

بهبود خواص مکانیکی بتن غلتکی با استفاده از الیاف پلیمری

وهاب نادری زرنقی^۱، آرمان افتخاری^۲، علی فروغی اصل^۳

۱- دانشجوی دکتری عمران- سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز

۲- کارشناسی ارشد عمران - سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

Email¹: Vahabn66@gmail.com

cell: 0914-100-1504

Email²: eftekhari.arm@gmail.com

cell: 0936-682-5603

Email³: AForough@tabrizu.ac.ir

cell: 0914-117-0713

کد انجمن: E1-222 E

کد مقاله : E

چکیده

با رشد روز افزون استفاده از بتن غلتکی در صنعت ساخت و ساز سدها، آب بندها و . . و توجه به مزایای اجرایی و اقتصادی آن موجب گشته است که ضعف و معایب آن نیز بطور جامع مورد توجه خاص پژوهشگران، مجریان و دست اندرکاران ساخت و ساز بویژه سازه های هیدرولیکی در پروژه هائی مانند سدها و آب بندها گردد. ترک های ایجاد شده در اثر جمع شدگی و پائین بودن مقاومت کششی، خمشی و سختی بتن از یکسو و ترد و شکنندگی زیاد آن از سوی دیگر، استفاده از آن را محدودتر می کند که امروزه برای رفع این نوع مشکل از انواع افزودنی های مختلف معدنی و صنعتی- شیمیائی در طرح اختلاط بتن استفاده می شود. در این پژوهش برای بررسی موضوع دوسری نمونه با استفاده از مصالح سنگدانه محلی، سیمان پرتلند صوفیان، پوزولان میکروسیلیس، فوق روان کننده پلی کربوکسیلیک، پودر سنگ نمونه های استوانه ای تهیه گردید بطوری که در طرح اختلاط یک سری از نمونه ها از الیاف پلی پروپیلینی ساخت کارخانه اصفهان و در اندازه های ۶ و ۱۲ میلیمتری استفاده گردید و در سری دیگر نمونه ها بدون الیاف تهیه (نمونه های شاهد) و هر دو سری نمونه ها با عمل آوری در درون مخازن آب معمولی در مدت زمان های ۳، ۷ و ۲۸ روزه تهیه و تحت آزمایش های کششی و فشاری قرار گرفتند. مقایسه نتایج نمونه های بتن الیافی با نمونه های شاهد نشان دهنده بهینه ترین اندازه الیاف مصرفی و مقدار درصد مصرف با توجه به مشخصات طرح اختلاط و مدت عمل آوری می باشد و مصرف الیاف موجب بهبود کیفیت نمونه ها و افزایش ۲۰ درصدی مقاومت کششی در نمونه های الیافی شده است.

کلمات کلیدی: بتن غلتکی، الیاف پلی پروپیلینی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری، دوره عمل آوری

اصطلاح بتن غلتکی به خاطر ماشین آلات غلتکی که برای تراکم آن به کار می رود استفاده می شود. بتن غلتکی، بتنی است با اسلامپ صفر که قابلیت تحمل وزن غلتک قبل از گیرش سیمان را داشته باشد. مصالحی که برای تهیه بتن غلتکی بکار می رود همانند بتن معمولی است. کاربرد بتن غلتکی بیشتر در کارخانجات، ایستگاه های پمپ گاز، فرودگاه ها و جاده هایی که روسازی آنها در معرض بارهای دینامیکی و یا در جاهایی که ترافیک در آن کم باشد ولی وسایل نقلیه سنگین از روی آنها حرکت کند، می باشد [۱]. از مزایای این نوع بتن می توان به کاهش سیمان مصرفی و به تبع آن کاهش حرارت هیدراتاسیون، استفاده از مصالح دانه ای نسبتاً گسترده در بافت بتن، امکان احداث انواع سازه های هیدرولیکی و غیر هیدرولیکی و المان های جانبی آنها به صورت پیوسته و بالاخص مزایای اقتصادی و سرعت اجرای بالای آن اشاره کرد [۳]. بتن غلتکی را می توان مهمترین تحول و دستاورد صنعت بتن در ساخت سدها، پل ها، جاده ها و دیوارهای حایل در ربع قرن گذشته به حساب آورد. این فناوری امکان احداث سازه های فراوانی را با استانداردهای فنی و ایمنی مناسب فراهم کرده و با توجه به سرعت بالای اجرا، موجب اقتصادی شدن آنها نیز گردیده است [۴]. همچنین این روش امکان ترمیم درسدهای قدیمی را که از نظر پایداری یا ظرفیت تخلیه سیلاب با مشکل مواجه بودند تأمین نموده است [۵].

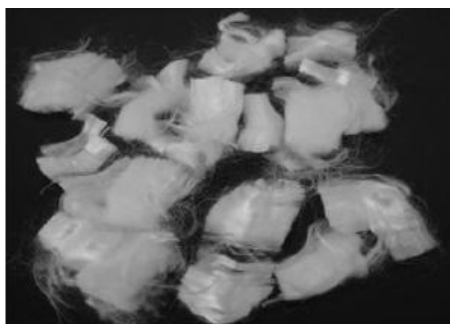
در سال ۱۸۶۸، هنری رید (Henry Reed) این نظریه را بیان کرد که «در طرح اختلاط بتن باید از کمترین مقدار آب استفاده شود تا بهترین نتیجه حاصل شود» و از آن زمان، تئوری استفاده از کمترین آب بوجود آمد. در دهه های اخیر قرن بیستم، تولید بتن های خشک بدون تراکم و کوبیدن زیاد منجر به کاهش کیفیت و کاهش مقاومت بتن تولید شده می شد ولی با بکارگیری و ظهور دستگاه های ویبره، بتن های با اسلامپ صفر به عنوان مصالح سازه ای واقعی بکار برده شدند. لذا کاربرد بتنی با اسلامپ صفر گسترش یافت و هم اکنون بتن با اسلامپ صفر دو کاربرد اساسی و وسیع دارد: یعنی بتن غلتکی و بتن پیش ساخته [۲].

کاربرد مهم بتن غلتکی از سال ۱۹۶۰ با استفاده وسیع از این بتن در سد Alpe Gera در ایتالیا شروع شد. رافائل در سال های ۱۹۷۰ و ۱۹۷۲ طی دو کنفرانس تحت عناوین ساخت سریع سدهای بتنی و ساخت اقتصادی سدهای بتنی وزنی، سدهای وزنی بهینه را به عنوان اقتصادی ترین راه حل بین سدهای خاکی با حجم زیاد و سدهای وزنی بتن متعارف با حجم کم معرفی کرد. نتایج تحقیقات انجام شده توسط ارتش امریکا بر روی سدهای 'Tine Ford، Lost Creek و Mississippi در سال ۱۹۷۳ مزایای اقتصادی بودن بتن غلتکی، تممیرات فوری تونل خروجی سد Tarbela در پاکستان با ۳۵۰،۰۰۰ متر مکعب بتن ریزی طی ۴۲ روز در سال ۱۹۷۵ سرعت اجرای بالای این نوع را به اثبات رساند [۶]. در ایران نیز، چندین سد بتن غلتکی از قبیل سد جگین، سد زبردان، سد رودبار لرستان و سد تنظیمی کرخه طراحی و اجرا گردیده است.

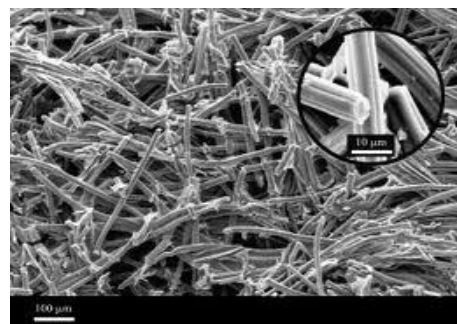
استفاده از بتن غیر مسلح به جهت کیفیت شکنندگی آن، عمدتاً در سازه های وزنی کاربرد زیادی دارد. این عیب اساسی بتن، در عمل با تسلیح آن با استقرار میلگردهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می گردد. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت عملکرد این نیروهای کششی بطور دقیق معلوم نیست و در ضمن روشن است که بتن تهیه شده از سیمان پرتلند دارای مقاومت فشاری بالا بوده ولی مقاومت کششی آن نسبت به مقاومت فشاری در حد پائینی می باشد لذا اجزای بتنی در کشش با مشکل زیادی روبرو شده و بتن در کشش با ترک خوردگی مواجه می گردد لذا از سال ۱۸۰۰ میلادی برای غلبه بر این مشکل، از تسلیح بتن معمولی با فولاد استفاده شد و در بتن های مسلح، این فولادها بصورت میلگردهای مدفون و یا شبکه های توری در درون بتن، کشش وارده بر بتن را تحمل کرده و بتن را از ترک خوردگی تحت بارهای کششی محافظت می نمودند. بررسی های بعدی نشان دادند که در محیط های با تهاجم کلریدی مانند سواحل و بنادر، با نفوذ یون کلر بدرون بتن، فولاد بتدریج خورده شده و با افت میزان درصد فولاد، باعث کاهش مقاومت و دوام سازه می گردند. در ضمن مواد حاصل از ترکیب شیمیایی یون کلر با فولاد با توجه به شرایط خوردگی، حجمی در حدود ۴ تا ۱۰ برابر فولاد خورده شده دارند و این افزایش حجم باعث ایجاد تنش های کششی بزرگی درون بتن شده و به سازه صدمات جبران ناپذیری را وارد می کنند اگرچه روش هائی مثل استفاده از روکش های ویژه روی بتن یا مواد افزودنی ضد خوردگی برای کاهش خوردگی بتن بکار می روند [۷]. راه حل مناسب و بهتر برای کاهش خوردگی و آسیب های ناشی از تهاجم اسیدی، خوردگی کلریدی، تهاجم سولفاته، کربناسیون و واکنش قلیایی مخصوصاً در سازه های هیدرولیکی استفاده از مواد و مصالحی است که نسبت به عوامل خورنده و فعال محیط حساسیت کمتر و مقاومت بالاتری داشته باشند و الیاف پلیمری از جمله الیاف پلی پروپیلنی انتخاب مناسب و موجهی می توانند در این مورد باشند. تکنیک مسلح به الیاف بعنوان بتن الیافی عموماً بر مبنای پخش تصادفی الیاف در بتن می باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. الیاف مقاومت کششی و شکل پذیری ملات و بتن را به نحو قابل توجهی افزایش داده و رفتار بتن را از حالت ترد به حالت شکل پذیر در می آورند. کاربرد الیاف به طور فراگیر از اوایل ۱۹۶۰ در کشورهای صنعتی پیشرفته آغاز شد و در طی این چهار دهه گذشته، جنس و شکل الیاف و نحو ساخت بتن الیافی بهبود یافته و کاربرد های آن نیز فزونی یافته است. هم اکنون الیاف به عنوان یکی از مواد ساختمانی ملزوم بتن در اکثر کشورها به نحو چشمگیری مورد استفاده قرار می گیرد [۸].

الیاف معمولاً بصورت درصد حجمی از بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار درصد آن با توجه به آزمایش‌های مختلف و داده‌های طراحی مشخص می‌گردد. الیاف در کاهش جمع‌شدگی پلاستیک اولیه بتن نقش موثری دارند. درحالت کلی مشخص شده است که اگرالیاف به مقدار مناسب و تعریف شده به بتن اضافه گردد مقاومت ترک خوردگی آن افزایش یافته و عرض ترک نیز کاهش می‌یابد لذا باید با آزمایش‌های مختلف مقدار بهینه الیاف در بتن معلوم گردد.

الیاف پلی پروپیلنی یکی از متداولترین الیاف مورد استفاده در بتن مطابق ASTM-C1116 است که ضد آب بوده و دارای چگالی پائینی است. این الیاف از رشته‌های استوانه‌ای شکل تشکیل شده‌اند که می‌توانند در اندازه‌های مختلف و اشکال گوناگون از جمله تک رشته‌ای (Monofilament) و انواع ریسه‌ای (Fibrillated) مورد استفاده قرار گیرند. این الیاف هنگام اختلاط با بتن، دچار آسیب نمی‌شوند، برخلاف الیاف شیشه‌ای که ممکن است دچار شکستگی شوند و همچنین این الیاف در بتن ته نشین نمی‌شوند (برخلاف الیاف فولادی) و باعث افزایش وزن مخصوص بتن نیز نمی‌گردند. الیاف پلی پروپیلنی و مشخصات آنها به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۱) نشان داده شده است [۹].



شکل ۲- الیاف پلی پروپیلنی



شکل ۱- جهت گیری تصادفی الیاف داخل بتن

بکارگیری الیاف پلی پروپیلنی برای جلوگیری از جمع‌شدگی و ترک خوردگی بتن در سنین اولیه (جمع‌شدگی پلاستیک) از هر راهکار دیگری مناسب‌تر به نظر می‌رسد. تعداد بسیار زیادی الیاف در هر متر مربع بتن (بیش از ۱۰۰ میلیون رشته در مقدار معمول مصرف که قابل مقایسه با سایر الیاف نیست) به معنی اتصال سطح بسیار وسیعی از الیاف به بتن می‌باشد که فواصل کم الیاف، از ایجاد ترک در بتن جلوگیری می‌کند.

استفاده از این الیاف سبب می‌شود که تا شکنندگی بتن به نحو قابل توجهی کاهش یافته و بتن الیافی، رفتار شکل‌پذیری تحت بارهای مختلف از خود نشان دهد که این مساله در هنگام زلزله و یا هر گونه بارگذاری ناگهانی حائز اهمیت است که نمونه‌ای از شکل‌پذیری بتن غلتکی تسلیح شده با الیاف پلی پروپیلنی در مقابل بتن غلتکی معمولی در شکل (۲) و (۳-۱) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود شکل ۲-۳ تغییر شکل زیادی در اثر بارگذاری داشته است.

جدول ۱- مشخصات الیاف پلی پروپیلنی

ساختمان شیمیایی	۱۰۰٪ پلی پروپیلنی
رنگ	سفید
سطح مقطع	مدور (قطر ۲۰۰ - ۲۰ μm)
وزن مخصوص	۰/۹۱ گرم بر سانتی مترمکعب
مدول الاستیسیته	(Mpa) ۳۵۰۰ - ۵۲۰۰
تنش کششی	(Mpa) ۴۵۰ - ۷۰۰



شکل ۲-۳ - تغییر شکل نمونه بتنی با افزودن الیاف



شکل ۱-۳ - تغییر شکل نمونه بتنی بدون الیاف

در استفاده از الیاف در بتن غلتکی باید به این نکته مهم اشاره نمود که متأسفانه علیرغم اهمیت موضوع و نیاز گسترده آن بویژه در سازه های هیدرولیکی، در تحقیقات نشر یافته محققان و طراحان، چندان توجهی به این مسأله نشده و در مقالات نیز بررسی هائی در این مورد بچشم نمی خورد لذا در این پژوهش سعی می شود که با ارائه طرح اختلاط های مناسب و با انجام آزمایش هایی مشخصات مصالح مورد استفاده ونوع الیاف پلی پروپیلینی تعریف شده و خواص مکانیکی در بتن غلتکی مورد بررسی قرار گیرد و مقادیر بهینه الیاف مصرفی و اندازه مناسب آن مشخص گردد و برای جایگزینی آن بجای فولاد تسلیحی در اختیار طراحان و مجریان پروژه های بتنی در انواع سازه ها و بویژه سازه های هیدرولیکی قرار گیرد.

۲- مصالح مورد استفاده

در این پژوهش، از مصالح محلی به عنوان گزینه ای اجرایی جهت احداث سازه های بتن غلتکی در مناطق شمال غرب کشور استفاده شده است:

۱-۲- سیمان

سیمان مورد استفاده سیمان تیپ II کارخانه ی سیمان صوفیان تبریز مطابق با استاندارد ASTM C150-86 می باشد که نتایج آنالیز شیمیایی آن در جدول شماره (۲) ارائه شده است. همچنین برای برای یکسان بودن مشخصات سیمان های مصرفی در تمام آزمایشات سیمان کیسه های مختلف کاملاً مخلوط و blend شده اند.

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند تیپ II کارخانه سیمان صوفیان

C3S	C3S	C3A	C4AF	CaO	Other
%۴۸/۴۸	%۲۶/۶۵	%۷/۴۹	%۱۰/۵۵	%۱/۲۳	%۵/۹

۲-۲- آب

آب مورد نیاز نیز از شبکه آبرسانی شهر تبریز تامین شده است.

۲-۳- مواد افزودنی شیمیایی

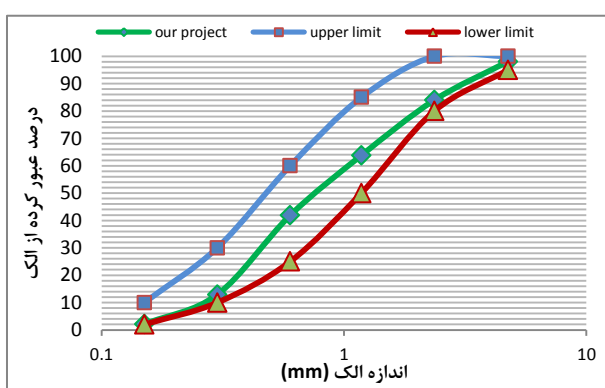
مواد افزودنی شیمیایی مورد استفاده در بتن غلتکی مطابق با استاندارد ASTM C494 بعنوان کنترل کننده زمان گیرش و تنظیم آن طبقه بندی می شوند. استفاده از این مواد سبب افزایش کارایی و چسبندگی بهتر لایه ها و بهبود خواص مکانیکی توده بتن غلتکی می گردد که در این پروژه از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک تهیه شده از توزیع کننده های داخلی استفاده شده است.

۲-۴- سنگدانه ها

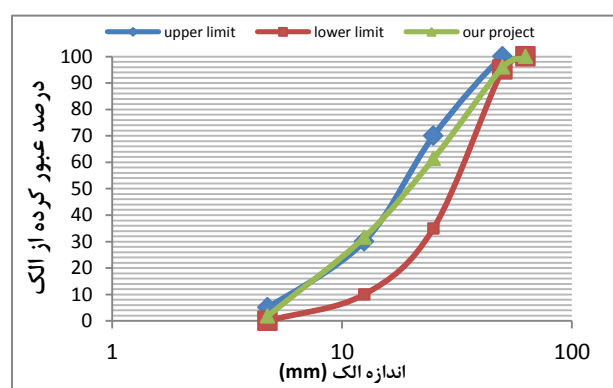
مصالح سنگدانه مصرفی و منابع قرضه استفاده شده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سنگدانه های درشت دانه با D_{max} برابر ۵۰ میلیمتر و مطابق با استاندارد ASTM C33-87 از معدن تل ماسه تبریز، ماسه مطابق با استاندارد ASTM C33-87 از معدن تل ماسه تبریز که ارزش ماسه ای آن برابر ۸/۵ درصد و مدول نرمی آن ۳/۱۲ تعیین گردید که نشان می دهد دارای ریزدانه کافی نیست لذا با افزودن فیلر به میزان ۱۴ درصد حجمی ریزدانه به مخلوط، مدول نرمی به ۲/۶ کاهش داده شد و بدین ترتیب در محدوده پیشنهادی استاندارد USACE مطابق شکل (۴) و شکل (۵) قرار گرفت. همچنین کیفیت مصالح مصرفی شامل درصد جذب و وزن مخصوص مصالح نیز در جدول شماره (۴) ارائه شده است

جدول ۳- درصد جذب (رطوبت SSD) و وزن مخصوص مصالح

مصالح ریزدانه	رطوبت در حالت S.S.D (gr/cm^3)	وزن مخصوص در حالت S.S.D (gr/cm^3)	مصالح درشت دانه	رطوبت در حالت S.S.D (gr/cm^3)	وزن مخصوص در حالت S.S.D (gr/cm^3)
ماسه	۲/۶۳	۲/۶۳	شن نخودی	۱/۲۱	۲/۵۳۵
فیلر	۲/۶۵		شن بادامی	۰/۹۱۴	۲/۶۴۸
سیمان	-	۳/۱۵	ماکادام	۲/۵۶	۲/۵۶



شکل ۵- منحنی دانه بندی درشت دانه ها



شکل ۴- منحنی دانه بندی ریز دانه ها

۲-۶- الیاف پلی پروپیلنی

الیاف پلی پروپیلنی به طول های ۶، ۱۲ میلیمتر از تولید کننده های داخلی (اصفهان).

۳- طرح اختلاط

در این پژوهش آزمایشگاهی، طرح اختلاط بتن غلتکی بر اساس روش حجمی و مطابق با استاندارد ارتش امریکا (USACE) می باشد. مقدار بهینه پیشنهادی مصرف میکروسیلیس ۱۵٪ - ۱۰٪ وزنی سیمان می باشد و در این پژوهش از این مقدار بهینه استفاده شده است. پس از تعیین منحنی دانه بندی سنگدانه ها نسبت اختلاط بهینه به صورت درصد حجمی مصالح سنگی بصورت ۴۰٪ ماکادام، ۳۰٪ بادامی، ۳۰٪ نخودی تعیین گردید. مقادیر الیاف پلی پروپیلنی و فوق روان کننده نیز در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۴- طرح اختلاط پیشنهادی مصالح مطابق با استاندارد ACI 207.5 R

نام مصالح	مقدار (kg/m^3)
آب	۹۶
مواد سیمانی	۱۷۵
سیمان	۱۵۰
ماسه	۹۰۵
ماکادام	۵۱۰
بادامی	۳۸۵
نخودی	۳۸۵
فوق روان ساز	۱/۲۲۵
پودر سنگ	۹۰
الیاف پلی پروپیلنی	۱/۴-۰/۷-۰/۳۵

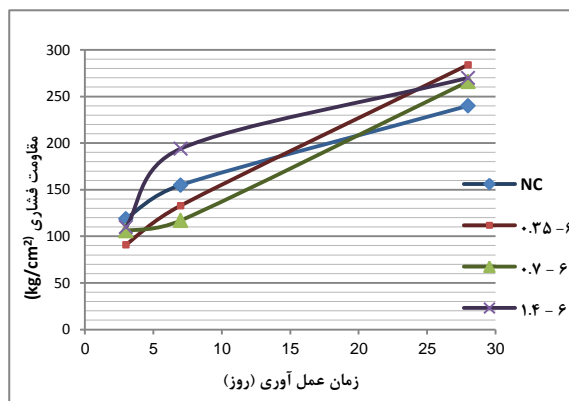
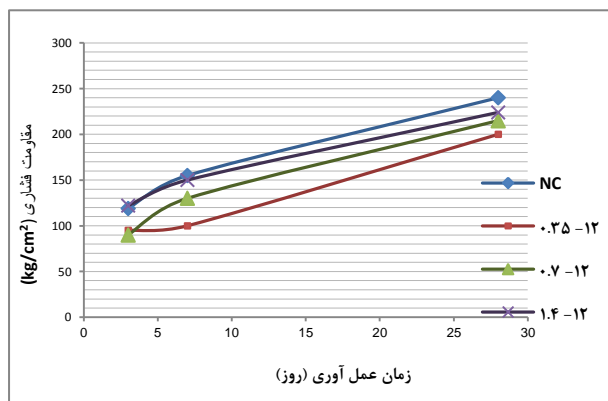
۴- آزمایش های پژوهش

در این پژوهش، به استناد خواص و مشخصات تعیین شده مصالح انتخابی در آزمایشگاه و انطباق آنها با استاندارد های (ASTM) و ارائه طرح اختلاط مناسب طبق استاندارد های (ACI 211.1-91) و (ACI 207.5R) با نسبت (w/c) ثابت و با استفاده از میکروسیلیس (SF) در حدود ۱۵٪ وزنی سیمان به عنوان ماده جایگزین سیمان و همچنین با مصرف فوق روان کننده و کنترل مقادیر مصرف جهت کارآئی مورد نیاز بکمک دستگاه Vebe مطابق استاندارد (CRD-C 53091) انجام شد که در این پژوهش زمان vebe مخلوط ۱۸ ثانیه می باشد. مهمترین مرحله در طراحی بتن غلتکی به دست آوردن تراز کارایی مطلوب برای مخلوط می باشد. برای اغلب مخلوط هایی با کارایی بسیار بالا، میزان کارایی مخلوط توسط دستگاه vebe اندازه گیری می شود. اغلب گروه های مهندسی بتن غلتکی حجیم از نسبت اختلاط هایی استفاده کرده اند که میزان کارایی، زمان vebe مخلوط در بازه ۱۲ الی ۲۵ ثانیه قرار بگیرد. وقتی زمان vebe در این بازه قرار می گیرد معمولاً میزان کارایی مخلوط بسیار بالا خواهد بود و بتن ریزی مخلوط به آسانی انجام می شود و قادر است بویژه در محل درز بین لایه ها به خوبی متراکم شود و زمان vebe بدست آمده این پژوهش در رنج مطلوب قرار دارد. بعد از تعیین طرح اختلاط بتن غلتکی یک سری نمونه های استوانه ای 150×300 میلی متری به عنوان نمونه های بتن غلتکی کنترل یا شاهد تهیه گردید. در یک سری دیگر از نمونه ها، با ثابت نگه داشتن تمام پارامترهای طرح اختلاط، به هر یک از

نمونه ها به میزان ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱/۴ (Kg/m³) الیاف پلی پروپیلنی افزوده شد و در انتخاب الیاف از اندازه های ۶ و ۱۲ میلی متری استفاده گردید و پس از عمل آوری در محیط آب و در مخازن محوطه آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز در مدت زمان های ۳، ۷ و ۲۸ روزه، تحت آزمایش های مقاومت فشاری قرار گرفته و با بررسی نتایج حاصل از آزمایش ها تاثیر الیاف پلی پروپیلنی بر روی خواص نمونه ها در مقایسه با نمونه های کنترل ارائه گردید. در ضمن چگالی هر دو سری نمونه نیز در حالت مختلف تحت مقایسه قرار می گیرد. برای اطمینان از نتایج آزمایش ها و نتیجه گیری صحیح در هر یک از حالات مختلف سه نمونه ساخته می شود.

۳-۱. بررسی تغییرات مقاومت فشاری برای مقادیر مختلف ۶ و ۱۲ میلیمتری برای زمان عمل آوری متفاوت

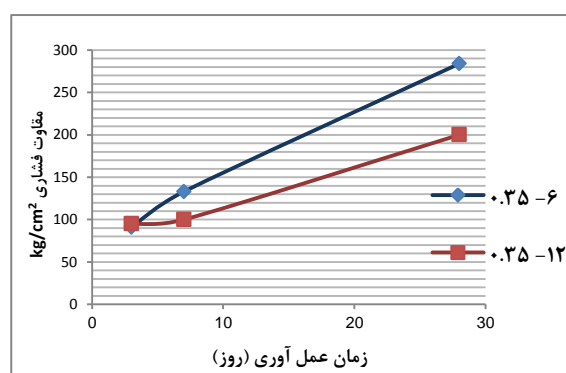
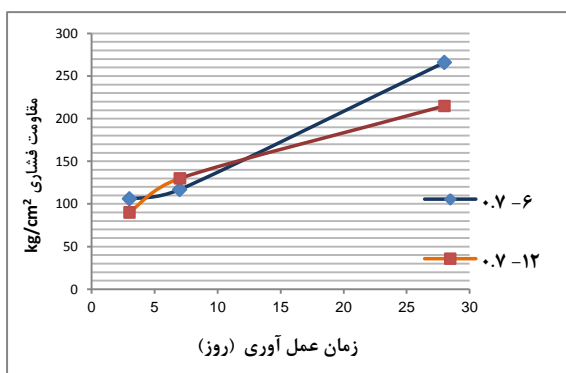
همانطور که از اشکال (۶) و (۷) مشخص می شود با افزایش مقدار الیاف، مقاومت فشاری نمونه بتنی تولید شده افزایش می یابد. خواص مکانیکی بتن ناشی از خواص فیزیکی سنگدانه ها، ودوام بتن را ناشی از عوامل موثر روی ملات بتن می توان دانست. افزودن الیاف بر روی خواص مکانیکی ملات بتن تولید شده تاثیر می گذارد. در تمامی نمونه ها خواص فیزیکی سنگدانه ها ثابت فرض شده است لذا علت افزایش مقاومت را ناشی از کاهش ترک خوردگی و افزایش مقاومت ترک خوردگی یا دوخت و دوز ترک های بوجود آمده در ملات بتن دانست که این باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه های مسلح شده به الیاف می باشد.



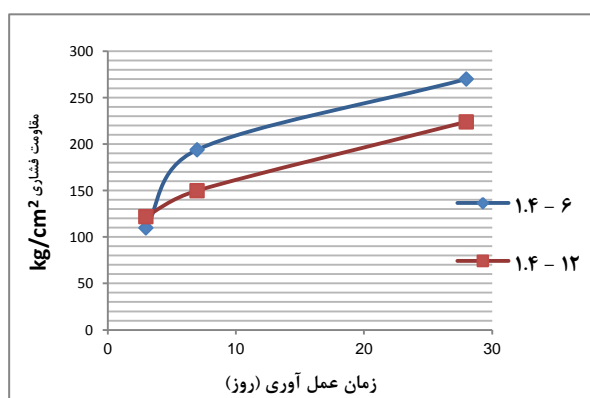
شکل ۶- تغییرات مقاومت فشاری برای مقادیر مختلف الیاف ۶ میلیمتری شکل ۷- تغییرات مقاومت فشاری برای مقادیر مختلف الیاف ۱۲ میلیمتری

۳-۲. بررسی تغییرات مقاومت فشاری برای مصرف معین ۰/۳۵ - ۰/۷ - ۱/۴ (kg/m³) الیاف با طول های مختلف

با بررسی نتایج بدست آمده و نمودار اشکال (۸-۱۰) می توان دریافت که در هر سه حالت مقاومت فشاری بتن با افزودن الیاف ۶ میلی متری نتایج بهتری نسبت به افزودن الیاف ۱۲ میلی متری حاصل می شود. الیاف ۱۲ میلیمتری به علت طول زیاد خود، باعث بوجود آمدن پدیده ای به نام balling (جمع شدگی الیاف در یکطرف ملات) می کنند که در این پروژه برای کاهش balling یا توپی شدن الیاف معمولاً یک سوم درشت دانه ها بعد از اختلاط سیمان با سنگدانه ها افزوده می شد تا از بروز این پدیده جلوگیری کند ولی بهر حال وقوع این پدیده در بتن با الیاف ۱۲ میلیمتری مشاهده می شود که نمونه ای از این نوع پدیده در شکل (۱۱) مشاهده می شود.



شکل ۸- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف 0.35 kg/m^3 الیاف - شکل ۹- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف 0.7 kg/m^3 الیاف



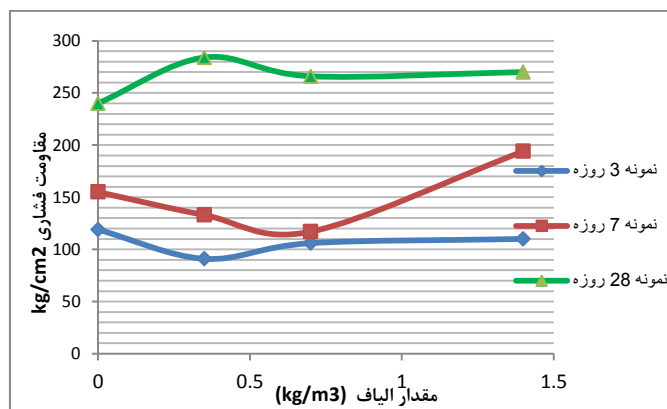
شکل ۱۰- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف 1.4 kg/m^3 الیاف



شکل (۱۱) - نمونه ای از تویی شدن الیاف پلی پروپیلینی در داخل بتن غلتکی

۳-۳. مقایسه مقاومت فشاری نمونه های با الیاف ۶ میلی متر با نمونه های شاهد در مدت زمان های عمل آوری مختلف

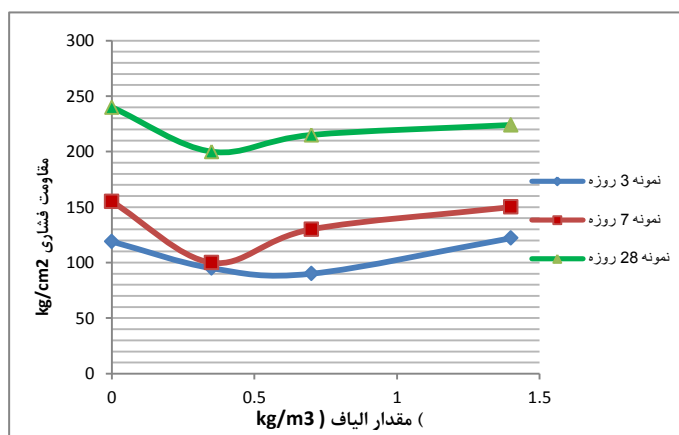
در نمودار شکل (۱۲) برای طول های الیاف ۶ میلی متر، تغییرات مقاومت فشاری نمونه ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است.



شکل (۱۲) - مقایسه مقاومت فشاری نمونه ها با الیاف ۶ میلی متر

۳-۴. مقایسه مقاومت فشاری نمونه های با الیاف ۱۲ میلی متر با نمونه های شاهد در مدت زمان های عمل آوری مختلف

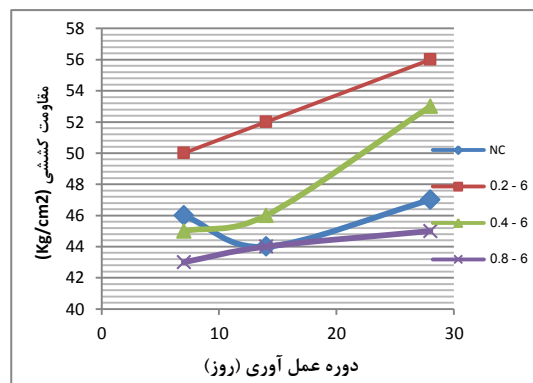
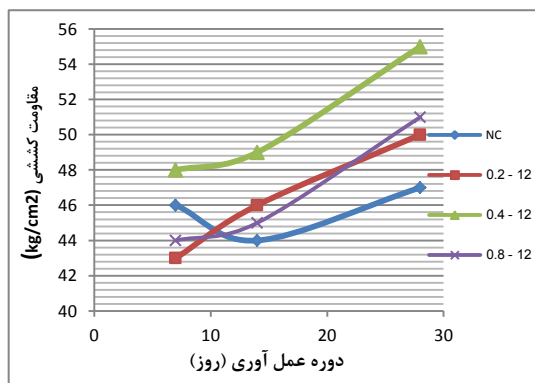
در نمودار شکل (۱۳) برای طول های الیاف ۱۲ میلی متر، تغییرات مقاومت فشاری نمونه ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است.



شکل (۱۳) - مقایسه مقاومت فشاری نمونه ها با الیاف ۱۲ میلی متر

۳-۵. بررسی تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف ۶ و ۱۲ میلیمتری برای زمان عمل آوری متفاوت

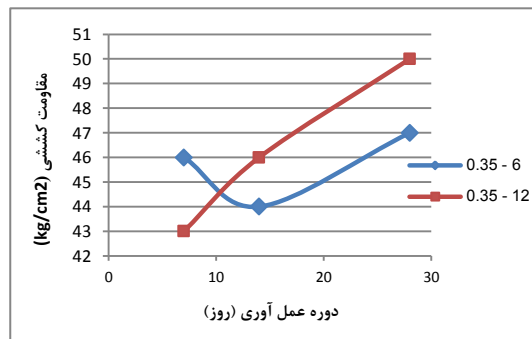
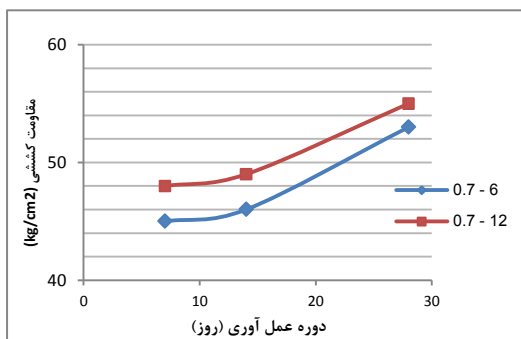
با بررسی نتایج بدست آمده و نمودار اشکال (۱۴-۱۵) می توان دریافت که در هر سه حالت مقاومت کششی بتن با افزودن الیاف نتایج بهتری نسبت به بتن معمولی می دهد که به علت کاهش ریزترک ها در ناحیه انتقال می باشد.



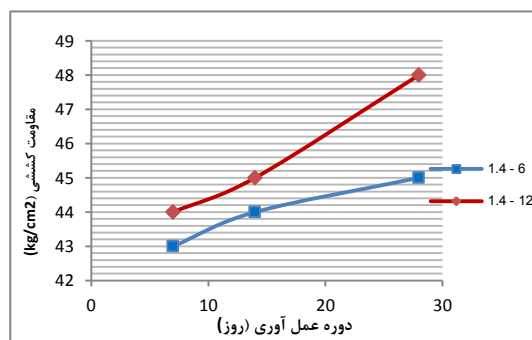
شکل (۱۴) - تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف الیاف ۱۲ میلیمتری
 شکل (۱۵) - تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف الیاف ۶ میلیمتری

۵-۶. بررسی تغییرات مقاومت کششی برای مصرف معین $0.35 - 0.7 - 1.4 \text{ kg/m}^3$ الیاف با طول های مختلف

با توجه به اشکال (۱۷-۱۵) دیده می شود که در تمامی مقادیر الیاف ۱۲ میلیمتری، افزایش مقاومت کششی بهتری نسبت به الیاف ۶ میلیمتری از خود نشان می دهند. چون بتن های غلتکی D_{max} بزرگتری دارند و به همین دلیل ضخامت ملات بین سنگدانه ها و ناحیه انتقال بتن بزرگتر می باشد به همین دلیل الیاف ۱۲ میلیمتری به علت طول بزرگشان به راحتی می توانند نیروها را بین سنگدانه ها انتقال می دهند .



شکل (۱۶) - تغییرات مقاومت کششی با مصرف 0.35 kg/m^3 الیاف
 شکل (۱۷) - تغییرات مقاومت کششی با مصرف 0.7 kg/m^3 الیاف



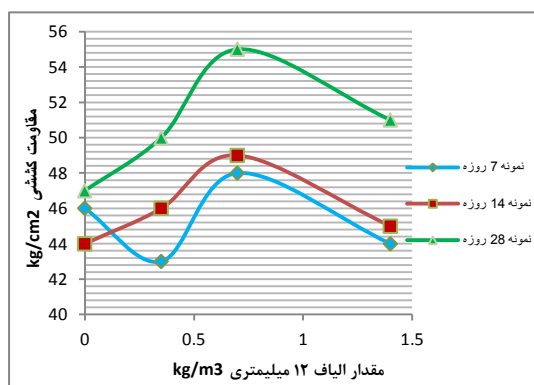
شکل (۱۸) - تغییرات مقاومت کششی با مصرف 1.4 kg/m^3 الیاف

۵-۷. مقایسه مقاومت کششی نمونه های با الیاف ۶ میلی متری با نمونه های شاهد در مدت زمان های عمل آوری مختلف

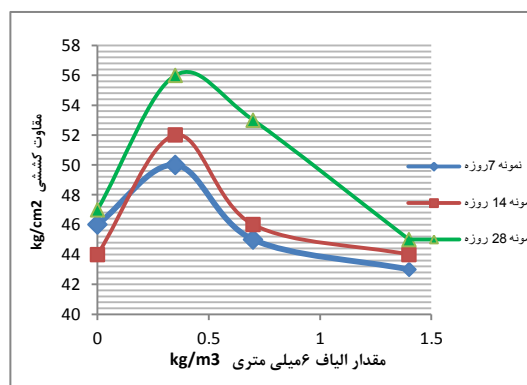
در نمودار شکل (۱۹) برای طول های الیاف ۶ میلی متر، تغییرات مقاومت کششی نمونه ها برای درصد های مختلف الیاف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقاومت کششی بدست آمده برای الیاف ۶ میلیمتری با اضافه کردن $0.35 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ از این الیاف بدست می آید.

۵-۸. مقایسه مقاومت کششی نمونه های با الیاف ۱۲ میلی متری با نمونه های شاهد در مدت زمان های عمل آوری مختلف

در نمودار شکل (۲۰) برای طول های الیاف ۱۲ میلی متر، تغییرات مقاومت کششی نمونه ها برای درصد های مختلف الیاف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقاومت کششی بدست آمده برای الیاف ۱۲ میلیمتری با اضافه کردن $0.7 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ از این الیاف بدست می آید.



شکل (۲۰) - مقایسه مقاومت کششی نمونه ها با الیاف ۱۲ میلی متری



شکل (۱۹) - مقایسه مقاومت کششی نمونه ها با الیاف ۶ میلی متری

۶- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایش های انجام یافته می توان نتیجه گیری زیر را ارائه داد:

۱- نتایج حاصل از آزمایش های صورت گرفته روی نمونه ها در خصوص اندازه گیری مقاومت فشاری و کششی و تاثیر درصد اختلاف الیاف و اهمیت طول الیاف مورد بررسی قرار گرفت. در مورد تاثیر درصد اختلاف الیاف باید توجه کرد که درصد اختلاف الیاف بسیار مهم می باشد چرا که اگر این درصد الیاف زیاده تر از مقدار مورد نیاز در نظر گرفته شود الیاف توانایی یکنواخت شدن در سطح بتن را نداشته و بصورت نقاط گلوله ای شکل در می آیند که در هنگام وارد شدن نیرو این نقاط باعث تمرکز تنش شده و موجب شکست زودتر حاصل می شود و اگر درصد اختلاط کم باشد، عملکرد لازم برای تقویت بتن را ارائه نمی دهد.

۲- در مورد تاثیر طول الیاف در مقاومت فشاری، الیاف با طول بلند از نظر اتصال بین دانه های بتن عملکرد بهتری دارند ولی از نقطه نظر نحوه مخلوط شدن نسبت به الیاف با طول کمتر عملکرد ضعیف تری از خودشان دارند و در الیاف با طول کمتر (۶ میلی متر) بیشترین مقاومت با افزودن $1/4$ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است.

۳- در مورد تأثیر طول الیاف در مقاومت کششی بتن غلتکی، بدلیل ضخامت بزرگتر ملات بین سنگدانه ها و ناحیه انتقال، الیاف با طول بلندتر بهتر نیروها را بین سنگدانه ها منتقل می کنند و با کاهش ریز ترک در ناحیه انتقال، مقاومت بهتری می دهند و مقدار بهینه الیاف برای طول الیاف ۶ میلیمتر ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب و برای طول ۱۲ میلیمتر مقدار ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است و در هر حالت تقریباً ۲۰٪ مقاومت کششی را افزایش می دهند.

۷- مراجع

1. M. Madhkhan, R. Azizkhani, M.E. Torki Harchegani, "Effect of pozzolans together with steel and polypropylene fibers on mechanical properties of RCC pavements", Construction and Building material journal, 529-536, 2012
2. M. Najimi, J. Sobhani, A.R. Pourkhourshidi, "A Comprehensive study on no-slump concrete: from laboratory towards manufactory", Construction and Building material journal, 102-112, 2012
3. American Concrete Institute, 1999, Roller Compacted Concrete, ACI207.5 R.
4. Roller Compacted Concrete: US Army Engineers Manual, 2000
۵. شکرچی زاده، م. و قاسمی، ه. (۱۳۸۴)، "بتن غلتکی در سد سازی (ترجمه)"، انتشارات دانشگاه تهران
6. United States Army Corps of Engineering, 2000, Roller Compacted Concrete, EM, 1110-2-2006.
7. R. brown, A. shukla, and K.R. Natarajan, 2002, Fiber reinforcement Concrete structure, University of Rhode island.
8. Horbanova, luba., Ujheliyora, Anna., Ryba, Jozef., lokaj, Jan., Michelik, Peter., "properties of composite polypropylene fibers for technical application", Actachimiaslovaca, Vol.3, No.2, pp 84-92, 2010
9. Cement & Concrete Institute, "Fiber Reinforcement Concrete", 2010