

استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت بتن به جای سنگدانه های طبیعی و مقایسه مقاومت فشاری بتن بازیافتی با بتن معمولی

علی ضیاء شمس^۱، شهاب روشنکار^۲، علی فقیه محمدی^۳، امین ضیاء شمس^۴

۱ و ۲ و ۳ - کارشناس ارشد عمران مهندسی و مدیریت ساخت، آموزشکده فنی و حرفه ای سما

سیاهکل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، سیاهکل، ایران

۴ - کارشناس عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندر انزلی

Ali_ziya_shams@yahoo.com

خلاصه

امروزه با توجه به بحران جمعیت و کمبود منابع طبیعی و معدنی ضرورت استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت به جای سنگدانه های طبیعی، روز به روز بیشتر احساس می شود. همچنین مواد زائد از ساخت و سازها و تخریب ساختمان ها یک مشکل اساسی برای طبیعت به شمار می رود. لذا باید موضوع استفاده مجدد از مصالح موجود در بتن برای ساخت بتن جدید به طور جدی مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. در این مقاله به بررسی رفتار سنگدانه ها و بتن ساخته شده از مصالح بازیافتی و مقاومت فشاری بتن ساخته شده با مصالح بازیافتی و مقایسه آن با مقاومت فشاری نمونه ساخته شده با مصالح طبیعی پرداخته ایم.

کلمات کلیدی: بتن بازیافتی، سنگدانه های حاصل از بازیافت، مقاومت فشاری

۱. مقدمه

هم اکنون میزان رشد جمعیت شهری در جهان بین ۲ تا ۴٫۵ درصد در سال است، که با توجه با آمار منتشر شده از سوی وزارت کشور در سال ۱۳۹۱ متوسط رشد جمعیت شهری در ایران ۱۳٫۸ درصد می باشد. که این امر چالش های پیش روی این جمعیت در حال افزایش را هر چه بیشتر یادآور می سازد. شاید بتوان گفت عمده ترین این چالش ها تامین مواد اولیه مورد نیاز این جمعیت رو به رشد از یک سو و مواد زائد تولید شده حاصل از مصرف از سوی دیگر است. در کشور ما با توجه به ذخایر و منابع عظیم طبیعی و معدنی معمولاً مقوله بازیافت مواد زائد و استفاده مجدد از این مواد به عنوان مواد اولیه، مورد غفلت واقع می گردد. مواد زائد حاصل از مصرف مواد اولیه انواع بسیار متنوعی دارند که نخاله های ساختمانی از جمله مهمترین آن ها می باشد. مواد زائد حاصل از ساخت و ساز ساختمان ها، یک مشکل اساسی برای طبیعت به شمار می آیند. مکان های دفن این مواد به شدت در حال کاهش بوده لذا یک نیاز فزاینده به کاهش حجم این مواد احساس می شود. از سوی دیگر با توجه به این حقیقت که منابع طبیعی محدود می باشند، لذا لزوم استفاده از مواد قابل بازیافت احساس میشود. یکی از موادی که دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده مجدد می باشد بتن است که از نظر وزنی بیشترین بخش مواد زائد را به خود اختصاص داده است. بیلون ها تن بتن از زمان جنگ جهانی دوم تا کنون جهت ساخت ساختمان ها، پل ها، سد ها، راه ها و دیگر سازه ها استفاده شده است. هنگامی که عمر مفید این سازه ها به پایان می رسد، موادی که در ساخت و سازها به کار رفته اند به شکل قلوه سنگ یا پاره سنگ تبدیل به مواد زائد می شوند. مکان های دفن مواد زائد که یافتن آن ها روز به روز مشکل تر می شود یا از محل تخریب بسیار دور می باشند و یا نگهداری آن ها بسیار هزینه بر است. از طرفی به موازات این قضیه منابع تامین سنگدانه مناسب برای ساخت بتن به طور پیوسته در حال کاهش می باشد. بازیافت مواد زائد حاصل از تخریب ساختمان جهت ساختمان های جدید می تواند راه حل مناسبی برای حل این مشکل باشد، کوبیدن و آسیاب کردن

^۱ و ^۲ مهندس عمران و مدرس دانشگاه

^۳ مهندس عمران

مواد حاصل از تخریب ساختمان های بتن آرمه می تواند حجم مواد زائد را تا حدود ۸۰ درصد کاهش دهد. در حالیکه کاهش حجم مواد زائد سودمند است، بازیافت این مواد محصولی را تولید می نماید که قابل فروش بوده یا در کارهای دیگر استفاده می شود. لذا به واسطه این کار و از طریق جایگزین نمودن سنگدانه های بازیافتی با سنگدانه های طبیعی صدمات وارده به محیط زیست کمتر می گردد.

به خاطر خواص فیزیکی نامطلوب سنگدانه های حاصل از بازیافت، مانند جذب آب بالا، بیشتر تحقیقات قبلی در مورد استفاده از این سنگ دانه ها به ساخت بتن غیر سازه ای محدود شده بود که به طور قابل توجهی استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت را در بتن سازه ای تحت تاثیر قرار داده است.

محققان دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، در پژوهشی با طراحی پرسشنامه در زمینه نحوه جمع آوری، دفع و بازیافت نخاله های ساختمانی از مسئولان شهرداری مناطق بیست و دو گانه شهر تهران نظرسنجی کرده اند. نتایج این نظر سنجی نشان داد که میزان خاک و نخاله دفع شده در تهران از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۲ در مجموع ۹۷۱۰۲۰۹۷ تن برآورد می شود. که مقدار نخاله های دفن شده در سال ۱۳۸۲ در گود های اطراف تهران در حدود ۶۷۸۷۶۰۳ تن بوده است.

اگر این حجم عظیم نخاله بازیافت شود، میزان زمین مورد نیاز برای دفع این ضایعات کاهش می یابد و منابع سنگی طبیعی موجود نیز به سرعت مصرف نمی شود در نتیجه بازیافت این حجم زیاد ضایعات نه تنها به حفظ منابع طبیعی کمک می کند بلکه بحران رشد فضای مورد نیاز برای دفع ضایعات را نیز حل می کند در کنار این مزایا، بازیافت بتن منافع اقتصادی بسیاری نیز دارد. تحقیقات بر روی بتن بازیافت شده از ۲۰ سال پیش در کشورهای مختلف شروع شده است و نتایج تقریباً مشابهی به دست آمده است. به عنوان مثال معمولاً خواص مکانیکی بتن ساخته شده با سنگدانه های حاصل از بازیافت، در مقایسه با بتن با سنگدانه های طبیعی کمتر است و جمع شدگی ناشی از خشک شدن آن ها نیز بیشتر است که بیشتر اثرات زیان آور ناشی از میزان آب اختلاط بیشتر و کارایی پایین تر بتن ساخته شده از سنگدانه های حاصل از بازیافت، به ذرات ریزی که از بتن های اولیه ناشی شده اند و ملات های سیمانی خلل و فرج دار چسبیده به سنگدانه های حاصل از بازیافت، نسبت داده شده است.

۲. اهداف

بررسی و دسته بندی اطلاعات موجود در این زمینه و فراهم آوردن زمینه ای برای مصرف بتن های تخریب شده موجود، علاوه بر این انتظار می رود نتایج زیر نیز به بار آید:

- ۱- شناخت فرصت ها، تهدید ها و روش های جداسازی نخاله های حاصل از ساخت و تخریب از مواد زائد جامد
- ۲- افزایش بازیافت و استفاده از بتن های تخریب شده در تولید بتن هایی با مقاومت معمولی و با مقاومت بالا و در نتیجه حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی محیط زیست
- ۳- بررسی مقاومت فشاری بتن ساخته شده از سنگدانه های حاصل از بازیافت و مقایسه آن با مقاومت فشاری بتن ساخته شده با طبیعی
- ۴- تخلیه فضاهایی که برای دفع این ضایعات مورد استفاده قرار می گیرند و حفظ زمین این فضاها برای مصارف ضروری و ایجاد منافع اقتصادی
- ۵- استفاده از بتن تخریب شده برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر
- ۶- بسط اطلاعات جدید در استفاده از بتن تخریب شده در بتن سازی و گسترش استفاده از آن ها در صنعت ساختمان

۳. سنگدانه های طبیعی و سنگدانه های حاصل از بازیافت بتن

در امریکا به طور سالانه تقریباً حدود ۱۰ تن سنگدانه به ازای هر نفر مصرف می شود. هر مایل از بزرگراه های بین ایالتی در حدود ۳۸۰۰۰ تن سنگدانه مصرف می نماید. تقریباً ۴۰۰ تن سنگدانه نیز در ساخت بناهای معمولی استفاده می شود. شاید قابل بازیافت ترین ماده در ایالت متحده بتن است.

تحقیقات در سال ۱۹۹۷ نشان داد که بتن در تمامی ایالات امریکا بازیابی می شود. به طور متوسط سالیانه ۱۷۴۰۰۰ تن بتن بازیابی می شود. منابع اصلی برای قلوه سنگ های بتنی شامل پروژه های بهسازی راه و بزرگراه و کارهای تخریب است. از این مقدار، ۴۶ درصد مربوط به تخریب، ۳۲ درصد مربوط به راه و بقیه مربوط به برخی از منابع دیگر شامل ساخت و ساز، بتن زائد و آثار مخروبه و آوار می باشد.

سنگدانه های طبیعی شامل شن و ماسه، سنگ ها و سنگ های خرد شده می باشند. سنگدانه های مورد استفاده در ساخت و ساز تقریباً ۸۰ درصد سنگدانه های مصرفی را به خود اختصاص می دهند که معمولاً در راهسازی به عنوان مصالح پایه آسفالت و در ساختمان سازی به عنوان مصالح بتن مورد استفاده قرار می گیرند. به طور کلی سنگدانه ها به دو گروه مجزا تقسیم می شوند: ریز دانه و درشت دانه. سنگدانه های ریز به طور کلی شامل ماسه طبیعی یا سنگ خرد شده است که اکثر دانه های آن از الک ۳/۸ اینچ (۹،۵ میلیمتر) عبور می نمایند. سنگدانه های درشت معمولاً دانه های بزرگتر از ۰،۱۹ اینچ (۴،۷۵ میلیمتر) می باشند اما به طور کلی محدوده بین ۳/۸ و ۱،۵ اینچ قطر (۹،۵ میلیمتر الی ۳۷،۵ میلیمتر) قرار دارند.

سنگدانه های بازیافتی معمولاً از مواد زائد ساخت و ساز و تخریب بدست آمده و اساساً شامل بتن خرد شده و آسفالت خرد شده می باشد. در اکثر کشورها، تخریب راهها و ساختمان ها بیشترین حجم مواد زائد را تولید می نماید. سنگ دانه های حاصل از بازیافت درشت شامل ذراتی با ظاهر متفاوت است که شکل ظاهری این سنگدانه ها به مقدار سیمان چسبیده به ذرات بستگی دارد. وجود ملات های قدیمی معمولاً موجب می شود تا سنگ دانه های حاصل از بازیافت تقریباً گرد گوشه تر از درشت دانه های طبیعی باشد. شکل های متفاوت درشت دانه ها می تواند شامل موارد زیر باشند:

۱- سنگدانه درشت نسبتاً تمیز با میزان کمی سیمان چسبیده به آن

۲- سنگدانه درشت با یک پوسته نازک از ماده سیمانی قلبی که بیشتر سطح سنگدانه را می پوشاند

۳- سنگدانه درشت با یک توده ملات در یک سمت

۴- ذرات ساخته شده از ملات های قدیمی

۵- مواد زائد مثل آجر

افزایش میزان ملات های قدیمی چسبیده به سنگدانه درشت ممکن است اثرات مضر بر خواص بتن تازه و یا سخت شده داشته باشد، که البته این خود بستگی به مقاومت بتن اولیه دارد به عبارت دیگر اگر بتن اولیه مقاومت پایین تری داشته باشد اثرات زیان آورتری نسبت به بتن با مقاومت بالا دارد، اما متأسفانه به علت ضایعات بتنی به طور غیر قابل اجتنابی مخلوطی از بتن های متفاوت است نمی توان مقاومت بتن اولیه را به طور مناسبی تعیین کرد.

باید این نکته را نیز مد نظر داشت که جذب آب سنگ دانه های حاصل از بازیافت درشت بیشتر از درشت دانه های طبیعی است و چگالی آن

کمتر است و این به دلیل وجود ملات های قدیمی خلل و فرج دار است.

سنگدانه های بازیافتی ریز دانه می تواند شامل موارد زیر باشند:

۱- ذرات ماسه با چسباننده سیمانی چسبیده به آن

۲- درشت دانه های قلبی که خرد شده اند یا به صورت ورقه ورقه در آمده اند.

چگالی ریز دانه ای بازیافتی در مقایسه با ریز دانه های طبیعی به خاطر وجود چسباننده سیمانی خلل و فرج دار چسبیده به سطحشان کمتر است اما از طرفی جذب آب، آن بالاتر از سنگدانه های طبیعی است.

۴. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

سنگدانه های بازیافتی بتن شبیه سنگ خرد شده می باشند. با این وجود بتن خرد شده دارای خصوصیات فیزیکی فراوانی است که متفاوت تر از سنگدانه های طبیعی می باشد. به طور کلی، دانه ای بتن خرد شده زاویه دارتر بوده و نسبت به سنگدانه های طبیعی دارای یک بافت سطحی ناصاف تر و ناهموارتر می باشد. سطح ناصاف، زاویه دار و کشیده ذرات نسبت به سنگدانه های گرد گوشه، صاف و متراکم نیاز به آب بیشتری جهت بتن کارآمد دارد.

ملات سیمان سبک وزن و دارای خلل و فرج که به سنگدانه های بازیافتی بتن چسبیده، سبب می شود که این سنگدانه های خرد شده وزن مخصوص کمتر و جذب آب بیشتری نسبت به نمونه مشابه از سنگدانه های طبیعی داشته باشند. وزن مخصوص کمتر سنگدانه های بازیافتی در مقایسه با سنگدانه های طبیعی متداول دارای بازده بیشتر می باشند. (حجم بیشتر برای وزن مشابه و یکسان) و از نظر اقتصادی برای پیمانکاران پر جاذبه است. افزایش گوشه داری سنگدانه سبب افزایش پایداری بتن می شود.

بتن بازیافتی از ساختمان ها ممکن است آلوده به سولفات حاصل از گچ و گچ خاک دیوارها و سقف ها باشد که به واسطه آن اگر سنگدانه بازیافتی در بتن استفاده شود و در معرض رطوبت قرار گیرد امکان حمله سولفات ها را فراهم می سازد. یک موضوع اساسی در خصوص استفاده از

سنگدانه های بازیافتی بتن در تولید بتن جدید، پتانسیل واکنش بتن حاوی سنگدانه های بازیافتی و آبی که دارای خاصیت قلیایی است، می باشد. واکنش قلیایی - سیلیسی منجر به افزایش حجم شده که به واسطه آن احتمال شکست داخلی و تخریب زودرس بتن افزایش می یابد. یون های کلراید نیز می توانند در سنگدانه های بازیافتی بتن موجود باشند. به دلیل استفاده از نمک های یخ زدا به عنوان مکانیزمی جهت کنترل توسعه یخ بر روی پیاده روها و جاده ها، احتمال بسیار زیادی وجود دارد که یون های کلراید در سنگدانه های بازیافتی بتن موجود باشند. حضور یون های کلراید در بتن حاوی سیمان می تواند تاثیر معکوسی بر روی فولاد داشته باشد. آرماتورهای فولادی با حضور یون های کلراید واکنش داده و اکسید آهن یا زنگ زدگی را شکل می دهند. اگر شکل گیری اکسید آهن ادامه یابد احتمال زیادی در لایه لایه شدن و متورق شدن سازه بتنی وجود دارد. از آنجایی که حذف کامل همه محتویات زیان آور عملی نمی باشد، لذا به منظور تعیین سطوح قابل قبول و حذف روند های هزینه بر غیر ضروری جهت تولید محصولی کیفی نیاز به آزمایش می باشد.

۵. مشاهدات عمومی

بارزترین تفاوت میان سنگدانه های حاصل از بازیافت و سنگدانه های طبیعی در میزان جذب آب آن هاست که این امر به دلیل وجود ملات های خلل و فرج دار است. تاثیرات دیگر این ملات ها بر پیوستگی بین سنگدانه های حاصل از بازیافت و چسباننده، سیمانی وقتی که در بتن جدید استفاده می شود است. بازیافت ممکن است تا حدودی کیفیت بالای سنگدانه ها را کاهش دهد. اما به طور کلی عمل بازیافت، سنگدانه های با کیفیت خوب تولید می نماید. با وجود این، کیفیت به سبب تغییرات وسیع در نوع و میزان ناخالصی منابع مواد زائد به طور قابل ملاحظه ای متفاوت می باشد. لذا باید از آلوده بودن بتن به مواد ناخالص و غیر قابل قبول ساختمانی مانند محصولات گچ ساختمانی که عمل بازیافت را با محدودیت مواجه می کنند مراقبت نمود. با حذف مشکلات ممکن در خصوص نمک های حاوی کلراید، دیگر آلودگی ها مشکلی را برای بتن بازیافتی حاصل از بزرگراهها یا پیاده روها بوجود نخواهد آورد. بازیافت بتن ساختمانی به دلیل آلودگی های بیشتر اعم از گچ، خاک، چوب، پلاستیک ها یا لاستیک ها نیازمند توجه بیشتری است. معمولا آلودگی ها برای سنگدانه های بازیافتی قابل استفاده در زیر سازی راهها یک مشکل محسوب نمی شوند. اما برای سنگدانه های بازیافتی مورد استفاده در بتن نیاز به کنترل بیشتر است. میزان آلودگی را می توان با یک بررسی و بازرسی کوتاه از کامیون های ورودی به محل کارگاه تولید سنگدانه محدود نمود که این کار به کمک داشتن اطلاعاتی از محل حمل بتن تخریب شده انجام می شود. بتن اصلاح شده ممکن است از منابع مختلفی آورده شده باشد و بنابراین ممکن است تحت تغییرات طبیعی در خصوصیات قرار گرفته باشد. سنگدانه های بازیافتی را باید تحت اثر آزمایشات مشابه با سنگدانه های طبیعی قرار داد. در ادامه آزمایشاتی بر روی انواع نمونه های بتن ساخته شده با سنگدانه های حاصل از بازیافت و مقایسه آن با بتن های ساخته شده از مصالح طبیعی صورت گرفته است که نتایج جالبی را نشان می دهد.

۶. برنامه آزمایشگاهی

در تهیه نمونه ها از دو نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ و پوزولانی محصول کارخانه سیمان آبیگ استفاده شده است. همچنین مصالح سنگی مصرفی از نوع رودخانه ای و شکسته بوده که مشخصات فیزیکی آن در جدول ۱ و ۲ خلاصه شده است. در تهیه نمونه های بتنی از مواد افزودنی استفاده نشده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی در نمونه های بتنی (درشت دانه)

وزن مخصوص	۲,۵۸
درصد جذب آب	۰,۷
وزن واحد حجم (kg/m ^۳)	۱۶۳۰
اندازه ماکزیمم (mm)	۲۰

جدول ۲- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی در نمونه های بتنی (ریز دانه)

وزن مخصوص	۲,۶۰
درصد جذب آب	۱,۵۳
مدول نرمی	۳,۰۶
اندازه ماکزیمم (mm)	۵

طرح اختلاط بتن معمولی مطابق آیین نامه ۲۱۱، ۱-۹۱ ACI با در نظر گرفتن حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۲۰ میلیمتر و اسلامپ ۳۰ تا ۶۰ میلیمتر برای نسبت آب به سیمان در محدوده ۰،۴-۰،۶ انجام شده است. در جدول ۳ مقادیر مصالح مصرفی بتن به ازای طرح های اختلاط در نظر گرفته شده ارائه شده است.

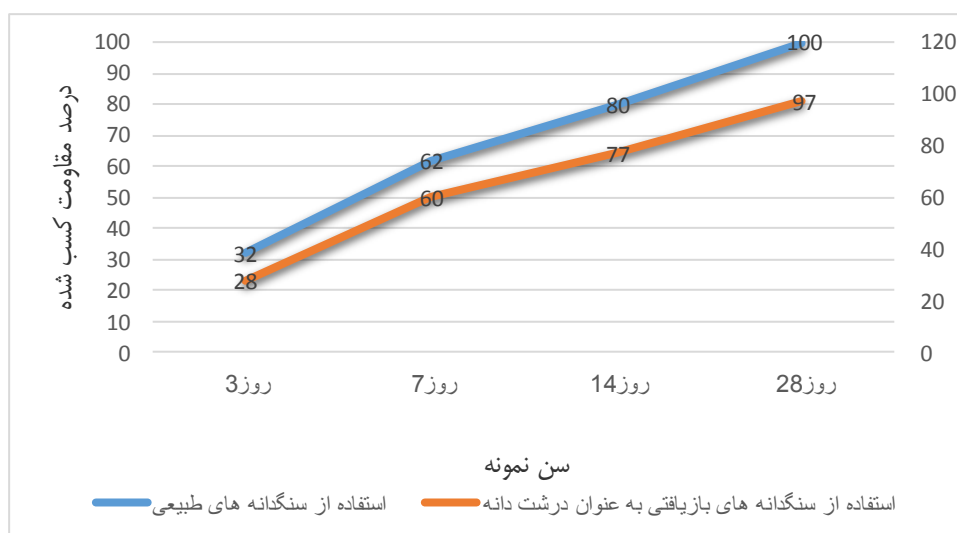
جدول ۳- مقادیر مصالح مصرفی

مقدار آب به سیمان	آب (kg/m ^۳)	سیمان (kg/m ^۳)	ماسه (۰-۳) (kg/m ^۳)	ماسه (۳-۶) (kg/m ^۳)	شن (۵-۱۶) (kg/m ^۳)	شن (۱۶-۲۰) (kg/m ^۳)
۰،۴	۱۸۰	۴۵۰	۶۱۲،۵	۲۶۲،۵	۵۶۸،۷۵	۳۰۶،۲۵
۰،۵	۱۸۰	۳۶۰	۶۴۴	۲۷۶	۵۹۸	۳۲۲
۰،۶	۱۸۰	۳۰۰	۶۵۵	۲۸۵	۶۱۷،۵	۳۲۲،۵

تعداد نمونه ها در هر آزمایش شش عدد بود و مقدار میانگین در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری بعد از ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز با استفاده از نمونه های ۳۰*۱۵۰ میلیمتری و دمای ۲۱ درجه سانتیگراد آزمایش شدند. مدول الاستیسیته و نسبت پواسون و ارتباط بین تنش و کرنش توسط نمونه های استوانه ای بعد از ۲۸ روز آزمایش شدند. سه نوع آزمایش مختلف بر روی مقاومت فشاری بتن ساخته شده از مصالح بازیافتی انجام شد. در حالت اول، فقط بخش درشت دانه سنگدانه های موجود در بتن را از مصالح بازیافتی انتخاب نمودیم، که در این حالت افت زیادی بر روی مقاومت فشاری بتن دیده نشد. (شکل ۱) در حالت دوم، فقط بخش ریزدانه سنگدانه های موجود در بتن را از مصالح بازیافتی انتخاب نمودیم، که در این حالت افتی حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد بر روی مقاومت فشاری بتن دیده شد. (شکل ۲) در حالت سوم تمامی سنگدانه های موجود در بتن را از مصالح بازیافتی انتخاب نمودیم که افتی حدود ۲۰ درصد در مقاومت فشاری بتن را شاهد بودیم. (شکل ۳)

۱.۶ استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت به عنوان درشت دانه

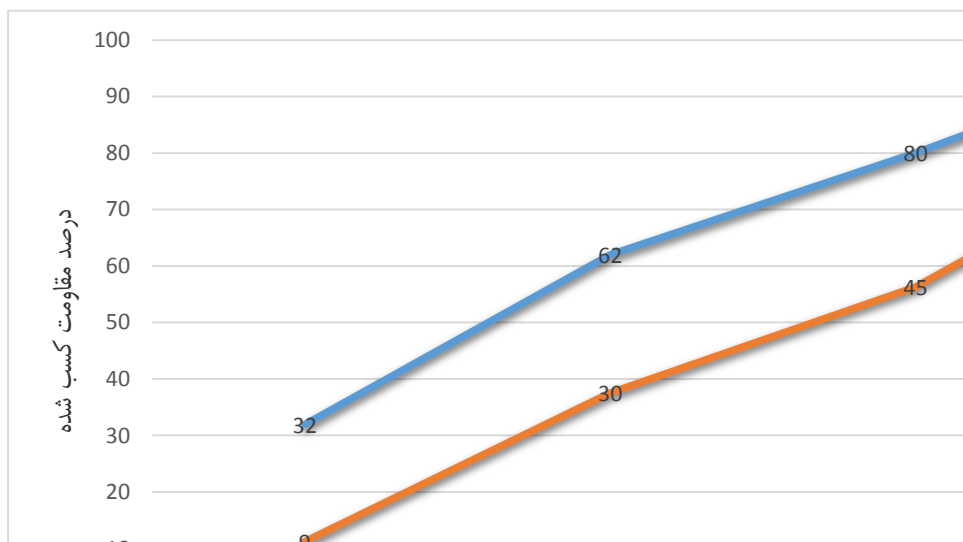
در این حالت از سنگدانه های حاصل از بازیافت به عنوان درشت دانه استفاده شد، در حالی که قسمت ریز دانه آن با سنگدانه های طبیعی تامین گردید. در این حالت مقاومت فشاری بتن در حدود ۲ درصد نسبت به نمونه استاندارد افت مقاومت نشان داد. (شکل ۱)



شکل ۱- استفاده از سنگدانه های بازیافتی به عنوان درشت دانه

۲.۶ استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت به عنوان ریزدانه

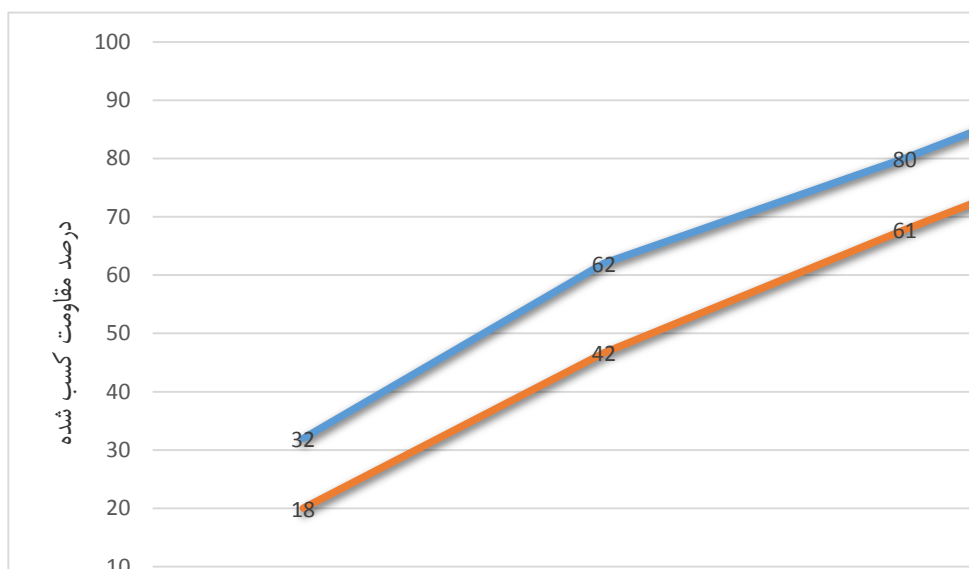
در این حالت از سنگدانه های حاصل از بازیافت به عنوان ریزدانه استفاده شد، در حالی که قسمت درشت دانه آن با سنگدانه های طبیعی تامین گردید. در این حالت مقاومت فشاری بتن در حدود ۳۵ درصد نسبت به نمونه استاندارد افت مقاومت نشان داد. (شکل ۲)



شکل ۲- استفاده از سنگدانه های بازیافتی به عنوان ریزدانه

۳.۶ استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت بعنوان کل سنگدانه مورد استفاده در بتن

در این حالت برای ساخت بتن تماما از سنگدانه های حاصل از بازیافت استفاده شد. در این حالت مقاومت فشاری بتن در حدود ۲۰ درصد نسبت به نمونه استاندارد افت مقاومت نشان داد. (شکل ۳)



شکل ۳- استفاده از سنگدانه های بازیافتی به عنوان کل سنگدانه مورد استفاده

آزمایشات نشان داد که به طور کلی تا ۳۰ درصد سنگدانه های متداول در بتن را می توان با سنگدانه های بازیافتی جایگزین نمود بدون آنکه خصوصیات مکانیکی بتن جدید به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار گیرد. این حالت شاید ساده ترین، اقتصادی ترین و کم بحث انگیزترین راه استفاده وسیع از سنگدانه های حاصل از بازیافت در بتن جدید باشد.

۷. نتیجه گیری

با کاهش منابع طبیعی، تقاضا و نیاز برای بازیافت بتن و استفاده از سنگدانه های حاصل از بازیافت به جای مصالح طبیعی افزایش می یابد. که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و هم از آسیب های جدی به محیط زیست جلوگیری به عمل می آورد. همانطور که ذکر شد سنگدانه های بازیافتی را می توان به عنوان سنگدانه در بتن جدید به کار برد اما همچنان باید رفتار دراز مدت بتن حاوی سنگدانه های بازیافتی اعم از دوام و عملکرد مورد بررسی قرار بگیرد.

نتایج حاصل از پژوهش به عمل آمده نشان داد که چه از سنگدانه های حاصل از بازیافت به عنوان درشت دانه در ساخت بتن جدید مورد استفاده قرار گیرد و چه از این مصالح به عنوان ریز دانه استفاده گردد، مقاومت فشاری بتن حاصله کمتر از مقاومت فشاری بتن ساخته شده از مصالح طبیعی می گردد. لذا، در آینده نیاز است که روش هایی جهت کنترل کیفیت سنگدانه های حاصل از بازیافت ابداع گردد و با توجه به مقاومت فشاری بتن ساخته شده با مصالح بازیافتی روشی برای بالا بردن مقاومت فشاری این نوع بتن ارائه گردد. تا بتوان بتن بازیافتی را جایگزین مناسبی برای انواع بتن معمول در صنعت ساختمان کرد.

تحقیقات بیشتر در آینده باید بر روی موضوعات زیر متمرکز شود:

- ۱- پیدا کردن روشی برای بالا بردن مقاومت فشاری بتن ساخته شده از سنگدانه های حاصل از بازیافت.
- ۲- جنبه اقتصادی عمل بازیافت سنگدانه ها و استفاده مجدد از آن ها.
- ۳- تاثیر آلودگی های موجود در بتن قدیمی بر مقاومت فشاری بتن ساخته شده از سنگدانه های حاصل از بازیافت.
- ۴- استفاده از مواد افزودنی برای بالا بردن مشخصات بتن ساخته شده از سنگدانه های حاصل از بازیافت.
- ۵- دوام سنگدانه های بازیافتی در بتن جدید و مشخصات خزش و جمع شدگی آن ها.

۸. مراجع

۱. Ahmad shayan and Aimin Xu. (۲۰۰۳), "Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete Aggregate," ACI MATERIALS JOURNAL, proceedings v. 100, No. 5
۲. Brown, Reid H and Charles R. (۱۹۹۶), "Effect of Crusher Operation on Coarse Aggregate Shape," The Concrete Producer, April.
۳. Chini, Abdol R and Filiipe M.B Romero Monterio. (۱۹۹۹) "Use of Recycled Concrete Aggregate as a Base Course," ASC proceedings of the 3rd Annual Conference, 7-10 April.
۴. Andrej Ajdukiewicz. (۲۰۰۲) "Influence of Recycled Aggregate on Mechanical Properties of HS/HPC
۵. گزارشات ارزیابی های زیست محیطی شهری، دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی (۱۳۸۲).
۶. جلالی، م و منصوری، ا. (۱۳۸۸) "مدیریت بازیافت و راهکارهای استفاده بهینه از نخاله های ساختمانی" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساخت ها، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۷-۵ آبان.
۷. عالیپان اوریعی، ص و تمدن یزدیان، م. (۱۳۸۵) "استفاده از بتن تخریب شده به جای سنگدانه طبیعی در بتن" سیزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، بخش عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان، ایران، ۲۴-۲۱ اسفند.