- 165, 2000.

Gunneswara Rao TD., Rama Seshu D, " [۲۶]
 Torsional response of fibrous reinforced
 concrete members: Effect of single type of
 reinforcement", Constr Build Mater, 92- 187,
 2006.