نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)

بررسی آزمایشگاهی خصوصیات مکانیکی و دوام بتن سبک حاوی بنتونیت و الیاف جهت استفاده در دیواره کانال های آبیاری

قاسم پاچیده [۱]*، امین مشتاق [۲]

۱-دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

ghpachideh@semnan.ac.ir

۲-مربی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه گرمسار، گرمسار، ایران

Amin.moshtagh@ugsr.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۴

چکیده

با توجه به رشد روز افزون تقاضا برای استفاده از بتن سبک پژوهش برای به دست آوردن نتیجه های بهینه از بتن سبک امری اجتناب ناپذیر است. بتن پلاستیک بتنی با مقاومت بسیار کمتر از بتن معمولی، شکل پذیری زیاد و نفوذپذیری پایین است.در این مطالعه تاثیر الیاف فولادی،پلی پروپیلن و شیشه در مقاومت کششی، فشاری و درصد جذب آب(دوام) بتن سبک پلاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور در ابتدا ۱۰ طرح اختلاط مقدماتی که در آنها تمامی مشخصات مصالح ثابت و فقط درصد الیاف تغییر کرده است و یک طرح به عنوان طرح اختلاط مرجع (بتن فاقد الیاف) تدوین گردید.پس از انتخاب طرح شاهد آزمایشهای مقاومت فشاری، کششی ، درصد جذب آب (دوام) در سنین ۷روزه و ۲۸روزه روی نمونه ها انجام گرفت که با توجه به نتایج می توان نتیجه گرفت که الیاف فولادی در افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف بسیار مفید بوده به طوریکه در بعضی از مراحل آزمایش مقاومت فشاری و کششی بتن را به بیش از ۴۰٪ افزایش می دهد اما الیاف پلی پروپیلن و شیشه به خاطر خصوصیات فیزیکی و ظاهری که دارند بیشتر در کاهش درصد جذب آب یا افزایش دوام بتن در محیطهای خورنده موثر می باشند، البته تاثیر هرچند اندکی در مقاومت فشاری و کششی بتن نیز دارند.

کلمات کلیدی: بتن سبک پلاستیک، بتن الیافی، الیاف فولادی، پلی پروپیلن، شیشه، خصوصیات مکانیکی، دوام.

۱- مقدمه

بتن در مفهوم بسیار وسیع به هر ماده یا محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد اتلاق می شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان های هیدرولیکی و آب می باشد. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان ها، سرباره ی کوره ها، مواد مضاف، گوگرد، مواد افزودنی، پلیمرها و الیاف و غیره تهیه شود. همچنین در نحوه ی ساخت آن ممکن است از حرارت، بخار آب، اتو کلاو، خلاء، فشارهای هیدرولیکی و متراکم کننده های مختلف استفاده شود[۱].عوامل طبیعی مانند سیل و زلزله در بعضی مناطق کشورمان به علت تلفات انسانی و مسائل آواربرداری و زیست محیطی باعث شده است که سبک سازی سازه ای به عنوان یکی از مسائل علمی روز دنیا مطرح شود. با توجه به این موضوع نیاز به بتن سبک که از اصلی ترین مصالح مصرفی در ساخت سازه هاست بیشتر احساس می شود [۲] در زمانهای گذشته از الیاف جهت تقویت ملاتهای ترد و شکننده استفاده می شد و پرطرفدارترین آن که به علت ارزانی قابل دسترسی بوده و هست، کاه می باشد که برای تقویت آجرهای خشتی و ملات کاهگل در اندودها در قبال ترک خوردگی که بعد از خشک شدن به وجود می آید به کار رفته و در حال حاضر نیز ارزان ترین نوع ملات در مناطق روستایی کشور است. قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف در جسم بتن به طور سه بعدی و به بیانی بهتر چند بعدی پراکنده می شود،در صورت تشکیل ترک که معمولا انتظار تغییر شکل می رود، در جهات مختلف، الیاف،اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نماید بنابر این رشته های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترکها وارد عمل شده و با تشکیل ریزترکهای زیاد همکری می نماید و در نتیجه قابلیت بهره برداری بتن افزایش می یابد[۳]. در تسلیح الیافی بتن در جریان عمل اختلاط الیاف در درون بتن به طور نامنظم و در جهات مختلف پخش می شوند[۴]. در بتن تازه با تعیین مقدار نوع و اندازه مناسب الیاف جمع شدگی و به تبع آن ترک ها 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 ترکهای بزرگ و انتقال نیرو از عرض این ترکها مقاومت کششی و فشاری افزایش و نفوذپذیری را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند در واقع الیاف با ایجاد پیوندهای مختلف با اجزای بتن، موجب انسداد و یا حبس تخلخل بتن شده و موجب کاهش نفوذپذیری و تکمیل هیدراتاسیون آن می گردند[۵]. تحقیقات انجام گرفته توسط حبیبی و همکاران در سال ۱۳۸۸ [۶] بر روی بتنها ی حاوی الیاف پلی پروپیلن با طولهای مختلف (۶، ۱۲ و ۱۹میلیمتر) و وزنهای مختلف (۰/۶ ، ۱/۳ ، ۲ و ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) نشان می دهند که استحکام و مقاومت حرارتی نمونه های بتنی با استفاده از الیاف پلی پروپیلن افزایش یافته است. آنها نمونه های مکعبی به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰×۲۵۰ میلیمتر را بعد از ۷ و ۲۸ روز از حوضچه آب خارج نمودند و جهت تست حرارتی نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن را در کوره ۴۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت قرار دادند. پس از آن تست های استحکام فشاری بر روی آنها انجام گرفت. چندراملی و همکاران در سال ۱۳۸۹ [۷] معتقدند که با ۱/۵ درصد الیاف فیبر شیشه نسبت به وزن بتن مدول گسیختگی در حدود ۲۰ درصد و چقرمگی حدود ۵۰ درصد افزایش می یابد. همچنین با افزایش نیروی لازم برای تغییر شکل بتن و افزایش چقرمگی، الیاف شیشه از انتشار ترک های بیشتر در بتن جلوگیری می کند. با ساخت نمونه های مکعبی بتن به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر و استوانه ای به ابعاد ۳۰۰*۱۵۰ میلیمتر و نمونه های مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلیمتر و انجام آزمایشات مقاومت فشاری، خمشی و کششی بر روی بتن الیافی و بتن شاهد به این نتیجه رسیدند که افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مقاومت بتن می گردد.

سینگ و همکاران در سال ۱۳۸۹ [۸] به بررسی مقاومت فشاری و خمشی نمونه های بتنی حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن پرداختند. آنها برای آزمایش مقاومت فشاری از قالبهای مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر و برای آزمایش مقاومت خمشی از قالبهای مکعب مستطیل به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلیمتر استفاده کردند. نمونه های بتنی مسلح به ترکیب الیاف فولادی و پلی پروپیلن با نسبتهای

۰-۱۰۰ درصد،۷۵-۲۵ درصد، ۵۰-۵۰ درصد، ۲۵-۷۵درصد و ۱۰۰-۰ درصد از حجم کل بتن ساخته گردید. آنها با انجام این آزمایشات به این نتیجه رسیدند که بهترین ترکیب الیاف فولادی و پلی پروپیلن، ۷۵درصد الیاف فولادی و ۲۵ درصد الیاف پلی پروپیلن می باشد.

گرنال و همکاران در سال ۱۳۹۱ [۹] در تحقیق خود با ساخت ۳طرح اختلاط بتن با الیاف فیبر شیشه و انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، خمشی و کششی در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی نمونه های بتنی حاوی الیاف فیبر شیشه، به این نتیجه رسیدند که الیاف فیبر شیشه در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری، خمشی و کششی بتن می گردد. زنگنه در سال ۱۳۹۱ [۱۰] در تحقیق خود با ساخت ۱۹ طرح اختلاط بتن با الیاف فولادی و فیبر شیشه ای و انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی و استوانه ای و آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه های مکعب مستطیل در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بر روی نمونه های بتنی حاوی الیاف فولادی و شیشه ای، به این نتیجه رسیدند که الیاف فولادی و فیبر شیشه ای در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن می گردند. حسینعلی بیگی و همکاران در سال ۱۳۹۱ [۱۱] در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر توام نانو سیلیس و الیاف مختلف(فلزی ، پلی پروپیلن، فیبر شیشه ای) بر چقرمگی، انرژی شکست و مقاومت خمشی بتن خود متراکم را بررسی کردند. بدین منظور آنها ۴۰ طرح اختلاط شامل ۴ سری که به ترتیب حاوی ۰، ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی سیمان، نانو سیلیس که به صورت جایگزین با سیمان را مورد بررسی قرار دادند. بررسی نتایج آنان نشان داد که حضور توام الیاف و درصد بهینه نانو سیلیس موجب بهبود قابلیت های چقرمگی، انرژی شکست و مقاومت خمشی بتن می شود. یائو و همکاران در سال ۲۰۰۳[۱۲و۱۳]بتن حاوی الیاف فولادی، کربنی و پلی پروپیلن با درصدهای مختلف را مورد آزمایش مقاومت خمشی قرار دادند. نتایج آزمایشها نشان داد که در هر صورت اضافه کردن الیاف بتن را نسبت به بتن معمولی مقاوم تر و شکل پذیر تر می سازد. کورشی و همکاران درسال ۲۰۰۸[۱۴] خواص بتن با مقاومت زیاد را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که با افزایش الیاف فولادی، مقاومت کششی به صورت خطی افزایش می یابد و سرعت افزایش در ۵روز اول بیشتر می باشد. زیمل و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۱۵] در استرالیا در بررسی های خود نشان دادند که چگونه الیاف پلی پروپیلن رفتار خردشدگی بتن درجا را بهبود می بخشند. پژوهش دیگری روی بتن الیافی از دو دسته الیاف با یک اندازه و دو جنس مختلف نشان داد که الیاف سخت تر و با مدول الاستیسیته ی بالاتر منجر به مقاومت در برابر اولین ترک و مقاومت نهایی شده و نوع دیگر که تقریبا انعطاف پذیر است منجر به بهبود مقاومت خمشی بعد از اولین ترک می شود [۱۶] هوانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۱۷] تراورس های پیش تنیده ی SFRC با ۰/۷۵ درصد حجمی الیاف فولادی به طول ۳۰ میلیمتر طراحی کردند. بارگذاری انجام شده مطابق روش AREMA (استانداردAREMA، ۲۰۰۶) [۱۸] صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که تراورس های SFRC تحت ۳میلیون سیکل بارگذاری بدون شکست بوده و مقاومت بالایی از خود نشان دادند.

قاسم زاده و لطف احمدی در سال ۱۳۹۳ [۱۹] با بررسی خواص مکانیکی بتن پلاستیک حاوی کائولینیت، متا کائولن و الیاف پلی پروپیلن آنها و بررسی تاثیر مقادیر مختلف کائولینیت و متاکالئون و درصدهای مختلف الیاف پلی پروپیلن بر روی بتن پلاستیک به این نتیجه رسیدند که متاکائون و کائولینیت مقاومت فشاری و کششی را بهبود بخشیدند و با اضافه نمودن الیاف پلی پروپیلن مقاومت کششی بهبود یافته و مقاومت فشاری افت خواهد کرد. یاپ و همکاران در سال ۲۰۱۵[۲۰] با انجام مطالعه بر روی رفتار پیچشی بتن با وزن طبیعی و بتن ژئوپلیمری تقوی شده با الیاف فولادی نشان دادند که الیاف فولادی باعث کاهش عرض ترک ها در هر دو نمونه بتنی به ترتیب در حدود ۳۰-۴۳٪ و ۴۲-۶۰٪ می شود.

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۲۱] در یک بررسی آزمایشگاهی نشان دادند که افزایش حداکثر اندازه ی درشت دانه از ۱۲.۵ به ۱۹ میلیمتر، مقاومت فشاری بتن پلاستیک را افزایش می دهد. عباسلو و همکاران ۲۰۱۳ [۲۲] به بررسی عملکرد بتن پلاستیک دیواره های آب بند با استفاده از دو نوع کانی رسی یعنی بنتونیت و سپیولیت در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه پرداختند. همچنین در بعضی از طرح ها از

ریزدانه ی سیلت نیز جهت بررسی تاثیر آن بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن پلاستیک استفاده شـد. ردی و همکـاران در سـال ۲۰۱۷ [۲۳] به بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی بتن های پلاستیک با جایگزینی بنتونیت کلسیمی به جای سیمان پرداختند. کومار و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۲۴] به بررسی خواص مکانیکی بتن های پلاستیک حاوی خاکستر بادی پرداختند. هدف اصلی ایـن تحقـق، ارزیـابی تـاثیر افزودن بنتونیت و خاکستر بادی بر مقاومت فشاری و کششی بتن بود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این مطالعه تاثیر الیاف فولادی،پلی پروپیلن و شیشه در مقاومت فشاری ،کششی و درصد جذب آب(دوام) بتن سبک پلاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور در ابتدا ۱۰ طرح اختلاط مقدماتی که در آنها تمامی مشخصات مصالح ثابت و فقط درصد الیاف (۰.۵ ، ۱ و ۱.۵٪) تغییر کرده است و یک طرح به عنوان طرح اختلاط مرجع (بتن فاقد الیاف) تدوین گردید و در تمامی نمونه های ساخته شده سنگ دانه های سبک پوکه معدنی(قروه) منطقه آذربایجان شرقی-ایران به عنوان سبکدانه استفاده شده است.پس از انتخاب طرح شاهد و عمل آوری نمونه ها آزمایشهای مقاومت فشاری، کششی و درصد جذب آب(دوام) در سنین ۷ و ۲۸روزه روی نمونه ها انجام گرفت.

۲-۱- مشخصات مصالح طرح اختلاط

جدول ۱ مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت بتن های مورد آزمایش را نشان می دهد سیمان مصرفی در این تحقیق، سیمان تیپ ۲ شاهرود می باشد که بعضی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول۲ و ۳ آمده و همچنین مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف های فولادی پلی پروپیلن و شیشه در جدول ۴ آورده شده و الیاف فولادی بکار رفته در این پژوهش از شرکت صنایع مفتولی زنجان و همچنین روان کننده ی مورد استفاده از شرکت بتن شیمی خاتم تهیه شده است بنتونیت مصرفی در این تحقیق از شرکت والی تهیه شده و برخی مشخصات آن در جدول۵و۶ آورده شده است.

جدول۱ -مصالح مصرفی در تحقیق

آب	سیمان	بنتونیت	پوکه معدنی	ماسه	روانکننده	الیاف
آب شرب شهر تهران	تیپII شاهرود	معدن سمنان	منطقه آذربایجان شرقی	دوبار شور(طبیعی) معدن تیغاب ورامین	شرکت بتن شیمی خاتم	شرکت صنایع مفتولی زنجان

جدول۲- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

آنالیز شیمیایی	اکسید سیلیسیم(Sio_2)	اکسید آلو منیوم (Al_2o_3)	اکسید آهن(Fe_2o_3)	اکسید کلسیم(Cao)	اکسید منیزیم(Mgo)	سولفور تری اکسید(So_3)	آهک آزاد(Cao.f)
درصد	۲۱.۴	۴/۵	۴/۰۷	۶۳/۶	۱/۵۴	۲/۳۵	۱/۲۳

جدول۳- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

آنالیز فیزیکی	بلین(Blaine Test,cm۲/gr)	انبساط طولی	زمان گیرش اولیه (Vicat test,minutes)	زمان گیرش ثانویه (Vicat test,minutes)
مشخصات فیزیکی	۳۰۱۹	۰.۰۱۳	۱۵۷	۲۱۲

جدول ۴- مشخصات الیاف مصرفی

نام	الیاف فولادی	الیاف شیشه	الیاف پلی پروپیلن
شکل	قلابدار	صاف	صاف
طول(mm)	۵۰	۱۸	۱۲
قطر(µm)	۱۰	۱۵-۳۰	۲۰-۳۰
چگالی(gr/cm^3)	۷/۸	۲/۶	۰/۹

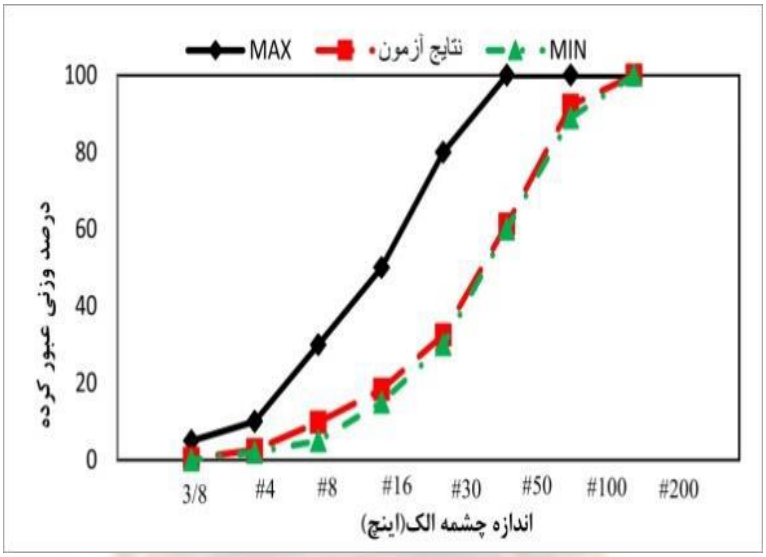
جدول۵ - مشخصات شیمیایی بنتونیت مصرفی

Formula	L.O.I	Na	Na_2O	MgO	AL_2O_3	Sio_2	P_2O_5	SO_3	Cl
Conc.%	۹.۱۶	۰.۹۱	۱.۹۹	۴۰۲۲	۱۱.۷۵	۶۳.۱۳	۰.۰۷	۰.۱۳	۱.۴۱

جدول۶- مشخصات فیزیکی بنتونیت مصرفی

وزن مخصوص	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
۲/۴۲	۱۸۰	۳۷	۱۴۳

شن و ماسه ی مورد نیاز از معدن تیغاب پاکدشت فراهم شده که شکل ۲ مشخصات دانه بندی مصالح ریزدانه مورد استفاده در بتن ها را نشان داده است و جهت سبک سازی بتن از پوکه معدنی قروه به عنوان درشت دانه استفاده شده است که جدول۳ مشخصات و دانه بندی این نوع پوکه را نشان می دهد که با توجه به اطلاعات جدول از دانه های ترکیبی جهت ساخت نمونه ها استفاده شده است.



شکل ۲ -منحنی دانه بندی ماسه

۲-۲- طرح اختلاط بتن مصرفی

در این تحقیق ۱۰ طرح اختلاط که ۱ طرح آن به عنوان طرح شاهد و ۹ طرح دیگر حاوی ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد الیاف فولادی، شیشه و پلی پروپیلن با نسبت آب به سیمان، بنتونیت و سنگدانه های ثابت و یکسان جدول۷ مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. نسبت آب به سیمان (W/C) تمامی نمونه ها برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. آزمایشات در آزمایشگاه های کوره الکتریکی و تکنولوژی بتن دانشگاه سمنان صورت پذیرفت.

جدول۷ -طرح اختلاط (Kg/m۳)

نام نمونه	ماسه	پوکه	سیمان	بنتونیت	آب	الیاف فولادی	الیاف پلی‌پروپیلن	الیاف شیشه
B۱۰	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰	۰
B۱۰-SF-۰.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۲/۵۵	۰	۰
B۱۰-SF-۱	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۴/۹۵	۰	۰
B۱۰-SF-۱.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۷/۵	۰	۰
B۱۰-PPF-۰.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰/۳	۰
B۱۰-PPF-۱	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰/۶	۰
B۱۰-PPF-۱.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰/۹	۰
B۱۰-GF-۰.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰	۰/۸۲۵
B۱۰-GF-۱	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰	۱/۶۵
B۱۰-GF-۱.۵	۲۲/۵۶	۳۱/۱	۲۸/۳۵	۲/۸۵	۱۱/۴	۰	۰	۲/۴

* در این جدول شماره ۷ برای معرفی نمونه از علائم اختصاری استفاده شده است **B** نشان دهنده بنتونیت و عدد مقابل آن درصد بنتونیت را نشان می دهد، **PPF** به معنی الیاف پلی پروپیلن و عدد انتهایی نشان دهنده درصد الیاف مصرفی در نمونه می باشد. **SF** برای الیاف فولادی و **GF** برای الیاف شیشه استفاده شده اند.

۲-۳- روش آزمایش

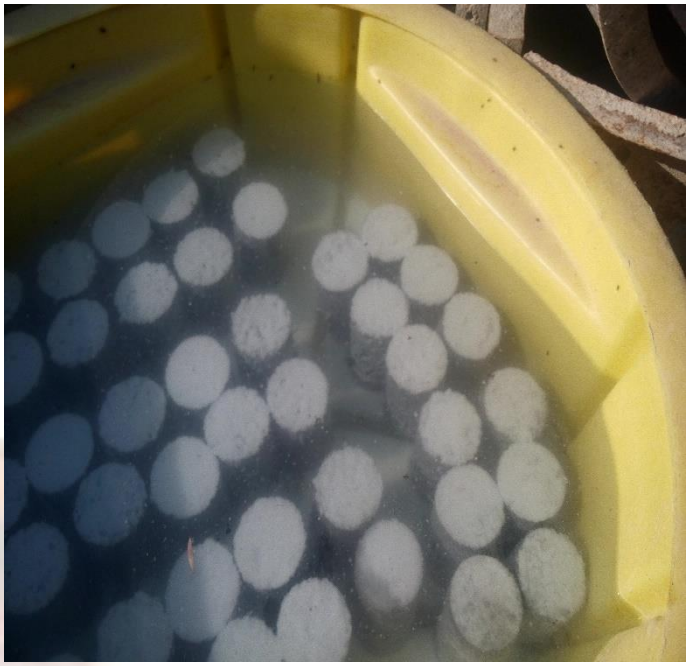
عمل آوری نمونه ها مطابق استاندارد **ISIRI۵۸۱** [۲۵] و بر روی بتن های ۷ و ۲۸ روزه اعمال گردید .ابتدا به میزان مورد نظر (طرح اختلاط)مخلوط بتن به همراه الیاف و فوق روان کننده ساخته، سپس نمونه گیری بتن ها در نمونه های استوانه ای ۲۰*۱۰سانتیمتر به تعداد مجموعاً ۱۸۰ عدد(برای هر دما و هر تست، ۳ عدد نمونه ساخته شد)انجام شد. هر قالب، در سه مرحله بتن ریزی و در هر بار ویبره گردید .پس از مدت ۲۴ ساعت قالب ها باز و داخل حوضچه ی آب(دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد)قرار داده و سپس در سن ۷ و ۲۸ روزه پس از انجام عمل آوری، برخی نمونه ها در زیر جک، تحت آزمایش مقاومت فشاری و کششی قرار گرفتند. سرعت بارگذاری ۰.۵ مگاپاسکال بر ثانیه بر طبق استاندارد **EN-۱۲۳۹۰-۱۳** [۲۶] انتخاب گردید. آزمایش جذب آب در سنین ۷ و ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM C۶۴۲ [۲۷] انجام شد. نمونه‌ها پس از عمل آوری در حوضچه‌های آب با دمای ثابت ۲±۲۳ درجه سانتی گراد، از آب خارج گردید و پس از خشک شدن تدریجی در محیط آزمایشگاه، جهت تعیین وزن خشک در داخل کوره با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها از کوره خارج و پس از رسیدن به دمای محیط توسط ترازوی دیجیتال توزین شدند.

۳- انجام آرزمایش و بررسی نمونه ها

پس از گذشت ۴۸ تا ۷۲ ساعت از پایان عملیات حرارتی، مقاومت فشاری و کششی نمونه ها اندازه گیری شد.

۳-۱-آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق آیین‌نامه ASTMC۳۹ انجام شد. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های استوانه ای به ابعاد ۲۰*۱۰ سانتی متر توسط جک هیدرولیک با ظرفیت ۳۰۰۰ کیلونیوتن و سرعت بارگذاری ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه انجام شد. در این تحقیق نمونه های عمل آوری شده در سن ۲۸ روز مورد آزمایش فشاری قرار گرفتند. بدین صورت که نمونه ها بعد از عمل آوری در حوضچه های عمل آوری شکل ۴(الف) و پس از گذشت ۴۸ تا ۷۲ ساعت از پایان عملیات حرارتی آزمایش فشاری توسط جک هیدرولیکی با ظرفیت ۳۰۰۰ کیلونیوتن و سرعت بارگذاری ۰/۵ مگاپاسگال بر ثانیه نشان داده شده در شکل ۴(ب) انجام شد. همانطور که در شکل۴(ج)و۴(د) مشاهده می شود گسترش ترک به صورت کمر بندی افقی یا قائم صورت پذیرفته است.



(الف)

(ب)

(ج)

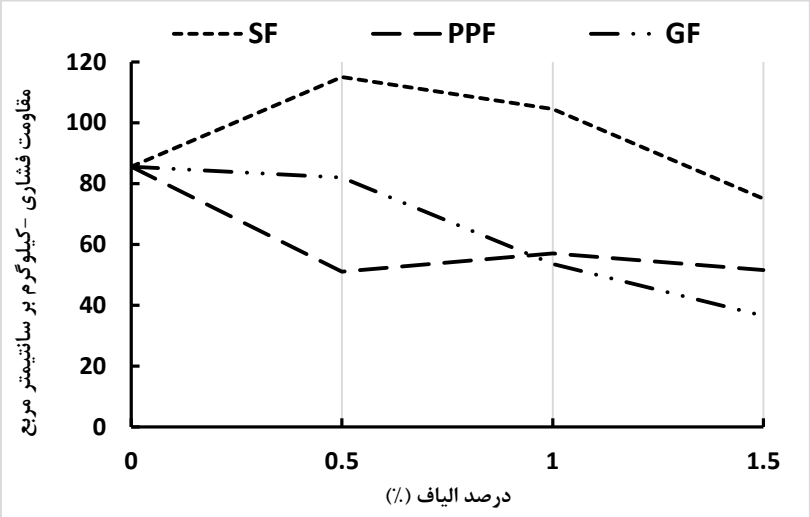
(د)

شکل ۴- آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها. الف: حوضچه عمل آوری. ب: جک هیدرولیکی. ج: نحوه قرار گیری نمونه. د: نحوه شکست نمونه زیر جک

۳-۱-۱- مقاومت فشاری ۷ روزه بتن سبک پلاستیک

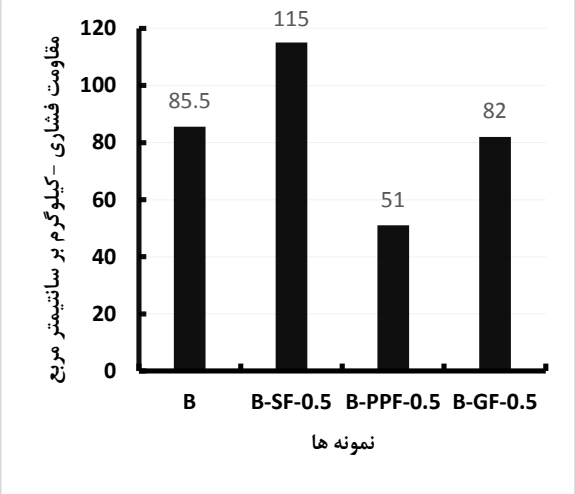
با توجه به شکل ۵ که نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف فولادی، پلی پروپیلن و شیشه با درصدهای مختلف را نشان داده است می توان گفت که مقایسه نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های حاوی الیاف و نمونه ی مرجع(فاقد الیاف) نشان دهنده این است که افزودن ۰/۵ درصد الیاف فولادی به بتن سبک پلاستیک می تواند مقاومت فشاری این بتن را تا حدود ۳۵٪ نسبت به مقاومت فشاری نمونه مرجع که ۸۵.۵ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع بوده است افزایش دهد اما با افزایش درصد الیاف درون بتن این افزایش مقاومت فشاری کاهش یافته و به عبارتی مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک حاوی ۱٪ الیاف فولادی حدود ۲۲٪ نسبت به نمونه مرجع مقاومت بیشتری در برابر نیروی فشاری اعمالی داشته اما افزایش درصد الیاف فولادی از ۱٪ به ۱/۵٪ نتیجه ای عکس نسبت به مراحل قبلی آزمایش داشته یعنی مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک حاوی ۱/۵٪ الیاف فولادی کاهش حدودا ۱۴٪ نسبت به بتن مرجع داشته است. با انجام آزمایش مشابه بر روی نمونه های حاوی ۰/۵ ،۱ و ۱/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن نتایجی متفاوت با الیاف فولادی بدست آمد به طوری که با افزودن ۰/۵ درصد الیاف به بتن سبک پلاستیک مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن مرجع ۶۵٪ کاهش داشته است. افزودن ۱٪ الیاف به بتن سبک پلاستیک با اینکه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن شده اما نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف پلی پروپیلن حدودا ۵٪ افزایش مقاومت فشاری داشته ولی در مقایسه با بتن مرجع حدود ۶۰٪کاهش مقاومت فشاری داشته است نتایج حاصل از آزمایش بر روی نمونه هایی که درصد الیاف پلی پروپیلن از ۱ به ۱/۵٪ افزایش پیدا کرده نشان می دهند که این افزایش الیاف تاثیری بر بهبود مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک نداشته و همچنان نسبت به بتن مرجع کاهش ۶۰٪ ی داشته اند آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های حاوی الیاف شیشه با درصدهای ۰/۵ ،۱ و ۱/۵ درصد نیز نتایجی شبیه به نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن داشته اند یعنی با افزودن ۰/۵ درصد الیاف شیشه مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک کاهش داشته است اما این کاهش به اندازه الیاف پلی پروپیلن نبوده و حتی به ۱٪ نیز نرسیده اما افزایش درصد الیاف از ۰/۵٪ به ۱٪ حدودا نزدیک به ۶۰٪ افزایش در مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک داشته ،افزایش درصد الیاف به ۱/۵٪ در بتن نیز نتیجه ای مشابه بادرصدهای کمتر این الیاف داشته و بهبودی در مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک ایجاد نکرده و بیش از ۱۳۰٪ کاهش مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک را داشته است.

شکل ۵ -مقاومت فشاری ۷ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

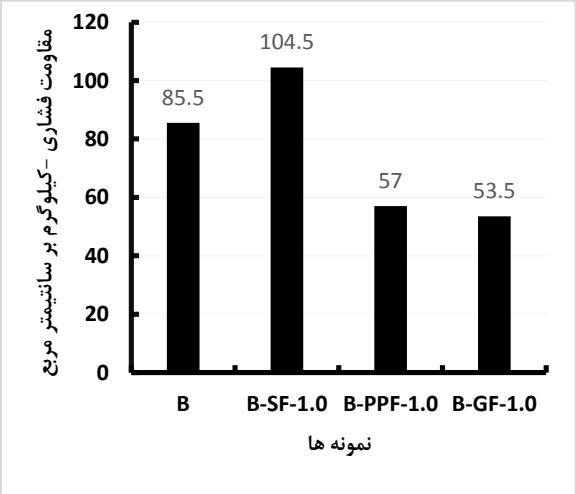


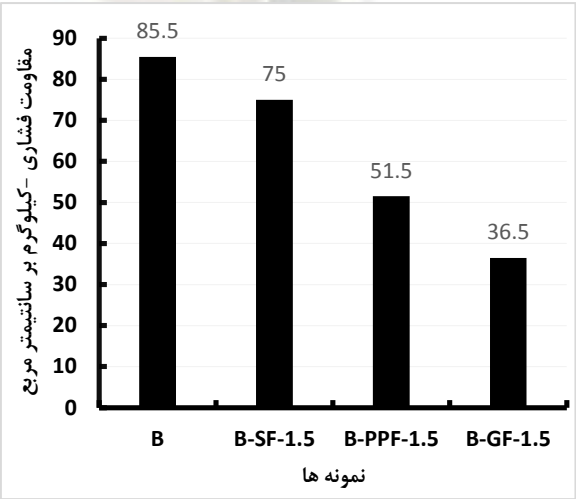
با توجه به شکل۶ که مقاومت فشاری ۷ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی ۰.۵ ، ۱ و ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف فولادی در مقایسه با دیگر نمونه های حاوی الیاف و نمونه مرجع با افزایش تقریبا بیش از ۳۰٪ مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در مقایسه با مقاومت فشاری بتن فاقد الیاف بیشترین افزایش مقاومت فشاری را داشته و بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی با افزایش بیش از ۲۰٪ مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در رتبه بعد قرار گرفته است و اما بتن حاوی ۱.۵٪ الیاف فولادی مقاومت کششی کمتری در مقایسه با بتن فاقد الیاف داشته همچنین الیاف پلی پروپیلن و شیشه تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک نداشته اند.

(الف)



(ب)





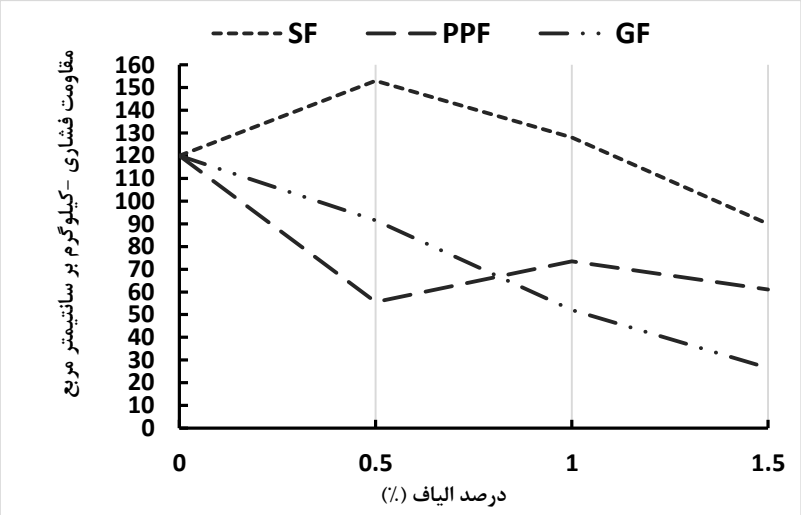
(ج)

شکل ۶- مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۳-۱-۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک

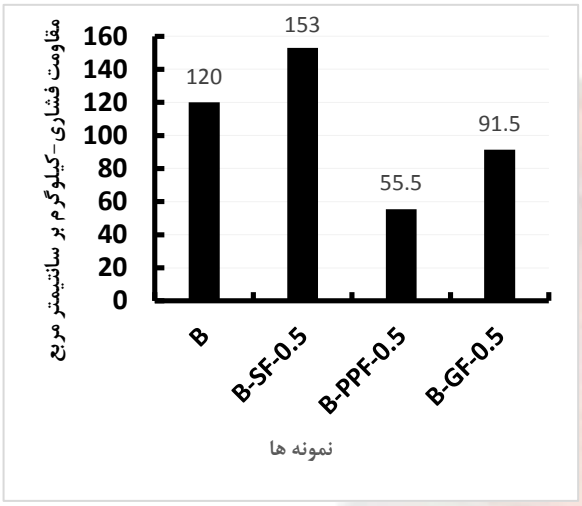
با توجه به شکل ۷ که نتایج آزمایش فشاری بر روی بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف در سن ۲۸ روزه را نشان می دهد می توان گفت که الیاف فولادی ابتدا مقاومت فشاری نمونه ها را تقریبا نزدیک به ۲۰٪ افزایش داده است اما با افزایش حجم الیاف از ۰/۵٪ به ۱٪ مقاومت فشاری روند معکوس به خود گرفته و کاهش یافته و این کاهش مقاومت فشاری تقریبا برابر با مقدار افزایش یافته در مرحله قبل بوده اما این کاهش با افزایش حجم الیاف روندی تند تر به خود گرفته و تا جایی که مقاومت فشاری بتن حاوی ۱/۵٪ الیاف از بتن مرجع که فاقد الیاف بوده است بیش از ۳۰٪کمتر شده است. اما رفتار الیاف شیشه و پلی پروپیلن کاملا متفاوت با الیاف فولادی بوده است. الیاف پلی پروپیلن ابتدا مقاومت فشاری بتن را در مقایسه با بتن مرجع به نصف کاهش داده ولی افزودن ۱٪ الیاف پلی پروپیلن به بتن حدودا ۲۰٪ نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف، مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است اما در مقایسه با بتن مرجع تقریبا ۴۰٪ کاهش مقاومت فشاری را به همراه داشته است. با افزودن ۱.۵٪ الیاف پلی پروپیلن به بتن دوباره مقاومت فشاری بتن به حالت مرحله اول (بتن حاوی ۰/۵٪الیاف) نزدیک شده است. با توجه به شکل و همچنین نتایج عینی آزمایشها الیاف شیشه از ابتدا روندی کاملا نزولی در مقاومت فشاری بتن ایجادکرده اند و این روند نزولی تا حجم ۱/۵٪ الیاف تقریبا با نوساناتی ناچیز کاهش تقریبا ۲۰٪ نسبت به مرحله قبل از خود (بتن مرجع، ۰/۵٪ الیاف و ۱٪ الیاف) حفظ شده است اما با افزودن ۱/۵٪ الیاف شیشه به بتن سبک پلاستیک تغییری هرچند اندک در مقاومت فشاری بتن مشاهده شده است که تنها می توان گفت روند کاهش مقاومت را کندتر کرده است اما کاهش مقاومت فشاری بتن توسط ۱/۵٪ الیاف شیشه به بیش از ۲۲۰٪ نسبت به بتن فاقد الیاف رسیده است.

دلیل این رفتار بتن را می توان خصوصیات و ویژگی های الیاف دانست. الیاف فولادی تا هنگامی که از نظر ظاهری حجم نسبتا مناسبی در بتن دارند منجر به افزایش مقاومت بتن می شوند و سپس کاهش مقاومت را به همراه دارند، اما الیاف شیشه و پلی پروپیلن با توجه به جذب آب و تغییر حجمی که داشته اند موجب ایجاد خلل و فورج درون بتن می شوند که این امرکاهش مقاومت فشاری بتن را به همراه دارد.

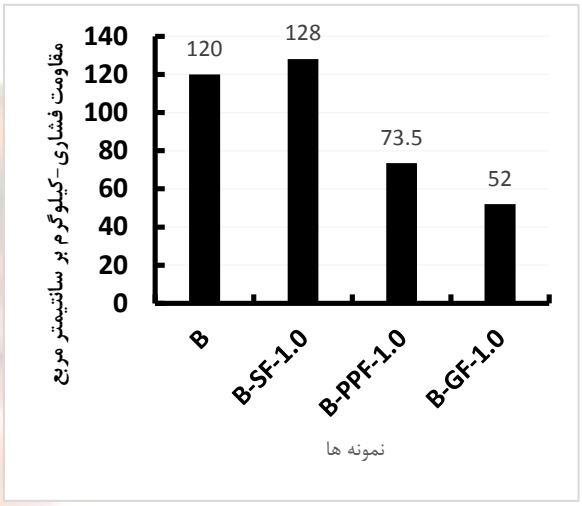


شکل ۷-مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

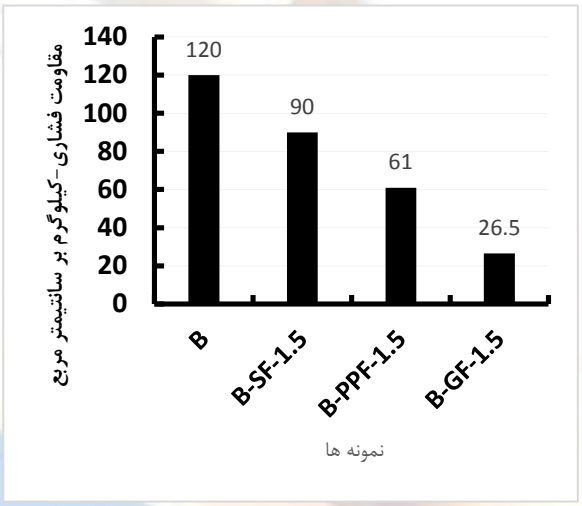
با توجه به شکل۸ که مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی ۰.۵ ، ۱ و ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف فولادی در مقایسه با دیگر نمونه های حاوی الیاف و نمونه مرجع با افزایش تقریبا ۳۰٪ مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در مقایسه با مقاومت فشاری بتن فاقد الیاف بیشترین افزایش مقاومت فشاری را داشته و بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی با افزایش تقریبا ۵٪ مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در رتبه بعد قرار گرفته است و اما بتن حاوی ۱.۵٪ الیاف فولادی مقاومت کششی کمتری در مقایسه با بتن فاقد الیاف داشته همچنین الیاف پلی پروپیلن و شیشه تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک نداشته اند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۸ – مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۳-۲-آزمایش مقاومت کششی

نحوه آزمایش کششی بر روی نمونه های استوانه ای شکل ۹ (الف) نشان داده شده است. جک هیدرولیکی مورد استفاده دارای ظرفیت ۳۰۰ کیلو نیوتن بوده و با سرعت ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بار را اعمال می کند. برای انجام آزمایش مقاومت کششی نمونه ها، از روش کشش غیر مستقیم یا روش برزیلی بر طبق استاندارد ASTMC٤٩٦ [٢٦] استفاده شد. روش انجام آزمایش بدین صورت است که نمونه بهدصورت افقی یا خوابیده در زیر جک قرار گرفته بطوری که هیچ‌گونه انحرافی در راستای خود ندارد. سپس جک هیدرولیک مورد نظر با اعمال نیروی قائم، منجر به شکست نمونه می‌شود. با توجه به شکل۸(ب) ترک ها در وسط سطح مقطع نمونه ها ایجاد شده و در هر سه نوع بتن حاوی الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه در کنار دیواره ی سطح مقطع، ترک ها به صورت شاخه ای رشد یافت .بنابراین به لحاظ مقدار عرض ترک ها و شکل ظاهری آن، تفاوت چندانی بین نمونه ها مشاهده نمی شود.

مقاومت کششی بتن بر حسب نیوتن بر سانتیمترمربع طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_t = \frac{۲P}{\pi DL} \quad (۱)$$

که در آن:

P = مقدار بار وارده (نیوتن)

D = قطر نمونه‌ی استوانه‌ای (۱۰ سانتیمتر)

L = طول نمونه‌ی استوانه‌ای (۲۰ سانتیمتر)

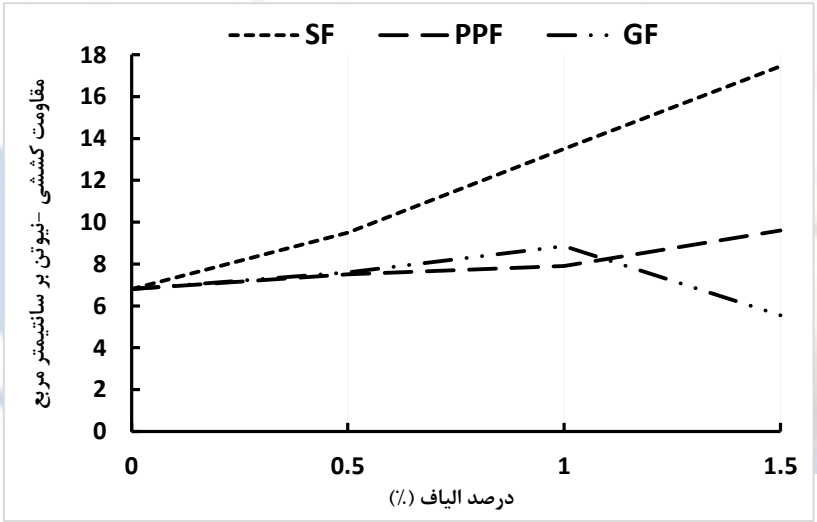
(الف) (ب) (ج)

شکل ۹ -آزمایش مقاومت کششی: الف) نحوه قرار گیری نمونه زیر جک،ب) رشد ترک و عملکرد الیاف فولادی پس از انجام آزمایش. ج) رشد ترک و انهدام نمونه فاقد الیاف

۳-۲-۱- مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک

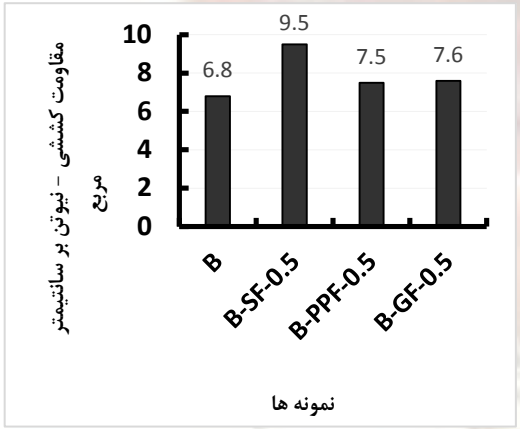
با توجه به شکل ۱۰ که نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی ۷ روزه بر روی نمونه های بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف فولادی، پلی پروپیلن و شیشه با درصدهای مختلف را نشان داده است می توان گفت که با افزودن الیاف فولادی به مقدار ۰/۵ درصد وزن سیمان به بتن سبک تقریبا نزدیک به ۴۰٪ مقاومت کششی بتن سبک افزایش پیدا کرده که این روند افزایش مقاومت کششی بتن پلاستیک با افزایش درصد فولاد به ۱ و ۱/۵ درصد همچنان حفظ شده است که می توان دلیل این افزایش مقاومت را رفتار الیاف فولادی در بتن پلاستیک بیان کرد، الیاف فولادی در بتن نقش رابط یا دوزندگی ترکها را دارد یعنی الیاف فولادی که به صورت نامنظم درون نمونه بتنی قرار گرفته اند از گسترش ترکهای ایجاد شده در اثر نیروی خارجی اعمالی جلوگیری نموده و مقاومت بتن پلاستیک را دربرابر فروپاشی و انهدام براثر نیروی کششی افزایش می دهند. اما در مورد الیاف پلی پروپیلن و شیشه روند افزایش و کاهش مقاومت کششی متفاوت می باشد. مطابق نتایج به دست آمده از آزمایش کشش ۷ روزه نمونه هایی که حاوی الیاف پلی پروپیلن بوده اند مشاهده گردیده است که ۰/۵ درصد این الیاف افزایش حدودا ۱۰٪ در مقاومت کششی نمونه نسبت به نمونه مرجع (نمونه فاقد الیاف) داشته که این روند ۱۰٪ تقریبا با افزایش درصد الیاف از ۰/۵ به ۱ درصد هم حفظ شده اما با افزایش درصد الیاف از ۱ درصد به ۱/۵ درصد روند افزایش مقاومت نیز افزایش پیدا کرده و این به خاطر افزایش حجم الیاف درون مخلوط بتن و حضور الیاف در سطح بیشتر بتن و دوخت ترک های بتن بوده است.

الیاف شیشه به دلیل اینکه نسبت به دیگر الیاف قدرت جذب آب بیشتری دارند لذا با افزایش درصد این الیاف در مخلوط بتن،ابتدا مقاومت کششی بتن روندی افزایشی داشته و با توجه به شکل ۵ ، ۰/۵ درصد الیاف شیشه مقاومت کششی بتن را تقریبا نزدیک به ۱۰٪ افزایش داده است. یک درصد الیاف شیشه مقاومت کششی بتن پلاستیک را نسبت به نمونه مرجع تقریبا ۳۰٪ درصد افزایش داده اما ۱/۵ درصد الیاف شیشه به دلیل جذب آب مخلوط بتن و کاهش کارایی آن باعث کاهش مقاومت کششی بتن پلاستیک به میزان تقریبا ۲۵٪ نسبت به نمونه مرجع شده است.

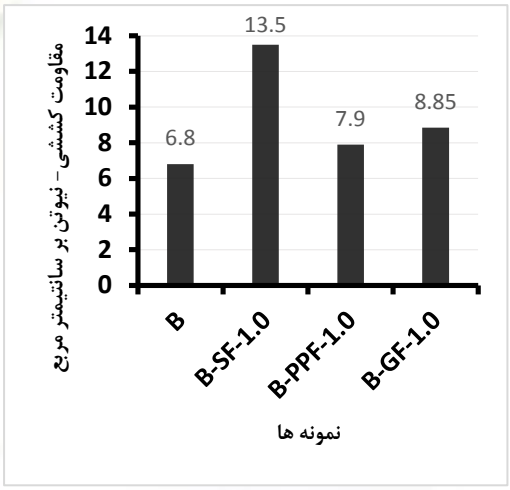


شکل ۱۰ -مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

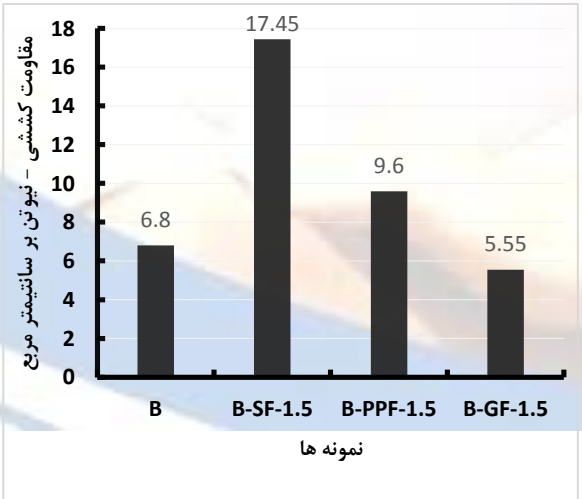
با توجه به شکل۱۱ که مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی ۰.۵ ، ۱ و ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که بتن حاوی ۱.۵٪ الیاف فولادی در مقایسه با دیگر نمونه های حاوی الیاف و نمونه مرجع با افزایش تقریبا ۲.۵ برابری مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک در مقایسه با مقاومت فشاری بتن فاقد الیاف بیشترین افزایش مقاومت کششی را داشته و بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی با افزایش تقریبا ۲برابری مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در رتبه بعد قرار گرفته است و اما ۰.۵٪ الیاف فولادی مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را تقریبا ۴۰٪ در مقایسه با بتن فاقد الیاف افزایش داده است و درباره بتن حاوی الیاف شیشه و پلی پروپیلن می توان گفت که ۰.۵٪ الیاف شیشه و پلی پروپیلن مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را حدودا ۱۰٪ افزایش داده اند. حجم ۱٪ الیاف پلی پروپیلن تغییر تقریبا ۱تا ۲ ٪ در مقاومت کششی بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف پلی پروپیلن داشته و ۱٪ الیاف شیشه تقریبا ۳۰٪ مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را در مقایسه با بتن فاقد الیاف افزایش داده است و در آخر ۱.۵٪ الیاف پلی پروپیلن ۴۰٪ مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است اما همین حجم از الیاف شیشه مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را تقریبا ۲۰٪ کاهش داده است.



(الف)



(ب)



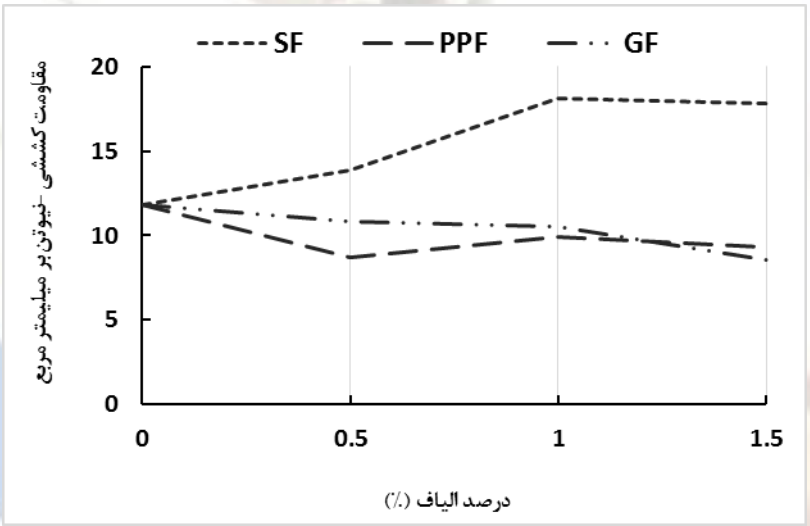
(ج)

شکل ۱۱- مقاومت کششی۷روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۳-۲-۲- مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک

با توجه به شکل ۱۲ که نتیجه آزمایشهای کششی ۲۸ روزه بر روی بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه می باشد می توان گفت که ۰.۵٪ الیاف فولادی موجب افزایش مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک شده و این افزایش مقاومت تقریبا ۱۵٪ بیشتر از بتن فاقد الیاف بوده است، اما با افزودن ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به بتن سبک پلاستیک مقاومت کششی آن بیش از ۳۵٪ کاهش داشته و این روندکاهشی در باره الیاف شیشه نیز صادق است با این تفاوت که کاهش مقاومت کششی بتن حاوی الیاف شیشه نزدیک به ۱۰٪ کاهش یافته که این کاهش مقاومت بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف شیشه و پلی پروپیلن می تواند به دلیل جذب آب الیاف باشد که باعث کاهش مقدار آب مرحله عمل آوری و هیدراتاسیون سیمان می شود.

نکته قابل توجه در آزمایش کشش در سن۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک الیافی با ۱٪ الیاف این بود که الیاف پلی پروپیلن بر خلاف مرحله قبل حدودا ۲٪ مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را نسبت به بتن سبک حاوی ۰/۵٪ الیاف افزایش داده است اما نسبت به بتن فاقد الیاف تقریبا ۳۰٪ کاهش داده است اما الیاف شیشه همچنان موجب کاهش مقاومت کششی بتن سبک شده و همچنان روند کاهش ۱۰درصدی را حفظ کرده است ولی افزودن ۱٪ الیاف فولادی به بتن سبک تاثیر چشم گیری در افزایش مقاومت کششی بتن سبک داشته به صورتی که می توان گفت روند افزایش مقاومت تقریبا دو برابر بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف فولادی بوده است. یکی از دلایل افزایش مقاومت بتن سبک پلاستیک حاوی ۱٪ الیاف فولادی رفتار الیاف فولادی در بتن بوده که با توجه به ویژگی ظاهری الیاف فولادی یعنی نازک و کشیده بودن آنها است. الیاف فولادی به خوبی از ایجاد و گسترش ترکها در بتن جلوگیری می کنند اما الیاف شیشه و پلی پروپیلن با توجه به خشک کردن بتن، رفتار آنها در برابر ترکها یعنی جلوگیری از ایجاد و گسترش ترکها،تاثیر زیادی در افزایش مقاومت کششی بتن ندارند به عبارتی نقص جذب آب الیاف شیشه و پلی پروپیلن بر مزیت این الیاف چیره شده و مقاومت کششی بتن را کاهش می دهد.



شکل۱۲-مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

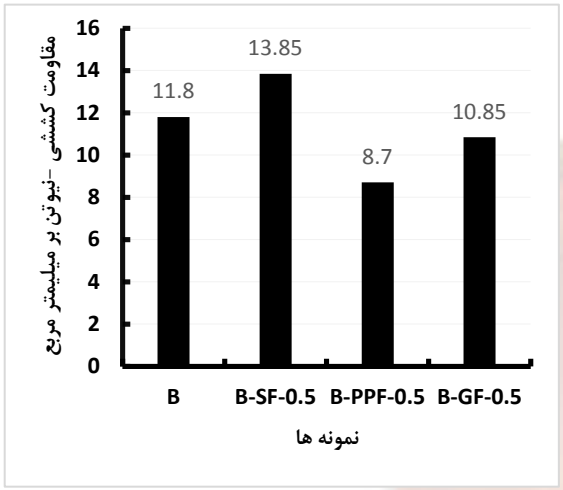
جهت بررسی بهتر تاثیر الیاف در مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک درصد الیاف را به ۱/۵٪ افزایش داده و آزمایش کششی بر روی نمونه ها در سن ۲۸ روزه تکرار گردید که نتایجی تقریبا شبیه به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف بوده است یعنی الیاف فولادی افزایش مقاومت و الیاف پلی پروپیلن و شیشه کاهش مقاومت کششی بتن را به دنبال داشته اند با این تفاوت که افزایش مقاومت کششی توسط الیاف

فولادی نسبت به بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی تقریبا نزدیک به۲۰٪ کاهش یافته ولی همچنان نسبت به بتن فاقد الیاف حدودا ۱۵۰٪ افزایش مقاومت داشته است اما ۱/۵٪ الیاف شیشه مانند مراحل قبل آزمایش باعث کاهش مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک شده و این روند کاهشی از ۱۰٪ به ۲۵٪ افزایش یافته است. افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن موجود در بتن از ۱٪ به ۱/۵٪ در بهبود مقاومت کششی بتن بی تاثیر بوده و بالعکس باعث کاهش مقاومت کششی بتن شده اما بتن حاوی ۱/۵٪ الیاف نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف مقاومت بیشتری از خود نشان داده است.

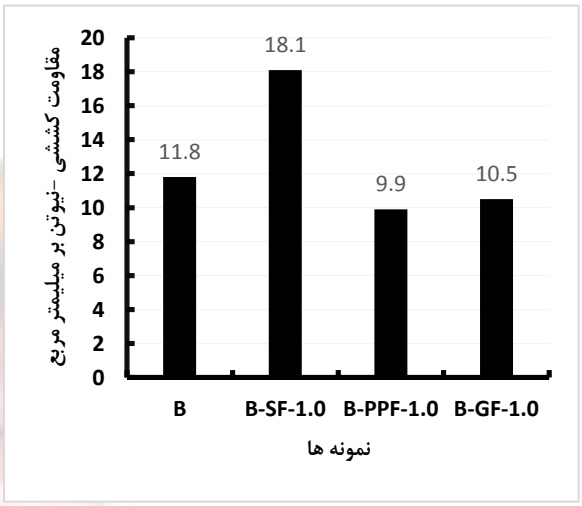
دلیل کاهش مقاومت بتن الیافی حاوی ۱/۵٪ الیاف فولادی نسبت به بتن حاوی ۱٪ الیاف را می توان این گونه بیان کرد که حجم زیاد الیاف فولادی در بتن می توانند از اتصال مناسب اجزای دیگر بتن سبک پلاستیک با توجه به اینکه از پوکه معدنی به عنوان درشت دانه استفاده شده است جلوگیری کند. در نتیجه خود الیاف باعث ایجاد ترک در بتن می شوند ولی همچنان قدرت دوزندگی الیاف فولادی به علت ویژگی ظاهری آنها از گسترش ترکهای ایجاد شده در اثر اعمال نیروی خارجی جلوگیری می کنند. اما الیاف شیشه و پلی پروپیلن با توجه به اینکه نسبت وزن به حجم کمی دارند یعنی وزن آنها نسبت به حجم آنها کمتر می باشد و همچنین با توجه به ویژگی های ظاهری الیاف شیشه و پلی پروپیلن افزایش حجم آنها در بتن از اتصال سنگدانه های ریز و درشت بتن سبکردانه جلوگیری می کنند.

با توجه به شکل۱۳ که مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی ۰.۵ ، ۱ و ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که بتن حاوی ۱.۵٪ الیاف فولادی در مقایسه با دیگر نمونه های حاوی الیاف و نمونه مرجع با افزایش تقریبا ۲.۵ برابری مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک در مقایسه با مقاومت فشاری بتن فاقد الیاف بیشترین افزایش مقاومت کششی را داشته و بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی با افزایش تقریبا ۲برابری مقاومت فشاری بتن سبک پلاستیک در رتبه بعد قرار گرفته است و اما ۰.۵٪ الیاف فولادی، مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را تقریبا ۴۰٪ در مقایسه با بتن فاقد الیاف افزایش داده است و درباره بتن حاوی الیاف شیشه و پلی پروپیلن می توان گفت که ۰.۵٪ الیاف شیشه و پلی پروپیلن مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را حدودا ۱۰٪ افزایش داده اند.

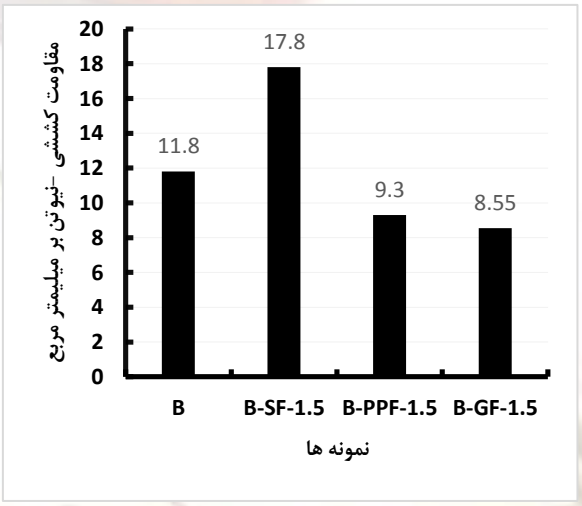
حجم ۱٪ الیاف پلی پروپیلن تغییر تقریبا ۱تا ۲ ٪ در مقاومت کششی بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف پلی پروپیلن داشته و ۱٪ الیاف شیشه تقریبا ۳۰٪ مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را در مقایسه با بتن فاقد الیاف افزایش داده است و در آخر ۱.۵٪ الیاف پلی پروپیلن ۴۰٪ مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است اما همین حجم از الیاف شیشه مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را تقریبا ۲۰٪ کاهش داده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۱ -مقاومت کششی۷روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۳-۳-آزمایش درصد جذب آب (دوام)

آزمایش جذب آب بر روی نمونه‌های استوانه ای ۲۰*۱۰ سانتیمتر و در سنین ۷ و ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM C۶۴۲ انجام شد[۲۷]. از هر طرح اختلاط ۳ نمونه استوانه ای ساخته شد که جذب آب نهایی بر اساس میانگین گیری از مقادیر جذب آب به دست

آمده برای هر نمونه محاسبه شد. نمونه‌ها پس از عمل آوری در حوضچه‌های آب با دمای ثابت ۲±۲۳ درجه سانتی گراد، از آب خارج گردیدند و پس از خشک شدن تدریجی در محیط آزمایشگاه، جهت تعیین وزن خشک در داخل کوره با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها از کوره خارج و پس از رسیدن به دمای محیط توسط ترازوی دیجیتال توزین شدند. پس از آن برای ۲۴ ساعت دیگر نمونه ها در کوره قرار داده شدند و سپس توزین گردیدند. این فرآیند تا آن جا ادامه پیدا کرد که تفاضل دو توزین متوالی کمتر از ۰/۵ درصد وزن خشک کمتر شود. آخرین توزین به عنوان وزن خشک نمونه یادداشت گردید. پس از خنک شدن تدریجی نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، برای به دست آوردن وزن نمونه اشباع با سطح خشک، نمونه ها به داخل حوضچه آب با دمای ۲۱ درجه سانتی گراد بازگردانده می‌شوند.

نمونه ها پس از گذشت حداقل ۴۸ ساعت از حوضچه مذکور خارج و پس از خشک کردن رطوبت سطحی توسط حوله خشک، توزین شدند. نمونه های مذکور دوباره به مدت ۲۴ ساعت در همان حوضچه نگهداری شدند و سپس از حوضچه خارج گردیدند و دوباره به همان شیوه قبلی توزین شدند. این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که اختلاف دو توزین متوالی کمتر از ۰/۵ درصد وزن سنگین تر باشد. در پایان، آخرین توزین به عنوان وزن اشباع با سطح خشک یادداشت گردیده و درصد جذب آب با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود.

(۲)

$$\text{جذب درصد آب} = \frac{\text{وزن نمونه تر}-\text{وزن نمونه خشک}}{\text{نمونه وزن خشک}} \times ۱۰۰$$

با توجه به اینکه بیشترین کاربرد بتن سبک پلاستیک به عنوان دیوار آب بند سد و همچنین دیواره های اطراف گود می باشد پس در نتیجه درصد جذب آب این نوع بتن یکی از خصوصیات ویژه بتن سبک پلاستیک می باشد در این تحقیق نیز تاثیر الیاف در درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف در سنین ۷ و ۲۸ روزه مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به اینکه دوام بتن به درصد جذب آب بتن مربوط می باشد در نتیجه هرچه درصد جذب آب بتن کمتر باشد دوام بتن در محیطهای مرطوب و خورنده بیشتر می شود پس می توان گفت که آزمایش درصد جذب آب همان آزمایش دوام بتن نیز می باشد.

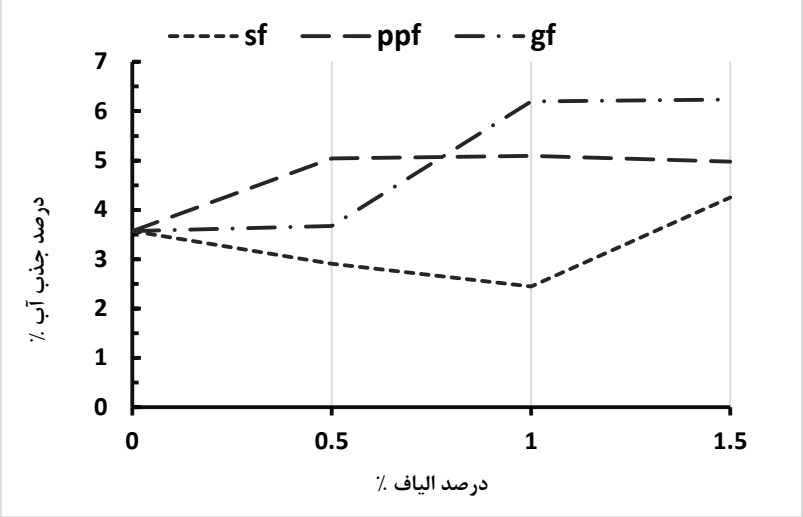
۳-۳-۱- درصد جذب آب (دوام) ۷ روزه بتن سبک پلاستیک

نتایج آزمایش تعیین درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف در سن ۷ روزه در شکل ۱۳ آورده شده است که با توجه به آنها می توان چنین گفت که الیاف فولادی که تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت کششی و فشاری بتن سبک پلاستیک داشته در کاهش جذب آب این نوع بتن نیز موثر بوده است. درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف فولادی نسبت به بتن فاقد الیاف تقریبا حدود بیش از ۲۰٪ کاهش جذب آب داشته که با افزایش درصد الیاف این کاهش جذب آب تقریبا بیش از۴۰٪ کاهش پیدا کرده است. اما با افزودن ۱/۵٪ الیاف فولادی به بتن به یکباره جذب آب بتن افزایش پیدا کرده و حتی از نمونه فاقد بتن نیز نزدیک به ۱۰٪ بیشتر شده است. الیاف پلی پروپیلن و شیشه هم مانند مراحل قبلی تحقیق یعنی آزمایش کششی و فشاری که تاثیر منفی در مقاومت فشاری و کششی بتن از خود نشان داده اند در این مرحله از آزمایش نیز موجب افزایش جذب آب بتن سبک پلاستیک شده اند.

با توجه شکل ۱۳ می توان گفت که الیاف پلی پروپیلن ابتدا افزایش حدودا ۴۰٪ جذب آب بتن را به همراه داشته ولی با افزایش درصد این الیاف روند جذب آب بتن معکوس شده و تقریبا حدود ۱۰٪ نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف کاهش پیدا کرده است اما همچنان نسبت به بتن فاقد الیاف افزایش درصد جذب آب را به همراه داشته است. الیاف شیشه نیز رفتاری تقریبا مشابه الیاف پلی پروپیلن داشته با

این تفاوت که ابتدا حدود ۱۰٪ افزایش جذب آب بتن را داشته و این افزایش به یکباره به بیش از ۵۰٪ رسیده و دوباره به کمتر از ۱۰٪ کاهش یافته است.

این رفتار متفاوت الیاف در جذب آب بتن را می توان به ویژگی ظاهری و خاصیت جذب آب الیاف مربوط دانست به طوری که الیاف فولادی با توجه به اینکه جذب آبی ندارند و یا اتصالی بین بعضی از اجزای بتن ایجاد می کنند باعث کاهش جذب آب بتن می شوند ولی الیاف شیشه و پلی پروپیلن کاملا برعکس الیاف فولادی جاذب آب هستند و باعث ایجاد خلل و فورج در بتن سبک پلاستیک شده که در نتیجه آنها جذب آب بتن افزایش می یابد.



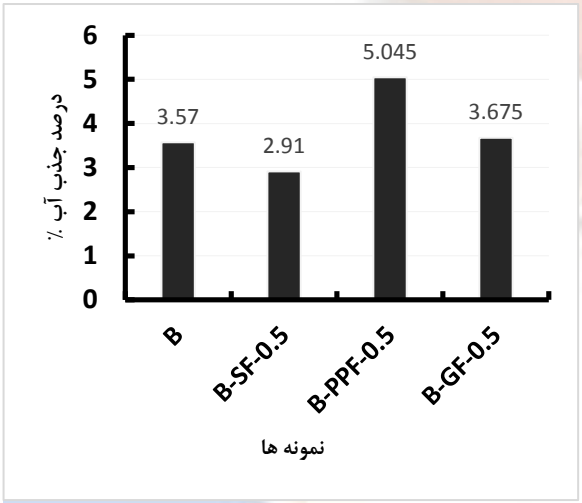
شکل۱۳- درصد جذب آب ۷ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

با توجه شکل ۱۴ که نتیجه آزمایش تعیین درصد جذب آب ۷ روزه نمونه های بتن سبک پلاستیک حاوی ۰/۵، ۱ و ۱.۵٪ الیاف، می باشد، می توان گفت که افزودن ۰/۵٪ الیاف فولادی به بتن سبک پلاستیک مقاومت بتن را دربرابر جذب آب حدود ۲۰٪ افزایش داده که در نتیجه آن دوام بتن در محیط های خورنده نیز افزایش یافته اما بر خلاف الیاف فولادی افزودن ۰/۵٪ الیاف پلی پروپیلن به بتن مقاومت بتن سبک پلاستیک را نسبت به بتن فاقد الیاف تقریبا بیش از ۲۰٪ کاهش داده که این کاهش مقاومت بتن موجب افزایش جذب آب بتن شده است و در نتیجه بتن در محیط های خورنده و یا بتن حاوی فولاد در محیط های مرطوب از دوام کمتری به نسبت بتن حاوی الیاف فولادی برخوردار می باشد . افزودن ۰.۵٪ الیاف شیشه تقریبا تاثیر چشمگیری در جذب آب نمونه بتنی نداشته، تنها کمتر از ۱٪ افزایش جذب آب بتن را به همراه داشته که نسبت به الیاف پلی پروپیلن می توان گفت که الیاف شیشه تاثیر مثبتی در دوام بتن در محیطهای خورنده و مرطوب داشته است.

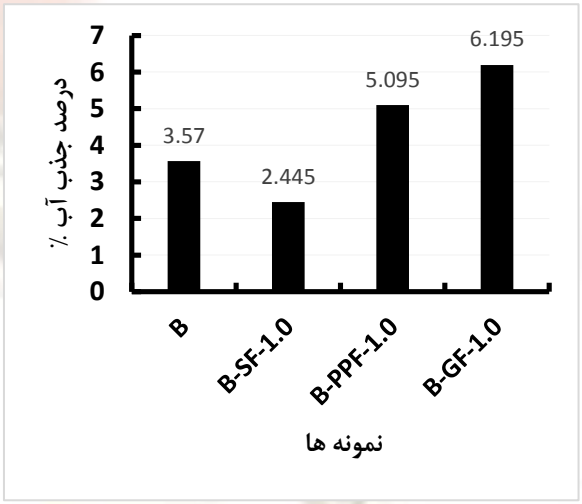
نتایج آزمایش گرم کن(تعیین درصد جذب آب) نمونه های بتنی حاوی ۱٪ الیاف در شکل ۱۴(ب) نشان داده شده است با توجه به این نتایج تاثیر الیاف فولادی بر کاهش جذب آب بتن سبک پلاستیک کاملا مشهود بوده و تقریبا نزدیک به ۲۵٪ نسبت به بتن فاقد الیاف کاهش داشته است اما الیاف پلی پروپیلن با حجم ۱٪ همچنان افزایش درصد جذب آب بتن را به همراه داشته اما این افزایش در مقایسه با

بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف ناچیز بوده و تقریبا برابر با هم بوده اند ولی افزایش درصد الیاف شیشه باعث افزایش جذب آب بتن سبک پلاستیک به میزان تقریبا نزدیک به دوبرابر بتن سبک پلاستیک مرجع(فاقد الیاف) شده که تاثیر قابل ملاحظه ای است. می توان دلیل افزایش جذب آب بتن حاوی الیاف شیشه و پلی پروپیلن را افزایش حجم این الیاف در بتن دانست. با توجه به ثابت بودن نسبت آب به سیمان و سنگدانه های ریز و درشت نمونه ها تنها حجم الیاف افزایش می یابند که این امر باعث به وجود آمدن اختلال در امر چسبانندگی سیمان موجود در بتن می شود و همچنین این الیاف خود جاذب آب هستند که در نتیجه جذب آب بتن افزایش می یابد.

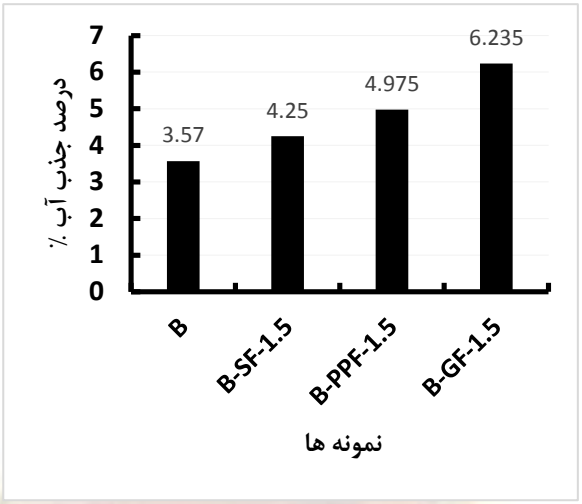
با توجه شکل ۱۴ (ج) که نتایج آزمایش درصد جذب آب بروی نمونه های بتن سبک پلاستیک حاوی ۱/۵٪ الیاف است می توان گفت که: بتن حاوی ۱/۵٪ الیاف فولادی نسبت به نمونه مرجع (بتن فاقد الیاف) رشد تقریبا ۲۰٪ را داشته است که این بدین معناست که جذب آب بتن حاوی الیاف بیشتر شده است و در نتیجه آن بتن در محیطهای خورنده دوام کمتری از خود نشان می دهد اما ۱/۵٪ الیاف پلی پروپیلن عملا حدود ۴۰٪ قدرت جذب آب بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است یعنی بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف پلی پروپیلن جذب آب بیشتری نسبت به بتن فاقد الیاف داشته است و در نتیجه آن دوام بتن در محیطهای خورنده نیز به میزان تقریبی ۴۰٪ کاهش می یابد که این نتیجه تقریبا با درصد کمی اختلاف مشابه الیاف فولادی بوده است. ۱/۵ درصد الیاف شیشه نیز مانند دیگر الیاف موجب کاهش مقاومت بتن سبک پلاستیک در برابر جذب آب شده که بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف شیشه تقریبا نزدیک به ۲برابر نسبت به بتن فاقد الیاف آب بیشتری جذب کرده است که در نتیجه آن می توان گفت دوام بتن نیز در محیطهای خورنده و مرطوب کاهش پیدا کرده است.



(الف)



(ب)



(ج)

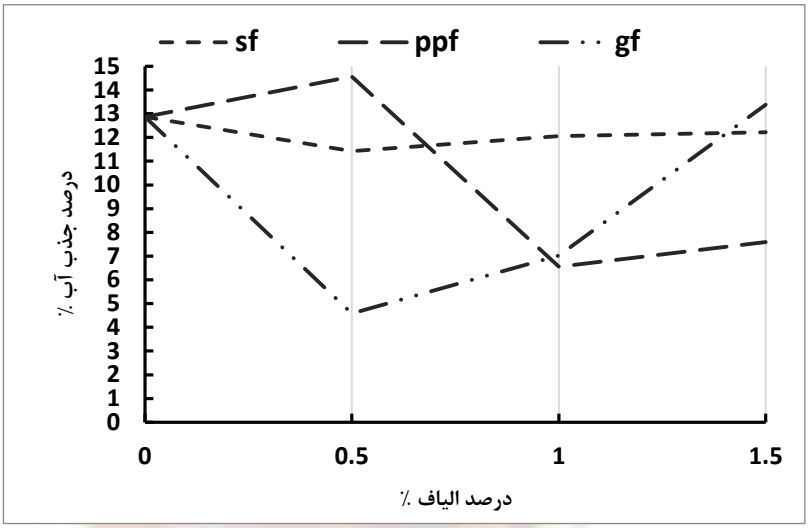
شکل۱۴- درصد جذب آب ۷روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۳-۳-۲- درصد جذب آب (دوام) ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک

با توجه شکل ۱۵ که نتیجه آزمایش تعیین درصد جذب آب ۲۸ روزه نمونه های بتن سبک پلاستیک حاوی ۰/۵، ۱ و ۱.۵٪ الیاف، می باشد می توان گفت که الیاف فولادی همانند نمونه های ۷ روزه ابتدا درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک را نزدیک به ۲۰٪ کاهش داده اما با افزایش حجم الیاف فولادی درون بتن درصد جذب آب بتن تقریبا به حالت اولیه خود بازگشته یعنی به درصد جذب آب بتن فاقد الیاف نزدیک گردیده و بعد از افزایش ۰/۵٪ حجم الیاف می توان گفت تقریبا درصد جذب آب بتن ثابت مانده و تغییر چندانی نداشته است.

اما الیاف پلی پروپیلن کاملا متفاوت با الیاف فولادی رفتار کرده اند به طوری که ابتدا روندی افزایشی در جذب آب بتن داشته اما با افزایش حجم الیاف به یکباره مقاومت بتن سبک پلاستیک را در برابر جذب آب افزایش داده است یا به عبارتی بتن نفوذناپذیر تر گردیده که در مقایسه با بتن فاقد الیاف تقریبا نزدیک به ۲۵٪ کاهش جذب آب را داشته است اما افزایش حجم الیاف پلی پروپیلن به ۱.۵٪ تقریبا ۱۰٪ درصد جذب آب بتن را افزایش داده اما در مقایسه با بتن فاقد الیاف تقریبا ۷۰٪ درصد کاهش داشته است اما نکته قابل توجه آزمایش جذب آب بتن در سن ۲۸ روزه رفتار الیاف شیشه می باشد که کاملا بر خلاف مراحل قبلی این تحقیق ابتدا نقش موثری در کاهش جذب آب بتن سبک پلاستیک الیافی داشته و تقریبا درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی ۰/۵٪ الیاف شیشه یک سوم بتن فاقد الیاف بوده اما بعد از افزایش درصد الیاف در بتن تقریبا کمتر از نصف جذب آب بتن فاقد الیاف را داشته و این روند افزایش جذب آب ادامه یافته تا جایی که بتن حاوی ۱/۵٪ الیاف شیشه درصد جذب آب بیشتری نسبت به بتن فاقد الیاف پیدا کرده تقریبا بیش از ۱۰٪ نسبت به بتن مرجع آب جذب کرده است. دلیل رفتارمتفاوت الیاف در آزمایش جذب آب را می توان این گونه بیان کرد که بتن سبک پلاستیک در سن ۲۸ روزه تقریبا به ۹۰٪ مقاومت نهایی خود رسیده و بنتونیت و سیمان موجود در بتن نیز واکنشهای شیمیایی خود را انجام داده ، سیمان چسبندگی نسبتا کاملی بین اجزای بتن ایجاد کرده و بنتونیت که عامل پلاستیک ساز بتن سبک می باشد نیز به کارایی نهایی خود رسیده و می توان گفت که خاصیت نفوذناپذیری بتن سبک پلاستیک تقریبا به حداکثر مقدار خود رسیده و این امر باعث جلوگیری از نفوذ آب به درون بتن می شود که در نتیجه آن دوام بتن در محیطهای مرطوب و خورنده افزایش پیدا می کند.

شکل۱۵- درصد جذب آب ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف

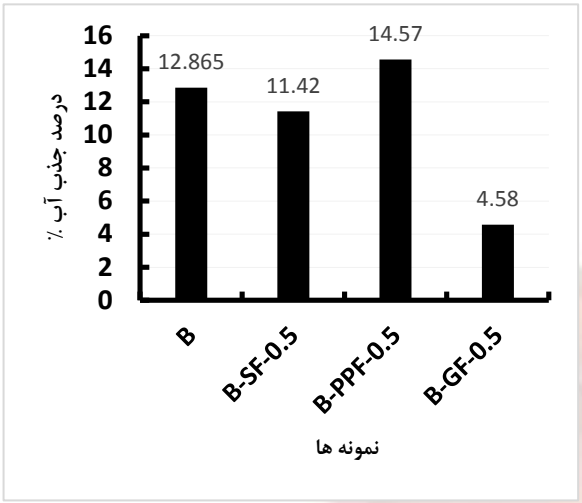


با توجه به شکل ۱۶(الف) که درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی ۰/۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که الیاف فولادی تقریبا نزدیک به ۱۰٪ ، الیاف پلی پروپیلن نزدیک به ۲۰٪ و الیاف شیشه بیش از ۷۰٪ درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک را داده اند با مقایسه درصد افزایش و کاهش درصد جذب آب بتن می توان نتیجه گرفت که بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف فولادی و شیشه در مقایسه با بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن در محیطهای مرطوب و خورنده دوام بیشتری از خود نشان می دهد.

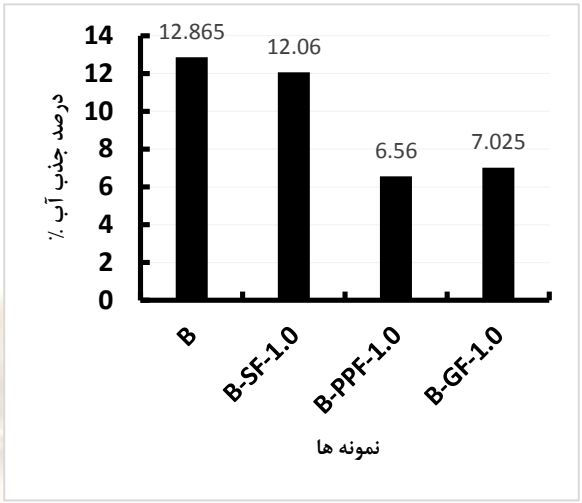
با توجه به شکل ۱۶(ب) که درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی۱٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت که الیاف فولادی در مقایسه با بتن فاقد الیاف درصد جذب آب بتن را کمتر از ۱۰٪ کاهش، اما در مقایسه با بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف تقریبا نزدیک به ۱۰٪ افزایش داده است که این بدان معناست که بتن حاوی ۱٪ الیاف فولادی در مقایسه با بتن فاقد الیاف دوام بهتری در محیط های خورنده دارد اما نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف بالعکس می باشد. الیاف پلی پروپیلن تقریبا درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک را به نصف کاهش داده است، البته نسبت به بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف این کاهش بیش از ۷۰٪ بوده و در نتیجه بتن حاوی ۱٪ الیاف پلی پروپیلن در مقایسه با الیاف فولادی و ۰/۵٪ الیاف پلی پروپیلن دوام بیشتری در محیط های خورنده دارد که این رفتار الیاف پلی پروپیلن کاملا متفاوت با مراحل قبلی آزمایش می باشد. الیاف شیشه درصد جذب آب بتن را در مقایسه با بتن فاقد الیاف کمتر از ۵۰٪ کاهش داده اما در مقایسه با بتن حاوی ۰/۵٪ الیاف تقریبا نزدیک به ۳۵٪ افزایش داده است. نتایج حاصل از این آزمایش ها نشان می دهد که بتن حاوی الیاف فولادی در سن ۲۸ روزه در مقایسه با بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن و شیشه بر خلاف مراحل قبل تحقیق تاثیر مثبتی در درصد جذب آب بتن نداشته است.

با توجه به شکل ۱۶(ج) که درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک حاوی ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه را نشان می دهد می توان گفت الیاف فولادی کمتر از ۱۰٪ درصد جذب آب بتن را کاهش داده است که در مقایسه با درصدهای دیگر این الیاف تقریبا ۱تا ۷٪ افزایش داشته است. الیاف پلی پروپیلن بیش از ۴۰٪ ، درصد جذب آب بتن را کاهش داده که در مقایسه با بتن حاوی ۱٪ الیاف پلی پروپیلن تقریبا ۱۰٪ افزایش و در مقایسه با بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف پلی پروپیلن تقریبا به نصف کاهش یافته است ۱.۵٪ الیاف شیشه موجب افزایش تقریبا ۵٪ درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک در مقایسه با بتن فاقد الیاف شده است که در مقایسه با بتن حاوی ۰.۵ و ۱٪ الیاف شیشه تقریبا به ترتیب ۳ و۲ برابر درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است.

با توجه به شکل ۱۶ می توان گفت ۰.۵٪ الیاف شیشه بیشترین تاثیر در کاهش درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک را داشه است که تقریبا یک سوم بتن فاقد الیاف بوده است اما حجم ۱.۵٪ الیاف فولادی ، پلی پروپیلن و شیشه در مقایسه با ۰.۵ و ۱٪ تاثیر کمتری در

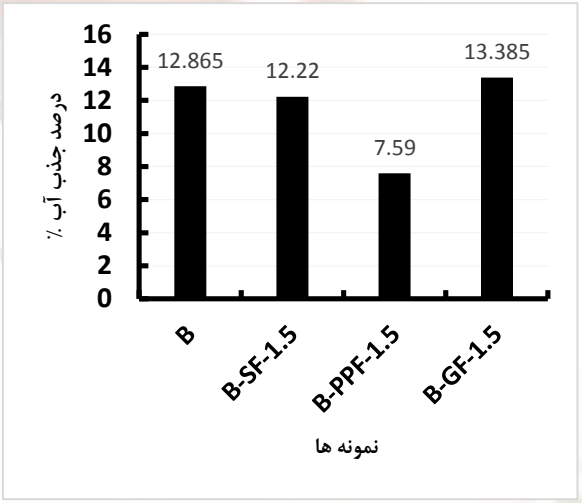


(الف)



(ب)

کاهش درصد جذب آب بتن داشته اند.



(ج)

شکل۱۶- درصد جذب آب ۲۸روزه بتن سبک پلاستیک حاوی الف)۰.۵٪ الیاف، ب) ۱٪ الیاف، ج) ۱.۵٪ الیاف

۴- نتیجه گیری

در این مقاله تعداد ۱۸۰ عدد نمونه ی بتن سبک پلاستیک حاوی الیاف ساخته شده و آزمایش مقاومت فشاری، کششی و درصد جذب آب (دوام) بر روی آنها انجام شد نمونه های بتن ساخته شده حاوی الیاف فولادی، پلی پروپیلن و شیشه با درصدهای ۰.۵، ۱ و ۱.۵٪ بوده اند که نتایج زیر به دست آمد:

الیاف فولادی با حجم ۰.۵٪ در بتن سبک پلاستیک بیش از ۳۰٪ و با حجم ۱٪ تقریبا ۲۰٪ مقاومت فشاری ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده است که بیشترین افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه مربوط به بتن سبک پلاستیک حاوی ۰.۵٪ الیاف می باشد. حجم ۰.۵، ۱ و ۱.۵٪ الیاف پلی پروپیلن و شیشه مقاومت فشاری ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را کاهش می دهند.

الیاف فولادی با حجم ۱.۵٪ در بتن سبک پلاستیک بیش از ۲.۵ برابر با حجم ۱٪ نزدیک به ۲ برابر و با حجم ۰.۵٪ نزدیک به ۴۰٪ مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده که این ارقام برای الیاف پلی پروپیلن به ترتیب ۵۰، ۲۰ و ۱۰٪ بوده است. الیاف شیشه با حجم ۱.۵٪ تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک نداشته اما با حجم ۱٪ و ۰.۵٪ به ترتیب ۳۰ و ۱۰٪ مقاومت کششی ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده که حتی بیشتر از مقاومت کششی بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن در حجمهای ۰.۵ و ۱٪ بوده است.

الیاف فولادی در حجمهای ۰.۵، ۱٪ به ترتیب ۳۰، ۴۰٪ درصد جذب آب ۷ روزه بتن سبک پلاستیک را کاهش داده اما با حجم ۱.۵٪ موجب افزایش تقریبا ۲۰٪ ، درصد جذب آب ۷ روزه بتن سبک پلاستیک گردیده است. الیاف پلی پروپیلن با درصدهای ۰.۵، ۱ و ۱.۵٪ نیز تقریبا نزدیک به ۴۰٪، درصد جذب آب بتن را افزایش داده است. بتن حاوی ۰.۵٪ الیاف شیشه درصد جذب آب تقریبا برابری با بتن فاقد الیاف داشته اما ۱ و ۱.۵٪ الیاف شیشه موجب افزایش تقریبا ۷۰٪ درصد جذب آب بتن سبک پلاستیک شده است.

الیاف فولادی با حجم ۰.۵٪ در بتن سبک پلاستیک با افزایش تقریبا ۳۰٪ مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن بیشترین مقاومت فشاری داشته است. حجم های دیگر الیاف فولادی ۱ و ۱.۵٪ به ترتیب افزایش تقریبا ۱۰٪ و کاهش حدودا ۲۵٪ مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن را موجب شده اند.

الیاف فولادی با حجم ۰.۵٪ در بتن سبک پلاستیک تقریبا بیش از ۲۰٪، با حجم ۱٪ تقریبا بیش از ۵۰٪ و با حجم ۱.۵٪ نیز نزدیک به ۵۰٪ مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک را افزایش داده که حجم ۱ و ۱.۵٪ بیشترین تاثیر در افزایش مقاومت کششی بتن سبک پلاستیک را داشته است، اما الیاف پلی پروپیلن و شیشه تاثیری در افزایش مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن سبک پلاستیک نداشته اند.

مراجع

[۱] تکنولوژی بتن، نویل، ترجمه رمضانیانپور و شاه نظری،

[۲] Fanella, D.A. and Naaman, A.E. "Stress – strain propertises of fiber reinforced mortar in compression," ACI Journal, ۸۲ (۴),۴۷۵-۴۸۳, ۱۹۸۵

[۳]کمیته ملی سدهای بزرگ ایران «مصالح پر کننده برای دیوار آب بند.»تهران، کمیته ملی سدهای بزرگ۱۳۷۶

[٤] Song, P.S., Hawng, S. and shue, B.S., "Strength properties of Nylon-and polypropylene fiber reinforced concretes", Cement and Concrete research, ۳۵, pp ۱۵۴۶-۱۵۵۰, ۲۰۰۵.

[٥] Passuello, A., Moriconi, G. And Shah, Surendra p., "Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers", Cement and Concrete Composites, ۳۱, pp. ۶۹۹-۷۰۴, ۲۰۰۹.

[۶]حبیبی، سیما. نیلفروش زاده، حسین . قربانی شبستری، سیاوش. «بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی استحکام و مقاومت حرارتی بتن» مجله علمی پژوهشی علوم و تکنولوژی نساجی، جلد۴، شماره۲، صفحات۵۵-۵۶، ۱۳۸۹

[۷] Chandramouli, K., Rao, S., Pannirselvam, N., Seshadri Sekhar, T., Sravana, P. "Strength properties of glass fiber concrete" ARPN journal of Engineering and Applied sciences, ۵, ۴, ۱-۶, ۲۰۱۰.

[۸] Singh, S. P., Singh, A. P., Bajaj, V. "Strength and Flexural Toughness of Concrete Reinforced with Steel-Polypropylene Hybrid Fibers" Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), ۱۱, ۴, ۴۹۴-۵۰۷, ۲۰۱۰.

[۹] Gornale, A., Quadri, S. I., Quadri, S. M., Ali, S. M. A., Hussaini, S. S. "Strength Aspects of Glass Fibre Reinforced Concrete" International Journal of Scientific & Engineering Research, ۳, ۷, ۱-۵, ۲۰۱۲.

[۱۰] زنگنه، ک « بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف بر مقاومت بتن با استفاده از مصالح سنگی استان بوشهر» پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر، صفحات ۲۰-۲۳، ۱۳۹۱

[۱۱] حسینعلی بیگی، م .برنجیان، ج .لطفی عمران، ا. محمد پورنیک بین، ا .«ارزیابی قابلیت جذب انرژی بتن خودتراکم الیافی حاوی ذرات نانوسیلی » دو فصلنامه تحقیقات بتن، جلد ۵، شماره ۱، صفحات ۳۶-۱۹، ۱۳۹۱

[۱۲]Yao, W., Li, J. and Wu, K. "Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction". Cement Concrete Res., ۳۳: ۲۷-۳۰. ۲۰۰۳.

[۱۳] قلهکی، م. پاچیده، ق. فلاورجانی، ک.«مطالعه عددی و آزمایشگاهی تاثیر افزودن همزمان الیاف فولادی و پلی پروپیلن بر مقاومت بتن تراورس با رویکرد رسیدن به درصد بهینه ی الیاف» مهندسی زیر ساختهای حمل و نقل، سال سوم، شماره ۱۰، تابستان ۱۳۹۶

[۱۴] Quresh, L. A., et. al. "Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete". Proceedings of International Conference on Concrete: Constructions Sustainable Option, Dundee.UK, pp. ۱۷۳-۱۸۵. ۲۰۰۸

[۱۵]Zeiml, M., Leithner, D., Lackner, R. and Mang, H. A.. "How do polypropylene fibers improve the spalling behavior of in-situ concrete?". Cement Concrete Res., ۳۶: ۹۲۹-۹۴۲. ۲۰۰۶

[۱۶] Wang, K., Shah, S. P. and Phuaksuk, P.. "Plastic shrinkage cracking in concrete materials-Influence of fly ash and fibers". ACI Mater. J., ۹۸(۶): ۴۵۸-۴۶۴. ۲۰۰۱

[۱۷] Hwang, C. L., Chen, C. T., Lee, L. S., Bui, L. A. T., Hou, B. S. and Hsieh, H. Y. "The material and mechanical property of heavy-duty prestressed concrete sleeper". Appl. Mech. Mater., ۹۷-۹۸: ۴۰۸-/۴۱۳. ۲۰۱۱

[۱۸] AREMA.. "Manual for Railway Engineering (Chapter ۳۰), Concrete ties". American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association. ۲۰۰۶

[۱۹] قاسم زاده موسوی نژآد، ح. لطف احمدی، ش. «خواص مکانیکی بتن پلاستیک حاوی کائولینیت، متا کائولن و الیاف پلی پروپیلن» ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران-تهران. ۱۳۹۳

[۲۰] S.P. Yap, U.J. Alengaram, M.Z. Jumaat, K.R. Khaw, Torsional and cracking characteristics of steel fiber-reinforced oil palm shell lightweight concrete, J.Compos. Mater. ۵۰ (۱) ۱۱۵–۱۲۸. ۲۰۱۶

[۲۱] Zhang, P., Guan, Q., Li, Q. Mechanical Properties of Plastic Concrete Containing Bentonite. Research Journal of Applied Sciences,. Engineering and Technology. ۶ (۲): ۱۳۱۷ -۱۳۲۲.۲۰۱۳

[۲۲]Abbaslou, H., Ghanizadeh, A.R., Tavana Amlashi, A. The Compatibility of Bentonite/Sepiolite Plastic Concrete Cut-Off Wall Material. Construction and Building Materials. ۱۲۲ : ۱۱۳۶ -۱۱۷۳ .۲۰۱۳

[۲۳] Reddy, G., Rao, R., Reddy, K. Experimental Investigation of Strength Parameters of Cement and Concrete by Partial Replacement of Cement with Indian Calcium Bentonite. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). ۳ (۱): ٦١٢ -٦١٣ . (۲۰۱۷)
[۲٤] Kumar, B.P., Ranga Rao, V., Reddy, K.. . Effect on Strength Properties of Concrete by Partial Replacement of Cement with Calcium Bentonite and Fly Ash. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). ۳ (۲): ۲٦۲ -۲٦٦ . ۲۰۱۷
[۲۵] NF EN ۱۲۳۹۰-۱۳ AFNOR, Testing hardened concrete, in: Determination of Secant Modulus of Elasticity in Compression, pages ۱۸–۴۵۵. (۲۰۱۳).
[۲۶] Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C۴۶۹/C۴۹۶. M, (۲۰۱۱).
[۲۷] ASTM C۶۴۲,. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. Annual Book of ASTM Standards, Volume ۰۴.۰۲. ۲۰۰۶