مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۲-۳۲، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۱۱۵-۱۱۹، (یادداشت فنی)

Research Note

چگالی ویژه و میزان جذب آب سنگ‌دانه‌های بازیافتی حاصل از نخاله‌های بتنی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی پارس ۲ کنگان)

رضا بابائی * **(کارشناس ارشد)**
سعید گیتی‌پور (دانشیار)
محمدعلی عبدلی (استاد)
گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

در مطالعه‌ی حاضر به بررسی استفاده‌ی مجدد نخاله‌های ساختمانی حاصل از فرایند تخریب و ساخت و ساز منطقه‌ی پارس ۲ کنگان پرداخته شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی چگالی ویژه و میزان جذب آب سنگ‌دانه‌های بازیافتی حاصل از نخاله‌های بتنی منطقه‌ی مذکور جهت کاربرد به‌عنوان بخشی از سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در لایه‌های روسازی است. نخاله‌های ذکرشده پس از خردشدن در سنگ‌شکن با محدوده‌ی ۰ – ۲۵ میلی‌متر دانه‌بندی شده و سپس ۴ طرح اختلاط مجزا با درصد سنگ‌دانه‌های بازیافتی ۰، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ جهت بررسی عملکرد آنها در ترکیب لایه‌های روسازی تهیه و مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج نشان داده است که سنگ‌دانه‌های بازیافتی نسبت به سنگ‌دانه‌های طبیعی، چگالی ویژه‌ی کمتر و میل به جذب آب بیشتری دارند، که این امر به علت وجود ملات چسبیده به آن‌هاست.

واژگان کلیدی: نخاله‌های بتنی، بلوک سیمانی، روسازی راه، چگالی ویژه، جذب آب.

babaei.reza@ut.ac.ir
gitipour@ut.ac.ir
mabdoli@ut.ac.ir

۱. مقدمه

پسماندهای ساختمانی محصول ساخت بناهای جدید و یا مرمت و تخریب سازه‌های موجود و اساساً ترکیبی از مصالحی هستند که قابلیت بازیافت و استفاده‌ی مجدد را دارند.[۱و۲] این مواد عموماً به نخاله معروف هستند. میزان آلودگی نخاله‌ها نسبتاً کم است، تأثیر منفی در زیبایی منظر دارند، و همچنین حجم فضای خالصی که اشغال می‌کنند، اغلب بالاست؛ ضمناً کنترل‌های زیست‌محیطی اندکی بر روی زمین‌های در نظرگرفته‌شده جهت دفع این مواد صورت می‌پذیرد.[۱] دفع اولیه‌ی کلیه‌ی پسماندها شامل ۳ روش کلی است: دفن در زمین، زباله‌سوزی، و بازچرخش. در برخی مناطق به دلیل کمبود و همچنین ارزش بالای زمین، فضای لازم و مازاد وجود ندارد و دفن در زمین گزینه‌ی مناسبی نیست. علاوه بر این، اغلب نخاله‌های ساختمانی قابلیت سوختن ندارند؛ بنابراین، بازچرخش می‌تواند روشی خوب جهت کاهش و دفع این نوع پسماندها باشد.[۳و۴] از طرف دیگر، به علت خصوصیات مصالح مناطق مختلف، همواره یافتن منابع قرضه‌ی مناسب جهت طرح‌های عمرانی از جمله چالش‌هایی است که پیش روی مهندسان طراح و مشاور قرار می‌گیرد. از این جهت، استفاده‌ی مجدد پسماندهای ساختمانی می‌تواند باعث کاهش تحمیل هزینه‌های مضاعف ناشی از تأمین مصالح از نقاط دورتر و همچنین صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه، بازیافت انرژی، و کاهش تولید گازهای گلخانه‌یی و دیگر آلاینده‌ها شود.[۵] به‌عنوان مثال، نخاله‌های چوبی ساختمان‌های مناطقی که از چوب به مقدار قابل توجهی در فرایند ساخت و ساز استفاده می‌کنند و یا برخی از اجزاء دیگر ساختمان‌ها مانند کف‌پوش‌ها (موزائیک، سرامیک، و کاشی)، قابلیت سوختن به جای زغال سنگ جهت تولید انرژی برق حرارتی و یا خوراک کوره‌ی سیمان و آجرپزی را دارند.[۲] در صورت بازیافت و استفاده‌ی مجدد نخاله‌های ساختمانی در محل، فرایند تولید مصالح و حمل و نقل آنها از دیگر نقاط تقلیل می‌یابد، که این امر کاهش انتشار آلاینده‌های گازی ناشی از تجهیزات و ماشین‌آلات به محیط را در پی خواهد داشت.

نخاله‌های ساختمانی درگونه‌های مختلفی طبقه‌بندی و هرگونه ضایعات متفاوتی را شامل می‌شوند. به‌عنوان مثال، نخاله‌های حاصل از ساخت و یا مرمت جاده‌ها با نخاله‌های ناشی از ساخت و یا تخریب پل‌ها، ساختمان‌های مسکونی، تجاری، و غیره متفاوت هستند.[۶و۷] به‌عبارت دیگر، ترکیب و درصد مواد تشکیل‌دهنده‌ی نخاله‌های ساختمانی در مناطق مختلف دنیا تابع نوع و نحوه‌ی زندگی، نوع صنعت ساختمان، ترکیب و بافت جمعیتی، و نیز فراوانی منابع قرضه است.[۸و۹] بسیاری از کشورها به دلیل افزایش ساخت و سازها با کمبود منابع مصالح طبیعی مواجه شده و در حال جست‌وجوی روش‌های اقتصادی جهت جایگزینی سنگ‌دانه‌های

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۸/۲۸، اصلاحیه ۱۳۹۴/۱/۲۹، پذیرش ۱۳۹۴/۲/۲۰.

Archive of SID
www.SID.ir

طبیعی با دیگر سنگ‌دانه‌ها از قبیل سنگ‌دانه‌های حاصل از نخاله‌های بتنی هستند.[۳] همچنین، افزایش تقاضا برای معادن سنگ‌دانه‌های جدید باعث شده است که بافت طبیعی سطح زمین رو به زوال گذارد و نگرانی‌هایی از نظر محیط زیست ایجاد کند.[۱۰] از این رو، استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی، استخراج سنگ‌دانه‌های طبیعی، و میزان دفع نخاله‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین در صورت تأمین مشخصات فنی لازم، استفاده از این مصالح برای محیط زیست مناسب است.[۱،۳و۵] مطالعات نشان داده است هنگامی که سنگ‌دانه‌های حاصل از نخاله‌های بتنی با ۴٪ وزنی سیمان و ۴٪ وزنی خاکستر مخلوط شوند، مقاومت لازم جهت تهیه‌ی سنگ‌دانه‌های لایه‌ی اساس روسازی‌های انعطاف‌پذیر را خواهند داشت. متأسفانه استفاده از مواد نخاله‌ی بتنی به‌عنوان مصالح اساس، به ویژه فیلر و ریزدانه‌ها ممکن است که مشکل ایجاد کند و قسمتی از آن به آسانی در آب حل شود و باعث افزایش pH سیستم آب زیرزمینی و در نتیجه تحت تأثیر قراردادن پوشش گیاهی اطراف جاده شود. از این گذشته، نتایج مطالعات نشان می‌دهند که ریزدانه و فیلر حاصل از نخاله‌های بتنی، اساساً شامل کوارتز (SiO_2)، کلسیت ($CaCO_3$) و پرتلندیت ($Ca(OH)_2$) هستند.[۳] در نتیجه، زمان بارندگی و سیلاب، آب عبوری از مقطع عرضی لایه‌ی اساس به هنگام خروج از شانه‌ی دیگر جاده با دی اکسیدکربن موجود در اتمسفر ممکن است مطابق واکنش رابطه‌ی ۱ به شکل کربنات کلسیم رسوب کند، که این امر سیستم زهکشی لایه‌ی اساس را مسدود خواهد کرد:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (۱)$$

در حالی که بتن آسفالتی گرم در مقابل آب، نفوذ ناپذیر است، که این امر تهیه‌ی مصالحی جهت ترکیب با نخاله‌ی بتنی را ممکن خواهد ساخت. بسیاری از مطالعات، کاربرد سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی (RCA)[۱] درشت‌دانه جهت استفاده در طرح‌های اختلاط بتن آسفالتی و بتن سیمانی را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند.[۳و۱۱]

مطالعه‌ی حاضر به بررسی و تعیین چگالی ویژه و میزان جذب آب سنگ‌دانه‌های بازیافتی حاصل از نخاله‌های بتنی منطقه‌ی پارس ۲ کنگان در ترکیب با سنگ‌دانه‌های حاصل از سنگ‌های طبیعی جهت تأمین مشخصات فنی سنگ‌دانه‌های لایه‌ی آستر[۲] بتن آسفالتی گرم پرداخته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مصالح

مواد و مصالح مورد استفاده در این مطالعه شامل: سنگ‌دانه‌های طبیعی، سنگ‌دانه‌های بازیافتی حاصل از نخاله‌های بتنی و بلوک سیمانی، وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی، آب آشامیدنی، آب مقطر، و غیره است.

- سنگ‌دانه‌های طبیعی از جنس سنگ آهک با میانگین ۹۴٪ شکستگی در دو جبهه است، که از معادن قلوه‌سنگ‌های رودخانه‌یی روستای تمبک قدیم، روبروی فاز ۱۴ منطقه‌ی پارس ۲، واقع در شرق بندر کنگان استان بوشهر استخراج شده است.
- سنگ‌دانه‌های بازیافتی از جمع‌آوری و بارگیری ۵ کامیون ۱۵ تنی از نخاله‌های بتنی و بلوک‌های سیمانی منطقه‌ی پارس ۲ کنگان و انتقال به محل کارگاه و شکستن این مواد در سنگ‌شکن در حدود دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های طبیعی تهیه

شکل ۱. سنگ‌دانه‌های بازیافتی با حدود دانه‌بندی ۰ – ۲۵ میلی‌متر.

شده است. طرز تهیه‌ی سنگ‌دانه‌های بازیافتی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، به دلیل وجود سیمان در ترکیب سنگ‌دانه‌های بازیافتی، رنگ این سنگ‌دانه‌ها نسبت به مصالح طبیعی تیره‌تر است.

۲.۲. مشخصات ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها

جهت بررسی عملکرد نخاله‌ها در ترکیب طرح‌های اختلاط آسفالت لایه‌ی آستر، ۴ اختلاط مجزا با درصد سنگ‌دانه‌های بازیافتی[۳] ۰، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ تهیه و بر روی هر اختلاط به طور جداگانه کلیه‌ی آزمایش‌های مربوط به سنگ‌دانه‌ها شامل: دانه‌بندی، تعیین وزن مخصوص حقیقی (چگالی ویژه)، سختی (سایش لس‌آنجلس)، هم‌ارز ماسه‌یی، تطویل و تورق و شکستگی، به‌جز آزمایش دوام (به دلیل شرایط آب و هوایی منطقه) انجام شده است. در این پژوهش، آزمایش‌های دانه‌بندی، چگالی ویژه، و درصد جذب آب مورد بررسی و نتایج آن ارائه شده است.

نام‌گذاری هر طرح اختلاط با میزان نخاله‌ی آن مرتبط است، به گونه‌یی که در اختلاط RA۰ تمام سنگ‌دانه‌ها از نوع طبیعی است، RA۱۰ شامل ۱۰٪ سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی و ۹۰٪ سنگ‌دانه‌های طبیعی، طرح‌های RA۳۰ و RA۵۰ به ترتیب شامل ۳۰ و ۵۰ درصد سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی و ۷۰ و ۵۰ درصد سنگ‌دانه‌های طبیعی هستند.

سنگ‌دانه‌های انواع آسفالت گرم باید سخت، محکم، با دوام، تمیز، مکعبی‌شکل و عاری از هرگونه مواد آلی، رسی، شیستی، پوشش خاکی، و دانه‌های سُست و برای هر قطعه از پروژه، حتی‌الامکان از یک معدن تهیه شده باشند.[۱۲]

۱.۲.۲. دانه‌بندی

دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها یکی از مهم‌ترین عواملی است که در استقامت و ظرفیت باربری آسفالت تأثیر می‌گذارد. دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها با انجام آزمایش دانه‌بندی مشخص می‌شود. دانه‌بندی پیوسته‌ی کلیه‌ی طرح‌های اختلاط آسفالت بر طبق دستورالعمل ASTM D۳۵۱۵ منطبق با جدول ۱ بوده است.[۱۳و۱۴]

۲.۲.۲. فیلر

در صورتی که از شکستن سنگ‌دانه‌ها به مقدار کافی، فیلر (ردشده از الک ۲۰۰) تأمین نشود، باید فیلر اضافی تهیه و در کارخانه‌ی آسفالت از طریق سیلوی جداگانه به مصالح اضافه شود. فیلر اضافی را می‌توان از گرد سنگ‌های آهکی، آهک شکفته، سیمان، و یا سایر سنگ‌های معدنی مناسب تهیه کرد.[۱۳] از آنجایی که نوع مصالح سنگی منطقه‌ی پارس ۲ کنگان از جنس سنگ آهک است، میزان فیلر معدنی به اندازه‌ی کافی موجود بوده است و جهت طرح‌های اختلاط نیاز به فیلر اضافی نیست. دانه‌بندی مصالح مذکور بر طبق مشخصات آئین‌نامه‌یی مطابق جدول ۲ است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. دانه‌بندی پیوسته‌ی سنگ‌دانه‌ی طرح‌های اختلاط آسفالت (ASTM D۳۵۱۵).

اندازه‌ی الک (میلی‌متر)	درصد وزنی ردشده از الک: حدود آئین‌نامه	درصد وزنی ردشده از الک: رواداری
۲۵ (۱ اینچ)	۱۰۰	±۸
۱۹ ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۹۰ – ۱۰۰	±۸
۱۲٫۵ ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	–	
۹٫۵ ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۵۶ – ۸۰	±۷
۴٫۷۵ (شماره‌ی ۴)	۳۵ – ۶۵	±۷
۲٫۳۶ (شماره‌ی ۸)	۲۳ – ۴۹	±۶
۱٫۱۸ (شماره‌ی ۱۶)	–	
۰٫۶ (شماره‌ی ۳۰)	–	
۰٫۳ (شماره‌ی ۵۰)	۵ – ۱۹	±۵
۰٫۱۵ (شماره‌ی ۱۰۰)	–	
۰٫۰۷۵ (شماره‌ی ۲۰۰)	۲ – ۸	±۳

جدول ۲. دانه‌بندی فیلر.

اندازه‌ی الک (میلی‌متر)	درصد وزنی ردشده از الک: حدود آئین‌نامه	درصد وزنی ردشده از الک: فرمول کارگاهی
۱٫۱۸ (شماره‌ی ۱۶)	۱۰۰	۱۰۰
۰٫۶ (شماره‌ی ۳۰)	۹۷ – ۱۰۰	۹۹٫۵
۰٫۳ (شماره‌ی ۵۰)	۹۵ – ۱۰۰	۹۷٫۱
۰٫۰۷۵ (شماره‌ی ۲۰۰)	۷۰ – ۱۰۰	۷۵٫۸

شکل ۲. دستگاه اندازه‌گیری وزن مصالح غوطه‌ور در آب.

۳.۲.۲. چگالی ویژه[۴] و جذب آب مصالح درشت‌دانه

برای محاسبات مربوط به مشخصات آسفالت در طرح اختلاط و فرمول کارگاهی و به ویژه برای تعیین فضای خالی آسفالت کوبیده‌شده و فضای خالی مصالح سنگی، وزن مخصوص مصالح سنگی نقش مؤثری دارد.[۱۵] جهت تعیین چگالی ویژه‌ی مصالح سنگی درشت‌دانه ($G_۱$) و درصد جذب آب این مصالح (مانده روی الک ۸)، براساس دستورالعمل AASHTO-T۸۵ و ASTM-C۱۲۷، ابتدا سنگ‌دانه‌ها در آب مستغرق شده و بعد از گذشت ۲۴ ساعت مصالح از آب بیرون آورده شده، سطح آنها خشک و وزن شده‌اند. به این مقدار، وزن اشباع با سطح خشک گفته می‌شود (B گرم $= M_{Wet}$).

در گام دوم (شکل ۲)، وزن مصالح غوطه‌ور در آب بر حسب گرم محاسبه و یادداشت شده است (C گرم $= M_{Wet} - M_{Water}$). در مرحله‌ی بعدی مصالح درگرم‌خانه قرار داده شده، پس از گذشت ۲۴ ساعت سنگ‌دانه‌ها از گرم‌خانه بیرون آورده و وزن شده است تا وزن مصالح خشک به‌دست آید (A گرم $= M_S$). چگالی ویژه و درصد جذب آب به ترتیب از طریق فرمول‌های ۲ و ۳ محاسبه شده است. این آزمایش برای دو نمونه‌ی دیگر از همان نوع سنگ‌دانه انجام و چگالی ویژه و درصد جذب آب آنها نیز یادداشت شده است. درنهایت، میانگین اعداد به‌دست‌آمده به‌عنوان مقادیر چگالی ویژه و درصد جذب آب مصالح سنگی درشت‌دانه‌ی بتن آسفالتی انتخاب شده است.

$$G_۱ = \frac{M_S}{M_{Wet} - (M_{Wet} - M_{Water})} = \frac{M_S}{M_W} = \frac{\rho_S}{\rho_W} = \frac{A}{B - C} \quad (۲)$$

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{M_{Wet} - M_S}{M_S} \times ۱۰۰ = \frac{B - A}{A} \times ۱۰۰ \quad (۳)$$

۴.۲.۲. چگالی ویژه و جذب آب مصالح ریزدانه

جهت تعیین چگالی ویژه‌ی مصالح سنگی ریزدانه ($G_۲$) و درصد جذب آب این مصالح (ردشده از الک ۸ و مانده روی الک ۲۰۰)، براساس دستورالعمل AASHTO-T۸۴ از وسیله‌یی به نام پیکنومتر استفاده می‌شود. چگالی ویژه‌ی مصالح سنگی ریزدانه و درصد جذب آب به ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ به‌دست آمده است:

$$G_۲ = \frac{A}{B + D - C} \quad (۴)$$

$$\text{درصد جذب آب مصالح ریزدانه} = \frac{D - A}{A} \times ۱۰۰ \quad (۵)$$

که در آن، A وزن نمونه‌ی مصالح خشک‌شده درگرم‌خانه، B وزن پیکنومتر پُرشده از آب، C وزن پیکنومتر حاوی نمونه‌ی مصالح و آب، و D وزن نمونه‌ی مصالحی است که حفره‌های سطحی دانه‌های آن با قرارگرفتن در آب به مدت ۲۴ ساعت اشباع شده است.

۵.۲.۲. چگالی ویژه‌ی فیلر

چگالی ویژه‌ی فیلر ($G_۳$) براساس دستورالعمل AASHTO-T۱۰۰ با استفاده از پیکنومتر و انجام آزمایش تعیین چگالی ویژه‌ی خاک‌ها و از رابطه‌ی ۶ به‌دست آمده است:[۱۲]

$$G_۳ = \frac{W_۰}{W_۰ + (W_a - W_b)} \quad (۶)$$

که در آن، $W_۰$ وزن نمونه‌ی فیلر خشک‌شده درگرم‌خانه، W_a وزن پیکنومتر پُرشده از آب مقطر در درجه حرارت ۲۵°C و W_b وزن پیکنومتر حاوی نمونه‌ی فیلر و آب در درجه حرارت ۲۵°C است. با توجه به استفاده از فیلر طبیعی یکسان غیرخمیری برای تمامی طرح‌ها، مقدار چگالی ویژه‌ی آن اندازه‌گیری و برابر ۲٫۷۲۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شده است.

۳. نتایج و بحث

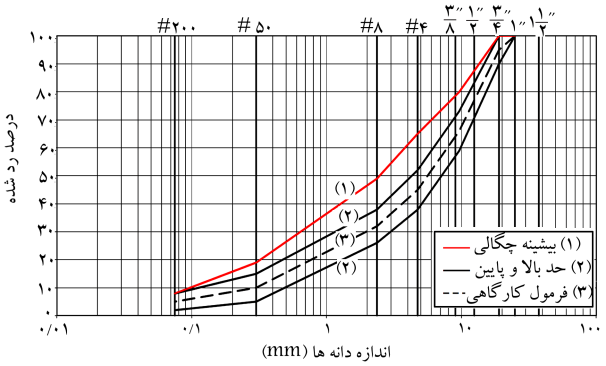
نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی، چگالی ویژه، و میزان جذب آب مصالح درشت‌دانه و ریزدانه نشان داده است که افزایش میزان سنگ‌دانه‌های بازیافتی در ترکیب ۴ طرح مختلف RA۰، RA۱۰، RA۳۰، RA۵۰ در کیفیت طرح‌های اختلاط به شرح زیر تأثیر منفی می‌گذارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. دانه‌بندی مخلوط سنگ‌دانه طرح‌های RA۰ تا RA۵۰.

اندازه‌ی الک	درصد وزنی ردشده از الک				
	حدود آئین‌نامه	رواداری	حد پایین	حد بالا	فرمول کارگاهی
۲۵ میلی‌متر	۱۰۰	±۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹ میلی‌متر	۹۰ – ۱۰۰	±۸	۹۰	۱۰۰	۹۵
۹٫۵ میلی‌متر	۵۶ – ۸۰	±۷	۵۹	۷۳	۶۶
الک شماره‌ی ۴	۳۵ – ۶۵	±۷	۳۸	۵۲	۴۵
الک شماره‌ی ۸	۲۳ – ۴۹	±۶	۲۶	۳۸	۳۲
الک شماره‌ی ۵۰	۵ – ۱۹	±۵	۵	۱۵	۱۰
الک شماره‌ی ۲۰۰	۲ – ۸	±۳	۲	۸	۵



شکل ۳. دانه‌بندی مخلوط سنگ‌دانه‌ی طرح‌های RA۰ تا RA۵۰.

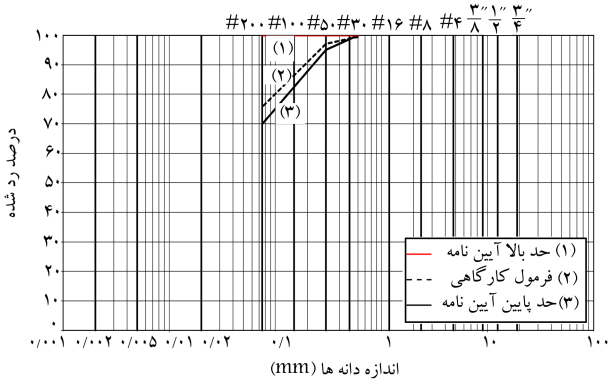
۱.۳. دانه‌بندی مخلوط سنگ‌دانه‌ها

در جدول ۳، فرمول کارگاهی به‌کاررفته جهت دانه‌بندی مخلوط سنگ‌دانه‌ی طرح‌های چهارگانه با اعمال رواداری‌های مجاز بر حدود آئین‌نامه ارائه شده است.

فرمول کارگاهی اعمال‌شده جهت دانه‌بندی مخلوط سنگ‌دانه‌ها در نمودار نیمه‌لگاریتمی شکل ۳ با خط‌چین و حدود پایین و بالا با خطوط پُر رنگ مشکی و بیشینه‌ی چگالی با خط قرمز رنگ مشخص شده‌اند. همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، دانه‌بندی فرمول کارگاهی با شرایط آئین‌نامه مطابقت داشته و تقریباً در حد وسط حدود پایین و بالا قرار گرفته است.

۲.۳. دانه‌بندی فیلر

فرمول کارگاهی دانه‌بندی فیلر مانند مصالح درشت‌دانه و ریزدانه، شرایط آئین‌نامه را ارضاء کرده و به سمت حد پایین حدود دانه‌بندی تمایل دارد (شکل ۴).



شکل ۴. دانه‌بندی فیلر.

۳.۳. چگالی ویژه و جذب آب مصالح درشت‌دانه

نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین چگالی ویژه (G_1) و جذب آب مصالح درشت‌دانه طرح‌های اختلاط ۴ گانه مطابق فرمول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که با افزایش درصد سنگ‌دانه‌های بازیافتی، میزان چگالی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها کاهش و میل به جذب آب آنها افزایش یافته است (جدول ۴). بیشینه‌ی میزان جذب آب مصالح سنگی درشت‌دانه‌ی مجاز، طبق دستورالعمل‌های ASTM-C۱۲۷ و ASSHTO-T۸۵ برابر ۲٫۸٪ بوده است.

جدول ۴. چگالی ویژه و میزان جذب آب مصالح درشت‌دانه‌ی طرح‌های RA۰ تا RA۵۰.

طرح	شماره‌ی نمونه	بیشینه‌ی مجاز		نتایج آزمایش	
		G_1	جذب آب (درصد)	G_1 (g/cm³)	جذب آب (درصد)
RA۰	۱	–	۲٫۸	۲٫۴۱۸	۴٫۰۲
	۲				
RA۱۰	۱			۲٫۴۱۷	۴٫۱۳
	۲				
RA۳۰	۱			۲٫۴۱۱	۴٫۲۷
	۲				
RA۵۰	۱			۲٫۴۰۲	۴٫۴۲
	۲				

جدول ۵. چگالی ویژه و میزان جذب آب مصالح ریزدانه‌ی طرح‌های RA۰ تا RA۵۰.

طرح	شماره‌ی نمونه	بیشینه‌ی مجاز		نتایج آزمایش	
		G_2	جذب آب (درصد)	G_2 (g/cm³)	جذب آب (درصد)
RA۰	۱	–	۲٫۸	۲٫۳۷۸	۵٫۱
	۲				
RA۱۰	۱			۲٫۳۵۲	۵٫۲۷
	۲				
RA۳۰	۱			۲٫۳۲	۵٫۳۰
	۲				
RA۵۰	۱			۲٫۳۰	۵٫۸۵
	۲				

۴.۳. چگالی ویژه و جذب آب مصالح ریزدانه

نتایج آزمایش‌های تعیین چگالی ویژه (G_2) و جذب آب مصالح ریزدانه‌ی طرح‌های اختلاط سنگ‌دانه‌ها مطابق فرمول‌های ۴ و ۵ در جدول ۵ نشان داده شده است. بیشینه‌ی میزان جذب آب مجاز مصالح ریزدانه طبق دستورالعمل‌های ASTM-C۱۲۸ و ASSHTO-T۸۴ برابر ۲٫۸٪ است.

همان‌گونه که قابل پیش‌بینی بود، به علت وجود نخاله‌های بتنی و بلوک سیمانی

Archive of SID
www.SID.ir

در ترکیب طرح‌ها میزان جذب آب مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه افزایش یافته است. با این حال، استفاده از مصالح سنگی با درصد جذب آب بیشتر برای قشر آستر با توجه به شرایط محیطی و ترافیکی محل اجرا مجاز است.[۱۳]

۴. نتیجه‌گیری

چگالی ویژه و میزان جذب آب سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی منطقه‌ی پارس ۲ کنگان و امکان استفاده از آنها به‌عنوان بخشی از سنگ‌دانه‌های لایه‌های روسازی در مطالعه‌ی حاضر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

همان‌گونه که شرح آن گذشت، مصالح سنگی منطقه از جنس سنگ آهک دولومیتی بوده است، که چگالی ویژه‌ی پایین و میل به جذب آب بالا دارد. به‌علاوه نتایج آزمایش طرح‌های اختلاط چهارگانه نشان داده است که ترکیب سنگ‌دانه‌های طبیعی حاصل از این مصالح سنگ آهک دولومیتی با سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی، با افزایش درصد سنگ‌دانه‌های بازیافتی در روند انجام آزمایش‌ها باعث می‌شود که چگالی ویژه کاهش و میل به جذب آب افزایش یابد. به دلیل اینکه سنگ‌دانه‌های اولیه‌ی تهیه‌ی بتن و بلوک سیمانی از مصالح سنگی منطقه‌ی پارس ۲ کنگان تهیه شده است، لذا کاهش کیفیت طرح‌های اختلاط دلیلی جز ملات چسبیده به سنگ‌دانه‌های بتنی بازیافتی نمی‌تواند داشته باشد. از آنجایی که میزان بارندگی سالانه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، پایین و حدوداً ۶ روز در سال است و همچنین به علت عدم وقوع فرایند ذوب و یخ در طی سال، میزان جذب آب بالا چندان در عدم پذیرش این مصالح به‌عنوان بخشی از سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در لایه‌های روسازی راه نقش ندارد. اما از طرف دیگر، کاهش چگالی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ی طرح‌ها، کمبود مقاومت لایه‌های روسازی در برابر بارهای وارده را در پی خواهد داشت. لذا اتخاذ راهکار مناسب برای جبران کاهش چگالی ویژه ضروری است.

تقدیر و تشکر

از همکاری سرپرست کارگاه تولید آسفالت شرکت آبادراهان پارس و عوامل آزمایشگاه فنی مکانیک خاک و مقاومت مصالح شرکت آباد کیفیت پارس مستقر در منطقه‌ی پارس ۲ کنگان برای انجام مطالعه‌ی حاضر صمیمانه تشکر می‌شود.

پانوشت‌ها

1. recycled concrete aggregate
2. binder
3. recycled aggregates
4. specific gravity

منابع (References)

1. Pe'rez, I., Pasandın, A.R. and Medina, L. "Hot mix asphalt using C&D Waste as Coarse aggregates", *Materials and Design,* **36**, pp. 840-846 (2011).
2. Burgoyne, D. "Construction & demolition (C&D) waste diversion in California", State of California, Department of General Services, 707 Third Street, Third Floor, Suite 3-305, West Sacramento, CA 95605.
3. Wong, Y.D., Sun, D.D. and Lai, D. "Value-added utilization of recycled concrete in hot-mix asphalt", *Waste Management,* **27**(2), pp. 294-301 (2007).
4. Shen, D.H. and Jia-Chong, D. "Application of gray relational analysis to evaluate HMA with reclaimed building materials", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **17**(4), pp. 400-406 (1 August 2005).
5. Lennon, M., *Recycling Construction and Demolition Wastes*, A Guide for Architects and Contractors, The Institution Recycling Network, 57 p. (April 2005).
6. ICF Incorporated, *Construction and Demolition Waste Landfills*, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste (February 1995).
7. U.S. EPA, Advanced Construction & Demolition Waste Management for Florida Builders (2001).
8. Rezaei, H. and Lashgaripoor, Gh. "Geotechnical characteristics of C & D wastes and their use in development projects", *The 6th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment,* Tarbiat Modares University, Tehran (2009).
9. The Houston Advanced Research Center, *Residential C&D Waste Study*, Prepared in Cooperation With The Houston-Galveston Area Council and Texas Commission on Environmental Quality (31 July 2005).
10. Akbulut, H. and Gürer, C. "Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements", *Building and Environment,* **42**(5), pp. 1921-1930 (2007).
11. Chen, M., Lin, J. and Wu, Sh. "Potential of recycled fine aggregates powder as filler in asphalt mixture", *Construction and Building Materials*, **25**(10), pp. 3909-3914 (2011).
12. Tabatabaei, A.M., *Road Pavement*, Publications of Academic Publication, Iran, Tehran (1987).
13. Vice-Presidency for Strategic Planning and Supervision, *Regulation of Asphalt Pavement for Iran Roads, Publication No. 234*, First Revision, Ministry of Roads & Urban Development, Iran Bitumen and Asphalt Institute- Research Institute of Transportation (2011).
14. Management and Planning Organization, *The General Technical Specifications of Road (First Revision), Publication No. 101*, Technical Assistant, Formulate Office of Technical Criteria, 82.00.14 (2003).
15. Office of Scientific Research, *Mixtures of Asphalt and Bitumen*, Holding Company and Soil Mechanics Laboratory, Tehran (2008).

Archive of SID
www.SID.ir