



## بتن خودتراکم: تکنولوژی بتن سبز با نگرش به محیط زیست

پریسا رزم آرا<sup>۱</sup>، سعید سعیدی جم<sup>۲</sup>، جاسم عافیتی سلیم<sup>۳</sup>\*

<sup>۱</sup>دکترای عمران / منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان / [Parisa.razm@gmail.com](mailto:Parisa.razm@gmail.com)

<sup>۲</sup>دکترای عمران / ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان / [Saeidijam@iust.ac.ir](mailto:Saeidijam@iust.ac.ir)

<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد عمران / ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان / [Civil\\_869@yahoo.com](mailto:Civil_869@yahoo.com)

### چکیده

بتن به‌عنوان مصالح برگزیده قرن حاضر در صنعت مهندسی عمران دارای جایگاه ویژه‌ای است. این ماده که پس از آب پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی به حساب می‌آید، در زمان تولید از حیث محیط‌زیست اثرات متعددی دارد، که عدم توجه به جوانب آن می‌تواند مشکلات زیادی را ایجاد نماید. امروزه بتن خودتراکم جزء تکنولوژی‌های نوین ساختمان است که با داشتن ویژگی‌های مانند دوام و پایداری، عدم نیاز به ویبره به‌منظور تراکم که باعث کاهش آلودگی صوتی و انرژی می‌شود، در سازه‌های بتن آرمه جایگاه مناسبی دارد. از طرف دیگر، سیمان جزء مواد تشکیل دهنده بتن است که تولید آن از نظر انتشار گاز دی‌اکسید کربن به یک نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. در این مطالعه هدف ساخت بتن خودتراکم که سازگار با محیط‌زیست باشد و حداقل آسیب را به آن وارد آورد، (بتن سبز) می‌باشد که به این منظور از ۱۵ طرح اختلاط با درصدهای مختلف سرباره کوره آهن‌گدازی و مصالح بازیافتی به‌عنوان مواد جایگزین سیمان و مصالح طبیعی استفاده شده است تا ضمن بررسی ویژگی‌های زیست‌محیطی، زمینه کاربرد این مواد در راستای توسعه پایدار نیز فراهم گردد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ترکیب همزمان دو مواد سرباره با ۱۵ درصد جایگزینی و بتن بازیافتی با ۲۵ درصد، جایگزین مناسبی به ترتیب برای سیمان و مصالح طبیعی بوده که باعث کاهش مصرف سیمان و درشت‌دانه طبیعی در بتن خودتراکم شده و موجب بازیافت مواد زاید، کاهش آلودگی محیط‌زیست و حفظ منابع طبیعی شده و عمل‌آوری مناسب از آن منجر به تولید مواد سبز سازگار با محیط‌زیست با مقاومت بهینه خواهد شد.

### واژه های کلیدی

بتن خودتراکم، مصالح سبز، سرباره کوره آهن‌گدازی، محیط‌زیست، بتن بازیافتی

<sup>۱</sup>Ground Granulated Blast Furnace Slag



## مقدمه

طی دهه گذشته محیط‌زیست به نگرانی اصلی جوامع بشری تبدیل شده است. صنعت ساختمان یکی از بزرگترین مصرف‌کننده مصالح و برداشت‌کننده مواد از زمین و در عین حال بزرگترین تولیدکننده زواید، نخاله و زباله‌هایی است که به محیط‌زیست وارد می‌شوند. بتن به‌عنوان ماده ساختمانی قرن پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است و از دیدگاه حفظ محیط‌زیست، جا دارد که تولید و مصرف بتن و مواد متشکله آن، تعامل بتن با محیط‌زیست در طول عمر مفید آن و بالاخره چگونگی تخریب بتن و بازگشت مواد حاصل از تخریب آن به طبیعت و محیط‌زیست مورد بررسی قرار گیرند [۱].

مفهوم مواد سبز در سال ۱۹۸۸ توسط اتحادیه بین‌المللی علوم تحقیقات مواد پیشنهاد شد که در آن رنگ سبز به معنی پایداری و محیط‌زیست است. از سال ۱۹۹۲ به‌صورت علمی مواد سبز به موادی اطلاق می‌شود که حداقل تخریب به محیط‌زیست جهانی و بیشترین فایده به بدن انسان مورد استفاده در مرحله انتخاب مواد اولیه، تولید محصول، کاربرد و استفاده مجدد داشته باشد. به‌منظور کاهش آسیب به سلامت، منابع زمین و محیط‌زیست در طراحی ساختمان‌ها و روند ساخت و ساز، سه راه برای تشخیص مواد ساختمانی سبز وجود دارد. این مواد باید دارای آلودگی کمتر، مصرف انرژی کم و تضمین سلامت در ساخت مواد، استفاده از آن و طول عمر بیشتر را داشته باشد. براساس کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه سازمان ملل متحد، پایداری به معنی رفع نیازهای حال حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده است. براساس آمار جهانی، تولید سیمان که جزء ضروری ساخت بتن می‌باشد، حدوداً ۷ درصد دی‌اکسیدکربن به اتمسفر می‌افزاید. این میزان آلودگی انگیزه بکارگیری مواد مکمل سیمانی را در بین کشورهای مختلف فعال کرده است [۵-۲].

عملیات بتن‌ریزی با بتن معمولی از نظر مقاومت و دوام به میزان تراکم آن بستگی دارد و تراکم ناکافی کیفیت و پایداری بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۶]. بتن خودتراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ میلادی در ژاپن برای افزایش کیفیت و دوام، کاهش زمان اجراء، تقلیل آلودگی محیط‌زیست و ایجاد محیط کار سالم برای کارگران ساخته شد [۷]. این بتن با توانایی پرکنندگی و عبور از موانع بدون نیاز به لرزش در گوشه‌های قالب بدون جداسدگی مصالح قرار گرفته و حداقل آلودگی صوتی برای محیط‌زیست را دارد [۸]. سرباره یک ماده جایگزین مناسب سیمان در بتن خودتراکم است که موجب افزایش کارایی، کاهش هزینه، بهبود خواص مکانیکی و تقلیل حرارت واکنش هیدراسیون شده و آلودگی محیط‌زیست از نظر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را افزایش نمی‌دهد. براساس مطالعات انجام شده بتن خودتراکم با درصد جایگزینی ۱۵ درصد تا ۲۵ درصد سرباره می‌تواند کارایی مطلوب داشته باشد [۹].

برای بررسی عملکرد زیست‌محیطی بتن باید مسئله تولید و مصرف سیمان، آب، سنگدانه‌ها، مواد افزودنی، سازه‌های بتنی و مواد حاصل از تخریب این سازه‌ها و اثرات فیزیکی و شیمیایی مثبت و منفی هر یک از آنها بر محیط‌زیست، از جمله مواد آلاینده‌ای که وارد جو زمین، خاک و آب می‌شوند، حفاظتی که برای تداوم زندگی انسان بر روی کره زمین فراهم می‌کنند و امکانات رفاهی که برای زیست، کار و بالندگی انسان ایجاد می‌نمایند، مورد مطالعه قرار گیرند. برای پیشگیری از وارد آمدن لطمه به محیط‌زیست، به‌تدریج در سال‌های ۱۹۸۰، تلاشی سازمان یافته برای تأمین امکان ادامه زندگی و بالندگی انسان بر روی کره خاکی شکل گرفت. این تلاش‌ها به تشکیل کمیسیون بین‌المللی براندلند در سال ۱۹۸۷، برگزاری کنفرانس ریودوژانیرو در سال ۱۹۹۲، تدوین ضوابط توسعه پایدار جوامع انسانی و صدور اعلامیه ریو در سال ۱۹۹۴ منتهی گردیدند [۱۰].

## ۲- تأثیرات زیست‌محیطی تولید بتن

هفت درصد از دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر به دلیل تولید سالانه ۱/۶ میلیارد تن سیمان در جهان می‌باشد [۱۱]. سیمان پرتلند که مهمترین سیمان هیدرولیک مورد مصرف است نه تنها یکی از مصالح ساختمانی است که با توجه به حجم زیاد تولید آن، انرژی زیادی صرف آن می‌شود، بلکه یکی از موجبات اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای به مقدار زیاد می‌باشد [۱۲]. بتن در کارهای اجرایی با تولید سالانه حدود ۱۱ میلیارد تن، بیشترین استفاده را در جهان دارد [۱۳].

مصرف انرژی در تهیه سیمان و بتن مهمترین تأثیر تولید این مواد بر محیط‌زیست محسوب می‌شود. به‌طوری که تولید یک تن سیمان پرتلند نیاز به ۴ گیگاژول انرژی دارد و برای تولید این مقدار کلینکر سیمان تقریباً یک تن دی‌اکسیدکربن به سوی اتمسفر روانه می‌کند. علاوه بر آن استخراج مواد خام نظیر سنگ آهک و سنگ رس برای تولید سیمان و همچنین زغال سنگ برای تأمین سوخت موجب تشدید جنگل زدائی و از بین رفتن لایه روئی خاکها می‌شود. در بتن معمولی، مصالح سنگی ۸۰ درصد و سیمان ۱۲ درصد وزن آن را تشکیل

<sup>2</sup>International Union of Materials Research Societies



می‌دهند. این بدان معناست که سالانه حدود ۱۰ تا ۱۱ میلیارد تن مصالح سنگی شامل ماسه، سنگ‌ریزه و مصالح شکسته برای ساخت بتن استفاده می‌شود. در عملیات استخراج، تولید و حمل این مقدار عظیم مصالح، انرژی قابل ملاحظه‌ای صرف می‌گردد و به نوبه خود بر اکولوژی مناطق جنگلی و بستر رودخانه‌ها اثر می‌گذارد. معمولاً سازه‌های بتنی برای طول عمر ۵۰ سال طراحی می‌شوند ولی تجربه نشان می‌دهد که در محیط‌های دریایی و شهری تخریب سازه‌ها بعد از ۲۰ تا ۳۰ سال و یا حتی قبل از آن شروع می‌شود [۱۴].

سازه‌های بتن آرمه در ۱۰ تا ۲۰ سالگی شروع به خراب شدن می‌کنند. بنابراین، مشکل بزرگ سازه‌های بتنی داشتن دوام آنهاست. در این راستا نوع جدیدی از بتن بدست آمده که با استفاده از بازیافت نخاله‌های بتنی برای پایداری صنعت ساختمان کمک خواهد کرد [۱۴]. در صنعت ساخت بتن در سال حدود یک تریلیون لیتر آب شیرین مصرف می‌شود. اگرچه آمار قابل اعتمادی وجود ندارد ولی احجام قابل ملاحظه‌ای آب شیرین نیز برای شستشوی میکسرهای بتن همچنین برای عمل‌آوری مرطوب بتن به مصرف می‌رسد. علاوه بر سه جزء اصلی بتن شامل مصالح سنگی، سیمان و آب، برخی افزودنی‌های شیمیایی و معدنی نیز ممکن است در تهیه آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملیات بچینگ، اختلاط، حمل، ریختن، تراکم و پرداخت سطح نیز انرژی زیادی را مصرف می‌نماید. در نهایت فقدان مصالح پایا عواقب وخیم زیست‌محیطی را به همراه دارد. افزودن طول عمر مفید محصولات یک راه حل ساده و دراز مدت برای حفظ منابع طبیعی کره زمین است [۱۵].

برداشت رسوبات آبرفتی از بستر رودخانه‌ها موجب تغییرات مورفودینامیکی می‌شود. این تغییرات محدود به محل استخراج نیست بلکه کیلومترها بالاتر یا پایین‌تر از آن ظاهر می‌شود که کاهش یا ناپایداری لایه زیرین بستر و داخل شدن ذرات ریز در محیط آبی همراه با بروز فرسایش اضافی، از جمله این تغییرات است. بروز تغییرات در محیط‌زیست سبب دگرگونی ترکیب و تعادل جمعیت زیست‌مندان آبی شده و در نتیجه باروری و کارکردهای اکوسیستم را تغییر می‌دهد. بهره‌برداری شن و ماسه مثل تخلیه هر پسابی نوعی آلودگی بشمار می‌رود. اختلال در تعادل بیولوژیکی رودخانه در اثر برداشت شن و ماسه از بستر آن دارای دو اثر بنیادی است.

۱- تغییر در الگوی جریان طبیعی آب در نتیجه تغییر و دگرگونی در مقطع طولی و عرضی رودخانه به دلیل عمیق‌سازی بستر و تشدید فرسایش.

۲- افزایش بار محیط‌زیست با مواد رسوبی معلق در نتیجه‌ی آب مورد استفاده در شستشوی شن و ماسه و همینطور عملیات بهره‌برداری از شن و ماسه.

### ۳- روش‌های کاهش اثرات زیست‌محیطی بتن

اثرات زیست‌محیطی صنعت بتن می‌تواند از طریق بهره‌وری بیشتر از منابع، با صرفه‌جویی در مصرف مصالح و انرژی برای ساخت بتن و نیز بهبود بخشیدن به پایایی سازه‌ها و محصولات بتنی کاهش یابد. البته این کار با همتی جدی قابل حصول خواهد بود و در این راستا باید فرهنگ شتاب بخشی در تولید به فرهنگ افزایش بهره‌وری از منابع تبدیل شود. راه‌های اساسی برای مقابله با مسائل زیست‌محیطی صنعت بتن به شرح ذیل است:

#### ۱-۳- بهبود کارایی انرژی در صنعت سیمان و استفاده از مواد زاید به‌عنوان جانشینی برای سوخت

سوخت‌های اصلی در کوره‌های سیمان شامل زغال‌سنگ، سوخت‌های نفتی، گاز طبیعی و کک نفت هستند، سوخت‌های ثانویه در کوره‌های سیمان شامل موارد زیر هستند. استفاده از این سوخت‌ها اثرات زیست‌محیطی مطلوبی نسبت به سوخت‌های اولیه یا فسیلی دارند.

- لاستیک چرخ
- ضایعات زباله‌ای جامد شهری
- سوخت‌های مشتق از ضایعات مایع
- سوخت‌های ضایعات زیستی

کاربرد سوخت‌های ذکر شده بخصوص در کاهش دی‌اکسیدکربن موثر می‌باشد که در حال حاضر تجهیزات بسیاری برای آمیزش و ترکیب این سوخت‌ها نیز در کشورهای پیشرفته ابداع شده است.

#### ۲-۳- استفاده از مواد جایگزین سیمان

پیش‌بینی می‌شود که مصرف جهانی سیمان در سال ۲۰۲۰ به ۲ میلیارد تن برسد و این در حالی است که منابع مناسب از روباره‌های پوزولانی و سیمانی روباره‌ای که بتوانند به‌عنوان جایگزین سیمان مورد مصرف قرار گیرند وجود دارد. در صورت استفاده از روباره که یکی



از محصولات جانبی کوره‌های ذوب آهن می‌باشد و خاصیت پوزولانی دارد، نیاز به تولید سیمان اضافی هم نخواهد بود. براساس گزارش موسسه حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا خاکستر بادی یا پوزولان ۱۵ تا ۳۵ درصد میزان سیمان استفاده شده در بتن را کاهش می‌دهد. از ۵۱ میلیون تن خاکستر بادی تولید شده در آمریکا در سال ۱۹۹۱ حدود ۷ میلیون تن در تولید بتن استفاده شد. جالب توجه است که بتن حاوی مواد سیمانی که حاوی ۵۰ درصد و یا بیشتر روبراره کوره آهنگدازی و یا خاکستر بادی برحسب مواد سیمانی باشد از بتنی که حاوی سیمان خالص باشد پایایی بیشتری دارد [۱۶].

در بتن‌های حاوی مقدار زیادی مواد افزودنی معدنی، سرعت کندتر گیرش و سخت‌شدگی را می‌توان با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی با استفاده از روان‌کننده‌های ممتاز جبران کرد. با وجود این چنانچه برای صنعت، هدف مهم و اصلی به حداکثر رساندن بهره‌وری از مصالح قرار گیرد و نه بهره‌وری نیروی انسانی، در اکثر کاربردهای سازه‌ای سرعت کندتر اجرا قابل قبول خواهند بود. در کشور ما تولید بتن با استفاده از مواد افزودنی معدنی از سال‌ها قبل متداول بوده است، کارخانه سیمان سپاهان در کنار کارخانه ذوب آهن اصفهان برای استفاده از سرباره کوره آهنگدازی آن کارخانه تاسیس شد. البته با توجه به ظرفیت‌های موجود پوزولان‌های طبیعی در کشور تولید آن در حد قابل قبول نمی‌باشد. در اروپا حدود ۵۰ درصد سیمان‌های تولیدی سیمان پوزولانی است در حالی که براساس گزارش در سال ۱۳۸۴ صرفاً ۱۰ درصد سیمان‌های مصرفی در ایران را سیمان‌های پوزولانی تشکیل می‌دهد [۱۶].

### ۳-۳- صرفه جویی مصالح سنگی

در آمریکای شمالی، اروپا و ژاپن حدود دو سوم نخاله‌های ساختمانی و تخریب را مصالح بنایی و خرده‌ها و تکه‌های بتن قدیمی تشکیل می‌دهند. این یک فرصت خوب برای صنعت بتن می‌باشد که با استفاده از نخاله‌های ساختمانی به‌عنوان مصالح درشت‌دانه در بتن، بهره‌وری از مصالح را بهبود بخشد.

در بسیاری از نقاط جهان ماسه‌های لایروبی و نخاله‌های معدنی به‌عنوان مصالح ریزدانه در بتن قابل کاربرد هستند. خصوصاً در مناطقی که با کمبود زمین روبرو هستند و یا اینکه دپوی این نخاله‌ها گران تمام می‌شود، بازیابی آنها علیرغم هزینه‌های انجام آن اقتصادی به حساب می‌آید. علاوه بر آن در بسیاری از مناطق جهان، قرضه‌های مصالح سنگی بکر به اتمام رسیده است و در مقایسه با استفاده از مصالح سنگی بازیافت شده که رایگان و یا با قیمت نازل در دسترس است، تهیه و حمل مصالح سنگی از فواصل دور بسیار گرانتر می‌باشد. بتن بازیافت شده به‌عنوان پرکننده در بعضی جاها مورد استفاده قرار می‌گیرد که از خاکریز بهتر است.

لوریتزن<sup>۳</sup> تولید سالانه نخاله‌های بنایی و بتنی را در جهان قدری بیش از یک میلیارد تن برآورد کرده است [۱۶]، که در حال حاضر فقط بخش کمی از این نخاله‌ها مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. در بیشتر کشورهای اروپایی، با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و هزینه زیاد دپوی نخاله‌ها، بازیافت ۵۰ تا ۹۰ درصد نخاله‌های ساختمانی را به‌عنوان یک هدف کوتاه مدت خود قرار داده‌اند. البته مصالح سنگی به‌دست آمده از بازیافت نخاله‌های بتنی و به‌خصوص بنایی در مقایسه با مصالح سنگی طبیعی دارای تخلخل زیادتری هستند. بنابراین برای رسیدن به یک کارپذیری مشابه در بتن، به آب زیادتری نیاز هست و به همین ترتیب مقاومت مکانیکی بتن سخت شده تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این مشکل با استفاده از مخلوط مصالح سنگی طبیعی و بازیافتی و استفاده توأم آنها و یا افزودنی‌های کاهنده آب و خاکستر بادی قابل حل است.

### ۳-۴- صرفه جویی آب

تاکنون آب شیرین تقریباً همه جا به‌طور وفور در دسترس بوده و برای تمام مقاصد در صنعت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع استانداردهای اجرای ساختمان، استفاده از آب قابل شرب را برای ساخت و عمل‌آوری مرطوب بتن توصیه می‌کرده‌اند، ولی این شرایط امروزه تغییر کرده است.

هاوکن<sup>۴</sup> و همکاران [۱۷] گزارش می‌کنند که آب شیرین سالم روز به روز کمیاب‌تر می‌شود. اگرچه در کره زمین آب زیادی وجود دارد ولی فقط حدود ۳ درصد آن شیرین می‌باشد که قسمت اعظم آن هم یا در مناطق ذوب یخبندان‌های بزرگ محبوس است و یا از اعماق زیاد زمین قابل استحصال می‌باشد. در صنعت بتن که یکی از بزرگترین مصرف‌کننده‌های آب است، ضروری است مصرف آب را با کارایی

<sup>3</sup>United States Environmental Protection Agency

<sup>4</sup>Lauritzen

<sup>5</sup>Hawken



زیادتری همراه سازیم. علاوه بر مصرف حدود ۱۰۰ لیتر آب در مترمکعب برای شستشوی تراک‌های بتن آماده، آب بسیار زیادی برای تولید بتن مصرف می‌گردد.

عقیده بر این است که مصرف فعلی سالانه یک تریلیون لیتر آب برای تولید بتن می‌تواند به نصف کاهش یابد و این کار با استفاده از مصالح خوب دانه‌بندی شده و گسترش استفاده از افزودنی‌های معدنی و فوق روان‌کننده‌ها عملی خواهد بود. علاوه بر آن سوالی که مطرح است اینست که چرا باید در ساخت بتن از آب تصفیه شده شهری قابل شرب استفاده کرد؟ تحقیقاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است نشان می‌دهد استفاده از آب ناشی از تصفیه فاضلاب می‌تواند تحت شرایطی به‌عنوان آب اختلاط و آب عمل‌آوری در صنعت بتن مورد استفاده قرار گیرد [۱۸].

#### ۴- هدف تحقیق

هدف از این تحقیق تولید بتن خودتراکم (مواد سبز) دوستدار محیط‌زیست با جایگزینی ترکیب مواد افزودنی (سرباره) به‌جای سیمان و درشت‌دانه بازیافتی حاصل از بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از درشت‌دانه طبیعی می‌باشد. در این راستا، مقدار سیمان مصرفی، مقدار آب، مصالح شن و ماسه، مواد فوق روان‌کننده و مواد اصلاح‌کننده ویسکوزیته در ۱۵ طرح اختلاط به صورت ترکیبی در نظر گرفته شده و با تغییر نسبت‌های ترکیبی مواد افزودنی سرباره و درشت‌دانه بازیافتی، ترکیب بهینه سبز انتخاب شده و علاوه بر سنجش معیارهای مقاومتی و رئولوژی، مسائل زیست‌محیطی آن نیز مقایسه و سنجیده شده است.

#### ۵- روند انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق بکارگیری سنگدانه‌های بتن بازیافتی به‌عنوان درشت‌دانه با درصد‌های جایگزینی مختلف نسبت به درشت‌دانه طبیعی (۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) و سرباره با درصد‌های (۰٪، ۱۵٪ و ۲۵٪) به عنوان جایگزین بخشی از سیمان جهت ساخت بتن خودتراکم بررسی شده است که به‌طور کلی ۱۵ طرح اختلاط حاصل گردیده تا تأثیر این مواد در بتن خودتراکم و اثرات زیست‌محیطی آن مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

#### ۶- مصالح مورد استفاده

##### ۶-۱- شن و ماسه

ماسه مورد استفاده از نوع طبیعی با مقدار جذب آب ۳/۲ و چگالی ۲/۵ و شن مورد استفاده از نوع شکسته با مقدار جذب آب ۲/۶ و چگالی ۲/۶ می‌باشد که آزمایش‌های زیر بر روی آنها انجام شده است:

- ۱- آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM C 136-96
- ۲- آزمایش تعیین ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 128
- ۳- آزمایش تعیین ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 127

##### ۶-۲- سیمان

در تمامی طرح‌های مخلوط‌های آزمایشی، از سیمان نوع دو کارخانه سیمان هگمتان استفاده شده است. ۶-۳- فوق‌روان‌کننده و آب مصرفی

فوق‌روان‌کننده مصرفی بر پایه کربوکسیلات، تهیه شده از شرکت شیمی بتن بهینه و از افزودنی‌های نوع G می‌باشد. مقدار مصرف فوق‌روان‌کننده با سعی و خطا و با معیار رسیدن به اسلامپ حدود ۶۵ سانتی‌متر تعیین گردیده است. وزن مخصوص فوق‌روان‌کننده ۱/۱ تن بر متر مکعب می‌باشد و آب مصرفی نیز از آب شرب همدان استفاده شده است.

##### ۶-۴- سرباره کوره بلند ذوب‌آهن

سرباره یک پوزولان مصنوعی است که به‌طور معمول محصول جانبی کارخانه‌های ذوب‌آهن است. در جدول ۱ مشخصات شیمیایی سرباره مورد استفاده در این تحقیق که از کارخانه ذوب‌آهن اسداباد تهیه شده آمده است.



جدول ۱: درصد ترکیبات شیمیایی سرپاره کوره بلند ذوب آهن

Pb	S	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
۰	۰	۰/۴	۱/۳	۹/۵	۳۶/۷	۱۶	۳۳/۲	سرپاره

#### ۵-۶- پودرسنگ

از پودرسنگ ساوه استفاده شده است که جنس آن کربنات کلسیم با خلوص بالای ۹۰ درصد می‌باشد. این پودر با ۶۰ درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون به‌عنوان لزجت دهنده استفاده شده است.

#### ۷- نمونه‌های مورد بررسی

در این پژوهش ابتدا بتن بازیافتی با طرح اختلاط مشخص ساخته شده و پس از خرد کردن نمونه‌ها توسط پیکور دستی، آزمایش دانه‌بندی و جذب آب بر روی درشت‌دانه بازیافتی انجام شده و مصالح بازیافتی برای استفاده در بتن خودتراکم آماده شده است. در مجموع ۱۵۰ نمونه‌ی بتنی که در ۱۵ طرح مخلوط و هر طرح ۱۰ نمونه بتنی، که این ۱۰ نمونه شامل ۶ نمونه برای آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه هر کدام دو نمونه، ۲ نمونه برای آزمایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه و ۲ نمونه برای آزمایش تعیین درصد جذب آب در سنین ۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه بود، ساخته شد. نامگذاری نمونه‌ها بر اساس درصد استفاده از سرپاره و مصالح بازیافتی می‌باشد که در جدول ۲ و طرح‌های اختلاط نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲: نامگذاری آزمون‌ها

نام نمونه	CA0 S0	CA0 S15	CA0 S25	CA25 S0	CA25 S15	CA25 S25	CA50 S0	CA50 S15	CA50 S25	CA75 S0	CA75 S15	CA75 S25	CA100 S0	CA100 S15	CA100 S25
درصد جایگزینی (CA)	۰	۰	۰	۲۵	۲۵	۲۵	۵۰	۵۰	۵۰	۷۵	۷۵	۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
درصد جایگزینی (S)	۰	۱۵	۲۵	۰	۱۵	۲۵	۰	۱۵	۲۵	۰	۱۵	۲۵	۰	۱۵	۲۵

CA: درشت‌دانه بازیافتی، S: سرپاره

جدول ۳: نسبت‌های اجزای مخلوط بتن‌های خودتراکم

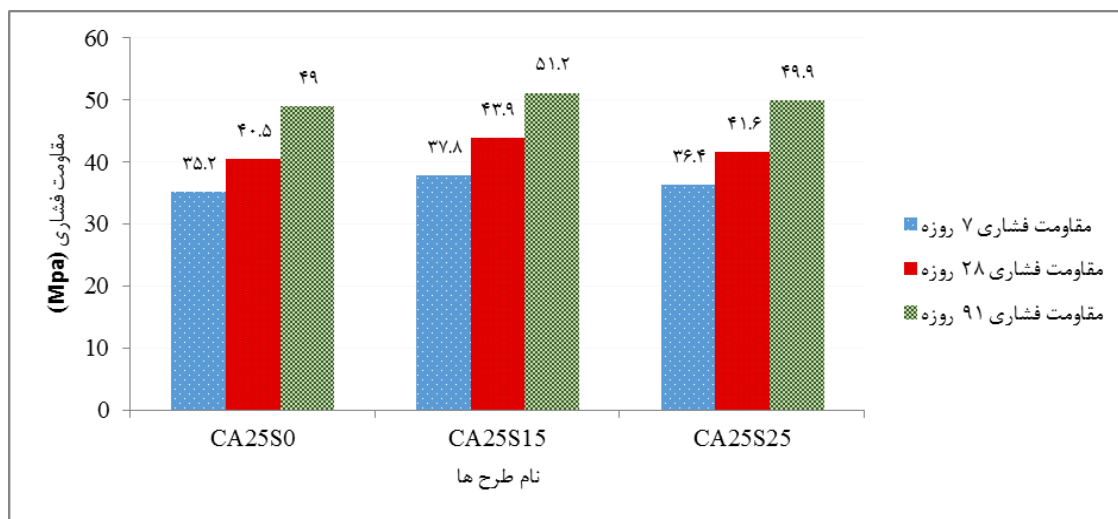
معرف مخلوط	آب به سیمان (W/C)	آب (Kg/m <sup>3</sup> )	سیمان (Kg/m <sup>3</sup> )	سرپاره مصرفی (Kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (Kg/m <sup>3</sup> )	شن (Kg/m <sup>3</sup> )	شن بازیافتی (Kg/m <sup>3</sup> )	پودرسنگ (Kg/m <sup>3</sup> )	فوق‌روان کننده (Kg/m <sup>3</sup> )
CA0S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA0S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA0S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA50S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA50S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA50S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA75S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۱۹۲/۵	۵۷۷/۵	۱۰۰	۴/۰۸



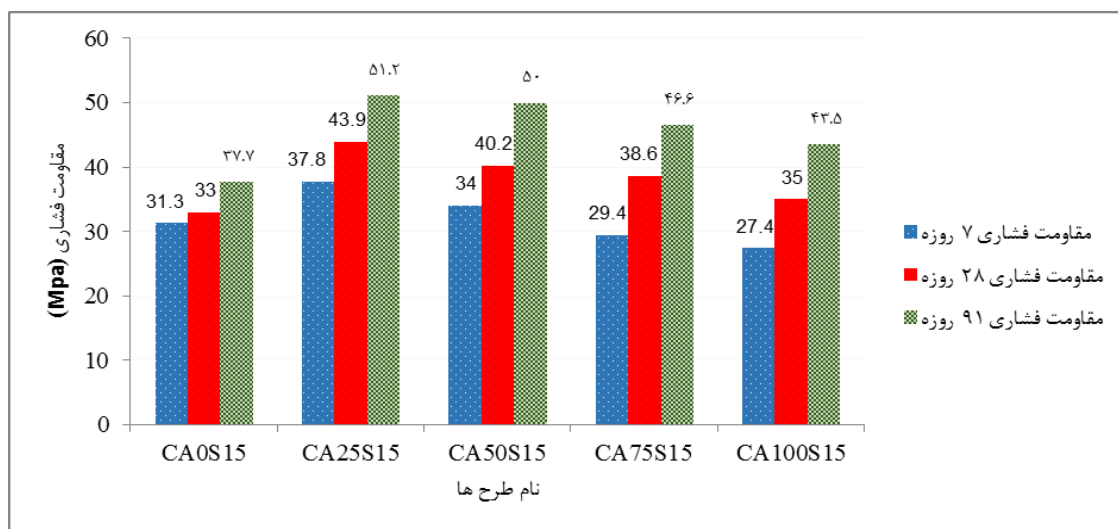
۴/۰۸	۱۰۰	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۹۳۵	۶۴/۵	۳۶۵/۵	۲۰۶	۰/۴۸	CA75S15
۴/۰۸	۱۰۰	۷۷۵/۵	۱۹۲/۵	۹۳۵	۱۰۷/۵	۳۲۲/۵	۲۰۶	۰/۴۸	CA75S25
۵/۱۶	۱۰۰	۷۷۰	۰	۹۳۵	۰	۴۳۰	۲۰۶	۰/۴۸	CA100S0
۵/۱۶	۱۰۰	۷۷۰	۰	۹۳۵	۶۴/۵	۳۶۵/۵	۲۰۶	۰/۴۸	CA100S15
۵/۱۶	۱۰۰	۷۷۰	۰	۹۳۵	۱۰۷/۵	۳۲۲/۵	۲۰۶	۰/۴۸	CA100S25

### ۸- بررسی و آنالیز نتایج آزمایشگاهی

نتایج آزمایش‌های بتن خودتراکم از بین ۱۵ طرح مخلوط به صورت حالت‌های بهینه در نمودارهای زیر آورده شده است. همانگونه که از نمودارها مشخص است استفاده از ۱۵ درصد سرباره و ۲۵ درصد درشت‌دانه بازیافتی بهترین حالت را از لحاظ مقاومتی از خود نشان داده است.



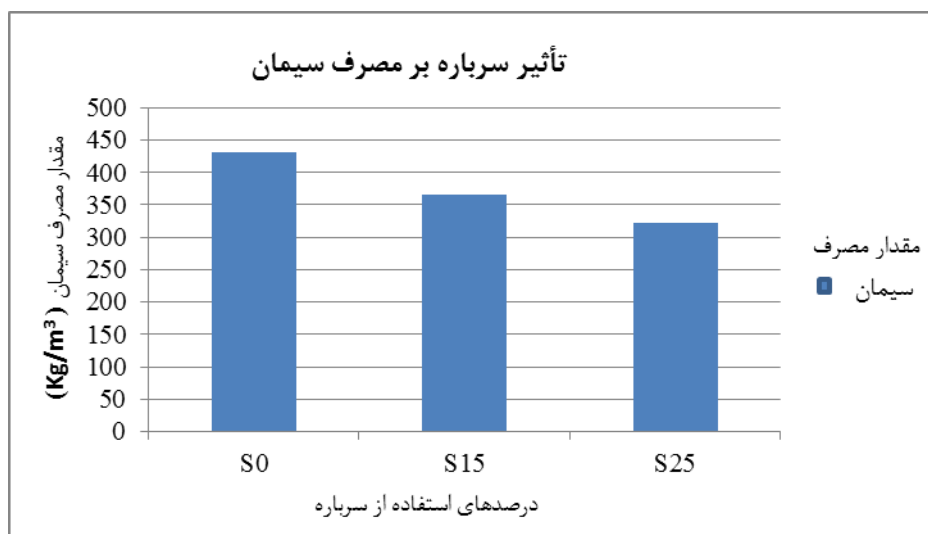
شکل ۱: نمودار تغییرات مقاومت فشاری با ترکیب متغیر سرباره و ترکیب ثابت و بهینه درشت‌دانه بازیافتی



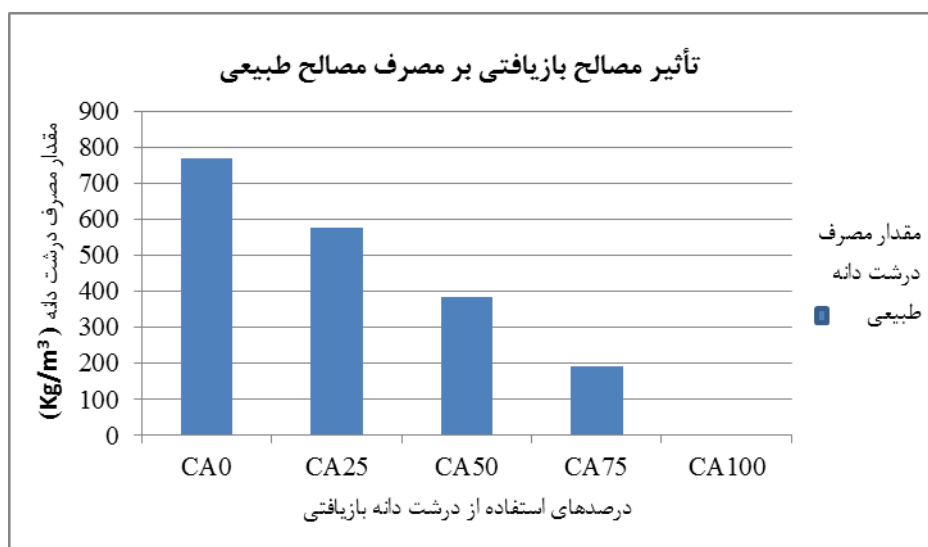
شکل ۲: نمودار تغییرات مقاومت فشاری با ترکیب ثابت و بهینه سرباره و ترکیب متغیر درشت‌دانه بازیافتی



در طرح مخلوط شماره ۵ که ۱۵ درصد سرباره و ۲۵ درصد درشت‌دانه بازیافتی در بتن خودتراکم بکار رفته شاهد بهترین نتایج از نظر مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه هستیم. نتایج آزمایش‌های دیگر هم مانند آزمایش مقاومت کششی، درصد جذب آب، نیز حاکی از آن است که طرح‌های ۴، ۵ و ۶ بهینه‌ترین نتایج را دارا می‌باشند که در این بین طرح ۵ بهترین نتیجه را دارا می‌باشد. در طرح مخلوط شماره ۵، که حالت بهینه است ۱۵ درصد سیمان مصرف سیمان کاهش پیدا کرده و به جای آن سرباره کوره ذوب‌آهن که محصول زاید و جانبی کارخانه می‌باشد استفاده شده و همچنین مقدار مصرف درشت‌دانه طبیعی ۲۵ درصد کاهش و به جای آن درشت‌دانه بازیافتی استفاده شده است که در هر مترمکعب بتن خودتراکم با توجه به طرح اختلاطی که در این تحقیق محاسبه و استفاده شده باعث کاهش ۶۴/۵ کیلوگرم سیمان و ۱۹۲/۵ کیلوگرم درشت‌دانه طبیعی می‌شود که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار تأثیر کاهش مصرف سیمان با استفاده از سرباره



شکل ۴: نمودار تأثیر کاهش مصرف درشت‌دانه طبیعی با استفاده از مصالح بازیافتی





## ۹- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

پروژه‌های عمرانی که در داخل و حومه شهرها و نیز در مناطق کوهستانی و دشتهای که از نظر پوشش گیاهی و جانوری دارای ارزش زیست‌محیطی هستند دارای خطرات بالقوه و بالفعلی هستند که برای مقابله با آن یا باید احداث پروژه‌های عمرانی را متوقف کرد که امری محال است، بخصوص در کشور در حال توسعه‌ای چون ایران و یا اینکه قبل از احداث پروژه‌های عمرانی با اهتمام به ارزیابی‌های زیست‌محیطی، اثرات سوء آن پروژه را بر محیط‌زیست بررسی کرده و حتی‌الامکان نقاطی را برای احداث پروژه انتخاب کرد که کمترین خطر را برای محیط‌زیست و بیشترین کاربرد را از لحاظ علمی و تکنولوژی داشته باشد. براساس نتایج آزمایش‌های انجام شده و با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که بکارگیری درصد بالایی از سرباره و سنگدانه بازیافتی هرچند از لحاظ زیست‌محیطی مفید، اما در بتن خودتراکم مناسب نبوده و منجر به کارایی خارج از محدوده و مقاومت کم خواهد شد. اختلاط بتن خودتراکم با ۱۵ درصد سرباره و ۲۵ درصد درشت‌دانه بازیافتی که باعث کاهش مصرف سیمان و کاهش مصرف سنگدانه طبیعی می‌شود، در این پژوهش نتیجه بهینه را می‌دهد که علاوه بر نتایج مقاومتی خوب و قابل قبول، موجب کاهش مواد زاید، تقلیل مصرف مواد خام، عدم افزایش گازهای گلخانه‌ای و کاهش مصرف انرژی شده و مواد سبز سازگار با محیط‌زیست برای صنعت ساختمان تولید می‌گردد.

## ۱۰- مراجع

[۱] شکرچی‌زاده، محمد، میرزایی، زانبار، ۱۳۸۸. "آینده آموزش مهندسی بتن و سیمان با نگرش به محیط‌زیست"، نشریه دانشکده فنی تهران، شماره ۱۲۱، ص ۱۰۹.

- [2] Neville, AM., 1996. "Properties of concrete" 4th ed. New York: John Wiley and sons Inc.; 1996. Wiley.
- [3] American Coal Ash Association. Benefits of fly ash in hpc. HPC Bridge Views 2002; 20:3.
- [4] UNFCCC COP9 Report. (2004). "Delivering the Kyoto baby." Refocus, International Renewable Energy Magazine, 2004; 52-53.
- [5] Malhotra, V. M. "Role of supplementary cementing materials and superplasticizers in reducing greenhouse gas emissions." Proc., ICFRC Int. Conf. on Fiber Composites, High-Performance Concrete, and Smart Materials, Indian Institute of Technology, Chennai, India, 2004; 489-499.
- [6] Goldstein, H. "Not your father's concrete". Civil Engineer, 1995; 65(5): 60-3.
- [7] Okamura, H. "Self-compacting high performance concrete". 1997; 19(7): 50-4.
- [8] Okamura, H. Ouchi, M. "Self-compacting concrete". Concrete Technol 2003; 1:5.
- [9] Kim, JK, Ham, YD, Noh, JH, Park, YH, Kwon, YH, Lee, SG. In: Bartos, PJM, Marrs, DL, Cleland, DJ, editors. "Experimental research on the material properties of super flowing concrete". London: E&FNSpon; 1996.
- [۱۰] قربانی، هادی، رحیمی، وحید، نصرتی، سید علیرضا، ۱۳۸۸. "بتن و محیط‌زیست"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، مهر ماه.
- [۱۱] شکرچی‌زاده، محمد، ۱۳۸۰. "کاهش اثرات زیست‌محیطی بتن"، فصلنامه انجمن بتن ایران، شماره ۵، ص ۱۸-۲۴.
- [12] Malhotra, V. M. "Making Concrete Greener with Fly Ash" Concrete International, V.21, No.5, May 1999, pp. 61-66.
- [13] Galvez, Martos J. L., Building a "green construction" powerhouse for the world. Energeia, Spring/Summer 2013; 11-13. University of Aberdeen. [http://www.abdn.ac.uk/aie/documents/Energeia\\_ISSUE\\_3.pdf](http://www.abdn.ac.uk/aie/documents/Energeia_ISSUE_3.pdf) (accessed 11 October 2014).
- [14] Mehta, P. Kumar. (2001). "Reducing the environmental impacts of concrete". Concrete International. 2001.
- [15] Rao, A., Jha K. N., Misra, S. (2006). "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete". Conservation and Recycling 2007; 50(1) 71-81 doi: 10.1016/j.resconrec.2006.05.010.
- [16] Lauritzen, E. K., "The Global Challenge for Recycled Concrete," Proceedings, Symposium Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, R. K. Dhir; N. A. Henderson; and M. C. Limbachiya, eds., Thomas Telford, 1998, pp. 505-519.
- [17] Hawken, P.; Lovins, E.; and Levins, H., "Natural Capitalism—Creating the Next Industrial Revolution", Little Brown and Co., 1999, 369pp.
- [18] Neville, A., "Water-Cinderella Ingredient of Concrete", Concrete International, September 2000, pp. 66-71.



## Self-compacting concrete: technology of green concrete with attitudes to environment

Parisa Razmara<sup>1</sup>, Saeed Saeedijam<sup>2</sup>, Jasem Afiatisalim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD in Civil Engineering / Water Resources, Islamic Azad University of Hamedan; Parisa.razm@gmail.com

<sup>2</sup> PhD in Civil Engineering /Geotechnic, Islamic Azad University of Hamedan; Saeidijam@iust.ac.ir

<sup>3</sup> Master of Civil Engineering /Geotechnic, Islamic Azad University of Hamedan; Civil\_869@yahoo.com

### Abstract

Concrete as distinguished material of present century has an outstanding position in civil engineering industry. This mixture, which after water is considered the most widely used building materials, at production time, has many effects on environment, that lack of attention to these aspects can make a lot of problems. Nowadays self-compacting concrete, is a part of building modern technologies which by characteristics such as durability and reliability, lack of need for vibration in order to compaction, which cause to reduces noise and pollution, on reinforced concrete structures field has a good position. On the other hand, cement is the part of ingredients of concrete that its production in terms of carbon dioxide emissions has become a major environmental problem. In this research, the aim is production of self-compacting concrete that become environmentally friendly and cause minimal damage (concrete green). For this purpose, 15 mixing designs, with different percentages of ground granulated blast furnace slag and recycled building materials as cement replacement and natural materials has been used, in addition to investigating environmental characteristics, the usage of these substances will also be provided sustainable development. The experiment results show that simultaneous combination of the two materials slag with 15% replacement of cement and recycled concrete by 25%, is a good alternative respectively for cement and natural building materials which cause reduction in the consumption of cement and coarse grains in self-compacting concrete, and makes recycle of waste materials, the reduction of environmental pollution and preserving natural resources. Proper processing of this mixture will lead to the production environmentally friendly green materials with improved strength.

**Keywords:** Self-compacting concrete, green materials, Ground Granulated Blast Furnace Slag, the environment, recycled concrete