

اثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه

سید محسن شریفی کلهرودی، محمد شکرچی زاده و علی فاخر

چکیده: بتن غلتکی، بتنی با اسلامب صفر است که با غلتک کوبیده و متراکم می‌شود و در بتن‌های حجیم مثل سدها و در روسازی راهها، کاربرد دارد. هم‌اکنون برای ساخت سد، در بسیاری از کشورهای جهان، از آن استفاده می‌شود. برای ساخت روسازی‌ها هم تا بحال موارد زیادی از کاربرد بتن غلتکی، بخصوص در آمریکای شمالی گزارش شده است. در این گزارش، اثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راهها بررسی گردیده است. این پروژه براساس آیین‌نامه (ACI 325.10- R99) انجام گرفته و طرح اختلاط برای دستیابی به کارآیی مناسب، صورت گرفته است. برای ساخت نمونه‌ها از میز ویبره اصلاح شده، مطابق آیین‌نامه (ASTM C1176-92) بهره گرفته شده و آزمایشهای مقاومت فشاری، کششی، خمشی و تعیین مدول الاستیسیته برای مخلوط انجام یافته است. با توجه به اینکه مقدار مقاومت فشاری حداقل برای بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی قابل توجه است در این پروژه برای دو مقدار مواد سیمانی ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن و درصدهای مختلف دوده سیلیس شامل ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد به عنوان جایگزین سیمان، نمونه‌های آزمایشی ساخته شدند. به جز نمونه‌های آزمایش مقاومت خمشی که برای آنها از قالب منشوری به ابعاد ۱۵×۱۵×۷۵ سانتیمتر استفاده شد، بقیه نمونه‌ها استوانه ۳۰×۱۵ سانتیمتر بودند. تمام نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز عمل آوری در آب ۲۰°C مورد آزمایش قرار گرفتند. مخلوط بتن در قالبهای منشوری (برای آزمایش مقاومت خمشی) بر مبنای شبیه سازی نمونه های استوانه ای با استفاده از میز ویبره متراکم گردید. دوده سیلیس موجب بهبود خواص مکانیکی بتن غلتکی به میزان قابل توجهی گردید. همچنین با توجه به نوع مصالح مصرف شده، محدودیتهای آیین نامه ACI در زمینه مقاومت فشاری و خمشی ارضا گردید.

واژه های کلیدی: بتن غلتکی روسازی راه (R.C.C.P)، روسازی راه، دوده سیلیس، میز ویبره، زمان وب

۱. مقدمه

بتن غلتکی (Roller Compacted Concrete یا R.C.C) بتنی است با اسلامب صفر که با غلتک در هنگام اجرا کوبیده و

متراکم می‌شود. عمده ترین زمینه استفاده از آن در ساخت سدهاست و فکر استفاده از چنین مصالحی از صنعت سدسازی آغاز شده است [1]. البته استفاده از این مصالح به سدسازی محدود نیست بلکه یکی دیگر از کاربردهای مهم و رو به گسترش آن استفاده در روسازی راههای بتنی است [2]. در این حالت به جای لایه اساس و لایه رویه و یا هردو از این نوع بتن استفاده می‌شود.

بتن غلتکی مورد استفاده در راه یک تکنولوژی تازه و در حال پیشرفت است. بیش از ده سال است که چندین پروژه روسازی در شمال آمریکا، با استفاده از R.C.C (بتن غلتکی) اجرا شده

مقاله در تاریخ ۱۳۸۱/۱۰/۷ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۴/۲/۲۴ به تصویب نهایی رسیده است.

سید محسن شریفی کلهرودی دانشجوی دکتری سازه،
Moh_sharifi@yahoo.com
دکتر محمد شکرچی زاده استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران،
shekarch@ut.ac.ir
دکتر علی فاخر دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران،
afakher@ut.ac.ir

۲. روش تحقیق

شرح بتن غلتکی برای روسازی به صورت زیر است: یک مخلوط نسبتاً سفت و خشک از سنگدانه با حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹ میلیمتر همراه با مواد سیمانی و آب که با غلتکهای ارتعاشی متراکم می‌گردد. حداقل مقاومت ۲۸ روزه فشاری لازم برای کاربرد در روسازی حدود ۲۷/۶ مگاپاسکال و مقاومت خمشی ۴/۵ مگاپاسکال است. نسبتهای مخلوط در بتن غلتکی به صورتی است که اسلامب مخلوط صفر شود. در این حالت برای تعیین کارایی بتن از پارامتر زمان وب استفاده می‌گردد. لایه‌ها حداکثر ۲۵ سانتیمتر ضخامت دارند و با غلتکهای ارتعاشی (Vibrating Roller) کوبیده می‌شوند و معمولاً برای تراکم نهایی از غلتکهای چرخ لاستیکی استفاده می‌شود [2].

بتن غلتکی به سه نوع کم سیمان، (تا ۱۲۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن) با سیمان متوسط، (۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن) و پرسیمان (بیشتر از ۱۸۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن) تقسیم می‌شود. با توجه به ملزومات آیین‌نامه‌ای در مورد بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه، ناگزیر به استفاده از بتن غلتکی پرسیمان هستیم و انواع دیگر بتن غلتکی معمولاً در صنعت سدسازی کاربرد دارد. برنامه‌های آزمایشگاهی در این طرح پژوهشی شامل آزمایشهای اولیه برای تعیین خواص مواد و مصالح مصرفی، آماده نمودن دستگاه تراکم نمونه بتن غلتکی، ساخت مخلوطهای اولیه و یافتن بهینه سیمان، آب و مصالح سنگی، سپس ساخت مخلوطهای حاوی دوده سیلیس و تهیه نمونه‌های لازم برای انجام آزمایشهای تعیین خواص مکانیکی می‌باشد.

برای مطالعه آزمایشگاهی بتنهای غلتکی با سیمان زیاد، و با توجه به مشخصات مقاومتی حداقل توصیه شده، از مخلوطهای حاوی ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم مواد سیمانی در مترمکعب بتن استفاده شد. برای هر کدام، مخلوطها ابتدا بدون دوده سیلیس و سپس با جایگزینی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مواد سیمانی با دوده سیلیس ساخته شدند. میزان آب هر مخلوط توسط آزمایش وب اصلاح شده برای رسیدن به زمان وب بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه مطابق مرجع [3] به دست آمد.

و در کشورهای اروپایی و استرالیا نیز این کاربرد از بتن غلتکی در حال گسترش است. علت گسترش سریع این روش مربوط به افزایش سرعت در اجرا و روش ساخت است که موجب کاهش هزینه اجرایی آن در مقایسه با انواع بتن معمولی و حتی آسفالت در آن کشورها می‌گردد. ضمن اینکه نیازی به اتصالات برشی و تقویت با فولاد ندارد و پوزولانها هم به عنوان جایگزین بخشی از سیمان می‌توانند در آن بکار روند.

توجه به این نکته ضروری است که بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی با بتن غلتکی مورد استفاده در سد تفاوت اساسی دارد. در این نوع بتن غلتکی محدودیتهایی برای دانه بندی و مشخصات مکانیکی وجود دارد که خصوصیات آن را به بتن معمولی نزدیک می‌کند. آیین نامه ACI نیز برای بررسی آن بخش مجزایی دارد [2].

روش طراحی بتن غلتکی توسط انجمن سیمان پرتلند (PCA) و گروه مهندسی ارتش آمریکا توسعه یافت. روش (PCA) در ابتدا برای روسازی های صنعتی قابل استفاده بود اما برای موارد مشابه هم می‌توان آن را بکار برد. طراحی ضخامت روسازی بتن معمولی و بتن غلتکی براین اساس صورت می‌گیرد که تنشهای خمشی خستگی در روسازی بر اثر بارهای چرخها در حد مجاز قرار بگیرد. برای استفاده از این روش به مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بتن غلتکی نیاز است [2].

هدف از این تحقیق بررسی کارایی دوده سیلیس در رساندن بتن غلتکی به حداقل مشخصات آیین‌نامه‌ای برای کاربرد در روسازیها است. با توجه به شرایط آب و هوایی خاص در اغلب مناطق کشور و وجود مناطق بسیار سرد و مناطق بسیار گرم و همچنین وجود کویر که باعث اختلاف شدید دما در ساعات مختلف شبانه روز و بین روزهای سرد زمستانی و روزهای گرم تابستانی در قسمتهای وسیعی از کشور می‌شود، همچنین عدم کنترل و نظارت دقیق بر وزن و نوع وسایل نقلیه سنگین در راهها، عمر روسازیهای آسفالتی در کشور بسیار نازل است. این مسائل لزوم تعمیر و یا روکش کردن روسازیهای کشور در زمانهای کوتاه متوالی را باعث گشته و عدم انجام به موقع این عمل موجب بروز خسارات شدید مالی و جانی به سرنشینان خودروها در کشور شده است، لذا استفاده از مخلوطی که دوام و کارایی لازم را در روسازی داشته باشد، می‌تواند قابل مطالعه باشد. پژوهش بر روی بتن غلتکی به عنوان یک مصالح جدید، در راستای یافتن جایگزین مناسبی برای آسفالت در شرایط خاص آب و هوایی انجام شده است.

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس استفاده شده در پروژه بر حسب درصد

ترکیبات شیمیایی	سیمان تیپ ۱	دوده سیلیس
CaO	۶۲/۵	۲
SiO ₂	۲۱/۴	۹۰
Al ₂ O ₃	۵/۲	۱/۵
FeO	۳/۱	۱/۵
MgO	۲/۷	۰/۸
SO ₃	۱/۸	
K ₂ O	۰/۶۵	
Na ₂ O	۰/۲۵	
LOI	۱/۸	

۲-۲. روش تعیین نسبت‌های مخلوط

دو روش معمول برای طرح اختلاط بتن‌های غلتکی وجود دارد: روش رطوبت بهینه بر مبنای روش تراکم خاکها و روش کارایی و روانی مطلوب، که در این پروژه از روش دوم استفاده شده است. مبنای این روش ثابت نگهداشتن کارایی بتن تازه در حد مطلوب است و آزمایش تعیین کارایی، آزمایش وب استاندارد است [2,4,5].

اصول کار طرح اختلاط در این پروژه سعی و خطا و بهینه کردن تمام مقادیر مصرفی در بتن است. با این حال برای اینکه تقریبهای اولیه به مقادیر مورد نیاز نزدیکتر باشد، لازم است با استفاده از روشهای مختلف طرح اختلاط که در مراجع بیان گردیده، مقادیر مواد مصرفی به صورت اولیه بدست آید. طرح اختلاط مناسب برای بتن غلتکی بر اساس (ASTM C1170-91) و برای میزان مواد سیمانی ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن انجام پذیرفته است. در مرحله اول براساس مقاومت فشاری ۷ روزه میزان بهینه نسبت شن به ماسه تعیین گردید و در مرحله دوم با جایگزینی دوده سیلیس به جای سیمان در درصدهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد مواد سیمانی، تأثیر آن بر مقاومت‌های خمشی، فشاری، کششی برزیلی و مدول الاستیسیته مورد بررسی قرار گرفت. در تمام آزمایشها میزان آب مخلوط براساس کارایی مورد نیاز از آزمایش وب تعیین شد. در مرحله دوم برای آزمایشهای اصلی برای هر مقدار مواد سیمانی و هر درصد دوده سیلیس جایگزین سیمان، تعداد ۱۱ نمونه ساخته شد:

- مقاومت فشاری: ۳ نمونه (۲۸ روزه) + ۲ نمونه (۷ روزه) -

ابعاد: ۱۵×۳۰ سانتیمتر

- مقاومت کششی: ۲ نمونه (۲۸ روزه) - ابعاد: ۱۵×۳۰

سانتیمتر

از دیگر اهداف طرح، بررسی اثر دوده سیلیس بر روی میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به زمان وب استاندارد بوده است و به همین دلیل برای هر مخلوط میزان آب بدون توجه به مخلوطهای پیشین تعیین گردید.

۲-۱. مواد و مصالح بکار رفته

مصالح مورد استفاده در بتن غلتکی شامل مواد سیمانی (سیمان و پوزولان)، شن، ماسه و آب می‌باشد. آب مصرفی آب شرب شهری، سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند نوع ۱ ساخت کارخانه آبیگ و دوده سیلیس مورد مصرف به عنوان پوزولان، مربوط به کارخانه سمنان بوده است. در جدول ۱ ترکیبات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس ارائه گردیده است. مصالح سنگی مورد استفاده در این پروژه از سه بخش شن، ماسه و پودر سنگ می‌باشد. شن و ماسه از کارخانه خلیج در غرب تهران تهیه شده، شن آن نیمه شکسته و ماسه آن تقریباً شسته با حدود ۱/۱ درصد ریزدانه عبوری از الک شماره ۲۰۰ بوده است. به همین علت برای جبران کمبود ریزدانه از پودر سنگ در مخلوطها استفاده گردید. با آزمون و خطا میزان مناسب مصرف پودر سنگ برای قرار گرفتن در محدوده دانه بندی مرجع [2] ۸/۵ درصد مقدار ماسه به صورت جایگزین تعیین شد. در ضمن آزمایشهایی برای تعیین چگالی و جذب آب مصالح سنگی انجام شد و نتایج آن برای پروژه مورد استفاده قرار گرفت. اندازه اسمی بزرگترین دانه مصالح سنگی برای کاهش پدیده جداشدگی در هنگام بتن‌ریزی و پرداخت بتن به ۱۹ میلی‌متر محدود است [2].

۱۵×۱۵ cm و وزن ۱۱/۲۵ kg استفاده شد. برای این که وزنه ها بصورت یکپارچه عمل تراکم را انجام دهند، یک صفحه پلاستیکی به ضخامت ۱۲ mm و ابعاد ۱۴۸×۷۴۵ mm و وزن ۲۰۰ گرم در نظر گرفته شد و در هنگام تراکم بتن غلتکی، ابتدا صفحه در روی بتن قرار گرفته و سپس وزنه ها روی آن چیده شده و دستگاه به کار انداخته شد. هر نمونه در دو لایه به ضخامت حدود ۷ سانتیمتر تراکم گردید. عمل تراکم تا زمان بالا آمدن خمیر در اطراف صفحه پلاستیکی ادامه می یافت.

با توجه به سنگینی قالب، حجم قابل ملاحظه بتن درون آن، وجود سربار که موجب کاهش دامنه ارتعاش دستگاه میشوند و همچنین سطح زیاد صفحه پلاستیکی، زمان لازم برای بالا آمدن خمیر در این نمونهها بیشتر از نمونههای استوانه‌ای بود. سایر موارد اجرا مشابه نمونههای استوانه‌ای انجام گرفت.

۲-۵. آزمایش مدول الاستیسیته

برای انجام آزمایش تعیین مدول الاستیسیته از نمونههای بتنی استوانه ای به ابعاد ۳۰×۱۵ cm استفاده می‌شود. اساس کار مبتنی بر بارگذاری و باربرداری است. در مرحله اول، نمونه آزمایشی را تحت بار فشاری به اندازه یک سوم نیروی فشاری که بتن می تواند تحمل کند قرار می‌دهیم و سپس باربرداری می‌کنیم. این عمل برای تنظیم دستگاه اندازه‌گیری و حذف اثر تغییرشکل‌های ناشی از خزش انجام می‌شود. سپس میزان نیرو را به ازای تغییرشکل‌های مشخصی ثبت نموده و نمودار آن را رسم می‌کنیم. سرعت بارگذاری نباید از حد مجاز آیین‌نامه (۰/۲ MPa/s) تجاوز کند. از آنجا که مدول وتری با افزایش تنش کاهش می‌یابد، تنشی که در آن مدول الاستیسیته تعیین گردیده است را باید ذکر کرد. برای مقایسه، حداکثر تنش وارده به صورت نسبت ثابتی از تنش نهایی انتخاب می‌شود. این نسبت با توجه به آیین‌نامه (ASTM C 469-94) برابر ۴۰ درصد انتخاب شده است [7].

۳. نتایج آزمایشها، بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱. تعیین نسبت‌های بهینه سنگدانه ها

در مرحله اول تأثیر نسبت‌های مختلف شن و ماسه و پودر سنگ بر روی مقاومت فشاری بتن غلتکی با 300 Kg/m^3 سیمان و زمان وب ۳۰ تا ۴۰ ثانیه بررسی گردید، تا نسبت مناسب درشت‌دانه و ریزدانه، برای رسیدن به مقاومت فشاری بیشینه حاصل شود. نسبت اولیه (نسبت ۴۰ درصد شن و ۶۰ درصد

مقاومت خمشی : ۳ نمونه (۲۸ روزه) - ابعاد: ۱۵×۱۵×۷۵ سانتیمتر (نمونه منشوری)

مقاومت الاستیسیته : ۱ نمونه (۲۸ روزه) - ابعاد: ۱۵×۳۰ سانتیمتر

در این پروژه برای تراکم کردن بتن غلتکی نمونه‌ها، از روش تراکم لرزه‌ای با میز ویبره مخصوص استفاده شد که شرح کامل دستگاه و چگونگی ساخت نمونه با آن در مرجع [2] بیان شده است. روش انجام آزمایش وب برای تعیین آب لازم در مخلوط نیز همان روش توصیه شده در مرجع [3] بوده است. میزان آب مورد نیاز مقداری است که زمان وب به دست آمده از مخلوط طبق مرجع [2] حدود ۳۰ تا ۴۰ ثانیه شود. این آزمایش با دستگاه وب با قالب به قطر ۲۵ سانتیمتر و سربار به وزن ۲۲/۷ کیلوگرم انجام گردید.

۲-۳. ساخت نمونه‌ها

برای ساخت نمونه ها، مصالح با درصد رطوبت اندازه گیری شده به نسبت‌های مشخص براساس طرح اختلاط وزنی در مخلوط‌کن ریخته و میزان سیمان مشخص نیز به آن افزوده شد. دوده سیلیس در آب طرح اختلاط کاملاً مخلوط شده تا هنگام اضافه شدن به سایر مواد در میکسر در زمان کمتری مخلوط همگن و مناسبی بدست آید و از مصرف دوده سیلیس به صورت کلوخه شده جلوگیری شود. عملیات ساخت هر نمونه به شرحی که در مرجع شماره ۷ آورده شده انجام گرفته است و خلاصه آن به شرح زیر است:

بتن تازه در سه لایه در قالب ریخته و عملیات تراکم تا زمان تشکیل خمیر به صورت حلقه دور سربار ادامه می‌یابد (وزن سربار ۹/۱ کیلوگرم). نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت از قالبها خارج شده و وزن و حجم آنها اندازه گیری گردید و سپس تا زمان انجام آزمایش در داخل آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد عمل آوری شد. نمونه های آزمایش فشاری و الاستیسیته به شکل استاندارد با خمیر گوگرد و ماسه کلاهدک گذاری شده و سپس برای تعیین مقاومت به زیر جک هیدرولیک منتقل شدند.

۲-۴. آزمایش مقاومت خمشی

برای ساخت نمونه های خمشی از قالب منشوری استفاده شد. برای این نمونه نسبت سربار به سطح مشابه نمونه استوانه‌ای انتخاب گردید و با توجه به سطح نمونه، وزن سربار کل، برابر ۵۶/۴ کیلوگرم به دست آمد. این سربار به ۵ قسمت تقسیم شده و برای هر قسمت از یک مکعب فولادی با سطح

وجود ریزدانه‌های عبوری از الک ۲۰۰ به مقداری که برای پر کردن فضای بین درشت‌دانه‌ها کافی باشد نیز به افزایش مقاومت در بتن سخت شده و همچنین بهبود کارایی بتن تازه کمک می‌کند.

۳-۲. بررسی تأثیر کاربرد دوده سیلیس بر مقاومت فشاری و کششی بتن غلتکی

پس از تعیین نسبت بهینه سنگدانه‌های ریز و درشت، بخش اصلی پروژه یعنی ساخت مخلوطهایی با نسبتهای سنگدانه یکسان و مواد سیمانی برابر که درصدی از سیمان با دوده سیلیس جایگزین شده بود آغاز گردید. برای دو مقدار مواد سیمانی ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن، مخلوطهایی با درصدهای مختلف دوده سیلیس شامل ۰، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزن کل مواد سیمانی و از هر اختلاط ۱۱ نمونه ساخته شد. در جدول ۲ طرح اختلاطهای استفاده شده در پروژه آمده است.

شکل‌های ۲ الی ۴ اثر دوده سیلیس را بر خواص مکانیکی نشان می‌دهند. نتایج کلی نشانگر افزایش نسبی مقاومت‌های فشاری ۷ و ۲۸ روزه و مقاومت کششی ۲۸ روزه مخلوطها با افزایش مقدار دوده سیلیس می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در مخلوطهای با 300 Kg/m^3 مواد سیمانی، با افزایش دوده سیلیس از صفر به ۵ درصد، مقاومت‌های فشاری و کششی ۷ روزه و ۲۸ روزه با تغییر اندکی مواجه هستند. این نتایج نشان می‌دهند که وجود ۵ درصد دوده سیلیس در مخلوط، تغییرات محسوسی در خواص فیزیکی و مکانیکی ایجاد نمی‌نماید. این در حالی است که در مخلوطهای حاوی ۱۰ درصد دوده سیلیس تغییرات نسبتاً زیادی در خواص مکانیکی بتن غلتکی مشاهده می‌شود. با افزایش مصرف دوده سیلیس به ۱۵ درصد مواد سیمانی، کاهش جزئی در مقاومت‌های ۲۸ روزه و افزایش ناچیز در مقاومت فشاری ۷ روزه مشاهده گردید. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار بهینه مصرف دوده سیلیس با این مقدار مواد سیمانی حدود ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی می‌باشد.

در مورد مخلوطهای ساخته شده با 250 Kg/m^3 مواد سیمانی همانطور که نتایج نشان می‌دهند در مخلوطهای حاوی ۵ درصد دوده سیلیس، مقاومت‌های فشاری و کششی ۲۸ روزه افزایش قابل توجهی داشته‌اند. با افزایش درصد دوده سیلیس به ۱۰ درصد و ۱۵ درصد مشاهده می‌شود که مقاومت‌های فشاری و کششی باز هم افزایش یافتند و این نشان می‌دهد که محدوده

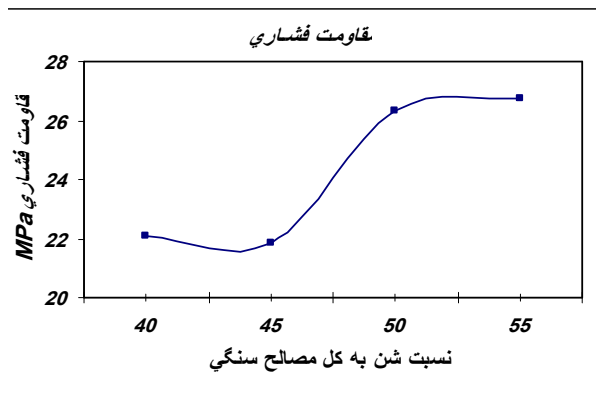
اثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه

ماسه و پودر سنگ که ۸/۵ درصد مقدار ماسه از پودر سنگ تشکیل شده) برای رسیدن به منحنیهای دانه‌بندی توصیه شده توسط مرجع [2] در نظر گرفته شد. این بررسی با افزایش نسبت درشت دانه به کل سنگدانه با گامهای افزایشنده ۵ درصد صورت گرفت. نتایج در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

همانطور که در این شکل ملاحظه می‌گردد نسبت شن به ماسه یا درشت دانه به ریزدانه تأثیر عمده‌ای در مقاومت فشاری دارد. هر چه نسبت شن در مخلوط افزایش می‌یابد فضاهای خالی بین دانه‌ها کمتر شده و با توجه به ثابت بودن مقادیر سیمان و آب، این فضاها بهتر با خمیر سیمان پر می‌شود و در نتیجه مقاومت افزایش می‌یابد. برای تعیین نسبت بهینه علاوه بر عامل مقاومت فشاری باید به دیگر عوامل از قبیل کارپذیری و قابلیت اجرای یکنواخت بتن غلتکی در قالبها و عدم پراکندگی نتایج هر نسبت نیز دقت نمود.

در این پژوهش مشاهده گردید که در نسبت شن به کل سنگدانه ۵۵ درصد، به علت عدم یکنواختی در هنگام پر کردن قالبها ناشی از حجم محدود قالب، پراکندگی نتایج جرم حجمی و مقاومت فشاری در مخلوطها بوجود می‌آید به طوری که بین نتایج نمونه‌های اول و آخر اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. برای یکنواخت‌تر شدن نتایج تصمیم گرفته شد که نسبت شن به کل سنگدانه برابر ۵۰ درصد در نظر گرفته شود و بنابر این تمام نمونه‌ها با این نسبت سنگدانه ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند.

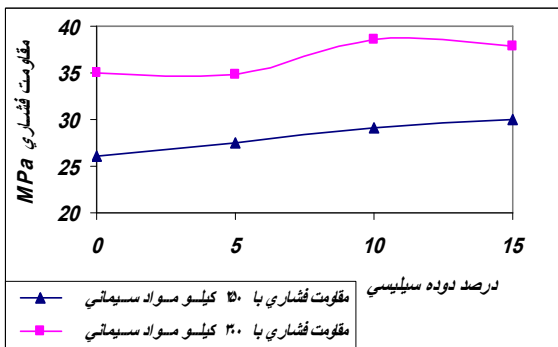
در حین انجام آزمایشهای اولیه و تکمیلی مشاهده شد که دانه‌بندی مصالح سنگی بر مقاومت بتن غلتکی موثر است و هرچه دانه‌های درشت‌تر در مخلوط افزایش یابند مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.



شکل ۱. تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه نسبت به درصد شن به کل مصالح سنگی

جدول ۲. نوع، نسبتها و میزان مواد مصرفی در مخلوطهای ساخته شده (Kg/m^3)

مخلوطها	شن	ماسه	پودر سنگ	آب	سیمان + دوده سیلیس	دوده سیلیس (%)	نسبت آب به مواد سیمانی
M25-0	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۱۲	۲۵۰	۰	۰/۴۵
M25-5	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۱۷	۲۵۰	۵	۰/۴۷
M25-10	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۱۷	۲۵۰	۱۰	۰/۴۷
M25-15	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۲۲	۲۵۰	۱۵	۰/۴۹
M30-0	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۱۷	۳۰۰	۰	۰/۳۹
M30-5	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۱۷	۳۰۰	۵	۰/۳۹
M30-10	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۲۰	۳۰۰	۱۰	۰/۴۰
M30-15	۹۷۵	۸۹۲	۸۳	۱۲۷	۳۰۰	۱۵	۰/۴۲



شکل ۴. منحنی تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر حسب درصد دوده سیلیس

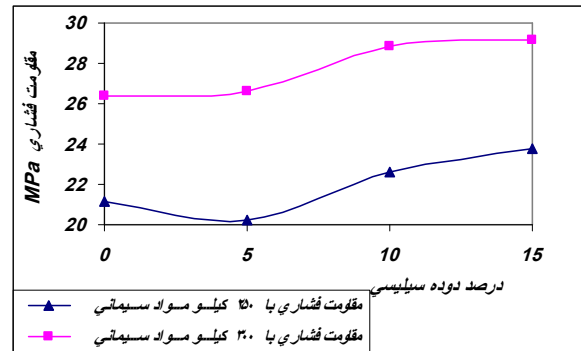
مخلوطهای با 250 Kg/m^3 مواد سیمانی تا ۳۸ درصد بوده است شرح جزئیات آن در مرجع [۹] موجود است.

۳-۳. بررسی تأثیر کاربرد دوده سیلیس بر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی

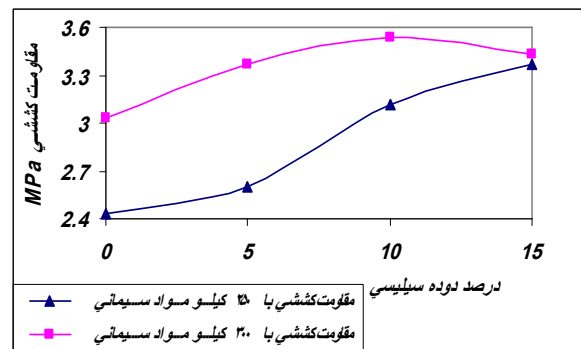
بر اساس روشهای ارائه شده در مراجع ۲، ۱۰ و ۱۱ تعیین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی برای مشخص نمودن ضخامت لایه بتنی در روسازی لازم است. در ادبیات بتن غلتکی برای راهسازی R.C.C.P نتایج محدودی برای آزمایشهای فوق وجود دارد. نتایج مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی به دست آمده در این تحقیق در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

تغییرات مدول الاستیسیته بر حسب درصد دوده سیلیس نشان می‌دهد که درصد بهینه در همان محدوده‌های بدست آمده برای تغییرات مقاومت فشاری و مقاومت کششی قرار دارد. حال آنکه نتایج مقاومت خمشی متفاوت است. به نظر می‌رسد آزمایشهای تکمیلی برای تعیین تأثیر دوده سیلیس بر مقاومت خمشی نیاز باشد.

بهینه درصد دوده سیلیس بیشتر از ۱۰ و حتی ۱۵ درصد می‌باشد. در حالیکه با 300 Kg/m^3 مواد سیمانی بهینه درصد دوده سیلیس، حدود ۱۰ درصد برآورد گردید. در مقایسه با بتن معمولی، نسبت بهینه دوده سیلیس در بتن غلتکی بیشتر است [8].

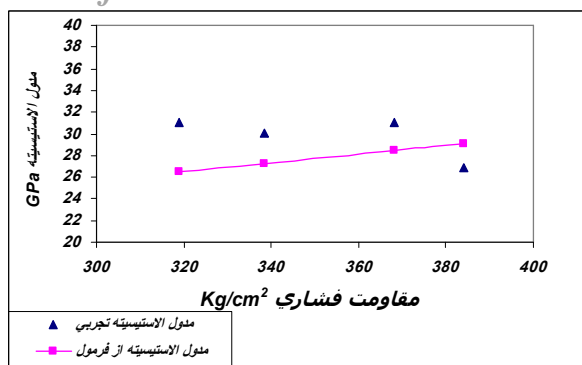


شکل ۲. منحنی تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه بر حسب درصد دوده سیلیس

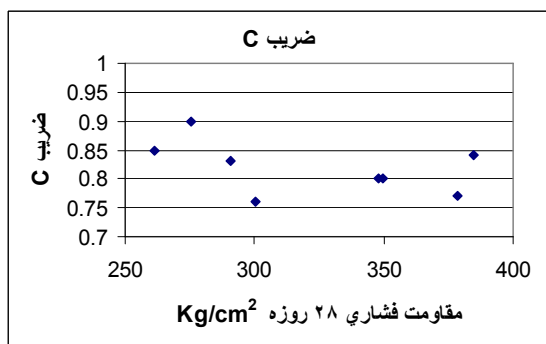


شکل ۳. منحنی تغییرات مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه بر حسب درصد دوده سیلیس

افزایش میزان مواد سیمانی باعث کاهش اثر دوده سیلیس در مخلوطها و کم شدن درصد بهینه مصرف این ماده شده است. افزایش مقاومت ناشی از بکار بردن درصد بهینه این ماده در مخلوطهای با 300 Kg/m^3 مواد سیمانی تا ۱۶ درصد و برای



شکل ۴. محاسبه مدول الاستیسیته بر حسب مقاومت فشاری از فرمول دوم و مقایسه با نتایج نمونه ها



شکل ۵. محاسبه ضریب C در فرمول سوم برای مقایسه با محدوده اشاره شده

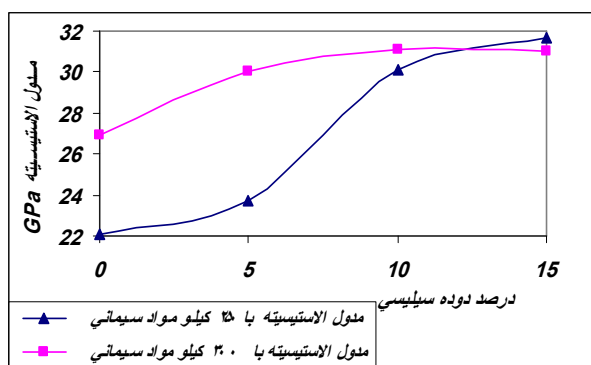
جدول ۳. روابط بین مقاومت فشاری با دیگر خواص مکانیکی ACI

شماره	پارامتر قابل محاسبه	روابط ACI
۱	مقاومت کششی	$f_t = f_c \cdot 0.667$
۲	مدول الاستیسیته	$E_c = 4730 \cdot (f_c) \cdot 0.5$
۳	مقاومت خمشی	$f_b = C \cdot (f_c) \cdot 0.5$ $C = 0.75 - 0.91$

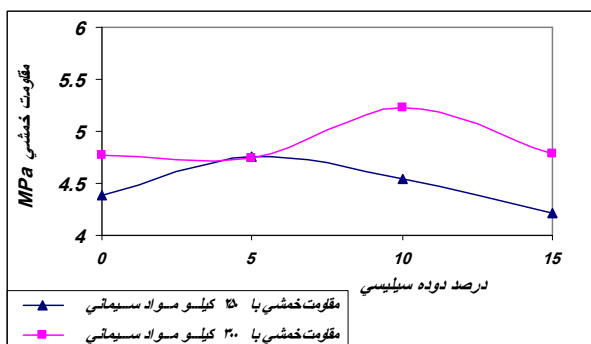
شکل‌های ۷، ۸ و ۹ مشاهده می‌شود، نتایج آزمایشگاهی انطباق مناسبی با روابط پیشنهاد شده دارد.

۵. نتیجه گیری

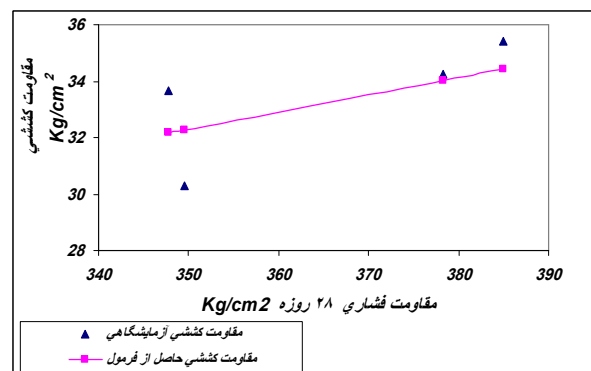
با توجه به عملکرد بسیار مؤثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن معمولی، تحقیقات حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد دوده سیلیس روی خواص مکانیکی بتن غلتکی مورد استفاده



شکل ۶. منحنی تغییرات مدول الاستیسیته ۲۸ روزه بر حسب درصد دوده سیلیس



شکل ۷. منحنی تغییرات مقاومت خمشی ۲۸ روزه بر حسب درصد دوده سیلیس



شکل ۸. محاسبه مقاومت کششی بر حسب مقاومت فشاری از فرمول اول و مقایسه با نتایج نمونه ها

۴. کنترل نتایج با آیین‌نامه ACI

در آیین‌نامه ACI روابطی برای مقاومت کششی (f_t)، مدول الاستیسیته (E_c) و مقاومت خمشی (f_b) بر حسب مقاومت فشاری (f_c) که مهمترین و قابل دسترس‌ترین پارامتر مشخصه بتن است ارائه شده است. روابط اول و دوم در مرجع [12] و رابطه سوم در مرجع [2] آمده است. در این بخش سازگاری این روابط با نتایج این تحقیق بررسی می‌گردد. همانگونه که از

— مشاهده شد که ارتباط نتایج آزمایشگاهی مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با مقاومت فشاری سازگاری مناسبی با روابط ارائه شده توسط آیین نامه ACI دارند.

مراجع

- [1] ACI 207.5R, 1999. "Roller Compacted Concrete".
- [2] ACI 325.10R, 1999. "Roller Compacted Concrete Pavement".
- [3] ASTM C1170-91. "Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table".
- [4] Santana, M. Teresa, "A Geotechnical Methodology for Roller Compacted Concrete, Mixture Design" 8th international symposium on concrete roads, Lisbon, Portugal, 1998.
- [5] Shihata, Sabry Ahmad, "Strength and Density of Laboratory Prepared RCC Specimens : Effect of Compaction Procedure", Transportation Research Record 1461, 2000.
- [6] ASTM C1176- 92 "Standard Practice for Making Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using Vibrating Table".
- [7] ASTM C469- 94 "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression"
- [8] Shekarchi M., Debicki G., Clasters P. and Billard Y., "Influence of Silica Fume on Permeability of Concrete to Oxygen for Temperatures up to 500⁰ C", 6th CANMET ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Bangkok, Thailand, 1998, p.975-996.
- [۹] شریفی، سید محسن؛ اثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰
- [10] U.S. Army Corps of Engineers, "Thickness Design of Roller-Compacted Concrete Pavements for Airfields, Roads, Streets and Parking Areas". ETL 1110-1-141, Washington, D.C., 1988, pp.3.
- [11] Structural Design of RCC for Industrial Pavements, IS233.01P, Portland Cement Association, Skokie, III, 1987, pp.8.

در روسازی راه انجام گردید. براساس بررسیهای آزمایشگاهی انجام شده نتیجه گیریهای زیر قابل ارائه می باشد:

— روش کارایی و روانی مطلوب برای طرح بتن غلتکی یکی از روشهای طرح مناسب برای بتنهای غلتکی مورد استفاده در روسازی راه می باشد، ولی با توجه به تجربی بودن زمان اختیار شده، انجام آزمایشهای مقدماتی ضرورت دارد.

— در حین انجام آزمایشهای اولیه و تکمیلی مشاهده شد که دانه بندی و درصد دانه های مصالح سنگی بر مقاومت بتن غلتکی موثر است و هرچه دانه های درشت تر در مخلوط افزایش یابند مقاومت فشاری افزایش می یابد. وجود ریزدانه های عبوری از الک ۲۰۰ به مقداری که برای پر کردن فضای بین درشت دانه ها کافی باشد نیز به افزایش مقاومت در بتن سخت شده و همچنین بهبود کارایی بتن تازه کمک می کند.

— کاربرد دوده سیلیس به صورت جایگزین سیمان تأثیر قابل توجهی در بهبود خواص مکانیکی مخلوطها داشت. میزان بهینه این ماده افزودنی برای مخلوطهای با 300 Kg/m^3 مواد سیمانی حدود ۱۰ درصد و برای مخلوطهای با 250 Kg/m^3 مواد سیمانی حدود ۱۵ درصد بوده است.

— میزان آب اختلاط تأثیر بسیار زیادی بر مقاومت ها و تراکم نمونه های بتن غلتکی دارد. در ضمن زمان وب به میزان آب مصرفی بسیار حساس است.

— افزایش مقدار مواد سیمانی در مخلوط بر افزایش مقاومتها موثر است. ضمن اینکه برای بدست آوردن کارایی یکسان باید به آب اختلاط حدود ۸ تا ۹ درصد افزود.

— افزایش میزان مواد سیمانی باعث کاهش اثر دوده سیلیس در مخلوطها و کم شدن درصد بهینه مصرف این ماده شده است. افزایش مقاومت ناشی از بکار بردن درصد بهینه این ماده در مخلوطهای با 300 Kg/m^3 مواد سیمانی تا ۱۶ درصد و برای مخلوطهای با 250 Kg/m^3 مواد سیمانی تا ۳۸ درصد بوده است.

— محدودیتهای آیین نامه ACI از حیث مقاومتهای فشاری و خمشی در مخلوطهای حاوی 300 Kg/m^3 سیمان و مخلوطهای حاوی 250 Kg/m^3 سیمان و دوده سیلیس ارضا گردیدند. با توجه به نتایج، این مقدار مواد سیمانی برای ساخت مخلوطهای مناسب بتن غلتکی در راهسازی با دانه بندی موجود و رسیدن به حداقلهای آیین نامه ای کفایت می کند. هرچند برای بکار بردن طرح اختلاط بدست آمده در کارگاه روسازی نیاز به اصلاحات کارگاهی متناسب با شرایط موجود می باشد.

تشکر و قدردانی

این پروژه تحقیقاتی از سوی معاونت پژوهشی دانشکده فنی دانشگاه تهران تحت حمایت مالی قرار داشت. در اینجا از مسئولین آن معاونت و تمام کسانی که به ما در انجام این پروژه یاری دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

اثر دوده سیلیس در ارتقای خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه

[12] ACI 318-92 “*Building code requirements for reinforced concrete*”, ACI Manual of Concrete Practice