ارائه مدل رگرسیون خطی جهت پیش بینی درصد مجاز 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

تقی صفرنیا کپته، دانش آموخته کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

E-mail: m_karimi_tmu@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۲ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۷

چکیده:

همه ساله حجم زیادی از مصالح زائد در جهان در حال تولید است که از این بین سهم بسیار کمی به بازیافت و استفاده مجدد تعلق می‌گیرد. خرده‌های آسفالت بازیافتی نوعی از مواد زائد هستند که از نظر زیست محیطی ممکن است اثرات نامطلوبی بر محیط اطراف خود داشته باشند و تاکنون راهکارهای گوناگونی جهت استفاده مجدد این مصالح ارائه شده است. یکی از کاربردهایی که به تازگی مورد توجه قرار گرفته ، استفاده از این مصالح 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 است و دارای شرایطی منحصر به فرد از جهت سادگی اجرا و کم هزینه بودن به عنوان مخلوط پایه است، انتخاب گردید.در این تحقیق مخلوط بتن غلتکی با دو نسبت اختلاط(مقاومت طراحی) مختلف و انواع مختلف جایگزینی سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی و با درصدهای مختلف ساخته شده و پس از ۲۸ روز عمل آوری تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری قرار گرفته شدند. سپس بر مبنای نتایج آزمایشگاهی، معادلات رگرسیونی با ضرایب همبستگی قابل قبول جهت پیش بینی مقاومت فشاری و درصد های مجاز استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی ارائه شد. اعتبار سنجی این مدل ها از طریق استفاده از انواع دیگر خرده آسفالت بازیافتی نیز از دیگر اقدامات صورت پذیرفته در این تحقیق بود.

واژه های کلیدی: بتن غلتکی روسازی، خرده آسفالت بازیافتی، بازیافت، مدل رگرسیون خطی

۱. مقدمه

بتن غلتکی، بتنی است با اسلامپ صفر که برای ساخت رویه‌های راه کاربرد دارد. مزایای عمده این نوع روسازی‌ها که سبب برتری آن نسبت به روسازی‌های آسفالتی و بتنی معمولی گردیده 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 325 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 بسیار کاربرد داشته است [Ville, 2002].

گسترش این روسازی عمدتاً به علت بحران نفتی دهه۷۰ میلادی بوده که باعث افزایش هزینه‌های اجرای روسازی آسفالتی درسطح جهان شده است وکشورهای 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 [AbdulWahhabh et al. 1999]. 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 می‌شود، بعد از آن این گروه از بتن غلتکی برای ساخت باند پرواز در فرودگاه واشنگتن در سال ۱۹٤۲ استفاده کردند. از دیگر موارد کاربرد بتن غلتکی در مقیاس بزرگ در یک محوطه صنعتی در ونکوور کانادا در سال ۱۹۷٦ 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 صورت پذیرفته 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 [CourardLuc et al. 2010]. 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، اما در درصدهای بالاتر کاهش مقاومت گزارش شده است [CourardLuc et al. 2010].

خرده‌های آسفالت بازیافتی که به عنوان مصالحی نخاله‌ای حاصل از بازسازی و تراش رویه‌های آسفالتی حاصل می‌شوند، بخش اعظمی از مصالح دورریز را تشکیل می‌دهند و در اغلب موارد در فرآیند بازیافت مخلوط‌های آسفالتی قرار داشته‌اند، این در حالی است که در صورتی که شرایط بازیافت درجای آسفالت فراهم نباشد و یا به هر دلیلی تصمیم گرفته شود که از سایر انواع رویه‌ها استفاده شود، در آن صورت به دلیل هزینه‌های بالای حمل، احتمالاً این مصالح می‌بایست در نزدیکی مسیر دپو شود که مشابه این مورد همواره در بسیاری از پروژه های بهسازی راه های داخل کشور مرسوم است.

تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از مصالح خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط‌های بتنی صورت نپذیرفته است. محدود تحقیقات انجام شده به بررسی تاثیر استفاده از خرده آسفالت بازیافتی بر مخلوط بتن معمولی پرداخته [Ameri, 2009] 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 می‌باشد. بنابراین در این تحقیق پس از اثبات امکان پذیری استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به عنوان جایگزین سنگدانه در مخلوط

بتن غلتکی به ارائه مدل رگرسیون خطی جهت پیش بینی مقاومت و نیز درصد مجاز استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی پرداخته شده است.

۲. روش تحقیق

این تحقیق منطبق بر مراحل زیر انجام پذیرفت:

الف- تعیین نسبت‌های اختلاط با دو مقاومت طراحی، ب- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای حاوی درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی در سه حالت ۱- جایگزینی در ریزدانه و درشت‌دانه ۲- جایگزینی فقط در ریزدانه ۳- جایزگزینی فقط در درشت‌دانه، مشاهده تاثیر آن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن غلتکی، ج- تشکیل معادلات رگرسیونی جهت پیش بینی درصدهای مجاز خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی با مقاومت های متفاوت، کنترل برآرودهای معادلات رگرسیونی از طریق استفاده از نوع دیگری از خرده آسفالت بازیافتی.

۳. مواد و مصالح بکار رفته

مصالح مورد استفاده در این تحقیق آزمایشگاهی شامل سیمان پرتلند، 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 II با مشخصات جدول۳ مورد استفاده قرار گرفته و آب مصرفی نیز آب شرب شهر تهران و فاقد هیچگونه 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 ۲ ارائه شده است ودانه بندی مورد استفاده دانه‌بندی پیش نهادی PCA2 است که در شکل۱ و دانه بندی خرده آسفالت مورد استفاده قبل و بعد از اکستراکشن در شکل ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱. مشخصات سنگدانه های مصرفی

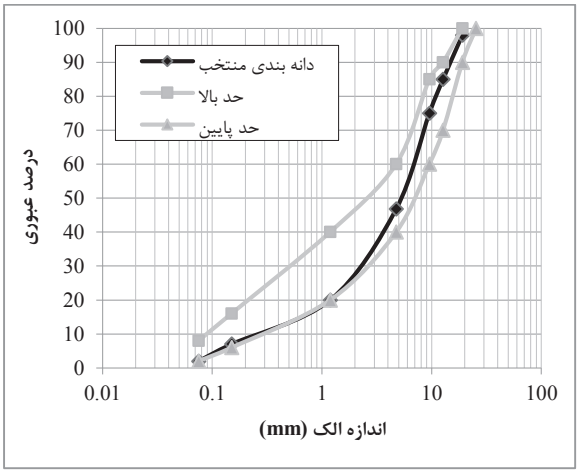
		وزن مخصوص فضایی (Kg/m^3)	درصد جذب آب	مقاومت ساییدگی لوسانجلس
سنگدانه طبیعی	درشت‌دانه	۲۷۷۰	۱/٦۵	۲۱
	ریزدانه	۲٦۱۰	۲/۱	----
خرده آسفالت نوع I	درشت‌دانه	۲٤۰۰	۱/۳۵	----
	ریزدانه	۲۲۰۰	۱/۸	----
خرده آسفالت نوع II	درشت‌دانه	۲۳۳۰	۱/٤۵	----
	ریزدانه	۲۱۵۰	۱/۸۵	-----

جدول ۲. مشخصات خرده آسفالت بازیافتی مورد استفاده

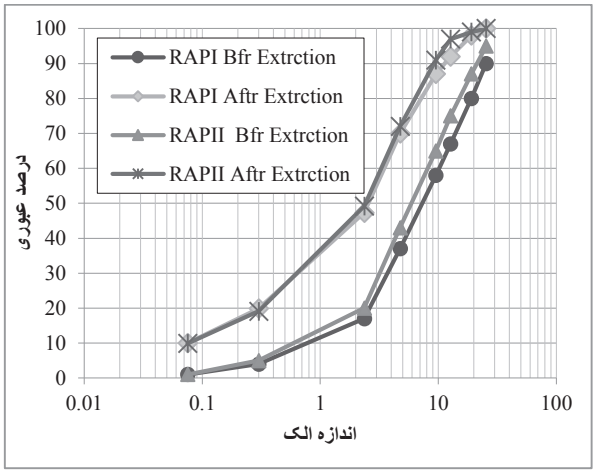
نوع خرده آسفالت	درصد قیر	درجه نفوذ در ۲۵°c (۰/۱ میلیمتر)	مقدار کشش قیر در ۲۵°c (سانتی متر)
RAP I	۵/۲	۱٦	٤/۲
RAP II	۵/۵	۱۵	۳/۸

جدول ۳. مشخصات سیمان تیپ II

وزن مخصوص$(\frac{Kg}{m^3})$	۳۱۵۰
نرمی(بلین) $(\frac{Cm^3}{gr})$	۲۹۹۱
انبساط ٪	۰/۰۲۸
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۱٤٥
زمان گیرش نهایی (دقیقه:ثانیه)	۳:۳۰
مقاومت فشاری ۳ روزه $(\frac{Kg}{Cm^3})$	۲۱۲
مقاومت فشاری ۷ روزه $(\frac{Kg}{Cm^3})$	۳۰٥
مقاومت فشاری ۲۸ روزه $(\frac{Kg}{Cm^3})$	٤۱۰



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. روند آزمایشها

٤-۱ تهیه مخلوط، ساخت نمونه‌ها و معرفی آزمایشها

مراحل ساخت نمونه‌ها در این تحقیق به این شکل بوده است: ۱-تهیه بتن تازه طبق مراحل اختلاط بیان شده در جدول ٤، ۲-کنترل زمان وی بی با استفاده میز ویبره و سربار ۲۲/۷ کیلوگرمی [ASTM C1170, 1998] (زمان وی بی اصلاح شده تحت سربار ۷/۲۲ کیلو گرمی برای بتن غلتکی روسازی بایستی بین ۳۰ تا ٤۰ ثانیه باشد [ACI 325, 1995])، ۳- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای با استفاده از میز ویبره و سربار ۹/۱ کیلوگرمی(شکل ۳) [ASTM C1176, 1992]، ٤- نهایتا نمونه‌ها پس از یک روز از قالب بیرون آورده شده و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب در حالت اشباع عمل‌آوری شدند.

آزمایش مقاومت فشاری (شکل٤) [ASTM39/C 39M, 2003] از آن جهت در دستور کار این پروژه قرار گرفت که طبق توصیه ACI 325، حداقل مقاومت فشاری۲۸ روزه مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی را ۲۷/٦ مگاپاسکال (Psi

جدول٤. مراحل اختلاط در مخلوط کن [DebiebFarid et al. 2009]

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

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

شکل٤. آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

4000) می‌داند. از این روی شرط لازم برای این که یک مخلوط بتن غلتکی دارای خرده آسفالت بازیافتی پذیرش شود، علاوه بر روانی مطلوب، مقدار حداقل مقاومت فشاری فوق الذکر است.

٤-٢ نسبت‌های اختلاط مخلوط پایه

روش تعیین نسبت‌های اختلاط برای این تحقیق روش طرح اختلاط با استفاده از آزمایش روانی بتن است [ACI 211, 2002] . به این منظور دو نسبت مختلف درشت‌دانه به ریزدانه (جدول٥) و نیز دو مقاومت طراحی ۲۸ روزه ٥٠٠٠ و psi ٦٠٠٠ (٣٥ و ٤٠ Mpa) در نظر گرفته شد و محاسبات نسبت‌های اختلاط برای هر چهار حالت انجام پذیرفت. در اشکال ٥و ٦ روند انتخاب مخلوط شاهد از دو نسبت درشت‌دانه به ریزدانه و مقادیر مختلف آب در مخلوط نشان داده شده است.

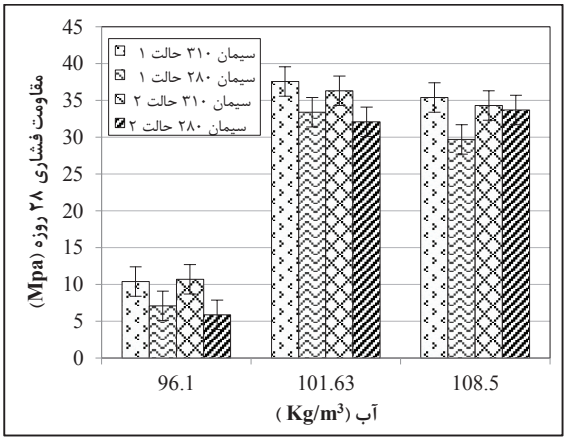
همان‌گونه که از جداول مشخص است، مخلوط‌هایی که بیشترین مقاومت را در زمان وی بی مناسب برای دو عیار سیمان ۳۱۰ و Kg/m3 ۲۸۰ دارند، مربوط به نسبت درشت دانه به ریزدانه شماره ۱ است که نسبت‌های مربوط به دو مخلوط در جدول۷ ومشخصات نمونه های تعیین طرح اختلاط در جدول ٦ نشان داده شده است.

٤-٣ آزمایش مقاومت فشاری بر مخلوط بتن غلتکی حاوی خرده آسفالت بازیافتی

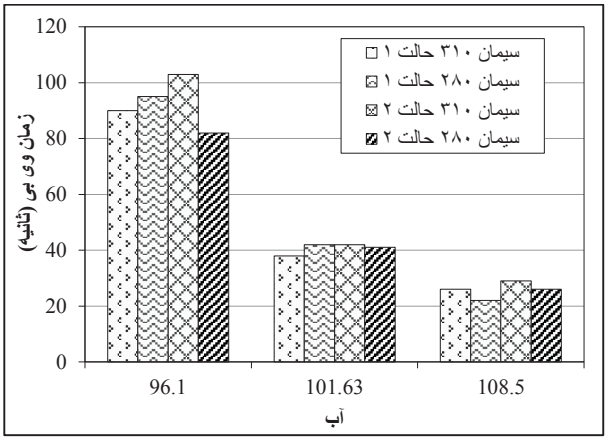
پیش‌بینی می‌شد که رفتار مخلوط‌های بتنی در قبال جایگزینی سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی با کاهش مقاومت فشاری

جدول۵. نسبت های درشت دانه به ریزدانه مورد استفاده در تعیین نسبت های اختلاط

درصد ریزدانه	درصد درشت دانه	No. CA/FA
٤٦/٦	٥٣/٢	١
٤٠/٧	٥٩/٣	٢



شکل ۵. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در مقادیر مختلف آب (طرح اختلاط)



شکل ٦. زمان وی بی در مقادیر مختلف آب (طرح اختلاط)

شکل ۷. نمونه هایی از انتقال ترک به دور سنگدانه های خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی

همراه باشد، چرا که لایه نازک قیر به دور سنگدانه‌ها اثر چسبندگی سطح سنگدانه‌ها به ملات سیمان را کاهش داده و باعث انتقال ترک به دور سنگدانه شده (شکل ۷) و این امر عملاً مقاومت این نوع سنگدانه‌ها را از چرخه مقاومتی مخلوط خارج می‌کند، به علاوه اینکه خود سنگدانه خرده آسفالت بازِیافتی که مجموعه به هم چسبیده‌ای از سنگدانه‌ها به واسطه قیر است، مقاومت کمی دارد.

نمونه های حاوی RAP در سه حالت استفاده (جدول۸)و درصدهای حجمی مختلف جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی ساخته شد و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش مقاومت

جدول ٦. مشخصات نمونه های تعیین نسبت های اختلاط به همراه نتایج زمان وی بی و مقاومت فشاری

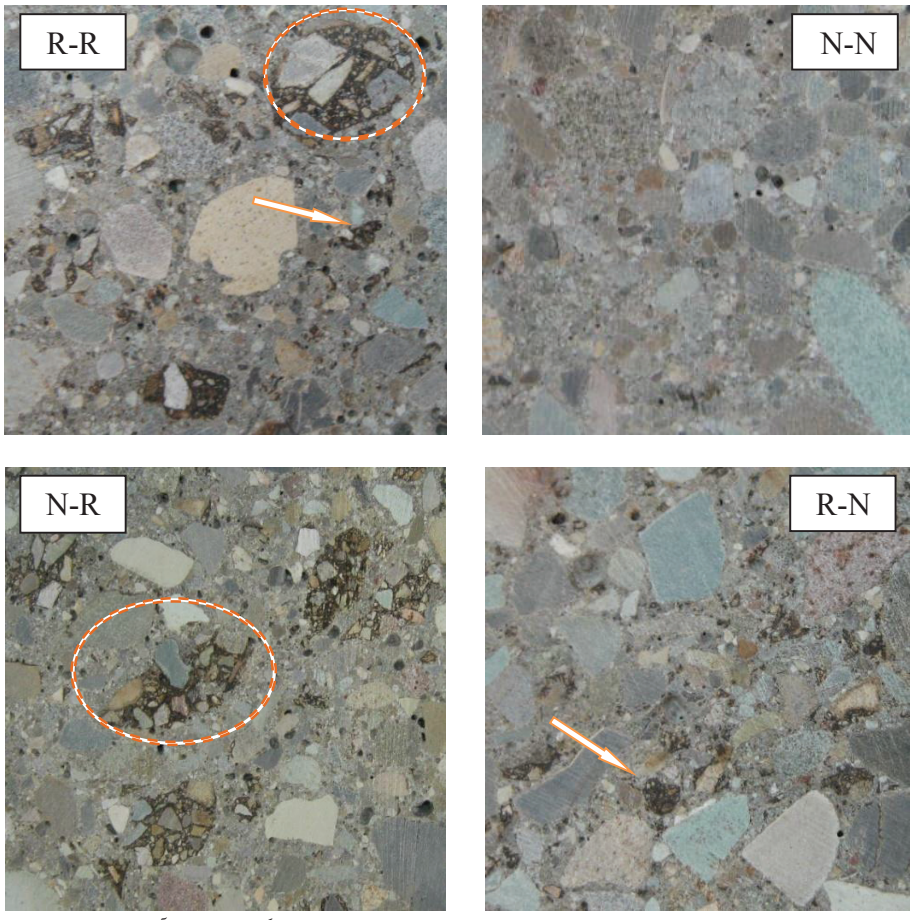
نام نمونه	حالت دانه بندی	سیمان (Kg/m^3)	آب (Kg/m^3)	W/C	زمان وی بی (ثانیه)	شماره نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه(Mpa)	میانگین مقاومت فشاری (Mpa)
						۱	۱۱/۳	
A_1	۱	۳۱۰	۹٦/۱	۰/۳۱	۹۰	۲	۱۲/۱	۱۰/٤
						۳	۷/۸	
						۱	۳٦/٤	
A_2	۱	۳۱۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳۲	٤۸	۲	۳۷/۹	۳۷/٦
						۳	۳۸/۵	
						۱	۳۷/۱	
A_3	۱	۳۱۰	۱۰۸/۵	۰/۳۵	۳٦	۲	۳۳/۲	۳۵/٤
						۳	۳۵/۹	
						۱	٦/۳	
A_4	۱	۲۸۰	۹٦/۱	۰/۳٤	۹۵	۲	۷/۳	۷/۱
						۳	۷/۷	
						۱	۳۳/۲	
A_5	۱	۲۸۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳٦	۵۲	۲	۳۱/٤	۳۳/٤
						۳	۳۵/٦	
						۱	۲۸/٦	
A_6	۱	۲۸۰	۱۰۸/۵	۰/۳۸	۳۲	۲	۳۰/۸	۲۹/۷
						۳	۲۹/۷	
						۱	۱۲/۷	
A_7	۲	۳۱۰	۹٦/۱	۰/۳۱	۱۰۳	۲	۸/۱	۱۰/۷
						۳	۱۱/۳	
						۱	۳٤/٤	
A_8	۲	۳۱۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳۲	٤۲	۲	۳٦/٤	۳٦/۳
						۳	۳۸/۱	
						۱	۳٦/۱	
A_9	۲	۳۱۰	۱۰۸/۵	۰/۳۵	۲۹	۲	۳۳/۲	۳٤/۳
						۳	۳۳/٦	
						۱	۵/٦	
A_{10}	۲	۲۸۰	۹٦/۱	۰/۳٤	۸۲	۲	٦/٤	۵/۹
						۳	۵/۷	
						۱	۳۳/٤	
A_{11}	۲	۲۸۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳٦	۵۱	۲	۳۰/۵	۳۲/۱
						۳	۳۲/٤	
						۱	۳۲/۱	
A_{12}	۲	۲۸۰	۱۰۸/۵	۰/۳۸	۳٦	۲	۳۵/٤	۳۳/۷
						۳	۳۳/٦	

جدول ۷. نسبت های اختلاط منتخب برای مخلوط های مبنا

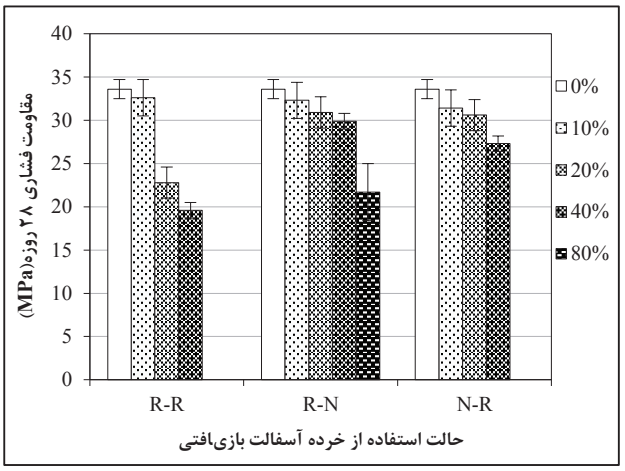
شماره نسبت اختلاط	مقاومت طراحی(Mpa)	سیمان (Kg/m^3)	آب (Kg/m^3)	W/C	ریزدانه (Kg/m^3)	درشت دانه(Kg/m^3)
۱	٤۰	۳۱۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳۲	۹٥۲	۱۰۸٤
۲	۳٥	۲۸۰	۱۰۱/٦۳	۰/۳٦	۹٥۲	۱۰۸٤

جدول ۸ . معرفی علایم اختصاری (حالت استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در فاز ریزدانه و یا درشت دانه مخلوط)

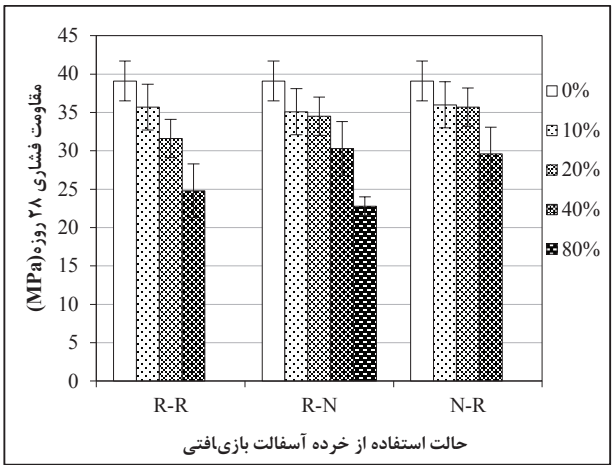
علامت اختصاری	ریزدانه	درشت دانه
N-N	طبیعی	طبیعی
R-R	خرده آسفالت بازیافتی	خرده آسفالت بازیافتی
R-N	خرده آسفالت بازیافتی	طبیعی
N-R	طبیعی	خرده آسفالت بازیافتی



شکل ۸ . برش داخلی نمونه های بتن غلتکی در نمونه شاهد و سه حالت جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی



شکل ۹. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره ۱



شکل ۱۰. مقاومت فشاری ۲۸ روزه در درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی برای نسبت اختلاط شماره۲

فشاری قرار گرفتند (شکل ۸).

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه و زمان وی‌بی برای این نمونه‌ها به شرح اشکال ۹و۱۰ و جداول ۹ و ۱۰ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش استفاده از خرده آسفالت بازیافتی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

۵. ارائه مدل پیش بینی درصدهای مجاز

۵-۱ تشکیل معادلات رگرسیون خطی وتعیین 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 (جدول۱۱).

طبق توصیه ACI 325 که حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط بتن غلتکی روسازی را ۲۷/٦ مگاپاسکال (٤۰۰۰ psi) معرفی کرده است. معادلات رگرسیون دو متغیره فوق را با جایگزینی مقدار ۲۷/٦ مگاپاسکال در متغیر Cs مجدداً بازنویسی کرده و به این ترتیب متغیر درصد خرده آسفالت بازیافتی، معرف حداکثر درصد مجاز خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی شد که در جدول۱۲ با علامت اختصاری MPRAP1 نشان داده شده است.

۵-۲ کنترل پیش بینی معادلات رگرسیونی

به منظور مشاهده عملی پیش بینی‌ها، تعداد ۲۷ نمونه جدید با مقادیر درصد خرده آسفالت بازیافتی پیش‌بینی شده و با استفاده از نوع دیگری از خرده آسفالت بازیافتی(RAP II) ساخته شد(جدول ١٤ و ١٥). شکل۱۱و ۱۲ درصد فراوانی خطای این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نمودارها مشاهده می‌شود، به ترتیب ٪۹۰ و ٪٦۱ نتایج آزمون مربوط به RAP I و RAPII خطای کمتر از ٪۱۰ را نشان داده‌اند که موید اعتبار مناسب پیش بینی مدل هاست.

از نتایج آزمایش های مقاومت فشاری نمونه های حاوی RAPII می توان متوجه شد که جنس RAP، درصد قیر و جنس قیر موجود در آن تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری کامپوزیت به وجود آمده نداشته است.

٦. نتیجه گیری

همان گونه که شرح داده شد، هدف از این تحقیق ارائه مدل های مناسب جهت پیش بینی درصد مجاز استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط های بتن غلتکی روسازی بوده است، به این منظور نمونه های بتن غلتکی حاوی خرده آسفالت بازیافتی با دو نسبت اختلاط (مقاومت طراحی) مختلف و درسه نوع جایگزینی سنگدانه‌های خرده آسفالت بازیافتی و نیز با درصدهای مختلف خرده آسفالت بازیافتی ساخته و پس از ۲۸ روز عمل آوری تحت

جدول ۹. نتایج مرحله اول تاثیر خرده آسفالت بازیافتی بر بتن غلتکی(نسبت اختلاط شماره۱)

نام نمونه	شماره نسبت اختلاط	حالت استفاده از خرده آسفالت بازیافتی	درصد حجمی جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی	زمان وی بی (ثانیه)	شماره نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	میانگین مقاومت فشاری (Mpa)
					۱	۳۶/۵	
B_1	۱	شاهد	-	٤٧	۲	٤۱/٤	۳۹/۱
					۳	۳۹/٤	
					۱	۳۷/۱	
B_2	۱	R-R	۱۰	٤٨	۲	۳۳/۹	۳۵/۷
					۳	۳٦/۲	
					۱	۳۱/۸	
B_3	۱	R-R	۲۰	٤۲	۲	۲۹/۳	۳۱/٦
					۳	۳۳/۷	
					۱	۲۳/۵	
B_4	۱	R-R	٤۰	٤۰	۲	۲۵/۲	۲٤/۸
					۳	۲۵/۸	
					۱	۳۰/۱	
B_5	۱	R-N	۱۰	٤٦	۲	۳۸/٤	۳۵/۱
					۳	۳٦/۷	
					۱	۳۸/۲	
B_6	۱	R-N	۲۰	٤٦	۲	۳۱/٦	۳٤/۵
					۳	۳۳/۷	
					۱	۳٤/۳	
B_7	۱	R-N	٤۰	٤۷	۲	۲۷/۵	۳۰/۳
					۳	۲۹/۲	
					۱	۲۲/۹	
B_8	۱	R-N	۸۰	٤۲	۲	۲۲/۲	۲۲/۸
					۳	۲۳/٤	
					۱	۳۸/۳	
B_9	۱	N-R	۱۰	۵۰	۲	۳۷/۷	۳٦/۰
					۳	۳۲/۱	
					۱	۳٤/۵	
B_{10}	۱	N-R	۲۰	٤۵	۲	۳۷/٦	۳۵/۷
					۳	۳۵/۲	
					۱	۲۵/۵	
B_{11}	۱	N-R	٤۰	٤٦	۲	۳۳/۳	۲۹/٦
					۳	۳۰/۲	

جدول ۱۰. نتایج مرحله اول تاثیر خرده آسفالت بازیافتی بر بتن غلتکی(نسبت اختلاط شماره۲)

نام نمونه	شماره نسبت اختلاط	حالت استفاده از خرده آسفالت بازیافتی	درصد حجمی جایگزینی خرده آسفالت بازیافتی	زمان وی بی (ثانیه)	شماره نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	میانگین مقاومت فشاری (Mpa)
					۱	۳۳/۷	
B_{12}	۲	شاهد	-	۵۲	۲	۳۲/٤	۳۳/٦
					۳	۳٤/۷	
					۱	۳۲/۲	
B_{13}	۲	R-R	۱۰	۵۰	۲	۳۳/۷	۳۲/٦
					۳	۳۱/۹	
					۱	۲۱/۸	
B_{14}	۲	R-R	۲۰	٤٦	۲	۲۳/٤	۲۲/۸
					۳	۲۳/۲	
					۱	۱۸/٦	
B_{15}	۲	R-R	٤۰	٤۷	۲	۲۰/۵	۱۹/٦
					۳	۱۹/۷	
					۱	۳۱/۰	
B_{16}	۲	R-N	۱۰	۵۳	۲	۳٤/۲	۳۲/۳
					۳	۳۱/۷	
					۱	۳۲/۸	
B_{17}	۲	R-N	۲۰	۵۱	۲	۲۹/۷	۳۰/۹
					۳	۳۰/۲	
					۱	۲۷/٦	
B_{18}	۲	R-N	٤۰	٤۷	۲	۳۳/۱	۲۹/۹
					۳	۲۹/۲	
					۱	۲۵/۰	
B_{19}	۲	R-N	۸۰	٤٤	۲	۱۹/۰	۲۱/۷
					۳	۲۱/۳	
					۱	۳۰/۱	
B_{20}	۲	N-R	۱۰	۵۳	۲	–	۳۱/٤
					۳	۳۲/۷	
					۱	۳۲/۱	
B_{21}	۲	N-R	۲۰	٤۸	۲	۳۰/٤	۳۰/٦
					۳	۲۹/۳	
					۱	۲۷/٤	
B_{22}	۲	N-R	٤۰	٤۹	۲	۲٦/۸	۲۷/۳
					۳	۲۷/۸	

جدول ۱۱. معادلات رگرسیون خطی(دو متغیره)

حالت استفاده	معادله رگرسیون خطی	R^2	t-value (TCs)	t-value (PRAP)	t-value (Constant)	F
R-R	Cs=-1.022 – 0.377(PRAP) + 1.036(TCs)	0.902	2.729	-4.505	-0.073	13.871
R-N	Cs=22.871– 0.166(PRAP) + 0.359(TCs)	0.955	2.644	-11.938	4.594	74.758
N-R	Cs=9.614– 0.184(PRAP) + 0.727(TCs)	0.931	4.200	-4.808	1.508	20.380

Cs= مقاومت فشاری ۲۸ روزه(Mpa)

TCs= مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط مبنا (Mpa)

PRAP= درصد حجمی خرده آسفالت بازیافتی

جدول ۱۲. معادلات پیش بینی درصد مجاز خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی

حالت استفاده	معادلات پیش بینی درصد مجاز RAP	مقاومت مبنا متناظر با درصد مجاز صفر(Mpa)
R-R	MPRAP= -75.92 + 2.748(TCs)	۲۷/۶۲
R-N	MPRAP= -28.48 + 2.16(TCs)	۱۳/۱۸
N-R	MPRAP= -97.75 + 3.95(TCs)	۲۴/۷۴

MPRAP= حداکثر درصد مجاز خرده آسفالت بازیافتی

TCs= مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط مبنا

جدول ۱۳. 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

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری قرار گرفتند نهایتاً نتایج حاصل از این آزمایشها مبنای ساخت مدل‌های رگرسیون خطی قرار گرفت که بر این اساس می‌توان به نتایج زیر اشاره کرد:

۱- روابطی با R-square قابل قبول جهت پیش بینی درصد مجاز استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط بتن غلتکی در هر حالت استفاده (تنها در ریزدانه، تنها در درشت دانه و یا ترکیبی از هر دو) برای مقاومت های طراحی مختلف ارائه شد.

۲- آزمون های آماری t و F مبین اعتبار قابل قبول برای ضرایب و معادلات بودند.

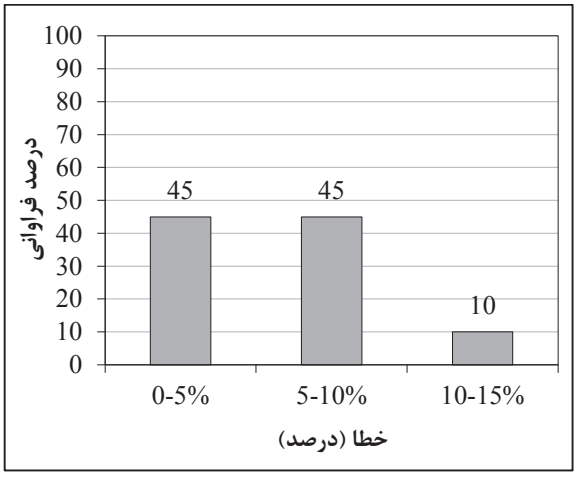
۳- کنترل پیش بینی انجام شده برای دو نوع خرده آسفالت بازیافتی نوع ۱ و۲ ضمن اثبات اعتبار مدل‌های ارائه شده، حاکی از آن است که احتمالا رفتار مخلوط بتن غلتکی در قبال استفاده از انواع گوناگون خرده آسفالت بازیافتی با درصدهای قیر و جنس قیر متفاوت تقریبا یکسان است.

جدول ۱۴. نتایج کنترل پیش بینی (استفاده از خرده آسفالت نوع اول)

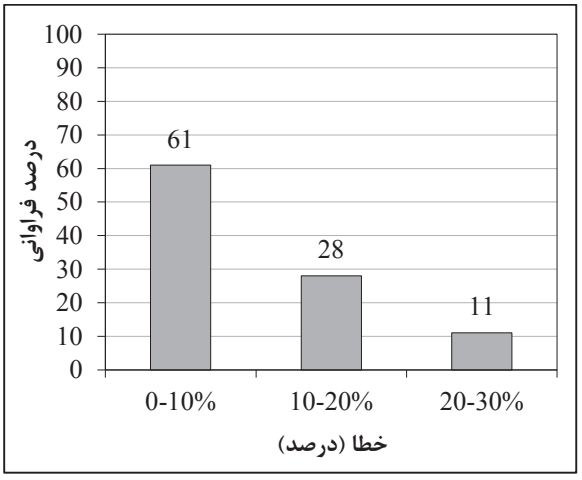
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)		
C_1	C_2	C_3
٪۳۰R-R	٪۵۰R-N	٪۵۰N-R
۲۶/۹	۲۳/۵	۲۶
۲۸/۱	۲۵/۲	۲۸/۹
۲۵/۳	۲۶/۸	۲۵/۸

جدول ۱۵. نتایج کنترل پیش بینی (استفاده از خرده آسفالت نوع دوم RAPII)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه(Mpa)					
نسبت اختلاط ۱			نسبت اختلاط۲		
C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
٪۳۰R-R	٪۵۰R-N	٪۵۰N-R	٪۱۵R-R	٪۴۵R-N	٪۳۵N-R
۲۲/۱	۲۸/۶	۲۰/۶	۲۷/۱	۲۸/۴	۲۴/۲
۲۳/۴	۲۷/۲	۲۴/۱	۲۵/۹	۲۹/۵	۲۸/۲
۲۵/۶	۲۹/۱	۲۱/۷	۲۶/۴	۲۸/۹	۲۵/۱



شکل ۱۱. نمودار درصد فراوانی خطای نتایج کنترل پیش بینی (استفاده از RAP I)



شکل ۱۲. نمودار درصد فراوانی خطای نتایج کنترل پیش بینی (استفاده از RAP II)

۷. پی نوشت

1- Maximum Percentage of RAP

۸. مراجع

-عامری، شهمیری(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.

-Al AbdulWahhabhi, Hl (1999) "Optimization of roller compacted concrete for local application", Transportation Research Record, No. 1458, pp. 1-7.

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

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

-ASTM 39/C 39M – 03, (2003)”Standard practice for compressive strength of cylindrical concrete specimens”, USA: ASTM

-ASTM C1170 – 91, (1998) "Standard test methods for determining consistency and density of roller-compacted concrete using a vibrating table", USA: ASTM

-ASTM C1176 - 92, (1992)” standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table”.

-CourardLuc, Frédéric Michel and Pascal, Delhez (2010) “Use of concrete road recycled aggregates for roller compacted concrete”, Journal Construction and Building Materials, 24 pp. 390–395’.

-Debieb, Farid, Courard, Luc, Kenai, Said and Degeimbre, Robert (2009) “Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates”, Construction and Building Materials, 23 pp.3382–3387.

-De Montreal Ville (2002) "Beton Compacte au Rouleau (BCR) "Service de l Environnement , DE LA Division Des Laboratoires, BCR.

-Huang, Baoshan and ShuXiang, LitGuoqiang (2005) “Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements”, Cement and Concrete Research, 35 2008 – 2013.