

بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از گاه گندم بر مقاومت فشاری، روانی و طاقت مخلوط بتن غلتنکی روسازی

ابوالفضل حسنی

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمد بذرافکن *

کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمد رضا سلیمانی کرمانی

استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

چکیده

روسازی بتن غلتنکی یکی از اقتصادی ترین و بادوام ترین انواع روسازی است که در سطح گسترده ای در روسازی با ترافیک سنگین مورد استفاده قرار می گیرد. هدف تحقیق امکان سنجی استفاده از گاه گندم به عنوان الیاف در تغییر رفتار و تقویت بتن غلتنکی روسازی است. این امکان سنجی به این علت انجام گرفت که الیاف سلولزی دارای مقاومت کششی بالا و مدول الاستیسیته پایین و نزدیک به ملات بتن می باشد به همین علت تأثیر خوبی در کنترل ترک های انقباضی و طاقت مخلوط بتن غلتنکی می توانند داشته باشند. سازگاری بین الیاف و ماتریس بتن و همچنین اینکه آیا گاه مشخصه های بتن را تحت تأثیر قرار می دهد یا خیر، مورد بحث است. الیاف طبیعی ترکیباتی طبیعی با ساختاری سلولزی می باشند. سلولز پلیمری دارای واحدهای گلوکزی می باشد. الیاف گوناگون دارای ترکیبات مختلفی هستند، بنابراین انتظار می رود که رفتار آنها درون یک ماتریس سیمانی متفاوت باشد. الیاف طبیعی دارای مدول الاستیسیته پایین و مقاومت کششی بالایی هستند و حتی مقاومت کششی آنها تا حد مطلوبی قابل مقایسه با الیاف مصنوعی می باشد. استفاده از الیافهایی نظیر الیاف فولادی و الیاف مصنوعی که عملکرد نسبتاً مناسبی نیز دارند مستلزم هزینه بالا و صرف انرژی زیاد می باشد به علاوه اینکه از منابع تجدید نشدنی ساخته می شوند به همین جهت بررسی تسلیح بتن توسط المانهای کم هزینه و در دسترس هدف اصلی این تحقیق قرار گرفته است. الیاف گاه به ازای نسبت ظاهری ۳۰ تا ۱۵۰ با طول های متفاوت و مقادیر مختلف و در دو حالت خشک و اشباع به نمونه های بتن غلتنکی افزوده شد و آزمایش وی بی از مخلوط تازه و آزمایش مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه از نمونه های ۱۵*۳۰ سانتی متری و آزمایش طاقت کششی از نمونه های استوانه ای ۱۵*۱۵ سانتی متری صورت پذیرفت که مجموعه این آزمایش ها امکان پذیر بودن استفاده از گاه گندم را در بتن غلتنکی و همچنین بهبود طاقت کششی مخلوط بتن سخت شده به ازای ۱ درصد وزنی در مخلوط بتن غلتنکی را بیان می کنند.

واژه های کلیدی: بتن غلتنکی روسازی، گاه گندم، مقاومت فشاری، آزمایش وی بی، طاقت.

۱- مقدمه

مورد توجه قرار دارد. اما این ماده دارای دو ضعف بزرگ است: مقاومت کششی پایین و تردی زیاد (ظرفیت جذب انرژی پایین) که باعث می‌شود بعد از تشکیل اولین ترک، گسیختگی به سرعت اتفاق افتد. این معایب باعث ضعف بتن در برابر خستگی، بارهای لرزه‌ای و ضربه می‌شود. برای بهبود این ویژگی بتن، استفاده از الیاف کوتاه گسسته مورد توجه قرار می‌گیرد [۴].

الیاف به دو دسته کلی الیاف طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. الیاف طبیعی به دو دسته الیاف آلی (جوت، سیسال، نارگیل و پسماندهای کشاورزی و...) و غیرآلی (بازالت) تقسیم می‌شوند [۵]. مطالعات جدید نشان می‌دهد استفاده از الیاف کف علاوه بر تقویت ساختار بتن در مقابل ترک، باعث افزایش زمان گیرش مخلوط و افزایش زمان حمل بتن می‌گردد [۴]. اهمیت این مسئله برای بتن‌گلتکی روسازی که دارای زمان حمل پایین‌تر از بتن معمولی است و زمان حمل به عنوان عامل محدودکننده برای این نوع بتن می‌باشد چندین برابر است. ترکیبات اسیدی آزاد شده از الیاف طبیعی آلی زمان گیرش ماتریس سیمانی را افزایش می‌دهد. بعضی از نویسندگان گزارش کرده‌اند که ترکیبات شکر در الیاف،

همی‌سلولز و لیگنین می‌توانند باعث توقف هیدراتاسیون سیمان شوند. استفاده از الیاف طبیعی می‌تواند تاخیر گیرش را به میزان ۴۵ دقیقه افزایش دهد و بر اساس این حقیقت است که pectin (یک مولفه الیافی) کلسیم را تثبیت کرده و بنابراین مانع شکل‌گیری ساختار سیلیکات کلسیم هیدراته (CSH) می‌شود. الیاف طبیعی در کشورهایی که این الیاف به راحتی در دسترس هستند استفاده می‌شوند. عناصر سازه‌ای تقویت شده با الیاف طبیعی برای ساختن سازه‌های مقرون به صرفه و جهت کنترل ترک‌های انقباضی در نواحی در حال توسعه، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند [۶]. الیاف طبیعی دارای مدول ینگ پایین و نزدیک به ملات سیمان و مقاومت کششی نسبتاً بالایی هستند و عملکرد آن‌ها مانند الیاف پلی‌پروپیلن برای کنترل ترک‌های انقباضی در بتن می‌باشد [۷].

اولین ترکیب الیافی که به صورت گسترده در قرن گذشته مورد استفاده قرار گرفت سیمان آزیستی بود. امروزه، انواع گوناگونی از الیاف برای مسلح نمودن مواد مختلفی نظیر چسب‌ها، پلاستیک‌ها، سرامیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر انواع مختلفی از الیاف مانند الیاف فولادی، شیشه‌ای، الیاف جدید کربنی یا کولار، الیاف با مدول ارتجاعی پایین مصنوعی مانند پلی

بتن غلتکی، بتنی است با کارایی کم یا اسلامپ صفر که برای ساخت رویه‌های راه و سد کاربرد دارد. این بتن آن‌قدر خشک است که وزن غلتک را تحمل کند و آن‌قدر مرطوب است که امکان پخش ملات را به‌طور مناسبی فراهم آورد. مزایای عمده این نوع روسازی که سبب برتری آن نسبت به روسازی‌های آسفالتی و بتنی معمولی گردیده است، مواردی از قبیل اجرای سریع و آسان، هزینه‌های اجرایی کم، مصرف کمتر سیمان و مقاومت زیاد آن در شرایط آب و هوایی سرد یا گرم است. ACI در تعریف این نوع بتن آورده است که "بتن غلتکی مخلوطی است که در حالت تازه شرایطی دارد که امکان عبور غلتک از روی آن فراهم می‌آید و بدین ترتیب در نهایت بتن سخت و متراکم شده‌ای که وسیله تراکم آن غلتک بوده حاصل می‌شود" [۱].

در کانادا و شمال آمریکا و بعضی از کشورهای اروپایی این نوع بتن برای ساخت رویه راه، رویه‌های صنعتی با ترافیک بسیار سنگین در شرایط آب و هوایی نامساعد همچون سرما و یخبندان شدید بسیار کاربرد داشته است [۲].

گسترش این روسازی عمدتاً به دلیل بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی بوده که باعث افزایش هزینه‌های اجرای روسازی آسفالتی در سطح جهان شده است و کشورهای بسیاری استفاده از آن را برای راه‌های نظامی و نواحی صنعتی، زمین‌های فرودگاهی و نیز جاده‌ها آغاز نموده‌اند [۳]. از این رو بتن غلتکی تاریخچه چندان طولانی در روسازی‌های راه ندارد و شاید بتوان گفت اولین استفاده از آن در ساخت رویه راه به سال ۱۹۳۰ توسط گروه مهندسين ارتش آمریکا در ساخت کف‌های صنعتی باز می‌گردد، بعد از آن این گروه از بتن غلتکی برای ساخت باند پرواز در فرودگاه واشنگتن در سال ۱۹۴۲ استفاده کردند. از دیگر موارد کاربرد بتن غلتکی در مقیاس بزرگ در یک محوطه صنعتی در ونکوور کانادا در سال ۱۹۷۶ بوده است [۱].

طرح استفاده از الیاف در بتن به حدود چهل سال پیش برمی‌گردد و طی این سال‌ها موارد استفاده از آن افزایش یافته است و کاربرد آن در بتن غلتکی که به خاطر انجام عملیات تراکم به وسیله غلتک، امکان آرماتور گذاری در آن وجود ندارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بتن به دلیل داشتن پایین‌ترین نسبت هزینه به مقاومت، هنوز به‌عنوان پرمصرف‌ترین ماده در صنعت ساختمان

بتن برخوردار می‌باشند. در جدول ۱ ویژگی‌های تعدادی از الیاف پرکاربرد ارائه شده است. استفاده از الیاف باعث محدود شدن عرض ترک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری بتن خواهد شد [۸]. اگرچه استفاده از الیاف باعث افزایش یا کاهش جزیی مقاومت کششی و یا فشاری بتن می‌گردد ولی هدف اصلی کاربرد الیاف، کنترل روند رشد ترک می‌باشد [۹].

پروپیلن، نایلون و یا طبیعی مانند الیاف سلولز و کنف برای مسلح نمودن بتن مورد استفاده قرار گرفته‌است. این الیاف هم از لحاظ ویژگی‌های مکانیکی و هندسی و هم از لحاظ تأثیرگذاری و هزینه، تفاوت‌های بسیاری با یکدیگر دارند. الیاف فولادی از نظر جنبه‌های اقتصادی، امکانات تولیدی، مقاومت در برابر عوامل شیمیایی محیطی و تأثیرگذاری بالا، بیشترین کاربرد را در این نوع

جدول ۱- مشخصات کلی الیاف [۸]

جنس الیاف	قطر (میکرون)	وزن مخصوص	مدول ارتجاعی (Gpa)	مقاومت کششی (GPa)	افزایش طول در لحظه‌ی گسیختگی (%)
فولاد	۵-۵۰۰	۷/۸۴	۲۰۰	۰/۵-۲	۰/۵-۳/۵
شیشه	۹-۱۵	۲/۶	۷۰-۸۰	۴-۲	۲-۳/۵
آزبست	۰/۰۲-۰/۴	۳/۴	۱۹۶	۳/۵	۲-۳
پلی پروپیلن	۲۰-۴۰۰	۰/۹۵	۳/۵-۱۰	۰/۴۵-۰/۷۶	۱۵-۲۵
آرامید	۱۰-۱۲	۱/۴۴	۶۳-۱۲۰	۲/۳-۳/۵	۲-۴/۵
کربن	۸-۹	۱/۶۵	۲۳۰-۳۸۰	۲/۵-۴	۰/۵-۱/۵
نایلون	۲۳-۴۰۰	۱/۱۴	۴/۱-۵/۲	۰/۷۵-۱	۱۶-۲۰
سلولز	-	۱/۲	۱۰	۰/۳-۰/۵	-
اکریلیک	۱۸	۱/۱۸	۱۴-۱۹/۵	۰/۴-۱	۳
پلی اتیلن	۲۵-۱۰۰۰	۰/۹۴	۵	۰/۰۸-۰/۶۰	۳-۱۰۰
چوب	-	۱/۵	۷۱	۰/۹	-
ملات سیمان (برای مقایسه)	-	۲	۱۰-۴۵	۰/۰۰۳-۰/۰۰۷	۰/۰۲

مصنوعی نظیر پلی پروپیلن، تولید آن‌ها نیازمند داشتن مولفه‌های فنل مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و آمین‌ها به عنوان تثبیت کننده ماوراء بنفش و مقاوم در برابر آتش، است که مسیری برای دست یافتن به مصالح مناسب‌تر نمی‌باشد. بنابراین بتن تقویت شده با الیاف طبیعی می‌تواند راهی برای افزایش دوام و سازه‌ی مناسب‌تر باشد [۶]. الیاف طبیعی ترکیباتی طبیعی با ساختاری سلولزی می‌باشند. خواص گوناگون سلولز، همی سلولز و لیگنین، لایه‌های متفاوتی را ایجاد می‌کنند. سلولز پلیمری دارای واحدهای گلوکوزی می‌باشد و همی سلولز پلیمری ساخته شده از پلی ساکاریدهای متفاوت است. لیگنین مخلوطی نامنظم و ناهمگن از پلیمرها و مونومرهای پروپان، می‌باشد. الیاف گوناگون دارای ترکیبات مختلفی هستند، بنابراین انتظار می‌رود که رفتار آن‌ها درون یک ماتریس سیمانی متفاوت باشد [۶]. الیاف طبیعی دارای مدول الاستیسیته پایین و مقاومت کششی بالایی هستند و حتی مقاومت کششی آن‌ها تا حد مطلوبی قابل مقایسه با الیاف مصنوعی می‌باشد [۹].

عملکرد اصلی الیاف در بتن، انتقال تنش بین دو صفحه‌ی ترک می‌باشد. اضافه نمودن الیاف به بتن باعث تغییر الگوی توزیع ترک در نمونه شده و به جای گسیختگی محلی در بتن، ترک‌ها در کل نمونه توزیع می‌شود. این تأثیر باعث ایجاد حاشیه‌ی امنیت بالا در طراحی می‌گردد [۸]. بتن مسلح شده نفوذپذیری بالایی دارد که به آب و دیگر عناصر تهاجمی اجازه ورود می‌دهد که منجر به حمله کربناتی و کلریدی می‌شود و مشکلات خوردگی را در بر دارد. خوردگی میلگرد در حقیقت علت اصلی در زوال بتن می‌باشد. دوام روسازی به مسائل زیست محیطی بستگی دارد، از آنجا که به طور متوسط ۲۰۰ کیلوگرم میلگرد برای مسلح کردن ۱ متر مکعب از یک سازه‌ی بتنی استفاده می‌شود، واضح است که جای‌گزین کردن میلگردها و الیاف فولادی با الیاف طبیعی یک گام بزرگ برای دستیابی به سازه‌ی مناسب‌تر می‌باشد [۶]. به عبارت دیگر فولاد تقویت شده دارای هزینه زیادی بوده، مصرف انرژی بالایی داشته و از منابع تجدید نشدنی بدست می‌آید. برای الیاف

۲- روش تحقیق

این تحقیق منطبق بر مراحل زیر انجام پذیرفت:

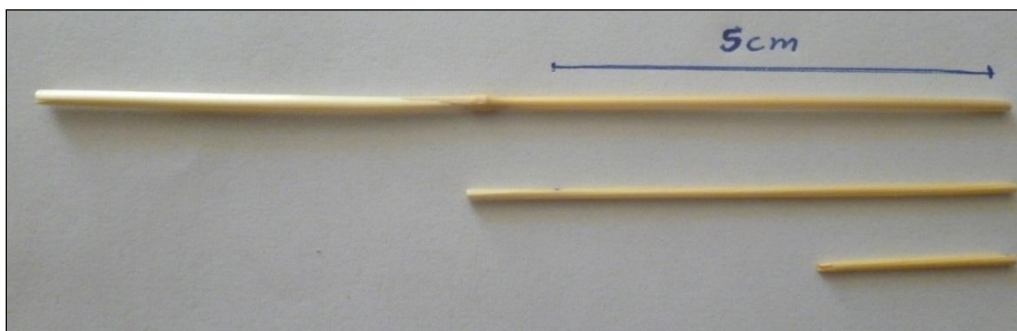
- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای حاوی مقادیر مختلف کاه خشک در سه طول متفاوت کاه، ۱- کاه ۲ سانتی متری ۲- کاه ۶ سانتی متری ۳- کاه با طول بزرگتر از ۶ سانتی متر (از ۶ تا ۱۰ سانتی متر) و مشاهده تاثیر آن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن غلتکی
- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای حاوی کاه با طول ۶ سانتی متر و اشیاع ۴۸ ساعته و مشاهده تأثیر آن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن غلتکی
- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای با کاه ۶ سانتی متری و مقادیر وزنی مختلف و بررسی روند کسب مقاومت فشاری در سنین ۳، ۷، ۲۸ روزه بتن غلتکی
- کنترل زمان وی‌بی در تمامی حالات، از بتن تازه

- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵*۳۰ سانتی متر و آزمایش

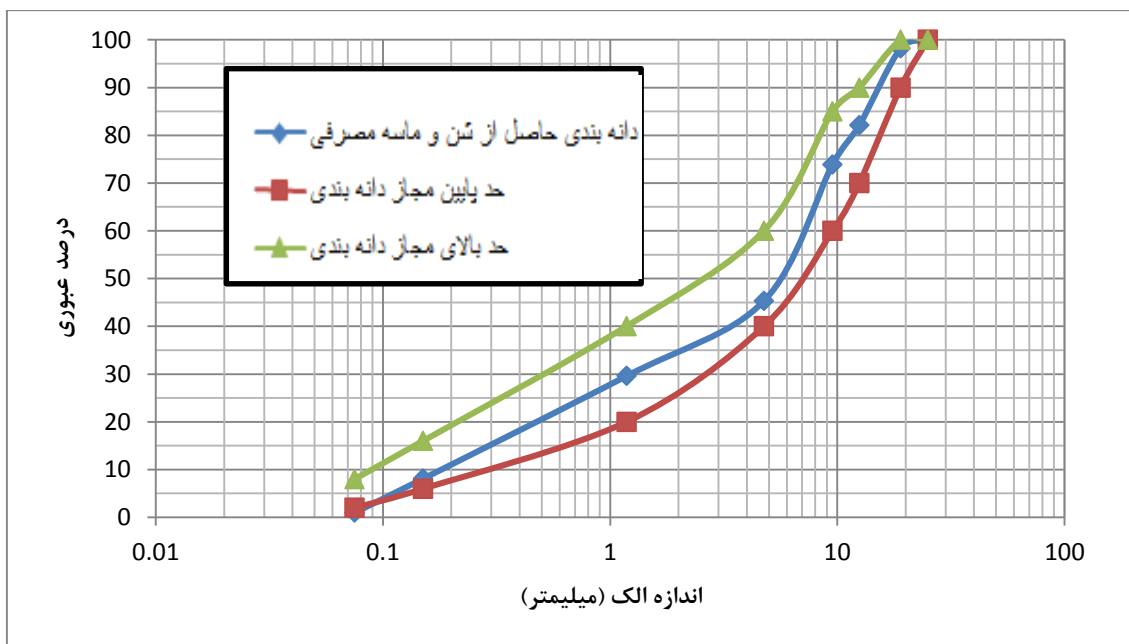
طاقة کششی از نمونه‌های ۲۸ روزه بتن غلتکی

۳- ویژگی‌های مصالح موجود

مصالح مورد استفاده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سیمان پرتلند، شن و ماسه طبیعی، کاه و آب بوده است. بخش درشت دانه و ریزدانه سنگ دانه طبیعی از معادن تولید سنگ دانه شکسته اطراف شهر تهران با مشخصات جدول ۲ تهیه شده، سیمان مصرفی از سیمان تیپ ۱ با مشخصات جدول ۳ مورد استفاده قرار گرفته و آب مصرفی نیز آب شرب شهر تهران و فاقد هیچگونه افزودنی بوده است. کاه مورد استفاده در این تحقیق از مزارع اطراف شهر تهران حاصل شده است و دانه بندی مورد استفاده دانه بندی پیشنهادی PCA می باشد که در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱- الیاف مورد استفاده با نسبت های ظاهری متفاوت



شکل ۲- دانه بندی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتن غلتکی

جدول ۲- مشخصات سنگدانه‌های مصرفی

سایش لوس آنجلس	درصد جذب آب	وزن مخصوص فضایی (Kg/m ³)	درشت‌دانه	سنگدانه
۲۱	۱/۶۳	۲۷۷۵		طبیعی
-----	۲/۱۸	۲۶۰۵	ریزدانه	

جدول ۳- مشخصات سیمان تیپ ۱

۳۱۵۰	وزن مخصوص (Kg/m ³)
۲۹۹۱	نرمی (بلین) (Cm ³ /gr)
۰/۰۲۸	انسساط %
۱۴۵	زمان گیرش اولیه (دقیقه)
۳:۳۰	زمان گیرش نهایی (ساعت:دقیقه)
۲۱۲	مقاومت فشاری ۳ روزه (Kg/Cm ³)
۳۰۵	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/Cm ³)
۴۱۰	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/Cm ³)

از قالب بیرون آورده شده و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب در حالت اشباع عمل آوری شدند.

آزمایش مقاومت فشاری از آن جهت در دستور کار این تحقیق قرار گرفت که طبق توصیه ACI 325، حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی را ۲۷/۶ مگاپاسکال (۴۰۰۰ Psi) می‌داند [۱۱]. از این روی شرط لازم برای این که یک مخلوط بتن غلتکی حاوی کاه پذیرش شود، علاوه بر روانی مطلوب، مقدار حداقل مقاومت فشاری ذکر شده می‌باشد.

۴- روند آزمایش‌ها

۴-۱- تهیه مخلوط، ساخت نمونه‌ها و معرفی آزمایش‌ها

مراحل ساخت نمونه‌ها در این تحقیق بدین شکل بوده است: ۱- تهیه بتن تازه طبق مراحل اختلاط بیان شده در جدول ۴، ۲- کنترل زمان وی بی با استفاده از میز ویبره و سربار ۲۲/۷ کیلوگرمی [۱۰] (زمان وی بی اصلاح شده تحت سربار ۲۲/۷ کیلوگرمی برای بتن غلتکی روسازی بایستی بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه باشد [۱]، ۳- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای با استفاده از میز ویبره و سربار ۹/۱ کیلوگرمی (شکل ۳) [۱۱]، ۴- در نهایت نمونه‌ها پس از یک روز



شکل ۳- ساخت و تراکم نمونه استوانه‌ای بتن غلتکی توسط میز لرزان و سربار

جدول ۴- مراحل اختلاط در مخلوط کن

زمان	t_0-6'	t_0-3'	t_0-2'	t_0-1'	t_0
مصالح اضافه شده به مخلوط کن	سنگدانه	سیمان	الیاف	آب	پایان اختلاط

۲-۴- نسبت‌های اختلاط مخلوط پایه

نسبت‌های اختلاط برای این تحقیق روش طرح اختلاط با استفاده از آزمایش روانی بتن می‌باشد [۱۲]. نسبت‌های مربوط به دو مخلوط با دو مقاومت طراحی در جدول ۵ نشان داده شده است که از نسبت اختلاط ۱ به عنوان نسبت اختلاط پایه استفاده شده است.

الیاف می‌توانند باعث توقف کامل هیدراتاسیون شوند، مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی کاه کمتر از نمونه‌های شاهد شود. با توجه به اینکه قطر الیاف کاه $0/6$ میلی‌متر می‌باشد و برای تامین نسبت ظاهری الیاف که بین ۳۰ تا ۱۵۰ می‌باشد نمونه‌های حاوی کاه با سه طول ۲، ۶ و بزرگتر از ۶ سانتی‌متر استفاده (جدول ۶) و مقادیر وزنی $0/5$ ، ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر مترمکعب در دو حالت اشباع و خشک ساخته شد و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند.

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه و زمان وی‌بی برای این نمونه‌ها به شرح اشکال ۵ و ۶ و جدول ۷ می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش استفاده از کاه، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش استفاده از الیاف کاه، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و علاوه بر این به نظر می‌رسد که استفاده از الیاف کاه تأثیر چندانی در روانی مخلوط نداشته باشد و روند زمان وی‌بی در قبال کاه تقریباً ثابت می‌باشد. مجموعه نتایج این مرحله امکان پذیر بودن استفاده از کاه را اثبات می‌نماید.



شکل ۴- آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

۴-۴- روند کسب مقاومت در سنین مختلف عمل‌آوری

روند کسب مقاومت در سنین مختلف عمل‌آوری طبق آنچه که در شکل ۷ نشان داده شده است برای این نوع از مخلوط‌ها تقریباً مشابه بتن غلتکی شاهد می‌باشد به گونه‌ای که بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از مقاومت ۲۸ روزه طی سه روز و حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد از این مقاومت طی هفت روز ابتدایی کسب می‌شود.

۳-۴- آزمایش زمان وی‌بی و آزمایش مقاومت فشاری

۲۸ روزه بر مخلوط بتن غلتکی حاوی الیاف کاه

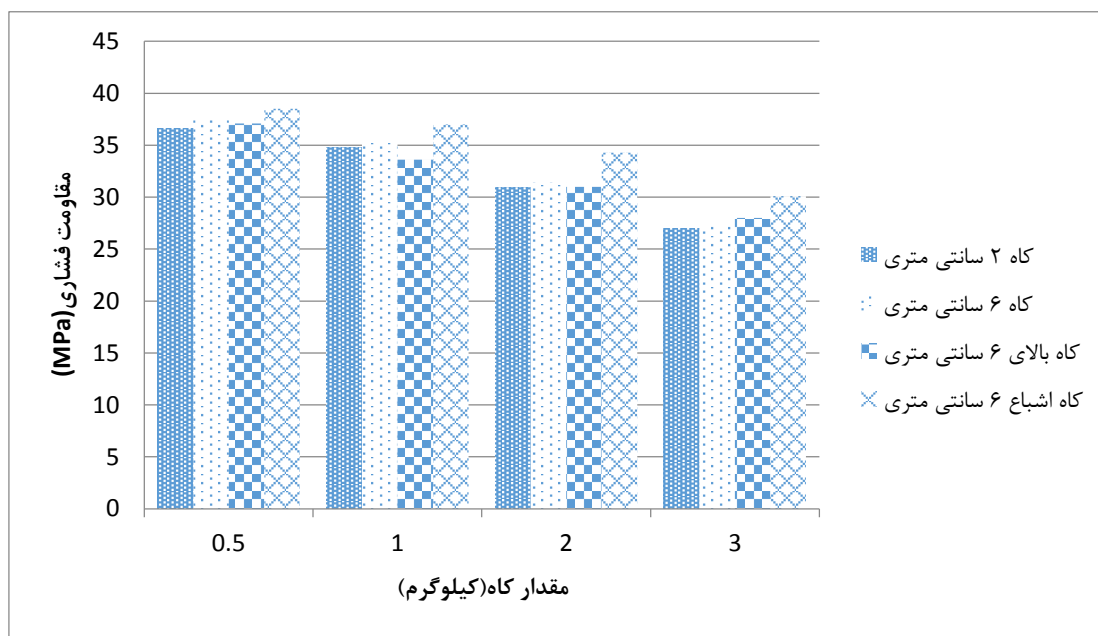
پیش‌بینی می‌شد با توجه به این که ناحیه انتقالی بین بتن و الیاف طبیعی، متخلخل می‌باشد و همچنین این که ترکیبات شکر در

جدول ۵- نسبت‌های اختلاط منتخب برای مخلوط‌های مبنا

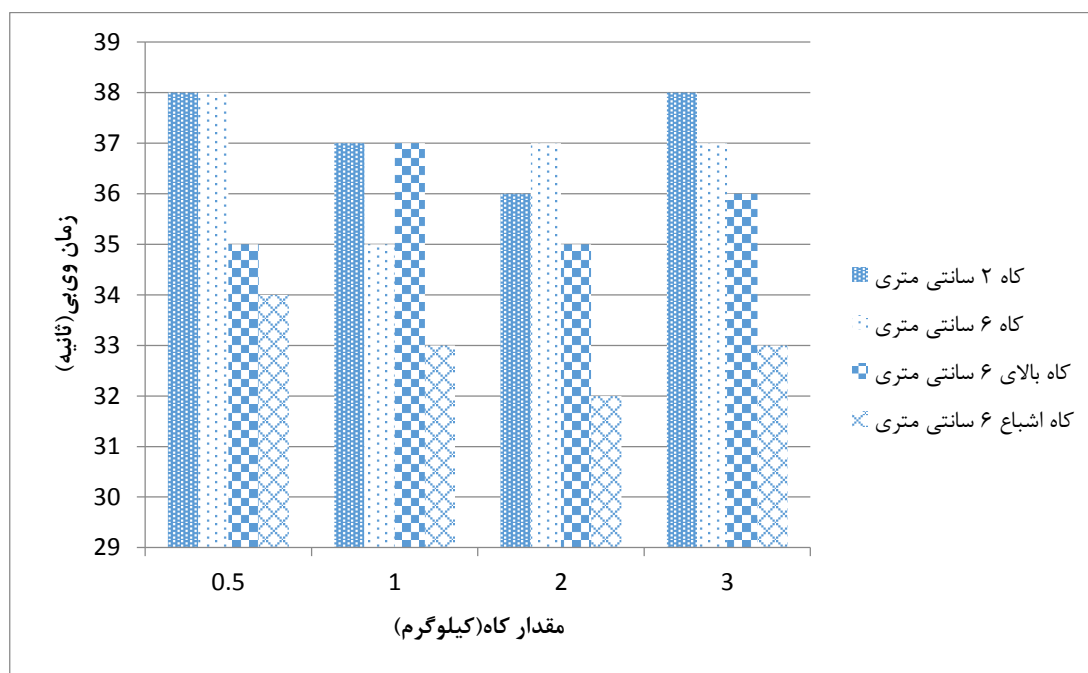
شماره نسبت اختلاط	مقاومت طراحی (Mpa)	سیمان (Kg/m^3)	آب (Kg/m^3)	W/C	ریزدانه (Kg/m^3)	درشت دانه (Kg/m^3)
۱	۴۰	۳۱۰	۱۰۲	$0/33$	۹۸۰	۱۰۶۵
۲	۳۵	۲۸۰	۱۰۲	$0/36$	۹۸۰	۱۰۶۵

جدول ۶- مشخصات نمونه‌های بررسی روند مقاومت فشاری

نسبت اختلاط	اندازه الیاف کاه (سانتی متر)	مقدار وزنی افزودن کاه (کیلوگرم بر متر مکعب)	تعداد نمونه ساخته شده در هر رویکرد
شماره ۱	۲	۳-۲-۱-۰/۵-۰	۳
	۶	۳-۲-۱-۰/۵-۰	
	بزرگتر از ۶	۳-۲-۱-۰/۵-۰	
	۶ و اشباع	۳-۲-۱-۰/۵-۰	



شکل ۵- مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط بتن غلتکی حاوی مقادیر مختلف کاه و در دو حالت اشباع و خشک



شکل ۶- زمان وی بی مخلوط بتن غلتکی تازه در مقادیر مختلف کاه

جدول ۷- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ازای مقادیر مختلف کاه

نام نمونه	اندازه الیاف کاه (سانتی متر)	مقدار الیاف کاه (کیلوگرم بر مترمکعب)	زمان وی بی (ثانیه)	شماره نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روز (Mpa)	میانگین مقاومت فشاری (MPa)
A.	شاهد	-	۳۷	۱	۳۷/۴	۳۹
				۲	۴۰/۴	
				۳	۳۹/۷	
B _{۰/۵}	۲	۰/۵	۳۸	۱	۳۶/۲	۳۶/۶
				۲	۳۷/۴	
				۳	۳۶/۴	
B _۱	۲	۱	۳۷	۱	۳۴/۵	۳۴/۸
				۲	۳۴/۹	
				۳	۳۵/۴	
B _۲	۲	۲	۳۶	۱	۳۱/۴	۳۰/۹
				۲	۳۰/۳	
				۳	۳۰/۹	
B _۳	۲	۳	۳۸	۱	۲۷/۸	۲۷
				۲	۲۶/۶	
				۳	۲۶/۴	
C _{۰/۵}	۶	۰/۵	۳۸	۱	۳۸/۴	۳۷/۵
				۲	۳۷/۳	
				۳	۳۷	
C _۱	۶	۱	۳۵	۱	۳۴/۵	۳۵/۲
				۲	۳۶/۲	
				۳	۳۴/۸	
C _۲	۶	۲	۳۷	۱	۳۲/۴	۳۱/۴
				۲	۳۱/۷	
				۳	۳۰/۴	
C _۳	۶	۳	۳۷	۱	۲۷/۱	۲۷/۳
				۲	۲۶/۶	
				۳	۲۸/۱	
D _{۰/۵}	بزرگتر از ۶	۰/۵	۳۵	۱	۳۸/۷	۳۷/۱
				۲	۳۶/۴	
				۳	۳۶/۳	
D _۱	بزرگتر از ۶	۱	۳۷	۱	۳۴/۳	۳۳/۶
				۲	۳۰/۵	
				۳	۳۵/۸	
D _۲	بزرگتر از ۶	۲	۳۵	۱	۳۰/۱	۳۱
				۲	۳۲/۴	
				۳	۳۰/۶	
D _۳	بزرگتر از ۶	۳	۳۶	۱	۳۰/۱	۲۸
				۲	۲۶/۴	
				۳	۲۷/۶	
E _{۰/۵}	۶ و اشباع	۰/۵	۳۴	۱	۳۸/۱	۳۸/۵
				۲	۳۸/۳	
				۳	۳۹/۱	
E _۱	۶ و اشباع	۱	۳۳	۱	۳۶/۷	۳۷
				۲	۳۷/۱	
				۳	۳۷/۳	
E _۲	۶ و اشباع	۲	۳۲	۱	۳۴/۶	۳۴/۳
				۲	۳۴/۹	
				۳	۳۳/۵	
E _۳	۶ و اشباع	۳	۳۳	۱	۳۰/۳	۳۰/۱
				۲	۳۱/۱	
				۳	۲۹	

نیرو-جابجایی حاصل آزمایش کشش غیر مستقیم حاصل شده است و به‌عنوان معیاری از سنجش نرمی شکست بوده و برای سنجش طاقت در ناحیه پس از بروز ترک می‌باشد. با قرار دادن نمونه استوانه‌ای ۱۵*۱۵ سانتی‌متر به‌صورت قطری در فک دستگاه مختصات متناظر تنش-کرنش ثبت خواهد شد. در انجام این آزمایش طبق توصیه استاندارد مرجع نرخ بارگذاری بین ۶۸۹ تا ۱۳۸۰ کیلوپاسکال بر دقیقه لحاظ شد. در این تحقیق از شاخص طاقت استفاده شده است که معیاری برای سنجش نرمی شکست می‌باشد. نرمی شکست به مقاومت مواد در برابر شکست ترد و باز شدگی ترک در مراحل پس از بروز ترک گفته می‌شود [۱۳].

شاخص طاقت از طریق رابطه زیر حاصل می‌شود [۱۴]:

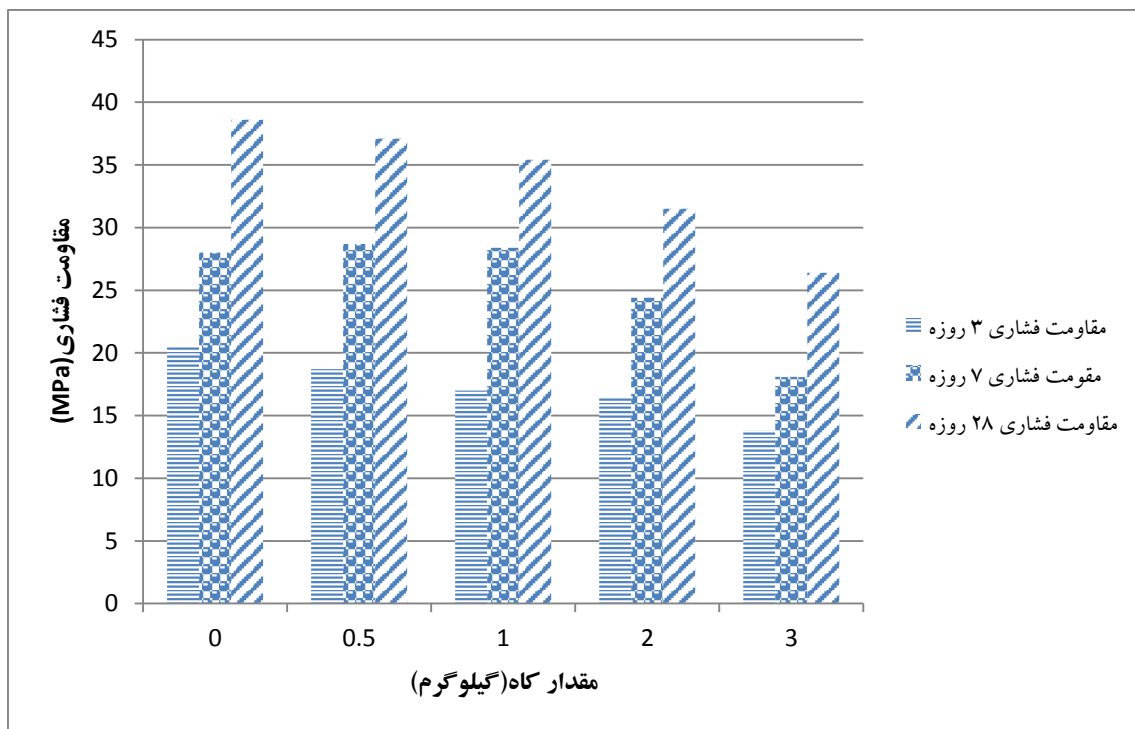
$$TI = \frac{A_I + A_{nl}}{A_I} \quad (1)$$

که TI = شاخص طاقت، A_I = سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی در ناحیه خطی (بروز اولین ترک)، A_{nl} = سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی در ناحیه غیر خطی.

۴-۵- تأثیر استفاده از الیاف گاه بر طاقت مخلوط بتن غلتکی عمل‌آوری‌شده

یکی از ویژگی‌های مخلوط‌های بتنی، ترد و شکنندگی آنها است. تردی به شکست ناگهانی و انتشار ترک در یک ماده پس از بروز ترک گفته می‌شود. بتن مخلوطی یک‌پارچه است که توانایی باربری آن از دو فاز سنگدانه‌ای، سیمانی و درهم‌کنش ناحیه مرزی بین این دو فاز ناشی می‌شود. رفتار بتن در مراحل ابتدایی بارگذاری ارتجاعی و با مدول الاستیسیته نسبتاً ثابت است و این رفتار تا جایی که اولین ترک‌ها بروز می‌نمایند ادامه خواهد داشت، درست در همین لحظه است که شیب نمودار تنش-کرنش روند کاهشی پیدا خواهد کرد تا این که به حد تسلیم بارگذاری می‌رسد و پس از آن با یک شکست کاملاً ترد رو به رو خواهد شد.

هدف استفاده از افزودنی‌هایی چون خرده لاستیک و الیاف تقلیل روند شکست ترد در مخلوط‌های بتنی و افزایش جذب انرژی در مراحل بعد از بروز ترک‌های ابتدایی می‌باشد. به همین جهت از گاه در دو طول ۲ و ۶ سانتی‌متری استفاده گردید. شاخص طاقت استفاده شده در این تحقیق از طریق نمودارهای

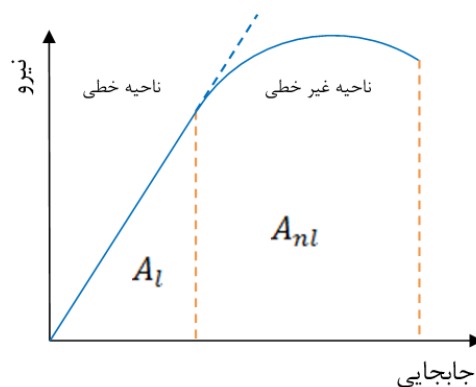


شکل ۷- روند کسب مقاومت در سنین مختلف عمل‌آوری

جدول ۸- نتایج بررسی سنین مختلف عمل آوری بر روند کسب مقاومت مخلوط

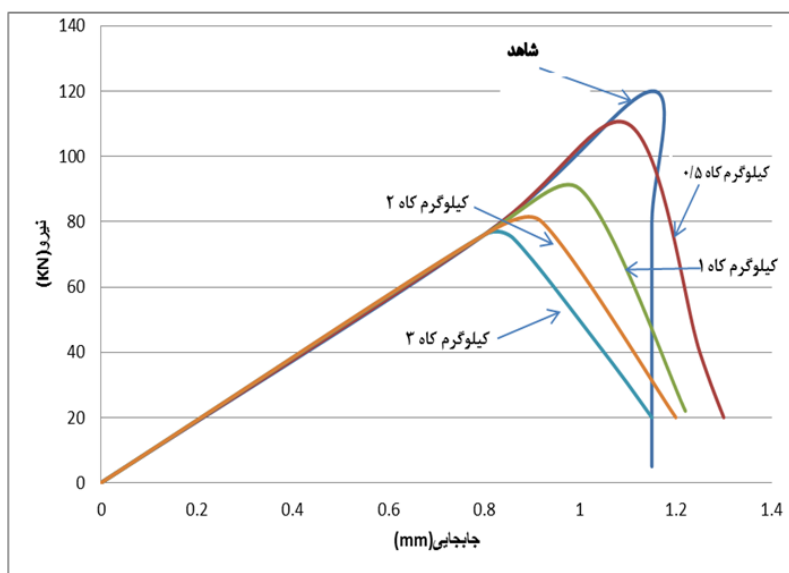
نام نمونه	نوع مخلوط	مدت زمان عمل آوری (روز)	شماره نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	میانگین مقاومت فشاری (Mpa)
F _۱	شاهد	۳	۱	۲۰/۹	۲۰/۵
			۲	۲۱/۲	
			۳	۱۹/۴	
F _۲	شاهد	۷	۱	۲۵/۷	۲۸
			۲	۲۹/۸	
			۳	۲۸/۳	
F _۳	شاهد	۲۸	۱	۳۹/۳	۳۸/۶
			۲	۳۸/۴	
			۳	۳۸/۱	
G _{۰/۵}	۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۳	۱	۱۹/۸	۱۸/۷
			۲	۱۸/۵	
			۳	۱۷/۸	
G _{۰/۵}	۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۷	۱	۲۷/۴	۲۸/۷
			۲	۲۹/۶	
			۳	۲۹/۳	
G _{۰/۵}	۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۲۸	۱	۳۶/۹	۳۷/۱
			۲	۳۸/۱	
			۳	۳۶/۳	
G _۱	۱ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۳	۱	۱۶/۸	۱۷
			۲	۱۸/۲	
			۳	۱۶/۱	
G _۱	۱ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۷	۱	۲۷/۴	۲۸/۴
			۲	۲۹/۳	
			۳	۲۸/۴	
G _۱	۱ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۲۸	۱	۳۵/۲	۳۵/۴
			۲	۳۶/۷	
			۳	۳۴/۳	
G _۲	۲ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۳	۱	۱۵/۸	۱۶/۴
			۲	۱۷/۵	
			۳	۱۵/۹	
G _۲	۲ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۷	۱	۲۴/۶	۲۴/۴
			۲	۲۲/۹	
			۳	۲۵/۶	
G _۲	۲ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۲۸	۱	۳۰/۸	۳۱/۵
			۲	۳۲/۷	
			۳	۳۰/۹	
G _۳	۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۳	۱	۱۳/۷	۱۳/۸
			۲	۱۴/۶	
			۳	۱۳/۲	
G _۳	۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۷	۱	۱۶/۷	۱۸/۱
			۲	۱۹/۲	
			۳	۱۸/۳	
G _۳	۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاه ۶ سانتی متری	۲۸	۱	۲۵/۶	۲۶/۴
			۲	۲۷/۸	
			۳	۲۵/۹	

غیر مستقیم برای مخلوط با مقدار ۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد اما میزان طاق‌کششی مخلوط با افزایش در مقدار گاه روندی صعودی دارد. در واقع گاه مقاومت کششی غیر مستقیم بتن غلتکی را افزایش نمی‌دهد اما در رفتار بتن غلتکی تأثیر گذاشته و با افزایش میزان طاق، میزان جذب انرژی مخلوط را افزایش داده و میزان تردی شکست کاهش می‌یابد. طول الیاف تأثیر معناداری بر شاخص طاق دارد و برای طول ۶ سانتی‌متر طاق بیشتری مشاهده می‌گردد بدین معنی که برای نسبت آزمایش و این موضوع که الیاف سلولز دارای مقاومت کششی بالا و مدول الاستیسیته پایین و نزدیک به ملات سیمان است می‌توان گفت این الیاف پتانسیل خوبی جهت کنترل ترک‌های انقباضی دارند.

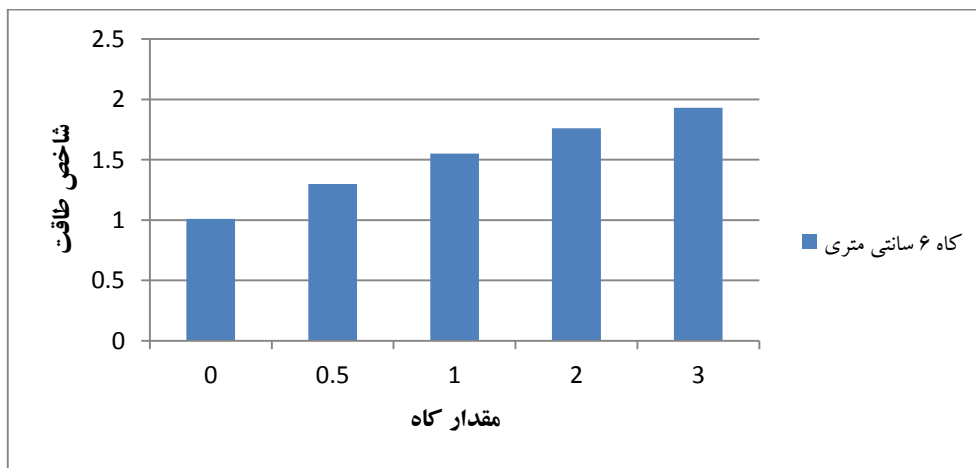


شکل ۹- نمودار تیپ نیرو - جابجایی

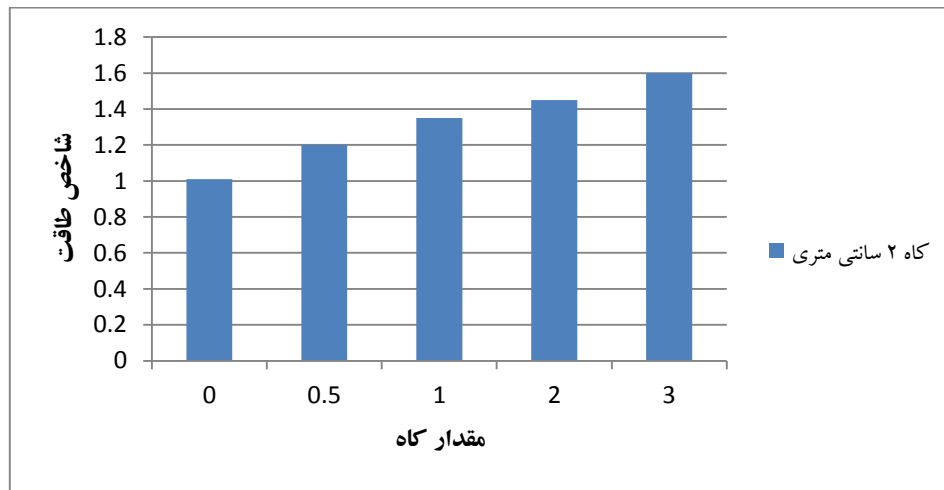
شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز بیانگر وضعیت شاخص طاق برای مخلوط‌های مورد بررسی می‌باشد. نتایج آزمایش طاق نشان می‌دهد با افزایش مقدار گاه مقدار مقاومت کششی غیر مستقیم روندی کاهشی دارد به نحوی که کمترین میزان مقاومت کششی



شکل ۱۰- نمودارهای نیرو-جابجایی



شکل ۱۱- شاخص طاق برای مقادیر مختلف گاه ۶ سانتی متری



شکل ۱۲- شاخص طاق برای مقادیر مختلف کاه ۲ سانتی متری

۵-۲- تفاوت اشباع و خشک بودن کاه

در مرحله بعد نمونه‌های استوانه‌ای با استفاده از کاه اشباع که به مدت ۴۸ ساعت در آب قرار داده شده بود ساخته شد. این کار به منظور کاهش تاثیر شیمیایی عصاره کاه بر هیدراسیون سیمان انجام شد و نتایج آن با نتایج نمونه‌های حاوی کاه خشک ۶ سانتی متری مقایسه شد. تحلیل ANOVA یکطرفه نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معناداری بین نمونه‌های خشک، اشباع و نمونه‌های شاهد وجود دارد. این تست همچنین نشان می‌دهد که بین نمونه شاهد و مقدار ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تفاوت معناداری وجود ندارد در حالی که با اضافه شدن مقدار وزنی کاه به ازای مقادیر ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر مترمکعب تفاوت معناداری به ازای هر مقدار با یکدیگر وجود دارد به گونه‌ای که نمونه‌های حاوی کاه اشباع مقاومت فشاری بیشتری را نسبت به نمونه‌های حاوی کاه خشک حاصل می‌کنند. در شکل ۱۴ تیمار D نمونه‌های حاوی کاه خشک و تیمار S نمونه‌های حاوی کاه اشباع را نشان می‌دهند. تحلیل ANOVA دوطرفه با فاکتورهای مقادیر مختلف وزنی کاه و اشباع یا غیر اشباع بودن کاه نشان می‌دهد که هر دو فاکتور در سطح معناداری ۹۵٪، بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه تاثیر گذارند و اشباع شدن کاه مقاومت فشاری بیشتری را نسبت به حالت خشک حاصل می‌کند به نحوی که با اشباع شدن کاه مقدار ۳ کیلوگرم بر مترمکعب کاه که مقاومت فشاری حداقل را که ۲۷/۶ است در حالت خشک تأمین نمی‌کرد در این حالت تأمین می‌کند.

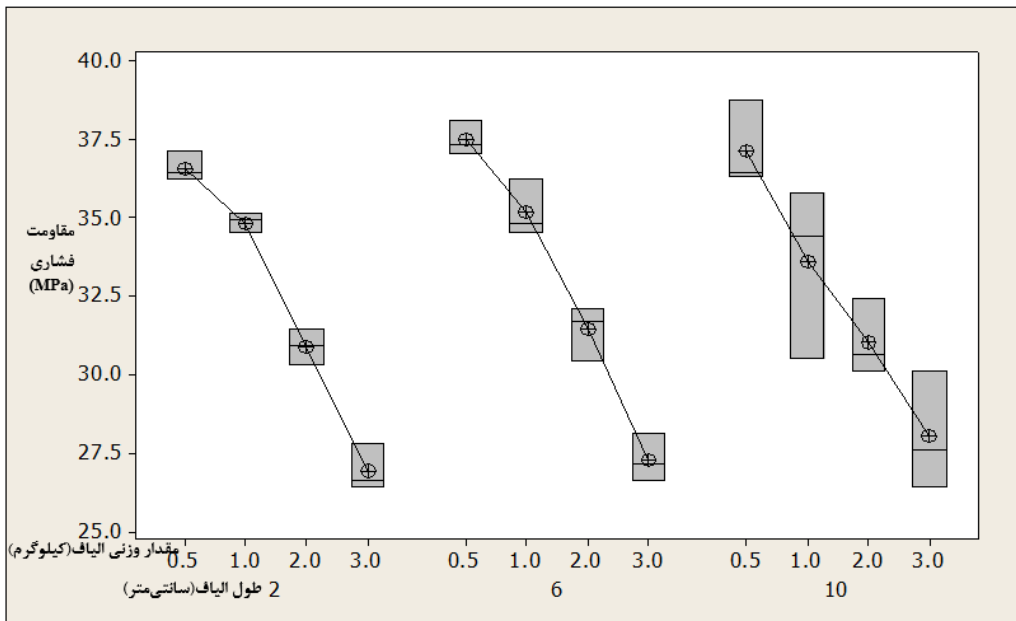
۵-۱- تست آماری مقاومت فشاری به ازای مقادیر مختلف وزنی کاه و نسبت ظاهری متفاوت کاه

این تست به دلیل وجود دو فاکتور طول الیاف و مقادیر وزنی آن با استفاده از تحلیل دوطرفه انجام شده است. تحلیل ANOVA دوطرفه برای مقاومت فشاری به ازای فاکتورهای طول الیاف و مقادیر وزنی آن‌ها نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ طول الیاف تفاوت معناداری را به وجود نمی‌آورند اگرچه که مقدار وزنی آن تفاوت معناداری را ایجاد کرده است. در واقع از نظر آماری وجود نسبت‌های ظاهری متفاوت تاثیر معناداری بر مقاومت فشاری نمی‌گذارد در حالی که مقادیر وزنی متفاوت الیاف، روند کاهش در مقاومت فشاری را از نظر آماری می‌پذیرد.

۵-۱-۱- تست آماری مقاومت فشاری به ازای مقادیر مختلف وزنی کاه و نسبت ظاهری متفاوت کاه

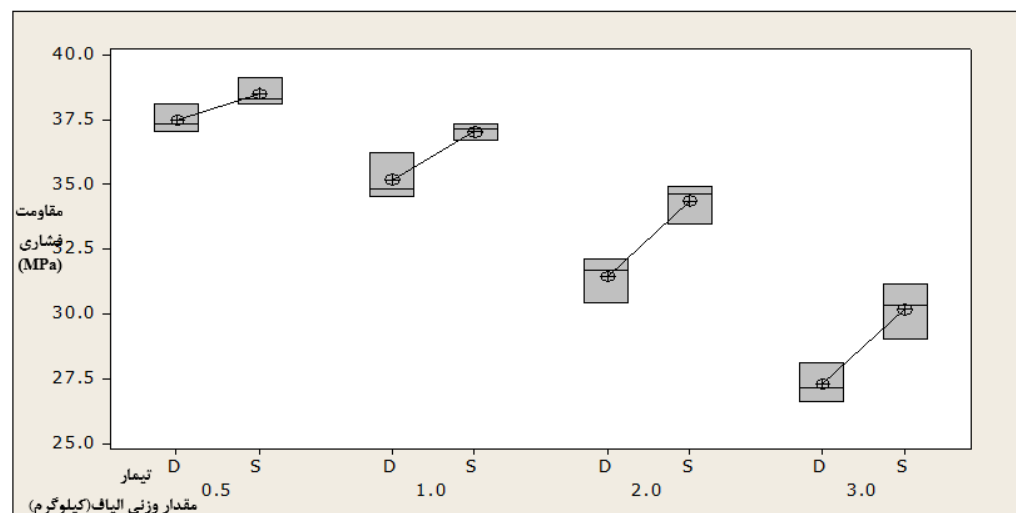
این تست به دلیل وجود دو فاکتور طول الیاف و مقادیر وزنی آن با استفاده از تحلیل دوطرفه انجام شده است. تحلیل ANOVA دوطرفه برای مقاومت فشاری به ازای فاکتورهای طول الیاف و مقادیر وزنی آن‌ها نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ طول الیاف تفاوت معناداری را به وجود نمی‌آورند اگرچه که مقدار وزنی آن تفاوت معناداری را ایجاد کرده است. در واقع از نظر آماری وجود نسبت‌های ظاهری متفاوت تاثیر معناداری بر مقاومت فشاری نمی‌گذارد در حالی که مقادیر وزنی متفاوت الیاف، روند کاهش در مقاومت فشاری را از نظر آماری می‌پذیرد. مقایسه مقادیر وزنی مختلف نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معناداری بین نمونه‌های شاهد با نمونه‌های با مقدار ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاه وجود ندارد. همچنین این نتایج بیان می‌کند که فقط مقدار ۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاه نمی‌تواند مقدار مقاومت فشاری حداقل را برای پذیرش که ۲۷/۶ مگاپاسکال می‌باشد تأمین کند.

تحلیل ANOVA دوطرفه به ازای فاکتورهای طول الیاف و مقدار وزنی الیاف به ازای مقاومت فشاری					
فاکتور	DF	SS	MS	F	P
طول الیاف	2	1.771	0.885	0.59	0.564
مقدار وزنی الیاف	3	474.276	158.092	104.66	0.000



شکل ۱۳- نمودار تغییرات مقاومت فشاری به ازای افزایش مقادیر وزنی گاه

تحلیل ANOVA دوطرفه به ازای فاکتورهای تیمار خشک یا اشباع بودن و مقدار وزنی الیاف به ازای مقاومت فشاری					
فاکتور	DF	SS	MS	F	P
تیمار	1	28.384	28.3837	49.80	0.000
مقدار وزنی الیاف	3	297.725	99.2415	174.11	0.000



شکل ۱۴- تفاوت خشک و اشباع بودن الیاف گاه بر مقاومت فشاری مخلوط بتن غلتکی

۶- نتیجه گیری

بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از مقاومت ۲۸ روزه طی سه روز و حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد از این مقاومت طی هفت روز ابتدایی کسب می‌شود.

۶- میزان کاه تأثیر مثبتی بر طاقت مخلوط بتن غلتکی دارد به نحوی که بیشترین طاقت مربوط به بتن حاوی ۳ کیلوگرم بر مترمکعب کاه است. طول الیاف تأثیر بر شاخص طاقت دارد و برای طول ۶ سانتی‌متر طاقت بیشتری مشاهده می‌گردد.

با توجه به نتایج آزمایش طاقت و این موضوع که الیاف سلولز دارای مقاومت کششی بالا و مدول الاستیسیته پایین و نزدیک به ملات سیمان است می‌توان گفت این الیاف پتانسیل خوبی جهت کنترل ترک‌های انقباضی دارند.

۷- منابع

- [1]. ACI Committee 325, "Report on Roller Compacted Concrete Pavement ", American Concrete Institute, pp.3-15, ACI 325.10R-95;1995.
- [2]. Ville, D. ; "Beton Compacte au Rouleau (BCR) " Service de l'Environnement ,DE LA Division Des Laboratoires;2002.
- [3]. AbdulWahhabh.i. aland I.M.ASI, " Optimization of Roller Compacted Concrete for Local Application", Transportation Research Record 1458;1999.
- [4]. Roy, A., Chakraborty, S., Prasad Kundu, S., Basu Majumder, S., Adhikari, B. "Surface grafting of Corchorus olitorius fibre: A green approach for the development of activated bioadsorbent ", Carbohydrate Polymers 92, 2118–2127, 2013.
- [5]. Jiang, Ch., Fan, K., Wu, F., Chen, D. "Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete", Materials and Design 58, 187–193, 2014.
- [6]. Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., Jalali, S. "Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview", Construction and Building Materials 30, 714–724, 2012.
- [7]. ASTM C1170 – 91 "Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table"; Reapproved 1998.
- [8]. Tejchman, J. and Kozicki, J., "Experimental and theoretical investigations of steel fibrous concrete", Berlin Heidelberg, Springer, 2010.

همان‌گونه که شرح داده شد هدف از این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از کاه به عنوان الیاف به بتن غلتکی می‌باشد یا خیر، لذا بدین منظور نمونه های بتن غلتکی حاوی مقادیر وزنی کاه مختلف با نسبت های ظاهری مختلف و در دو حالت اشباع و خشک ساخته و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و آزمایش زمان وی‌بی قرار گرفتند و نتایج حاصل از این آزمایش‌ها مبنای استفاده از این ماده به عنوان الیاف در بتن قرار گرفت و در مرحله دوم طراحی آزمایش طاقت کششی بتن به منظور نشان دادن تغییر رفتار مخلوط بتن غلتکی و جذب انرژی بالاتر صورت پذیرفت که بر این اساس می‌توان به نتایج ذیل اشاره نمود:

۱- تحلیل‌هایی استفاده از تحلیل ANOVA یکطرفه و دو

طرفه برای مقاومت فشاری با فاکتورهای مختلف بیان شد که در سطح اطمینان ۹۵٪ نتایج معناداری را بدست دادند.

۲- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه نشان می‌دهد که استفاده از کاه به میزان بیشتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود که هرچه مقدار کاه بیشتر شود مقاومت فشاری ۲۸ روزه کمتر می‌شود به نحوی که با افزودن ۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاه مقاومت فشاری از ۲۷/۶ مگاپاسکال کمتر می‌شود که این مقدار حداقل مقدار در پذیرش نمونه‌ها می‌باشد.

۳- براساس نمودار شکل ۵ با اشباع شدن ۴۸ ساعته کاه و استفاده از آن در ساخت نمونه‌های استوانه‌ای تفاوت آماری معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با کاه اشباع بیشتر از نمونه‌های مشابه با کاه خشک است.

۴- براساس نمودار شکل ۶ استفاده از کاه تأثیر چندانی در روانی مخلوط ندارد و روند زمان وی‌بی در قبال کاه تقریباً ثابت می‌باشد. مجموعه نتایج این مرحله امکان پذیر بودن استفاده از کاه را به عنوان افزودنی به بتن غلتکی را اثبات می‌نماید.

۵- روند کسب مقاومت در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز در بتن حاوی کاه و مخلوط شاهد تفاوتی ندارد به گونه‌ای که

[9]. Bentur, A. and Mindess, S., "Fibre reinforced cementitious composites", Spon, Architecture Price Book, 2006.

[10]. ASTM C1170 – 91 "Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table"; Reapproved 1998.

[11]. ASTM C1176 - 92," Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table"; 1992.

[12]. ACI Committee 211 ,” Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, American Concrete Institute ,January 11, 2002 ,ACI 211.3R-02; 2002.

[13]. ASTM D5045 - 99e1,“Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials”2007.

[14]. Huang, B., Shu, X., Li, G. “Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements”, Cement and Concrete Research 35, 2008 – 2013, 2005.

Experimental Investigation on the Effect of Wheat Straw on Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP) Compressive strength, Workability and Toughness

Abolfazl Hassani

Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Mohammad Bazrafkan *

Ms.c, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Mohammadreza Soleimani Kermani

Assistant Professor, Road Housing and Development Research Center, Tehran, Iran

Abstract

Roller compacted concrete (RCC) pavement is one of the most economic and durable pavements which is used extensively in pavements with heavy traffic. The aim of this study is to investigate the feasibility of using wheat straw as fiber in order to change the behavior of RCC pavements and also to strengthen the RCC pavements. Cellulose fiber has proper effects on shrinkage cracks and toughness of RCC mixtures since it is of high tensile strength and low elastic modulus close to mortar. The Compatibility of fiber and concrete matrix and also the effects of straw on concrete components are discussed. The latter is to study if the straw can improve the features of the concrete or not. Natural fiber is a natural mixture with a cellulose structure. Different properties of cellulose, hemicelluloses and lignin, produce different layers. Polymer cellulose has glucose units and hemicelluloses are made up of different polysaccharide. Different types of fiber have different mixtures so it is expected that their behavior will be different in a cement matrix. Natural fiber is of low elastic modulus and high tensile strength and even their tensile strength is comparable to artificial types of fiber. Using special types of fiber such as steel fiber, which has a proper performance, is expensive, hence the basic aim of this study is to reinforce the concrete using cheap and accessible elements. Dry and saturated straw fiber with different aspects of ratio (30 to 150), different lengths and values, was added to RCC samples and VB test of fresh complex and compressive strength test were made out of 15 x 30 cm, 28 days samples and toughness testing of cylindrical 15*15 cm samples were applied. That set of these tests indicates the feasibility of using wheat straw at RCC as well as improved hardened concrete mixture toughness for 1 percentage of weight expressed in RCC mixture.

Keywords: Roller Compacted concrete, Wheat Straw, Compressive Strength Test, VeBe Test, toughness.

* Corresponding Author: mbss87@yahoo.com