ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۱۲/۲۰

بررسی خواص سنگدانه بتن بازیافتی

کمیل مؤمنی[۱] ، علی جلالیان وشمه سرا[۲]، محمد جلالیان وشمه سرا[۳]

۱-استادیار فنی – گروه مهندسی عمران – دانشگاه فنی و حرفه ای ، دانشکده فنی امام صادق (ع) آستانه اشرفیه گیلان – ایران

۲-دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، واحد رشت، ایران

۳-دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، واحد رشت، ایران

Kmomeni@tvu.ac.ir

چکیده

مقاله پیش‌رو مروری است بر ظرفیت‌ها و چالش‌های استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی به عنوان جایگزینی برای سنگدانه طبیعی در مخلوط بتن. استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی با کاهش لزوم افتتاح معادن جدید و کاهش دفن نخاله‌های ساختمانی در لندفیل‌ها، به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کند و خصوصیات آن همچون وزن مخصوص، جذب و مقدار ناخالصی‌های موجود نقش مهمی در مقاومت و دوام بتن دارد. کیفیت این سنگدانه ها به خصوصیات سنگدانه اصلی و وضعیت بتن تخریب‌شده بستگی دارد. برخی محققان از افت خواص بتن دارای سنگدانه بازیافتی گزارش می‌دهند در حالی که برخی دیگر موفق به تولید بتن با عملکرد مشابه با بتن معمولی شده‌اند، مقاله پیش‌رو به بررسی خواص سنگدانه بتن بازیافتی می‌پردازد.

کلمات کلیدی: سنگدانه بتن بازیافتی، وزن مخصوص، دوام سلامت

مقدمه

بتن یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است. سیمان، سنگدانه (درشت و ریز)، آب ومواد افزودنی اجزاء اولیه مخلوط بتن را تشکیل می‌دهند(mindees et al.2003) از این میان سنگدانه‌ها نزدیک به ۷۰ تا ۸۰ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهند. سنگ شکسته، شن و ماسه انواع سنگدانه‌های طبیعی هستند که معمولاً در تولید بتن به کار می‌روند. سنگدانه‌های طبیعی از معدن‌کاوی منابع طبیعی و افتتاح معادن جدید به دست می‌آیند. فرایند معدن‌کاوی سنگدانه‌های طبیعی به طور کلی در معادن روباز بزرگ و وسیع و با کمک تجهیزات سنگین و مصرف مقدار زیادی انرژی روی می‌دهد(usgs, 1997). اتمام و کمبود منابع، اعمال هر نوع محدودیت بر دست‌اندازی به منابع جدید و افزایش هزینه تولید می‌تواند ساخت‌وساز را با چالش روبه‌رو کند. استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی به رفع برخی از این چالش‌ها کمک می‌کند(ACPA, 2009: 1-8, Verian, 2012: 192). سنگدانه بازیافتی را می‌توان از بتن‌های موجود به دست آورد؛ به همین دلیل سنگدانه بتن بازیافتی نامیده می‌شود. به گفته دی ورایس در سال ۱۹۹۶استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی در کارهای ساختمانی در بسیاری از نقاط مختلف جهان به یک الویت مهم تبدیل شده است، در سال ۱۹۹۴ بیش از ۷۸۰۰۰ تن در هلند استفاده شد. ۱۰ درصد از کل سنگدانه مصرفی در بریتانیا از سنگدانه بتن بازیافتی تشکیل شده است(Collins, 1996: 130-139). و آلمان از سال ۱۹۹۱ در تلاش است نرخ بازیافت نخاله‌های ساختمانی و تخریب سازه را به ۴۰ درصد برساند (van Acker, 1998: 321-332). براساس داده‌های موجود در سال

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۱۹۹۷، ۰/۹ میلیون تن از ۱/۰۶ میلیون تن بتن قدیمی بازیافت‌شده در دانمارک صرف کارهای ساختمانی شد (Schimmoller et al., 2000). فلورآ و برووِرس در سال ۲۰۱۲ گزارش کرده‌اند که به دلیل هزینه بالای فرایند دفن در لندفیل که گاهی از هزینه بازیافت نیز فراتر می‌رود، بسیاری از کشورهای اروپایی استانداردهای بسیار بالایی برای اهداف بازیافت خود تعیین کرده و به دنبال بازیافت ۵۰ تا ۹۰ درصد از نخاله‌های ساختمانی و تخریب سازه خود هستند(Florea and Brouwers, 2012).

در ایالات متحده آمریکا تا اواسط دهه ۱۹۹۰ نزدیک به ۱۰۰ پروژه روسازی بزرگراه‌ها با استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی انجام شد که قسمتی از آن از روکش‌هایی که ترک‌خوردگی D شکل داشته یا در اثر واکنش‌های آلکالی-سیلیکا آسیب دیده بودند، به دست آمده بود (Burke et al., 1992).

استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی به عنوان راهکاری برای حفاظت از محیط‌زیست و فرایندی سرشار از ظرفیت‌های مختلف رو به رشد و پیشرفت است. به همین دلیل شناخت خصوصیات این سنگدانه ها برای اطمینان از کاربرد موفقیت‌آمیز آن حیاتی است. متن پیش‌رو دربرگیرنده اطلاعاتی در مورد خصوصیات جدیدترین سنگدانه بتن بازیافتی موجود، اثرات آن بر خواص بتن است.

مزایای استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی

استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی به جای سنگدانه طبیعی تاثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی مثبت زیادی دارد. صرفه‌جویی در استفاده از سنگدانه‌های طبیعی را به دنبال دارد و به این ترتیب لزوم دست‌اندازی به محدوده‌های معدنی جدید را کاهش می‌دهد و در نتیجه از محیط زیست محافظت می‌کند. مصرف سوخت یا انرژی لازم برای حمل و جابجایی مواد را نیز کاهش می‌دهد (در مواردی که وزن هر واحد سنگدانه بتن بازیافتی کمتر از سنگدانه طبیعی است، انرژی مورد نیاز برای انتقال این سنگدانه ها به محل ساخت و ساز در یک فاصله معین کمتر از سنگدانه طبیعی است. از سوی دیگر استفاده از این سنگدانه ها، نخاله‌های ساختمانی را که معمولاً سر از لندفیل‌ها درمی‌آورند، کاهش می‌دهد(Mack et al, 2018). استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی می‌تواند هزینه‌های ساخت و ساز را نیز کاهش دهد. قیمت هر تن (۱۰۰۰ کیلوگرم) از این سنگدانه ها از ۱ تا ۱۸ دلار متغیر و در هر ناحیه متفاوت است (USGS, 2000). براساس مطالعه‌ای که توسط شورای محیط‌زیست موسسات بتن در سال ۲۰۱۸ انجام شد، براورد می‌شود استفاده از سنگدانه بازیافتی به جای سنگدانه طبیعی بیش از ۶۰ درصد صرفه‌جویی به همراه داشته باشد. مطالعه دانشگاه پوردو ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد استفاده از سنگدانه بازیافتی می‌تواند هزینه بتن روسازی را ۲/۹۳-۲/۲۶ دلار در هر تن کاهش دهد (بدون در نظر گرفتن صرفه‌جویی‌های احتمالی ناشی از عدم دفن این مواد در لندفیل) این مطالعه با ارائه یک مدل آنالیز هزینه-فایده اطلاعات مهمی در خصوص استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی فراهم کرد (Verian et al., 2013). مطالعات مختلف دیگری نیز با استفاده از آنالیز هزینه چرخه زندگی بتن، مزایای زیست‌محیطی استفاده از این سنگدانه را گزارش کرده‌اند. مطالعه هوسایین و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان داد استفاده از سنگدانه بازیافتی درشت‌دانه‌ای که از نخاله‌های ساختمانی و تخریب سازه در هنگ‌کنگ به دست می‌آید، ردپای گازهای گلخانه‌ای را بیش از ۶۵ درصد کاهش می‌دهد و با دست‌کم ۵۸ درصد کاهش هزینه انرژی همراه است.

مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که بتن تولیدشده با سنگدانه بتن بازیافتی را می‌توان طوری طراحی کرد که کیفیت آن با بتن تولیدشده با سنگدانه طبیعی برابری کند؛ بدون این که نیازی به اضافه کردن بتن اضافی باشد. مطالعه بلتران و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان دادند در نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۵ وقتی بتن بیشتری (بیش از ۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب) به مخلوط اضافه شود، استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی مقاومت فشاری و خمشی بتن را افزایش می‌دهد-Beltran et al. 2014: 124) (133. به گزارش اچبریا و همکاران در سال ۲۰۰۷ جایگزین کردن ۲۵ و ۵۰ درصد از وزن سنگدانه‌های درشت طبیعی مخلوط بتن با سنگدانه بتن بازیافتی در صورت اعمال اصلاحاتی مثل افزایش مقدار سیمان، کاهش نسبت آب به سیمان ، تنظیم مقدار

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

مواد افزودنی و نسبت سنگدانه، مقاومت فشاری و کششی بتن را بهبود می‌بخشد(Etxeberria et al. 2007: 735-742). جین و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز نشان داده‌اند که بتن حاوی ۳۰ درصد سنگدانه بتن بازیافتی درشت‌دانه (۰/۴۵: نسبت آب به سیمان) بهتر از بتن‌های شاهد که فقط از سنگدانه طبیعی درست شده‌اند (۰/۴۴: نسبت آب به سیمان) عمل می کند.

تولید سنگدانه بتن بازیافتی

مواد مختلف زیادی قابلیت بازیافت دارند و می‌توانند به جای سنگدانه طبیعی در ساخت و ساز به کار روند؛ از جمله بتن، آجر ، سرامیک ، پلاستیک ، شیشه و غیره. این بخش به سنگدانه بازیافتی حاصل از بتن می‌پردازد. برای تولید این سنگدانه، بتن موجود را خرد می‌کنند تا به عنوان سنگدانه در تولید بتن جدید به کار رود. فرایند تولید باید طوری طراحی شود که تولید سنگدانه قابل مصرف را از نظر کیفی و کمّی بهینه کند. کیفیت سنگدانه بتن بازیافتی حاصل عوامل مختلفی است از جمله کیفیت بتن اولیه، وجود ناخالصی‌ها (Noguchi et al., 2015: 405-416) و پردازش خود سنگدانه. مراحل مختلف بازیافت بتن شامل ارزیابی بتن اولیه، آماده‌سازی بتن، شکستن بتن و حذف هر نوع ناخالصی (یعنی مش فولادی، میلگرد یا داول)، خرد کردن بتن و دانه‌بندی سنگدانه بتن بازیافتی و فرایند خالص‌سازی(حذف هر گونه ناخالصی اضافی مثل ملات قدیمی) (ACI Committee, 2001:1-26).

ملاحظاتی برای استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی ریز

مشکل استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی ریز در مخلوط سیمان بیش از هر چیز مربوط به مقدار ناخالصی و ملات بیشتر این نوع سنگدانه بتن بازیافتی در مقایسه با سنگدانه بتن بازیافتی درشت است. ملات چسبیده و آزاد در تیزگوشگی، بافت سطحی زبر و جذب بالای ذرات سنگدانه بتن بازیافتی ریز نقش دارد (Evangelista et al, 2015: 178-188). گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد که این دست ویژگی‌های سنگدانه بتن بازیافتی ریز نقش مهمی در کارایی ناقص کاهش مقاومت بتن و افزایش قابل توجه ناپایداری حجمی بتن (یعنی جمع‌شدگی، خزش و ضریب انبساط حرارتی بتن) دارند(Obla et al., 2007).

مطالعه فن و همکاران در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد جمع‌شدگی خشک در ملات حاوی ۲۵ تا ۱۰۰٪ سنگدانه بتن بازیافتی ریز در تمام مراحل آزمایش (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روزه) بالاتر از نمونه‌های شاهد است چرا که این ماده پوک‌تر است و باعث تبخیر هر چه سریع‌تر آب می‌شود. اسمیت در سال ۲۰۱۸ مشاهده کرد سنگدانه بتن بازیافتی ریز حاوی ناخالصی‌های زیادی است که مقاومت بتن را کاهش می‌دهند. زاهاریوا و همکاران در سال ۲۰۰۳ استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی ریز را به دلیل تاثیرات منفی که معمولاً بر بتن دارد، منع کردند. براساس نتایج مطالعات اوانجلیستا و همکاران در سال ۲۰۱۵ هر چه ذرات بتن کوچک‌تر باشند (۵۰۰-۱۲۵ میکرومتر) مقدار ملات موجود در آنها بیشتر است در حالی که ذرات درشت (۴-۱ میلی‌متر) سنگدانه بتن بازیافتی ، مقدار ترک‌ها را در منطقه انتقال خمیر-سنگدانه به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد. براساس برآوردهای اوبلا و همکاران در سال ۲۰۰۷ هزینه‌ای که جداسازی سنگدانه بتن بازیافتی به اجزاء ریز و درشت بر تولیدکننده سنگدانه تحمیل می کند، بیشتر (۲ دلار در تن) از زمانی است که همه اجزاء بتن درشت‌اند. اوانجلیستا و دی بریتو در سال ۲۰۰۷ از سنگدانه بتن بازیافتی ریز حاصل از بتن‌هایی که مخصوصاً در شرایط آزمایشگاهی تهیه و سپس خرد شده‌بودند، استفاده کردند. مطالعه آنها نشان داد که سنگدانه بتن بازیافتی ریز آزمایشگاهی را می توان به نسبت ۳۰ درصد به جای سنگدانه طبیعی در تولید بتن به کار برد بدون این که تاثیر قابل توجهی بر خواص مکانیکی بتن مورد مطالعه (مقاومت فشاری، مقاومت کششی شکاف‌خوردگی، ضریب ارتجاعی و مقاومت در برابر جذب) داشته باشد و با این حال، نباید فراموش کرد که سنگدانه بتن بازیافتی ریز مورد استفاده در این مطالعه حاصل خرد و الک کردن بتنی است که به شکلی مخصوص در

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

آزمایشگاه تولید و عمل‌آوری شده است که ممکن است با شرایط مواجهه واقعی که بتن در محیط تجربه می‌کند، کاملاً متفاوت باشد. (Evangelista and de Brito, 2007: 397-401)

مطالعات مختلف گزارش کرده‌اند که در صورت استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی ریز به عنوان ملات، مقاومت فشاری برابر یا حتی بهتر از زمانی است که از شن طبیعی استفاده می‌شود چرا که سطح پوک و نامنظم‌تر سنگدانه بتن بازیافتی ریز (با مساحت سطحی بیشتر)، پیوند درهم‌تنیده بین سنگدانه و خمیر را افزایش می‌دهد (Neno et al, 2014: 168-177؛ Topcu and Bilir, 2010). هیدراسیون بین ذرات سیمان پرتلند معمولی غیرهیدراته موجود در سنگدانه بتن بازیافتی با آب نیز می‌تواند دلیل احتمالی افزایش مقاومت در طول زمان باشد (Braga et al, 2012: 960-968). در برخی مطالعات مقاومت ملات درست شده با سنگدانه بنایی بازیافتی بالاتر از مصالح ساخته‌شده با سنگدانه طبیعی است. این افزایش مقاومت ناشی از واکنش بین کلسیم هیدروکسید خمیر سیمان و آلومینیوم ($Al2O3$)/سیلیس ($SiO2$) موجود در سنگدانه بنایی بازیافتی ریز است که در طول زمان رخ می‌دهد(Vieira et al, 2016: 767-776).

۱-ویژگی‌های سنگدانه بتن بازیافتی

مطالعات زیادی به بررسی تفاوت بین ویژگی‌های سنگدانه بتن بازیافتی و سنگدانه طبیعی پرداخته‌اند مقدار ملات، وزن مخصوص، جذب، مقاومت سایشی لس آنجلس، دوام سلامت و اجزاء شیمیایی سنگدانه از جمله این تفاوت‌ها هستند.

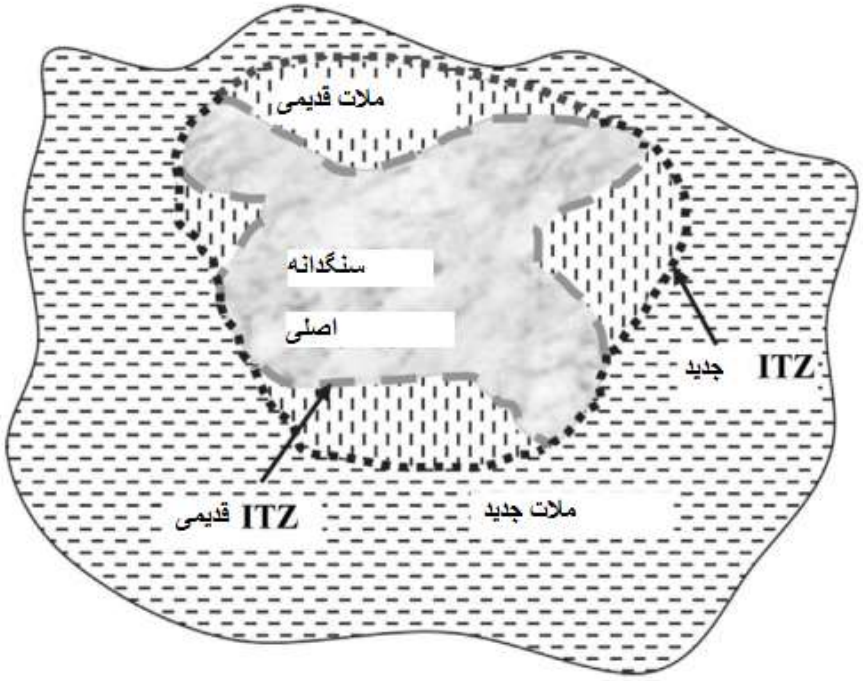
۲-۱-مقدار ملات

مشخص شده که برخی ملات‌ها خودبه‌خود به سطح سنگدانه اصلی می‌چسبند و به بخشی از محصول سنگدانه بتن بازیافتی تبدیل می‌شوند (Verian, 2012: 192). به دلیل ماهیت ملات که کم‌تراکم‌تر و پوک‌تر از مخلوط سنگدانه است، این ملات قدیمی سیستم سبک‌تری در سنگدانه بتن بازیافتی ایجاد می کند. وجود این ملات‌های قدیمی در نهایت ظرفیت جذب را افزایش و وزن مخصوص سنگدانه بتن بازیافتی را در مقایسه با بیشتر سنگدانه‌های طبیعی کاهش می‌دهد (Kisku et al, 2017: 721-740). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده در سیستم بتن، استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی که یک سطح آن حاوی لایه‌های ملات چسبیده است دو نوع منطقه انتقال (جدید و قدیمی) ایجاد می‌کند. مشخص شده توزیع منافذ در منطقه انتقال خمیر-سنگدانه جدید به شکل قابل توجهی متاثر از شرایط اولیه رطوبت سنگدانه بتن بازیافتی و مقاومت بتنی است که به عنوان منبع اولیه تولید سنگدانه بتن بازیافتی به کار رفته است (Leite and Monteiro, 2016: 38-48؛ Le et al, 2017: 479-490).

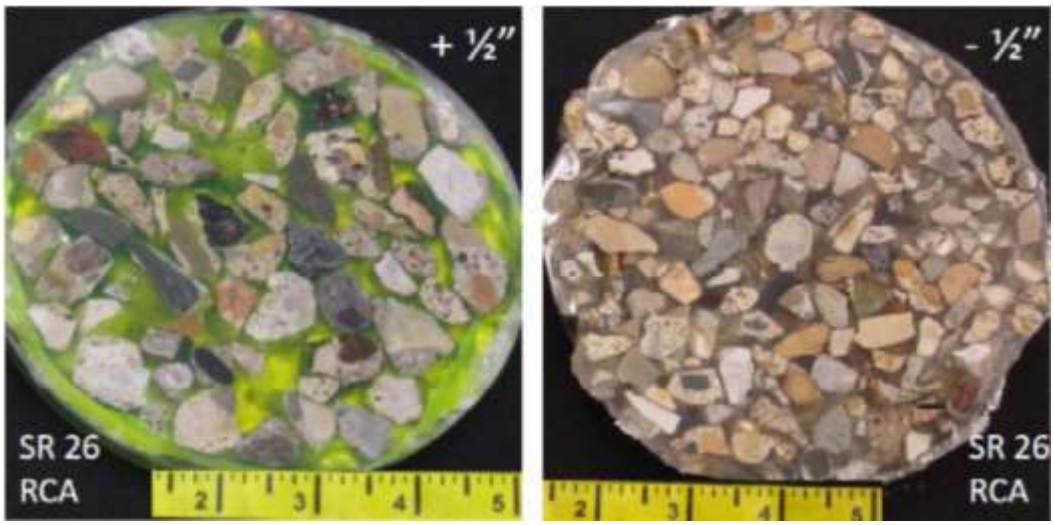
وریان با بررسی مقطع عرضی ذرات سنگدانه بتن بازیافتی احاطه‌شده با پروکسی، تلاش کردند درصد ملات چسبیده به سطح آنها را با استفاده از یک میکروسکوپ نوری معین کنند. نمونه‌های مشاهده‌شده در شکل ۲ آمده است. نتایج نشان داد که احتمال یافتن ملات‌های قدیمی چسبیده به سطوح سنگدانه بتن بازیافتی بیش از ۲۸/۹ درصد است (Verian, 2012: 192؛ Verian et al., 2013).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل ۱. طرح ساده شده‌ای از منطقه انتقال خمیر-سنگدانه جدید و قدیمی در بتن سنگدانه بتن بازیافتی- برگرفته از (2017) .isku et al.



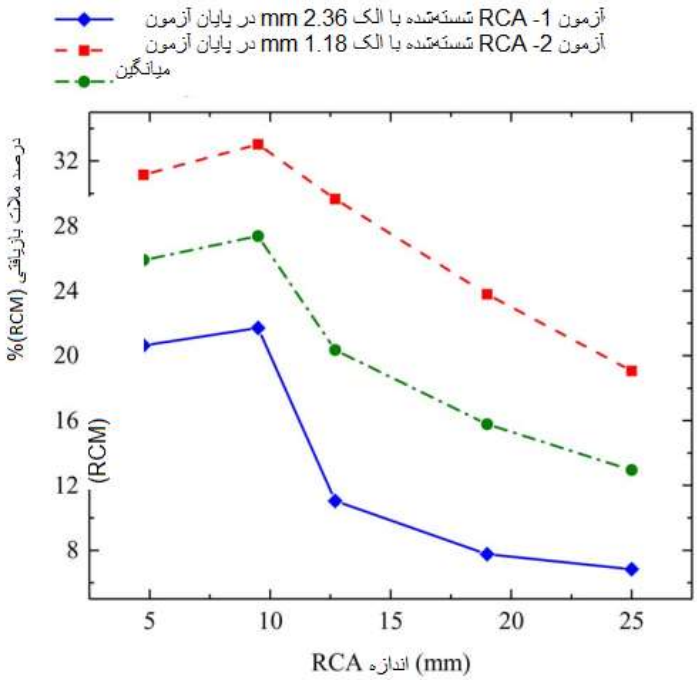
شکل ۲. برش مقطع عرضی نمونه‌های سنگدانه بتن بازیافتی احاطه‌شده با اپوکسی – برگرفته از(Verian et al., 2013 ؛Verian, 2012: 192).

اچبریا و همکاران درسال ۲۰۰۷ آلودگی‌های ملات قدیمی در دو جزء متفاوت (۱۰/۲۵ و ۴/۱۰ میلیمتر) از سنگدانه بتن بازیافتی مورد مطالعه خود را ۲۰ درصد و ۴۰ درصد گزارش کرده‌اند(Etxeberria et al. 2007: 735-742). لی نیز گزارش کرد که ملات چسبیده می‌تواند ۳۰-۲۰ درصد از حجم سنگدانه بتن بازیافتی را اشغال کند که در همان دامنه یافته‌های اچبریا و همکاران قرار دارد(Li, 2008). افروغ‌ثابت و همکاران در سال ۲۰۱۷ مقدار ملات چسبیده به دو نوع سنگدانه بتن بازیافتی مورد مطالعه خود را ۲۴ درصد و ۳۸ درصد اعلام کردند(Afroughsabet et al, 2017: 273-284). این سری از خصوصیات سنگدانه بتن بازیافتی ویژگی‌های بتن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روزلر و همکاران در سال ۲۰۱۳ مقدار ملات بازیافتی در سنگدانه بتن

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

بازیافتی درشت با اندازه‌های مختلف را گزارش کردند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، ملات بازیافتی ذرات ریز سنگدانه بتن بازیافتی (۴/۷۵و ۹/۵ میلی متر) بالاتر از ذرات درشت (< ۹/۵ میلی متر) است(Roesler et al, 2013). لیو و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مطالعه خود مقدار ملات قدیمی در سنگدانه بازیافت‌شده از بتنی با درجه مقاومت ۲۰ مگاپاسکال و ۳۰ مگاپاسکال را (که به ترتیب RA20 وRA30 خوانده می‌شود) گزارش کردند. درصد ملات قدیمی در RA20 ۴۲,۲۲ درصد و در RA30 ۴۶/۵۱ درصد است (Liu et al, 2011: 1050-1057).



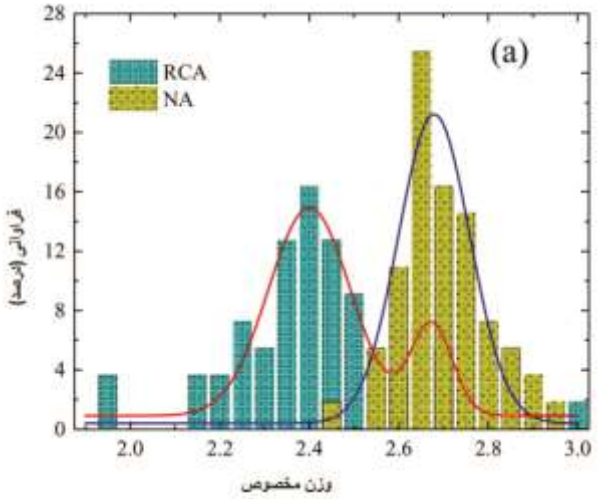
شکل ۳. ملات بازیافتی با اندازه سنگدانه بتن بازیافتی متفاوت- برگرفته از (Roesler et al, 2013).

۳-۱-وزن مخصوص

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، با توجه به مقالات گردآوری‌شده، وزن مخصوص سنگدانه بتن بازیافتی به طور کلی پایین‌تر از سنگدانه طبیعی است. وزن مخصوص سنگدانه بتن بازیافتی از ۱/۹۱ تا ۲/۷۰ (تنها استثناء مربوط به وزن مخصوص لوازم بهداشتی بازیافت‌شده است که برابر است با ۲/۹۷ و وزن مخصوص سنگدانه طبیعی از ۲/۴۰ تا ۲/۸۹ متغیر است(Vieira et al, 2016: 767-776). همان‌طور که پیش از این گفته شد، وجود ملات قدیمی چسبیده به سنگدانه بتن بازیافتی باعث کاهش وزن مخصوص سنگدانه بتن بازیافتی در مقایسه با سنگدانه طبیعی می‌شود (ACPA, 2009).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

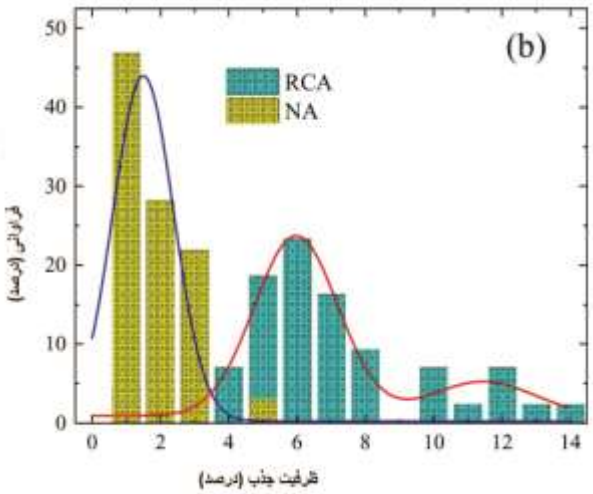
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل ۴ . توزیع فراوانی وزن مخصوص در سنگدانه بتن بازیافتی.

۴-۱-جذب

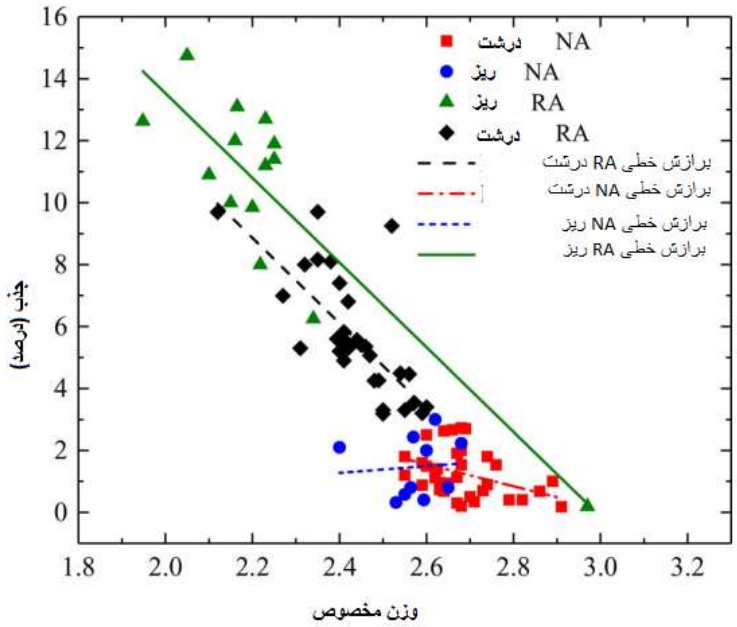
وجود ملات قدیمی در سطح ذرات سنگدانه بتن بازیافتی به دلیل ماهیت نسبتاً متخلخل ملات چسبیده، باعث می‌شود ظرفیت جذب سنگدانه بتن بازیافتی بالاتر از سنگدانه طبیعی باشد (Verian, 2012: 192 ؛ ACPA, 2009). در این مطالعات دامنه سنگدانه طبیعی از ۰/۳۴ تا ۳/۰۰ و دامنه سنگدانه بتن بازیافتی از ۰/۵۰ تا ۱۴/۷۵درصد گزارش شده است (در شکل ۵ نشان داده شده است). همبستگی بین وزن مخصوص گزارش‌شده در مقالات و جذب مربوطه در سنگدانه بازیافتی ریز و درشت در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، وزن مخصوص پایین‌تر با جذب کمتر همبستگی نشان می‌دهد (به جز سنگدانه طبیعی ریز که مقدار میانگین جذب آن تقریباً در کل دامنه وزن مخصوص مشاهده‌شده ثابت است).



شکل ۵ . توزیع فراوانی ظرفیت جذب در سنگدانه بتن بازیافتی.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل ۶. وزن مخصوص و جذب سنگدانه بازیافتی و سنگدانه طبیعی مورد استفاده در مطالعات مختلف.

۵-۱-کاهش جرم در آزمون سایش لس آنجلس

آزمون سایش لس آنجلس در عمل باعث می‌شود سنگدانه‌ها دستخوش چند درصد کاهش جرم شوند که ناشی از تاثیر گویچه‌های فولادی و سنگدانه‌هاست. مقدار کاهش جرم در سنگدانه بتن بازیافتی معمولاً بیشتر از سنگدانه طبیعی است که ناشی از وجود ملات قدیمی نرم‌تر و وجود ذراتی است که در طول فرایند خرد کردن می‌شکنند (Snyder et al, 1994). نتایج آزمون سایش لس آنجلس برای سنگدانه بتن بازیافتی در مقایسه با سنگدانه طبیعی در جدول ۱ آمده است؛ این نتایج از سوی محققان مختلف گزارش شده‌اند.

جدول ۱

خلاصه کوتاهی از نتایج آزمون سایش لس آنجلس(درصد کاهش جرم) بر روی سنگدانه بتن بازیافتی و سنگدانه طبیعی در تحقیقات مختلف

رفرنس	کاهش جرم در آزمون سایش لس آنجلس	
	سنگدانه بتن بازیافتی	سنگدانه طبیعی
اشنایدر و همکاران (۱۹۹۴)	۲۰-۴۵	۱۵-۳۰
وریان (۲۰۱۲)، وریان و همکاران (۲۰۱۳)	۳۴-۳۶	۲۹-۳۱
لی (۲۰۰۹)	۲۷/۳	۱۱/۵
ون و همکاران (۲۰۱۴)	۲۰-۲۹	۱۵
یحیی و عبدالفتاح (۲۰۱۶)	۲۱-۳۵	۱۹-۲۵
هانسن و نارود (۱۹۸۳)	۲۲-۴۱	۲۰-۳۰
پاویندراراجاه و تم (۱۹۸۵)	۳۷-۴۱	۱۸

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

ایت محمد عامر و همکاران (۲۰۱۶)	۵۱/۵	۳۸/۹
کوردا و همکاران (۲۰۱۷)	۴۳	۲۸
لیو و همکاران (۲۰۱۱)	۴۲	۳۱

۶-۱-دوام سلامت

وریان در سال ۲۰۱۲ در مطالعات خود در خصوص کاربرد سنگدانه بتن بازیافتی به عنوان سنگدانه درشت در بتن روسازی، آزمون سلامت را روی سنگدانه بتن بازیافتی و سنگدانه طبیعی انجام دادند. آزمون سلامت شامل انجماد و ذوب سنگدانه‌ها در محلول آب‌نمک است و برای تعیین مقاومت سنگدانه در برابر ازهم پاشیدگی به کار می‌رود؛ برای این منظور از چرخه‌های مکرر سریع انجماد و ذوب در محلول سدیم کلر استفاده می‌کنند (Verian, 2012: 192). نتایج آزمون سلامت از نظر کاهش وزن سنگدانه بتن بازیافتی و سنگدانه طبیعی در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که از کاهش جرم بیشتر سنگدانه بتن بازیافتی در چرخه‌های مکرر انجماد و ذوب در محلول آب‌نمک پیداست، نتایج آزمون سلامت نشان می‌دهد که سنگدانه بتن بازیافتی در مقایسه با سنگدانه طبیعی دستخوش فروپاشی‌های شدیدتری می‌شود. مطالعه دیگری که توسط زاهاریوا و همکاران در سال ۲۰۰۳ انجام شده نشان می‌دهد کاهش جرم سنگدانه بتن بازیافتی ریز و درشت در آزمون سلامت سولفاته به‌ترتیب ۱درصد ± ۲۵/۷ و ۰/۵درصد ± ۲۶/۴ است. زاهاریوا و همکاران نتایج آزمون سلامت سولفاته را برای شن طبیعی گزارش نمی‌کند اما مقدار کاهش جرم در سنگدانه طبیعی درشت در این مطالعه برابر است با ۰/۵درصد ± ۳/۸ . (Zaharieva et al, 2003: 223-232)

جدول ۲

نتایج آزمون سلامت سنگدانه بتن بازیافتی و سنگدانه طبیعی برگرفته از(Verian et al. 2013)

سنگدانه	کاهش جرم بعد از آزمون سلامت
#8N1	٪ ۰/۵ - ٪ ۰/۱
#8N2	٪ ۰/۹۰
#8R	٪ ۱۶/۴۰
#23 sand	٪ ۹/۵- ٪ ۰/۹

#8N1: سنگ آهک دولومیتی طبیعی با حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر

#8N2: سنگ آهک دولومیتی طبیعی با حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر

#8R: سنگدانه بتن بازیافتی با حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر

#23 sand : شن طبیعی با حداکثر اندازه ۴/۷۵ میلی متر

نتیجه گیری

استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی به جای سنگدانه طبیعی تاثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی مثبت زیادی دارد. صرفه‌جویی در استفاده از سنگدانه‌های طبیعی را به دنبال دارد و به این ترتیب لزوم دست‌اندازی به محدوده‌های معدنی جدید را کاهش می‌دهد و در نتیجه از محیط زیست محافظت می‌کند. تفاوت در خواص سنگدانه بتن بازیافتی و طبیعی اساساً به وجود ملات

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

قدیمی روی سطح ذرات سنگدانه برمی‌گردد. این ملات باقی‌مانده مسئول وزن مخصوص پایین‌تر، جذب بالاتر و مقاومت پایین‌تر سنگدانه بتن بازیافتی در برابر جذب در مقایسه با سنگدانه طبیعی است.

برای تهیه یک بتن یا ملات باکیفیت لازم است پیش از کاربرد سنگدانه بتن بازیافتی به عنوان سنگدانه در مخلوط بتن از کیفیت آن (هر دو سنگدانه ریز و درشت) مطمئن شویم. یکی از راه‌های افزایش کیفیت این است که مقدار ملات چسبیده به سطوح ذرات این سنگدانه ها ریز یا درشت را به کمترین میزان ممکن برسانیم. به طور کلی هیچ محدودیتی برای استفاده از سنگدانه بتن بازیافتی درشت در یک مخلوط بتن وجود ندارد. محققان مختلف توصیه می‌کنند حداکثر ۳۰ درصد از سنگدانه طبیعی با سنگدانه بتن بازیافتی جایگزین شود.

منابع

1. ACI Committee 555, 2001. Removal and Reuse of Hardened Concrete. pp. 1–26.
2. ACPA, 2009. Recycling Concrete Pavements, Engineering Bulletin. ACPA, Skokie, IL (84p. ISBN: 978-0-9800251-1-8).
3. Afroughsabet, V., Biolzi, L., Ozbakkaloglu, T., 2017. Influence of double hooked-end steel fibers and slag on mechanical and durability properties of high performance recycled aggregate concrete. Compos. Struct. 181, 273–284.
4. Beltrán, M.G., Barbudo, A., Agrela, F., Galvin, A.P., Jimenez, J.R., 2014. Effect of cement addition on the properties of recycled concretes to reach control concretes strengths. J. Clean Prod. 79, 124–133.
5. Bhikshma, V., Divya, K., 2012. Study on the permeability of the recycled aggreagte concrete using fly ash. 37th Conference on Our World in Concrete and Structures.
6. Braga, M., De Brito, J., Veiga, R., 2012. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. Constr. Build. Mater. 36, 960–968.
7. Burke, T.T., Cohen, M.D., Scholer, C.F., 1992. Synthesis Study on Use of Concrete Recycled from Pavement and Building Rubble in the Indiana Highway System, Publication FHWA/IN/JHRP-92/15. Indiana Department of Transportation (INDOT) and Purdue University, West Lafayette, Indiana. http://dx.doi.org/10.5703/1288284313473.
8. Collins, R.J., 1996. Increasing the use of recycled aggregates in construction. Proc. of the International Conference: Concrete in the Service of Mankind. I. Concrete for Environment Enhancement and Protection 130–139.
9. Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., Barra, M., 2007. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. Cem. Concr. Res. 37 (May (5)), 735–742.

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

10. Evangelista, L., de Brito, J., 2007. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Cem. Concr. Compos. 29 (no. 5), 397–401.

11. Evangelista, L., Guedes, M., De Brito, J., Ferro, A.C., Pereira, M.F., 2015. Physical, chemical and mineralogical properties of fine recycled aggregates made from concrete waste. Constr. Build. Mater. 86, 178–188.

12.Florea, M.V.A., Brouwers, H.J.H., 2012. Recycled concrete fines and aggregates: the composition of various size fractions related to crushing history. In: Proc. 18th Int. Conf. Build. Mater. (ibausil), Weimar. pp. 1034–1041.

13. Hossain, U., Sun, C., Lo, I.M.C., Cheng, J.C.P., 2016. Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA. Resour. Conserv. Recycl. 109, 67–77.

14.. Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, S.K., Nayak, S., Dutta, S.C., 2017. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. Constr. Build. Mater. 131, 721–740.

15. Le, T., Le Saout, G., Garcia-Diaz, E., Betrancourt, D., Rémond, S., 2017. Hardened behavior of mortar based on recycled aggregate: influence of saturation state at macroand microscopic scales. Constr. Build. Mater. 141, 479–490.

16. Leite, M.B., Monteiro, P.J.M., 2016. Microstructural analysis of recycled concrete using Xray microtomography. Cem. Concr. Res. 81, 38–48.

17. Liu, Q., Xiao, J., Sun, Z., 2011. Experimental study on the failure mechanism of recycled concrete. Cem. Concr. Res. 41 (no. 10), 1050–1057.

18. Mack, J.W., Solberg, C.E., Voigt, G.F., 2018. Recycling Concrete Pavements. The Aberdeen Group, 1993 http://www.concreteconstruction.net/_view-object?id=00000153-8bb6-dbf3-a177-9fbf2dee0000 (Accessed: 10 February 2017).

19. Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., Ignjatović, I., 2010. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. Waste Manag. 30 (no. 11), 2255–2264.

20. Mindess, D., Francis, S., Darwin, Y.J., 2003. Concrete, 2nd ed. Prentice Hall.

21.Neno, C., de Brito, J., Veiga, R., 2014. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. Mater. Res. 17 (no. 1), 168–177.

22. Noguchi, T., Park, W., Kitagaki, R., 2015. Risk evaluation for recycled aggregate according to deleterious impurity content considering deconstruction scenarios and production methods. Resour. Conserv. Recycl. 104, 405–416.

23. Obla, K., Kim, H., Lobo, C., 2007. Crushed Returned Concrete as Aggregates for New Concrete.

24. Roesler, J., Lange, D., Salas, A., Brand, A., Arboleda, C., 2013. Properties of Recycled Concrete Aggregates for Airfield Rigid Pavements, COE Report No. 34. Center of

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

Excellence for Airport Technology (CEAT), University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

25. Schimmoller, V.E., et al., 2000. Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and Policies, Publication FHWA–PL-00-025. American Trade Initiatives, Inc., Office of International Programs, Office of Policy Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Alexandria, VA.
26. Snyder, M.B., Vandenbossche, J.M., Smith, K.D., Wade, M., 1994. Synthesis on Recycled Concrete Aggregate. Interim Report–Task A, DTFH61-93-CD0133. (Washington, D.C.).
27. Topçu, I.B., Bilir, T., 2010. Experimental investigation of drying shrinkage cracking of composite mortars incorporating crushed tile fine aggregate. Mater. Des. 31 (no. 9), 4088–4097.
28. USGS, 1997. Natural Aggregates–Foundation of America ' S Future. Available: https:// minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aggregates/fs14497.pdf (Accessed: 07 August, 2017).
29. USGS, 2000. Recycled Aggregates–profitable Resource Conservation. Available: https:// pubs.usgs.gov/fs/fs-0181-99/fs-0181-99so.pdf. [Accessed 04 July, 2017].
30. van Acker, A., 1998. Recycling of concrete at a precast concrete plant. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. pp. 321–332.
31. Verian, K.P., Whiting, N.M., Jitendra, J., Olek, J., Snyder, M.B., 2013. Using Recycled Concrete as Aggregate in Concrete Pavements to Reduce Materials Cost, Publication FHWA/IN/JTRP-/18. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation (INDOT) and Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 2013. http://dx.doi.org/10.5703/1288284315220.
32. Verian, K.P., Panchmatia, P., Olek, J., Nantung, T., 2015. The effects of deicers and freeze-thaw (FT) cycles on pavement concrete with air-cooled blast furnace slag (ACBFS). Transp. Res. Rec. 2508.
33. Verian, K.P., 2012. Using Recycled Concrete as Coarse Aggregate in Pavement Concrete, M.S. Thesis. Purdue University (192 p).
34. Vieira, T., Alves, A., de Brito, J., Correia, J.R., Silva, R.V., 2016. Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware. Mater. Des. 90, 767–776.
aggregates. Constr. Build. Mater. 91, 288–296.
35. Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., Wirquin, E., 2003. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. Cem. Concr. Compos. 25 (no. 2), 223–232.

.