Archive of SID

امکان سنجی استفاده از مصالح بازیافتی بتن های آلوده شده نفتی به عنوان مصالح زیربالاست در خطوط ریلی

سید حسن مرفع (نویسنده مسئول)، هیات علمی (مربی)، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

محمد جواد حیدری افشار، دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

امیرحسین صعصعی، دانش‌آموخته کارشناسی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

E-mail: h.morafa@cmu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹٦/۰۵/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵

چکیده

با افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به احداث زیرساخت‌های حمل و نقل، به ویژه حمل و نقل ریلی، و با توجه به کاهش مصالح طبیعی، استفاده از مصالح بازیافتی در جهان رو به گسترش است. یکی از منابع مهم مصالح بازیافتی، بتن‌های آلوده نفتی مربوط به سکوها و اسکله‌های نفتی می‌باشند که در معرض آب دریا نیز هستند. در این مقاله، ابتدا نمونه‌های مکعبی بتنی آلوده به نفت در درصدهای مختلف شامل ۱٪، ۲٪، ٤٪ و ۶٪ ساخته شد. عمل‌آوری این نمونه‌ها در آب دریا (دریای عمان- ساحل چابهار) صورت گرفت. نمونه‌ها پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری ، تحت شرایط آزمایشگاهی شکسته و خرد شدند. در ادامه، مصالح بازیافتی آلوده به نفت، الک شده و امکان استفاده از آنها، بعنوان مصالح زیربالاست در خطوط راه آهن بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق استانداردهای ASTM و AASHTO مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش‌ها شامل دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ، تعیین حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه برای تراکم مصالح، تعیین ارزش ماسه‌ای مصالح، نسبت باربری کالیفرنیا، تعیین سایش مصالح به روش لس‌آنجلس و جذب آب مصالح بازیافتی می‌شوند. برای بررسی و مقایسه نتایج، نشریه "مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن" (نشریه ۳۰۱) ملاک عمل قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مصالح بازیافتی بتنی با درصدهای مختلف آلودگی نفتی ضوابط آیین‌نامه‌ای را به صورت کامل برآورده می‌کنند و امکان استفاده از آنها به عنوان مصالح زیربالاست در روسازی راه آهن ممکن است.

واژه های کلیدی: بتن آلوده نفتی، راه آهن، کنترل کیفیت، مصالح زیربالاست

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

سنگدانه بتن بازیافتی به سنگدانه‌ای اطلاق می‌شود که از فرآوری مصالحی بدست می‌آید که قبلا در ساخت و ساز استفاده شده و از بتن خرد شده تشکیل گردیده است است. امروزه به دلیل محدودیت منابع، محققین به دنبال استفاده از صنعت بازیافت در تمامی زمینه‌ها هستند. مروری بر تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که از این مصالح می‌توان با رضایت قابل قبولی در مقایسه با مصالح طبیعی، به عنوان بتن، آسفالت، بستر سازی خطوط لوله، لایه‌های اساس و زیراساس در راه، خاکریز و ... استفاده کرد. [Barbudo, Agrela, Ayuso, Jiménez, and Poon, 2012; De Brito, Ferreira, Pacheco, Soares, and Guerreiro, 2016; Ebrahim Abu El-Maaty Behiry, 2013; Fan, Huang, Hwang, and Chao, 2016; Garach et al. 2015; Jiménez, Ayuso, Agrela, López, and Galvín, 2012; Jiménez, 2013; Ossa, García, and Botero, 2016; Paranavithana and Mohajerani, 2006; Poon and Chan, 2007] .

همچنین عملیات ساخت و ساز و تخریب حجم وسیعی از نخاله-های ساختمانی حاصل از پسماندهای جامد را تولید می‌کند که دپوی آنها در طبیعت اثرات زیست‌محیطی مخربی را به همراه خواهد داشت. از اینرو بحث بازیافت آنها خصوصا در خطوط حمل و نقل در بسیاری از کشورها مورد توجه ویژه قرار گرفته است. به عنوان نمونه در جدول ۱ به مقادیر و میزان بازیافت این مصالح در کشورهای مختلف اروپائی اشاره شده است . [Özalp, Yilmaz, Kara, Kaya, and Şahin, 2016]

همچنین تحقیقات زیادی نیز در داخل کشور به استفاده از مصالح بازیافتی با هدف توسعه پایدار و حفظ محیط زیست پرداخته است.

[Amiri, Nasrolahi and Sadeghi, 2013; Ghandi Jelvani, Vafaeian, Abtahi and Javid, 2011; Ghandi Jelvani, Vafaeian and Javid, 2012; Lotfipour, Erfaniannia, Safari and Heidari, 2014; Torabi-Khodashahri, Abdinejad-Nohadani, Shafiee-Cheirani and Poursafar, 2015].

بر اساس تعریف، روسازی راه‌آهن بدنه اصلی آن است که وظیفه تحمل، انتقال و توزیع بار وارده از چرخ‌های ناوگان به بستر (زیرسازی) را بر عهده دارد. روسازی متداول خط راه‌آهن از دو ریل ممتد موازی، تراورس‌های عمود بر ریل، لایه بالاست و زیربالاست، ادوات اتصال و عایق‌بندی آنها تشکیل می‌شود [Management and Planning Organization, 2005].

به طور معمول، مصالح طبیعی همچون خرده سنگ و شن در لایه زیربالاست مورد استفاده قرار می‌گیرند. علیرغم این که طی دو دهه گذشته، تحقیقات گسترده‌ای برای بررسی امکان استفاده از سنگدانه های بتنی بازیافتی در لایه‌های مختلف راه به منظور فراهم آوردن گزینه عملی برای استفاده از نخاله‌های ساخت و ساز انجام گرفته است، لیکن بر اساس بررسی‌های نویسندگان این مقاله، تحقیق مشابهی وجود ندارد که در آن استفاده از این مصالح به عنوان مصالح زیربالاست مورد بررسی قرار گرفته باشد. بنابراین با توجه به تشابه زیاد دانه‌بندی و سایر پارامترهای کیفی این لایه با لایه‌های اساس و زیراساس در راه، چند مورد از کاربرد این مصالح در راه مورد بررسی و مرور قرار گرفته است.

در تحقیقی، مشخصات یک نمونه اساس راه که با استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی حاصل از تخریب یک روسازی بتنی با مقاومت طرح ۲۰ مگا پاسکال ساخته شده بود بررسی گردید [Chini, Kuo, Armaghani, and Duxbury, 2001]. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که نمونه اساس راه همه ملزومات استانداردها به غیر از آزمایش افت وزنی با سولفات سدیم را با موفقیت پشت سر گذاشت. نویسندگان درباره آزمایش افت وزنی با سولفات سدیم اینگونه بیان کردند که مقدار ملات چسبیده به سنگدانه‌های بازیافتی باعث افزایش مقدار افت وزنی در این آزمایش شده است. پارک [Park, 2003] مشخصات فیزیکی و تراکمی دو سنگدانه بازیافتی متفاوت بدست آمده از پروژه نوسازی مسکن و پروژه تعویض روسازی بتنی را مورد آزمایش قرار داد و ضمن بررسی جذب آب، روابطی بین رطوبت و چگالی برای هردو حالت بدست آوردند. تحقیقات مولنار و ون

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. حجم تولید و نرخ بازیافت زباله‌های ساخت و ساز در کشورهای مختلف اروپائی [Özalp et al. 2016]

کشور	زباله های ساخت و ساز (میلیون تن)	بازیافت مصالح (درصد)	کشور	زباله های ساخت و ساز (میلیون تن)	بازیافت مصالح (درصد)
دانمارک	۵/۲۷	۹٤	هلند	۲۳/۹	۹۸
استونی	۱/۵۱	۹۲	لهستان	۳۸/۱۹	۲۸
فنلاند	۵/۲۱	۲٦	پرتغال	۱۱/٤۲	۵
فرانسه	۸۵/٦۵	٤۵	اسپانیا	۳۱/۳٤	۱٤
آلمان	۷۲/٤۰	۸٦	سوئد	۱۰/۲۳	۰
یونان	۱۱/۰٤	۵	انگلستان	۹۹/۱۰	۷۵
ایتالیا	٤٦/۳۱	۰	رومانی	۲۱/۷۱	۰

نیکرک [Molenaar and van Niekerk, 2002] نیز نشان می‌دهد که مشخصات مکانیکی لایه اساس ساخته شده با بتن بازیافتی عمدتا به درجه تراکم بستگی دارد. هانسن و آنجلو [Hansen and Angelo, 1985] دریافتند که امکان افزایش مشخصات مهندسی خاک‌های رسی برای انجام کارهای خاکی به وسیله مخلوط کردن این خاک‌ها با سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی مقدور است. در کشور ما نیز سالیانه حجم وسیعی از مصالح حاصل از ساخت و ساز و تخریب فقط به عنوان نخاله دفع شده سنگدانه‌های طبیعی و همچنین بروز مشکلات بسیاری برای نسل‌های آینده ندارد. از طرف دیگر، کشور ایران با داشتن دومین منابع بزرگ نفت در جهان و مرز دریایی داشتن با خلیج فارس و پهلوگیری نفتکش‌ها، بسیاری از اسکله‌ها و سکوهای نفتی که مقادیر زیادی بتن در خود جای داده‌اند در معرض آلودگی‌های ناشی از نفت و مشتقات آن قرار دارند. از اینرو در این مقاله مطالعات آزمایشگاهی جهت امکان‌سنجی استفاده از مصالح بازیافتی بتن آلوده نفتی در لایه زیربالاست راه آهن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. روند انجام پژوهش

برای مدل کردن شرایط بتن آلوده نفتی موجود در اسکله‌ها و سکوهای نفتی ابتدا با استفاده ازسنگدانه‌های طبیعی شهر چابهار و طبق طرح اختلاط مشخص اقدام به ساختن نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف آلودگی نفتی شامل ۱، ۲، ٤ و ٦ درصد، گردید. با توجه به استفاده غالب از سیمان تیپ ۲ خاش در اکثر پروژه‌های بندر چابهار، در این پژوهش نیز از این سیمان استفاده گردید. از هر درصد آلودگی به نفت، چهار نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتری ساخته شد. سپس نمونه های مذکور برای مدت ۳ ماه به محیط دریایی خلیج چابهار انتقال یافته و در شرایط جزر و مدی قرار گرفتند (شکل ۱). پس از انجام تست مقاومت فشاری روی نمونه‌ها (ذکر این نکته ضروری است که تاثیر نفت بر کاهش و صرفا جهت پرکردن دره‌ها و ایجاد دپوهای وسیع به کار می‌رود که هیچ نتیجه‌ای غیر از تخریب و آلودگی محیط‌زیست و تحمیل هزینه‌های بسیار گزاف بر طرح‌های عمرانی برای استخراج مقاومت بتن هدف اصلی این مقاله نیست)، آنها را خرد کرده و بر اساس استانداردهای ASTM[1] و یا آشتو، نمونه‌های بازیافت شده، پس از دانه‌بندی مورد آزمایش‌های کنترل کیفیت زیربالاست مندرج در نشریه ۳۰۱ راه‌آهن (مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن) واقع گردیدند.

کنترل کیفیت زیربالاست بر اساس نشریه ۳۰۱ از طریق آزمایش-هایی شامل تعیین حد روانی و خمیری، نسبت باربری کالیفرنیا (CBR^2)، تراکم پروکتور اصلاح شده و تعیین درصد سایش

www.SID.ir

Archive of SID

انجام می‌شوند. در این پژوهش، علاوه بر این، آزمایش‌های دیگری نظیر تطویل، تورق، ارزش ماسه‌ای و جذب آب نیز برای تعیین مشخصات این سنگدانه‌ها و امکان‌سنجی استفاده از آن‌ها در لایه زیربالاست انجام گرفتند.

ضمنا به جهت سهولت، برای معرفی نمونه‌های حاوی ۱، ۲، ٤، ٦ درصد نفت و مصالح بکر (شاهد) بترتیب از نمادهای A (1%) ، B (2%)، C (4%)، D (6%) و شاهد استفاده شده است. لازم به توضیح است که درصدهای نفت بالاتر از مقادیر فوق، غیر قابل استفاده بوده و از بتن پس زده می‌شد.

۳. آزمایش‌ها و نتایج آن

۳-۱ مقاومت فشاری نمونه های بتنی

نتایج تست مقاومت فشاری بر روی این نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل بوضوح مشخص است که آلودگی نفتی تاثیر بسزایی بر کاهش مقاومت فشاری بتن دارد. این کاهش مقاومت به حدود ۷ مگاپاسکال (حدود ۲۰ درصد) می‌رسد. البته یادآور می‌شود بررسی این مشخصه هدف اصلی این پژوهش نیست.

۳-۲ دانه‌بندی مصالح و حدود اتربرگ

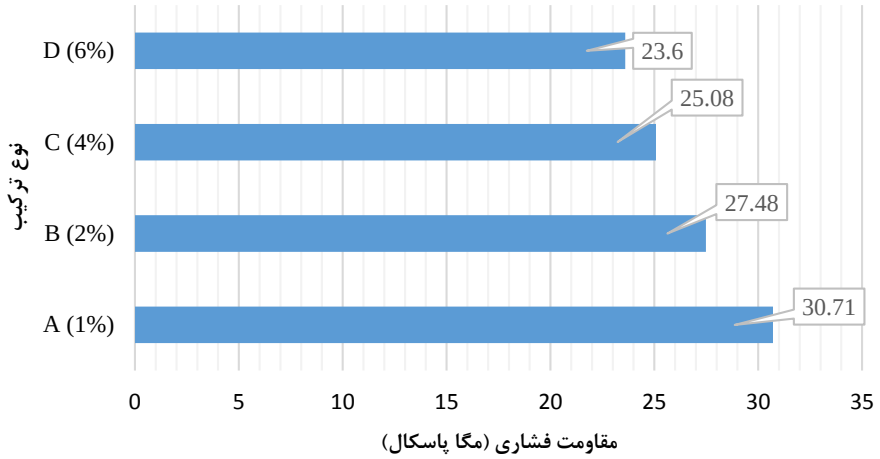
پس از بازیافت و خرد کردن مصالح با استفاده از سنگ‌شکن آزمایشگاهی، مصالح مورد دانه‌بندی قرارگرفتند. با توجه به الزامات نشریه ۳۰۱ آزمایش دانه‌بندی باید بر اساس روش استاندارد ASTM-C136 انجام گیرد و دانه‌بندی زیربالاست باید مطابق یکی از گروه‌های ۱ تا ۳ جدول ۲ باشد.

ضمنا با توجه به توصیه این آیین‌نامه مبنی بر برتری نسبی دانه‌بندی گروه ۱، این گروه، به عنوان دانه‌بندی هدف (شکل ۳) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین دانه‌بندی اولیه مصالح بازیافتی در شکل ٤ آورده شده است. ضمنا پس از انجام آزمایش حدود اتربرگ، مشخص گردید که مصالح مورد استفاده غیر خمیری (NP^3) هستند.

شکل ۱. آماده سازی نمونه ها در آزمایشگاه و انتقال به محیط جزر و مدی خلیج چابهار

www.SID.ir

Archive of SID



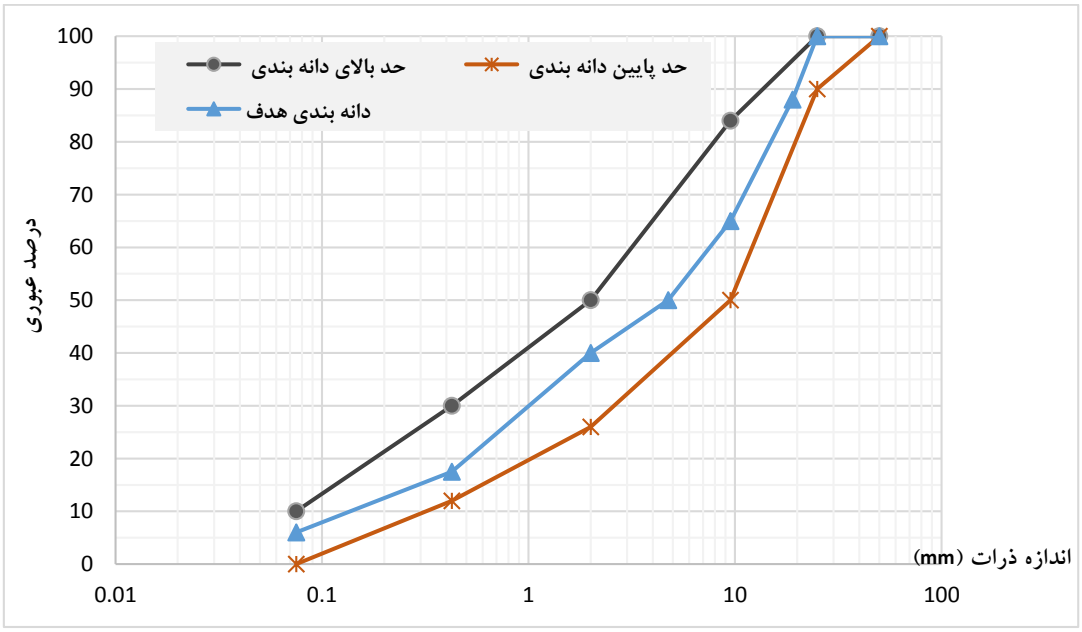
شکل ۲. مقاومت فشاری نمونه های بتنی آلوده نفتی

جدول ۲. درصد وزنی عبوری مجاز از الک‌های مختلف برای زیربالاست مصرفی در راه آهن ایران (نشریه ۳۰۱)

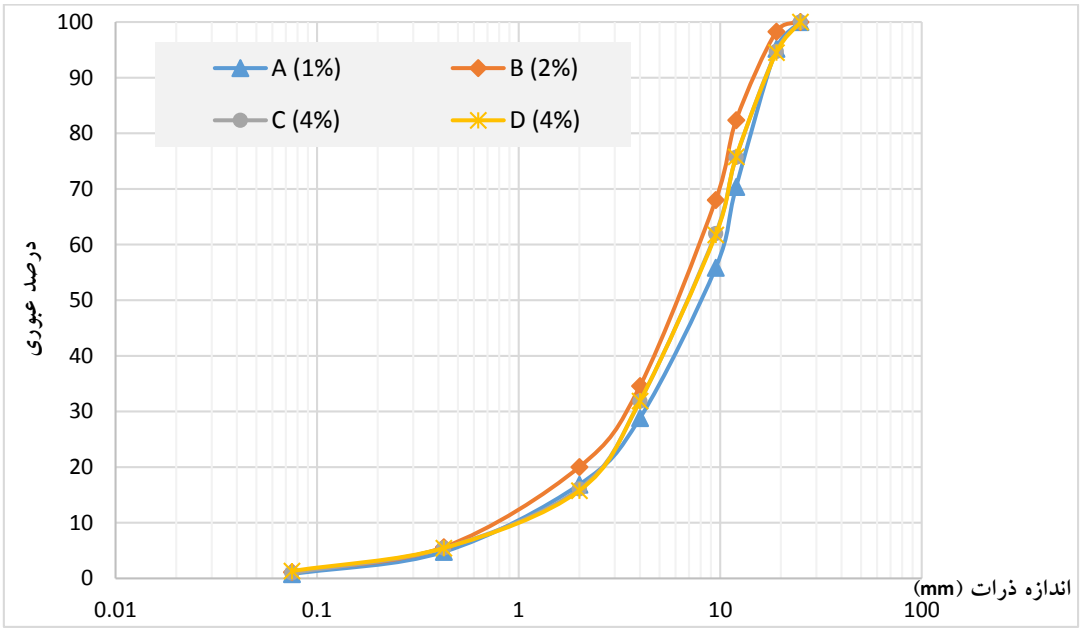
گروه	قطر چشمه های الک یا شماره آن						
	۲ اینچ	۱ اینچ	۳/۸ اینچ	# ٤	# ۱۰	# ٤۰	# ۲۰۰
۱	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۵۰–۸٤	–	۲٦–۵۰	۱۲–۳۰	۰–۱۰
۲	۱۰۰	۷۵–۹۵	٤۰–۷۵	۳۰–٦۰	۲۰–٤۵	۱۵–۳۰	۵–۱۵
۳	–	۱۰۰	۵۰–۸۵	۳۵–٦۵	۲۵–۵۰	۱۵–۳۰	۵–۱۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. دانه‌بندی گروه ۱ مصالح زیربالاست بر اساس نشریه ۳۰۱ راه آهن



شکل ٤. دانه‌بندی اولیه مصالح بازیافتی

۳-۳ تراکم

هدف از انجام آزمایش تراکم، کاهش میزان تخلخل خاک است. وجود آب تا میزان مشخصی، سبب تسهیل این عملیات می‌گردد. بدست آوردن رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر خاک پس از بکار بردن میزان معینی انرژی کوبشی، هدف مهم آزمایش تراکم است. در واقع متراکم کردن خاک با پنج هدف کاهش نشست در آینده، افزایش مقاومت برشی، کاهش نفوذپذیری، بهبود خواص مکانیکی و کاهش قابلیت تورم خاک مطلوب است. نتایج آزمایش تراکم مصالح بر اساس استاندارد ASTM-D 1557 در شکل ۵ نشان داده شده است. برای

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از این استاندارد توجه به جدول ۳ الزامی است. بر این اساس و با توجه به دانه‌بندی مصالح این گزارش، استفاده از روش C به عنوان ملاک روش تراکم مصالح در آزمایشگاه مد نظر قرار گرفت. نکته جالب توجه این است که وجود ملات و سیمان بر روی سنگدانه‌ها سبب کاهش وزن مخصوص مصالح (در حدود ۳ کیلونیوتن بر متر مکعب) و افزایش رطوبت بهینه مصالح می-گردد. این افزایش رطوبت ناشی از جذب بالای آب مصالح بازیافتی به خاطر وجود ملات سیمان بر روی آنها است. لازم به ذکر است که با افزایش میزان آلودگی نفتی از ۱ تا ٦ درصد، رطوبت بهینه نیز به مقدار اندکی زیاد می‌شود به نحوی که با افزایش آلودگی نفتی از ۱ تا ٦ درصد، میزان رطوبت بهینه نیز از ۱۲/۳ تا ۱۳/٦ درصد افزایش می‌یابد. بررسی علت دقیق این امر مستلزم بررسی‌های دقیق بیشتری است، اما می‌توان آن را بدین شکل توجیه کرد که با افزایش میزان نفت، از استحکام ملات کاسته می‌شود و به عبارت دیگر میزان پوکی و خلل و فرج آن بیشتر خواهد شد. در نتیجه بواسطه امکان جذب آب بیشتر، رطوبت بهینه با افزایش آلودگی نفتی افزایش خواهد یافت. در مقابل با افزایش آلودگی نفتی از ۱ تا ٦ درصد، وزن مخصوص خشک حداکثر به میزان بسیار ناچیزی از ۱۹/۳ به ۱۸/۹ کیلونیوتن بر متر مکعب کاهش می‌یابد.

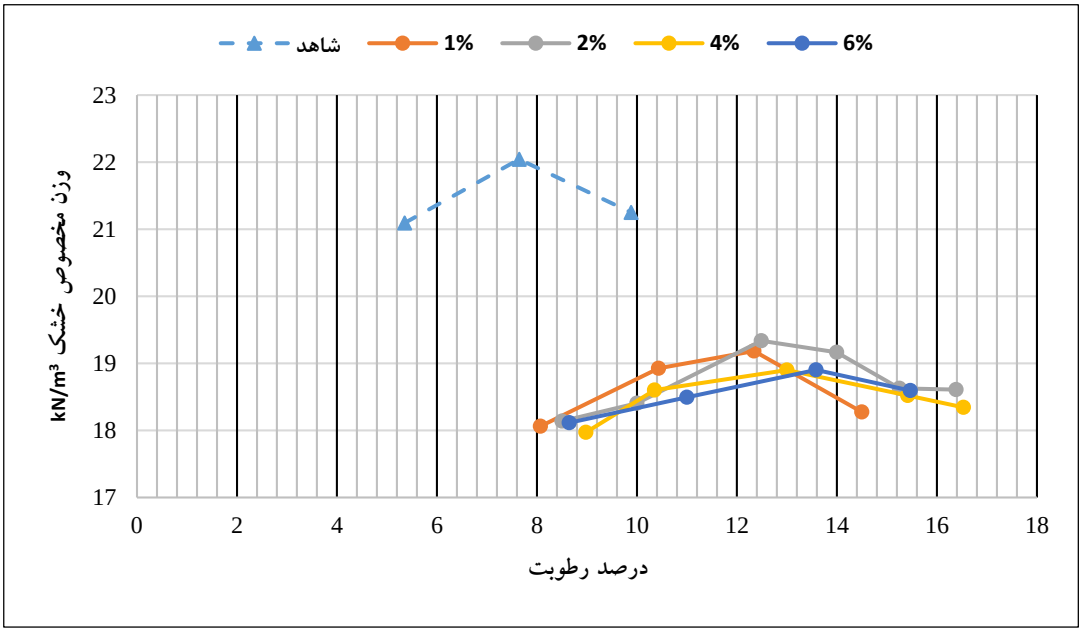
نکته جالب توجه دیگری که بایستی به آن اشاره کرد این است که دانه‌بندی مصالح پس از آزمایش تراکم نسبت به دانه‌بندی اولیه تغییر می‌کند. این تغییرات در شکل ٦ نشان داده شده است. البته بایستی اشاره کرد که کلیه این تغییرات در محدوده مجاز دانه‌بندی گروه ۱ زیربالاست (دانه‌بندی هدف) قرار می‌گیرد.

جدول ۳. الزامات استفاده از استاندارد ASTM-D 1557 برای تراکم آزمایشگاهی مصالح

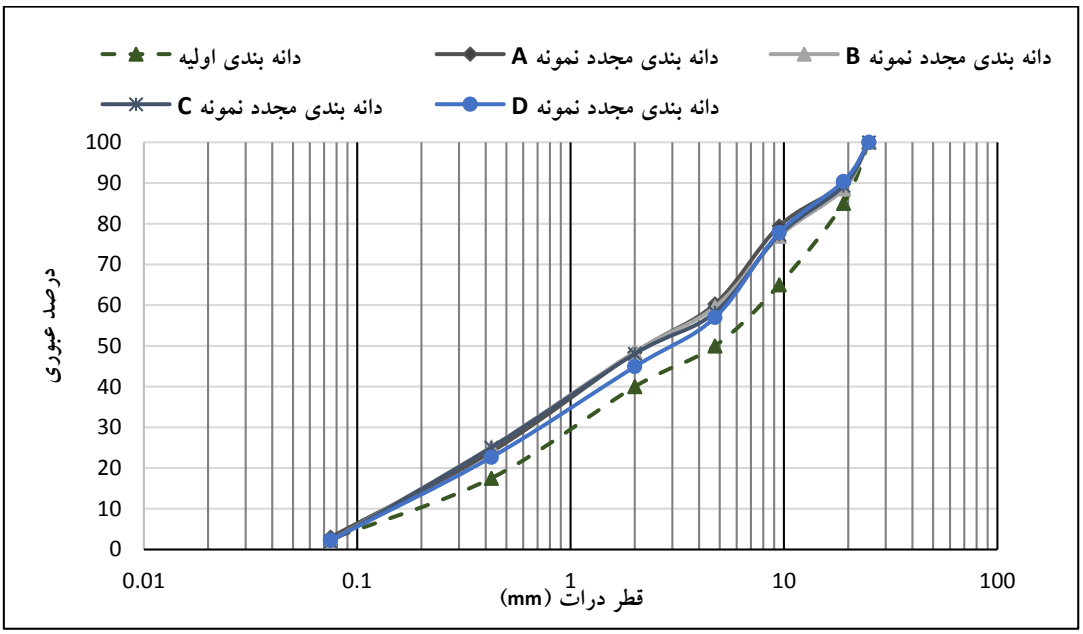
روش	قطر قالب	تعداد لایه	تعداد ضربه در هر لایه	شرایط استفاده
A	٤ اینچ	٥	۲٥	در صورتیکه کمتر از ۲٥ درصد مصالح روی الک نمره ٤ باقی بمانند
B	٤ اینچ	٥	۲٥	در صورتیکه کمتر از ۲٥ درصد مصالح روی الک ۳/۸ اینچ باقی بمانند
C	٦ اینچ	٥	٥٦	در صورتیکه کمتر از ۳۰ درصد مصالح روی الک ۳/٤ اینچ باقی بمانند

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نتایج آزمایش تراکم مصالح



شکل ٦. منحنی دانه‌بندی مجدد مصالح پس از انجام آزمایش تراکم

۳-٤ مقاومت مصالح به روش CBR

این آزمایش طبق استاندارد ASTM D-1883 و به منظور بدست آوردن مقاومت خاک در یک رطوبت و وزن مخصوص معین انجام می‌شود. برای این منظور فشار لازم جهت نفوذ پیستون در مصالح مورد نظر به روش معین در شرایط کاملا کنترل شده رطوبت و تراکم نسبت به فشار لازم جهت نفوذ پیستون در مصالح استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش در دو حالت اشباع و نمونه‌های متراکم‌شده با رطوبت بهینه انجام می‌شود. در این پژوهش تنها اعداد CBR در رطوبت بهینه در دسترس است. بر این اساس برای انجام این آزمایش، ابتدا نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D-1557 متراکم شدند. مطابق شکل ۷، نتایج حاکی از آن است که آلودگی نفتی تاثیر بسزایی به جهت مقاومت

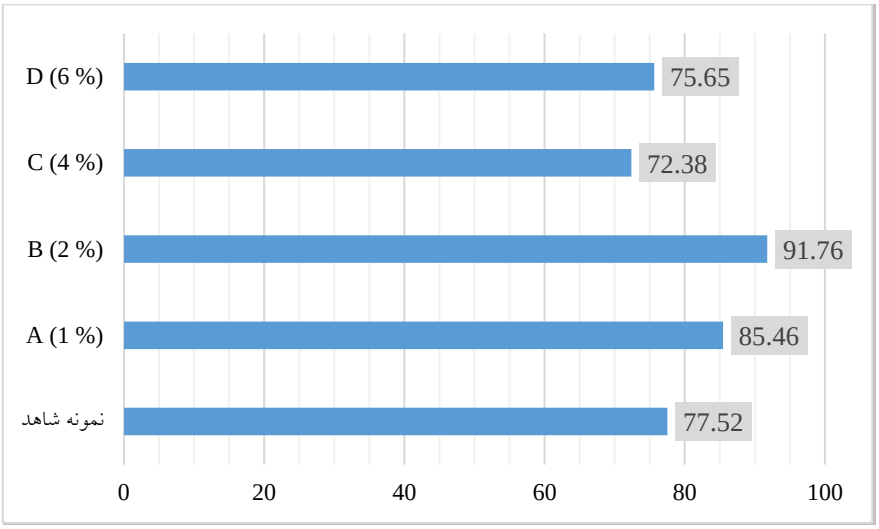
www.SID.ir

Archive of SID

مصالح ندارد. اگر چه CBR مصالح بازیافتی نسبت به نمونه شاهد، کاهش اندکی داشته‌اند ولی با افزایش آلودگی نفتی، روند مشخص و معینی را از خود نشان نمی‌دهند. نتایج ارائه شده نشان-دهنده آن است که مصالح بازیافتی نسبت به حدود مجاز آیین‌نامه (حداقل سی‌بی‌آر ۲۵) برای مصالح زیربالاست کاملا مناسب هستند.

۳-۵ آزمایش سایش لس‌آنجلس

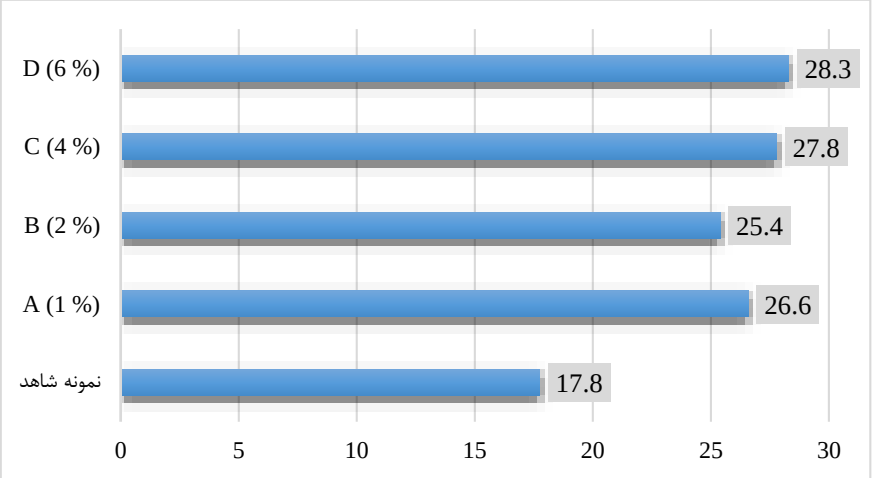
این آزمایش طبق استاندارد ASTM-C131 و به منظور تعیین مقاومت ساییدگی دانه‌های سنگی درشت‌دانه کوچکتر از ۳۷/۵ میلی‌متر توسط دستگاه لس‌آنجلس انجام می‌شود. نتایج این آزمایش در شکل ۸ آورده شده است. همان گونه که در شکل مشخص است، میزان سایش مصالح بازیافتی آلوده نفتی نسبت به نمونه شاهد بسیار بیشتر است به نحوی که مقدار آن از ۱۷/۸ درصد برای نمونه شاهد، در نتیجه افزودن آلودگی نفتی و عمل‌آوری آن‌ها در محیط دریا، بین ۲۵/٤ و ۲۸/۳ درصد افزایش می‌یابد. به بیان دیگر سایش مصالح آلوده نسبت به نمونه شاهد با توجه به آلودگی نفتی آن و همچنین وجود ملات بر روی سنگدانه‌های بازیافتی، سبب رشد ٤۳ تا ۵۹ درصدی سایش می‌گردد. با وجود این افزایش، تغییرات به حدی است که حدود مشخص شده استاندارد ۳۰۱ راه آهن (کمتر از ۵۰ درصد) در آن رعایت می‌شود. بنابراین از جهت افزایش سایش مصالح، جای نگرانی نیست.



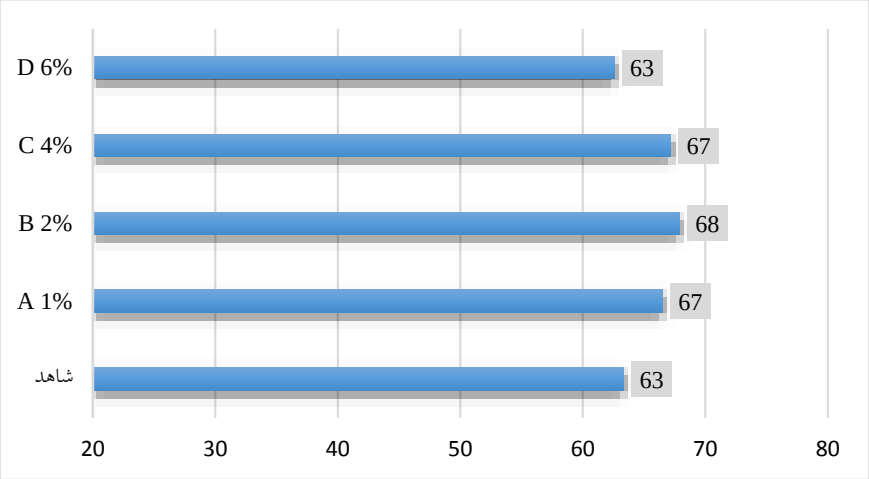
شکل ۷. نتایج CBR آزمایشگاهی مصالح (درصد)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. نتایج آزمایش سایش لس آنجلس مصالح (درصد)



شکل ۹. نتایج آزمایش ارزش ماسه‌ای مصالح (درصد)

۳-۶ ارزش ماسه‌ای

نسبت ماسه به ریزدانه، در خاک عامل مهمی در عملیات خاکی و ساختمانی محسوب می‌گردد. زیرا وجود ماسه زیاد در مقایسه با ریزدانه‌ها در خاک، در روسازی باعث پایین آمدن درصد رطوبت بهینه و رسیدن سریعتر خاک به حداکثر تراکم خود می‌شود. آزمایش هم‌ارز ماسه (SE^4) که در تعیین مرغوبیت مصالح بکار می‌رود، را میتوان مکمل آزمایش دانه‌بندی دانست. این آزمایش عملا برای تعیین نسبت حجم ماسه به حجم کل خاک (ماسه و رس و لای) بکار می‌رود و بطور خلاصه نشان می‌دهد که ماسه تا چه حد تمیز است. نتایج این آزمایش براساس AASHTO T176-81 در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده آن است که نه محیط دریا و نه آلودگی نفتی تاثیر محسوسی بر روی تمیزی ندارند. در واقع نحوه خرد کردن مصالح تاثیر بسزایی در نتایج این آزمایش می تواند داشته باشد که این فاکتور در این پژوهش ثابت در نظر گرفته شده است.

۳-۷ تطویل، تورق و شکستگی مصالح

آزمایش تطویل و تورق بر اساس استاندارد ASTM D-4791 به منظور تعیین درصد وزنی سنگدانه‌های معیوب (سوزنی یا پولکی شکل) انجام می‌شود. هر چقدر این درصدها کمتر باشند،

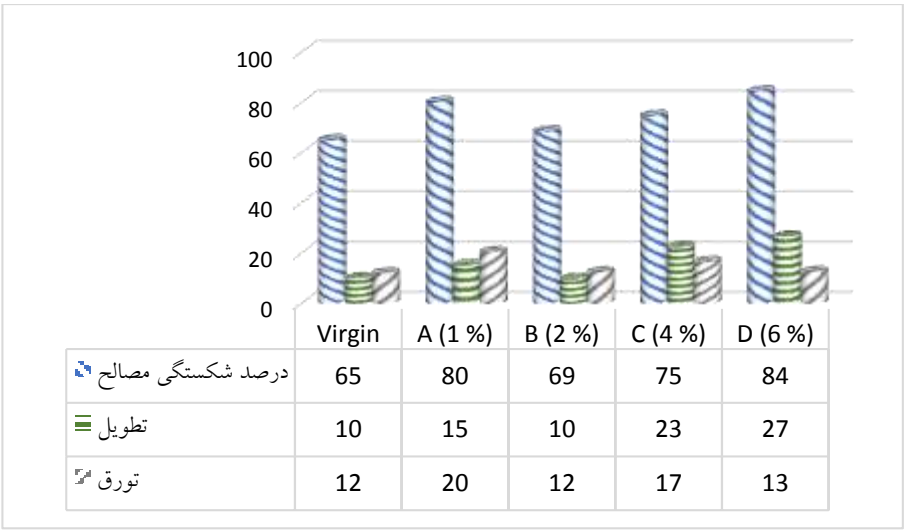
www.SID.ir

Archive of SID

مصالح از مرغوبیت بیشتری برخوردار هستند و در برابر بار، مقاومت بیشتری خواهند داشت. از طرف دیگر هر چقدر وجوه شکسته مصالح بیشتر باشد، اصطکاک بین سنگدانه‌ها بیشتر و ظرفیت باربری مصالح افزایش می‌یابد. هر چند که انجام این آزمایش به جهت الزامات نشریه ۳۰۱ لزومی ندارد، اما می‌تواند کمک موثری به درک کیفیت مصالح بازیافتی کند. نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. مطابق استاندارد، با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح، بایستی حداقل نمونه انتخاب و مشخصات آن مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش نیز با توجه به حداکثر اندازه اسمی ۲۵ میلی‌متر، حداقل ۳ کیلوگرم از مصالح بر اساس پیشنهاد استاندارد برای انجام این آزمایش استفاده گردید.

۳-۸ جذب آب

جذب آب مصالح بر اساس استاندارد ASTM C-127 بررسی گردید. نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند. همانگونه که مشاهده می‌گردد، میزان جذب آب مصالح بتن بازیافتی به میزان قابل توجهی نسبت به مصالح طبیعی افزایش نشان می‌دهد. البته تاثیر مستقیم این پارامتر بر میزان رطوبت بهینه مصالح، در بخش نتایج تراکم واضح و مشهود است. علت اصلی این امر می‌تواند ناشی از وجود ملات سیمان بر روی سنگدانه‌های بازیافتی باشد.

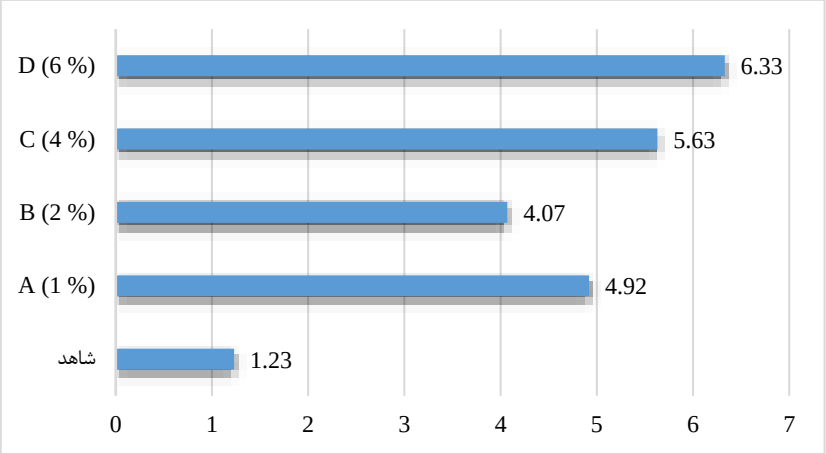


	Virgin	A (1 %)	B (2 %)	C (4 %)	D (6 %)
درصد شکستگی مصالح	65	80	69	75	84
تطویل	10	15	10	23	27
تورق	12	20	12	17	13

شکل ۱۰. نتایج آزمایش شکستگی، تطویل و تورق مصالح

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱. مقایسه درصد جذب آب مصالح بازیافتی و نمونه شاهد

۳-۹ جمع‌بندی و پیشنهادات

در این پژوهش سعی گردید امکان‌سنجی استفاده از مصالح بتن بازیافتی آلوده به نفت، جهت استفاده در لایه زیربالاست راه‌آهن مورد بررسی قرار گیرد. از این رو نمونه‌های با درصدهای مختلف آلودگی نفتی در آزمایشگاه ساخته شده و به مدت ۳ ماه در شرایط جزر و مدی خلیج چابهار قرار گرفت. پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن، نمونه‌ها خرد شده و بر روی مصالح بازیافتی آزمایش‌های مختلفی شامل دانه‌بندی، تطویل، تورق، شکستگی، تراکم، ارزش ماسه‌ای ، سی بی آر و سایش انجام گردید. اگر چه آلودگی نفتی مصالح، تاثیر بسزایی در مقاومت فشاری بتن در طول عمر مفید خود دارد ولی نتایج آزمایش‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مصالح بازیافتی حاصل از این بتن‌ها را می‌توان در لایه زیربالاست بکار برد. خلاصه نتایج در جدول ٤ آورده شده است. نتایج آزمایشات، حدود مشخص شده در آیین‌نامه مشخصات عمومی روسازی راه‌آهن (نشریه شماره ۳۰۱) را با فاصله قابل اطمینانی رعایت می‌کنند. از اینرو پیشنهاد می‌گردد با توجه به کمبود شدید مصالح مطلوب در شهرهای جنوبی کشور (حاشیه دریای عمان و خلیج فارس) و اهتمام ویژه در ساخت خط آهن چابهار، استفاده از مصالح بازیافتی در برنامه کاری قرار گیرد.

٤. سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از آزمایشگاه مکانیک خاک و تکنولوژی بتن دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار سپاسگزاری می‌کنند.

جدول ٤. خلاصه نتایج

آزمایش	روش انجام AST M	حد مجاز برای لایه زیربالاست	نتایج آزمایشگاهی			
			A-1%	B-2%	C-4%	D-6%
آزمایش دانه بندی	C 136	مطابق جدول دانه بندی	طبق گروه ۱	طبق گروه ۱	طبق گروه ۱	طبق گروه ۱
تعیین مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰	C 117	$\leq \frac{2}{3}$ عبوری از الک شماره 40*	۰/۸	۱/۱	۱/۰	۱/۳

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش تعیین حد روانی و نشانه خمیری (بر روی مصالح عبوری از الک ٤٠)	C 423, C 424	LL ≤ ٢٥%، PI ≤ ٦%	غیر خمیری	غیر خمیری	غیر خمیری	غیر خمیری
آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا	D 1883	≥٢٥	٨٥/٥	٩١/٨	٧٢/٤	٧٥/٧
آزمایش تعیین درصد سایش	C 131	≤ ٥٠%	٢٢/٦	٢١/٤	٢٤/٢	٢٤/٧
نتیجه گیری کلی: مناسب برای لایه زیربالاست			**هست**	**هست**	**هست**	**هست**

* میزان عبوری از الک شماره ٢٠٠ برای همه نمونه ها کوچکتر از $\frac{2}{3}$ عبوری از الک شماره ٤٠ است

٥. پی نوشت‌ها

1. American Society for Testing and Materials
2. California Bearing Ratio
3. Non-Plastic
4. Sand Equivalent

٦. مراجع

-Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jiménez, J. R., and Poon, C. S. (2012) "Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications", Construction and Building Materials, Vol. 28, No. 1, pp. 129–138.

-Chini, A. R., Kuo, S.-S., Armaghani, J. M. and Duxbury, J. P. (2001) "Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track", Journal of Transportation Engineering, 127(6), 486–492.

-De Brito, J., Ferreira, J., Pacheco, J., Soares, D., and Guerreiro, M. (2016) "Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete", Journal of Building Engineering, Vol. 6, pp.1–16.

- Maaty, Hamed (2013) "Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt", Ain Shams Engineering Journal, Vol. 4, No. 4, pp. 661–673.

-Fan, C., Huang, R., Hwang, H. and Chao, S. (2016) "Properties of concrete incorporating fine recycled aggregates from crushed concrete wastes", Construction and Building Materials, No. 112, pp.708–715.

-Garach, L., López, M., Agrela, F., Ordóñez, J., Alegre, J. and Moya, J. A. (2015) "Improvement of bearing capacity in recycled aggregates suitable for use as unbound road sub-base", Materials, Vol. 8, No. 12, pp. 8804–8816.

-Hansen, T. and Angelo, J. W. (1985) "Crushed concrete fines recycled for soil modification puposes", ACI Journal, Vol. 83, No. 6, pp. 983–987. Retrieved from

-Jimenez, J. R., Ayuso, J., Agrela, F., Lopez, M., and Galvin, A. P. (2012) "Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 58, pp. 88–97.

-Jiménez, J. R. (2013) "Recycled aggregates (RAs) for roads", Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste. Woodhead Publishing Limited.

-Molenaar, A. and van Niekerk, A. (2002) "Effects of gradation, composition and degree of compaction on the mechanical characteristics of

www.SID.ir

Archive of SID

recycled unbound materials", Transportation Research Record, Vol. 1787, No. 1, pp. 73–82.

-Ossa, A., García, J. L. and Botero, E. (2016) - "Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. Journal of Cleaner Production, No. 135, pp.379–386.

-Özalp, F., Yilmaz, H. D., Kara, M., Kaya, Ö. and Şahin, A. (2016) "Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes", Construction and Building Materials, No. 110, pp.17–23.

-Paranavithana, S. and Mohajerani, A. (2006) "Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 48, No. 1, pp. 1–12.

-Park, T. (2003) "Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement", Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 5, pp. 558–563.

-Poon, C. S. and Chan, D. (2006) "Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base", Construction and Building Materials, Vol. 20, No. 8, pp. 578–585.

-Poon, C. S. and Chan, D. (2007) "Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates", Construction and Building Materials, Vol. 21, No. 1, pp. 164–175.

-امیری, بهاره؛ نصرالهی، نازنین و صادقی، هاجر (۱۳۹۲) "امکان-سنجی جایگزینی مصالح بازیافتی با مصالح رایج و نقش آنان در کاهش مصرف انرژی"، دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی، اصفهان، سازمان بهره وری انرژی ایران

-ترابی خداشهری, حامد؛ عبدی نژاد، وحدانی، امیرحسین ؛ امید شفیعی ، امید و پورصفر، پویا ۳۹٤(۱۳۹٤) "ارزیابی آزمایشگاهی مدول برجهندگی روسازی راه با استفاده از مصالح خاکی بازیافتی و تثبیت شده با سیمان"، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، گرگان، گروه آموزش و پژوهش شرکت مهندسی بارو گستر پارس، آکادمی آکسفورد سرت انگلستان

-قندی جلوانی، حسین؛ وفائیان، محمود؛ ابطحی، سیدمهدی و جاوید، نوید (۱۳۹۰) "بررسی آزمایشگاهی مصالح بتن بازیافتی از نظر ظرفیت باربری مجازبه منظور استفاده در پی سازی و راهسازی"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، رشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لشت نشا

- قندی جلوانی، حسین؛ وفائیان، محمود ؛ ابطحی، سیدمهدی و جاوید، نوید (۱۳۹۰) "قابلیت استفاده از سنگدانه های بازیافت شده بتن در ساخت راههای ایران"،سومین همایش ملی مهندسی عمران، خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

-لطفی پور، شیما؛ عرفانیان نیا، رضا ؛ صفری، فریدون و حیدری، امیرحسین (۱۳۹۳) "ارزیابی مقاومتی مصالح بازیافتی از تخریب ساختمان ها و استفاده مجدد در لایه های روسازی راه ها"، دومین همایش ملی برنامه ریزی، حفاظت، حمایت از محیط زیست وتوسعه پایدار، تهران، دبیرخانه دائمی همایش، دانشگاه شهید بهشتی

-مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن، نشریه شماره ۳۰۱، (۱۳۸٤)، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

www.SID.ir

Archive of SID

امکان سنجی استفاده از مصالح بازیافتی بتن های آلوده شده نفتی به عنوان مصالح زیربالاست در خطوط ریلی

سید حسن مرفع، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه صنعت آب و برق تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری در سال ۱۳۹۲را از دانشکده فنی، دانشگاه تهران اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی و ژئوتکنیک راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه مربی در دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار است.

حمد جواد حیدری افشار، دانشجوی کارشناسی در رشته مهندسی عمران دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی است

امیرحسین صعصعی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی و مسائل زیست محیطی آن است.

www.SID.ir