Construction Science and Technology
Volume 7, Issue 1

Effect of Fiber Size and Type on Rheological and Mechanical Properties of Self-Consolidating Concrete cast in Distinct layers

Behrad Abdollahzadeh[1]

[1] Master's degree, Niroo Specialized Holding-Payab Niroo Institute, Tehran, Iran

R T I C L E I N F O

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2025 January 20

Accepted: 2025 May 17

* Correspondence Email Addres:

behrad0217@gmail.com

Keywords:
Self-Compacting Concrete
Steel Fibers
Glass Fibers
Diagonal Shear Strength
Direct Shear Strength

A B S T R A C T

In concreting with a high volume of concrete, sometimes it is unavoidable in layers with long time intervals. Previous studies have shown that this issue can cause the lack of mechanical integrity in concrete layers poured with a long time interval. Therefore, the mechanical properties and impermeability of concrete poured in subsequent layers are affected by the created seam. The use of fibers in self-compacting concrete has advantages and disadvantages. Also, the use of fibers can improve the rheological and mechanical properties of concrete. affect the self-compacting effect in separate layers. In the current research, two types of glass and steel fibers were used in separate and double combinations in the construction of self-compacting concrete mixtures poured in separate layers and the shear strength results Straight, diagonal shear and tension under splitting after zero, 40, 80, 120 and 160 minutes have been analyzed.The composition percentage of each of the fibers in concrete mixtures was based on 0.5, 1 and 1.5 weight of cement. 28-day tests of direct cutting, diagonal cutting and tension under splitting have been conducted on 15x15x15 cubic samples. The results indicate that in the most optimal case, the use of steel and glass fibers increases the shear strength by 35%. Diagonal and 20% shear resistance has been straightened. Also, the use of steel and glass fibers has increased the tensile strength under splitting by 18%

Cite this article: abdollahzadeh, B. (2025). Effect of Fiber Size and Type on Rheological and Mechanical Properties of Self-Consolidating Concrete cast in Distinct layers. Construction science and technology, 6(1), 1-20. **DOI** 20.1001.1.29812577.1404.6.1.7.1

Publisher: Imam Hussein University
© **Authors**
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال چهارم، شماره ۱، بهار۱۴۰۴، صفحه ۱ الی ۲۰

علمی – تخصصی

تأثیر اندازه و نوع الیاف بر خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی بتن خود تراکم اجرا شده در لایه‌های مجزا

بهراد عبدالله زاده[1*]

[1] کارشناسی ارشد، هلدینگ تخصصی نیرو–موسسه پایاب نیرو

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷)

چکیده

در بتن‌ریزی‌های با حجم بالای بتن خود متراکم مانند پی‌ها و دیوارهای طویل ریختن بتن در برخی مواقع در لایه‌های با فاصله زمانی زیاد اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بررسی‌های پیشین نشان داده است که این موضوع می‌تواند سبب عدم یکپارچگی مکانیکی در لایه‌های بتن ریخته شده با فاصله زمانی زیاد شود. از این رو خواص مکانیکی و نفوذناپذیری بتن‌های ریخته شده در لایه‌های متعاقب تحت تأثیر درز ایجاد شده قرار می‌گیرد.استفاده از الیاف در بتن‌های خود متراکم مزایا و معایبی در پی دارد. از مزایای آن می‌توان به افزایش شکل‌پذیری بتن و بهبود خواص مکانیکی آن اشاره نمود. همچنین استفاده از الیاف می‌تواند خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی بتن خود متراکم اجرا شده در لایه‌های مجزا را تحت تأثیر قرار دهد.در تحقیق حاضر از دو نوع الیاف شیشه‌ای و فولادی در ترکیبات جداگانه و دوتایی در ساخت مخلوط‌های بتنی خود متراکم ریخته شده در لایه‌های مجزا استفاده شده و نتایج مقاومت‌های برشی مستقیم، برشی مورب و کشش تحت شکافت بعد از گذشت زمانهای صفر ، ۴۰ ، ۸۰ ، ۱۲۰ و ۱۶۰ دقیقه مورد تحلیل قرار گرفته است. درصد ترکیب هریک از الیاف‌ها در مخلوطهای بتنی بر اساس ۰/۵، ۱و ۱/۵ درصد وزن سیمان بوده است. آزمایشات ۲۸ روزه برش مستقیم، برش مورب و کشش تحت شکافت بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ صورت گرفته است.نتایج حاصله حاکی آن از است که در بهینه ترین حالت ، استفاده از الیاف فولاد و شیشه باعث افزایش ۳۵ درصدی مقاومت برشی مورب و ۲۰ درصدی مقاومت برشی مستقیم شده است.همچنین استفاده از الیاف فولاد و شیشه باعث افزایش ۱۸ درصدی مقاومت کششی تحت شکافت شده است.

کلید واژه‌ها: بتن خود متراکم، الیاف فولاد، الیاف شیشه، مقاومت برشی مورب، مقاومت برشی مستقیم

۱. مقدمه

امروزه نقش بتن به علت تطبیق پذیری زیاد، پایداری و به صرفه بودن بعنوان رایج ترین مصالح ساختمانی غیر قابل انکار است و در تمام نقاط دنیا از بتن به صورت گسترده ای استفاده گردیده است. سال هاست که بتن به عنوان یک عنصر ساختمانی بسیار مهم با تحمل فشارهای بالا و امکان استفاده در شرایط و شکل‌های خاص جهت ساخت و ساز انواع سازه‌ها مورد استفاده است و تقریبا در ساخت اکثر سازه‌ها استفاده از بتن سهم بسزایی را ایفا نموده است . در سازه‌های بتنی برای رسیدن به مقاومت فشاری مدنظر و حصول کارایی ، بتن به شیوه‌های مختلف لرزانده می‌شود . همسو با پیشرفت‌های مختلف محققان عرصه ساخت و ساز نیز بنا به دلایلی مانند تراکم میلگرد ، نبود نیروی کارگر ماهر و هزینه‌های نیروی انسانی و ... به فکر ساخت بتن بدون نیاز به متراکم کردن با ابزار آلات و نیروی انسانی افتاده و ساخت بتنی بدون نیاز به لرزاندن پیشرفت بسیار محسوسی در این زمینه به نظر می‌رسید[۱،۲]. در طراحی یک پروژه به کارگیری مصالح مناسب، مقاوم و ارزان از مهم ترین وظایف یک مهندس به حساب می‌آید. یکی از مهم ترین و ارزانترین مصالح موجود که در دنیا کاربرد وسیع و زیادی دارد بدون شک بتن می‌باشد. مزایایی که بتن از آن برخوردار است، باعث شده که مورد علاقه اکثر مهندسین، طراحان و کارفرمایان و غیره باشد. از عمده ترین مزایای بتن، امکان به کارگیری آن در اغلب مناطق جغرافیایی، استفاده از مصالح طبیعی و ارزان، دارا بودن هزینه کم در مقایسه

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

با حجم زیاد عملیات، شکل‌پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح، امکان مکانیزه کردن عملیات، عدم نیاز به نگهداری در طول عمر بهره برداری از بنا و... است[۳،۴،۵].بتن خود متراکم پدیده جدیدی در علم مصالح ساختمانی است که کمتر از دو دهه از عمر آن می‌گذرد. چنین بتنی بدون نیاز به هیچ لرزاننده ای تحت اثر وزن خودتراکم شده و از کارایی بالایی برخوردار است. در اوایل دهه ۸۰ میلادی دوام سازه های بتنی از موضوعات مورد علاقه محققین به ویژه محققین ژاپنی قرار گرفت. برای ساخت یک سازه بتنی با دوام، بتن در فاز خمیری باید به خوبی متراکم و نگهداری گردد. وجود مشکلات اجرایی و هزینه بالای نیروی کار در ژاپن باعث تقویت ایده ساخت بتن خودتراکم توسط Okamoura در سال ۱۹۸۶ گردید و اولین مدل بتن خودتراکم در سال ۱۹۹۸ تکمیل و ساخته شد[۶،۳]. این بتن با ویژگی های خاص خود، امکانات جدیدی را در اختیار قرار داده که با استفاده از آن می توان بر مشکلاتی که ناشی از عدم تراکم مناسب در سازههای بتنی میباشد از جمله کاهش عمر و دوام سازه‌ها فائق آمد.

امروزه چنین بتنی به خصوص با تولید نسل جدید فوق روان کننده‌ها و افزودنی های بتن در بسیاری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله مزایای استفاده از بتن خودتراکم می توان به افزایش سرعت اجرا، کاهش نیروی انسانی، اطمینان از تراکم کافی بتن در مناطق با تراکم میلگرد بالا، کاهش آلودگی صوتی، بالا رفتن کیفیت نهایی محصول و از همه مهمتر صرفه جویی اقتصادی اشاره کرد[۷،۸]. بتن خودتراکم از نظر خواص دارای معایبی نیز می باشد که از مهمترین معایب آن مقاومت کششی کم آن است، به همین دلیل دارای شکل پذیری کم و تردی زیاد می باشد. برای رفع این عیب از تسلیح بتن توسط میلگردهای فولادی استفاده می شود. این میلگردها به صورت متمرکز در بتن قرار می گیرند و تا حد خیلی زیاد ضعف مقاومت کششی بتن را جبران می کند. استفاده از میلگرد در همه جا امکانپذیر نبوده یا باعث هزینه های زیادی می شود، مانند: پوسته کانال های آب، روسازی، فرودگاه‌ها و.... از این رو برای رفع این مشکل در چند دهه اخیر از رشته های الیاف که به صورت یکنواخت در حجم بتن پراکنده استفاده می شود که ایده آن به قرنها قبل مانند استفاده از کاه یا موی دم اسب در خشت های گلی برمی گردد. انهدام و زوال بتن به شدت به تشکیل ترک‌ها و ریزترک‌ها در اثر بارگذاری و یا تأثیرات محیطی وابسته است. تغییرات گرمایی و رطوبتی در خمیر سیمان باعث ایجاد ریز ترک‌ها می شوند و چنین ریز ترک هایی در سطح دانه های درشت متمرکز می شوند. با تأثیر بیشتر بارگذاری و نیز سایر مسائل محیطی، ریز ترک‌ها در جسم بتن منتشر می شود[۹،۱۰،۱۱]. استفاده از الیاف در بتن‌های خود متراکم مزایا و معایبی در پی دارد. از مزایای آن می‌توان به افزایش شکل‌پذیری بتن و بهبود خواص مکانیکی آن اشاره نمود. همچنین استفاده از الیاف می‌تواند خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی بتن خود متراکم اجرا شده در لایه‌های مجزا را تحت تأثیر قرار دهد.استفاده از الیاف مختلف در بتن و ساخت بتن الیافی به عنوان یک گام موثر در جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها و ترک‌ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می شود. مهمترین مشخصه بتن الیافی خاصیت جذب انرژی، انعطاف پذیری و مقاومت در برابر ضربه است. به همین دلیل امروزه این بتن نقش بسیار جدی در پیشرفت تکنولوژی بتن ایفا کرده و به عنوان یک ماده جدید و اقتصادی در مسائل ساختمانی محسوب شده است[۱۲،۱۳،۳۷]. خاصیت جذب انرژی و طاقت بتن می تواند به نحو مطلوبی خطر شکست سازه های بتنی به خصوص در مناطقی که تحت بارهای مکرر و لرزه ای قرار می گیرند را کاهش دهد. ناحیه تماس که به اسامی مختلفی مانند لایه مرزی یا منطقه انتقالی نامیده می شود، ناحیه مرزی بین خمیر سیمان و سطح سنگدانه با الیاف پدید می آید که نقش مهمی در نفوذپذیری و مقاومت بتن دارد. ناحیه تماس دارای میکرو ساختاری متفاوت با خمیر سیمان بوده و دارای تخلخل و ریزترک های بیشتری است. ضخامت ناحیه تماس، تابع نوع الیاف، نوع سیمان، نوع پوزولان مصرفی، نسبت آب به سیمان و سن بتن می باشد. بتن خودتراکم مسلح به الیاف به دلایلی نظیر لزجت مناسب، روانی بالا، بهبود دوام، پایایی و خواص مکانیکی همچون کرنش جمع شدگی و مقاومت های فشاری، کششی و خمشی در اهداف گوناگون از جمله نوسازی و بهسازی مورد استفاده قرار می گیرد. حضور الیاف در بتن خودتراکم تا حد زیاد می تواند خواص رفتار شناسی و مکانیکی مخلوط را بهبود بخشد، اما افزایش بیش از حد حجم الیاف تا حد زیادی از میزان کارایی و کارپذیری مخلوط می کاهد[۱۴،۱۵]. این مسئله باعث افزایش حجم هوای محبوس در مخلوط شده و در نتیجه کاهش مقاومت و عمر بهره برداری مصالح را در بر خواهد داشت. از این رو دستیابی به مقدار بهینه الیاف در بتن خودتراکم برای رسیدن به ترکیبی پایدار با روانی مناسب و خواص سخت شده قابل قبول از اهمیت زیادی برخوردار است[۱۶].

در بتن الیافی، مانند بتن معمولی، می‌توان از پوزولان‌ها و دیگر مواد مضاف استفاده کرد. الیاف در شکل‌ها و اندازه‌های متفاوت، و از جنس فولاد،مواد پلیمری، شیشه و مواد طبیعی مورد استفاده قرار میگیرد.خمیر سیمان هیدراته شده و بتن تا اندازه ای شکننده می‌باشد. هدف از مسلح نمودن بتن با الیاف ، افزایش مقاومت کششی ، جلوگیری از توسعه ترکها و افزایش سختی بوسیله انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک می‌باشد. بدین ترتیب در

مقایسه با بتن بدون الیاف، امکان تغییر شکلهای بزرگ تری فراهم می‌شود[۲۵].

بتن غیر مسلح، مقاومت کششی وظرفیت کرنشی کمی در گسیختگی دارد. این کمبودهای بتن به طور سنتی بوسیله میل گردها و یا فولاد پیش تنیدگی جبران شده است. میل گردها متصل و پیوسته هستند و عملکرد سازه را بهینه می‌کنند. در مقابل الیاف نا پیوسته بوده و به صورت تصادفی در حجم بتن پراکنده اند. هر چند هنوز کاربردهای سازه‌های الیافی در کمیته ACI-318 ارایه نشده ولی در حال حاضر از الیاف به عنوان مسلح کننده مضاعف در سازه‌ها و قطعات بتنی استفاده میشود[۲۴].

در تسلیح الیافی بتن، در جریان عمل اختلاط، الیاف در درون بتن به طور نامنظم و درجهات مختلف پخش می شوند. در بتن تازه، با تعیین مقدار، نوع و اندازه مناسب الیاف، جمع شدگی و به تبع آن ترک‌ها به میزان قابل توجهی کاهش می یابند و از طرفی در بتن سخت شده، الیافی که به طور نامنظم پخش شده اند با متوقف کردن رشد ترک های ریز و ممانعت از ائتلاف آن‌ها و پل زدن ترک های بزری و انتقال نیرو از عرض این ترک ها، نفوذپذیری را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند و در واقع الیاف با ایجاد پیوندهای مختلف با اجزای بتن، موجب انسداد و یا حبس تخلخل بتن شده و موجب کاهش نفوذپذیری آن می گردند[۲۸].

در حالت کلی مزایای بتن الیافی در مقایسه با بتن معمولی بدون الیاف بشرح زیر می باشد[۲۹]:

- افزایش دوام بتن
- قابلیت کششی بالای بتن و افزایش ظرفیت تغییر شکل نسبی آن
- قابلیت باربری بالا بعد از ترک خوردگی
- افزایش میزان جذب انرژی
- مقاومت در مقابل تنش های خستگی
- مقاومت بالا در مقابل ضربه
- مقاومت در مقابل تورق و سایش و هوازدگی سطح بتن
- سرعت بالای اجرا

قابل ذکر است که بتن های مسلح الیافی مناسب ترین مصالح مورد استفاده در ساخت بناهای مقاوم در برابر ضربه همچون سازه پناهگاه‌ها و انبارهای نگهداری مواد منفجره نیز به شمار می روند و بناهای ساخته شده از این نوع بتن قابلیت فوق العاده ای در جذب انرژی ضربه دارند[۲۹].استفاده از این نوع بتن در ساخت باند فرودگاه ها، کف سالن های مختلف صنعتی و ورزشی، پی ماشین آلات سنگین در کارخانه ها، پل ها، پارکینگ ها، پیاده روها، روسازی راه ها، سازه های دریایی، کانال های آب، ساخت قطعات پیشساخته ساختمانی همچون پانل‌ها و یا بتن شاتکریت روی سطوح انحنادار سازه‌ها و شیروانی‌ها توسعه فراوانی یافته است[۲۹،۲۶] .

بتن بعلت داشتن ویژگی های خاص، ازجمله مشخصات مکانیکی مطلوب، سهولت تهیه و صرفه اقتصادی، علاوه بر استفاده های معمول، رایجترین کامپوزیت برای ساخت پانل های مقاوم حجیم میباشد. زمانی که یک پرتابه به هدف بتنی برخورد میکند، مانع در اثر فشار، سوراخ شده و پرتابه داخل آن نفوذ میکند. موج تنش بوجود آمده بعد از طی کردن ضخامت بتن و با رسیدن به سمت عقبی مانع، بصورت موج کششی برگشت مییابد که به علت ضعف بتن در کشش آسیب فراوانی ایجاد می شود[۲۹].

بتن الیافی چسبندگی بهتری به میلگردها دارد.در ضمن بتن الیافی بسیار دیرتر دچار خستگی می شود.به علت کاهش نفوذپذیری، بتن در برابر سیکل های ذوب و انجماد مقاومت بیشتری خواهد داشت. کاربرد الیاف در شاتکریت باعث کاهش برگشت به میزان قابل توجهی می شود و از نظر اقتصادی بسیار مناسب است.

همچنین آب انداختگی بتن باعث ایجاد ترک های ریزی می شود که اصطلاحاً ترک پوست سوسماری گفته می شود. الیاف در بتن مانند الیاف پلیپروپیلن، باعث جلوگیری از آب انداختگی بتن شده و از انتقال آب به سطح بتن جلو گیری می کند که نتیجه آن همگن شدن بتن و یکسان سازی نسبت آب به سیمان در تمام بتن و تداوم عمل هیدراتاسیون می باشد. این الیاف نفوذپذیری سطح بتن را کاهش داده و موجب افزایش مقاومت سایشی بتن می شود و لذا سطح بتن دچار خردشدگی و ورقه شدن نمی گردد.

کاهش ترک خوردگی در سنین اولیه بتن و جلوگیری از آب انداختگی آن به معنی جلوگیری از ایجاد نقاط ضعف در بتن بوده و بعد از سخت شدن بتن، جلوی جمع شدگی آن را می گیرد و از ایجاد ترک های حرارتی به میزان بسیار زیادی جلوگیری می کند (جایگزین مناسبی برای میلگرد حرارتی).همچنین از نفوذپذیری بتن کاسته شده و نفوذ عوامل خورنده به داخل بتن کمتر شده و دوام بتن افزایش مییابد.

بتن الیافی دارای شکل پذیری بسیار زیادی میباشد حتی بعد از رسیدن به مقاومت نهایی هرگز خرد نمیشود. با توجه به تاکید زیاد متخصصان امر بر شکل پذیری اعضا بویژه در مناطق زلزله خیز که باعث کاهش خسارات و تلفات می شود، استفاده از بتن الیافی در ساخت و ساز بسیار مناسب می باشد[۲۹].

در یک دسته بندی کلی می‌توان نسلهای مختلف بین الباقی را به لحاظ کاربرد به صورت زیر دسته بندی نمود:

- بتن‌های الیافی با الیاف کم حجم الیاف کمتر از ۱٪ که جهت کاهش میزان جمع شدگی در بتن استفاده میشود.
- متن‌های الیافی با الیاف متوسط (حجم الیاف کمتر از ۱٪ تا ۲٪) که هدف افزودن الیاف اصلاح خواص سازه ای نظیر برش، عرض ترک و رقار خمشی میباشد که این نوع بتن بیشتر در کف‌های صنعتی بکار میرود.
- بتن‌های الیافی توانمند(HRFR) که از نسلهای پیشرفته بتن الیافی بشمار می‌آیند حجم الیاف در این دسته از بتن‌ها از ۲٪ تا ۲۰٪ متفاوت بوده و دارای انواع مختلف میباشد[۳۰،۳۱].

هر فن آوری همواره کاربردها و محدویت‌های خاص خود را دارد. بتن الیافی خواص مناسبی همچون شکل‌پذیری بالا، مقاومت فوق العاده، قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن را دارا می‌باشد که متناسب با آنها می‌توان موارد کاربرد فراوانی برای آن بافت بطور مثال در ساخت کف سالنهای صنعتی، می‌توان از این نوع بتن به جای بتن آرماتوری متداول سود جست. این نوع بتن از بهترین مصالح مورد استفاده در ساخت بناهای مقاوم در برابر ضربه، همچون سازه پناهگاه‌ها و انبارهای نگهداری مواد منفجره به شمار میرود و بناهای شکل گرفته از بتن، قابلیت فوق العاده ای در جذب انرژی ضربه دارد. همچنین در ساخت باند فرودگاه‌ها به خوبی می‌توان از این نوع بتن کمک گرفت. موارد دیگری از بکارگیری این بتن، ساخت قطعات پیش ساخته ساختمانی همچون پلنل‌ها و پاشش بتن روی سطح انحنای یک سازه می‌باشد. علاوه بر موارد یاد شده می‌توان از مزایایی همچون عایق بودن سازه در باربر صدا و سرعت بالای اجرا نیز بهره مند گردید.

اما از آنجا که نحوه قرار گرفتن الیاف داخل بتن، کاملا تصادفی می‌باشد، از این بتن معمولا نمی توان به نحو مطلوبی در ساخت تیرها و ستونها بهره گرفت و در این نوع سازه‌ها استفاده از روش سنتی و شبکه بندی فولادی به صرفه تر و مناسب تر می‌باشد. لازم است به این نکته توجه شود که ناکارآمدی یک تکنولوژی جدید، نباید مانع نادیده گرفتن کاربردهای مناسب و نقاط قوت آن گردد [۳۲].

باید اعتراف کرد که استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه تر نمی باشد. اما بر اساس برآوردهایی که توسط بعضی از متخصصین کشور انجام گرفته است، در جاهایی که سرعت اجرای بالا مدنظر است و یا نیاز به پاشش بتن (شات کریت) روی سطوح ویژه ای است، استفاده از این نوع بتن توصیه می‌گردد.

از زمانهای کهن، الیاف برای مسلح کردن مصالح فرد مورد استفاده قرار می‌گرفته اند. از کاه برای مسلح کردن آجرهای خشتی گلی و موی اسب برای مسلح کردن ملات بنایی استفاده شده است.در زمان‌های نزدیک تر الیاف آزبست در محصولات ساختمانی با پایه سیمانی در ابعاد صنعتی مورد استفاده قرار گرفته، اما به علت مشکلات زیست محیطی و بهداشتی آزبست، انواع جایگزین این نوع الیاف، از دهه ۱۹۶۰ به کار گرفته شده اند. بررسی‌ها نشان می دهند که تفکر استفاده از الیاف از روزگاران باستان وجود داشته است. مصریان قدیم از کاه برای مسلح کردن آجرهای گلی استفاده می کردند. همچنین الیاف پنبه نسوز برای مسلح کردن رس در ۵۰۰۰ سال پیش استفاده شده است. علاوه بر این از موی اسب نیز برای تسلیح استفاده شده است.

Joseph Lambot در سال ۱۸۴۷ پیشنهاد کرد که با اضافه کردن الیاف پیوسته به شکل سیم به بتن یک ماده ساختمانی جدیدی می توان تولید کرد. در سال ۱۹۱۰ یک سری آزمایش‌ها برای مقاومت بتن به وسیله الیاف های کوتاه توسط Porter انجام شد. او با اضافه کردن گل میخ به بتن، افزایش مقاومت کششی و خردشدگی بتن را بدست آورد. در سال های بعد از ۱۹۱۰ ساخت المان های کامپوزیت شامل سیمان و پنبه نسوز توسط Lhatshelc توسعه یافت. در سال ۱۹۳۹ Zitkevic یک روش برای بهبود رفتار بتن مسلح یافت. او از الیاف های سیم آهنی تقریبا به طول ۱۰۰ میلیمتر و قطر ۱۰ میلیمتر که به الیاف فولادی مورد استفاده در بتن امروزی بسیار شبیه بود استفاده کرد و نتیجه گرفت که مقاومت های فشاری، کششی و برشی افزایش می یابند.

در دهه ۱۹۵۰ برای اولین بار در کشور شوروی سابق و در سال ۱۹۶۰ در ایالات متحده تحقیقاتی در مورد استفاده از الیاف فولادی در مخلوط بتن صورت گرفت و نشان داده شدکه تمرکز تنش در محل ترک های به وجود آمده بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

J. Majumdar و P.L. Walton در سال ۱۹۷۵ در انگلستان در تحقیقات خود مشخص نمودند که افزودن الیاف پلیمری همچون نایلون و پلی پروپیلن حتی در نسبت های بسیار کم، مقاومت ضربه ای مخلوط بتن را بهبود می بخشند اما تاثیر بسیار کمی بر روی مقاومت کششی یا خمشی دارند و بنابراین استفاده ازالیاف ثانویه غیرپلیمری را به عنوان تقویت کننده ثانویه به منظور بهبود مشخصات مقاومتی، پیشنهاد کردند[۲۶].

K. Kobayashi و R. Cho در بررسی رفتارخمشی نمونه های بتن تسلیح شده با الیاف پلی پروپیلنی در سال ۱۹۸۱ نشان دادند که تقویت الیافی با تحمل بار مفید بیشتر از بار اولین ترک، به وضوح سختی را افزایش می دهد و نیز رفتار بعد از ترک خوردگی به شدت متاثر از سرعت بارگذاری است چون تابع مشخصات ویسکوالاستیک الیاف پلی پروپیلنی است[۲۷].

L A Qureshi وهمکاران خواص بتن با مقاومت بالا را با افزودن

الیاف فولادی بررسی کردند .نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش الیاف فولادی، مقاومت کششی به صورت خطی افزایش می یابد و سرعت افزایش در ۷ روز اول بیشتر می باشد[۳۵].

M N Hadi آزمایشی را جهت مقایسه رفتار دال بتنی مسلح با استفاده از الیاف فولادی و پلی پروپیلن انجام داد .نتایج آزمایش نشان می دهد که افزایش ۱٪ حجمی الیاف فولادی بهترین تاثیر را در شکل پذیری دالها دارد[۳۶].

نوآوری تحقیق حاضر به جهت تهیه بتن خودتراکم دارای الیاف در لایه‌های مجزا (با فاصله زمانی) به جهت بررسی پیوستگی بین لایه‌ها و تأثیر الیاف بر این موضوع میباشد.

۲. روش تحقیق

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع تیپ یک صادراتی محصول کارخانه سیمان صوفیان تبریز میباشد. وزن مخصوص این سیمان با اطلاعات بدست آمده از کارخانه سازنده برابر ۳۱۳۰ کیلوگرم در متر مکعب بدست آمد. ضمناً نرمی آن برابر ۲۹۵۰ سانتیمتر مربع بر گرم میباشد.

۲-۱-۲- آب

آب مصرفی در ساخت مخلوطها از آب لوله کشی شهر تبریز تأمین شد. میزان pH این آب در حدود ۵/۷ می باشد و غلظت یون کلرید آن نیز ۰/۱۳۴ می باشد. .

۲-۱-۳- سنگدانه ها

سنگدانه درشت مصرفی در این تحقیق از نوع رودخانه ای شهر تبریز و کارخانه ماسه شویی سرام با وزن مخصوص ۲/۶۴ گرم بر سانتیمتر مربع و ظرفیت جذب آب٪ ۲/۴ بر اساس استاندارد ASTM C128 بوده است و حداکثر اندازه قطر شن‌ها ۱۵ میلی متر می‌باشد.

سنگدانه ریز مصرفی در این پژوهش از معدن شرکت سرام در منطقه آناخاتون شهر تبریز میباشد که در شمال غربی این شهر واقع شده است.

۲-۱-۳- فوق روان کننده

فوق روان کننده استفاده شده در این آزمایش با نام تجاری البرز شیمی آسیا و نام علمی پلی کربوکسیلات اصلاح شده (دیرگیر) که برپایه کربوکسیلات اتر می‌باشد.

۲-۱-۳- الیاف فلزی

الیاف آلیاژی فولاد با سیم فولادی کربن پایین و نورد سرد با بهترین کیفیت توسط صنایع فولاد وندشیمی از بهترین و با کیفیت ترین مواد سیمی که در ردیف و رنج بالای می باشد تولید می شود. در جدول ۱ مشخصات فنی الیاف ذکر شده است.

جدول(۱). مشخصات فنی الیاف فولادی

شکل ظاهری	تیره رنگ
وزن مخصوص	۱۵۰۰کیلوگرم بر متر مکعب
طول	۳۵ میلی متر
قطر	۰/۴ میلی متر
مقاومت کششی	۵۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع

۲-۱-۴- الیاف شیشه

این الیاف از نوع E-Glass میباشدکه مشخصات فنی آن در جدول ۲ ذکر شده است.

شکل ظاهری	روشن رنگ
وزن مخصوص	۹۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب
طول	۶ میلی متر
قطر	۰/۲ میلی متر
مقاومت کششی	۳۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع

۲-۱-۵- خاکستر بادی

خاکستر بادی مورد استفاده در این پروژه از نوع F وارداتی می باشد که محصول شرکت Dirk هندوستان میباشد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکستر بادی طبق استاندارد ASTM C 618 میباشد.

۲-۲- طرح اختلاط SCC

روش طرح اختلاط در مرجع EFNARC براساس روش لبداع شده توسط okamura ارائه شده است .

خلاصه روش به شرح زیر می‌باشد .

- تعیین مقدار سنگدانه درشت
- تعیین مقدار سنگدانه ریز
- طراحی اجزا خمیر سیمان
- تعیین نسبت بهینه آب به پودر (سیمان) و مقدار فوق روان کننده

در این پژوهش از دو نوع الیاف فولادی و شیشه‌ای و یک نوع پوزولان خاکستر بادی استفاده شده است.در طرح‌های اختلاط الیاف به صورت جداگانه و در ترکیب باهم به مقدار ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزن سیمان به بتن اضافه شده است.مقدار نسبت آب به مواد سیمانی و مقدار خاکستر بادی در تمامی طرح‌های اختلاط‌ها ثابت است .

۲-۳- روش ساخت مخلوط ها

نحوه ساخت مخلوط‌ها بدین گونه بوده که ابتدا مصالح مورد نیاز به صورت دقیق توزین شده و سپس شن و ماسه توزین شده ، داخل مخلوط کن آزمایشگاه ریخته شده و به مدت یک دقیقه جهت حصول همگنی بصورت خشک مخلوط می‌شوند سپس سیمان و پوزولان از پیش توزین شده به مخلوط اضافه شده و بعد

از ۱ دقیقه اختلاط در مرحله سوم ۶۰ ٪ آب اختلاط به مخلوط اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه عمل اختلاط انجام شده است. سپس به منظور بازدهی فرآیند اختلاط ابتدا فوق روان کننده با باقیمانده آب مخلوط گردیده و سپس به مخلوط اضافه شده است مخلوط حاصله پس از افزودن آخرین جزء به مدت ۵ دقیقه مخلوط شده و بدین ترتیب بتن مورد نظر حاصل شده است .

پس از اتمام عملیات ساخت ، بلافاصله آزمایش روانی بتن خودتراکم ، قیف V روی مخلوط بتن تازه انجام شده است تا پس از حصول نتیجه مطلوب از بتن تازه شروع به نمونه گیری شده است.

برای آزمایش مقاومت برشی مورب بتن خودتراکم مورد آزمایش تعداد ۳۰ عدد قالب ۱۵ × ۱۵ × ۱۵ را با زاویه ۴۵ درجه همانند شکل قرار داده و لایه اول بتن خودتراکم آماده شده را در تمامی قالب‌ها ریخته شده است . بعد از گذشت زمانهای ۰، ۴۰ ، ۸۰ ، ۱۲۰ و ۱۶۰ دقیقه لایه دوم را برای هر زمان دو قالب بتن ریزی می‌نماییم که برای شکست ۲۸ روزه آزمایش گردید و میانگین مقاومت‌ها به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است .

بعد از گذشت ۲۴ ساعت از زمان بتن ریزی نمونه‌ها را از قالب خارج نموده و به مدت معین در دمای آزمایشگاه در حوضچه ی آب قرار می‌دهیم و بعد از گذشت ۲۸ روز نمونه‌های مورد نظر را برای به دست آوردن مقاومت ۲۸ روزه از داخل حوضچه بیرون آورده و بعد از خشک شدن ظاهری نمونه‌ها در عرض حدود ۴ ساعت آنها را زیر دستگاه تعیین کننده مقاومت فشاری قرار می‌دهیم و نتیجه را برای هر نمونه ثبت می‌نماییم .میانگین مقاومت دو نمونه را به عنوان مقاومت فشاری آن نمونه محاسبه شده است.

شکل (۱). سنجش مقاومت برشی مورب

برای آزمایش مقاومت برشی مستقیم بتن خودتراکم مورد آزمایش تعداد ۳۰ عدد قالب مخصوص خودمان مطابق شکل ۲ را در یک لایه بتن ریزی می کنیم و بعد از گذشت زمان های ۰،۴۰،۸۰،۱۲۰،۱۶۰ دقیقه لایه دوم را برای هر زمان دو نمونه را بتن ریزی می نماییم.

شکل (۲). سنجش مقاومت برشی مستقیم

برای آزمایش مقاومت کششی تحت شکافت بتن خودتراکم مورد آزمایش تعداد ۳۰ عدد قالب ۱۵ × ۱۵ × ۱۵ را همانند شکل ۳ قرارداده و لایه اول بتن ریزی را به اندازه نصف ارتفاع قالب در تمامی قالب‌ها انجام می‌دهیم . بعد از گذشت زمان های۰،۴۰،۸۰،۱۲۰،۱۶۰ دقیقه لایه دوم ریخته می‌شود برای هر زمان دو قالب بتن ریزی می‌نماییم که برای شکست ۲۸ روزه آزمایش گردید و میانگین مقاومت‌ها به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است.

شکل (۳). سنجش مقاومت کششی تحت شکافت

۲-۴- آزمایش اسلامپ

محور مخروط را در مرکز صفحه ترازشده و مرطوب قرار داده و درون مخروط نیز مرطوب می شود.سپس یک لیتر بتن را به وسیله کمچه به داخل مخروط ریخته و سطح بتن را در بالای آن صاف میکنیم. پر کردن مخروط اسلامپ باید بدون هیچ گونه تراکم داخلی و خارجی انجام شود[17]. همچنین ریختن بتن به داخل مخروط باید به صورتی باشد که از تجمع درشت دانه‌ها در یک سمت مخروط و ریز دانه‌ها در سمت دیگر اجتناب شود. پس از پر شدن کامل، مخروط را با سرعتی ثابت که نه سریع باشد و نه آهسته به صورت قائم بالا کشیده و از این لحظه زمان رسیدن

بتن به قطر ۵۰ سانتیمتر را ثبت می شود. با مشاهده توقف حرکت بتن دو قطر عمود بر هم در دایره تشکیل شده را اندازه گیری کرده و میانگین آن‌ها را یادداشت می کنیم، درصورت وجود هرگونه شیره در اطراف بتن پخش شده آن را ثبت می کنیم [۱۸].قطر دایره ای که پس از پخش شدن ایجاد میشود نشان دهنده تنش تسلیم بتن تازه و معیار سنجش قابلیت پرکنندگی بتن است و با توجه به آزمایش های انجام شده روی بتن های گوناگون نتایج بدین گونه قابل تفسیرند که اگر مقدار میانگین دو قطر کمتر از ۵۵۰ میلیمتر باشد نشان دهنده تنش تسیلم زیاد و کارپذیری کم بتن است[19]. اگر مقدارمیانگین دوقطر از ۸۵۰ میلیمتر بیشتر باشد، تنش تسلیم کم بوده و بر مبنای نتایج به دست آمده از آزمایش جریان احتمال جداشدگی وجود دارد. موسسه EFNARC اسلامپ بتن تازه را مطابق با جدول ۲-۱ به سه رده طبقه بندی می کند.

جدول(۲). نتایج جریان اسلامپ بتن تازه طبق طبقه بندی موسسه EFNARC [20,21]

جریان اسلامپ (cm)	رده بتن
۶۵-۵۵	SF1
۷۵-۶۶	SF2
۸۵-۷۶	SF2

۲-۵- آزمایش حلقه جی

برای انجام این آزمایش لازم است صفحه پایه و قسمت درونی مخروط اسلامپ را مرطوب و مرکز حلقه J را بر مرکز صفحه پایه منطبق کرده، سپس مخروط اسلامپ را در مرکز آن قرار داده شود. پس از ریختن ۶ لیتر بتن به وسیله کمچه به داخل مخروط اسلامپ و صاف کردن سطح بتن در بالای آن بوسیله ماله، مخروط را با سرعتی ثابت که نه سریع باشد و نه آهسته به صورت قائم بالا کشیده و اجازه را در چهار نقطه داده می شود بتن به صورت آزاد جریان یابد. اختلاف ارتفاع بتن داخل و خارج حلقه J اندازه گرفته و میانگین گیری می شود. قطر نهائی بتن در دوجهت عمود بر هم در دایره تشکیل شده را اندازه گرفته و میانگین آن‌ها را یادداشت کرده. همچنین در صورت وجود هرگونه شیره در اطراف بتن پخش شده آن را اندازه گیری میکنند[22].

شکل(۴). دستگاه مخروط اسلامپ و صفحه پایه و حلقه j

۲-۶- آزمایش قیف V شکل

این آزمایش در کشور ژاپن توسعه یافته و توسط Ozawa و همکاران مورد استفاده قرار گرفته است[۲۳،۲۴]. مدت زمان خروج بتن از یک قیف V شکل استاندارد اندازهگیری شده و به عنوان معیاری برای تعیین قابلیت پرکنندگی و لزجت خمیری بتن مورد استفاده قرار میگیرد. همچنین این آزمایش میتواند به عنوان معیاری برای تعیین جداشدگی بتن مورد استفاده قرار بگیرد. علاوه بر مدت زمان خروج بتن که در این آزمایش اندازه گیری میشود نحوه خروج بتن از قیف و یکنواختی بتن خارج شده نیز مهم می باشد. همچنین این دستگاه می تواند شاخص خوبی در خصوص میزان همگنی بتن به صورت شهودی باشد[۲۵،۲۶]. دستگاه استاندرد آزمایش قیف V شکل در شکل(۵) نشان داده شده است. پس از قرار دادن قیف V شکل و پایه آن بروی زمین، سطوح درونی قیف را مرطوب و دریچه را بسته و سطلی ۱۲ لیتری زیر دستگاه قرار می گیرد . سپس حدود ۱۲ لیتر بتن که به صورت معمولی نمونه برداری شده را درون قیف ریخته می شود. در طول آزمایش هیچ گونه فشرده سازی، یا ضربه زدن به بدنه دستگاه نباید صورت گیرد. پس از گذشت ۱۰ ثانیه دریچه را باز کرده و اجازه داده می شود تا بتن تحت وزن خود به بیرون جریان یابد. زمان خروج بتن را یادداشت و در ادامه بار دیگر قیف را از بتن پر کرده و به مدت ۵ دقیقه رها گذاشته می شود، سپس دریچه را باز نموده و زمان خروج بتن از قیف اندازه گرفته می شود[۲۷]. این دستگاه نمی تواند قابلیت عبور و آب انداختگی را نشان دهد، هر چند به صورت چشمی می توان از روی آبی که پس از ۵ دقیقه بر روی بتن جمع شده، به میزان آب لنداختگی بتن خودتراکم پی برد [۲۸،۲۹] .

شکل(۵). دستگاه قیف V شکل

۲-۷-آزمایش جعبه L شکل

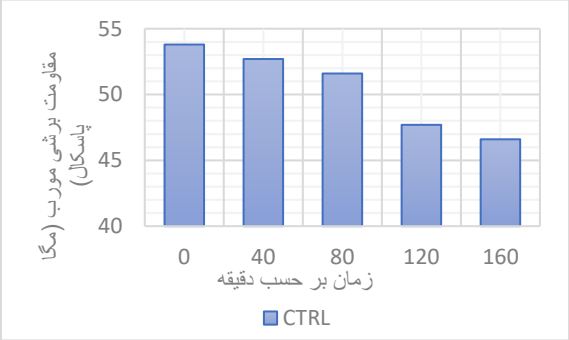
این آزمایش بر اساس یک طرح ژاپنی برای بتن های زیر آب توسط پترسون توسعه یافته است[۳۰،۳۱]. قابلیت پر کنندگی و قابلیت عبور بتن خودتراکم می باشد. همچنین میتوان وجود یا عدم وجود جداشدگی بتن را به صورت چشمی مشاهده نمود. این آزمایش به منظور بررسی قابلیت جریان بتن تازه و پدیده انسداد ناشی ازحضور میلگردها طراحی شده است.دستگاه این آزمایش شامل دو قسمت می باشد. بخش عمودی که از بتن پر می شود به همراه دریچه ای در قسمت پائینی که پشت آن میلگردها به فواصل معینی تعبیه شده اند و بخش افقی که در فواصل ۲۰ و ۴۰ سانتیمتر از دریچه علامتگذاری شده است. نوع دیگری از دستگاه جعبه L شکل وجود دارد که محل میلگردها به فاصله ۷ سانتیمتری از دریچه تخلیه بتن قرار دارد. در حدود ۱۴ لیتر بتن که به صورت معمولی نمونه برداری شده است برای انجام آزمایش لازم میباشد که سطوح داخلی دستگاه را مرطوب و بخش عمودی دستگاه را با نمونه بتن پر می شود. آن را به مدت ۱ دقیقه رها کرده و دریچه متحرک را بلند کرده و اجازه داده می شودکه بتن به داخل بخش افقی جریان یابد همزمان کرنومتر را فعال و مدت زمانی که طول می کشد بتن به نقاط ۲۰ سانتیمتر و ۴۰ سانتیمتر برسد ثبت می شود. پس ازتوقف جریان، ارتفاع بتن در انتهای بخش افقی ۲h را اندازه گرفته و ارتفاع در بخش عمودی ۱h و از تقسیم این دو ارتفاع نسبت انسداد حاصل می شود [۳۲،۳۳].

شکل (۶). دستگاه استاندرد آزمایش جعبهL

۳. نتایج و بحث

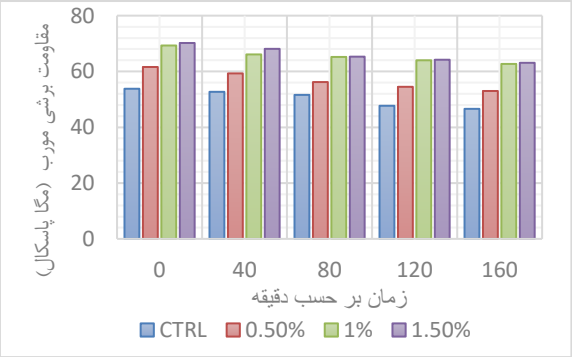
۳-۱-مقاومت برشی مورب

نتایج آزمایشات مقاومت برشی مورب بر روی بتن خود متراکم بدون الیاف(نمونه کنترل) در نمودار شکل ۴ و نتایج آزمایشات بتن خود متراکم دارای الیاف در نمودار شکل ۵ تا ۸ ارائه شده است[۳۴،۳۵،۳۶].



شکل (۷). نمودار مقاومت برشی مورب نمونه کنترل

چنانچه در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است مقاومت برشی مورب نمونه کنترل در زمان T=۴۰ دقیقه ، ۴ درصد کاهش یافته است و با افزایش زمان بتن ریزی لایه دوم این مقدار افزایش یافته است. بطوریکه مقاومت برشی مورب در T=۱۶۰ دقیقه ، ۱۴ درصد کاهش یافته است.

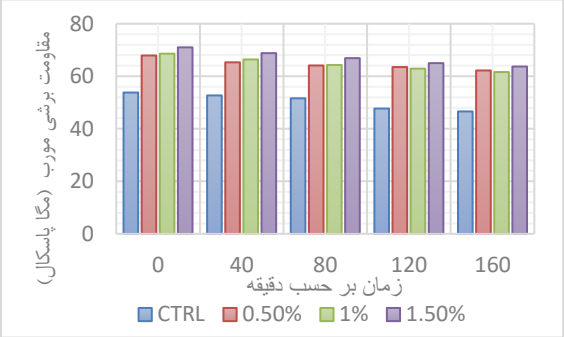


شکل (۸). نمودار مقاومت برشی مورب نمونه حاوی الیاف شیشه

چنانچه در نمودار شکل ۸ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف شیشه نسبت به نمونه کنترل ۱۴ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۲۴ و ۲۸ درصد افزایش یافته است.

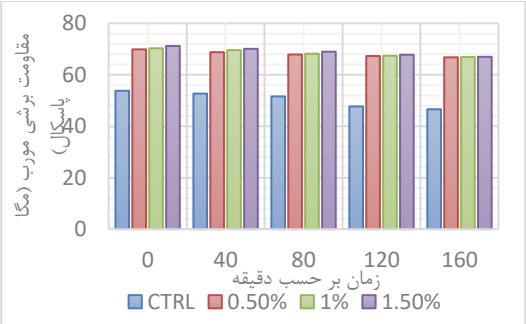
همچنین در زمان T=۴۰ دقیقه نمونه حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۲ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به

نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی الیاف شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۹ درصد کاهش یافته است.



شکل (۹). نمودار مقاومت برشی مورب نمونه حاوی الیاف فولاد

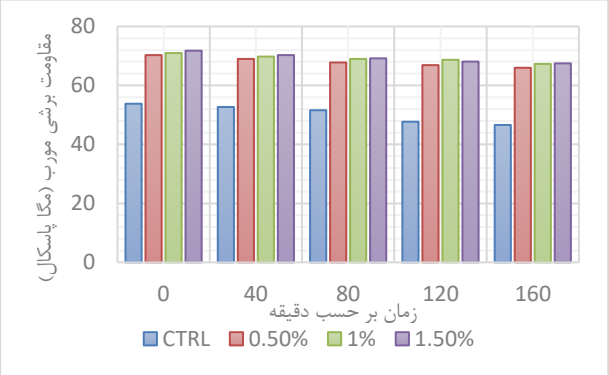
چنانچه در نمودار شکل ۹ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد نسبت به نمونه کنترل ۲۵ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۲۷ و ۳۱ درصد افزایش یافته است. همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۱/۵ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲/۵ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی الیاف فولاد ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۸ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۰). نمودار مقاومت برشی مورب نمونه دارای الیاف فولاد و شیشه به صورت مساوی

چنانچه در نمودار شکل ۱۰ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی نسبت به نمونه کنترل ۲۹ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۳۱ و ۳۴ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۱/۵ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲/۵ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۷ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۱). نمودار مقاومت برشی مورب نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه

چنانچه در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی نسبت به نمونه کنترل ۳۰ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۳۲ و ۳۵ درصد افزایش یافته است.

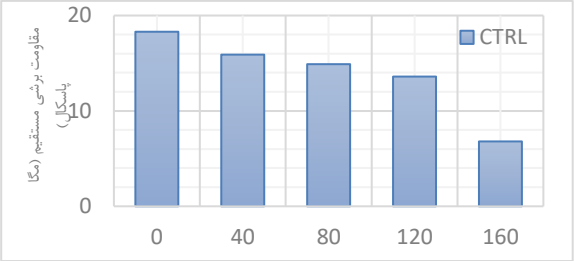
همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۱/۵ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲/۵ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی ۷۰

درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۵/۵ درصد کاهش داده است.

بهینه ترین عملکرد در مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه و به مقدار ۱/۵ درصد وزن مواد سیمانی بوده است که مقاومت برشی مورب را در زمان‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰و ۱۶۰ دقیقه نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۳۵، ۳۷، ۴۰، ۴۲و ۴۵ درصد افزایش داده است.

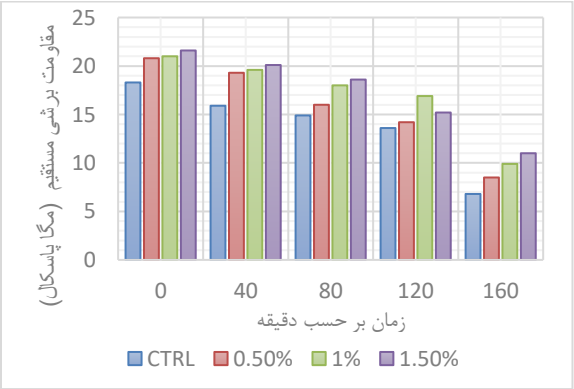
۳-۲-مقاومت برشی مستقیم

نتایج آزمایشات مقاومت برشی مستقیم بر روی بتن خود تراکم بدون الیاف (نمونه کنترل) در نمودار شکل ۹ و نتایج آزمایشات بتن خودتراکم دارای الیاف در نمودارهای شکل ۱۰ تا ۱۴ ارائه شده است[۳۴،۳۵،۳۶].



شکل (۱۲). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه کنترل

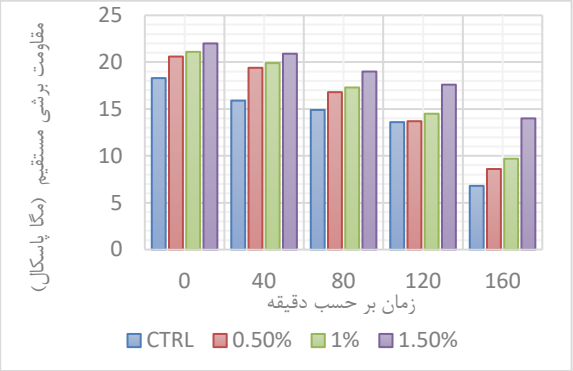
چنانچه در نمودار شکل ۱۲ نشان داده شده است مقاومت برشی مستقیم نمونه کنترل در زمان T=۴۰ دقیقه ، ۱۳ درصد کاهش یافته است و با افزایش زمان بتن ریزی لایه دوم این مقدار افزایش یافته است. بطوریکه مقاومت برشی مستقیم در T=۱۶۰ دقیقه ، ۶۲ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۳). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه کنترل

چنانچه در نمودار شکل ۱۳ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف شیشه نسبت به نمونه کنترل ۱۳ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۴ درصد و ۱۵ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مستقیم ۵ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۸ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی الیاف شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مستقیم در زمان T=۰ دقیقه ، ۵۵ درصد کاهش یافته است.

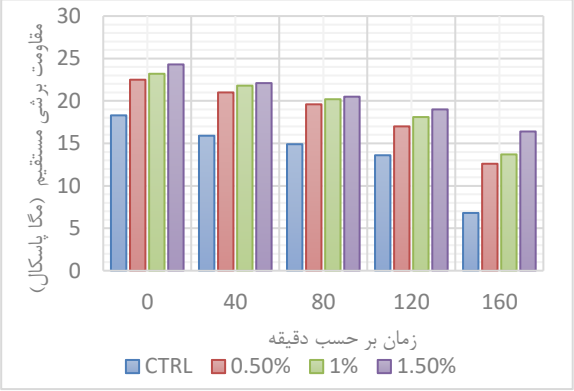


شکل (۱۴). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه حاوی الیاف فولاد

چنانچه در نمودار شکل ۱۴ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد نسبت به نمونه کنترل ۱۴ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۵ و ۱۶ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مستقیم ۶ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۷ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی الیاف فولاد ، مربوط به

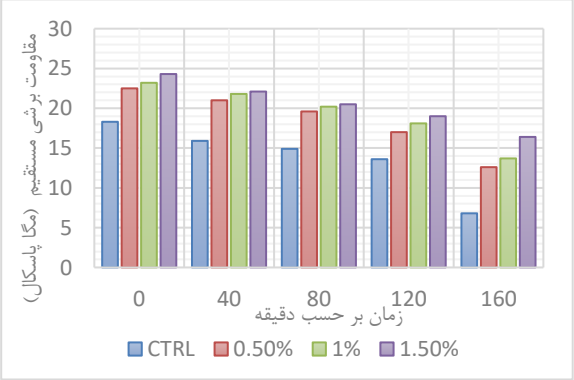
نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مستقیم در زمان T=۰ دقیقه ، ۵۱ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۵). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه حاوی الیاف فولاد

چنانچه در نمودار شکل ۱۵ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد نسبت به نمونه کنترل ۱۴ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۵ و ۱۶ درصد افزایش یافته است.

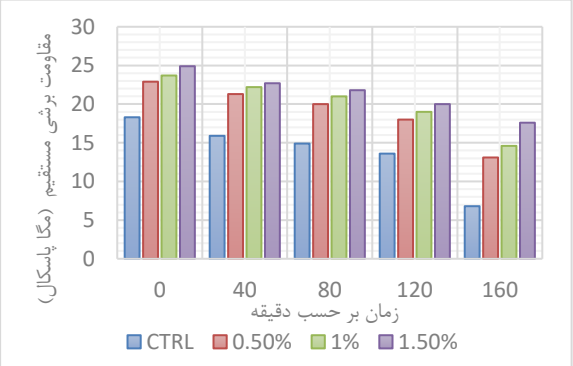
همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مستقیم ۶ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۷ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی الیاف فولاد ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مستقیم در زمان T=۰ دقیقه ، ۵۱ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۶). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه حاوی الیاف فولاد و شیشه به صورت مساوی

چنانچه در نمودار شکل ۱۶ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی نسبت به نمونه کنترل ۱۷ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۹ و ۲۰ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مستقیم ۷ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۶ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مستقیم نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مستقیم در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۸ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۷). نمودار مقاومت برشی مستقیم نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه

چنانچه در نمودار شکل ۱۷ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی نسبت به نمونه کنترل ۱۸ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۲۰ و ۲۲ درصد افزایش یافته است.

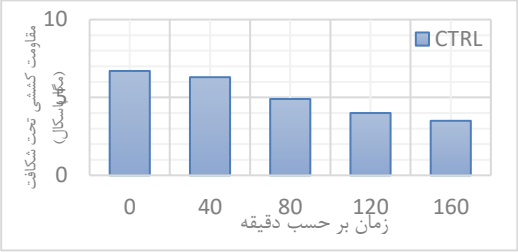
همچنین در زمان T=٤۰ دقیقه نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۸ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۵ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف

فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۵ درصد کاهش داده است.

بهینه ترین عملکرد در آزمایش مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های دارای الیاف شیشه و فولاد به صورت مساوی و به مقدار ۱٪/۵ وزن مواد سیمانی بوده است که مقاومت برشی مورب را در زمان‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰و ۱۶۰ دقیقه نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۳۶، ۳۷، ۳۷، ۳۸و ۳۹ درصد افزایش داده است.

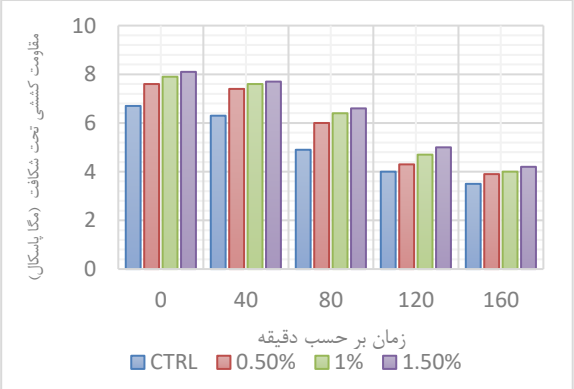
۳-۳-مقاومت کششی تحت شکافت

نتایج آزمایشات مقاومت کششی تحت شکافت بر روی بتن خود متراکم بدون الیاف(نمونه کنترل) در نمودار شکل شماره ۱۵ و نتایج آزمایشات بتن خود متراکم دارای الیاف در نمودار شکل های۱۶ تا ۱۹ ارائه شده است[۳۴،۳۵،۳۶].



شکل (۱۸). نمودار مقاومت کششی تحت شکافت نمونه کنترل

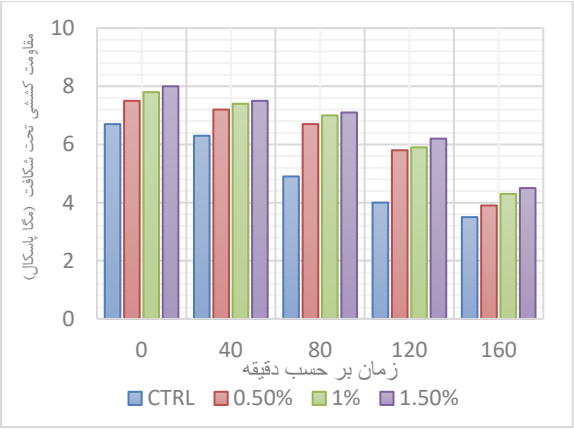
چنانچه در نمودار شکل ۱۸ نشان داده شده است مقاومت کششی تحت شکافت نمونه کنترل در زمان T=۴۰ دقیقه ، ۵ درصد کاهش یافته است و با افزایش زمان بتن ریزی لایه دوم این مقدار افزایش یافته است. بطوریکه مقاومت کششی تحت شکافت در T=۱۶۰ دقیقه ، ۴۷ درصد کاهش یافته است.



شکل (۱۹). نمودار مقاومت کششی تحت شکافت نمونه حاوی الیاف شیشه

چنانچه در نمودار شکل ۱۹ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف شیشه نسبت به نمونه کنترل ۱۴ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۵ درصد و ۱۷ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت کششی تحت شکافت ۲/۵ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲/۵ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت کششی تحت شکافت مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی الیاف شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف شیشه به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت کششی تحت شکافت در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۸ درصد کاهش یافته است.

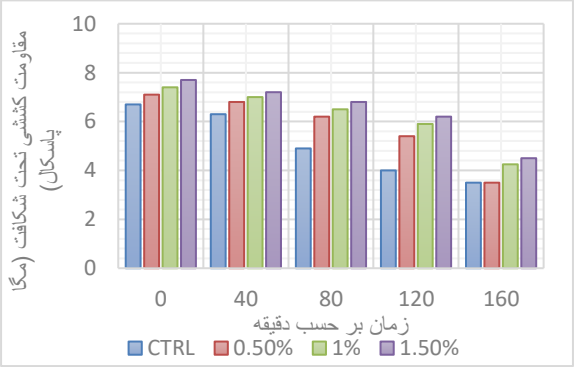


شکل (۲۰). نمودار مقاومت کششی تحت شکافت نمونه حاوی الیاف فولاد

چنانچه در نمودار شکل ۲۰ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد نسبت به نمونه کنترل ۱۳ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۵ درصد و ۱۷ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت کششی تحت شکافت ۳ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۲ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۱/۵ درصد

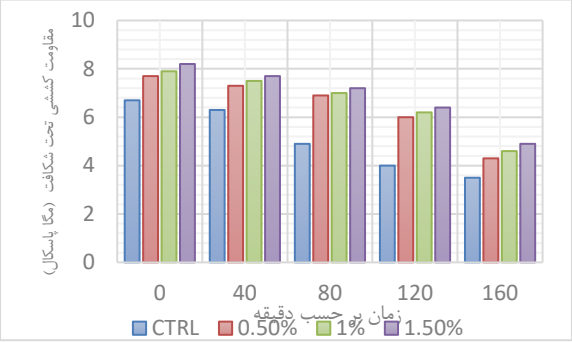
مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی الیاف فولاد ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱۶۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت کششی تحت شکافت در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۸ درصد کاهش یافته است.



شکل (۲۱). نمودار مقاومت کششی تحت شکافت نمونه حاوی الیاف فولاد و شیشه به صورت مساوی

چنانچه در نمودار شکل ۲۱ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی نسبت به نمونه کنترل ۱۲ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۳ و ۱۴ درصد افزایش یافته است.

همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت کششی تحت شکافت ۷ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۶ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت کششی تحت شکافت مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت کششی تحت شکافت نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت کششی تحت شکافت در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۸ درصد کاهش یافته است.



شکل (۲۲). نمودار مقاومت کششی تحت شکافت نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه

چنانچه در نمودار شکل ۱۹ نشان داده شده است در زمان T=۰ دقیقه مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی نسبت به نمونه کنترل ۱۴ درصد افزایش یافته است که این مقدار با افزایش مقدار الیاف به ۱ درصد و ۱/۵ درصد درصد وزن مواد سیمانی به ترتیب به ۱۶ و ۱۸ درصد افزایش یافته است.

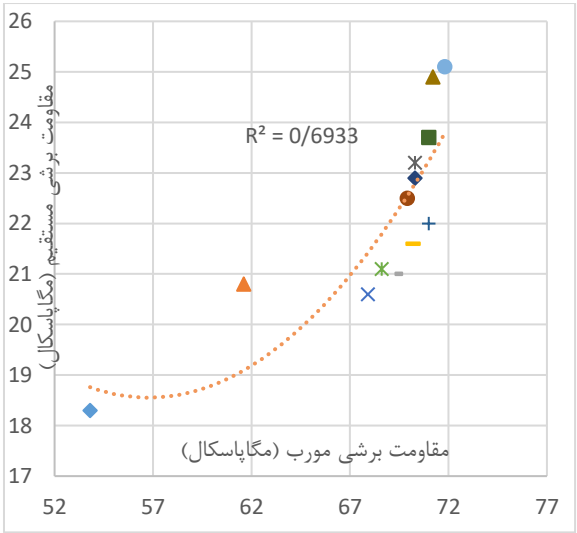
همچنین در زمان T=٤٠ دقیقه نمونه حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۰/۵ درصد وزن مواد سیمانی مقاومت برشی مورب ۲ درصد کاهش یافته است که نسبت به نمونه کنترل ۳ درصد کاهش مقاومت کمتری داشته است. بیشترین مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه به مقدار ۱/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۰ دقیقه میباشد. همچنین بیشترین کاهش مقاومت برشی مورب نمونه‌های حاوی ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد شیشه ، مربوط به نمونه‌های حاوی الیاف فولاد و شیشه بصورت مساوی به مقدار ۰/۵ درصد مواد سیمانی در زمان T=۱٦۰ دقیقه بوده است که نسبت به مقاومت برشی مورب در زمان T=۰ دقیقه ، ۴۴ درصد کاهش یافته است.

بهینه ترین عملکرد در آزمایش مقاومت کششی تحت شکافت مربوط به نمونه‌های دارای ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه و به مقدار ۱/۵درصد وزن مواد سیمانی بوده است که مقاومت برشی مورب را در زمان‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰و ۱۶۰ دقیقه نسبت به نمونه کنترل به ترتیب ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۳و ۲۷ درصد افزایش یافته است.

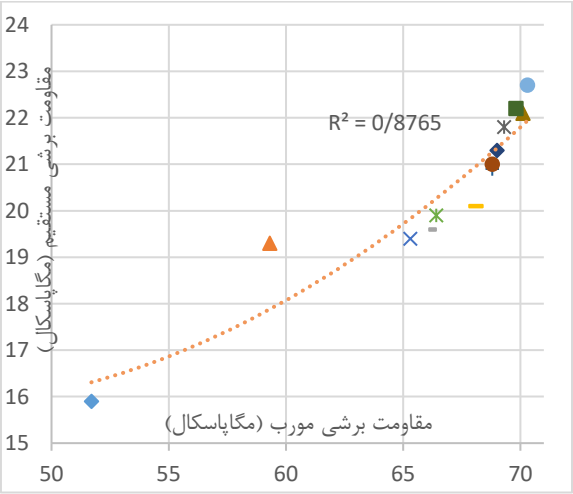
۳-۴- ارتباط مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب بتن خود متراکم حاوی الیاف

در شکل‌های ۲۰ تا ۲۴ نمودار مقاومت برشی مستقیم بر حسب مقاومت برشی مورب برای هر کدام از زمان‌های ریختن لایه ی دوم رسم شده است و سپس برازش بر مبنای رگرسیون غیر خطی بر روی داده‌ها انجام شده و ضریب همبستگی گزارش شده است.چنانچه از نمودارها برداشت میشود، همبستگی خوبی بین مقادیر بدست آمده برای مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب درزمان‌های ثابت وجود دارد[۳۴،۳۵،۳۶]

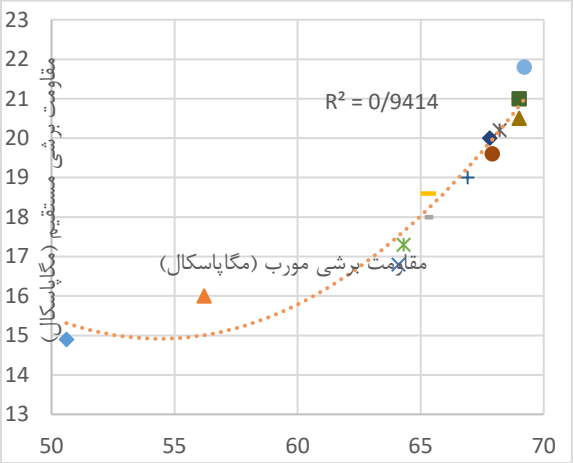
شکل (۲۳). راهنمای نمودار ها



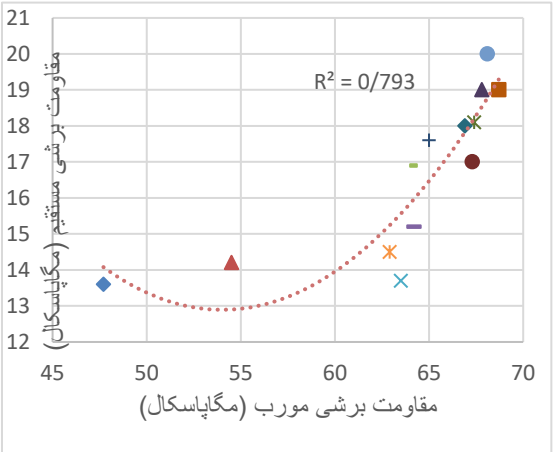
شکل(۲۴). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=0



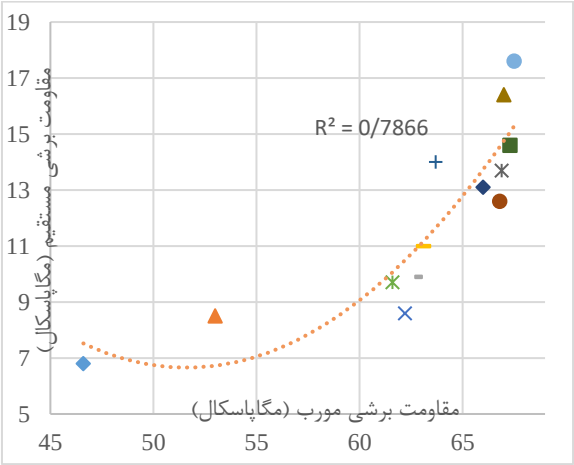
شکل(۲۵). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40



شکل(۲۶). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=80



شکل (۲۷). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=120



شکل(۲۸). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=160

طبق نمودار شکل ۲۴ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=0 برابر با:

$$y = 0.0231x^2 - 2.6282x + 93.165$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۶۹۳۳ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۲۵ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:

$$y = 0.0087x^2 - 0.7639x + 32.435$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۸۷۶۵ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۲۶ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=80 برابر با:

$$y = 0.0276x^2 - 3.0057x + 96.656$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۹۴۱۴ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۲۷ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=120 برابر با:

$$y = 0.0297x^2 - 3.2046x + 99.44$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۷۹۳ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

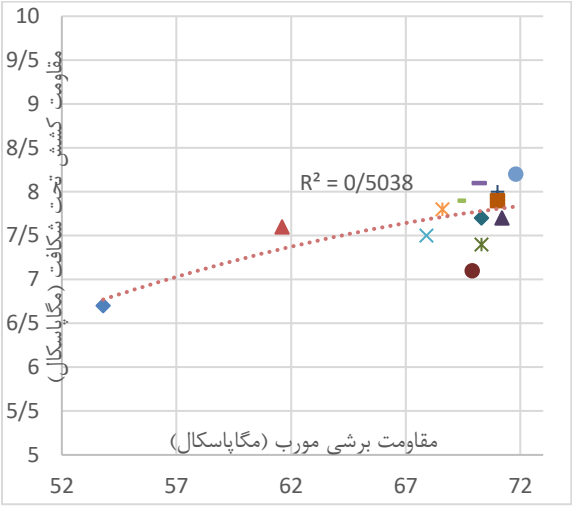
طبق نمودار شکل ۲۸ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=160 برابر با:

$$y = 0.0342x^2 - 3.5292x + 97.738$$

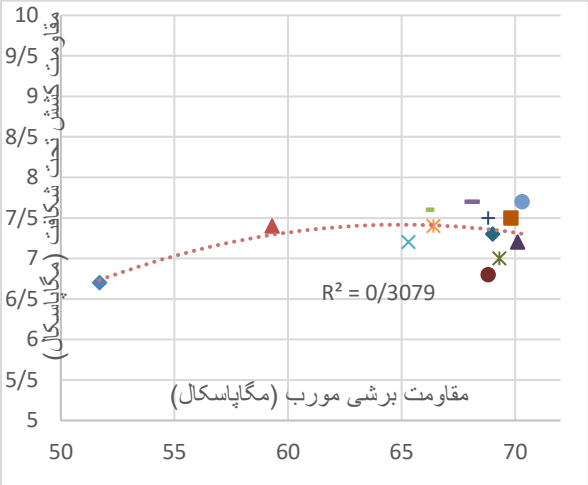
میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۷۸۶۶ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

۳-۵-ارتباط مقاومت برشی مستقیم و مقاومت کشش تحت شکافت خود متراکم حاوی الیاف

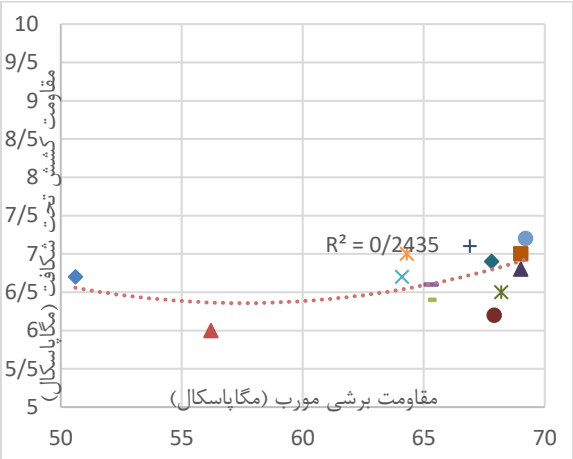
در شکل‌های ۲۹ تا ۳۳ نمودار مقاومت برشی مورب بر حسب مقاومت کشش تحت شکافت برای هر کدام از زمان‌های ریختن لایه ی دوم رسم شده است و سپس برازش بر مبنای رگرسیون غیر خطی بر روی داده‌ها انجام شده و ضریب همبستگی گزارش شده است. چنانچه از نمودارها برداشت میشود همبستگی خوبی بین مقادیر بدست آمده برای مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان‌های ثابت وجود دارد. با عنایت به تحلیل‌های فوق الذکر بهترین برازش از طریق روش سهمی مربوط به T=80 میباشد برای زمان‌های بعدی پیشنهاد میگردد از روش‌های دیگری برای برازش و درون یابی استفاده گردد.



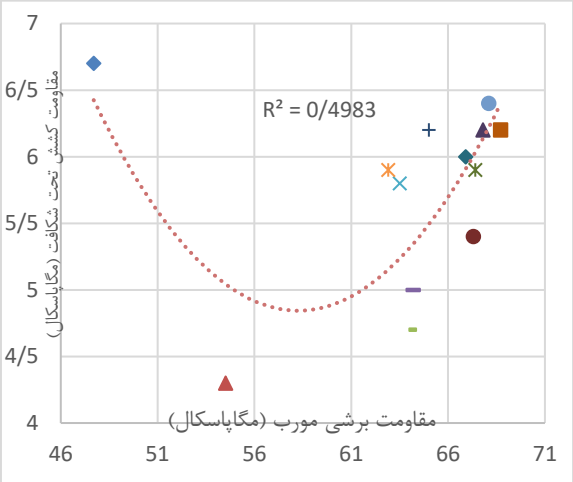
شکل (۲۹). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۰



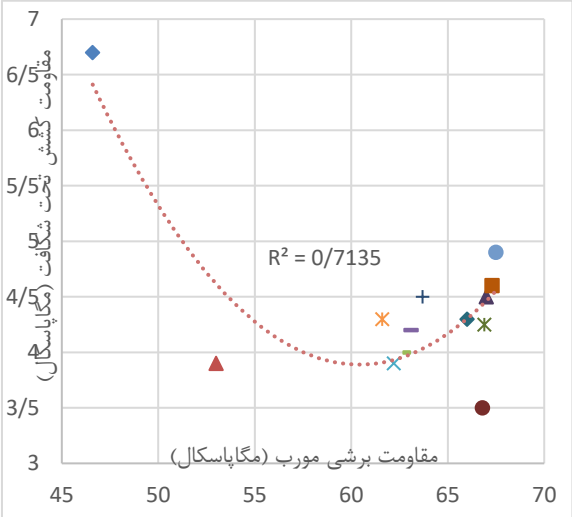
شکل (۳۰). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۴۰



شکل (۳۱). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۸۰



شکل (۳۲). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت شش تحت شکافت در زمان T=۱۲۰



شکل (۳۳). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۱۶۰

طبق نمودار شکل ۲۹ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=0 برابر با:

$$y = -0.0015x^2 + 0.247x - 2.1819$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۵۰۳۸ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۰ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:

$$y = -0.0039x^2 + 0.5057x - 9.0094$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۳۰۷۹ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۱ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=80 برابر با:

$$y = 0.0042x^2 - 0.4781x + 20.113$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۲۴۳۵ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۲ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=120 برابر با:

$$y = 0.0142x^2 - 1.6541x + 53.023$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۴۹۸۳ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۳ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=160 برابر با:

$$y = 0.0132x^2 - 1.5964x + 52.113$$

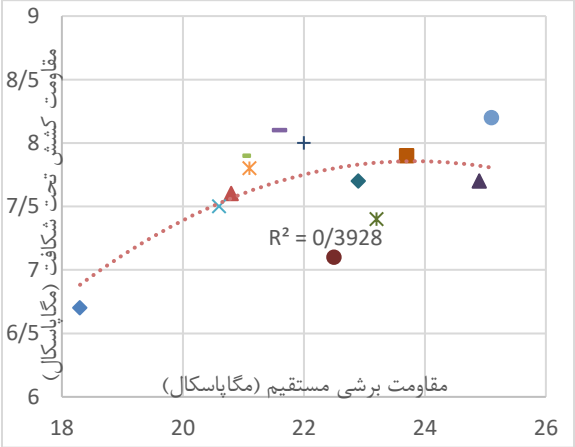
میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۷۱۳۵ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

با عنایت به تحلیل‌های فوق الذکر بهترین برازش از طریق روش سهمی مربوط به T=160 میباشد برای زمان‌های بعدی پیشنهاد میگردد از روش‌های دیگری برای برازش و درون یابی استفاده گردد.

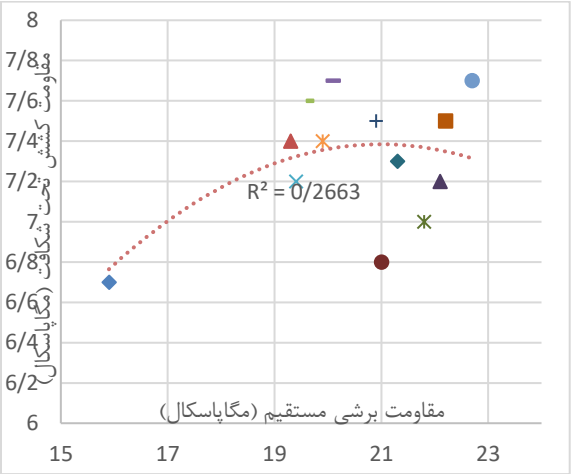
۳-۶-ارتباط مقاومت برشی مستقیم و مقاومت کشش تحت شکافت بتن خود متراکم حاوی الیاف

در شکل‌های ۳۴ تا ۳۸ نمودار مقاومت برشی مستقیم بر حسب مقاومت کشش تحت شکافت برای هر کدام از زمان‌های ریختن لایه ی دوم رسم شده است و سپس برازش بر مبنای رگرسیون غیر خطی بر روی داده‌ها انجام شده و ضریب همبستگی گزارش شده است.

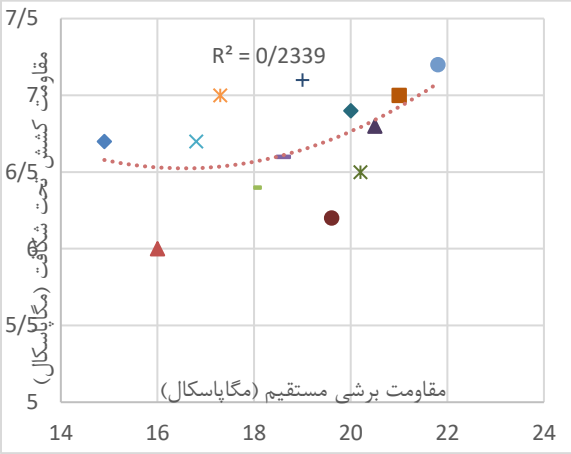
چنانچه از نمودارها برداشت میشود همبستگی خوبی بین مقادیر بدست آمده برای مقاومت برشی مستقیم و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان‌های ثابت وجود دارد.



شکل (۳۴). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۰



شکل (۳۵). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۴۰



شکل (۳۶). نمودار بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40

طبق نمودار شکل ۳۴ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=0 برابر با:

$$y = -0.0319x^2 + 1.5203x - 10.253$$

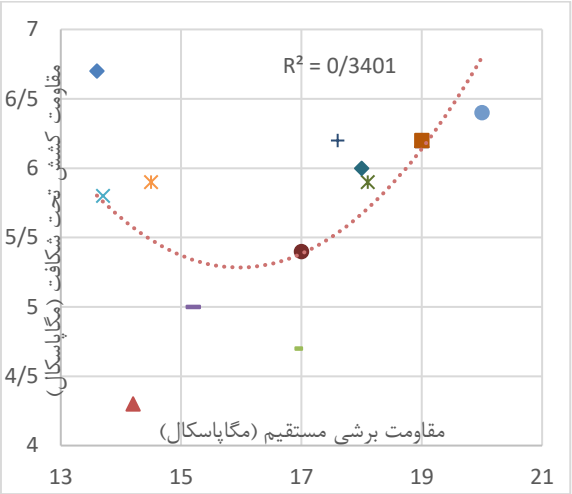
میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۳۹۲۸ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۵ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:

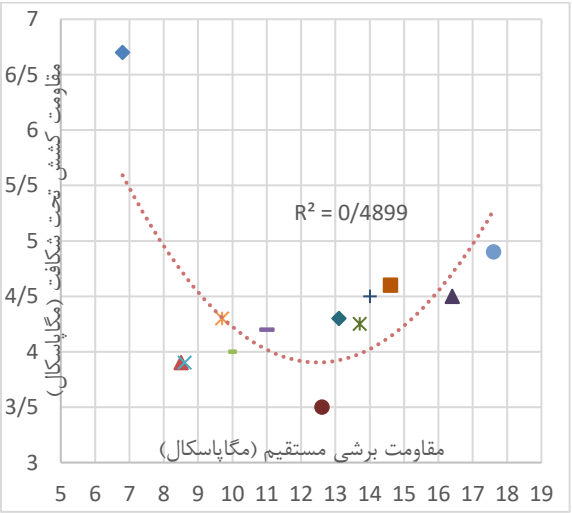
$$y = -0.0239x^2 + 1.0046x - 3.1592$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۲۶۶۳ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۶ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:



شکل (۳۷). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۱۲۰



شکل (۳۸). نمودار رابطه بین مقاومت برشی مورب و مقاومت کشش تحت شکافت در زمان T=۱۶۰

$$y = 0.02x^2 - 0.6631x + 12.008$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۲۳۳۹ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۷ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:

$$y = 0.093x^2 - 2.9683x + 28.976$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۳۴۰۱ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

طبق نمودار شکل ۳۸ رابطه بین مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی مورب در زمان T=40 برابر با:

$$y = 0.0523x^2 - 1.3057x + 12.053$$

میباشد. با استفاده از رابطه فوق می‌توان رابطه بین دو متغیر مقاومت برشی مستقیم و مقاومت برشی را با ضریب همبستگی ۰.۴۸۹۹ بدون انجام آزمایش سنجش مخرب پیش بینی نمود.

۳-۷-نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد الیاف شیشه و فولاد بر روی خواص مکانیکی و دوام بتن خود متراکم انجام شده است. در طراحی طرح مخلوط‌های طرح حاضر از ۱۲ نوع طرح مخلوط استفاده شده است که الیاف شیشه و فولاد به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر به مقدار ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد وزن مواد سیمانی محاسبه شده اند و نمونه‌ی شاهد (کنترل) بدون استفاده از الیاف ساخته شده است و بعضی از طرح مخلوط‌های برای صحت سنجی تکرار شده اند. نتایج ماحصل این پژوهش به شرح ذیل میباشد:

- افزودن الیاف به بتن خود متراکم سبب کاهش اسلامپ و روانی آن میگردد که ما در این پژوهش برای ارضای الزامات بتن خودمتراکم به مقدار افزودنی شیمیایی آن اضافه کردیم.
- افزودن الیاف به بتن خود متراکم مقاومت برشی مورب را افزایش میدهد و از کاهش شدید مقاومت برشی در بتن خود متراکم ریخته شده در لایه مجزا جلو گیری میکند.
- بهینه ترین عملکرد در آزمایش مقاومت برشی مورب مربوط به نمونه‌های دارای ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه میباشد.

با عنایت به تحلیل‌های فوق الذکر بهترین برازش از طریق روش سهمی مربوط به T=160 میباشد برای زمان‌های بعدی پیشنهاد میگردد از روش‌های دیگری برای برازش و درون یابی استفاده گردد.

- عملکرد الیاف در مقاومت برشی مورب بهینه تر از مقاومت برشی مستقیم میباشد.
- افزودن الیاف به بتن خود متراکم مقاومت برشی مستقیم را افزایش میدهد و از کاهش شدید مقاومت برشی در بتن خود تراکم ریخته شده در لایه مجزا جلو گیری میکند.
- بهینه ترین عملکرد در آزمایش مقاومت برشی مستقیم مربوط به نمونه‌های دارای ۵۰ درصد الیاف فولاد و ۵۰ درصد الیاف شیشه میباشد.
- افزودن الیاف به بتن خود تراکم مقاومت کششی تحت شکافت را افزایش میدهد و از کاهش شدید مقاومت کششی در بتن خود تراکم ریخته شده در لایه مجزا جلو گیری میکند.
- بهینه ترین عملکرد در آزمایش مقاومت کششی تحت شکافت مربوط به نمونه‌های دارای ۷۰ درصد الیاف فولاد و ۳۰ درصد الیاف شیشه میباشد.
- الیاف فولاد عملکرد بهتری نسبت به الیاف شیشه در کاهش نقص درز سرد داشته است.
- عملکرد الیاف شیشه و فولاد در ترکیب باهم بهتر و بهینه تر میباشد.

۵. مراجع

[1] H.Okamura, "Self-Compacting High-performance Concrete". Concrete International, Vol.19, No.7, July 1997

[2] K.Takada, , G.pelova, I. Walraven, "Influences of Mixing efficiency on the mixture proportions of general purpose self-compacting concrete". International Symposium on High-Performance and Reactive Powder Cements Sherbrooke Canada, pp.19-39, 2001

[3] P.Soroushian, "Secondary reinforcement adding cellulose fibers". ACI, Concrete International, pp. 28-38, 1986

[4] Lin, Wei-ling, "Toughness behaviour of fiber reinforced concrete". Proceedings of the Fourth RILEM International symposium,Sheffield, UK, pp.299-315, 1992.

[5] A.Sivakumar , M.Santhanam,"A quantitative study on the plastic shrinkage crackinhigh strength hybrid fiber reinforced concrete". Cement & Concrete Composites, pp.571-581, 2007

[6] H.Kamal Khayat , Weina Meng, "Effect of hybrid fibers on fresh, mechanical properties, and autogenous shrinkage of cost effective" UHPC2-3, April 2018

[7] N.Banthia, N.Nadakumar; "Crack growth resistance of hybrid fiber cement composite", cement and concrete composite, p.p. 3-9, 2003

[8] H. Kamal Khayat, A.Omran, and W. A.Megid, , "Evaluation of Thixo- tropy of Self-Consolidating Concrete and Influence on Concrete Perfor- mance," 3rd Iberian Congress on Self-Compacting Concrete, Progress and Opportunities3-4, Dec. 2012, Madrid. Spain

[9] A.Skarendahl, , Ö.Petersson, , "State of the Art Report of RILEM". Technical Committee 174-SCC, Self-Compacting Concrete, No. 23, pp.141-149, 2001

[10] M.Nehdi, J.D.Ladanchuk, "Fiber Synergy in Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete". ACI Material Journal, Vol.101, No.6, pp. 508-517, November- December 2004

[11] R.Saleh Ahari, T. Kemal Erdem, K. Ramyar, "Effect of various supplementary cementitious materials on rheological properties of self-consolidating concrete",75 (2015) 89–98

[12] D. Feys, R.Verhoeven, , G.schutter, "Fundamental study of the rheology of self-compacting concrete,composed with Belgian materials",2003.

[13] M.Hayakawa, Y.Matsuoka, K.Yokota, "Application of Super Workable Concrete in the Construction of 70-Story Building in Japan". ACI SP-154, Detroit, 1995.

[14] C.X.Qian, P.Stroeven, "Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fiber-Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, No.30, pp.63–69, 2000.

[15] k.Ozawa, , N.sakata, , Okamura, "Evaluation of self-compactibility of fresh concrete using the funnel test", concrete library of JSCE , pp.59-75, june 1995

[16] O. Petersson, P.Billberg, , B.k.Van, , "A model for self-compacting concrete", proceedings of international RILEM conference on production Methods and Workability of concrete', edited by P.J.M.Bartos, et al., chapman & Hall/E & FN spon, paisley, pp. 483-490, 1996

[17] M.Haykawa, "development and Application of super workable concrete", proceeding of international RILEM workshop on 'special concretesworkability and mixing', edited by prof.P.J.M. Bartons, paisley, pp.183-190,1993

[18] C.X.Qian, P.Stroeven, "Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fiber-Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, No.30, pp.63–69, 2000

[19] K.Kobayashi, R.Cho, , "Flexural Behavior of Polyethylene Fiber Reinforced Concrete", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 3, No.1,1998

[20] EFNARC, "specification and Guidlines for self compacting concrete",,http://www. efnarc. Org, February 2002

[21] EFNARC, "the European Guidelines for self-compacting concrete, pecification, production and use ", http://www. efnarc. Org , may 2005

[22] A.Passuello, G.Moriconi, and P.Surendra,"Cracking Behavior of Concrete with Shrinkage Reducing Admixtures and PVA Fibers". Cement & Concrete Composites, Vol.31, pp.699 -704, 2009

[23] Toutanji, A.Houssam, "Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Expansive- Cement Concrete", Construction and Building Materials, Vol.13, pp. 177-186, 1999

[24] H.A.Kormeling, H.W.Reinhardt,; and S.P. Shah, “Static and Fatigue Propertiec of Concrete Beams Reinforced with Continuous Bar and with Fibers”, ACI Journal Proceedings V.77, No. 1,Jan-Feb. 1980, pp. 36-43

[25] G.Batson, C.Ball, L.Bailey and E.Landers and J.Hooks, “Flexural Fatigue Strength of Steel Fiber Reinforced Concerete Beames”, ACI Journal, Proceedings V.69, No11, Nov, 1972, pp. 673-677

[26] D.L.Houghton, O.E.Borge and J.A.Paxton, “Cavitation Resistance of Some Special Concretes”, ACI Journal Proceedings V.75, No. 12, Dec. 1978, pp. 664-667

[27] R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan, “FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES”, ,University of Rhode Island ,September 2002,URITC PROJECT NO. 536101

[28] M.Beddar, "Development of steel fiber reinforced concrete from antiquity until the present day" ,Proceedings.Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee,UK, PP 35-44,2008.

[29] H. Okamura," Self – Compacting high performance Concrete ", Concrete International,pp.54-50, 1999.

[30] L. Quresh et al ,"Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength 10,2008 .

[31] A.Ross,”Steel fibre reinforced concrete (SFRC) – Quality, performance and specification”, BOSFA (Bekaert OneSteel Fibres Australasia)

[32] S.Grunewald,"Performance-based Design of Self-Compacting Fiber Reinforced Concrete" P. hd. Thesis, Delft University of Technology, 2004.

[33] R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan, “FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES” , ,University of Rhode Island , ,URITC PROJECT NO. 536101,sep2000

[34] ASTM International. “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”,2010.

[35] ACI Committee 232, “Use of Fly Ash in Concrete (ACI 232.2R-03)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 2003, 41 pp.

[36] ASTM C618-03, “Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete”, ASTM, 2003.

[37] S.Hamzeyi,M.mortazayi,”Risk analysis of mass collapse of khansar tunnel,Journal of Science and Technology construction, No4, march 2022