

بررسی مشخصات لایه اساس با استفاده از مصالح بازیافتی بتنی و آسفالتی

حسن طاهرخانی، دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

آرش صالح‌اھری*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

بھزاد قاسم دستجردی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.s_ahari@znu.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۰/۰۸ - پذیرش: ۹۷/۰۳/۱۸

صفحه ۱۳-۲۶

چکیده

حجم زیاد ضایعات تولیدشده از تخریب ساختمان‌ها و روسازی راه‌ها، مشکلات عدیده‌ای برای محیط‌زیست پدید آورده است. در این تحقیق، به منظور ارزیابی قابلیت استفاده از بتن و آسفالت ضایعاتی در اساس راه‌ها و بررسی خصوصیات فیزیکی و عملکردی ترکیبات، درصدهای مختلفی از اساس شن و ماسه‌ای ساخته شده از سنگ‌دانه‌های طبیعی با هرکدام از مواد بازیافتی بتن سیمانی و آسفالتی، که خردشده و دانه‌بندی شده بودند، جایگزین گردید. جایگزینی در سه درصد ۱۵، ۳۰ و ۵۰، و در سه بخش کل مصالح، بخش ریزدانه و بخش درشت‌دانه انجام شد. خصوصیات فیزیکی شامل چگالی، تمیزی، جذب آب بخش‌های ریزدانه و درشت‌دانه، سختی و مقاومت در برابر ساییده شدن و همچنین خصوصیات عملکردی شامل ظرفیت باربری (نسبت باربری کالیفرنیا)، تراکم و نفوذپذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، ترکیبات حاوی مصالح بازیافتی الزامات موردنیاز مشخصات فنی را برای استفاده در لایه اساس برآورده می‌نمایند. همچنین، از لحاظ ظرفیت باربری (نسبت باربری کالیفرنیا)، تمامی ترکیبات بتن قابلیت استفاده در لایه اساس را داشتند، اما برخی از ترکیبات آسفالت ضایعاتی، قابلیت استفاده در لایه اساس را نداشتند. در جایگزینی مصالح ضایعاتی دانه‌بندی شده در مصالح سنگدانه‌ای، جایگذاری در بخش درشت‌دانه کارایی بیشتری داشت. همچنین، بررسی نتایج نفوذپذیری نشان داد که افزایش آسفالت برخلاف بتن در هر سه نوع اختلاط باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لایه اساس، بتن ضایعاتی، آسفالت ضایعاتی، خصوصیات فیزیکی مصالح، خصوصیات عملکردی مصالح

۱- مقدمه

و نخاله در شهر تهران ۵ برابر زباله‌های شهری است و روزانه ۴۰ هزار تن نخاله ساختمانی در این شهر تولید می‌شود، درحالی‌که در ایالات متحده آمریکا سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون تن زباله تولید می‌شود که حدود ۲۹٪ آن نخاله‌های ساختمانی است (Abduli, 1995; Arslan, Coşgun, & Salgın, 2012). در کشور فنلاند بیش از یک میلیون تن ضایعات ساختمانی تولید می‌شود (Wahlström, Laine-

امروزه، در اکثر کشورهای جهان، مسئله بازیافت و ضرورت این امر بر هیچ‌کس پوشیده نیست. یکی از مهم‌ترین مشکلات به وجود آمده در سال‌های اخیر در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، انبوه نخاله‌های ساختمانی است. تحقیقات در جهان نشان می‌دهد که حجم نخاله‌های ساختمانی در میان سایر زباله‌ها بین ۱۳٪-۲۹٪ می‌باشد (Huang, Lin, Chang, & Lin, 2002). تولید روزانه خاک

(Ylijoki, Määttänen, Luotojärvi, & Kivekäs, 2000) و در دو شهر اصلی استرالیا، سالانه نزدیک ۰/۷ میلیون تن بتن از تخریب ساختمان‌ها بر جای می‌ماند (Nataatmadja & Tan, 2000). نزدیک به ۲۳٪ از زباله‌های جامد کشور هنگ‌کنگ را نخاله‌های ساختمانی تشکیل می‌دهد (Arslan et al., 2012; Environmental Protection Department, 2005) و کشورهایی همچون استرالیا، هلند، آلمان، ژاپن بیش از ۵۰٪ ضایعات ساختمانی خود را بازیافت می‌کنند (Construction Materials Recycling Association, 2005; Hendriks & Pietersen, 2000; Chi S Poon, 2005; Hendriks & Pietersen, 2000; Tam, Wang, & Tam, 2008). طبق تحقیقات انجام‌شده در ویرجینیا در سال ۲۰۱۳، هزینه هر تن مواد خام برای استفاده در لایه‌های روسازی ۳۰ دلار است، این در حالی است که هزینه هر تن آسفالت خردشده ۱۲/۵ دلار می‌باشد (Hoppe, Lane, Fitch, & Shetty, 2015).

با توجه به تولید روزافزون ضایعات حاصل از ساختمان‌ها و راه‌های قدیمی و افزایش قیمت مصالح خام، بازیافت و استفاده مجدد از این مصالح می‌تواند راهکار مناسبی جهت کاهش هزینه‌ها باشد. روسازی راه به‌عنوان سازه‌ای که مصالح اصلی آن را مصالح دانه‌ای تشکیل می‌دهد، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت استفاده از این مصالح بازیافتی به شمار رود. لایه اساس و زیراساس و حتی در بعضی موارد بستر روسازی می‌تواند قشری مناسب جهت استفاده این نوع مصالح به‌حساب آید؛ ولی با توجه به وجود ضوابط آئین‌نامه‌ای و حداقل و حداکثرهایی که برای مشخصات مصالح در این لایه‌ها به‌کاربرده می‌شود، لزوم بررسی مشخصات مصالح بازیافتی را چه از لحاظ فیزیکی و چه از لحاظ مکانیکی و عملکردی مهم می‌سازد. از این رو، در این تحقیق سعی شده است هر دو خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح بازیافتی بتنی و آسفالتی برای دانه‌بندی‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد و امکان استفاده این نوع مصالح در لایه‌های روسازی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

در تحقیقی آزمایشگاهی توسط Euch Khay و همکارانش (Euch Khay, Euch Ben Said, Loulizi, & Neji, 2014) به بررسی خصوصیات مکانیکی مصالح

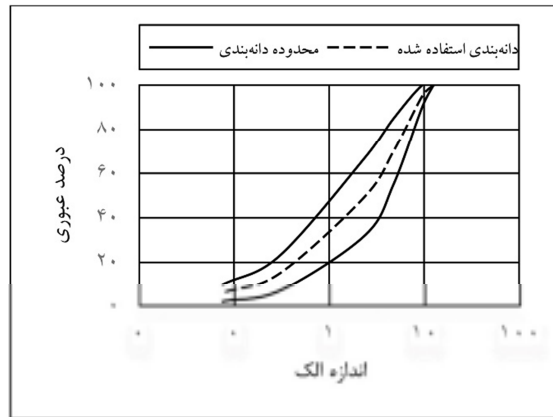
بازیافتی آسفالتی جهت استفاده در لایه اساس در طول تعمیر روسازی پرداخته شد. مقدار مصالح بازیافتی بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که افزایش در مقدار مصالح بازیافتی آسفالتی در کاهش مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی غیرمستقیم و مدول الاستیک نتیجه می‌دهد. با این وجود، برای هر مقدار مصالح بازیافتی برابر یا کمتر از ۶۰ درصد، مشخصات مکانیکی قابل قبول برای لایه اساس روسازی حاصل شد. در یک ارزیابی آزمایشگاهی دیگر، به بررسی ترکیب مخلوط‌هایی با مصالح بازیافتی و مرغوب به عنوان مصالح لایه اساس و زیراساس پرداخته شد. تست‌های خصوصیات فیزیکی، تراکم و نسبت باربری کالیفرنیا روی مخلوط‌های با ترکیب ۱۰۰/۰، ۸۰/۲۰، ۶۰/۴۰، ۴۰/۶۰ و ۲۰/۸۰ انجام گرفت. Taha و همکارانش (Taha, Ali, Basma, & Al-Turk, 1999) از نتایج اولیه مشاهده کردند که مصالح بازیافتی در صورت ترکیب با مصالح مرغوب می‌تواند به عنوان جایگزین مصالح مرغوب در لایه زیراساس با نتایج قابل قبول استفاده گردد. بهترین نتایج برای ترکیب‌های ۶۰/۴۰، ۴۰/۶۰ و ۲۰/۸۰ و ۰/۱۰۰ (مرغوب/بازیافتی) گزارش گشت. آنها همچنین به مقایسه مصالح بازیافتی با مصالح استاندارد استفاده شده در جاده‌های کشور عمان پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که مصالح بازیافتی قادر باشد عملکردی همچون مصالح زیراساس معمول نشان دهد. Behiry در سال ۲۰۱۳ تأثیر استفاده از خرده آهن را در مصالح لایه زیراساس بررسی کردند. با افزایش خرده آهن در مصالح سنگی کرنش عمودی کاهش قابل توجهی را از خود نشان داد، این در حالی است که تنش عمودی تغییرات چندانی نداشت. در این تحقیق با جایگذاری خرده آهن تا ۷۰٪، نسبت باربری کالیفرنیا افزایش یافت ولی بعدازآن روند کاهشی به خود گرفت. مدول ارتجاعی با افزایش درصد جایگزینی خرده آهن تا ۷۰٪، روند رو به رشدی از خود نشان داد و از آن به بعد روند کاهشی داشت (Behiry, Bennert, Papp Jr, 2013) و همکارانش (Maher, & Gucunski, 2000) گزارش کردند که جایگذاری ۱۰۰٪ خرده آسفالت موجب مدول ارتجاعی بالاتر و مقاومت برشی کمتر می‌شود. همچنین در این تحقیق گزارش شد، با جایگذاری خرده آسفالت به میزان ۱۰۰٪، تغییر شکل دائمی افزایش می‌یابد. Dong و Huang نیز

نشان دادند (Dong & Huang, 2013) که با جایگذاری ۱۰۰ درصد خرده آسفالت مدول ارتجاعی و تغییر شکل دائمی افزایش می‌یابد. همچنین در تحقیقات Locander این نتیجه حاصل شد که با افزایش جایگذاری خرده آسفالت، مقاومت برشی و رطوبت بهینه کاهش و با جایگذاری بتن خردشده، رطوبت بهینه افزایش می‌یابد (Locander, 2009). تحقیقات دیگری نیز که در این زمینه به انجام رسیده، نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Barbudo, Agrela, Ayuso, Jimenez, & Poon, 2012; Ho, Lee, & Tan, 2008; Jimenez, Agrela, Ayuso, & Lopez, 2011; Lee et al., 2009; Melbouci, 2009). در مطالعه‌ای دیگر که درباره استفاده از خرده آسفالت در زیرسازس تثبیت نشده توسط Ayan صورت گرفت، گزارش شد که با افزایش خرده آسفالت، نسبت باربری کالیفرنیا کاهش می‌یابد (Ayan, Kim, 2011). و همکارانش از تحقیقات خود نتیجه‌گیری کردند که استفاده از خرده آسفالت به‌تنهایی در لایه اساس تثبیت نشده مناسب نیست و باعث کاهش مقاومت برشی می‌شود (Edil, Kim, Labuz, & Dai, 2007) و همکارانش در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که خرده آسفالت خاصیت زهکشی خوبی را ارائه می‌دهد که دلیل آن صاف بودن سطح آسفالت خردشده است که آن را آب‌گریز می‌کند (Edil, Tinjum, & Benson, 2012). Chan و Poon استفاده از مصالح بتنی بازیافت شده و آجر رسی خردشده را در لایه زیرسازس روسازی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که، با استفاده از ۱۰۰ درصد مصالح بتنی بازیافت شده در زیرسازس راه، رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر، در مقایسه با مصالح طبیعی، به ترتیب، افزایش و کاهش پیدا کردند. علاوه بر این، با جایگزینی مصالح بتنی بازیافتی با آجر رسی خردشده، منحنی رطوبت بهینه افزایش، و حداکثر وزن مخصوص خشک کاهش پیدا کرد. آجر رسی خردشده در مقایسه با مصالح بتنی بازیافت شده، از وزن مخصوص ذرات پایین و جذب آب بالایی برخوردار است. مقدار نسبت باربری کالیفرنیا (در حالت اشباع و غیراشباع) مصالح بتنی بازیافت شده از مصالح طبیعی کمتر بود و با جایگزینی مصالح بتنی بازیافت شده با آجر رسی خردشده کاهش پیدا می‌کرد (Chi Sun, Poon & Chan, 2006). Marradi و Lancieri پتانسیل استفاده از مخلوط خرده‌های بتن که با سیمان تثبیت شده‌اند

را به‌عنوان مصالح لایه اساس و زیرسازس بررسی کردند (Marrani & Lancieri, 2008). نتایج کار آن‌ها نشان داد که سن بتن بازیافتی در کارایی بتن بازیافتی تثبیت‌شده با سیمان بسیار تأثیرگذار است. در نهایت، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این مواد قابلیت استفاده در لایه‌های اساس و زیرسازس را دارند و می‌توان به‌عنوان مصالح جایگزین از آن‌ها بهره برد. Molenaar و Van Niekerk اثرات دانه‌بندی، ترکیب و درجه تراکم مصالح سنگی تثبیت نشده متشکل از مصالح بازیافتی را در کاربرد آن‌ها در لایه‌های روسازی مورد مطالعه قرار دادند (Molenaar & van Niekerk, 2002). Xuan و همکارانش کاربرد ضایعات ساختمانی تثبیت شده را به‌عنوان اساس روسازی راه مورد مطالعه قرار داده و خصوصیات آن‌ها را بررسی نمودند (Xuan, Houben, Molenaar, & Shui, 2012). آن‌ها ترکیبات مختلفی را، متشکل از بتن و خرده آجر، با درصد‌های مختلف سیمان تثبیت کرده، و مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته آن‌ها را در درصد تراکم‌های مختلف بررسی نمودند، و نتیجه‌گیری کردند که، علاوه بر مقدار سیمان و درجه تراکم، نحوه ترکیب این مصالح، شامل نسبت خرده آجر به بتن، تأثیر زیادی بر روی خصوصیات مصالح تثبیت شده دارد. Agrela و همکارانش امکان استفاده از خرده‌های بتن ضایعاتی را در زیرسازس تثبیت شده راه بررسی کردند. آن‌ها این مصالح را در دو مقطع از یک راه در مالاگای اسپانیا استفاده نموده و نشان دادند که امکان‌پذیری در این کاربرد وجود دارد (Agrela Sainz, Ramirez Rodriguez, Barbudo Munoz, Galvin, & Jimenez Romero, 2012).

۳- مصالح و روش آزمایش

در این تحقیق، مصالح سنگدانه‌ای از کارخانه آسفالت نزدیک دانشگاه زنجان، خرده آسفالت، از آسفالت کنده‌شده آزادراه زنجان - قزوین و بتن خردشده، از جمع‌آوری بتن از اطراف شهر زنجان و شکستن آن در سنگ‌شکن تهیه شد. برای ارزیابی استفاده از مصالح ضایعاتی (بتن و آسفالت) در لایه اساس از دانه‌بندی نوع ۵ نشریه ۲۳۴ استفاده شد (شکل ۱) (Iran Highway Asphalt Paving, 2011).



شکل ۱. منحنی دانه بندی برای تمام ترکیب ها برای آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

جدول ۱. نحوه جایگذاری بتن و آسفالت در مصالح

مقدار جایگذاری ریزدانه	مقدار جایگزینی درشت دانه	نوع اختلاط	
		%۱۵	%۳۰
%۳۰	%۳۰	%۳۰	
%۵۰	%۵۰	%۵۰	
%۰	%۳۰	%۱۵	اختلاط در بخش
%۰	%۶۰	%۳۰	درشت دانه

جدول ۲. ارزش ماسه ترکیب های مختلف

مقادیر آیین نامه	جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن			نوع اختلاط
	%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵	
حداقل ۴۰	۶۸	۶۵	۶۱/۵	۶۴/۵	۶۲	۶۰	در کل مصالح
حداقل ۴۰	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	در بخش درشت دانه
حداقل ۴۰	۷۱	۶۷	۶۲	۶۶	۶۳	۶۰	در بخش ریزدانه

جدول ۳. درصد ساییدگی برای ترکیب های مختلف

مقادیر آیین نامه	جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن			نوع اختلاط
	%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵	
حداکثر ۴۵	۲۹	۲۶/۵	۲۴/۵	۲۸/۵	۲۶/۵	۲۴	در کل مصالح
حداکثر ۴۵	۳۳/۸	۲۸/۵	۲۶	۳۲/۴	۲۸	۲۵	در بخش درشت دانه
حداکثر ۴۵	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	در بخش ریزدانه

آزمایش سایش لوس آنجلس

نتایج این آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سختی با افزایش درصد بتن و آسفالت، کاهش می‌یابد که این موضوع به دلیل سختی کمتر بتن و آسفالت نسبت به مصالح سنگدانه‌ای می‌باشد.

آزمایش حدود اتربرگ

مصالحی که در لایه اساس به کار می‌روند، معمولاً به دلیل دانه‌ای بودن، غیر خمیری هستند. نتایج جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهد، همه ترکیب‌ها غیرخمیری هستند، همین‌طور ترکیب‌های حاوی آسفالت دارای حد روانی کمتری نسبت به ترکیب‌های حاوی بتن می‌باشند، دلیل این امر نیز جذب آب پایین مصالح ریزدانه آسفالت می‌باشد که باعث می‌شود در رطوبت کمتری حالت روان به خود گیرند.

آزمایش وزن مخصوص و جذب آب

همان‌طور که در جداول ۶ تا ۸ ملاحظه می‌شود، وزن مخصوص ترکیب‌ها با افزایش میزان مصالح ضایعاتی کاهش می‌یابد که دلیل آن کمتر بودن وزن مخصوص مصالح ضایعاتی از مصالح سنگدانه‌ای می‌باشد. همچنین وزن مخصوص ترکیب‌های حاوی آسفالت نسبت به ترکیب‌های حاوی بتن بیشتر است که دلیل این امر چگالی بیشتر آسفالت نسبت به بتن می‌باشد. از دیگر نتایج می‌توان به بالا بودن درصد جذب آب ترکیب‌های حاوی بتن اشاره کرد که دلیل این امر وجود حفره‌های زیاد در سطح سنگدانه‌های بتنی است، موضوعی که برای سنگدانه‌های آسفالتی به دلیل سطح آغشته به قیر، برعکس می‌باشد.

بتن و آسفالت خردشده با مصالح مرغوب در سه حالت جایگذاری شد: (۱) جایگذاری در کل مصالح (۲) جایگذاری بتن و آسفالت درشت‌دانه در بخش درشت‌دانه مصالح (۳) جایگذاری بتن و آسفالت ریزدانه در بخش ریزدانه مصالح (جدول ۱). مشخصات مکانیکی مصالح شامل: وزن مخصوص (ASTM D854-92) و یا AASHTO T84-74، حدود اتربرگ (ASTM D4318)، ارزش ماسه (AASHTO T176) و یا (ASTM D2419)، سختی لوس آنجلس مصالح (AASHTO T96) و یا (ASTM C131) برای ترکیبات مختلف، و آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) بر اساس استاندارد AASHTO T193، بر روی ترکیباتی با رطوبت بهینه صورت گرفت که در بخش بعدی نتایج آن‌ها آورده شده است.

۴- نتایج و مباحث

۴-۱- آزمایشات خصوصیات فیزیکی

آزمایش ارزش ماسه

ارزش ماسه ترکیب‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. ارزش ماسه مصالح به‌کاررفته در لایه اساس حداقل باید ۴۰ باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ارزش ماسه ترکیب‌های حاوی بتن، تمیزی کمتری نسبت به ترکیب‌های حاوی آسفالت دارند که ناشی از وجود ریزدانه‌های بیشتر در سنگدانه‌های بتن است.

جدول ۴: نتایج آزمایش حد خمیری برای ترکیب‌های مختلف

مقادیر آیین‌نامه	جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن			نوع اختلاط
	%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵	
حداکثر ۴	-	-	-	-	-	-	در کل مصالح
حداکثر ۴	-	-	-	-	-	-	در بخش درشت‌دانه
حداکثر ۴	-	-	-	-	-	-	در بخش ریزدانه

جدول ۵. نتایج آزمایش حد روانی برای ترکیب‌های مختلف

مقادیر آیین‌نامه	جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن			نوع اختلاط
	%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵	
حداکثر ۲۵	۱۲/۹	۱۳/۴	۱۴/۲	۱۵/۶	۱۵/۴	۱۵/۲	در کل مصالح
حداکثر ۲۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	در بخش درشت‌دانه
حداکثر ۲۵	۱۲	۱۳/۱	۱۴/۲	۱۶	۱۵/۴	۱۵/۲	در بخش ریزدانه

جدول ۶. وزن مخصوص و جذب آب (اختلاط در کل مصالح)

جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن			مشخصات مصالح	
%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵		
۲/۴۵	۲/۵۱	۲/۵۴	۲/۳۷	۲/۴۵	۲/۵۳	درشت‌دانه	وزن مخصوص واقعی (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۴۷	۲/۵۱	۲/۵۵	۲/۳۸	۲/۴۸	۲/۵۵	ریزدانه	
۲/۵۳	۲/۶۱	۲/۶۷	۲/۶۳	۲/۶۸	۲/۷۳	درشت‌دانه	وزن مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۵۷	۲/۶۳	۲/۶۹	۲/۶۱	۲/۶۹	۲/۷۵	ریزدانه	
۱/۲۹	۱/۵۲	۱/۷۶	۴/۱۷	۳/۵	۲/۸۹	درشت‌دانه	درصد جذب آب (%)
۱/۵۷	۱/۸۱	۲	۳/۷	۳/۱۴	۲/۸۵	ریزدانه	

جدول ۷. وزن مخصوص و جذب آب (اختلاط در درشت‌دانه)

جایگذاری آسفالت درشت‌دانه			جایگذاری بتن درشت‌دانه			مشخصات مصالح	
%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵		
۲/۳۵	۲/۴۶	۲/۵۴	۲/۲۱	۲/۳۷	۲/۵۱	درشت‌دانه	وزن مخصوص واقعی (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۵۹	ریزدانه	
۲/۳۹	۲/۵۴	۲/۶۷	۲/۵۲	۲/۶۳	۲/۷۲	درشت‌دانه	وزن مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۸۱	ریزدانه	
۰/۷۱	۱/۲۸	۱/۹	۵/۶	۴/۱۷	۳/۰۷	درشت‌دانه	درصد جذب آب (%)
۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	ریزدانه	

جدول ۸. وزن مخصوص و جذب آب (اختلاط در ریزدانه)

جایگذاری آسفالت ریزدانه			جایگذاری بتن ریزدانه			مشخصات مصالح	
%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵		
۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	درشت‌دانه	وزن مخصوص واقعی (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۴۱	۲/۴۸	۲/۵۳	۲/۳۱	۲/۴۳	۲/۵۲	ریزدانه	
۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	درشت‌دانه	وزن مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌متر مکعب)
۲/۴۸	۲/۵۸	۲/۶۶	۲/۵۶	۲/۶۵	۲/۷۱	ریزدانه	
۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	درشت‌دانه	درصد جذب آب (%)
۱/۱۸	۱/۵۶	۱/۹۳	۴/۲	۳/۴۱	۲/۷۸	ریزدانه	

جدول ۹. مشخصات تراکمی مصالح طبیعی

ترکیب	وزن مخصوص بیشینه (گرم/سانتی‌متر مکعب)	رطوبت بهینه (%)
نمونه شاهد	۲/۳	۷/۱

جدول ۱۰. مشخصات تراکمی انواع ترکیب‌های حاوی بتن

رطوبت بهینه (%)	وزن مخصوص خشک بیشینه (گرم/سانتی متر مکعب)	نوع اختلاط	
۹/۱	۲/۱	%۱۵	در کل مصالح
۱۰	۲/۰۶	%۳۰	
۱۰/۸	۲/۰۱۴	%۵۰	
۸/۹	۲/۰۷	%۱۵	در بخش درشت‌دانه
۱۰	۲/۰۳	%۳۰	
۱۱/۱	۱/۹۸	%۵۰	
۸	۲/۱۲	%۱۵	در بخش ریزدانه
۸/۹	۲/۰۶	%۳۰	
۱۰/۱	۲/۰۱	%۵۰	

جدول ۱۱. مشخصات تراکمی برای انواع ترکیب‌های حاوی آسفالت

رطوبت بهینه (%)	وزن مخصوص خشک بیشینه (گرم/سانتی متر مکعب)	نوع اختلاط	
۶/۷۵	۲/۱۷	%۱۵	در کل مصالح
۶/۳۵	۲/۱۲۵	%۳۰	
۵/۸	۲/۰۶	%۵۰	
۷/۱	۲/۲۲	%۱۵	در بخش درشت‌دانه
۶/۸	۲/۱۸	%۳۰	
۶/۱	۲/۱۳	%۵۰	
۶/۵	۲/۱۳۵	%۱۵	در بخش ریزدانه
۶	۲/۰۷	%۳۰	
۵/۱	۲/۰۱	%۵۰	

۴-۲- آزمایشات خصوصیات عملکردی آزمایش تراکم

با توجه به استفاده مصالح در راهسازی، از روش تراکم D برای آزمایش تراکم استفاده شده است. با توجه به این موضوع که مصالح به‌کاررفته دارای دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۹ میلی‌متر می‌باشند، تصحیح دانه‌بندی برای انجام آزمایش تراکم طبق دستورالعمل‌های موجود انجام شد. نتایج این آزمایش در جداول ۹ تا ۱۱ با توجه به نوع اختلاط ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید، درصد رطوبت بهینه ترکیبات حاوی بتن بیشتر از ترکیبات حاوی آسفالت می‌باشد، زیرا درصد جذب آب بتن از آسفالت بیشتر است. همچنین با افزایش بتن، درصد رطوبت بهینه افزایش می‌یابد که دلیل این امر بالا بودن درصد جذب آب بتن می‌باشد، موضوعی که برای آسفالت برعکس است. از دیگر نتایج

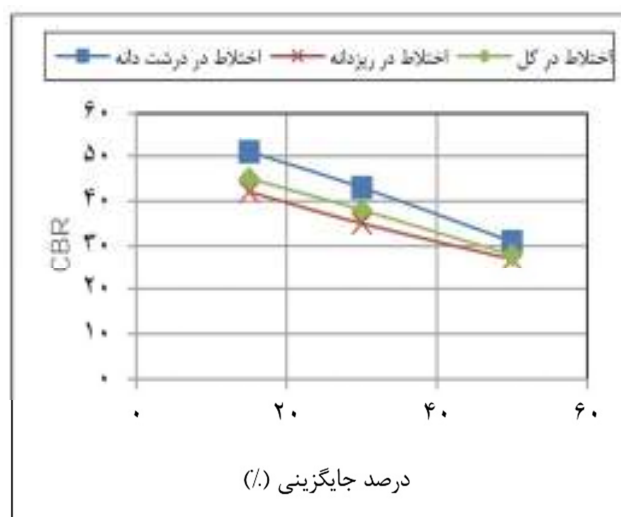
می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با افزایش بتن و آسفالت به مصالح سنگدانه‌ای، وزن مخصوص بیشینه کاهش می‌یابد که دلیل این امر وزن مخصوص کمتر بتن و آسفالت نسبت به مصالح سنگدانه‌ای است. همچنین وزن مخصوص بیشینه ترکیب‌های حاوی بتن از ترکیب‌های حاوی آسفالت به دلیل کمتر بودن وزن مخصوص، کمتر است. در مقایسه انواع اختلاط هم می‌توان اظهار داشت که در ترکیبات حاوی بتن رطوبت بهینه برای اختلاط در بخش درشت‌دانه بیشتر است، زیرا بخش درشت‌دانه بتن درصد جذب آب بیشتری نسبت به بخش ریزدانه‌اش دارد. در ترکیبات حاوی آسفالت نیز رطوبت بهینه برای اختلاط در بخش ریزدانه کمتر است، زیرا بخش ریزدانه آسفالت حالت لاستیکی به مصالح می‌دهد و باعث نرم شدن و بهبود کوبش می‌شود که این موضوع

رطوبت بهینه را کاهش می‌دهد. بعد از آزمایش تراکم، مصالح نمونه دوباره دانه‌بندی شدند تا میزان خردشدگی آن‌ها تحت تراکم بررسی شود. البته این خردشدگی برای مصالح زیاد نبود و دانه‌بندی جدید نیز در محدوده دانه‌بندی مجاز قرار گرفت.

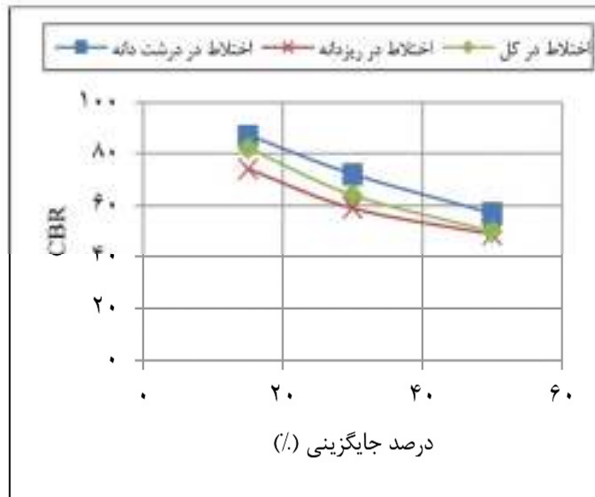
تأثیر جایگزینی بتن بر نسبت باربری کالیفرنیا

با توجه به منحنی‌های ۲-۴، و این موضوع که نسبت باربری کالیفرنیا نمونه شاهد ۱۵۸ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش بتن ضایعاتی، نسبت باربری کالیفرنیا کاهش می‌یابد که دلیل این امر می‌تواند سختی کمتر این مصالح نسبت به مصالح سنگدانه‌ای و درصد شکستگی کمتر این مصالح باشد. همچنین این مصالح دارای وزن مخصوص کمتری نسبت به مصالح سنگدانه‌ای می‌باشند. با توجه به نمودار ۲ ملاحظه می‌شود که جایگذاری بتن خردشده دارای نسبت باربری کالیفرنیا پایینی است که دلیل این امر تراکم نامطلوب و پایین مصالح است. با مقایسه نمودارهای ۲ تا ۴، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش ضربه‌های چکش تراکم از ۱۵ به ۳۰ ضربه چکش، نسبت باربری کالیفرنیا نمونه‌ها در شرایط جایگزینی یکسان به‌طور میانگین حدود ۵۵٪ افزایش داشته و این مقدار در مقایسه با ۵۶ ضربه چکش در هر لایه تراکم، حدود ۱۲۰٪ است که این خود بیانگر اهمیت بسیار بالای تراکم در تأمین مقاومت این مصالح است.

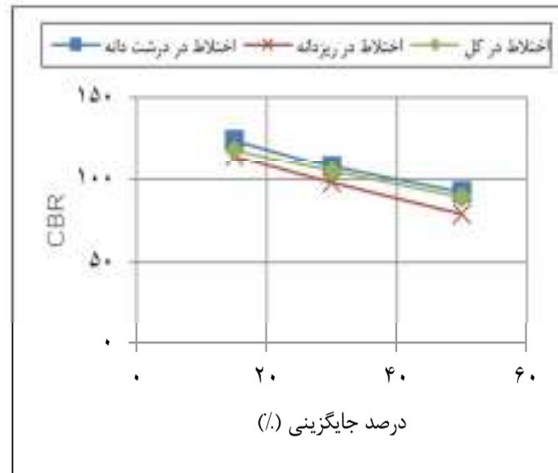
می‌توان نتیجه گرفت، نسبت باربری کالیفرنیا در حالت اختلاط بتن در بخش درشت‌دانه مصالح سنگدانه‌ای بیشتر می‌باشد که دلیل این امر می‌تواند تیزگوشی‌تر بودن درشت‌دانه بتن نسبت به ریزدانه‌های آن باشد. این موضوع، چفت‌ویست بهتری را ایجاد می‌کند که همین امر مقاومت را بهبود می‌دهد. با توجه به منحنی ۴ در حالت تراکم ۱۰۰٪ اختلاف بین نسبت باربری کالیفرنیا در سه نوع اختلاط کم است، زیرا با افزایش درصد بتن، مقدار ریزدانه‌های بتنی موجود افزایش یافته و این ریزدانه‌ها مقداری واکنش پوزولانی نشان داده و باعث سفت شدن ترکیب می‌شوند و همین امر موجب افزایش نسبت باربری کالیفرنیا می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ترکیب‌های حاوی بتن دارای نسبت باربری کالیفرنیا مناسبی برای استفاده در لایه اساس می‌باشند، مثلاً با توجه به منحنی ۴ برای حالت تراکم ۱۰۰٪ و با توجه به این موضوع که حداقل نسبت باربری کالیفرنیا مجاز برای استفاده در لایه اساس ۸۰ می‌باشد، تمامی ترکیب‌ها قابلیت استفاده در لایه اساس را دارند، اما با توجه به منحنی ۳ در تراکم ۳۰ ضربه چکش در هر لایه، فقط اختلاط در بخش درشت‌دانه آن‌هم تا حدود ۲۰٪ می‌تواند در لایه اساس مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به منحنی ۲ در تراکم ۱۵ ضربه چکش در هر لایه نیز هیچ‌کدام از ترکیب‌ها امکان استفاده در لایه اساس را ندارند که این موضوع اهمیت درصد تراکم برای استفاده از این مصالح در لایه اساس را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط بتن در تراکم ۱۵ ضربه چکش در هر لایه



شکل ۳. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط بتن در تراکم ۳۰ ضربه چکش در هر لایه



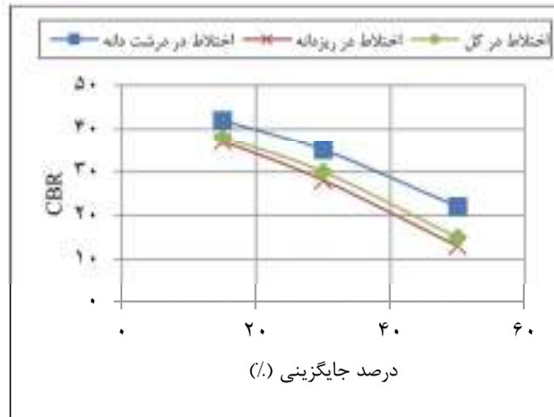
شکل ۴. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط بتن در تراکم ۵۶ ضربه چکش در هر لایه

تأثیر جایگزینی خرده آسفالت بر نسبت باربری کالیفرنیا

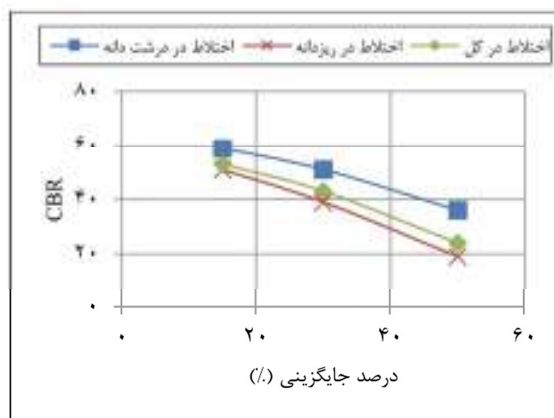
با توجه به منحنی‌های ۵-۷ و این موضوع که نسبت باربری کالیفرنیا نمونه شاهد ۱۵۸ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش آسفالت ضایعاتی، نسبت باربری کالیفرنیا کاهش می‌یابد که دلیل این امر می‌تواند سختی کمتر این مصالح نسبت به مصالح سنگدانه‌ای و درصد شکستگی کمتر این مصالح باشد. همچنین این مصالح دارای وزن مخصوص کمتری نسبت به مصالح سنگدانه‌ای می‌باشند.

با توجه به نمودارهای ۵ تا ۷ در مورد جایگذاری آسفالت می‌توان به این موضوع اشاره کرد که تأثیر تراکم در تأمین مقاومت این آن بسیار مهم است. به‌طور مثال با مقایسه نمودار ۵ که نمونه آن با ۱۵ ضربه چکش در هر لایه متراکم شده است با نمودار ۷ که نمونه آن با ۵۶ ضربه چکش در هر

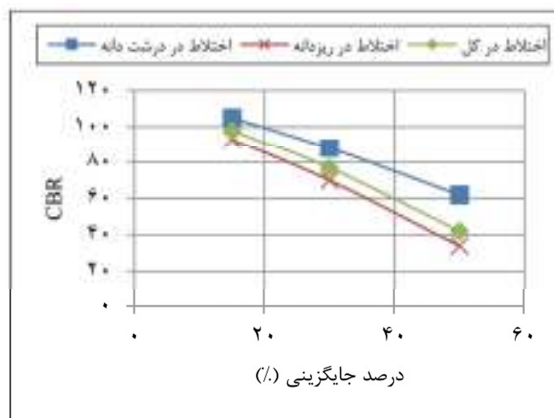
لایه متراکم شده است ملاحظه می‌شود نسبت باربری کالیفرنیا نمونه اول به‌طور میانگین ۱۲۰٪ کمتر از نمونه دوم است که این موضوع اهمیت مسئله تراکم را نشان می‌دهد. از نتایج دیگری که می‌توان از این نمودارها گرفت این است که با افزایش جایگزینی خرده آسفالت در مصالح نمونه‌ها، نسبت باربری کالیفرنیا با شدت بیشتری کاهش می‌یابد که این موضوع تأثیر منفی خرده آسفالت بر مقاومت مصالح را بیشتر نمایان می‌سازد. همچنین، بهترین نوع اختلاط، اختلاط آسفالت با بخش درشت‌دانه مصالح سنگدانه‌ای است، زیرا نسبت به بخش ریزدانه آسفالت حالت لاستیکی کمتری به مصالح می‌دهد و همچنین تیز گوشه تر است.



شکل ۵. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط آسفالت در تراکم ۱۵ ضربه چکش در هر لایه



شکل ۶. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط آسفالت در تراکم ۳۰ ضربه چکش در هر لایه



شکل ۷. نسبت باربری کالیفرنیا برای اختلاط آسفالت در تراکم ۵۶ ضربه چکش در هر لایه

اختلاط آسفالت در کل مصالح نیز نسبت باربری کالیفرنیا
 بهتری را نسبت به اختلاط آن در بخش ریزدانه موجب
 می شود که دلیلش قبلاً ذکر شد. با توجه به منحنی های ۵ و ۶
 می توان گفت که ترکیب های ساخته شده در تراکم های پایین

(۱۵ ضربه و ۳۰ ضربه چکش در هر لایه) عملاً امکان استفاده در لایه اساس را ندارند. با مقایسه تأثیر بتن و آسفالت خردشده در نسبت باربری کالیفرنیا، می‌توان نتیجه گرفت که بتن خردشده نسبت به آسفالت خردشده کاهش کمتری را موجب می‌شود. دلیل این امر می‌تواند سختی بیشتر بتن خردشده نسبت به آسفالت خردشده باشد. خرده آسفالت به دلیل آغشته بودن به قیر، سطح صاف‌تری نسبت به خرده بتن دارد که این موضوع نفوذ پیستون دستگاه نسبت باربری کالیفرنیا را تسهیل می‌کند که همین امر موجب کاهش نسبت باربری کالیفرنیا می‌شود.

تأثیر جایگزینی مصالح ضایعاتی بر نفوذپذیری

یکی از مباحثی که همواره در مورد مصالح لایه اساس مطرح است، نفوذپذیری آن است. زیرا لایه اساس اولین قشر بعد از لایه رویه می‌باشد و آبی که از رویه به لایه اساس نفوذ می‌کند در صورت زهکشی نامناسب تأثیر مخربی بر کل سیستم روسازی دارد. این آب اگر در بین دانه‌های مصالح سنگی بماند و زهکشی نشود، ممکن است یا به دلیل سرما یخ بزند و موجب انبساط روسازی و ترک خوردن آن شود، یا این‌که بعد از یخ زدن دوباره ذوب شود و باعث خرد شدن مصالح و کاهش مقاومت مصالح شود. از این رو زهکشی مناسب مصالح لایه اساس همیشه مطرح بوده است. در بخش های قبلی تأثیر استفاده از بتن و آسفالت ضایعاتی بر روی

مقاومت مصالح بررسی شد، در این بخش به بررسی تأثیر استفاده از این مصالح بر نفوذپذیری پرداخته خواهد شد. با توجه به این موضوع که نفوذپذیری مصالح لایه اساس مقدار کمی است و به دست آوردن آن در آزمایشگاه سخت است، در این بخش، دانه‌بندی شماره ۲ لایه اساس طبق نشریه ۲۳۴ برای انجام آزمایش انتخاب شد که دارای دانه‌بندی درشت‌تر و بازتری است. بر همین اساس برای تراکم مصالح نیاز به رطوبت بهینه بود که آزمایش تراکم بر این مصالح انجام و نتیجه در جدول‌های ۱۲ تا ۱۴ آورده شده است. در ادامه نیز نتایج مربوط به تأثیر مصالح ضایعاتی بر نفوذپذیری در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به منحنی‌های مربوطه می‌توان نتیجه گرفت که افزایش آسفالت برخلاف بتن در هر سه نوع اختلاط باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود، دلیل این امر را می‌توان در چند بحث پیگیری کرد: ۱- آسفالت درشت‌دانه نسبت به بتن درشت‌دانه گردگوشه‌تر و در نتیجه دارای فضای خالی بیشتر می‌باشد که این موضوع نفوذپذیری را افزایش می‌دهد ۲- آسفالت خردشده دارای سطح صافی بوده که این موضوع آن را آب‌گریز می‌کند و همین امر نفوذپذیری را افزایش می‌دهد ۳- آسفالت ریزدانه نسبت به بتن ریزدانه دارای حد روانی کمتری است که موجب می‌شود در اثر عبور آب، به دلیل چسبندگی کم، حجم فضای خالی آن افزایش یافته که این امر موجب افزایش نفوذپذیری می‌شود.

جدول ۱۳. نتایج آزمایش تراکم برای جایگذاری آسفالت و بتن

ریزدانه

مشخصات مصالح	جایگذاری بتن ریزدانه			جایگذاری آسفالت ریزدانه		
	٪۱۵	٪۳۰	٪۵۰	٪۱۵	٪۳۰	٪۵۰
وزن مخصوص خشک بیشینه (گرم/سانتی‌متر مکعب)	۲/۱	۲/۰۳	۱/۹۸	۲/۱	۲/۰۲	۱/۹۷
رطوبت بهینه (٪)	۸/۱	۹/۲	۱۰/۳	۶/۳	۵/۶	۴/۹

جدول ۱۲. نتایج آزمایش تراکم برای جای گذاری آسفالت و بتن

مخلوط

مشخصات مصالح	جایگذاری بتن مخلوط			جایگذاری آسفالت مخلوط		
	٪۱۵	٪۳۰	٪۵۰	٪۱۵	٪۳۰	٪۵۰
وزن مخصوص خشک بیشینه (گرم/سانتی‌متر مکعب)	۱/۰۷	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۱۴	۱/۰۸	۱/۰۱
رطوبت بهینه (٪)	۸/۷	۹/۵	۱۰	۶/۶	۶	۵/۲

جدول ۱۴. نتایج آزمایش تراکم برای جایگذاری آسفالت و بتن

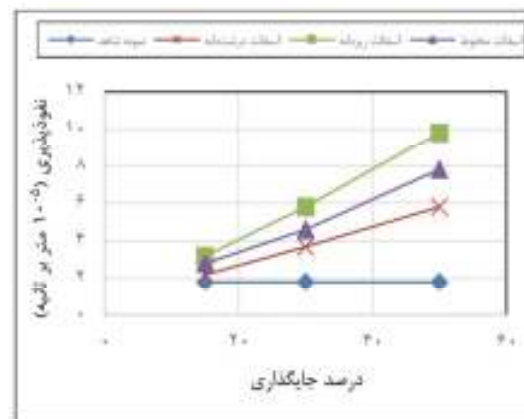
مشخصات مصالح	درشت دانه					
	جایگذاری آسفالت			جایگذاری بتن		
	درشت دانه			درشت دانه		
	%۵۰	%۳۰	%۱۵	%۵۰	%۳۰	%۱۵
وزن مخصوص خشک بیشینه (گرم/سانتی متر مکعب)	۲/۱	۲/۱۵	۲/۱۹	۱/۹۴	۲/۰۱	۲/۰۵
رطوبت بهینه (%)	۵/۵	۶/۲	۷	۱۰/۷	۹/۷	۸/۹

است از: ۱- جایگزینی آسفالت ریزدانه بیشترین افزایش را در نفوذپذیری موجب می‌شود که دلیل این موضوع می‌تواند این باشد که با تماس آب با آسفالت ریزدانه سطح تماسی آن با بقیه مصالح به دلیل چسبندگی کمتر کاهش یافته که این امر موجب افزایش فضای خالی و در نتیجه افزایش نفوذپذیری می‌شود. ۲- در جایگذاری آسفالت درشت دانه با توجه به شکل ۸ با جایگذاری تا ۵۰٪ نمونه، نفوذپذیری حدوداً ۳ برابر می‌شود که برای زهکشی آب در مکان‌های پر آب خوب می‌باشد. این در حالی است که برای جایگذاری آسفالت ریزدانه تا ۵۰٪ نمونه، نفوذپذیری حدوداً ۵ برابر می‌شود که اگرچه برای زهکشی لایه اساس بسیار خوب است، اما باید به مقاومت آن نیز توجه داشت، زیرا نمونه‌های حاوی آسفالت ریزدانه دارای مقاومت کمی هستند. در مورد نمونه‌های حاوی بتن نیز با توجه به شکل ۹ چند نکته قابل استخراج است که عبارت است از: ۱- جایگذاری بتن ریزدانه در مصالح طبیعی باعث کاهش قابل توجه نفوذپذیری می‌شود که دلیل این امر سفت شدن نمونه به دلیل واکنش پوزولانی البته به مقدار کم است. همان‌طور که در شکل ۱۱ پیداست با جایگذاری تا ۵۰٪ نمونه نفوذپذیری حدود ۱۱ برابر کمتر شده است که برای مکان‌هایی پرباران که زهکشی لایه اساس باید سریع انجام شود، خوب به نظر نمی‌رسد. ۲- جایگذاری بتن درشت دانه تا ۵۰٪ نمونه، نفوذپذیری کاهش چشمگیری نداشته است و از $1/8 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه برای نمونه شاهد به $1/25 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه برای نمونه جایگذاری شده رسیده است.

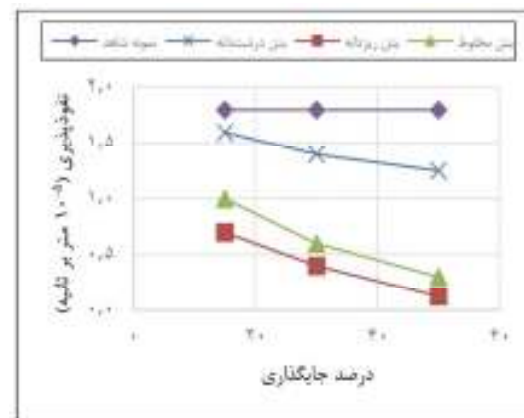
۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات، تحلیل‌ها و مباحث صورت گرفته، می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را به‌عنوان خلاصه جمع‌بندی کرد:

- آسفالت و بتن ضایعاتی دارای مشخصات فنی ضعیف‌تری نسبت به مصالح سنگدانه‌ای می‌باشند، باین‌حال، الزامات موردنیاز مشخصات فنی را برای استفاده در لایه اساس برآورده می‌نمایند.
- جایگزینی آسفالت نسبت به جایگزینی بتن کاهش بیشتری را در مقاومت نسبت باربری کالیفرنیا موجب می‌شود.



شکل ۸. منحنی نفوذپذیری برای درصد‌های مختلف آسفالت



شکل ۹. منحنی نفوذپذیری برای درصد‌های مختلف بتن

اما در مقایسه نمونه‌های حاوی آسفالت در برابر هم با توجه به شکل ۸ می‌توان به چند موضوع اشاره کرد که عبارت

دانه‌بندی شده در مصالح سنگدانه‌ای، جایگذاری در بخش درشت‌دانه کارایی بیشتری داشت.

- جایگذاری آسفالت ریزدانه، بیشترین افزایش را در نفوذپذیری موجب می‌شود (افزایش حدود ۵ برابری) و جایگذاری بتن ریزدانه، بیشترین کاهش را (کاهش حدود ۱۱ برابری) موجب می‌شود.

- میزان مجاز جایگذاری آسفالت در مصالح لایه اساس برای تأمین نسبت باربری کالیفرنیا که مقدار آن طبق آیین‌نامه ۸۰ است، در اختلاط درشت‌دانه حدود ۴۰٪، در اختلاط در کل حدود ۳۰٪ و در اختلاط ریزدانه حدود ۲۰٪ برای تراکم ۱۰۰٪ می‌باشد.
- از لحاظ ظرفیت باربری (نسبت باربری کالیفرنیا)، تمامی ترکیبات بتن قابلیت استفاده در لایه اساس را داشتند، اما برخی از ترکیبات آسفالت ضایعاتی، قابلیت استفاده در لایه اساس را نداشتند. در جایگزینی مصالح ضایعاتی

۶-مراجع

traffic-type loading in base and subbase applications". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1714), pp.33-39.

-Construction Materials Recycling Association. (2005), "Retrieved from <http://www.cdrecycling.org>.

-Dong, Q., & Huang, B., (2013), "Laboratory evaluation on resilient modulus and rate dependencies of RAP used as unbound base material. Journal of Materials in Civil Engineering", 26(2), pp.379-383.

-Edil, T. B., Tinjum, J. M., & Benson, C. H. (2012), "Recycled unbound materials. Retrieved from Environmental Protection Department". (2005), Retrieved from <http://www.info.gov.hk/epd>.

-Euch Khay, S. E., Euch Ben Said, S. E., Loulizi, A., & Neji, J. (2014), "Laboratory investigation of cement-treated reclaimed asphalt pavement material. Journal of Materials in Civil Engineering", 27(6), 04014192.

-Hendriks, C., & Pietersen, H. (2000), "Sustainable raw materials–construction and demolition waste (165-srm). State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee.

-Ho, N., Lee, Y., & Tan, J. (2008), "Beneficial use of recycled concrete aggregate for road construction in Singapore. Paper presented at the 6th International

-Abduli, M. (1995), "Solid waste management in Tehran. Waste Management & Research, 13(5), pp.519-531.

-Agrela Sainz, F., Ramirez Rodriguez, A., Barbudo Munoz, A., Galvín, A. P., & Jiménez Romero, J. R. (2012), "Real Application of Cement Treated Mixed Recycled Aggregates on Road Bases in Malaga", Spain. Paper presented at the Transportation Research Board 91st Annual Meeting.

-Arslan, H., Coşgun, N., & Salgın, B. (2012), "Construction and demolition waste management in Turkey". In Waste Management-An Integrated Vision: InTech.

-Ayan, V. (2011), "Assessment of recycled aggregates for use in unbound subbase of highway pavement. Kingston University".

-Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jiménez, J., & Poon, C. (2012), "Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications". Construction and Building Materials, 28(1), pp.129-138.

-Behiry, A. E. A. E.-M. (2013), "Evaluation of steel slag and crushed limestone mixtures as subbase material in flexible pavement". Ain Shams Engineering Journal, 4(1), pp.43-53.

-Bennert, T., Papp Jr., W., Maher, A., & Gucunski, N. (2000), "Utilization of construction and demolition debris under

characteristics of recycled unbound materials. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1787), pp.73-82.

-Nataatmadja, A., & Tan, Y. (2000), "The performance of recycled crushed concrete aggregates". Paper presented at the International Symposium on Unbound Aggregates in Roads, 5th, Nottingham, United Kingdom.

-Poon, C. S. (1997), "Management and recycling of demolition waste in Hong Kong". *Waste Management & Research*, 15(6), pp.561-572.

-Poon, C. S., & Chan, D. (2006), "Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base". *Construction and Building Materials*, 20(8), pp.578-585.

Taha, R., Ali, G., Basma, A., & Al-Turk, O. (1999), "Evaluation of reclaimed asphalt pavement aggregate in road bases and subbases". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1652), pp.264-269.

-Tam, V. W., Wang, K., & Tam, C. M. (2008), "Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis". *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), pp.703-714.

-Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Määttänen, A., Luotojärvi, T., & Kivekäs, L. (2000), "Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions". *Waste Management*, 20(2), pp.225-232.

-Xuan, D., Houben, L. J., Molenaar, A. A., & Shui, Z. (2012), "Investigation of combined effect of mixture variables on mechanical properties of cement treated demolition waste". *Engineering Journal*, 16 (4).

Conference on Road and Airfield Pavement Technology Sapporo, Japan.

-Hoppe, E. J., Lane, D. S., Fitch, G. M., & Shetty, S. (2015), "Feasibility of reclaimed asphalt pavement (RAP) use as road base and subbase material". Retrieved from.

-Huang, W.-L., Lin, D.-H., Chang, N.-B., & Lin, K.-S. (2002), "Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(1), pp.23-37. Iran Highway Asphalt Paving. (2011). Code No. 234 .

-Jiménez, J., Agrela, F., Ayuso, J., & López, M. (2011), "A comparative study of recycled aggregates from concrete and mixed debris as material for unbound road sub-base". *Materiales de Construcción*, 61(302), pp.289-302.

-Kim, W., Labuz, J., & Dai, S. (2007), "Resilient modulus of base course containing recycled asphalt pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2005), pp.27-35.

-Lee, K., Ho, N., Tan, J., Yoong, C., Lim, J., & Lee, K. (2009), "Field study on the use of recycled concrete aggregate for road trenching works in Singapore". Paper presented at the 2nd World Roads Conference Singapore Singapore.

-Locander, R. (2009), "Analysis of using reclaimed asphalt pavement (RAP) as a base course material.

-Retrieved from Marrani, A., & Lancieri, F. (2008), "Performance of cement stabilized recycled crushed concrete". Paper presented at the First International Conference on Transport Infrastructure ICTI, Beijing, China.

-Melbouci, B. (2009), "Compaction and shearing behaviour study of recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(8), pp.2723-2730.

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