Archive of SID

بررسی عملکرد الیاف پلی‌پروپیلنی در ساختار بتن غلتکی

علی فروغی‌اصل*[۱] و وهاب نادری زرنقی [۲]
[۱] عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز

چکیده

مزایای اقتصادی و سرعت بالای اجرای بتن غلتکی، موجب گسترش کاربرد آن در صنعت سدسازی شده است. هدف از این پژوهش آزمایشگاهی بررسی تأثیر الیاف پلی پروپیلنی با مقادیر مختلف بر روی خواص مکانیکی بتن غلتکی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مصالح محلی، سیمان معمولی صوفیان، میکروسیلیس، فوق روان‌کننده و پودر سنگ در طرح اختلاط بتن، از الیاف پلی پروپیلینی ساخت کارخانه اصفهان و در اندازه‌های ۶ و ۱۲ میلی‌متری و در مقادیر ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱/۴ (Kg/m^3) و با عمل‌آوری در مخازن آب معمولی در زمان‌های معین، نمونه‌های استوانه‌ای تهیه و تحت آزمایش‌های مختلف مکانیکی قرار گرفته است. مقایسه نتایج انواع نمونه‌های تهیه شده با نمونه‌های کنترل شاهد در شرایط عمل‌آوری یکسان، بهینه‌ترین اندازه الیاف و مقدار درصد مصرف با توجه به مشخصات طرح اختلاط و مدت عمل‌آوری نشان می‌دهند که مصرف الیاف موجب بهبود کیفیت نمونه‌ها و افزایش ۲۰٪ مقاومت کششی شده است. همچنین مقدار بهینه اندازه و مصرف برای انواع طرح اختلاط‌های بتن ارائه شده است که می‌تواند جهت کارهای اجرایی در اختیار طراحان و مجریان پروژه‌های عمرانی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: بتن غلتکی، الیاف پلی پروپیلینی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری، دوره عمل‌آوری، توپی شدن الیاف.

۱- مقدمه

بتن غلتکی، یکی از بادوام‌ترین و محکم‌ترین مصالح ساختمانی می‌باشد که استفاده و کاربرد آن در سال‌های اخیر افزایش یافته است [۱]. اصطلاح بتن غلتکی به خاطر ماشین آلات غلتکی که برای تراکم آن به کار می‌رود استفاده می‌شود. 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 به کار می‌رود همانند بتن معمولی است. کاربرد بتن غلتکی بیشتر در کارخانجات، ایستگاه‌های پمپ گاز، فرودگاه‌ها و جاده‌هایی 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 کنند، می‌باشد [۲]. از مزایای این نوع بتن می‌توان به کاهش سیمان مصرفی و به تبع آن کاهش حرارت هیدراتاسیون، استفاده از مصالح دانه‌ای نسبتاً گسترده در بافت بتن، امکان احداث انواع سازه‌های هیدرولیکی و غیرهیدرولیکی و المان‌های جانبی آن‌ها به صورت پیوسته و بالاخص مزایای اقتصادی و سرعت اجرای بالای آن اشاره کرد [۳]. بتن غلتکی را می‌توان مهم‌ترین تحول و دستاورد صنعت بتن در ساخت سدها، پل‌ها، جاده‌ها و دیوارهای حایل در ربع قرن گذشته به حساب آورد. این فن‌آوری امکان احداث سازه‌های 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 در سدهای قدیمی را که از نظر پایداری یا ظرفیت تخلیه سیلاب با مشکل مواجه بودند تأمین نموده است.

در سال ۱۸۶۸، هنری رید[1] 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 به وجود آمد. در دهه‌های اخیر قرن بیستم، تولید بتن‌های خشک بدون تراکم و کوبیدن زیاد منجر به کاهش کیفیت و کاهش مقاومت بتن تولید شده می‌شد؛ ولی با به کارگیری و ظهور دستگاه‌های ویبره، بتن‌های با اسلامپ صفر به عنوان مصالح سازه‌ای 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: بتن غلتکی و بتن پیش‌ساخته [۵].

با توجه به آسیب‌پذیری سدهای خاکی، متخصصین در گردهمایی آسیلومار به دنبال نوع جدیدی از مصالح برای سدسازی بودند که ایمنی سد بتنی و سرعت اجرای سد خاکی را تواماً دارا باشد تا این که ایده و ابتکار جدید احداث سد بتن غلتکی مطرح شد. کاربرد مهم بتن غلتکی از سال ۱۹۶۰ با استفاده وسیع از این بتن در سد Alpe Gera در ایتالیا شروع شد.

1- Henry Reed

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۱/۶/۴ پذیرش ۹۱/۱۱/۹

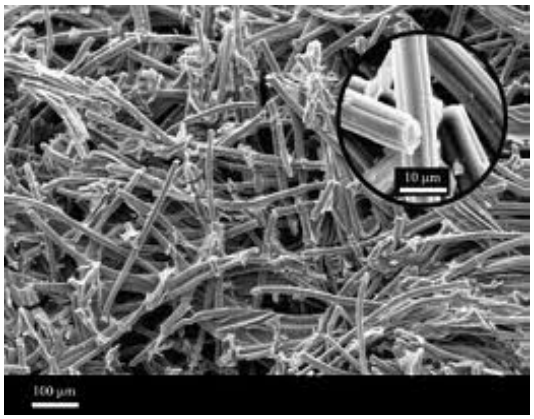
www.SID.ir

Archive of SID

رافائل در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۷۲ طی دو کنفرانس تحت عناوین ساخت سریع سدهای بتنی و ساخت اقتصادی سدهای بتنی وزنی، سدهای وزنی بهینه را به عنوان اقتصادی‌ترین راه حل بین سدهای خاکی با حجم زیاد و سدهای وزنی بتن متعارف با حجم کم معرفی کرد. در سال ۱۹۷۰ جهت حفظ سدهای بتنی در بازار سدسازی، سدسازان و طراحان در شهر آسیلومار کنفرانسی را دایر کردند که در آن پروفسور ژرورم رافائل[1] از دانشگاه برکلی در مقاله خود با عنوان "سد بتنی وزنی بهینه" چنین گفت: "آیا ممکن است سدهای وزنی بتنی با مصالح‌گران قیمت و سدهای خاکی با مصالح ارزان ابزاری جهت رسیدن به نوع جدیدی از سدهای وزنی باشد" [۶]. این مقاله ایده‌هایی را مطرح کرد که تا اندازه‌ای مبتنی بر تئوری استفاده از مخلوط خاک و سیمان برای سدسازی بود. نتایج تحقیقات انجام شده توسط ارتش امریکا بر روی سدهای Tine Ford، Lost Creek و Mississippi در سال ۱۹۷۳ مزایای اقتصادی بودن بتن غلتکی و تعمیرات 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. در ایران نیز، چندین سد بتن غلتکی از قبیل سد جگین، سد زیردان، سد رودبار لرستان و سد تنظیمی کرخه طراحی و اجرا گردیده است.

استفاده از بتن غیر مسلح به جهت کیفیت شکنندگی آن، عمدتاً در سازه‌های وزنی کاربرد زیادی دارد. این عیب اساسی بتن، در عمل با تسلیح آن با استقرار میلگردهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می‌گردد. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت عملکرد این نیروهای کششی به طور 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 می‌باشد؛ لذا اجزا بتنی در کشش با مشکل زیادی روبرو شده و بتن در کشش با ترک خوردگی مواجه می‌گردد؛ لذا از سال ۱۸۰۰ میلادی برای غلبه بر این مشکل، از تسلیح بتن معمولی با فولاد استفاده شد و در بتن‌های مسلح، این فولادها به صورت میلگردهای مدفون و یا شبکه‌های توری در درون بتن، کشش وارده بر بتن را تحمل کرده و بتن را از ترک‌خوردگی تحت بارهای کششی محافظت می‌نمودند. بررسی‌های بعدی نشان دادند که در محیط‌های با تهاجم کلریدی مانند سواحل و بنادر، با نفوذ یون کلر به درون بتن، فولاد به تدریج خورده شده و با افت میزان درصد فولاد، باعث کاهش مقاومت و دوام سازه می‌گردد. 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 تنش‌های کششی بزرگی درون بتن شده و به سازه صدمات جبران‌ناپذیری را وارد می‌کنند. اگر چه روش‌هائی مثل استفاده از روکش‌های ویژه روی بتن یا مواد افزودنی ضد خورندگی برای کاهش خوردگی بتن به کار می‌روند [۷]، راه حل مناسب و بهتر برای کاهش خوردگی و آسیب‌های ناشی از تهاجم اسیدی، خوردگی کلریدی، تهاجم سولفاته، کربناسیون و واکنش قلیایی مخصوصاً در سازه‌های 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 پلی‌پروپیلنی می‌توانند انتخاب مناسب و موجهی در این مورد باشند. تکنیک مسلح به الیاف به عنوان بتن الیافی عموماً بر مبنای پخش تصادفی الیاف در بتن می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. الیاف مقاومت کششی و شکل‌پذیری ملات و بتن را به نحو قابل توجهی افزایش داده و رفتار بتن را از حالت ترد به حالت شکل‌پذیر در می‌آورند. 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 نحوه ساخت بتن الیافی بهبود یافته و کاربردهای 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 می‌گیرد [۸].

الیاف معمولاً به صورت 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 مؤثری دارند.



شکل ۱- جهت‌گیری تصادفی الیاف داخل بتن

1- Jerome Raphael

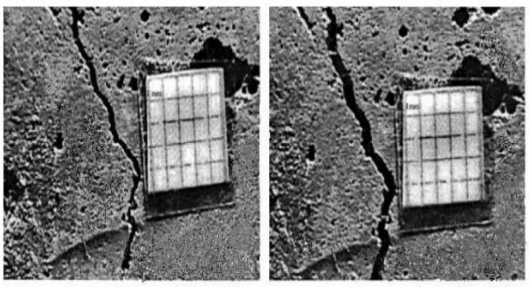
www.SID.ir

Archive of SID

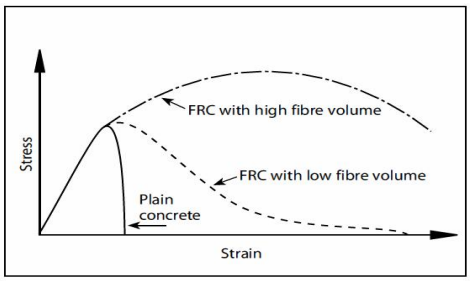
در حالت کلی مشخص شده است که اگر الیاف به مقدار مناسب و تعریف شده به بتن اضافه گردد مقاومت ترک‌خوردگی آن افزایش یافته و عرض ترک نیز کاهش می‌یابد که در شکل (۲) کاهش این ترک‌ها با اضافه شدن الیاف نشان داده شده است. لذا باید با آزمایش‌های مختلف مقدار بهینه الیاف در بتن معلوم گردد.

با توجه به تعریف سختی که به عنوان مساحت زیر نمودار تنش - کرنش می‌باشد، از شکل (۳) چنین استنباط می‌شود که استفاده از الیاف، سختی بتن را افزایش می‌دهد.

الیاف پلی‌پروپلینی 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[1] و انواع ریسه‌ای[2] 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 ته‌نشین نمی‌شوند (برخلاف الیاف فولادی) و باعث افزایش وزن مخصوص بتن نیز نمی‌گردند. مشخصات الیاف پلی‌پروپیلینی در جدول (۱) نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۲- کاهش ترک‌خورگی با افزایش الیاف [۹]



شکل ۳- نمودار تنش - کرنش برای بتن الیافی [۱۰]

جدول ۱- مشخصات الیاف پلی‌پروپیلنی

ساختمان شیمیایی	۱۰۰٪ پلی پروپیلنی
رنگ	سفید
سطح مقطع	مدور (قطر ۲۰ - ۲۰۰ µm)
وزن مخصوص	۰/۹۱ (gr/cm^3)
مدول الاستیسیته	۳۵۰۰ - ۵۲۰۰ (MPa)
تنش کششی	۴۵۰- ۷۰۰ (MPa)

به کارگیری الیاف پلی‌پروپیلنی برای جلوگیری از جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی 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 مسأله در هنگام زلزله و یا هر گونه بارگذاری ناگهانی حائز اهمیت است. نمونه‌ای از شکل‌پذیری بتن غلتکی تسلیح شده با الیاف پلی‌پروپیلنی در مقابل بتن غلتکی معمولی در شکل (۴- الف) و (۴- ب) نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شکل (۴- ب) تغییر شکل زیادی در اثر بارگذاری داشته است.

در استفاده از الیاف در بتن غلتکی باید به این نکته مهم اشاره نمود که متأسفانه علی‌رغم اهمیت موضوع و نیاز گسترده به آن به ویژه در سازه‌های هیدرولیکی، در تحقیقات نشر یافته محققان و طراحان، چندان توجهی به این مسأله نشده و در مقالات نیز بررسی‌هائی در این مورد به چشم نمی‌خورد.

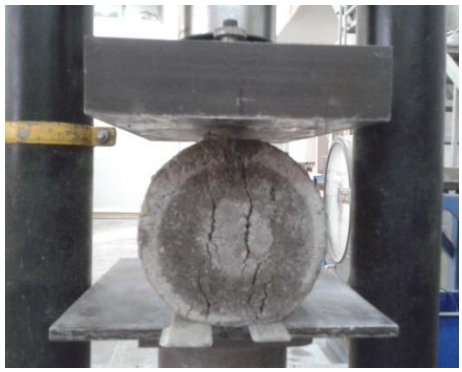
لذا در این پژوهش سعی می‌شود که با ارائه طرح اختلاط‌های مناسب و با انجام آزمایش‌هایی، مشخصات مصالح مورد استفاده و نوع الیاف پلی‌پروپلینی تعریف شده و خواص مکانیکی در بتن غلتکی مورد بررسی قرار بگیرد و مقادیر بهینه الیاف مصرفی و اندازه مناسب آن مشخص گردد و برای جایگزینی آن به جای فولاد تسلیحی در اختیار طراحان و مجریان پروژه‌های بتنی در انواع سازه‌ها و به ویژه سازه‌های هیدرولیکی قرار گیرد.

1- Monofilament
2- Fibrillated

www.SID.ir

Archive of SID

(الف)



(ب)

شکل ۴- الف) تغییر شکل نمونه بتنی بدون افزودن الیاف
ب) تغییر شکل نمونه بتنی با افزودن الیاف

۲- مصالح مورد استفاده

در این پژوهش، از مصالح محلی به عنوان گزینه‌ای اجرایی جهت احداث سازه‌های بتن غلتکی در مناطق شمال غرب کشور استفاده شده است.

۲-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده سیمان تیپ II کارخانه‌ی سیمان صوفیان تبریز مطابق با استاندارد ASTM C150-86 می‌باشد که نتایج آنالیز شیمیایی آن در جدول (۲) ارائه شده است.

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

همچنین برای یکسان بودن مشخصات سیمان‌های مصرفی در تمام آزمایش‌ها، سیمان کیسه‌های مختلف کاملاً مخلوط و آمیخته شده‌اند.

۲-۲- آب

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

۲-۳- پوزولان

پوزولان مصرفی در این پژوهش، میکروسیلیس تولیدی کارخانه‌ی ازنای لرستان می‌باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول (۳) آمده است.

۲-۴- مواد افزودنی شیمیایی

مواد افزودنی شیمیایی مورد استفاده در بتن غلتکی مطابق با استاندارد ASTM C494 به عنوان کنترل کننده زمان گیرش و تنظیم آن طبقه‌بندی می‌شوند. استفاده از این مواد سبب افزایش کارایی و چسبندگی بهتر لایه‌ها و بهبود خواص مکانیکی توده بتن غلتکی می‌گردد که در این پروژه از فوق روان‌کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک تهیه شده از توزیع کننده‌های داخلی استفاده شده است.

۲-۵- سنگ‌دانه‌ها

مصالح سنگ‌دانه مصرفی و منابع قرضه استفاده شده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سنگ‌دانه‌های 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 ماسه‌ای آن برابر ۸/۵ درصد و مدول نرمی آن ۳/۱۲ تعیین گردید که نشان می‌دهد 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- نتایج آنالیز شیمیایی میکروسیلیس کارخانه‌ی ازنای لرستان

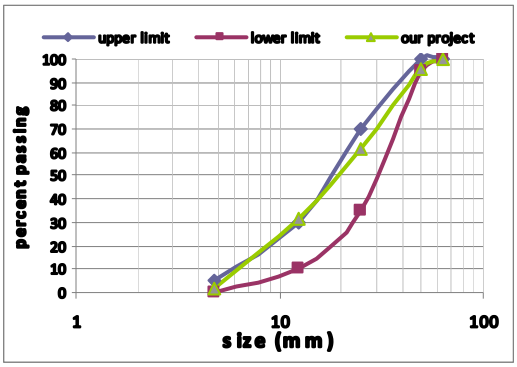
H2O	C	SiC	SiO2	Fe2O3	CaO	Al2O3	MgO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	Cl	L.O.I
۰/۸	۰/۳	۰/۵	۹۴/۶ -۹۶/۴	۰/۸۷	۰/۴۹	۱/۳۲	۰/۹۷	۰/۳۱	۱/۰۱	۰/۱۶	۰/۱	/۰۴	۰/۹۴

www.SID.ir

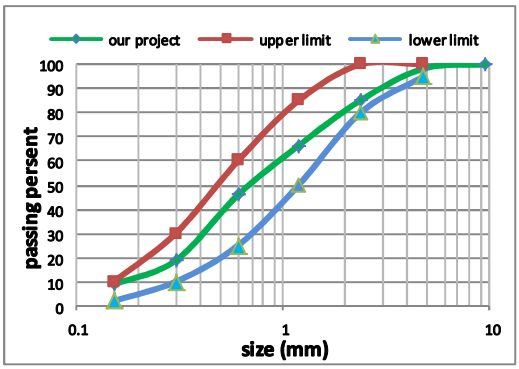
Archive of SID

جدول ۴- درصد جذب (رطوبت SSD) و وزن مخصوص مصالح

وزن مخصوص در حالت SSD (gr/cm^2)	رطوبت درحالت SSD (gr/cm^2)	مصالح درشت‌دانه	وزن مخصوص در حالت SSD gr/cm^2	رطوبت در حالت SSD gr/cm^2	مصالح ریزدانه
۲/۵۳۵	۱/۲۱	شن نخودی	۲/۶۳	۲/۶۳	ماسه
۲/۶۴۸	۰/۹۱۴	شن بادامی		۲/۶۵	فیلر
۲/۵۶	۲/۵۶	ماکادام	۲/۴۵	-	میکروسیلیس
			۳/۱۵	-	سیمان



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی درشت دانه‌ها



شکل ۵- منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ها

۲-۶- الیاف پلی‌پروپیلنی

الیاف پلی‌پروپیلنی به طول‌های ۶ و ۱۲ میلی‌متر از تولید کننده‌های داخلی (اصفهان).

۳- طرح اختلاط

در این پژوهش آزمایشگاهی، طرح اختلاط بتن غلتکی بر اساس روش حجمی و مطابق با استاندارد ارتش امریکا (USACE) می‌باشد. مقدار بهینه پیشنهادی مصرف میکروسیلیس ۱۵٪ -۱۰٪ وزنی سیمان می‌باشد و در این پژوهش از این مقدار بهینه (یعنی ۱۵٪) استفاده شده است. پس از تعیین منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها نسبت اختلاط بهینه به صورت درصد حجمی مصالح سنگی به صورت ۴۰٪ ماکادام، ۳۰٪ بادامی، ۳۰٪ نخودی تعیین گردید. مقادیر الیاف پلی‌پروپیلنی و فوق روان‌کننده نیز در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵- طرح اختلاط پیشنهادی مصالح مطابق با استاندارد ACI 207.5 R

نام مصالح	مقدار (kg/m^2)
آب	۹۶
مواد سیمانی	۱۷۵
سیمان	۱۵۰
میکروسیلیس	۲۵
ماسه	۹۰۵
ماکادام	۵۱۰
بادامی	۳۸۵
نخودی	۳۸۵
فوق روان ساز	۱/۲۲۵
پودر سنگ	۹۰
الیاف پلی‌پروپیلن	۱/۴-۰/۷-۰/۳۵

۴- آزمایش‌های پژوهش

در این پژوهش، به استناد خواص و مشخصات تعیین شده مصالح انتخابی در آزمایشگاه و انطباق آن‌ها با استانداردهای ASTM و ارائه طرح اختلاط مناسب طبق استانداردهای 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 به کمک دستگاه Vebe مطابق استاندارد CRD-C 53091 انجام شد که در این پژوهش زمان Vebe مخلوط ۱۸ ثانیه می‌باشد. مهمترین مرحله در طراحی بتن غلتکی به دست آوردن تراز کارایی مطلوب برای مخلوط می‌باشد. برای اغلب مخلوط‌هایی با کارایی بسیار بالا، میزان کارایی مخلوط توسط دستگاه Vebe اندازه‌گیری می‌شود. اغلب گروه‌های مهندسی بتن غلتکی حجیم از نسبت اختلاط‌هایی استفاده کرده‌اند که زمان Vebe مخلوط در بازه ۱۲ الی ۲۵ ثانیه قرار بگیرد. وقتی زمان Vebe در این

www.SID.ir

Archive of SID

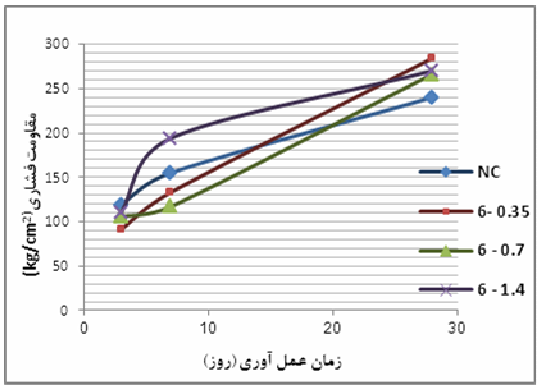
بازه قرار می‌گیرد، معمولاً میزان کارایی مخلوط بسیار بالا خواهد بود و بتن‌ریزی مخلوط به آسانی انجام می‌شود و قادر است به ویژه در محل درز بین لایه‌ها به خوبی متراکم شود و زمان Vebe به دست آمده این پژوهش در محدوده مطلوب قرار دارد. بعد از تعیین طرح اختلاط بتن غلتکی، یک سری نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متری به عنوان نمونه‌های بتن غلتکی کنترل یا شاهد تهیه گردید. در یک سری دیگر از نمونه‌ها، با ثابت نگه‌داشتن تمام پارامترهای طرح اختلاط، به هر یک از نمونه‌ها به میزان ۰/۳۵، ۰/۷ و ۱/۴ (kg/m^3) الیاف پلی‌پروپیلنی افزوده شد و در انتخاب الیاف از اندازه‌های ۶ و ۱۲ میلی‌متری استفاده گردید و پس از عمل‌آوری در محیط آب و در مخازن محوطه آزمایشگاه بتن دانشگاه تبریز، در مدت زمان‌های ۳، ۷ و ۲۸ روزه، تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی قرار گرفته و با بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، تأثیر الیاف پلی‌پروپیلنی بر روی خواص نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های کنترل ارائه گردید. برای اطمینان از نتایج آزمایش‌ها و نتیجه‌گیری صحیح، در هر یک از حالات مختلف سه نمونه ساخته می‌شود.

۵- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی

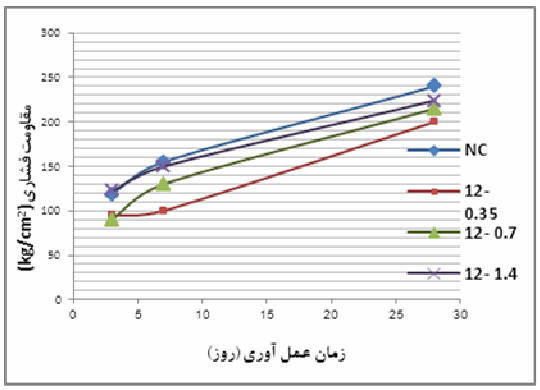
پس از تهیه نمونه‌های ۳، ۷ و ۲۸ روزه‌ی عمل‌آوری شده در آب مطابق روش ذکر شده و انجام آزمایش‌های لازم کارایی، خواص مکانیکی بتن‌های نمونه به شرح زیر مشخص گردید:

۵-۱- بررسی تغییرات مقاومت فشاری برای مقادیر مختلف ۶ و ۱۲ میلی‌متری برای زمان عمل‌آوری متفاوت

همان‌طور که از اشکال (۶) و (۷) مشخص می‌شود، با افزایش مقدار الیاف، مقاومت فشاری نمونه بتنی تولید شده افزایش می‌یابد. خواص مکانیکی بتن را می‌توان ناشی از خواص فیزیکی سنگ‌دانه‌ها، و دوام بتن را می‌توان ناشی از عوامل مؤثر روی ملات بتن دانست. افزودن الیاف بر روی خواص مکانیکی ملات بتن تولید شده تأثیر می‌گذارد. در تمامی نمونه‌ها خواص فیزیکی سنگ‌دانه‌ها ثابت فرض شده است؛ لذا علت افزایش مقاومت را می‌توان ناشی از کاهش ترک‌خوردگی و افزایش مقاومت ترک‌خوردگی یا دوخت و دوز ترک‌های به وجود آمده در ملات بتن که ناحیه انتقال نیرو می‌باشد، دانست که این امر باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های مسلح شده به الیاف می باشد.



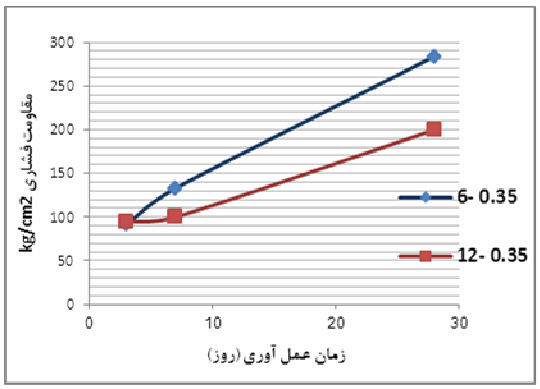
شکل ۶- تغییرات مقاومت فشاری برای مقادیر مختلف الیاف ۱۲ میلی‌متری



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

۵-۲- بررسی تغییرات مقاومت فشاری برای مصرف معین ۰/۳۵- ۰/۷- ۱/۴ (kg/m^3) الیاف با طول‌های مختلف

با بررسی نتایج به دست آمده و اشکال (۸) تا (۱۰) می‌توان دریافت که در هر سه حالت مقاومت فشاری بتن، با افزودن الیاف ۶ میلی‌متری نتایج بهتری نسبت به افزودن الیاف ۱۲ میلی‌متری حاصل می‌شود.

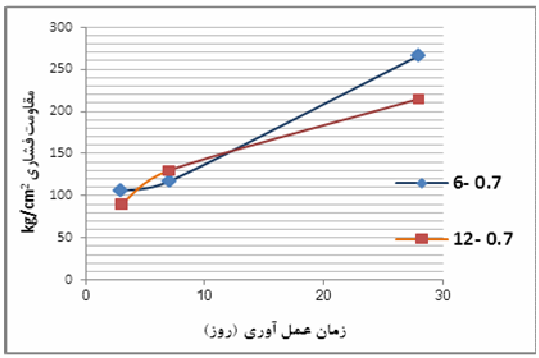


شکل ۸- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف ۰/۳۵ kg/m^3 الیاف

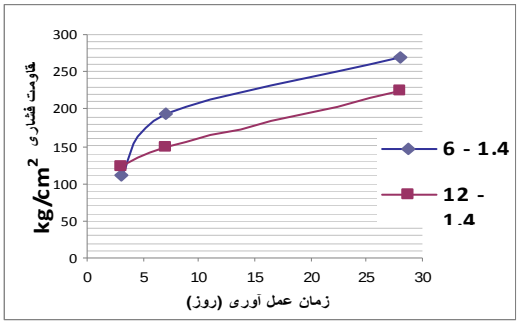
www.SID.ir

Archive of SID

الیاف ۱۲ میلی‌متری به علت طول زیاد خود، باعث به وجود آمدن پدیده‌ای به نام Balling (جمع شدگی الیاف در یک طرف ملات) می‌شوند که در این پروژه برای کاهش Balling یا توپی شدن الیاف معمولاً یک سوم درشت‌دانه‌ها بعد از اختلاط سیمان با سنگ‌دانه‌ها افزوده می‌شد تا از بروز این پدیده جلوگیری کند؛ ولی به هر حال وقوع این پدیده در بتن با الیاف ۱۲ میلی‌متری مشاهده می‌شود و نمونه‌ای از این نوع پدیده در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود.



شکل ۹- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف ۰/۷ kg/m^3 الیاف

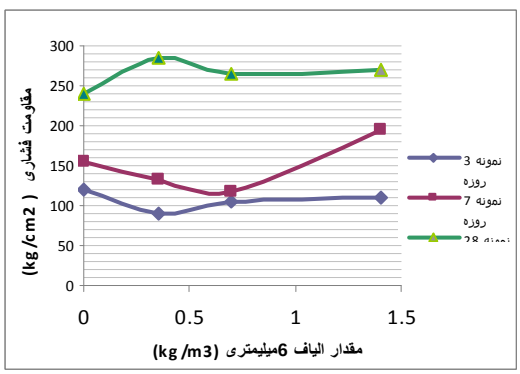


شکل ۱۰- تغییرات مقاومت فشاری با مصرف ۱/۴kg/m^3 الیاف

۵-۳- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های با الیاف ۶ میلی‌متر با نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های عمل‌آوری مختلف

در شکل (۱۲) برای طول‌های الیاف ۶ میلی‌متر، تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقاومت به دست آمده برای الیاف ۶ میلی‌متری با اضافه کردن ۰/۳۵ (kg/m^3) از این الیاف به دست می‌آید.

شکل ۱۱- نمونه‌ای از توپی شدن الیاف پلی‌پروپیلینی در داخل بتن غلتکی



شکل ۱۲- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌ها با الیاف ۶ میلی‌متری

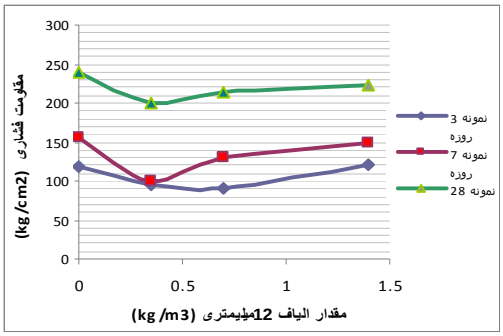
۵-۴- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های با الیاف ۱۲ میلی‌متر با نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های عمل‌آوری مختلف

در شکل (۱۳) برای طول‌های الیاف ۱۲ میلی‌متر، تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای الیاف ۱۲ میلی‌متری، برای بتن غلتکی معمولی بدون اضافه کردن الیاف، بیشترین مقاومت فشاری به دست آمده است و علت این امر در توپی شدن یا جمع‌شدگی الیاف ۱۲ میلی‌متری به خاطر طول زیادشان می‌باشد. جمع‌شدگی الیاف ۱۲ میلی‌متری باعث ایجاد

www.SID.ir

Archive of SID

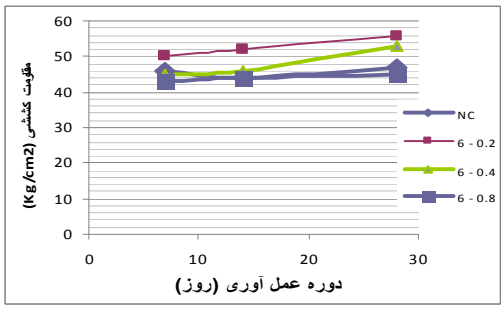
تمرکز تنش در آن قسمت نمونه می‌شود که این موضوع باعث کاهش مقاومت بتن غلتکی می‌شود.



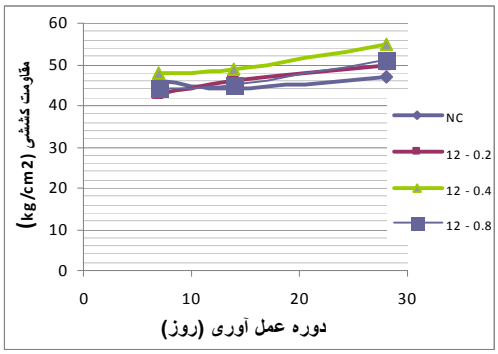
شکل ۱۳- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌ها با الیاف ۱۲ میلی‌متری

۵-۵- بررسی تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف الیاف ۶ و ۱۲ میلی‌متری برای زمان‌های عمل‌آوری متفاوت

با بررسی نتایج به دست آمده و اشکال (۱۴) و (۱۵) می‌توان دریافت که در هر سه حالت، مقاومت کششی بتن با افزودن الیاف نتایج بهتری نسبت به بتن معمولی می‌دهد که به علت کاهش ریزترک‌ها در ناحیه انتقال می‌باشد.



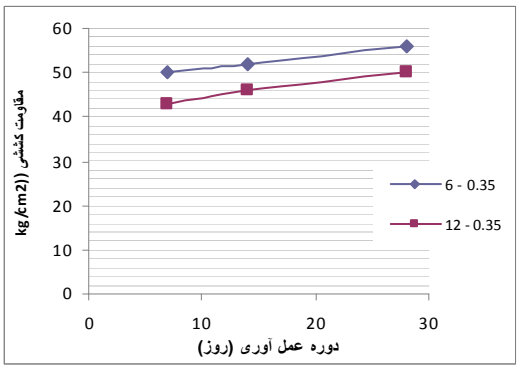
شکل ۱۴- تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف الیاف ۶ میلی‌متری



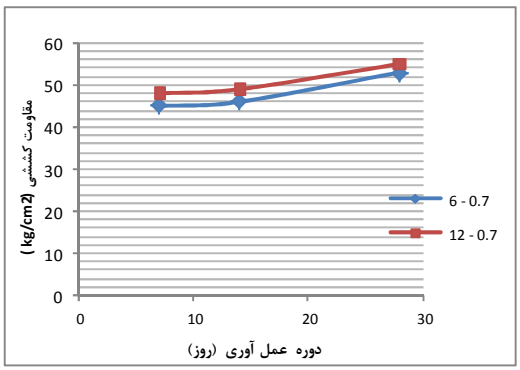
شکل ۱۵- تغییرات مقاومت کششی برای مقادیر مختلف الیاف ۱۲ میلیمتری

۵-۶- بررسی تغییرات مقاومت کششی برای مصرف معین ۰/۳۵ - ۰/۷ - ۱/۴ (kg/m^3) الیاف با طول‌های مختلف

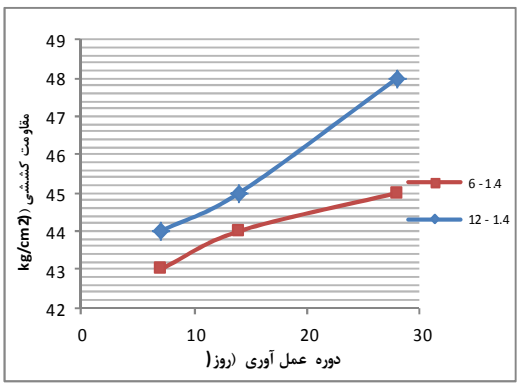
با توجه به اشکال (۱۵) تا (۱۷) دیده می‌شود که در مقادیر kg/m^3 ۰/۷، الیاف ۶ میلی‌متری افزایش مقاومت کششی بهتری نسبت به الیاف ۱۲ میلی‌متری از خود نشان می‌دهند و در مقادیر الیاف اضافه شده (kg/m^3) ۰/۷- ۱/۴ به مخلوط بتن، الیاف ۱۲ میلی‌متری نتیجه بهتری نسبت به الیاف ۶ میلی‌متری می‌دهند.



شکل ۱۶- تغییرات مقاومت کششی با مصرف kg/m^3 ۰/۳۵ الیاف



شکل ۱۷- تغییرات مقاومت کششی با مصرف kg/m^3 ۰/۷ الیاف



شکل ۱۸- تغییرات مقاومت کششی با مصرف kg/m^3 ۱/۴ الیاف

www.SID.ir

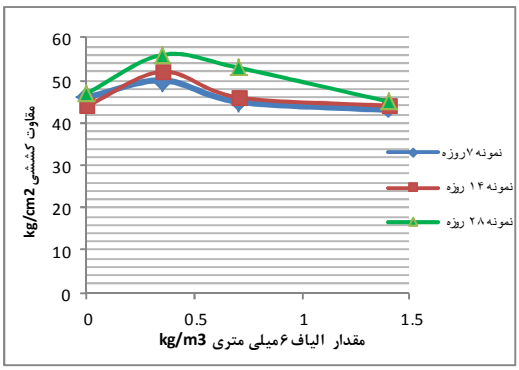
Archive of SID

۵-۷- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های با الیاف ۶ میلی‌متری با نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های عمل‌آوری مختلف

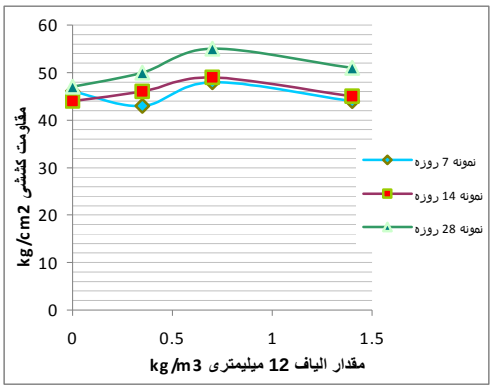
در شکل (۱۹) برای طول‌های الیاف ۶ میلی‌متر، تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقاومت کششی به دست آمده برای الیاف ۶ میلیمتری با اضافه کردن ۰/۳۵ (kg/m^3) از این الیاف به دست می‌آید.

۵-۸- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های با الیاف ۱۲ میلی‌متری با نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های عمل‌آوری مختلف

در شکل (۲۰) برای طول‌های الیاف ۱۲ میلی‌متر، تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها برای درصدهای مختلف الیاف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقاومت کششی به دست آمده برای الیاف ۱۲ میلی‌متری با اضافه کردن ۰/۷ (kg/m^3) از این الیاف به دست می‌آید.



شکل ۱۹- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌ها با الیاف ۶ میلی‌متری



شکل ۲۰- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌ها با الیاف ۱۲ میلی‌متری

۶- نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج آزمایش‌های انجام یافته می‌توان نتیجه‌گیری زیر را ارائه داد:

۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته روی نمونه‌ها در خصوص اندازه‌گیری مقاومت فشاری و کششی و تأثیر درصد اختلاف الیاف و اهمیت طول الیاف مورد بررسی قرار گرفت. در مورد تأثیر درصد اختلاف الیاف باید توجه کرد که درصد اختلاف الیاف بسیار مهم می‌باشد چرا که اگر این درصد الیاف زیادتر از مقدار مورد نیاز در نظر گرفته شود الیاف توانایی یکنواخت شدن در سطح بتن را نداشته و به صورت نقاط گلوله‌ای شکل در می‌آیند که در هنگام وارد شدن نیرو این نقاط باعث تمرکز تنش شده و موجب شکست زودتر حاصل می‌شود و اگر درصد اختلاط کم باشد، عملکرد لازم برای تقویت بتن را ارائه نمی‌دهد.

۲- در مورد تأثیر طول الیاف در مقاومت فشاری، الیاف با طول بلند از نظر اتصال بین دانه‌های بتن عملکرد بهتری دارند ولی از نقطه نظر نحوه مخلوط شدن نسبت به الیاف با طول کمتر عملکرد ضعیف‌تری از خودشان دارند و در الیاف با طول کمتر (۶ میلی‌متر) بیشترین مقاومت با افزودن ۰/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمده است.

۳- در مورد تأثیر طول الیاف در مقاومت کششی، الیاف با طول بلندتر به علت اتصال دادن دانه‌ها و کاهش ریز ترک در ناحیه انتقال، مقاومت بهتری می‌دهند و مقدار بهینه الیاف برای طول الیاف ۶ میلیمتر ۰/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب و برای طول ۱۲ میلی‌متر مقدار ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمده است و در هر حالت تقریباً ۲۰٪ مقاومت کششی را افزایش می‌دهند.

۷- مراجع

[1] Vahedifrad, F., Nili, M., Meehan, Ch., "Assessing the Effects of Supplementary Cementations Materials on the Performance of Low–Cement Roller Compacted Concrete Pavement", Construction and Building material Journal, 2528-2535, 2012.

[2] Madhkhan, M., Azizkhani, R., Torki Harchegani, M. E., "Effect of Pozzolans Together with Steel and Polypropylene Fibers on Mechanical Properties of RCC Pavements", Construction and Building material journal, 2012, 529-536.

[3] Najimi, M., Sobhani, J., Pourkhourshidi, A. R., "A Comprehensive Study on No-Slump Concrete: from Laboratory towards Manufactory", Construction and Building material journal, 2012, 102-112.

www.SID.ir

Archive of SID

[4] American Concrete Institute, Roller Compacted Concrete, ACI207.5 R, 1999.
[5] US Army Corps of Engineers, "Roller Compacted Concrete Manual", 2000.
[6] Raphael, J. M., "The Optimum Gravity Dam", Conference on Rapid Construction of Concrete Dams, New York, 1970.
[7] Brown, R., shukla, A., Natarajan, K. R., "Fiber Reinforcement Concrete Structure", University of Rhode Island, 2002.
[8] Bagherzade, R., Faramarzi, A. R., Gorchi. M., "Utilizing Polypropylene Fibers to Improving Concrete Durability and Cracking level", Special Concrete and Quality Assurance.
[9] Horbanova, L., Ujheliyiora, A., Ryba, J., Lokaj, J., Michelik, P., "Properties of Composite Polypropylene Fibers for Technical Application", Actachimiaslovaca, 2010, 3 (2), 84-92.
[10] Cement & Concrete Institute, "Fiber Reinforcement Concrete", 2010.

www.SID.ir