

بررسی اثر پودر سنگ آهک و سرباره بر دوام روسازی بتن غلتکی

مهندس زهرا اصلانیان^۱، دکتر مهدی چینی^۲، مهندس محمد حسین افتخار^۳

دکتر سعید شاکر^۴، دکتر محمد شکرچی زاده^۵

۱- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۲- کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۴- عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور واحد شهر ری

۵- رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی

چکیده:

پس از استفاده موفقیت آمیز بتن غلتکی در کارهای سازه‌ای حجیم مانند سدسازی و با توجه به ویژگی این بتن در کسب مقاومت زیاد به‌ویژه در سنین کم، توجه کارشناسان به سوی استفاده از بتن غلتکی در ساخت روسازی معطوف گردید. روسازی‌های بتن غلتکی (RCCP) ترکیبی از جنبه‌های مختلف مصالح روسازی بتنی به همراه برخی از وجوه ساخت و اجرای روسازی‌های آسفالتی است. ویژگی اصلی روسازی بتن غلتکی، کیفیت و خواص بسیار بهتر آن نسبت به رویه آسفالتی و صرفه‌جویی‌های اقتصادی‌ای می‌باشد که در اثر استفاده از آن ایجاد می‌شود. در این مقاله به بررسی اثر پودر سنگ آهک و سرباره بر خواص دوام بتن روسازی غلتکی شامل جذب آب، نفوذ گاز اکسیژن و مقاومت سایشی پرداخته شده است. با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته روی ۵ نمونه که شامل نمونه شاهد، نمونه‌هایی با جایگزینی میزان ۱۵٪ و ۳۰٪ از ریزدانه با پودر سنگ آهک و همچنین میزان ۱۵٪ و ۳۰٪ از سیمان با سرباره و مقایسه نتایج بدست آمده، مشاهده گردید که این جایگزینی باعث بهبود برخی از خواص دوام روسازی بتن غلتکی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتن غلتکی، دوام، پودر سنگ آهک، سرباره، جذب آب، نفوذ اکسیژن، مقاومت سایشی

Effects of Limestone Powder and Slag on durability of RCC Pavements

Dr. Mohammad Shekarchizadeh

Head of BHRC and CMI

Zahra Aslanian*

CMI Expertise

Dr. Mahdi Chini

CMI Expertise

Mohammad Hosein Eftekhari*

CMI Expertise

Dr. Saeid Shaker

Branch of Rey PNU Professor

Abstract:

After successful use of RCC in heavy structural application such as Dams and with consideration of obtaining of high strength on early ages, experts pay attention to application of RCC in pavements. Roller Compacted Concrete (RCCP) has some benefits of concrete pavements materials and asphalt pavements placements together. RCCP has better quality and properties than asphalt pavements beyond its economic advantages. In this study, the effect of Slag and Limestone powder in durability of RCCP with focus on water absorption, oxygen permeability and abrasion resistance has been considered. Slag and Limestone powder were used as partial replacements for the cement and fine aggregates respectively, by 15% and 30%. The results showed that slag and limestone powder generally improved some durability properties of the mixtures compared with reference samples

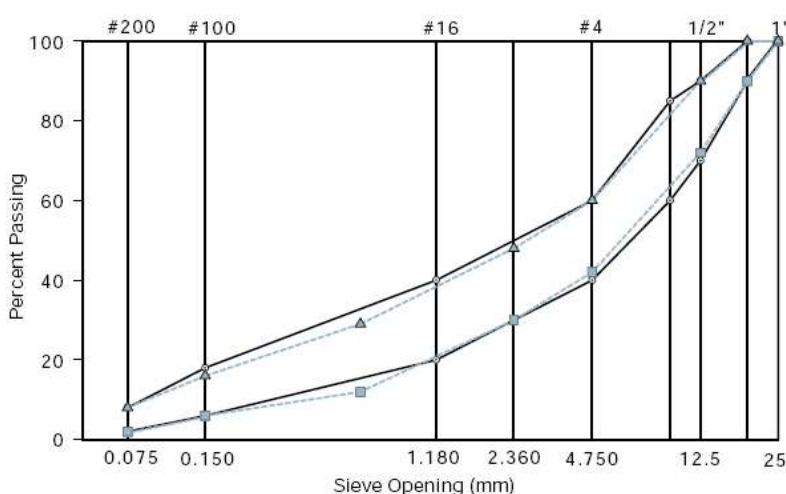
Keyword: Roller Compacted Concrete Pavement, Durability, Lime Stone Powder, Slag, Water absorption, Oxygen permeability, Abrasion resistance

۱- مقدمه

علت نامگذاری بتن غلتکی^۱ (RCC) بدلیل غلتک‌های فولادی لرزنده بزرگ^۲ و غلتک‌های چرخ‌لاستیکی^۳ است که برای تراکم آنها استفاده می‌شود. خواص مقاومتی و اجزای اصلی بتن غلتکی (سنگدانه‌های خوب دانه‌بندی شده، مصالح سیمانی و آب) مشابه بتن معمولی است ولی طرح اختلاط آن با بتن معمولی متفاوت است. بتن غلتکی تازه بدون اسلامپ است. بتن غلتکی باید به‌حدی سفت و خشک باشد که بتواند وزن غلتک‌ها را تحمل کند و به‌اندازه‌ای مرطوب باشد که به‌خوبی مخلوط شود و خمیر آن بین سنگدانه‌ها، به‌طور یکنواخت و بدون جداسازی سنگدانه‌ها^۴ پراکنده شود. بتن غلتکی معمولاً توسط دستگاه‌های متداول روسازی بتن غلتکی (فینیشر)^۵ پخش و پس از آن توسط غلتک ویبره‌ای کوبیده و متراکم می‌گردد. برخلاف روسازی بتنی معمولی، روسازی بتن غلتکی بدون نیاز به قالب‌بندی ساخته می‌شود. روسازی‌های بتن غلتکی ترکیبی از جنبه‌های مختلف مصالح روسازی بتنی به همراه برخی از وجوه ساخت و اجرای روسازی‌های آسفالتی است که بطور اجمالی در جدول ۱ به آنها اشاره شده است. با وجود اینکه روش تراکم و دانه‌بندی سنگدانه‌های روسازی‌های بتن غلتکی (شکل ۱)، مشابه روسازی‌های آسفالتی است، ویژگی‌های مصالح و عملکرد سازه‌ای آن مشابه روسازی بتن معمولی است [۱].

جدول ۱- وجوه مشترک بتن غلتکی با روسازی بتنی و روسازی آسفالتی

روسازی آسفالتی	روسازی بتنی معمولی
دارای دانه‌بندی مشابه	مصالح یکسان با نسبت اختلاط متفاوت
عملیات پخش و تراکم مشابه	الزامات یکسان عمل‌آوری



شکل ۱- دانه‌بندی ویژه برای بتن غلتکی (خط توپر) مشابه دانه‌بندی لایه میانی آسفالت (خط چین) [۱]

۲- پیشینه علمی موضوع

- ¹ Roller-compacted concrete
- ² heavy vibratory steel drum
- ³ rubber-tired rollers
- ⁴ segregation
- ⁵ asphalt-type paver

مطابق نتایج تحقیقات انجام گرفته توسط بانتیا و همکارانش، افزایش نسبت آب به سیمان، از نقطه نظر نفوذپذیری دارای مزایا و معایبی می باشد، چرا که از یک طرف، نسبت آب به سیمان زیاد باعث افزایش خلل و فرج می شود و به دنبال آن خاصیت مؤئینگی افزایش می یابد و این موضوع در افزایش نفوذپذیری اثرگذار می باشد اما از سوی دیگر، با افزایش نسبت آب به سیمان، تراکم بهتری بدست می آید و نفوذپذیری کاهش می یابد. [۳]

بر اساس نتایج تحقیقات کایو و همکارانش، با افزایش میزان خاکستر بادی در بتن غلتکی، مقاومت بتن به همراه مقاومت ویژه آن در سنین پایین کاهش می یابد؛ اما به تدریج با افزایش سن عمل آوری، مقاومت بتن و مقاومت ویژه آن افزایش می یابد. این موضوع بر مقاومت خمشی در مقایسه با مقاومت فشاری مشهودتر بود. از طرفی دیگر میزان بالای خاکستر بادی در جهت کاهش فضاهای خالی داخل بتن، بویژه فضاهای خالی مضر می باشد. [۴]

آغابانلو و رامیار طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در مخلوطهایی که در آنها خاکستر بادی جایگزین بخشی از سیمان شده باشد، افزایش درصد خاکستر بادی باعث کاهش مقادیر مقاومت فشاری، کششی دو نیم شدن و خمشی در تمامی سنین تا ۱۸۰ روزه می گردید. از طرف دیگر، هنگامی که خاکستر بادی جایگزین بخشی از سنگدانه ها می گردد، با افزایش درصد خاکستر بادی مقادیر مقاومت های مخلوطها در تمامی سنین نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. [۵]

تحقیق که توسط تریس در سال ۱۹۹۸ انجام شد نشان داد که با داشتن مقدار سیمان مشابه، تراکم مخلوط نقش مهمی روی رفتار خستگی بتن دارد و باید در هنگام اجرا به خوبی کنترل گردد تا عمر خستگی مورد نظر در پروژه حاصل شود. [۶]

بر اساس نتایج تحقیقات سان و همکارانش بتن غلتکی در هر دو حالت با و بدون خاکستر بادی، از مقاومت خستگی بهتری در مقایسه با بتن معمولی برخوردار است. همچنین مقاومت بتن غلتکی حاوی خاکستر بادی در برابر خستگی به میزان ۴۰-۵۰ درصد نسبت به مقاومت بتن غلتکی بدون خاکستر بادی بیشتر می باشد. در ادامه با بررسی های انجام شده معلوم شد، کاهش فضاهای خالی موجود در بتن غلتکی که به صورت اثر ترکیبی ناشی از تراکم به وسیله غلتک و مقادیر مختلف خاکستر بادی موجود در بتن غلتکی ظاهر می شود، به عنوان یک عامل کلیدی، به افزایش طول عمر بتن در برابر پدیده خستگی کمک می کند و ظرفیت بتن را نیز در تحمل بار ناشی از این پدیده افزایش می دهد. [۷]

بر اساس نتایج تحقیقات مستوفی نژاد و رئیسی در دانشگاه صنعتی اصفهان، با افزایش نسبت پودر سنگ آهک به سیمان در بتن، مقاومت فشاری کاهش می یابد و تأثیر دوده سیلیس بر مقاومت فشاری با افزایش نسبت دوده سیلیس به مواد سیمانی بیشتر می شود. همچنین، استفاده از ۱۵٪ پودر سنگ آهک در بتن به جای سیمان، مقاومت فشاری را حداکثر تا ۴٪ کاهش می دهد از این رو با توجه به ارزان بودن پودر سنگ آهک نسبت به سیمان، استفاده از پودر سنگ آهک در بتن توصیه می شود [۸].

بر اساس نتایج تحقیقات مستوفی نژاد و نظری منفرد در دانشگاه صنعتی اصفهان، استفاده از ترکیب ۱۰٪ سرباره و ۱۵٪ پودر سنگ آهک جایگزین سیمان، ضمن اقتصادی کردن طرح مخلوط، سبب افزایش دوام بتن ها می شود. در این تحقیق، بکارگیری چنین ترکیبی از مواد سیمانی، برای ساخت بتن های در مجاورت یون سولفات و از جمله ابنیه مسیر راه و پایه های پل توصیه شده است. [۹]

اکبرنژاد و حسنی و شکرچی زاده طی تحقیقات آزمایشگاهی، به این نتیجه رسیدند که میزان مصالح ریزتر از الک ۲۰۰ تأثیر مستقیمی بر مشخصات بتن تازه (میزان روانی) و بتن سخت شده (مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و نفوذپذیری و سطح رویه) دارد. فیلر طبیعی به عنوان بخشی از مصالح ریزدانه در درصد بهینه ۷/۵ سبب بهبود خواص مقاومتی می گردد و همچنین مصالح با خاصیت غیرخمیری، در صورتی که مقدار مصالح ریزتر از الک ۲۰۰ آنها کمتر از حد بهینه

۷/۵٪ باشند، می‌توانند در مخلوط‌های بتن غلتکی بدون شستشو مصرف شوند که در این حالت دارای مشخصات مکانیکی و دوام قابل قبولی هستند. با افزایش عیار سیمان، دانه‌های ریز سیمان جایگزین مصالح ریزتر از الک ۲۰۰ می‌شوند و بنابراین در عیارهای کم سیمان امکان استفاده از درصد بیشتر از مصالح غیرشسته بیشتر است به این ترتیب که در عیارهای کمتر از ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب محدوده بهینه ۷،۵-۲،۵ درصد از مصالح ریزتر از الک ۲۰۰ افزایش می‌یابد. مواد فوق روان‌کننده نیز تأثیرات قابل توجهی در روانی و مقاومت فشاری مخلوط‌ها با مصالح غیرشسته دارند. بطوری‌که فوق روان‌کننده‌ها در مخلوط‌های بتن غلتکی حاوی بیش از درصد بهینه ریزتر از الک ۲۰۰، سبب بهبود مشخصات بتن تازه و سخت شده گردید. [۱۰]

مطابق گزارش منتشر شده توسط اداره راه فدرال امریکا^۶ با موضوع "استفاده از سرباره آهن‌گذاری سردشده بعنوان درشت‌دانه در روسازی بتنی"، خواص سرباره به سرعت سرد شدن آن بستگی دارد. سرباره‌هایی که به آهستگی سرد می‌شوند دارای تخلخل کمتری هستند که موجب افزایش چگالی آن‌ها می‌شود. سرد شدن آهسته همچنین باعث تشکیل فازهای کریستالی می‌شود که باعث پایداری شیمیایی آن‌ها می‌شود. هرچه سرباره چگال‌تر و کریستالیزه‌تر باشد مطلوب‌تر است. جذب آب سرباره نسبت به سنگدانه‌های طبیعی بیشتر است بگونه‌ای که باکیفیت‌ترین سرباره‌های کوره آهن‌گذاری دارای جذب آب کمتر از ۴٪ می‌باشد. مطابق گزارشات موجود، استفاده از سنگدانه‌های سرباره‌ای در بتن به صورت SSD باعث افت کارپذیری بتن تازه و افزایش جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی زود هنگام تصادفی در روسازی‌های ساخته شده می‌گردد همچنین باعث آسیب ریزساختار بتن بدلیل خشک‌شدگی موضعی خمیر سیمان در مجاورت دانه‌های سرباره می‌گردد. در بتن سخت شده، مهمترین خاصیت مکانیکی روسازی بتنی، مشخصات سطح ترک تشکیل شده در درزهای کنترل است. سطح ترک در بتن شامل سنگدانه سرباره‌ای نسبتاً صاف است و ترک از میان آن عبور می‌کند نه از اطراف سنگدانه‌ها. سطح صاف ترک باعث می‌شود تا سنگدانه‌ها تا حدودی دارای قفل و بست بین دانه‌ای باشند. متوسط هزینه نگهداری روسازی‌های بتنی تقریباً دوبرابر روسازی‌های شامل سنگدانه‌های طبیعی است [۱۱]

بر اساس تحقیقات انجام گرفته توسط رضانیپور و حق‌اللهی، درصد محدودی میکروسیلیس و پلیمر به همراه سنگدانه‌های گرانیته به میزان قابل ملاحظه‌ای موجب بهبود مقاومت سایشی بتن می‌شود. اثرات نسبت آب به سیمان و پرداخت سطحی هم در مقاومت سایشی بتن خیلی مهم هستند به نحوی که با کاهش نسبت آب به سیمان به حدود ۳۵٪ و پرداخت سطحی با ماله برقی، مقاومت سایشی به ترتیب ۳۰٪ و ۱۵٪ بهبود می‌یابد. با بررسی اندرکنش بین عوامل فوق مشخص گردید که در صورت استفاده همزمان از دو یا سه عامل اشاره شده، درصد بهبود کمتر از حاصل جمع آنها می‌شود، با این حال منجر به حدود ۶۰٪ بهبود مقاومت سایشی می‌گردند. این محققین همچنین به یک رابطه منطقی بین مقاومت سایشی با مقاومت فشاری بتن رسیدند. [۱۲]

۳- طرح اختلاط روسازی بتن غلتکی

همانقدر که انتخاب مصالح مناسب برای داشتن یک مخلوط بتن غلتکی باکیفیت ضروری است، تعیین یک نسبت اختلاط مناسب نیز ضروری می‌باشد. روش طرح اختلاط نباید با استفاده از روش آزمایش و خطا بدست آید، بلکه باید به این منظور یک رویکرد علمی و سیستماتیک را در پیش گرفت که خواص مهندسی، الزامات ساخت و اقتصادی مطلوب را لحاظ می‌کند. روش‌هایی که به منظور تعیین نسبت‌های طرح اختلاط بتن غلتکی گسترش یافته‌اند با توجه به دیدگاه بکار رفته در تعیین نسبت اختلاط توسط آنها، به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

⁶ Federal Highway Administration

۱- روش تراکم خاک^۷: تعیین نسبت‌های طرح اختلاط با استفاده از روش خاکی (دیدگاه خاکی).

۲- روش روانی و کارایی^۸: تعیین نسبت‌های طرح اختلاط با استفاده از روش تعیین کارایی (دیدگاه بتنی). [۲]

صرفنظر از روش بکار رفته، اهداف اصلی تولید مخلوط بتن غلتکی نخست آن است که دارای حجم کافی خمیر برای پوشاندن سنگدانه‌ها و پرکردن حفرات بین آنها باشد؛ دوم آنکه قادر به تولید مقاومت مکانیکی^۹ و خواص الاستیکی^{۱۰} مورد نظر باشد؛ سوم آنکه مشخصات کارایی آن به گونه‌ای باشد که رسیدن به چگالی مورد نیاز را راحت و ممکن سازد و چهارم آنکه دارای دوام کافی برای تحمل شرایط محیطی موجود باشد [۱].

۴- تأثیر پودر سنگ آهک و سرباره بر ویژگی های دوام روسازی بتن غلتکی [۱۵]

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین بخشی از ریزدانه و سرباره به عنوان جایگزین بخشی از سیمان بر خواص دوام روسازی بتن غلتکی شامل جذب آب، نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن و مقاومت سایشی می‌باشد. دانه بندی سنگدانه‌های بکار رفته، در جدول ۲ آورده شده است. ۹۵٪ پودر سنگ آهک بکار رفته رد شده از الک شماره ۲۰۰ می باشد که برخی از مشخصات شیمیایی آن در جدول ۳ آورده شده است. سرباره بکار رفته دارای وزن مخصوص 2.95 gr/cm^3 می باشد که برخی از مشخصات شیمیایی آن در جدول ۴ آورده شده است. سیمان مورد استفاده از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ می باشد که برخی از مشخصات شیمیایی آن در جدول ۵ و برخی از مشخصات فیزیکی آن در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۲- دانه بندی سنگدانه های بکار گرفته شده در تحقیق حاضر

اندازه الک (mm)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
درصد تجمعی شن نخودی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۰/۳	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰
درصد تجمعی شن بادامی	۱۰۰	۹۲	۲۳	۲	۰/۳	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰
درصد تجمعی ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۷۹	۵۰	۳۳	۱۹/۱	۲/۶	۰/۴

جدول ۳ - ترکیبات و برخی از مشخصات پودر سنگ آهک بکار رفته در تحقیق حاضر

ترکیبات شیمیایی	درصد موجود در پودر سنگ
CaO	55.010
L.O.I	43.400
MgO	1.290
P ₂ O ₅	0.017
SO ₃	0.002
Cl	0.025
Fe ₂ O ₃	0.070
MnO	0.005
K ₂ O	0.049
Co ₃ O ₄	0.004
CuO	0.010

⁷ Soil compaction approach

⁸ Consistency or workability approach

⁹ mechanical strength

¹⁰ elastic properties

0.014	SrO
0.044	Na ₂ O

جدول ۴ - ترکیبات و برخی از مشخصات سربراره کوره بلند بکار رفته در تحقیق حاضر

ترکیبات شیمیایی	درصد موجود در سربراره
SiO ₂	35.29
CaO	39.12
Al ₂ O ₃	10.47
MgO	6.11
SO ₃	0.135
Fe ₂ O ₃	2.3

جدول ۵ - مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲ در تحقیق حاضر

درصد موجود در سیمان مصرفی	درصد مجاز اعلام شده توسط ASTM C150	ترکیبات شیمیایی سیمان
۲۱/۷۵	-	SiO ₂
۵/۱	-	Al ₂ O ₃
۴	-	Fe ₂ O ₃
۱/۸۵	Max= ۶	MgO
۶۴	-	CaO
۰/۵۵	Max=*	Na ₂ O
۰/۵۵	Max=*	K ₂ O
۲	Max= ۳/۵	SO ₃
۱/۵	Max= ۳	افت حرارتی
۰/۵	Max= ۰/۷۵	مصالح غیرقابل حل
۰/۶۳	-	آهک آزاد
۴۹/۴۸	**	C ₃ S
۲۵	***	C ₂ S
۶/۷۵	****	C ₃ A
۱۲/۱۷	*****	C ₄ AF

* Max (Na₂O + 0.625 K₂O) = 0.6%
 ** Tricalcium Silicat= 4.07 CaO - 7.60 SiO₂ - 6.72 Al₂O₃ - 1.43 Fe₂O₃ - 2.85 SiO₂
 *** Dicalcium Silicat= 2.867 SiO₂ - 0.7544 C₃S
 **** Tricalcium Aluminate = 2.650 Al₂O₃ - 1.692 Fe₂O₃
 ***** Tetracalcium Aluminate Ferrite = 3.043 Fe₂O₃

جدول ۶ - برخی از مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند تیپ ۲ بکار رفته در تحقیق حاضر

زمان گیرش		سطح مخصوص (سانتیمتر مربع بر گرم)	مشخصات فیزیکی
گیرش نهایی (ساعت)	گیرش اولیه (دقیقه)		
۳۹۲	۳۹۲	۳۸۹	شماره استاندارد ملی ایران
Max= ۶	min= ۴۵	min= ۲۸۰۰	الزامات استاندارد

سیمان مصرفی	۳۲۵۰	۱۳۰	۳/۵
-------------	------	-----	-----

بر این اساس، نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C1170-06 ساخته شده‌اند [۲] و سپس آزمایش‌های جذب آب بر اساس استاندارد BS 1881: Part 122، نفوذ در برابر اکسیژن بر اساس روش انجمن سیمان اروپا که در RILEM کمیته TCI 116 نیز توصیه شده است [۱۳] و سایش بر اساس استاندارد EN 1338 و به روش آزمون با دستگاه چرخ پهن [۱۴]، روی نمونه‌ها انجام گرفته است. تمامی مراحل ساخت و آزمایش نمونه‌ها در آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشگاه تهران و با پشتیبانی و همکاری انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران انجام گرفته است.

بدین منظور ۵ طرح اختلاط متفاوت ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت و با در نظر گرفتن ۶ نمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتیمتر برای هر طرح، در مجموع ۳۰ نمونه استوانه‌ای ساخته شد. طرح اختلاط نمونه‌های ساخته شده در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- طرح اختلاط‌های استفاده شده در این تحقیق

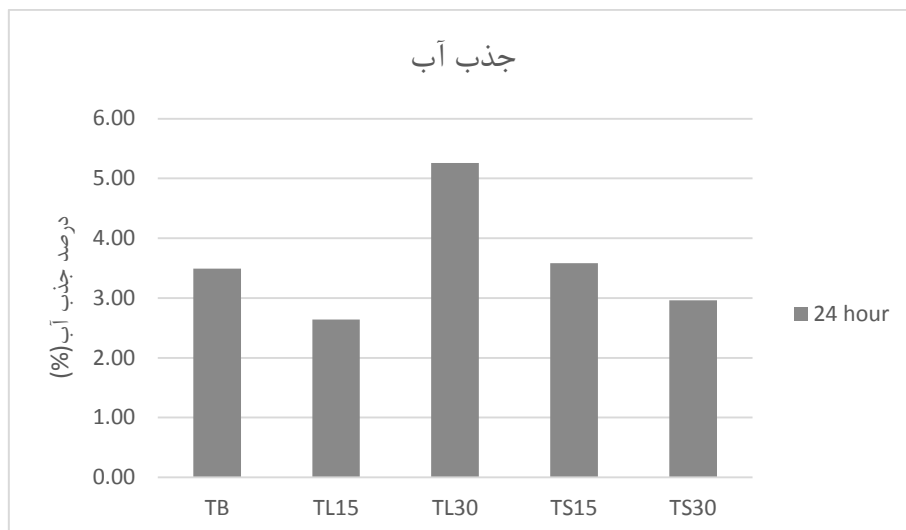
W/C	سیمان (kg/m^3)	سرباره (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	پودر سنگ (kg/m^3)	کد طرح
0.38	324	0	1194	796	0	TB
0.40	324	0	1015	796	179	TL15
0.41	324	0	836	796	358	TL30
0.38	275	49	1194	796	0	TS15
0.38	227	97	1194	796	0	TS30

شایان ذکر است که تمامی نمونه‌ها الزامات ACI 325.10R، را تأمین می‌کنند [۲]. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های جذب آب، نفوذ اکسیژن و مقاومت سایشی روی نمونه‌ها در جدول ۸ آورده شده است. سن تمامی نمونه‌ها در هنگام آزمایش ۲۸ روز بوده است.

جدول ۸- نتایج آزمایش‌های انجام گرفته روی نمونه‌ها

کد طرح	درصد جذب آب ۲۴ ساعته	ضریب نفوذپذیری اکسیژن (مترمربع)	عرض شیار در سنجش مقاومت سایشی (میلیمتر)
TB	3.5	1.00E-16	17
TL15	2.5	1.00E-16	16
TL30	5.3	7.00E-17	15
TS15	3.6	1.00E-16	15
TS30	3.0	1.00E-16	16

نتایج حاصل از آزمایش جذب آب در شکل ۲ آورده شده است.

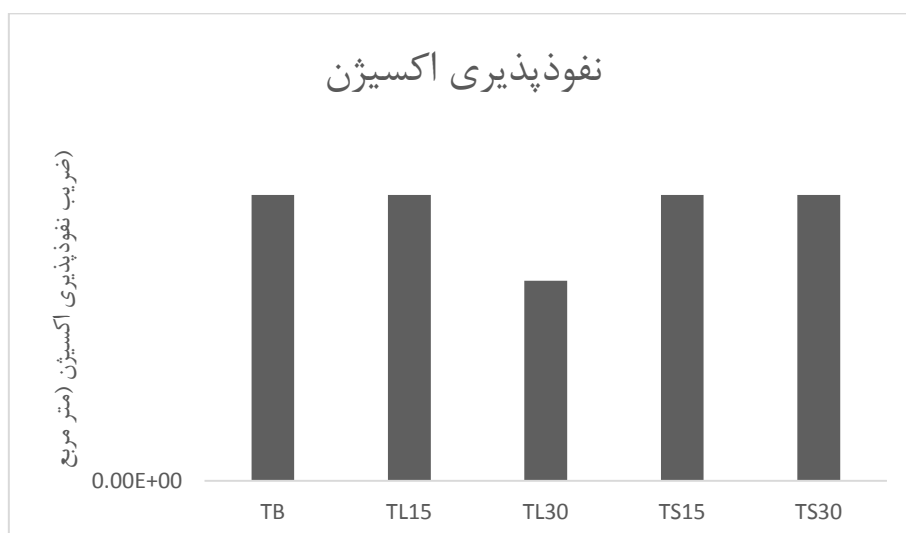


شکل ۲- مقایسه جذب آب نمونه ها

با توجه به شکل ۲ در می یابیم که:

- جایگزینی ۱۵٪ از ریزدانه با پودر سنگ آهک باعث کاهش میزان جذب آب ۲۸ روزه و جایگزینی ۳۰٪ از ریزدانه طرح با پودر سنگ باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی میزان جذب آب گردید.
- جایگزینی ۱۵٪ از سیمان طرح با سرپاره تأثیری بر جذب آب ۲۸ نمونه‌های روزه نداشته است اما با افزایش درصد جایگزینی از ۱۵٪ به ۳۰٪ میزان جذب آب نمونه‌های ۲۸ روزه کاهش یافته است.
- تأثیر پودر سنگ آهک نسبت به سرپاره با ۱۵٪ جایگزینی بر کاهش درصد جذب آب بیشتر است اما با افزایش درصد جایگزینی به ۳۰٪، سرپاره سبب کاهش میزان جذب آب نسبت به نمونه شاهد گردیده در حالیکه پودر سنگ سبب افزایش درصد جذب آب نسبت به نمونه شاهد گردیده است.

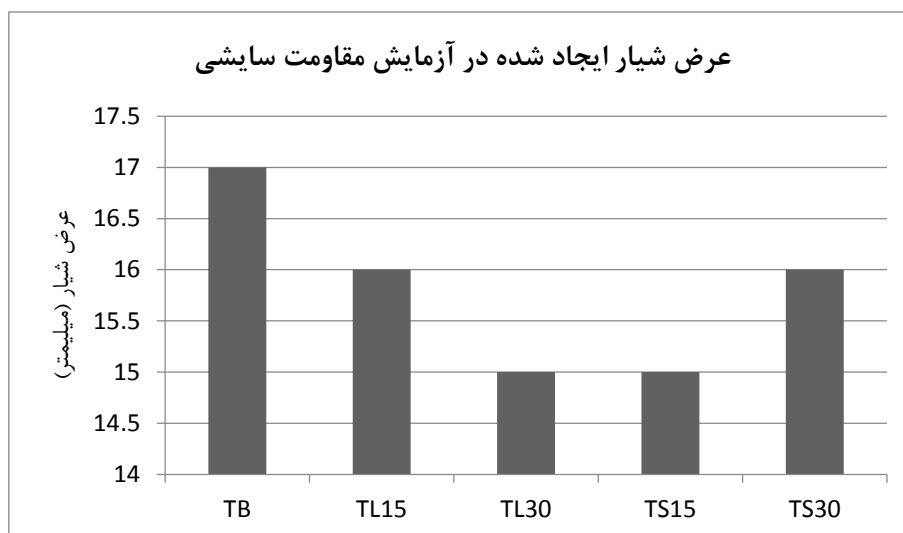
نتایج حاصل از آزمایش نفوذ اکسیژن روی نمونه ها در شکل ۳ آورده شده‌اند.



شکل ۳- مقایسه نفوذپذیری اکسیژن نمونه ها

با توجه به شکل ۳ در می یابیم که :

- جایگزینی ۱۵٪ از ریزدانه با پودر سنگ تأثیری بر ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن ۲۸ روزه نداشته و اما جایگزینی ۳۰٪ از ریزدانه طرح با پودر سنگ باعث کاهش محسوسی در ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن ۲۸ روزه گردید.
 - به طور کلی جایگزینی بخشی از سیمان با سرباره اثری بر ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن نمونه ۲۸ روزه ندارد.
- نتایج حاصل از آزمایش سایش در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- مقایسه عرض شیار ایجاد شده در نمونه‌ها طی آزمایش مقاومت سایشی

با توجه به شکل ۴ در می‌یابیم که:

- جایگزینی بخشی از ریزدانه با پودر سنگ باعث افزایش مقاومت در برابر سایش گردید به طوری که با افزایش درصد جایگزینی از ۱۵٪ به ۳۰٪ این افزایش در مقاومت سایشی بیشتر گردید.
- با جایگزینی بخشی از سیمان با سرباره مقاومت سایشی نمونه‌های ۲۸ روزه افزایش یافته است به طوری که با افزایش درصد جایگزینی از ۱۵٪ به ۳۰٪ این افزایش در مقاومت سایشی محسوس‌تر شده است.
- افزایش درصد جایگزینی پودر سنگ سبب افزایش مقاومت در برابر سایش گردیده در صورتی که با افزایش درصد جایگزینی سرباره، میزان بهبود مقاومت سایشی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است.

۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، با افزایش درصد جایگزینی بخشی از ریزدانه‌ها با پودر سنگ از ۱۵ به ۳۰ درصد، در نمونه‌های ۲۸ روزه نسبت به نمونه شاهد، میزان جذب آب افزایش، ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن کاهش و مقاومت در برابر سایش افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که هر چند جذب آب پودر سنگ آهک بکار رفته در این تحقیق نسبت به ریزدانه‌های بکار رفته در طرح بیشتر است که این تأثیر در نتایج آزمایش جذب آب نمونه‌ها مشهود است اما با جایگزینی بخشی از ریزدانه مصرفی با پودر سنگ آهک ضمن افزایش میزان جذب آب روسازی بتن غلتکی، نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن و مقاومت در برابر سایش روسازی بتن غلتکی بهبود می‌یابد که یکی از دلایل آن می‌تواند پر شدن منافذ موجود در بتن توسط پودر سنگ آهک باشد. همچنین، با افزایش درصد جایگزینی بخشی از سیمان با سرباره از ۱۵ به ۳۰ درصد، در نمونه‌های ۲۸ روزه نسبت به نمونه شاهد، ضمن کاهش میزان جذب آب، ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن فاقد تغییر مانده و مقاومت در برابر سایش افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان دریافت که هر دو جایگزینی به صورت بخشی از ریزدانه مورد استفاده در روسازی بتن غلتکی

با فیلرهای مناسبی نظیر پودر سنگ آهک و بخشی از سیمان مصرفی با سرباره، ضمن تأمین الزامات ACI 325.10R، سبب بهبود برخی از پارامترهای مؤثر بر دوام این نوع از روسازی در مقیاس آزمایشگاهی می‌گردند.

برای رسیدن به یک قاعده کلی ضروری می‌باشد که سایر پارامترهای حوزه مقاومت و دوام و الزامات اجرایی روسازی بتن غلتکی در مورد پودر سنگ آهک و سرباره در مقیاس آزمایشگاهی و کارگاهی مورد ارزیابی بیشتر و دقیق‌تر قرار گیرند و در کنار آنها آنالیز اقتصادی طرح‌ها نیز انجام پذیرد.

۶- منابع

- [1] "Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements", Portland cement Association (PCA), August 2010
- [2] ACI 325.10R-95, "Report on Roller-Compacted Concrete Pavements", American Concrete Institute (ACI), 2001.
- [3] Banthia, N., Pigeon, M., Marchand, J., and Boisvert, J., "Permeability of Roller Compacted Concrete." *Journal of Material in Civil Engineering*, V.4, pp. 27-40, 1992.
- [4] Cao, C., Sun, W., and Qin, H., "The Analysis on Strength and Fly Ash Effect of Roller Compacted Concrete with High Volume Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, V. 30, Issue 1, PP. 71-75, 2000.
- [5] Tricbes, G, "The Fatigue Behavior of Rolled Compacted Concrete", 8th International Symposium on Concrete Roads, Theme II, Portugal, 1998.
- [6] Sun, W., Liu, J., Qin, H., Zhang, Y., Jin, Z., and Qian, M., "Fatigue Performance and Equations of Roller Compacted Concrete with Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, V. 28, No. 2, PP. 309-315, 1998.
- [۷] مستوفی‌نژاد، د، رئیسی، م، "بررسی تأثیر پودر سنگ آهک بر مقاومت فشاری بتن حاوی دوده سیلیس و بهینه‌سازی طرح اختلاط با استفاده از منحنی‌های هم‌پاسخ"، استقلال، سال ۲۴، شماره ۱، جلد دوم، شهریور ۱۳۸۴.
- [۸] مستوفی‌نژاد، د، نظری منفرد، ح، "افزودن سرباره و پودر سنگ آهک به بتن جهت افزایش دوام آن در محیط سولفاتی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۵.
- [9] Ali Mardani-Aghabaglou, Kambiz Ramyar, "Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method", *Construction and Building Materials*, Vol. 38, January 2013, PP. 356-364
- [۱۰] اکبر نژاد، ص، حسینی، ا، شکرچی‌زاده، م، "بررسی اثر مشخصات سنگدانه‌ها در خواص بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۷
- [11] "Use of Air-Cooled Blast Furnace Slag as Coarse Aggregate in Concrete Pavements", Report No FHWA-HIF-12-008, March 2012
- [۱۲] رضانیانپور، ع، حق‌اللهی، ع، "تأثیرات میکروسیلیس و پلیمر S.B.R در مقاومت سایشی بتن"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، NCCE 1383، ۲۱-۲۲ اردیبهشت ۱۳۸۲، دانشگاه صنعتی شریف
- [13] BS 1881: Part 122, "Method for determination of water absorption", British Standard (Testing concrete), 1983.
- [14] BS EN 1338, "Concrete paving blocks – Requirements and test methods", British Standard, 2003.
- [۱۵] اصلانیان، ز، "تأثیر پودر سنگ و سرباره بر خواص مکانیکی و دوام روسازی بتن غلتکی"، پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش خاک و پی، مؤسسه آموزش عالی روزبهان، بهمن ۱۳۹۲