

بررسی مقاومت فشاری و خمشی بتن‌های کم مقاومت تقویت‌شده با پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی

علی دلنواز^۱، سید حسین میرفتاحی^۲

^۱ هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

چکیده

بتن الیافی، بتن‌هایی هستند که علاوه بر مواد تشکیل‌دهنده اصلی مثل آب، سنگ‌دانه‌ها و سیمان، حاوی مقادیر معینی الیاف مسلح‌کننده هستند. الیاف مسلح‌کننده فولادی، پلی پروپیلن (PP)، کربن، شیشه جزء رایج‌ترین و پرکاربردترین انواع الیاف مورد استفاده در بتن الیافی می‌باشد. در این مقاله به بررسی مقاومت فشاری و خمشی بتن‌های کم مقاومت تقویت‌شده با پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی پرداخته می‌شود. در این پژوهش به منظور مطالعه و بررسی اثر وجود بررسی میزان باربری بتن‌های کم مقاومت تقویت‌شده با پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی بر روی مقاومت فشاری بتن، مقاومت خمشی بتن ما از یک جامعه آماری ذیل استفاده می‌شود: ابتدا نمونه بتن شاهد در دو قالب مکعبی ۱۰۰*۱۰۰*۱۰۰ میلی‌متری جهت استفاده در آزمایش فشاری بتن و مکعب ۱۵۰*۱۵۰*۵۰ میلی‌متری جهت استفاده در آزمایش خمشی بتن با سه سری مقاومت ۲۸ روزه ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مگاپاسکال به تعداد مورد نیاز ساخته می‌شود. سپس در راستای اهداف طرح، به کمک ۳ سری قالب بزرگ‌تر، کاور بتن الیافی از نوع الیاف فولادی با ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر از قسمت جانبی تقویت می‌شوند. از بالا و پایین نمونه یک سانتی‌متر خالی گذاشته می‌شود تا نتایج آزمایشات تحت تأثیر سطح مقطع قرار نگیرند. پس از ساخت نمونه‌ها در آزمایشگاه نمونه‌ها تحت آزمایش فشاری و خمشی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتها به نتایج عالی دست یافتیم که در مقاله مطرح شده است.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری، بتن‌های کم مقاومت، پوشش بتن الیافی، الیاف فولادی

مقدمه

به مفهوم بالا بردن مقاومت یک سازه (ساختمان) در برابر نیروهای وارده راه کار های متفاوتی وجود دارد که به اصطلاح به تمامی این کارها بهسازی گفته میشود. امروزه از این اصطلاح بیشتر در مورد نیروی زلزله استفاده می‌شود. از دیدگاه علمی، مقاوم سازی واژه کاملاً درستی برای این منظور نیست. چرا که منظور از اصطلاح مقاوم سازی به طور قطع بالا بردن مقاومت در برابر نیروی زلزله نیست بلکه منظور بهبود عملکرد اجزای سازه (ساختمان) در برابر نیروی زلزله است. به همین دلیل اصطلاح «بهسازی» و در حالت خاص برای نیروی زلزله، «بهسازی لرزه‌ای» اصطلاح درست تری است.

بتن الیافی از نوع الیاف فولادی (SFRC) نوع جدیدی از بتن است که عملکرد مؤثرتری را در مقایسه با همتایان بتنی خود ارائه می‌دهد. SFRC دارای ویژگی‌های مکانیکی برتری از جمله مقاومت فشاری بیش از ۱۵۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته بالا، حد الاستیک بالا، استحکام کششی در دامنه ۱۵ تا ۲۵ مگاپاسکال، سخت شدن کشش در تنش، انرژی شکست چندین برابر از مقادیر بتن سنتی و ظرفیت بالا پس از ترک خوردگی می‌باشد. در زیر به ذکر موردی برخی مزایای بتن الیافی پرداخته شده است.

۱. مقاومت در مقابل تورق و سایش
۲. مقاومت در مقابل تنش‌های خستگی
۳. مقاومت عالی در مقابل ضربه
۴. قابلیت کششی و ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی
۵. قابلیت باربری بعد از ترک خوردگی
۶. افزایش در میزان جذب انرژی

قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف در جسم بتن در همه جهات پراکنده می‌شود در صورت تشکیل یک ترک در جهات مختلف الیاف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید؛ بنابراین رشته‌های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک‌های زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می‌دهند.

اهداف مشخص تحقیق

- با توجه به موضوع بیان شده برای این پژوهش از اهداف مشخص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- هدف از این پژوهش بررسی تأثیر یک لایه بتن الیافی از نوع الیاف فولادی به صورت ژاکت برای دو شکل رایج مقاطع بتنی یعنی گرد و مستطیلی می‌باشد. عموماً ژاکت بتن الیافی با افزایش مقاومت مقطع در مقابل کمانش و افزایش تاب آوری نمونه در مقابل بارگذاری باعث بهبود عملکرد سازه می‌شود.
 - بررسی تغییرات میزان باربری خمشی و فشاری یک نمونه بتن کم مقاومت تقویت شده با پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی
 - بررسی تأثیر تغییرات ضخامت یک لایه پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی که جهت تقویت یک نمونه بتنی کم مقاومت استفاده گردیده در میزان باربری خمشی و فشاری نمونه‌ها

ادبیات نظری

تعریف بتن الیافی

بتن الیافی، بتن‌هایی هستند که علاوه بر مواد تشکیل دهنده اصلی مثل آب، سنگ‌دانه‌ها و سیمان، حاوی مقادیر معینی الیاف مسلح کننده هستند. الیاف مسلح کننده فولادی، پلی پروپیلن (pp)، کربن، شیشه جزء رایج‌ترین و پرکاربردترین انواع الیاف مورد استفاده در بتن الیافی می‌باشد. الیاف مسلح کننده مورد استفاده در بتن الیافی نسبت به نوع مواد اولیه و شکل هندسی، تأثیر متفاوتی بر عملکرد بتن دارند؛ بنابراین نوع الیاف، بنا بر نوع کاربرد مورد نظر تعیین می‌گردد. این نوع از بتن‌ها به مراتب

از مقاومت و عملکرد بالاتری نسبت به بتن‌های معمولی برخوردارند. همانطور که می‌دانید بتن معمولی دارای مقاومت فشاری بالا و مقاومت کششی بسیار ناچیز است.

عملکرد الیاف در بتن الیافی چگونه است؟

الیاف معمولاً در بتن برای کنترل ترک‌های عرضی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن استفاده می‌شود. آن‌ها همچنین نفوذپذیری بتن و آب انداختن بتن را کاهش می‌دهند. برخی از انواع الیاف در بتن مقاومت در برابر ضربه، سایش و خرد شدگی را افزایش می‌دهند. الیاف بتن مسلح ممکن است در مواردی که مقاومت کششی بالا و کاهش ترک خوردگی مطلوب است یا زمانی که نمی‌توان آرماتور معمولی را قرار داد مفید باشد.

توجیه اقتصادی بتن الیافی چگونه است؟

باید اعتراف کرد که استفاده از بتن الیافی در همه موارد از بتن سنتی به صرفه‌تر نمی‌باشد؛ اما بر اساس برآوردهایی که توسط بعضی از متخصصین کشور انجام گرفته است، در جاهایی که سرعت اجرای بالا مد نظر است و یا نیاز به پاشش بتن (شات کریت) روی سطوحی است که شبکه‌بندی‌های سنتی مشکل و زمان‌بر بوده یا جواب‌گوی کار نیست، هزینه استفاده از بتن الیافی نسبت به مشابه سنتی خود کمتر می‌باشد.

این مزیت‌ها، علاوه بر مزیت سادگی و سرعت عمل بالاتر موجود در تکنولوژی بتن الیافی است. اگر می‌بینیم که در کشوری همچون ترکیه، به‌کارگیری بتن الیافی به جای روش‌های سنتی، مقرون به صرفه‌تر از کشور ماست، ریشه‌های آن را در سرمایه‌گذاری و تلاش سازمان‌یافته جهت اقتصادی نمودن استفاده از این تکنولوژی جدید می‌توان یافت. اما اگر ما از روی آوردن به فناوری جدید به علت ریسک سرمایه‌گذاری پرهیز کنیم خواهیم دید که تکنولوژی سنتی در غیاب بهره‌گیری از فناوری نوین، رقم بسیار بالایی از سرمایه‌های ما را به هدر خواهد داد.

به طور مثال، ریزدانه‌های تولید شده در کشور ما که به روش‌های قدیمی غیراستاندارد تولید می‌شوند، باعث افزایش درصد سیمان به کار رفته در بنا می‌شود و همین امر موجب ظهور ترک و ضایعات در بتن حاصل نیز می‌گردد. هزینه استفاده از تکنولوژی‌های نوین کاملاً وابسته به سطحی از آن تکنولوژی است که نسبت به کسب و انتقال آن اقدام می‌شود. کشورهای پیشرفته جهان که تکنولوژی نوین خود را از سطوح اولیه تحقیقاتی کسب کرده‌اند، چون کاملاً بر تکنیک‌ها و دانش پایه‌ای آن واقف و مسلط هستند، متحمل هزینه‌های کمتری شده‌اند. آن‌ها با تکیه بر همین آگاهی و اشراف، با بهبود فرایندها، قیمت نهایی را در طول زمان کاهش خواهند داد. لذا فراهم نمودن بسری جهت تسلط کامل بر دانش پایه‌ای تکنولوژی، تخصیص سرمایه اولیه در این زمینه و گسترش آموزش ساخت آن در طول زمان از هزینه خواهد کاست.

سوابق پژوهش

یاوری نسب و همکاران در سال ۲۰۱۴ مطالعه ای در زمینه بتن‌های الیافی فولادی با موضوع بررسی اثر الیاف فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی بتن الیافی نوعی بتن است که ساخت آن از الیاف استفاده می‌کنند و سیمان، آب، سنگدانه و مواد افزودنی را همراه با الیاف بر ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی شامل: (λd) مخلوط می‌کنند. درصد و نسبت طول به قطر الیاف فولادی و ضریب طاقت بتن الیافی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت برشی، مقاومت فشاری، مقاومت دینامیکی، مقاومت خستگی، مقاومت پیچشی، مقاومت ترک خوردگی، خزش، پوسیدگی و زنگ زدگی الیاف، قابلیت هدایت حرارتی، مقاومت سائیدگی و مقاومت اصطکاکی و لغزشی تأثیر گذار میباشد. قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد، همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد و میتواند به عنوان جایگزینی برای بتن مسلح معمولی باشد. این پژوهش به آشنایی با بتن الیافی، کاربرد بررسی اثر الیاف فولادی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی می‌پردازد.

وظیفه خواه و همکاران در سال ۲۰۱۵ مطالعه ایی با موضوع بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی انجام دادند، آنها در این پژوهش عنوان نمودند که با در نظر گرفتن نسبت های مختلف الیاف می پردازد. الیاف مصرفی از جنس فولاد بوده و به میزان ۰٪، ۳/۰٪، ۶/۰٪، ۹/۰٪ و ۲/۱٪ حجم بتن مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه های مورد استفاده در آزمایش در سه اندازه متفاوت استوانه ای به ابعاد (ارتفاع × قطر) 150×300mm : و ۲۰۰×۱۰۰ mm و ۱۵۰×۷۵ mm و یک نمونه منشوری شکل به ابعاد ۵۰×۱۰۰×۱۰۰ mm می باشند. مقاومت کششی نمونه های استوانه ای با استفاده از آزمایش شکافت نمونه (آزمایش برزلی) و مقاومت کششی نمونه منشوری شکل با استفاده از آزمایش خمش اندازه گیری شده است. نتایج آزمایش نشان می دهد که مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی از افزایش قابل ملاحظه ای نسبت به بتن بدون الیاف برخوردار می باشد.

دباغ و همکاران در سال ۲۰۱۵ مطالعه ایی در زمینه بتن های با الیاف فولادی انجام دادند، آنها در این پژوهش عنوان نمودند که بتن سخت شده به دلیل ترد بودن، دارای مقاومت کششی کم و قابلیت تحمل کرنش نهایی پایینی می باشد. مقاومت کم سبکدانه ها و شکنندگی این مصالح باعث می شود، بتن سبک حاوی این مصالح تردتر و شکننده تر باشند و تحت اثر بارگذاری شکست ناگهانی در آنها رخ دهد. به منظور افزایش شکل پذیری و جلوگیری از گسترش ریز ترک ها و همچنین ایجاد پیوستگی مناسب در بتن و افزایش ظرفیت جذب انرژی، همچنین بالا بردن چندان وزن سازه در برابر بارهای ضربه ای، می توان از الیاف فولادی استفاده کرد. در این تحقیق به بررسی خصوصیات مکانیکی بتن سبک سازه ای و تأثیر الیاف فولادی بر این خصوصیات در سنین ۷ و ۲۸ روزه پرداخته شده است. الیاف فولادی استفاده شده در شکل های موجدار با نسبت طول به قطر ۳۷/۵ و صاف با انتهای قلابدار به نسبت طول به قطر ۵۰ و درصد حجم ثابت ۱٪ در ترکیب های مختلف می باشد. برای بدست آوردن خصوصیات مکانیکی از آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت کششی (برزلی و مستقیم) مدول الاستیسیته و ضریب پواسون استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایش ها، بیانگر افزایش مقاومت خمشی و به خصوص مقاومت کششی بتن می باشند و تأثیر چندان بر مقاومت فشاری نشان نمی دهد.

زادکریم و همکاران در سال ۲۰۱۶ مطالعه در زمینه بتن های الیافی با موضوع مطالعه آزمایشگاهی اثر الیاف فولادی بر پارامترهای مقاومتی بتن های سبک انجام دادند، آنها در این پژوهش عنوان نمودند که در دنیای امروزی، تکنولوژی بتن تحول های شگرفی پیدا کرده است؛ اما مشکلی که بتن همواره با آن درگیر بوده، تردی و شکنندگی و عدم قدرت باربری بعد از ترک خوردگی و در نتیجه طاقت و قدرت جذب انرژی پایین آن است. یکی از روش های افزایش طاقت و قدرت جذب انرژی بتن، مسلح کردن آن به الیاف فولادی می باشد. از طرفی مزایای استفاده از بتن های سبک با مقاومت بالا آشکار شده است و کار بر روی رفع معایب آنها همچنان ادامه دارد. مزیت بتن الیافی به بتن آرمه، در ایزوتوپ بودن آن، کاهش خاصیت تردی و شکنندگی و افزایش قدرت جذب انرژی تا حد ممکن می باشد. الیاف فولادی همچنین برای کنترل ترک های ناشی از جمع شدگی خشک و عرض ترک های سازه ای و خزش عمودی نیز بکار می رود. کاربرد الیاف در بتن علاوه بر موارد مذکور در افزایش مقاومت کششی، خمشی، برشی، فشاری و ... بتن می باشد. هدف این مقاله، مطالعه تاثیر الیاف فلزی فولادی بر رفتار مکانیکی و فیزیکی بتن سبک ساخته شده با پومیس بوده که بدین منظور ۱۰ نوع مخلوط شامل بتن حاوی الیاف فولادی انتخاب شده و تحت آزمایش های مقاومت فشاری و کششی، ضریب الاستیسیته، مقاومت خمشی و طاقت خمشی قرار گرفتند. در ادامه مکانیزم شکست بتن نرمال، بتن سبک با مقاومت بالا و بتن الیافی با مقاومت بالا مقایسه شده است. با اینکه بتن با مقاومت بالا با بار بسیار بیشتری نسبت به بتن نرمال دچار شکست می شود اما مطالعه منحنی تنش-کرنش آن نشان می دهد که شاخه نزولی این منحنی تقریباً عمودی است و نرم شدگی کرنش قابل توجهی در آن دیده نمی شود که نتیجه آن شکست های بسیار ترد و انفجاری در سازه است. مطالعات نشان می دهد که افزودن الیاف های مختلف با اینکه در رفتار بتن با مقاومت بالا، قبل از رسیدن به تنش حداکثر تاثیر چندان ندارد اما رفتار پس از ترک خوردگی را بشدت تغییر می دهد. این روش در بهبود قابلیت های بتن مانند افزایش چقرمگی، انرژی شکست و کاهش نفوذپذیری تاثیر چشمگیری داشته که به نسبت الیاف استفاده شده بستگی دارد.

اکبری و همکاران در سال ۲۰۱۵ مطالعه در زمینه الیاف فولادی با موضوع ارزیابی اثر الیاف‌های فولادی و شیشه‌ای بر خواص مکانیکی بتن انجام دادند، آنها در این پژوهش عنوان نمودند که در سال‌های اخیر استفاده از الیاف مختلف برای بهبود مقاومت بتن به امری رایج در مهندسی عمران تبدیل شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که به‌کارگیری انواع الیاف در بتن باعث افزایش مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی می‌شود. در تحقیق حاضر به بررسی بهبود مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بتن مسلح به الیاف فولادی و شیشه‌ای در دو نسبت آب به سیمان $0/35$ و $0/45$ و با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف الیاف پرداخته شده است. الیاف مصرفی به میزان صفر، $3/0$ ، $6/0$ و $9/0$ درصد حجم بتن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این پژوهش در هر نسبت آب به سیمان برای آزمایش مقاومت فشاری از ۲۱ نمونه مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر، در آزمایش کششی از ۱۴ نمونه استوانه‌ای 15×30 سانتیمتر و برای آزمایش خمش سه نقطه‌ای از ۱۴ نمونه منشوری $10 \times 10 \times 50$ سانتیمتری ساخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن $0/3$ تا $0/9$ درصد الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی نسبت به بتن معمولی می‌شود. در مقایسه با الیاف فولادی اضافه کردن $0/3$ تا $0/6$ درصد الیاف شیشه‌ای مقاومت فشاری را افزایش داده و استفاده بیشتر از این مقدار باعث افت مقاومت بتن می‌گردد.

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور مطالعه و بررسی اثر وجود بررسی میزان باربری بتن‌های کم مقاومت تقویت‌شده با پوشش بتن الیافی از نوع الیاف فولادی بر روی مقاومت فشاری بتن، مقاومت خمشی بتن ما از یک جامعه آماری ذیل استفاده می‌شود: ابتدا نمونه بتن شاهد در دو قالب مکعبی $100 \times 100 \times 100$ میلی‌متری جهت استفاده در آزمایش فشاری بتن و مکعب $150 \times 150 \times 50$ میلی‌متری جهت استفاده در آزمایش خمشی بتن با سه سری مقاومت ۲۸ روزه‌ی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مگاپاسکال به تعداد مورد نیاز ساخته می‌شود. سپس در راستای اهداف طرح، به کمک ۳ سری قالب بزرگ‌تر، کاور بتن الیافی از نوع الیاف فولادی با ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر از قسمت جانبی تقویت می‌شوند. از بالا و پایین نمونه یک سانتی‌متر خالی گذاشته می‌شود تا نتایج آزمایشات تحت تأثیر سطح مقطع قرار نگیرند. پس از ساخت نمونه‌ها در آزمایشگاه نمونه‌ها تحت آزمایش فشاری و خمشی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روند آزمایش مقاومت فشاری

سیمان به عنوان یکی از اصلی‌ترین موادی که در ساخت بتن مصرف می‌شود، باید دارای خصوصیات ویژه‌ای باشد که در استاندارد‌ها به آن اشاره شده است. استفاده از سیمان به صورت ملات آب و سیمان برای انجام آزمایش به علت وجود خاصیت جمع‌شدگی سیمان در قالب مشکل است و بعضاً جواب مناسبی نمی‌دهد. لذا از ماسه استاندارد استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ملاتی از سیمان، آب و ماسه استاندارد تهیه می‌شود و آن را مورد آزمایش قرار داده می‌شود.

ماسه استاندارد

بر لزوم استفاده از ماسه استاندارد قبلاً توضیحاتی داده شد. ماسه استاندارد باید عاری از ناخالصی‌های آلی بوده و کوارتزی، به رنگ خاکستری کمرنگ یا کرم کم رنگ یا سفید باشد. ماسه استاندارد ASTM، ماسه اتاوا می‌باشد که ماسه‌ای سیلیسی است. به علت قیمت گران و همچنین عدم نیاز به دقت زیاد، از ماسه‌های مشابه استفاده می‌کنیم.

هدف از انجام آزمایش

هدف، تعیین مقاومت فشاری یک نمونه ملات ساخته شده با ماسه استاندارد و سیمان می‌باشد.

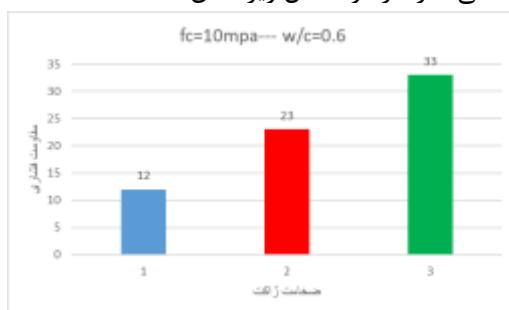
ریختن ملات در قالب

قالب را تمیز می‌شود و روغن می‌زنیم و ملات را در سه لایه و هر لایه ۱۵ ضربه درون قالب می‌ریزیم. سپس سطح فوقانی را با کاردک تمیز می‌کنیم و صاف می‌کنیم. بعد از یک روز نمونه‌ها را از قالب باز می‌کنیم و درون ظرف پر از آب قرار می‌دهیم. بعد از ۲۸ روز نمونه‌ها را به صورت فشاری می‌شکنند و نتایج یادداشت می‌شود.

تشریح نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی

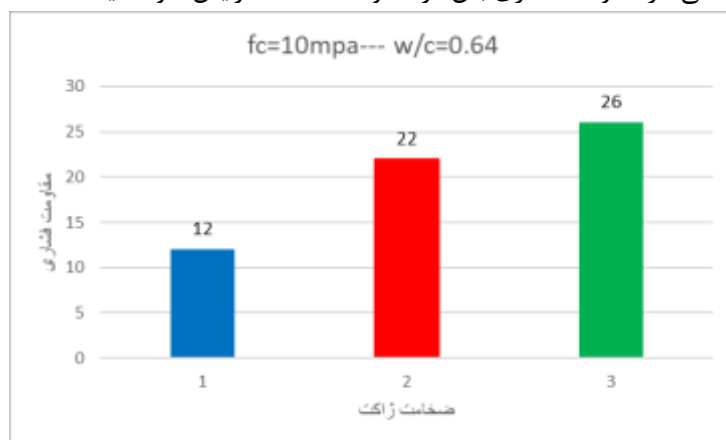
نتایج آزمایش مقاومت فشاری مدل ($f_c=10\text{mpa}$)

بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و فشاری بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۰ مگاپاسکال انجام شد، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت فشاری آزمایشگاهی که شامل مقاومت فشاری، برای نمونه‌های گرفته شده از نمونه‌های مطالعاتی نمونه‌های شماره ۱ الی ۹ را در شکل زیر نشان داده است.



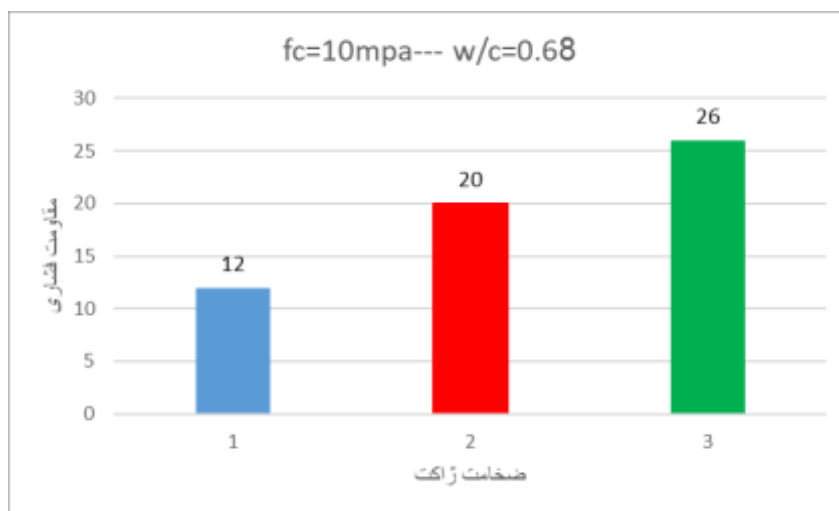
شکل ۱- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=10\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری - با نسبت آب سیمان $w/c=0.6$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.6$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین مشخص شد که با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۹۱/۷٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۴۳/۴۸٪ افزایش خواهد یافت.



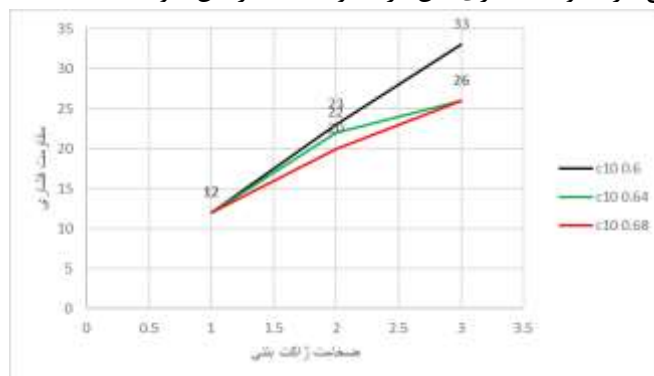
شکل ۲- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=10\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری - با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین مشخص شد که با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۸۳/۳۴٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۱۸/۱۸٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۳- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($fc=10\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

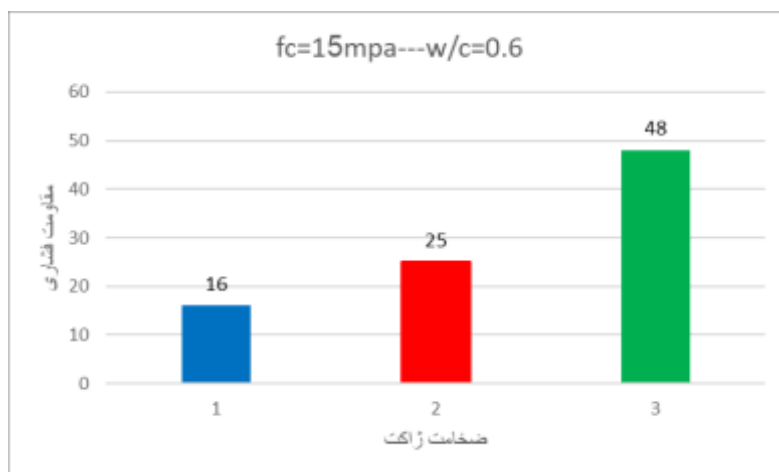
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۶۶.۶۷٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۳۰٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۴- نمودار قیاسی کسب مقاومت ۲۸ روزه ($fc=10\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

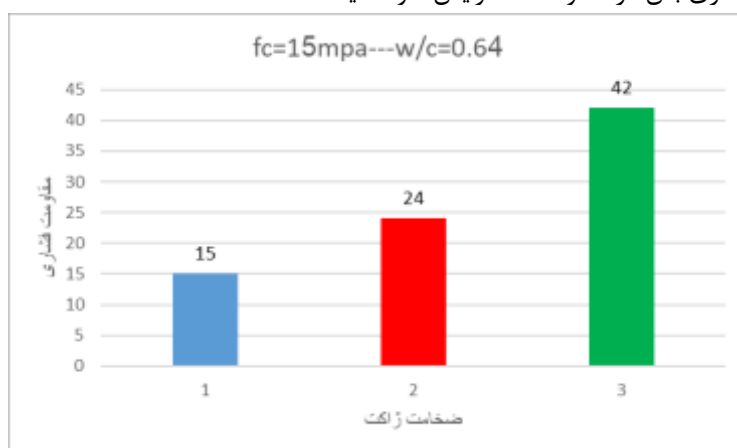
نتایج آزمایش مقاومت فشاری مدل ($f_c=15\text{mpa}$)

بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و فشاری بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۵ مگاپاسکال انجام شد، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت فشاری آزمایشگاهی که شامل مقاومت فشاری، برای نمونه‌های گرفته شده از نمونه‌های مطالعاتی نمونه‌های شماره ۹ الی ۱۸ را در در اشکال زیر نشان داده است.



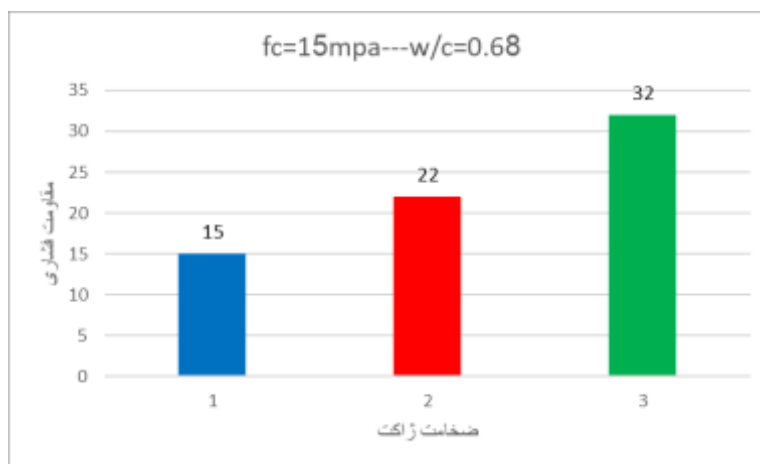
شکل ۵- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.6$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.6$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش 6.67٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود 56.25٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود 92٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۶- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود 60٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود 75٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۷- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

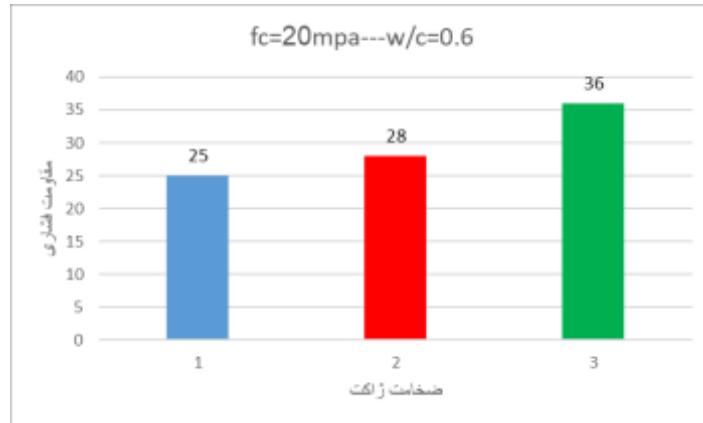
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود 46.67٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود 45.45٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۸- نمودار قیاسی کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

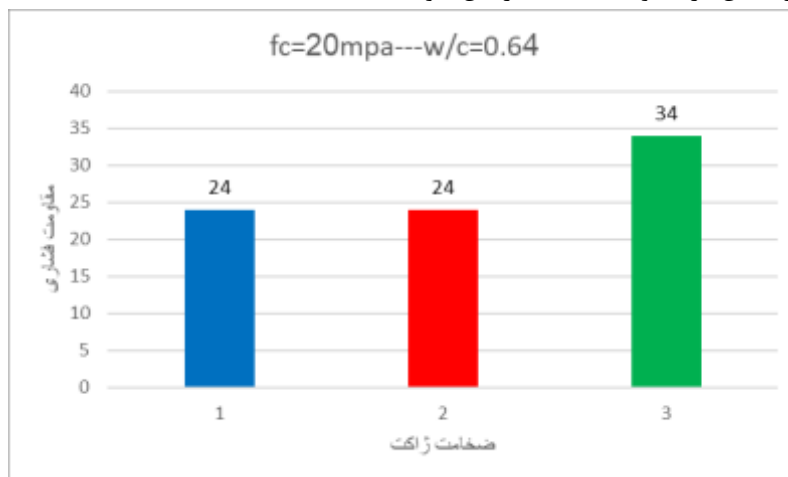
نتایج آزمایش مقاومت فشاری مدل ($f_c=20\text{mpa}$)

بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و فشاری بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت فشاری بتن سبک 20 مگاپاسکال انجام شد، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت فشاری آزمایشگاهی که شامل مقاومت فشاری، برای نمونه‌های گرفته شده از نمونه‌های مطالعاتی نمونه‌های شماره ۱۸ الی ۲۷ را در شکل زیر نشان داده است.



شکل ۹- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری - با نسبت آب سیمان $w/c=0.6$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

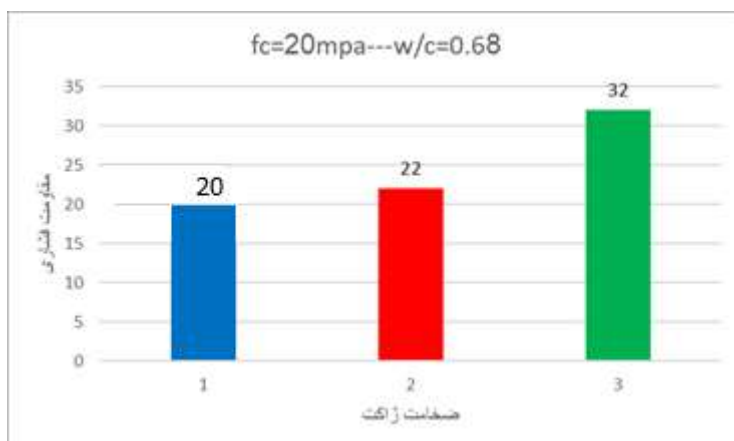
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.6$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۵٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۱۲٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۲۸/۵۷٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۰- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری - با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

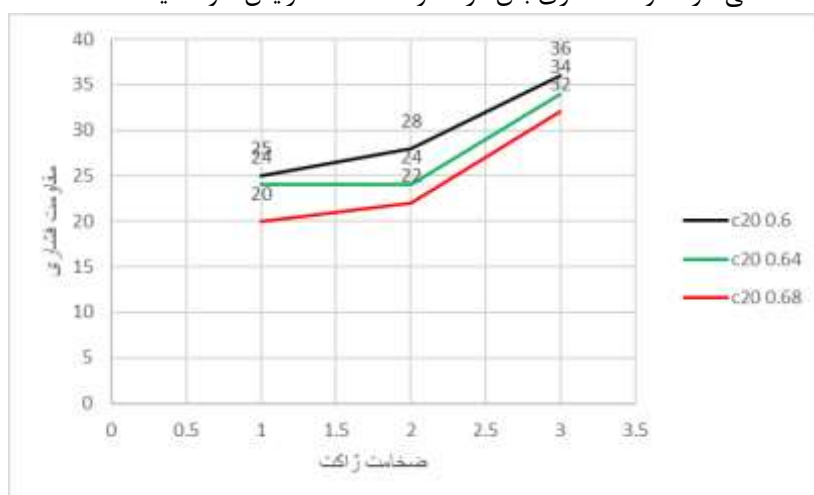
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با

ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ی ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۰٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۴۱.۶۷٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۱- کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها با مقاومت فشاری بتن سبک ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت فشاری مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ی ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۰٪ درصدی مقاومت فشاری نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت فشاری نمونه بتنی در حدود ۱۰٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت فشاری بتن در حدود ۴۵/۴۵٪ افزایش خواهد یافت.

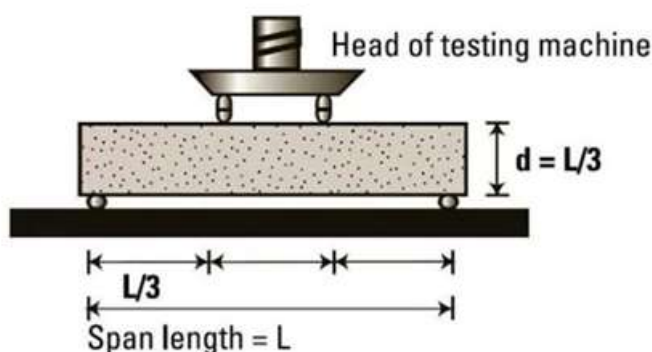


شکل ۱۲- نمودار قیاسی کسب مقاومت ۲۸ روزه ($f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه فشاری- با نسبت آب سیمان $w/c=0.60$, $w/c=0.64$, $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

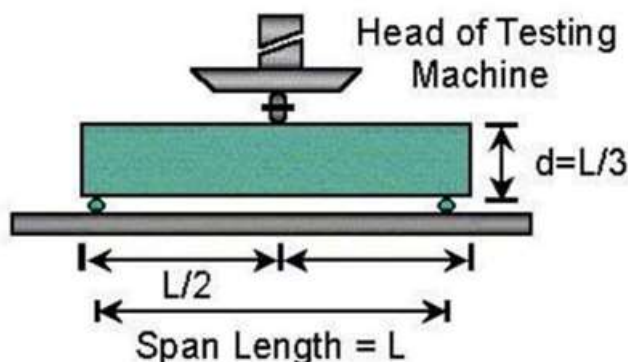
معرفی و روش اجرای آزمایش آزمایش خمشی بتن

معرفی

در آزمایش مقاومت خمشی بتن به صورت غیر مستقیم به ارزیابی مقاومت کششی بتن پرداخته می‌شود. این آزمایش، قابلیت تیر یا دال بتنی غیر مسلح را به لحاظ مقاومت در برابر شکست ناشی از خمش مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج آزمایش مقاومت خمشی بتن به صورت یک مدول گسیختگی بیان می‌شود و با MR و واحد مگاپاسکال یا پوند بر اینچ مربع نشان داده می‌شود. آزمایش خمشی بتن را می‌توان با استفاده از آزمایش سه بار نقطه ای (ASTM C78) یا آزمایش بار نقطه ای مرکزی (ASTM C293) انجام داد. هر دو آزمایش در شکل ۱ و ۲ به ترتیب نشان داده شده اند. روش آزمایشی که در این نوشتار توصیف شده بر ASTM C78 استوار است.



شکل ۱۳. آزمایش مقاومت خمشی بتن - آزمایش بارگذاری سه نقطه ای (ASTM C78)



شکل ۱۴. آزمایش بار نقطه ای مرکزی (ASTM C293)

باید توجه شود که مقدار مدول گسیختگی به دست آمده از آزمایش بار نقطه ای مرکزی، حدود ۱۵ درصد از مدول گسیختگی به دست آمده از آزمایش با سه بار نقطه ای کوچکتر است. به علاوه مشاهدات نشان داده اند که هر چه نمونه‌های بتنی بزرگ‌تر باشند؛ مدول گسیختگی کمتر خواهد بود. به علاوه مدول گسیختگی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری بتن است. این مدول تحت تأثیر نسبت های اختلاط، اندازه و مقدار سنگدانه ی درشت استفاده شده برای ساخت نمونه قرار دارد. در نهایت معادله ی زیر را می‌توان برای محاسبه ی مدول گسیختگی استفاده کرد، اما اگر این مدول در طراحی حائز اهمیت باشد باید این معادله را از طریق آزمایش تعیین کرد.

$$f_r = 7.5 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

مدول گسیختگی = f_r

مقاومت فشاری بتن = f'_c



شکل ۱۵. ماشین آزمایش خمشی و نمونه ی بتنی (ASTM C78)

کاربردهای آزمایش مقاومت خمشی بتن

- تعیین مطابقت با استانداردها
- این آزمایش یکی از ضروریات در طرح اختلاط بتن است.
- از این آزمایش برای ارزیابی بتن در ساخت دال و روسازی ها استفاده می شود.
- چه عواملی باعث ایجاد تغییرات در نتایج آزمایش خمشی بتن می شوند؟
- آماده سازی نمونه ی بتنی
- اندازه ی نمونه
- شرایط رطوبت نمونه ی بتنی
- عمل آوری نمونه ی بتنی
- تغییر به دلیل قالب گیری یا بریده شدن نمونه به اندازه ی دلخواه

اندازه ی نمونه ی آزمایش خمشی

بر اساس ASTM عرض، عمق و طول نمونه به ترتیب برابر با ۱۵۰ میلی متر، ۱۵۰ میلی متر و حداقل سه برابر عمق نمونه است. استاندارد هند اندازه ی نمونه را به صورت ۱۵۰ میلی متر عرض، ۱۵۰ میلی متر عمق و دهانه ی ۷۰۰ میلی متر، تعیین کرده است. همچنین این استاندارد بیان می کند در صورتی که حداکثر اندازه ی سنگدانه بزرگتر از ۱۹ میلی متر نباشد می توان از اندازه ی ۱۰۰ میلی متر عرض، ۱۰۰ میلی متر عمق و ۵۰۰ میلی متر دهانه استفاده کرد. استاندارد بریتانیا سطح مقطع مربعی ۱۰۰ میلی متری یا ۱۵۰ میلی متری و دهانه ی چهار تا پنج برابر عمق نمونه را تعیین کرده است. با این وجود این استاندارد هم اندازه های ۱۵۰ میلی متر در ۱۵۰ میلی متر و دهانه ی ۷۵۰ میلی متر را ترجیح می دهد.

وسایل آزمایش خمشی بتن

۱. قالب فولادی یا آهنی یا قالبی از جنس هر ماده غیر جاذب دیگر با اندازه ی ۱۵۰ میلی متر در ۱۵۰ میلی متر در ۷۵۰ میلی متر
۲. میله های ضربه زن: دو میله ی بزرگ (با قطر ۱۶ میلی متر و طول ۶۰۰ میلی متر) و یک میله ی کوچک (۱۰ میلی متر قطر و ۳۰۰ میلی متر طول) مطابق با ASTM

۳. ماشین آزمایش که قادر به اعمال بارها به صورت یکنواخت و بدون وقفه باشد

۴. بیلچه

۵. ماله

۶. ترازو با دقت ۱ گرم

۷. مخلوط کن برقی بتن

۸. میز ویبره در صورتی که از ویبره برای متراکم کردن بتن در قالب ها استفاده شود.

آماده سازی نمونه ی بتنی

- نسبت های مصالح شامل سیمان، ماسه، سنگدانه و آب را تعیین کنید.
- مصالح را با استفاده از دست یا با استفاده از مخلوط کن مناسب مخلوط کنید.
- اسلالمپ هر نمونه از بتن را بعد از مخلوط کردن اندازه بگیرید.
- قالب ها را روی سطح افقی قرار داده و سطح داخلی را با ماده ی مناسب روغن کاری کنید توجه داشته باشید که از روغن کاری بیش از حد اجتناب کنید.
- بتن تازه را در سه لایه داخل قالب بریزید.
- هر لایه را با میله ی ۱۶ میلی متری و با ۲۵ ضربه متراکم کنید یا کل قالب را در یک مرحله پر کرده و آن را با استفاده از میز ویبره متراکم کنید.
- بتن اضافی را از بالای قالب برداشته و بدون اعمال فشار آن را صاف کنید.
- روی نمونه ها را بپوشانید و آن ها را در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت نگهداری کنید.
- قالب ها را برداشته و نمونه ها را در دمای 23 ± 2 درجه ی سانتی گراد و رطوبت عمل آوری کنید.
- سن آزمایش ۱۴ و ۲۸ روز است و سه نمونه از هر سن باید آماده شود (طبق استاندارد هندی، نمونه در آب با دمای ۲۴ تا ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت انبار شده و سپس آزمایش می شود).

فرآیند آزمایش مقاومت خمشی بتن

آزمایش باید بر روی نمونه بلافاصله بعد از خارج شدن از شرایط عمل آوری انجام داد تا از خشک شدن سطح نمونه که مقاومت خمشی را کاهش می دهد جلوگیری شود. نمونه را در نقاط بارگذاری قرار دهید. سطح پرداخت شده با دست نمونه نباید در تماس با نقاط بارگذاری باشد. این کار باعث می شود که نمونه تماس قابل قبولی با نقاط بارگذاری داشته باشد. سیستم بارگذاری را نسبت به نیروی وارده در مرکز قرار دهید. بلوک های اعمال کننده ی نیرو را در نقاط بارگذاری با سطح نمونه تماس دهید. مقادیر بارهای اعمالی باید بین ۲ تا ۶ درصد بار نهایی باشند. از فیلر گیج های ۰.۱ میلی متر و ۰.۳۸ میلی متر استفاده کنید تا مشخص کنید که آیا فاصله ی بین نمونه و محل اعمال بار یا فاصله نمونه تا بلوک های تکیه گاهی بزرگ تر یا کوچکتر از فاصله ی گیج ها در فاصله ی ۲۵ میلی متر یا بیشتر است. هر فاصله ی بیش از ۱۰ میلی متر را با استفاده از درزگیرهای چرمی از بین ببرید (ضخامت ۶.۴ میلی متر و طول ۲۵ تا ۵۰ میلی متر) و این کار باید در تمام عرض نمونه انجام شود. برای حذف فاصله های بیش از ۰.۳۸ میلی متر باید از اندودکاری استفاده کرد. نمونه را بدون شوک و به صورت پیوسته تا نقطه ی شکست با نرخ ثابت بارگذاری کنید) استاندارد هندی نرخ بارگذاری ۴۰۰ کیلوگرم در دقیقه برای نمونه ی ۱۵۰ میلی متری و ۱۸۰ کیلوگرم بر دقیقه برای نمونه ی ۱۰۰ میلی متری را پیشنهاد می کنند، نرخ افزایش تنش 0.06 ± 0.04 نیوتون بر میلی متر مربع هم بر اساس استاندارد بریتانیایی پیشنهاد شده است.

نرخ بارگذاری طبق استاندارد ASTM را می توان با معادله ی زیر به دست آورد:

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

R=نرخ بارگذاری

S=نرخ افزایش

b=عرض نمونه ی میانگین

d=عمق نمونه ی میانگین

L=طول دهانه

در نهایت سطح مقطع نمونه ی آزمایش شده در هر انتها و مرکز را اندازه گرفته و ارتفاع و عرض میانگین را محاسبه می کنیم.

محاسبه ی مدول شکست

فرمول زیر برای تخمین مدول شکست استفاده می شود:

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

MR=مدول شکست

P=بار اعمالی نهایی نشان داده شده در ماشین آزمایش

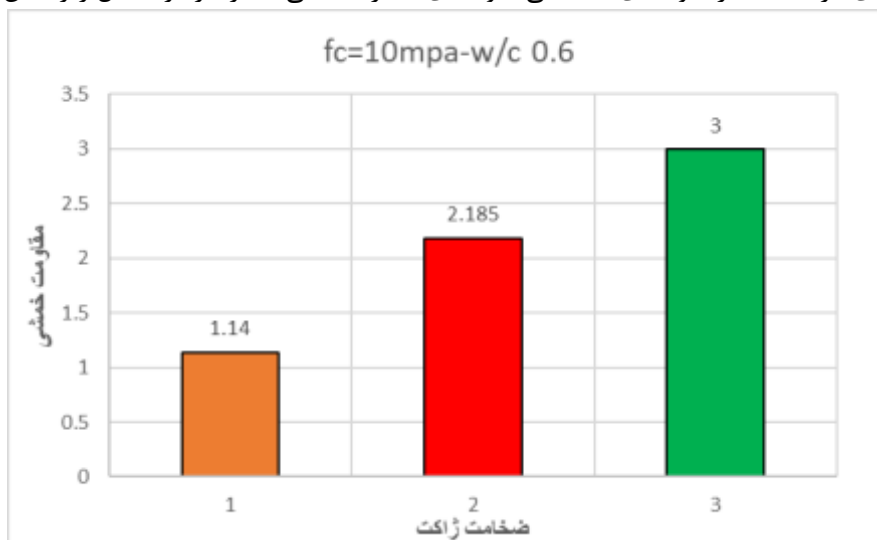
L=طول دهانه

b=عرض میانگین نمونه در شکست

d=عمق میانگین نمونه در شکست

نتایج آزمایش مقاومت خمشی مدل (Fc=10mpa)

بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی نمونه ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و خمشی بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت فشاری بتن سبک ۱۰ مگاپاسکال انجام شد با که در زیر مشاهده می کنید می توان، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت خمشی آزمایشگاهی که شامل مقاومت خمشی، برای نمونه های گرفته شده از نمونه های مطالعاتی نمونه های شماره ۱۸ الی ۲۷ را در اشکال زیر نشان داده است.

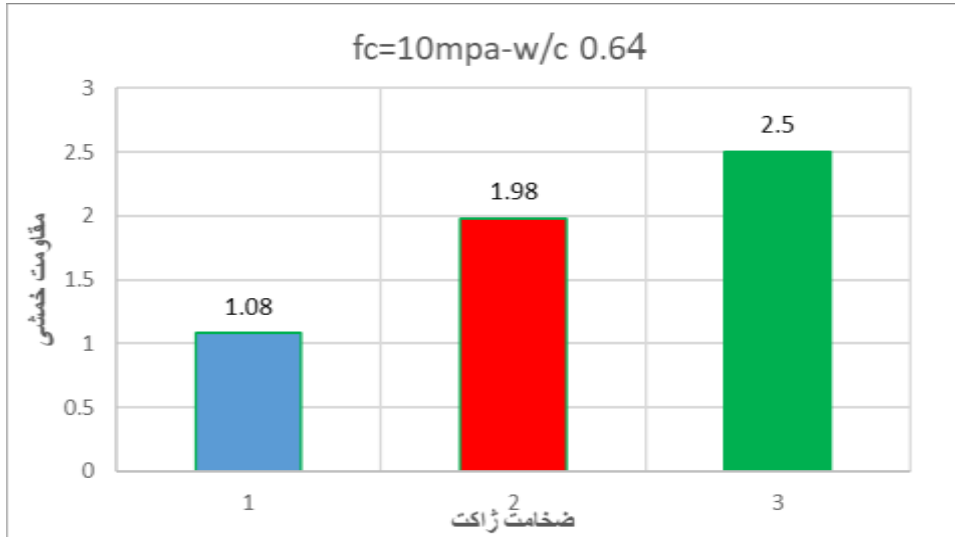


شکل ۱۶- کسب مقاومت خمشی ($MR=0.9mpa$ $fc=10mpa$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب

سیمان $w/c=0.6$ با ضخامت ژاکت های (1cm-2cm-3cm)

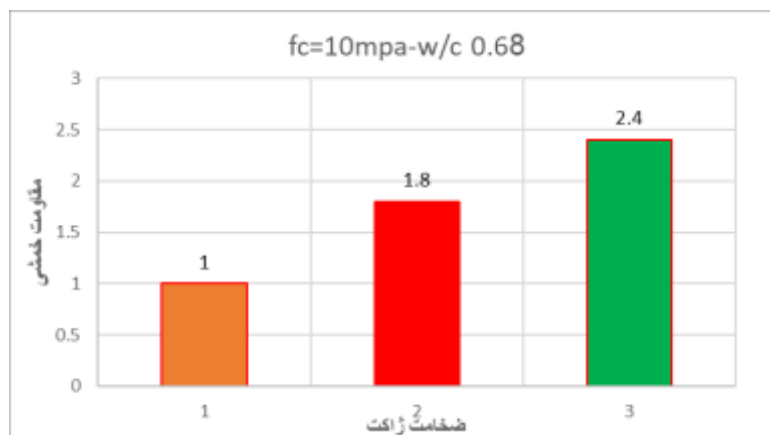
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن یافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ و درصد یاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت،

از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۶.۷٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۹۱.۶۷٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۳۷.۳٪ افزایش خواهد یافت.



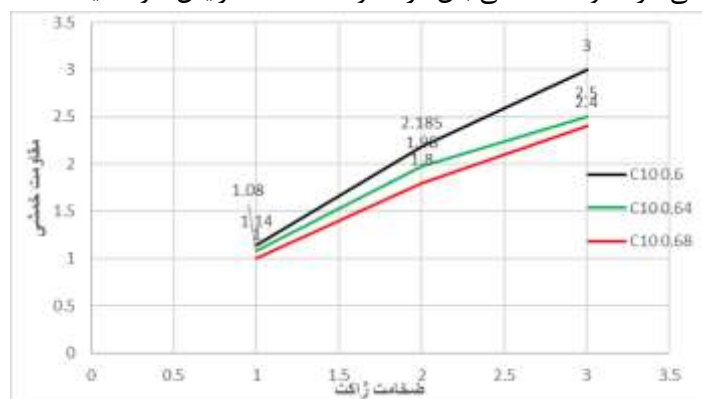
شکل ۱۷- کسب مقاومت خمشی ($MR=0.9mpa$ $fc=10mpa$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۸۳.۳۴٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۲۶.۲۶٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۸- کسب مقاومت خمشی ($MR=0.9mpa$ $fc=10mpa$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

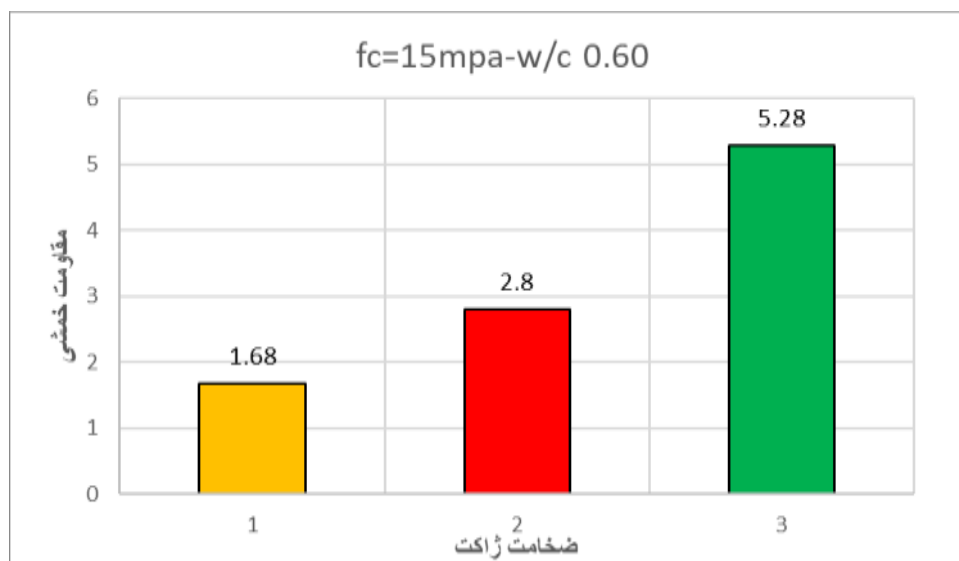
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۱۱،۱۲ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۸۰٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۳۳.۳۴٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۹- نمودار قیاسی کسب خمشی ($f_c=10\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی - با نسبت آب سیمان و $w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

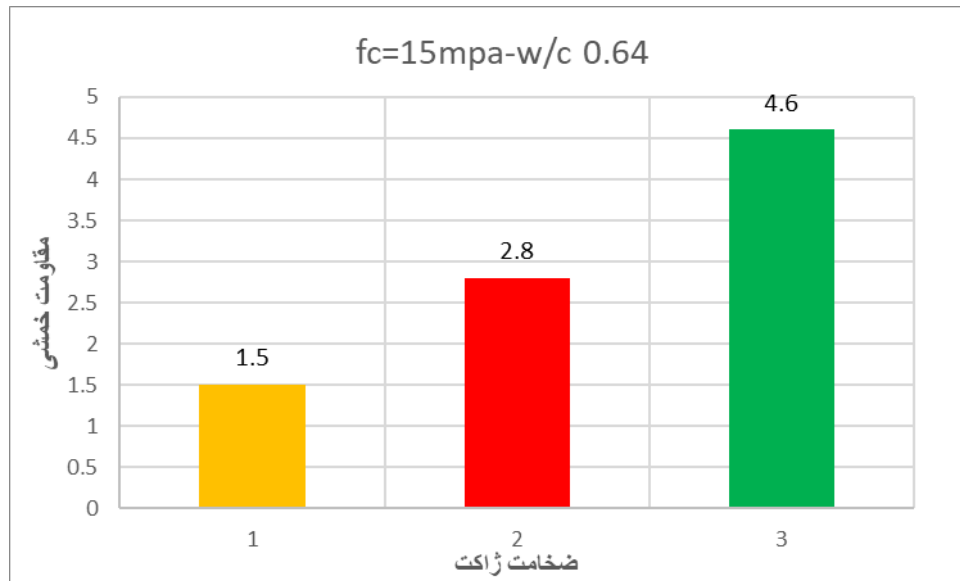
نتایج آزمایش مقاومت خمشی مدل ($F_c=15\text{mpa}$)

بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و فشاری بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت خمشی بتن سبک ۱۵ مگاپاسکال انجام شد با که در زیر مشاهده می‌کنید می‌توان، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت خمشی آزمایشگاهی که شامل مقاومت فشاری، برای نمونه‌های گرفته شده از نمونه‌های مطالعاتی نمونه‌های شماره ۹ الی ۱۸ را در در اشکال زیر نشان داده است.



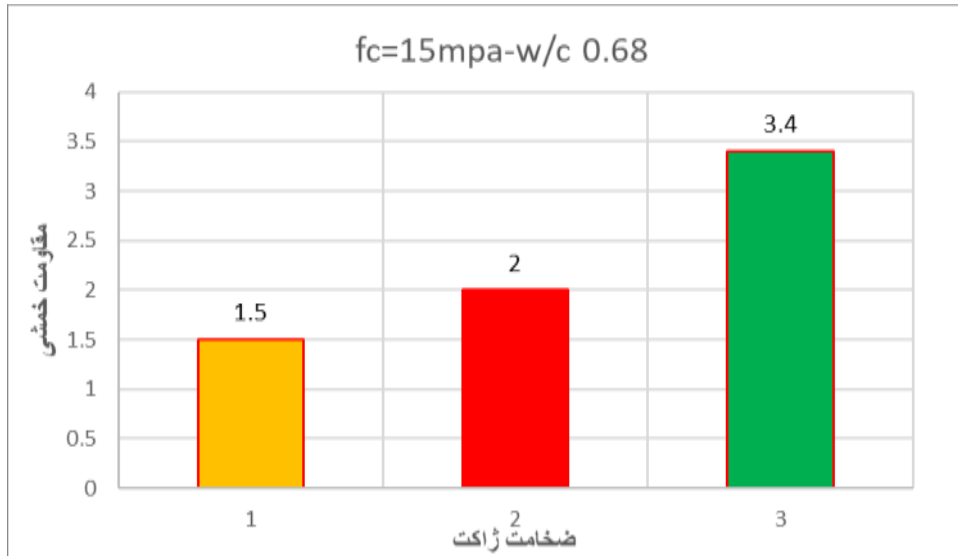
شکل ۲۰- کسب مقاومت خمشی ($MR=1.5\text{mpa}$ $f_c=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.6$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۱۲٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۶۶.۶۷٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۸۸.۵۷٪ افزایش خواهد یافت.



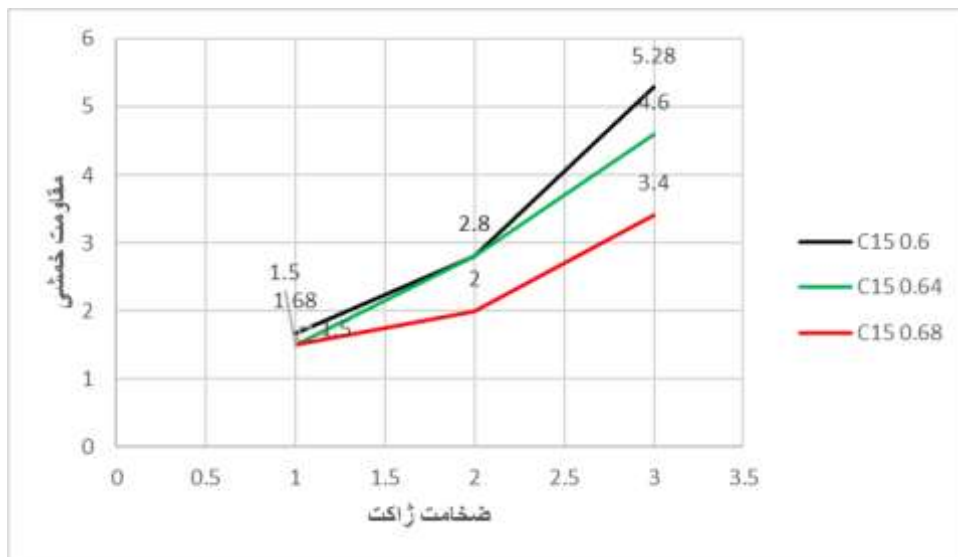
شکل ۲۱- کسب مقاومت خمشی ($MR=1.5mpa$ $fc=15mpa$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۰٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۸۶.۶۷٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۶۴.۲۹٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۲- کسب مقاومت خمشی ($MR=1.5\text{mpa } fc=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

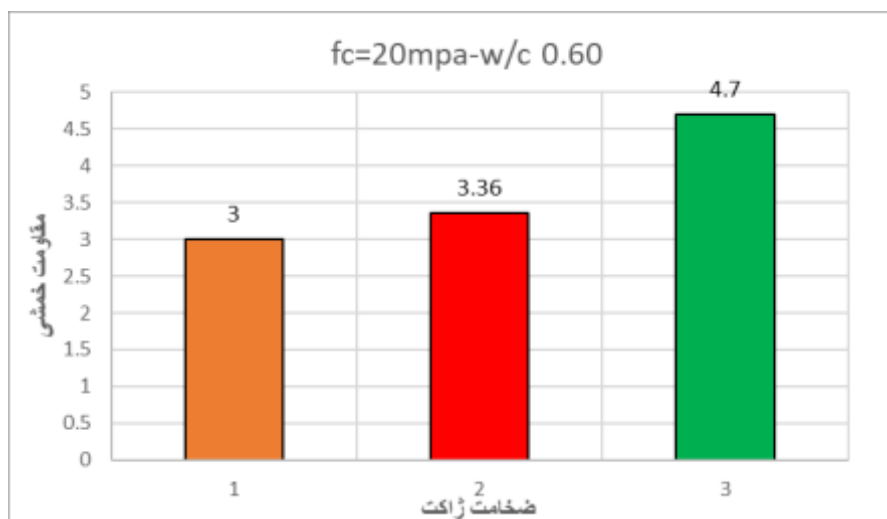
در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ی ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۰٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه می‌شود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۳۳.۳۴٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۷۰٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۳- نمودار قیاسی کسب مقاومت خمشی ($fc=15\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی - با نسبت آب سیمان و $w/c=0.68, w/c=0.64, w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

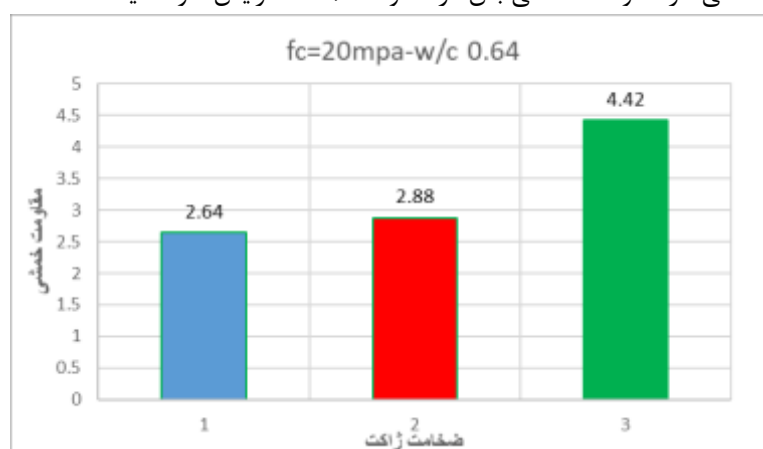
نتایج آزمایش مقاومت خمشی مدل ($f_c=20\text{mpa}$)

بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌ها به منظور بررسی اثر تأثیر ضخامت ژاکت بر رفتار مکانیکی و فشاری بتن برای سه حالت نسبت آب به سیمان ($w/c=0.68$, $w/c=0.64$, $w/c=0.60$) با مقاومت خمشی بتن سبک ۲۰ مگاپاسکال انجام شد با که در زیر مشاهده می کنید می توان، تمامی نتایج مشخصات آزمایشات مقاومت خمشی آزمایشگاهی که شامل مقاومت فشاری، برای نمونه‌های گرفته شده از نمونه‌های مطالعاتی نمونه‌های شماره ۹ الی ۱۸ را در در اشکال زیر نشان داده است.



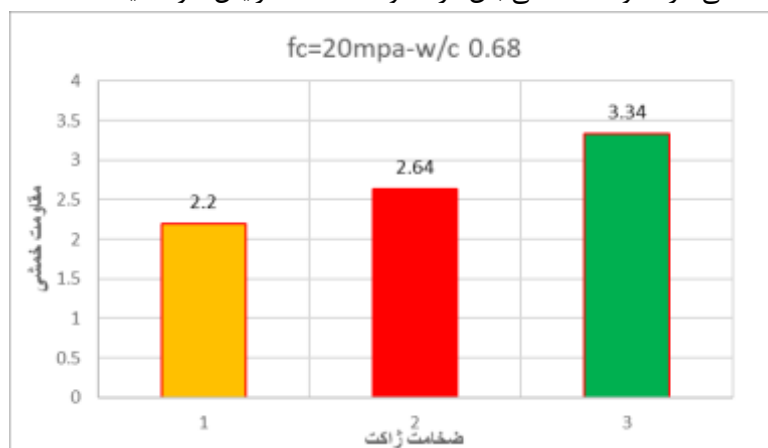
شکل ۲۴- کسب مقاومت خمشی ($MR=2.2\text{mpa}$ $f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی ($1\text{cm}-2\text{cm}-3\text{cm}$)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت ($1\text{cm}-2\text{cm}-3\text{cm}$) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.6$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۳۶.۳۷٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۱۲٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۳۹.۸۸٪ افزایش خواهد یافت.



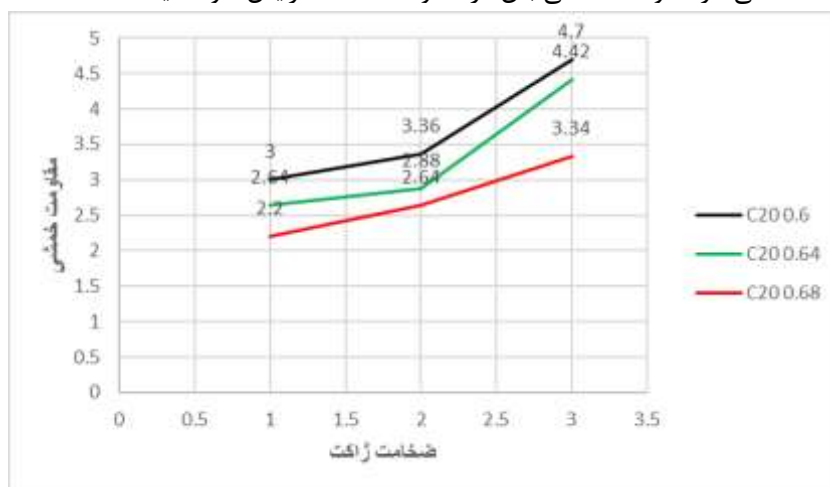
شکل ۲۵- کسب مقاومت خمشی ($MR=2.2\text{mpa}$ $f_c=20\text{mpa}$) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.64$ با ضخامت ژاکت‌هایی ($1\text{cm}-2\text{cm}-3\text{cm}$)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۹,۱٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۵۳,۴۷٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۶- کسب مقاومت خمشی (MR=2.2mpa fc=20mpa) تحت آزمایش مقاومت خمشی با نسبت آب سیمان $w/c=0.68$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

در این بخش بعد از انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌ها با مقاومت خمشی بتن سبک با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال در این بخش به منظور بررسی اثر تأثیر پارامتر ضخامت ژاکت (1cm-2cm-3cm) بر روی مقاومت فشاری بتن کم مقاومت بتن الیافی با ثابت نگاه داشتن پارامتر نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ و درصد الیاف فولادی ثابت و متغیر کردن ضخامت ژاکت، از تشریح نتایج آزمایش مقاومت خمشی مشخص شد که افزایش ضخامت ژاکت به اندازه ۱ سانتی‌متر باعث افزایش ۲۰٪ درصدی مقاومت خمشی نمونه نسبت به مقاومت اولیه میشود و همچنین با افزایش ضخامت ژاکت از ۱ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر میزان مقاومت خمشی نمونه بتنی در حدود ۲۰٪ درصد افزایش خواهد یافت، و همچنین نیز با ادامه افزایش ضخامت ژاکت از ۲ به ۳ سانتی‌متر مقاومت خمشی بتن در حدود ۲۶,۵۲٪ افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۷- نمودار قیاسی کسب مقاومت خمشی (fc=20mpa) تحت آزمایش مقاومت خمشی - با نسبت آب سیمان و $w/c=0.68, w/c=0.64, w/c=0.60$ با ضخامت ژاکت‌هایی (1cm-2cm-3cm)

نتیجه گیری

- ۱- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۵۱.۷۴٪ افزایش خواهد یافت.
- ۲- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۴۰.۵۱٪ افزایش خواهد یافت.
- ۳- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۳۸.۸۹٪ افزایش خواهد یافت.
- ۴- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۵۱.۶۴٪ افزایش خواهد یافت.
- ۵- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۴۵٪ افزایش خواهد یافت.
- ۶- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۳۰.۷۱٪ افزایش خواهد یافت.
- ۷- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۲۱.۸۶٪ افزایش خواهد یافت.
- ۸- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۲۰.۵۶٪ افزایش خواهد یافت.
- ۹- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت فشاری نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت فشاری نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۱۸.۴۸٪ افزایش خواهد یافت.

نتایج آزمایشات خمشی نمونه‌ها

- ۱- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۵۱.۸۹٪ افزایش خواهد یافت.
- ۲- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۴۳.۲٪ افزایش خواهد یافت.

- ۳- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۴۱,۴۹٪ افزایش خواهد یافت.
- ۴- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۵۵,۷۵٪ افزایش خواهد یافت.
- ۵- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۵۰,۳۲٪ افزایش خواهد یافت.
- ۶- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۱۵ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۳۴,۴۵٪ افزایش خواهد یافت.
- ۷- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.60$ به طور میانگین در حدود ۲۹,۴۱٪ افزایش خواهد یافت.
- ۸- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.64$ به طور میانگین در حدود ۲۷,۵۲٪ افزایش خواهد یافت.
- ۹- با توجه به مقایسه نمودار مقاومت خمشی نمونه در بتن کم مقاومت با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال نتیجه شد که با افزایش ضخامت ژاکت مقاومت خمشی نمونه‌های با درصد نسبت آب به سیمان $w/c=0.68$ به طور میانگین در حدود ۱۵,۴۲٪ افزایش خواهد یافت.

میانگین	تغییرات مقاومت فشاری در هنگام افزایش ضخامت ژاکت (%)			
	ضخامت (Cm)	0--->1	1--->2	2--->3
51.736	$f_c=10\text{mpa}-w/c=0.6$	20	91.7	43.48
40.51	$f_c=10\text{mpa}-w/c=0.64$	20	83.34	18.18
38.89	$f_c=10\text{mpa}-w/c=0.68$	20	66.67	30
51.64	$f_c=15\text{mpa}-w/c=0.6$	6.67	56.25	92
45	$f_c=15\text{mpa}-w/c=0.64$	0	60	75
30.71	$f_c=15\text{mpa}-w/c=0.68$	0	46.67	45.45
21.86	$f_c=20\text{mpa}-w/c=0.6$	25	12	28.57
20.56	$f_c=20\text{mpa}-w/c=0.64$	20	0	41.67
18.48	$f_c=20\text{mpa}-w/c=0.68$	0	10	45.45

میانگین	تغییرات مقاومت خمشی در هنگام افزایش ضخامت ژاکت (%)			
	ضخامت (Cm)	0--->1	1--->2	2--->3
51.89	fc=10mpa-w/c=0.6	26.7	91.67	37.3
43.2	fc=10mpa-w/c=0.64	20	83.34	26.26
41.49	fc=10mpa-w/c=0.68	11.2	80	33.34
55.75	fc=15mpa-w/c=0.6	12	66.67	88.57
50.32	fc=15mpa-w/c=0.64	0	86.67	64.29
34.45	fc=15mpa-w/c=0.68	0	33.34	70
29.41	fc=20mpa-w/c=0.6	36.36	12	39.88
27.52	fc=20mpa-w/c=0.64	20	9.1	53.47
15.42	fc=20mpa-w/c=0.68	0	20	26.25

پیشنهادات

با توجه به این امر که تحقیق و پژوهش در یک زمینه از لحاظ علمی و مبانی تئوری بسیار گسترده هست و هر روز در این دریای بی کران علم و هستی ذره ای از علم و خلقت خداوند رو محققین در حال اثبات و اشکار کردن برای جامعه بشری هستند، می توانیم اینگونه بیان کنیم که با توجه به این امر مهم، این پژوهش هم از قاعده مستثنی نخواهد بود، به همین جهت با توجه و به روز بودن این موضوع می توان پژوهش های جامعی در این حوزه انجام داد از جمله این موارد می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- بررسی اثر الیاف فولادی فولادی در ترکیب با خاکستر چوب گردو در بتن کم مقاومت را مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

منابع

- ۱- . بویسیس در سال ۲۰۰۶ آزمایشهایی را بر روی ستونهای مستطیلی شکل با پوشش بتنی تحت بار گذاری چرخشی انجام داد.
- ۲- بررسی رفتار قاب های فولادی گیردار با پوشش ضد آتش و قاب های فولادی گیردار معمولی تحت آتش سوزی پس از زلزله و آتش سوزی معمولی؛الناز پیغاله، مسعود ضیایی، محمد رضا ذوالفقاری، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه سمنان، اردیبهشت ۹۳
- ۳- بررسی رفتار لرزه ای قاب های فولادی صلب پس از آتش سوزی، حامد حاجی کریمیان، فصلنامه علمی و پژوهشی علوم مهندسی زلزله، سال سوم، پاییز ۱۳۹۵
- ۴- پریستلی و همکاران در سال ۱۹۹۶ روش پوشش بتنی برای ستونهای مستطیلی و دایره‌ای به همراه جزئیات ارائه داد و او اظهار داشت که پوشش بتنی برای ستون دایره ای زمانی مناسب است که فاصله بین تنگ ها یا فاصله بین حلقه های اسپیرال کم باشد.
- ۵- دریتسوس در سال ۲۰۱۰ اثر جمع شدگی بتن در ستونهای بتنی بهسازی شده با پوشش بتنی را مورد ارزیابی عددی قرار دادند . آنها از این تحقیق نتیجه گرفتند که جمع شدگی روکش بتنی، مقاومت ستون را کاهش می دهد و بنابراین می بایست اثرات آن که شامل القای لغزش بین بتن قدیم و جدید و همچنین تولید تنش های کششی در روکش بتنی است در نظر گرفته شود
- ۶- رودریگوز در سال ۱۹۹۴ و پارک در سال ۱۹۷۵ بررسی های آزمایشگاهی را بر روی ستون های بتنی مستطیل شکل تحت بار گذاری شبیه سازی شده لرزه ای انجام دادند. آنها به بررسی افزایش مقاومت، سختی و شکل پذیری به عنوان یک نتیجه از ستون تخریب شده و تخریب نشده با روکش بتنی پرداختند و تاثیرات آن را گزارش کردند.
- ۷- فرهودی، علی؛ ابراهیم خلیل زاده وحیدی و محمدجواد مرادی، ۱۳۹۳، مقاوم سازی دال های بتن مسلح با بازشو با استفاده از الیاف پلیمری مسلح همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، تبریز، کانون ملی انجمنهای صنفی مهندسان معمار ایران،
- ۸- قدس، نادر و محمود سنائی، ۱۳۹۳، مقاوم سازی مخازن آب بتنی توسط الیاف مسلح پلیمری هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی
- ۹- کنفرانس بین المللی زلزله، (FRP) هاشمی، سیدحمید، ۱۳۸۳، مقاوم سازی ساختمانهای بتن مسلح به کمک الیاف پلیمری (یادواره فاجعه بم)، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۱۰- مقاومت قاب های خمشی فولادی ویژه در برابر آتش سوزی پس از زلزله، محسن گرامی، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری

11- Flint, G. (2005) Fire Induced Collapse of Tall Buildings. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh, Scotland.

12- McAllister, T.P., Gross, J.L., and Hurley, M.J. (2010) Best Practice Guidelines for Structural FireResistance Design of Concrete and Steel Buildings. National Institute of Standards and Technology.

13- Behnam, B. and Ronagh, H.R. (2014) Behavior of moment-resisting tall steel structures exposed to avertically traveling post-earthquake fire. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 23(14), 1083-1096.

14- . Reis, A., Lopes, N., and Real, P.V. (2016) Numerical study of steel plate girders under shear loading at elevated temperatures. Journal of Constructional Steel Research, 117, 1-12.

- 15- Usmani, A.S., Rotter, J.M., Lamont, S., Sanad, A. M., and Gillie, M. (2001) Fundamental principles of structural behaviour under thermal effects. *Fire Safety Journal*, 36(8), 721-744.
- ۱۶- شعبانی میثم، مدندوست رحمت، چرختاب شاهین، تحلیل عددی تأثیر آتش بر روی قاب بتنی مسلح به میلگردهای FRP و فولاد، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری
- ۱۷- توکلی حمیدرضا، شاه بهرامی احمدرضا، تأثیر آتش سوزی پس از زلزله بر سطح عملکرد قاب های خمشی مهاربندی شده فولادی، چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری
- ۱۸- خلیل زاده وحیدی، ابراهیم و محمدصابر مرادی، ۱۳۹۴، بررسی تأثیر آتش سوزی بر خصوصیات مکانیکی بتن مسلح، کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان، دانشگاه تهران،
- 19- Barros, J. A., Varma, R. K., Sena-Cruz, J. M., & Azevedo, A. F. (2008). Near surface mounted CFRP strips for the flexural strengthening of RC columns: Experimental and numerical research. *Engineering structures*, 30(12), 3412-3425.
- 20- Chellapandian, M., Prakash, S. S., & Rajagopal, A. (2018). Analytical and finite element studies on hybrid FRP strengthened RC column elements under axial and eccentric compression. *Composite Structures*, 184, 234-248.
- 21- Dundar, C., Erturkmen, D., & Tokgoz, S. (2015). Studies on carbon fiber polymer confined slender plain and steel fiber reinforced concrete columns. *Engineering structures*, 102, 31-39.
- 22- El Maaddawy, T. (2009). Strengthening of eccentrically loaded reinforced concrete columns with fiber-reinforced polymer wrapping system: Experimental investigation and analytical modeling. *Journal of Composites for Construction*, 13(1), 13-24.
- 23- Germano, F., Plizzari, G., & Tiberti, G. (2013). Experimental study on the behavior of SFRC columns under seismic loads. Paper presented at the Proceedings of the 8th international conference on fracture mechanics of concrete and concrete structures.
- 24- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2018). Behavior of steel fiber-reinforced concrete-filled FRP tube columns: Experimental results and a finite element model. *Composite Structures*, 194, 252-262.
- 25- Hadi, M., & Le, T. (2014). Behaviour of hollow core square reinforced concrete columns wrapped with CFRP with different fibre orientations. *Construction and Building Materials*, 50, 62-73.
- 26- Hu, D., & Barbato, M. (2014). Simple and efficient finite element modeling of reinforced concrete columns confined with fiber-reinforced polymers. *Engineering structures*, 72, 113-122.
- 27- Kabir, M. Z., & Shafei, E. (2012). Plasticity modeling of FRP-confined circular reinforced concrete columns subjected to eccentric axial loading. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3497-3506.
- 28- Karabinis, A. I., Rousakis, T. C., & Manolitsi, G. E. (2008). 3D finite-element analysis of substandard RC columns strengthened by fiber-reinforced polymer sheets. *Journal of Composites for Construction*, 12(5), 531-540.
- 29- Samaan, M., Mirmiran, A., & Shahawy, M. (1998). Model of concrete confined by fiber composites. *Journal of structural engineering*, 124(9), 1025-1031.
- 30- Van Den Einde, L., Zhao, L., & Seible, F. (2003). Use of FRP composites in civil structural applications. *Construction and Building Materials*, 17(6-7), 389-403.

- ۳۱- تأثیر آتش سوزی بر مقاومت پسماند جانبی قاب بتن مسلح مقاومت بالا، مصطفی کردی ۱، مازیار باغبدرانی ۲، علیرضا چابکی خیابانی ۳، مرتضی بسطامی ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ۳۲- نیکخو، علی و زنجانی، سمیرا، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر الیاف FRP و FRP پیشتنیده در تقویت رفتار لرزه ای قاب بتن مسلح، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، تهران، ۳۸/506938، <https://civilica.com/doc/506938>
- 33- Abdollahi Chahkand, N., Zamin Jumaat, M., Ramli Sulong, N. H., Zhao, X. L., & Mohammadzadeh, M. R. (2013a). Experimental and theoretical investigation on torsional behaviour of CFRP strengthened square hollow steel section. *Thin-Walled Structures*, 68, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.03.008>
- 34- Bambach, M., & Elchalakani, M. (2007). Plastic mechanism analysis of stub columns strengthened with CFRP under large axial deformation. *Thin-Walled Structures*, 45(2), 159–170.
- 35- Bambach, M. R., Jama, H. H., & Elchalakani, M. (2009a). Axial capacity and design of thin-walled steel SHS strengthened with CFRP. *Thin-Walled Structures*, 47(10), 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2008.10.006>
- 36- Dawood, M., Sumner, E., Rizkalla, S. H., & Schnerch, D. (2006). Strengthening steel bridges with new high modulus CFRP materials. In *3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management - Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost* (Vol. Porto, pp. 1063–1064). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-56749105580&partnerID=40&md5=aa4ab3de9e38ca42df38c43cab8df9d2>
- 37- Ghaemdoust, M. R., Narmashiri, K., & Yousefi, O. (2016). Structural behaviors of deficient steel SHS short columns strengthened using CFRP. *Construction and Building Materials*, 126, 1002–1011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.099>
- 38- Gillespie J. W., Mertz D. R., Kasai K., Edberg W. M., D. (1996). Rehabilitation of Steel Bridge Girders: Large Scale Testing. In *Proceeding of the American Society for Composites 11th Technical Conference on Composite Materials* (pp. 231–240).
- 39- Haedir, J., & Zhao, X. L. (2011a). Design of short CFRP-reinforced steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(3), 497–509. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.09.005>
- 40- Hai, N. D. N. D., Mutsuyoshi, H., Asamoto, S., & Matsui, T. (2010). Structural behavior of hybrid FRP composite I-beam. *Construction and Building Materials*, 24(6), 956–969. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.022>
- 41- Harries, K. A., Peck, A. J., & Abraham, E. J. (2009b). Enhancing stability of structural steel sections using FRP. *Thin-Walled Structures*, 47(10), 1092–1101. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2008.10.007>
- 42- Kalavagunta, S., Naganathan, S., & Mustapha, K. N. Bin. (2013b). Capacity assessment and design of CFRP-strengthened steel channel columns. *Indian Journal of Science and Technology*, 6(4), 4255–4261.
- 43- Kalavagunta, S., Naganathan, S., Nasharuddin, K., & Mustapha, B. (2014). Axially Loaded Steel Columns Strengthened with CFRP. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 8(1), 58–69.
- 44- Kaya, A., Dawood, M., & Gencturk, B. (2015). Repair of corroded and buckled short steel columns using concrete-filled GFRP jackets. *Construction and Building Materials*, 94, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.040>
- 45- Narmashiri, K., Ramli Sulong, N. H., & Jumaat, M. Z. (2011b). Flexural strengthening of steel I-beams by using CFRP strips. *International Journal of*

- Physical Sciences*, 6(7), 1620–1627. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.140>
- 46- Peiris, N. A. (2011c). Steel beams strengthened with ultra high modulus CFRP laminates.
- 47- Shaat, A., & Fam, A. (2008a). Repair of Cracked Steel Girders Connected to Concrete Slabs Using Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Sheets. *Journal of Composites for Construction*, 12(6), 650–659. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2008\)12:6\(650\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2008)12:6(650))
- 48- Shaat, A., Schnerch, D., Fam, A., & Rizkalla, S. (2004). Retrofit of steel structures using fiber-reinforced polymers (FRP): State-of-the-art. In *Transportation research board (TRB) annual meeting. CD-ROM (04-4063)*.
- 49- Silvestre, N., Young, B., & Camotim, D. (2008b). Non-linear behaviour and load-carrying capacity of CFRP-strengthened lipped channel steel columns. *Engineering Structures*, 30(10), 2613–2630.
- 50- Theofanous, M., & Gardner, L. (2009c). Testing and numerical modelling of lean duplex stainless steel hollow section columns. *Engineering Structures*, 31(12), 3047–3058. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.08.004>