امکان سنجی آزمایشگاهی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان جایگزین سنگدانه در مخلوط بتن غلتکی روسازی

محمد کریمی گوغری (مسئول مکاتبات)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
ابوالفضل حسنی، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
امین احمدی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
حمزه عرب عامری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail:m_karimi_tmu@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۸/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۱

چکیده

امروزه به دلایل زیست محیطی، بازیافت مواد زاید و استفاده مجدد آنها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. خرده‌های آسفالت بازیافتی (RAP[1]) نوعی مواد زائد اند که ممکن است اثرات نامطلوبی بر محیط اطراف خود داشته باشند. با توجه به خواصی که از این مصالح گزارش شده است، تا کنون راهکارهای گوناگونی برای استفاده مجدد این مصالح ارایه شده است. یکی از کاربردهایی که به تازگی مورد توجه قرار گرفته استفاده از این مصالح (RAP) در مخلوط‌های سیمانی از جمله بتن است. این در حالی است که مصالح خرده آسفالت بازیافتی به طور متداول در جاده‌ها و راهها یافت شده و از این رو مطلوب است که بتوان آنها را در مخلوطهای متداول مورد استفاده در ساخت روسازی راهها استفاده کرد. از این روی بتن غلتکی که مخلوطی بتنی و دارای شرایطی منحصر به فرد از جهت سادگی اجرا و کم هزینه بودن است به عنوان مخلوط پایه انتخاب شد. در این تحقیق جایگزینی سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی به عنوان بخشی از سنگدانه مخلوط بتن غلتکی در سه حالت -۱ جایگزینی در ریزدانه و درشت‌دانه -۲ جایگزینی فقط در ریزدانه -۳جایزگزینی فقط در درشت دانه، و با درصدهای ۰،۱۰،۲۰،٤۰و۸۰ صورت پذیرفت. نتایج آزمایشها نشان داد که استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان بخشی از سنگدانه بتن غلتکی روسازی تاثیری بر روانی، تراکم پذیری، مقادیر سیمان و آب مخلوط نداشته است، اما مقاومت فشاری با افزایش هرچه بیشتر درصد استفاده از خرده آسفالت بازیافتی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بتن غلتکی روسازی، خرده آسفالت بازیافتی، بازیافت، مقاومت فشاری بتن، آزمایش زمان وی. بی

۱. مقدمه

خرده‌های آسفالت بازیافتی که به عنوان مصالح نخاله‌ای حاصل از بازسازی و تراش رویه‌های آسفالتی به دست می آیند، بخش اعظمی از مصالح دورریز را تشکیل می‌دهند و در اغلب موارد در فرآیند بازیافت مخلوطهای آسفالتی قرار داشته‌اند و این مشروط به توجیه فنی و اقتصادی انتقال این مصالح به محل کارخانه آسفالت است. تحقیقات محدودی در زمینه استفاده از مصالح خرده آسفالت بازیافتی در مخلوطهای بتنی انجام گرفته است. تحقیقات محدود انجام شده به بررسی تاثیر استفاده از خرده آسفالت بازیافتی بر مخلوط بتن معمولی پرداخته اند [Baoshan et al., 2005, Fidelis, 2010, Hassan et al., 2007] و این در شرایطی است که استفاده از این نوع مصالح در مخلوطهای بتن غلتکی روسازی به دلیل ارتباط موضوعی به روسازی راه و سهولتهای ناشی از حذف مشکلات انتقال مصالح، موجه‌تر از سایر مخلوط‌های بتنی است. از این روی در این تحقیق با انتخاب مخلوط بتن غلتکی روسازی به عنوان مخلوط پایه، به بررسی تاثیر استفاده از این مصالح بر عملکرد این نوع مخلوطها پرداخته شده است.

در تحقیق حاضر به بررسی امکان سنجی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان جایگزین سنگدانه در مخلوط بتن غلتکی و بررسی تاثیر استفاده از این مصالح بر مقاومت فشاری مخلوط پرداخته شده است. به این جهت پس از تعیین نسبتهای اختلاط برای دو مخلوط مبنا با دو مقاومت طراحی ۲۸ روزه ۵۰۰۰ psi و ۶۰۰۰ psi (Mpa۳۵ و Mpa۴۰) [ACI 211, 2002]، به منظور مشاهده تاثیر خرده آسفالت بازیافتی بر مقاومت مخلوط بتن غلتکی، نمونه‌های استوانه ای۳۰ x ۱۵سانتی متری[ASTM C1176, 1997] با جایگزینی۰،۱۰،۲۰،۴۰ و۸۰ درصد خرده آسفالت بازیافتی بر سنگدانه مخلوط و در سه حالت ۱- جایگزینی در فاز ریزدانه و درشت‌دانه ۲- جایگزینی تنها در فاز ریزدانه ۳- جایگزینی تنها در فاز درشت‌دانه، تهیه شده و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری آنها گزارش شده است [ASTM C39,2003].

۲.تاریخچه و مروری بر منابع

بتن غلتکی، بتنی است با اسلامپ صفر که در رویه های راه بکار می رود. مزایای عمده این نوع روسازیها که سبب برتری آن نسبت به روسازیهای آسفالتی و بتنی معمولی شده است، مواردی چون اجرای سریع و آسان، هزینه‌های اجرایی کم، مصرف کمتر سیمان و مقاومت زیاد آن در شرایط آب و هوایی سرد یا گرم است. ACI ۳۲۵ 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 به این ترتیب در نهایت، بتن سخت و متراکم شده‌ای که وسیله تراکم آن غلتک بوده حاصل می‌شود"[ACI 325, 1995]. 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 کاربرد بسیار داشته است [Ville, 2002].

۳۰ سال پیش که مهندسان از بتن غلتکی به عنوان یک لایه روسازی استفاده می کردند شاید هرگز تصور نمی شد که این روش به یکی از بادوام ترین وارزان ترین روش های اجرای رویه راه تبدیل شود. [USACE, 1994]

گسترش این روسازی عمدتاً به علت بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی است که باعث افزایش هزینه‌های اجرای روسازی آسفالتی درسطح جهان شده است و کشورهای بسیاری استفاده ازآن را برای راه‌های نظامی و نواحی صنعتی، زمینهای فرودگاهی و نیز جاده‌ها آغاز کرده‌اند .این فنآوری جدید سبب کاهش هزینه‌های اجرائی به میزان ۳۰ درصد شده است [Abdul Wahhab et al., 2009]. از این روی 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 مهندسین 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 [ACI 325, 1995].

طی سالهای گذشته، تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از مضاف و

نخاله‌های صنعتی و ساختمانی در مخلوطهای بتنی و نیز مخلوط بتن غلتکی انجام گرفته است. استفاده از مصالح دور ریزی چون خرده بتن بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی به عنوان جایگزین سنگدانه گرچه مقاومت مخلوط را کاهش می‌دهد، اما از لحاظ اثرات مطلوب زیست محیطی موجه گزارش شده است [Luk et al., 2009]. جایگزینی ۲۵ درصدی سرباره کنورتور ذوب آهن اصفهان (به عنوان یک مصالح دور ریز) به عنوان بخشی از سنگدانه مخلوط بتن غلتکی نیز باعث بهبود خواص مقاومتی این مخلوط شده، لیکن در درصدهای بالاتر کاهش مقاومت گزارش شده است[عامری، ۱۳۸۸]. مواد مضافی چون الیاف پلاستیکی و براده لاستیک نیز با وجود ایجاد کاهش مقاومت مخلوط باعث بهبود مشخصات طاقت مخلوط بتن غلتکی شده‌اند .[Sobhan et al., 2001, Neyisi et al., 2004]

تحقیقات محدود انجام گرفته در راستای استفاده از مصالح خرده آسفالت بازیافتی در مخلوطهای بتنی، ضمن تاکید بر بروز کاهش مقاومت در این مخلوطها، مزایای زیست محیطی این نوع جایگزینی را به عنوان نقطه مثبت و موجه تحقیقات خود بیان کرده اند [Baoshan et al., 2005, Hassan et al., 2007, Fidelis., 2010]

۳. مواد و مصالح

مصالح مورد استفاده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سیمان، شن و ماسه طبیعی، خرده آسفالت بازیافتی و آب بوده است. بخش درشت‌دانه و ریزدانه سنگدانه طبیعی از معادن تولید سنگدانه شکسته اطراف شهر تهران با مشخصات جدول۱ تهیه شده، سیمان مصرفی از سیمان تیپ یک با مشخصات جدول۲ مورد استفاده قرار گرفته و آب مصرفی نیز آب شرب شهر تهران و فاقد هرگونه افزودنی بوده است. خرده آسفالت بازیافتی مورد استفاده در این تحقیق از تراشه رویه‌های آسفالتی اطراف شهر تهران حاصل شده و مشخصات آن به ترتیب در جداول ۱ و ۳ ارایه شده است ودانه بندی مورد استفاده دانه بندی پیشنهادی PCA[۲] است که در شکل۱ ارایه شده است.

جدول ۱. مشخصات سنگدانه‌های مصرفی

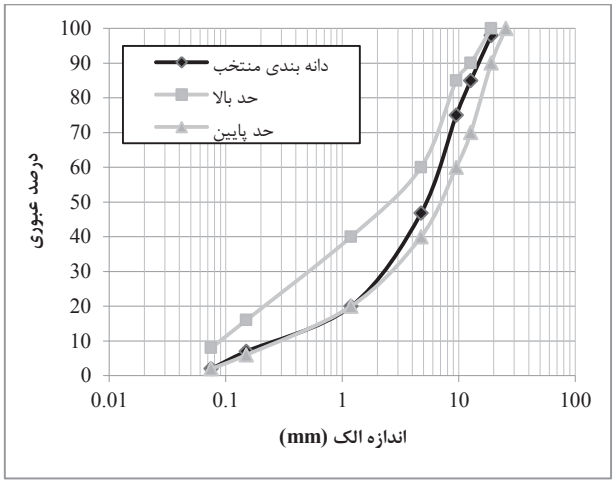
		وزن مخصوص فضایی (Kg/m^3)	درصد جذب آب	مقاومت ساییدگی لوسانجلس
سنگدانه طبیعی	درشت دانه	۲۷۷۰	۱/۶۵	۲۱
	ریزدانه	۲۶۱۰	۲/۱	----
خرده آسفالت بازیافتی	درشت دانه	۲۴۰۰	۱/۳۵	----
	ریزدانه	۲۲۰۰	۱/۸	----

جدول ۲. مشخصات سیمان تیپ یک شاهرود

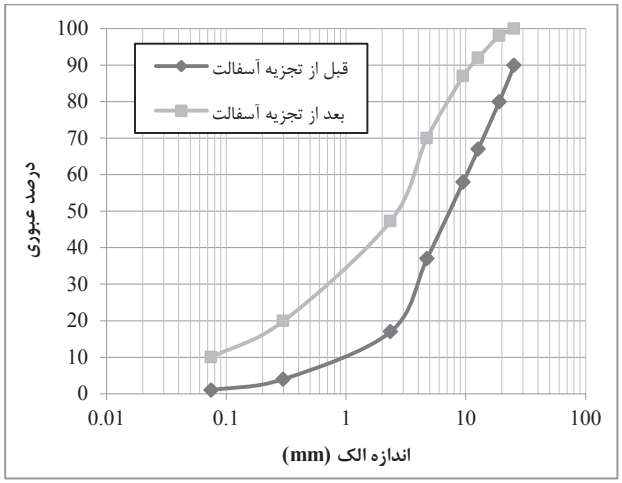
وزن مخصوص($\frac{Kg}{m^3}$)	۳۱۵۰
نرمی(بلین) ($\frac{Cm^3}{gr}$)	۲۹۹۱
انبساط ٪	۰/۰۲۸
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۱۴۵
زمان گیرش نهایی (دقیقه:ثانیه)	۳:۳۰
مقاومت فشاری ۳ روزه ($\frac{Kg}{Cm^3}$)	۲۱۲
مقاومت فشاری ۷ روزه ($\frac{Kg}{Cm^3}$)	۳۰۵
مقاومت فشاری ۲۸ روزه ($\frac{Kg}{Cm^3}$)	۴۱۰

جدول ۳. مشخصات خرده آسفالت بازیافتی مورد استفاده

درصد قیر	درجه نفوذ در $25^{\circ}C$ (۰/۱ میلیمتر)	مقدار کشش در $25^{\circ}C$ (سانتی متر)
۵/۲	۱۶	۴/۲



شکل ۱. دانه بندی مورد استفاده در ساخت نمونه های بتن غلتکی [PCA, 1987]



شکل ۲. دانه بندی خرده آسفالت های بازیافتی قبل و بعد از اکستراکشن

٤. آزمایشها

٤-١ تهیه مخلوط و ساخت نمونه ها

برای بتنهای غلتکی دو روش طرح اختلاط وجود دارد [سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۸۵]. روش اول به نام تراکم خاک و بر مبنای حداکثر وزن مخصوص در رطوبت بهینه [ASTM D 558, 2003] ، و روش دوم به نام روش روانی مطلوب و بر مبنای تامین حداکثر مقاومت در روانی مطلوب مخلوط است [ACI207.5R, 1988]. در این تحقیق به دلیل در اختیار داشتن امکانات مربوط به روش روانی مطلوب از این روش استفاده شد. مراحل اختلاط در مخلوط کن در جدول ٤ آورده شده است، ساخت نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵x۳۰ سانتیمتری بر روی میز لرزان و با اعمال سربار ۱/۹ کیلوگرمی صورت پذیرفت [ASTM C1176, 1992]. حداکثر تراکم مخلوط نیز متناظر با مدت زمانی که شیره ملات تمام درزهای مخلوط را پرکرده و به صورت حلقه‌ای در اطراف سربار مشاهده شود منظور شد [ASTM C1176, 1992]. (شکل۳). نهایتا نمونه‌ها پس از یک روز از قالب بیرون آورده شده و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب در حالت اشباع عمل‌آوری شدند(شکل٤و٥).

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

جدول ٤. مراحل اختلاط در مخلوط کن

زمان	t_0-5′	t_0-2′	t_0	t_0+1′
مصالح اضافه شده به مخلوط کن	سنگدانه	سیمان	آب	**پایان اختلاط**

: زمان اضافه نمودن آب به مخلوط t_0

شکل ٤. پوشش گونی نخی و نایلون برای عمل آوری در ٢٤ ساعت ابتدایی ساخت مخلوط

شکل ٥. حوضچه عمل آوری

٤-٢ تعیین نسبتهای اختلاط

به منظور تعیین نسبتهای اختلاط، ابتدا دو دانه‌بندی جدول٥ با نسبتهای مختلف درشت‌دانه به ریزدانه و نیز به منظور مشاهده تاثیر خرده آسفالت بازیافتی بر مخلوط با مقاومت های متفاوت دو مقاومت طراحی ٢٨ روزه ٥٠٠٠ psi و ٦٠٠٠ psi (Mpa٣٥ و Mpa٤٠) در نظر گرفته و محاسبات نسبتهای اختلاط برای این چهار حالت انجام گرفت[ACI207.5R, 1988]. پس از محاسبه نظری نسبتهای اختلاط، برای هر یک از دانه‌بندی‌ها، مستقل از مقدار آب محاسبه شده، از چندین مقدار متفاوت آب در ساخت نمونه‌ها استفاده شد. در این مرحله تعداد ٣٦ نمونه استوانه‌ای ساخته شده و قبل از اینکه نمونه‌های استوانه‌ای توسط میز لرزان و سربار متراکم شوند (شکل ٣) روانی مخلوطها توسط آزمایش زمان وی. بی کنترل شد و نمونه‌هایی که دارای زمان وی. بی در محدوده ٣٠ تا ٥٥ ثانیه می‌بودند، جهت ساخت نمونه‌های استوانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند [ASTM C1170, 1991]. نهایتا مخلوط‌هایی که بیشترین مقاومت ٢٨ روزه را در محدوده مناسب زمان وی. بی حاصل می‌نمودند، به عنوان مخلوطهای شاهد در نظر گرفته شدند. اشکال ٧ و ٨ به ترتیب مقاومت فشاری ٢٨ روزه و زمان وی. بی این مخلوط‌ها را نشان داده و در جدول ٦ مشخصات دو مخلوط مبنای این تحقیق بیان شده است.

جدول ٥. دانه‌بندی و حالات دانه‌بندی مورد استفاده

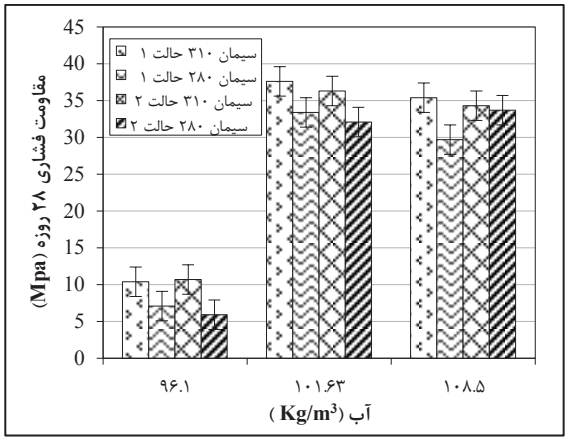
اندازه الک	درصد عبوری از الک		
	حالت دانه‌بندی		دانه بندی PCA
	٢	١	
in١	١٠٠	١٠٠	١٠٠
in٣/٤	٩٨	٩٨	٩٠-١٠٠
in١/٢	٨٥	٨٥	٧٠-٩٠
in٣/٨	٧٥	٧٥	٧٠-٨٥
٤#	٤٠/٧	٤٦/٨	٤٠-٦٠
١٦#	٢٠	٢٠	٢٠-٤٠
١٠٠#	٧	٧	٦-١٦
٢٠٠#	٢	٢	٢-٨
درصد درشت دانه	٥٩/٣	٥٣/٢	
درصد ریزدانه	٤٠/٧	٤٦/٨	

٥. نتایج و تحلیل نتایج

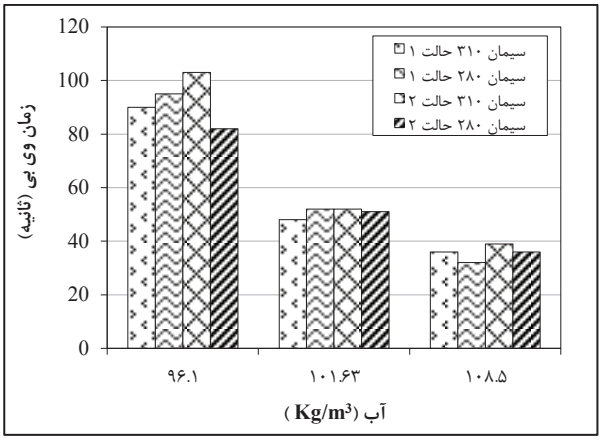
٥-١ ساخت نمونه‌های حاوی خرده آسفالت بازیافتی

در بخش دوم فعالیت‌های آزمایشگاهی این تحقیق تعداد ٦٦ نمونه استوانه‌ای در سه حالت استفاده از خرده آسفالت بازیافتی و درصدهای حجمی مختلف جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی به عنوان بخشی از سنگدانه مخلوط بتن

شکل ٦. آزمایش مقاومت فشاری تک محوری



شکل ۷. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در مقادیر مختلف آب (طرح اختلاط)



شکل ۸. زمان وی‌بی در مقادیر مختلف آب (طرح اختلاط)

جدول ٦. نسبت‌های اختلاط منتخب برای مخلوط‌های مبنا

شماره نسبت اختلاط	مقاومت طراحی (Mpa)	سیمان (Kg/m3)	آب (Kg/m3)	W/C	ریزدانه (Kg/m3)	درشت دانه (Kg/m3)
۱	۴۰	۳۱۰	۱۰۱/۶۳	۰/۳۲	۹۵۲	۱۰۸۴
۲	۳۵	۲۸۰	۱۰۱/۶۳	۰/۳۶	۹۵۲	۱۰۸۴

غلتکی با مشخصات مشروح در جدول۷و۸ ساخته شده و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفت (شکل۹). لازم به ذکر است که جایگزینی برای فاز ریزدانه و درشت دانه مخلوط نسبت به حجم همان فاز اعمال شده است.

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه و زمان وی‌بی برای این نمونه‌ها به شرح اشکال ۱۱ الی ١٤ است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش استفاده از خرده آسفالت بازیافتی، مقاومت فشاری مخلوط کاهش می‌یابد، علت آن را نیز می‌توان در وجود لایه نازک قیر به دور سنگدانه‌های خرده

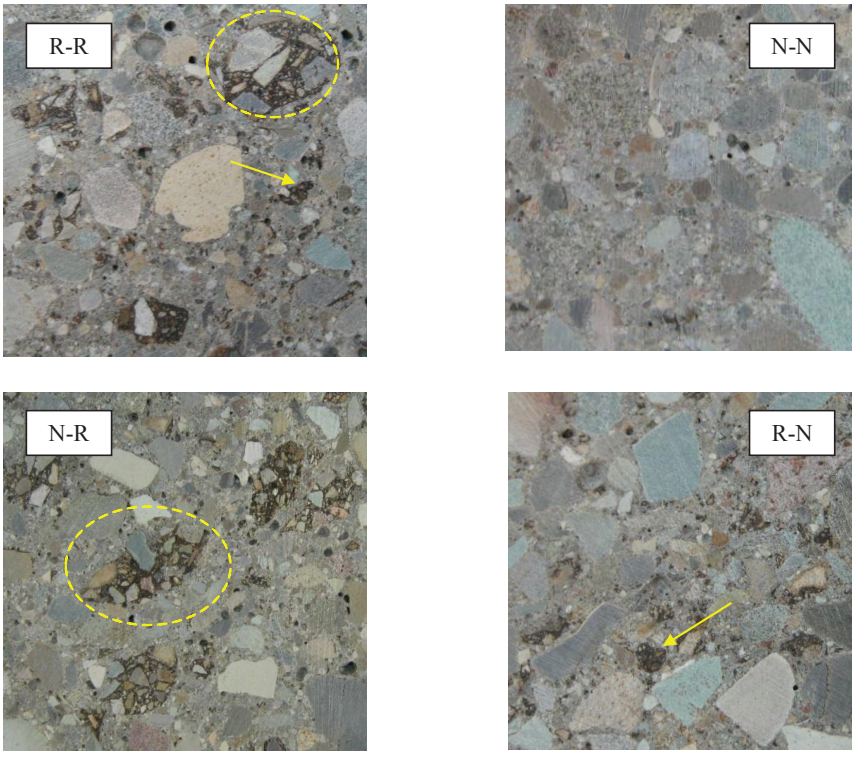
جدول ۷. معرفی علایم اختصاری (حالت استفاده از خرده آسفالت بازیافتی)

علامت اختصاری	ریزدانه	درشت دانه
N-N	طبیعی	طبیعی
R-R	حاوی خرده آسفالت بازیافتی	حاوی خرده آسفالت بازیافتی
R-N	حاوی خرده آسفالت بازیافتی	طبیعی
N-R	طبیعی	حاوی خرده آسفالت بازیافتی

جدول ۸. مشخصات نمونه‌های مرحله دوم

نسبت اختلاط	حالت استفاده از RAP	درصد حجمی جایگزینی* RAP	تعداد نمونه ساخته شده در هر رویکرد
شماره ۱ و ۲	N-N	۰	۳
	R-R	۱۰-۲۰-۴۰	
	R-N	۱۰ -۲۰ -۴۰-۸۰	
	N-R	۱۰-۲۰-۴۰	

* جایگزینی برای فاز ریزدانه و درشت دانه مخلوط نسبت به حجم همان فاز اعمال شده است.



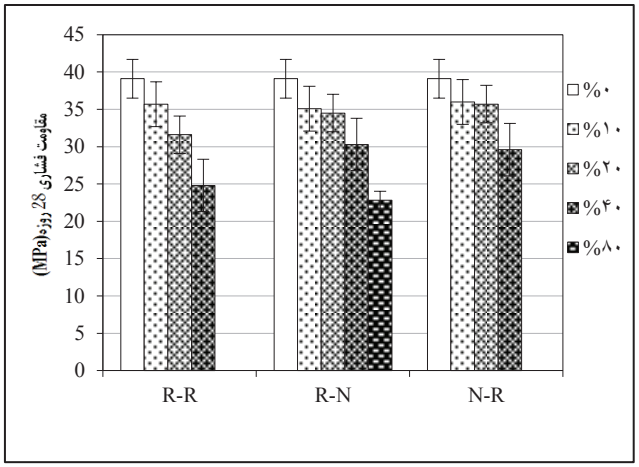
شکل ۹. برش داخلی نمونه های بتن غلتکی در چهار حالت مشروح

آسفالت بازیافتی جست‌وجو نمود، چرا که اثر چسبندگی سطح سنگدانه‌ها به ملات سیمان را کاهش داده و باعث انتقال ترک به دور سنگدانه شده و این امر عملاً مقاومت این نوع سنگدانه‌ها را از چرخه مقاومتی مخلوط خارج می‌کند. شکل ۱۰ نمونه‌ای از انتقال ترک به دور سنگدانه خرده آسفالت بازیافتی این تحقیق را نشان می‌دهد.

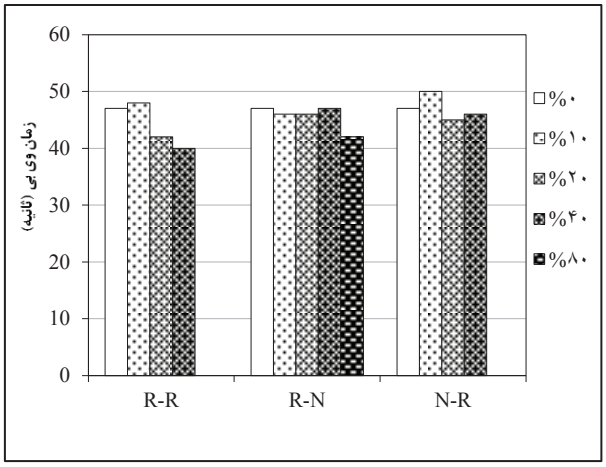
همان‌گونه که از اشکال ۱۱ و۱۳ مشهود است در مورد مخلوط‌هایی که حاوی خرده آسفالت تنها به صورت ریزدانه هستند کاهش مقاومت به ازاء افزایش خرده آسفالت بازیافتی شدت کمتری دارد به گونه‌ای که این تفاوت در درصدهای بالا واضح‌تر می‌شود. علاوه بر این با توجه به اشکال ۱۲ و ۱٤ به نظر می‌رسد که استفاده از خرده آسفالت بازیافتی تاثیر چندانی بر زمان وی.بی (روانی) و مقدار آب مورد نیاز مخلوط نداشته باشد، هر چند که روند زمان وی.بی در قبال افزایش خرده آسفالت بازیافتی کمی نزولی است که نشان دهنده افزایش نسبی روانی است، دلیل این رویداد نیز می‌تواند در چرب بودن سطوح سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی و کاهش اصطکاک بین سنگدانه‌ای باشد. از این روی می‌توان تا حدودی مقدار آب مخلوط را کاهش داده که خود عاملی در افزایش مقاومت مخلوط خواهد بود.

از سوی دیگر، نتایج آزمایشهای روانی، مقاومت فشاری و توصیه ACI325.10R-95 که حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط بتن غلتکی روسازی را ۲۷/٦ مگاپاسکال بیان کرده است، بیان کننده توجیه پذیر بودن استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوطهای بتن غلتکی و به ویژه مخلوطهای با مقاومت طراحی بالا است، به نحوی که درصدهای مجاز جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی وابسته به مقاومت طراحی مخلوط مبنا است.

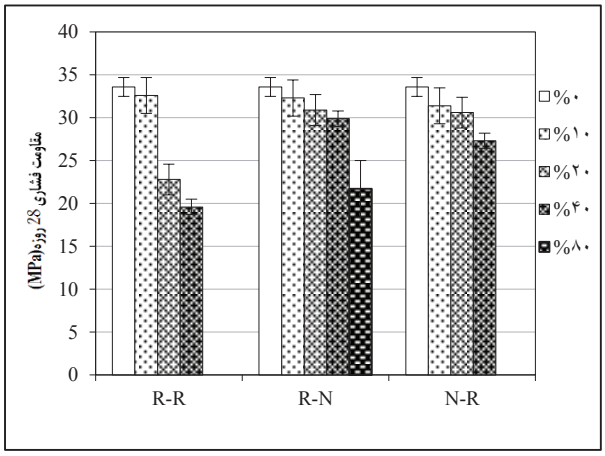
شکل ۱۰. نمونه‌هایی از انتقال ترک به دور سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی



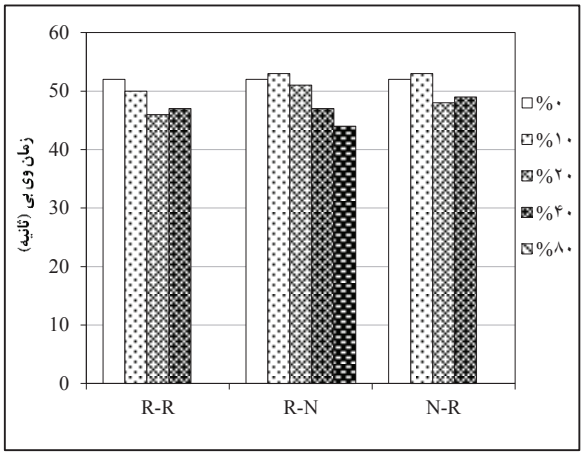
شکل ۱۱. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره۱



شکل۱۲. زمان وی‌بی در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره۱



شکل ۱۳. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره۲بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی



شکل۱٤. زمان وی‌بی در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره۲

۵-۲ تعیین درصدهای مجاز

پس از حصول نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری، معادلات رگرسیونی به منظور تعیین درصدهای مجاز و پیش بینی رفتار این نوع مخلوط‌ها در شرایط مقاومت طراحی مبنای متفاوت تشکیل شد(جدول۹).

معادلات رگرسیون گرفته شده، خطی بوده و توسط نرم افزار SPSS 16.0 انجام پذیرفته است. در زیر، معادلات حاصله به همراه مقادیر ضریب همبستگی R2 و آزمون های t و F آمده است.

چنان که در بخش قبل ذکر شد، حداقل مقاومت فشاری مخلوط بتن غلتکی روسازی ۲۷/٦ مگاپاسکال است [ACI 325, 1995] و با جایگزینی این مقدار در متغیرCs حداکثر درصدهای مجاز استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط‌های بتن غلتکی این تحقیق مطابق با جدول۱۰ حاصل شد.

همان گونه که مشاهده می‌شود، برای جایگزینی در حالت R-R (جایگزینی در هر دو فاز ریزدانه و درشت دانه) در نسبت اختلاط شماره۱، حداکثر درصد مجاز جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی ٪۳۰ است، این در حالی است که همواره ممکن است شرایطی

جدول ۹. معادلات رگرسیون خطی(یک متغیره)

حالت استفاده-شماره نسبت اختلاط	معادله رگرسیون خطی	R2	t-value (PRAP)	t-value (Constant)	F
R-R نسبت اختلاط۱	Cs=39.1 – 0.360(PRAP)	0.999	-40.249	190.788	1.620E3
R-R نسبت اختلاط۲	Cs=34.2 – 0.394(PRAP)	0.791	-1.943	6.371	3.776
R-N نسبت اختلاط۱	Cs=37.513 – 0.182(PRAP)	0.992	-15.741	70.247	247.769
R-N نسبت اختلاط۲	Cs=34.335 – 0.150(PRAP)	0.951	-6.246	30.963	39.018
N-R نسبت اختلاط۱	Cs=39.05 – 0.226(PRAP)	0.917	-3.328	21.691	11.073
N-R نسبت اختلاط۲	Cs=33.05 – 0.141(PRAP)	0.978	-6.690	59.394	44.762

Cs= مقاومت فشاری ۲۸ روزه(Mpa)

PRAP= درصد حجمی خرده آسفالت بازیافتی

جدول ۱۰. حداکثر درصد مجاز خرده آسفالت بازیافتی

حالت استفاده	R-R		R-N		N-R	
شماره نسبت اختلاط	۱	۲	۱	۲	۱	۲
حداکثر درصد مجاز RAP	۳۰	۱۵	۵۰	۴۵	۵۰	۳۵

بر پروژه راهسازی حاکم باشد که جایگزینی سنگدانه از طریق استفاده از سنگدانه خرده آسفالت موجود علاوه بر منافع زیست محیطی، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. نمونه‌ای از این شرایط، عبور از مناطق حفاظت شده زیست محیطی است که استفاده از منابع قرضه را محدود کرده و فواصل حمل مصالح سنگدانه‌ای را طولانی و هزینه بر خواهد نمود.

٦. نتیجه‌گیری

چنان که بیان شد هدف از انجام این تحقیق امکان سنجی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان جایگزین سنگدانه در مخلوط بتن غلتکی و بررسی تاثیر استفاده از این مصالح بر مقاومت فشاری مخلوط بتن غلتکی است. به این منظور نمونه‌های استوانه‌ای با مقادیر و حالت‌های مختلف استفاده از خرده آسفالت بازیافتی ساخته و ضمن کنترل روانی این مخلوط‌ها، پس از ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار داده شدند. نهایتا نتایج حاصل از مجموعه آزمایشهای انجام شده به شرح زیر است:

– استفاده از خرده آسفالت بازیافتی تاثیر چندانی بر روانی و میزان آب مورد نیاز مخلوط بتن غلتکی ندارد و تقریبا زمان وی.بی ثابت است، هرچند که در درصدهای بالای استفاده، مقداری کاهش در زمان وی. بی و افزایش روانی مشهود است و از این روی می‌توان تا حدی مقدار آب مخلوط را کاهش داده که خود عاملی در افزایش مقاومت مخلوط های بتنی است.

– استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی باعث کاهش مقاومت می‌شود که به دلیل سطح چرب و لایه نازک قیر در سطح این سنگدانه‌ها است.

– با توجه به دو مورد فوق می توان بیان کرد که از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان تمام یا بخشی از سنگدانه بتن غلتکی می‌توان استفاده کرد مشروط به آنکه مقاومت فشاری ۲۸ روزه از ٦/۲۷ مگاپاسکال کمتر نشود.

– بیشترین کاهش مقاومت مربوط به مخلوطی است که در هر دو فاز ریزدانه و درشت‌دانه حاوی خرده آسفالت بازیافتی است و پس از آن مخلوطی که تنها در فاز درشت‌دانه حاوی خرده آسفالت بازیافتی است در رده دوم کاهش مقاومت قرار دارد و مخلوطی که تنها در فاز ریزدانه حاوی خرده آسفالت بازیافتی است کمترین کاهش مقاومت را داراست.

– مقادیر درصد مجاز جایگزینی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی با شرط حداقل مقاومت فشاری ٦/۲۷ مگاپاسکال وابسته به مقاومت طراحی مخلوط مبنا است و با تشکیل معادلات رگرسیونی و تعیین درصدهای مجاز استفاده علاوه بر اینکه درصدهای قابل توجهی برای جایگزینی توجیه می شود، مبین افزایش درصدهای مجاز جایگزینی در مخلوط های با مقاومت بالاتر است.

٦. پی نوشتها

1-Recycled Asphalt Pavements
2- Portland Cement Association

۷. مراجع

– عامری، محمود، شکرچی زاده، محمد و شهابی شهمیری، حسین (۱۳۸۸)"بررسی تاثیر استفاده از سرباره کنورتور ذوب آهن اصفهان به عنوان جایگزین سنگدانه بر بتن غلتکی روسازی راه" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ایران، شیراز، دانشگاه

شیراز، اردیبهشت ۱۳۸۸.

– سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۸۵) "راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور"، نشریه شماره ۳۵٤، چاپ اول، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مرکز مدارک علمی و انتشارات.

- ACI Committee 207.5R-99, (1999) "Roller-compacted mass concrete", American Concrete Institute.

- ACI Committee 211(2002) "Guide for selecting proportions for no-slump concrete", American Concrete Institute ,January 11,ACI 211.3R-02.

- ACI Committee 325 (1995) "Report on roller compacted concrete pavement", American Concrete Institute, pp.3-15, ACI 325.10R-95.

- Al Abdul Wahhabh, Hi and Asi, I. M. (1999) "Optimization of roller compacted concrete for local application", Transportation Research Record, No. 1458, pp. 1-7.

- ASTM 39/C 39M – 03,(2003) "Standard practice for compressive strength of cylindrical concrete specimens". USA: American Society for Testing and Materials

- ASTM D558-03,(2003) "Standard test method for moisture-density (Unit Weight) Relations of Soil-Cement Mixtures". USA: American Society for Testing and Materials

- ASTM C1170– 91 (1991) (Reapproved 1998) "Standard test methods for determining consistency and density of roller-compacted concrete using a vibrating table". USA: American Society for Testing and Materials

- ASTM C1176 – 92 (1992) "Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table", USA: American Society for Testing and Materials

- Delhez, P., Willem, X., Michel, F. and Courard, L. (2010) "Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete", Journal of Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 3, March 2010, pp.390-395.

- Guneisi, Erhan, Gesoglu, Mehmet and Ozturan, Turan (2004) "Properties of rubberized concretes containing silica fume", Cement and Concrete Research (2004), Volume: 34, Issue: 12, pp. 2309-2317,

- Hassan, K. E., Brooks, J. J. and Erdman, M.(2007) "The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregates in concrete", Journal Waste Management Series, Volume 1, 2000, pp. 121-128.

- Huang, Baoshan, Shu, Xiang and Li, Guoqiang (2005) "Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements", Cement and Concrete Research, 35, pp. 2008 – 2013.

- Okafor, Fidelis O. (2010) "Performance of recycled asphalt pavement as coarse aggregate in concrete", Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Issue 17, July-December 2010 pp. 47-58.

-Portland Cement Association (1987) "Structural design of roller-compacted concrete for industrial pavements", USA: PCA.

- Sobhan, K. and Mashnad, M. (2001) " Roller-compacted fiber concrete pavement foundation with recycled aggregate and waste plastics" Transportation Research Record, Issue 1775, 2001, p. 53-63.

- US Army Corps Engineers (1994) "Roller compacted concrete" Technical Engineering and Design Guides as adapted from the U.S Army Crops of Engineers, No5, 1994 . pp.3-17.

- Ville De Montreal (2002) "Beton Compacte au Rouleau (BCR) " Devis Technique Normalise", 3VM-30, JUIN 2002.