

بتن سبز، مواد و مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست و کارآمد با تکنولوژی متحول کننده

محمد حسین بزرگی^۱، مرجان سالاری^۲

^۱ کارشناسی ارشد عمران، کارشناس فنی شهرداری شیراز و مدرس دانشگاه پیام نور شیراز.

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان.

نام نویسنده مسئول:

مرجان سالاری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵

چکیده

بتن به عنوان پرمصرف ترین ماده بعد از آب، در صنعت ساخت و ساز جایگاه ویژه ای دارد. بر اساس سایت جهانی پدیده گرمایش گلخانه ای، تقریباً ۷ درصد از کل مقدار انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به تولید سیمان بتن بوده است. تولید سیمان در بتن با مصرف زیاد انرژی، آزاد شدن مقدار زیادی دی اکسید کربن و مصرف زیاد آب همراه می باشد که هر یک آثار زیان باری بر محیط زیست می گذارد. راه حل این مشکلات استفاده از بتن سبز است که اثرات زیست محیطی صنعت سیمان را به حداقل می رساند. بتن سبز، ماده عالی است که جایگزین سیمان شده و بسیار مقرون به صرفه است؛ زیرا محصولات پسماند را مصرف کرده و انرژی را ذخیره می کند. در نتیجه به طور مطلوب تولید می شود. تمام بتن های سبز نسبت به بتن نرمال از مقاومت و دوام پذیری بالاتری برخوردارند. هدف از این مقاله معرفی بتن سبز به عنوان راهی برای دستیابی به ساخت و ساز پایدار و معرفی مواد مکمل سیمانی دیگر با سیمان پرتلند می باشد. روش این پژوهش بر اساس هدف، یک پژوهش کاربردی و بر اساس ماهیت یک پژوهش توصیفی - مروری می باشد که از یافته های تحقیق می توان به مواردی همچون: درک عمیق تری از تولید و استفاده از فناوری بتن سبز در راستای مفاهیم کلان حفظ محیط زیست و توسعه پایدار اشاره کرد و از نتایج پژوهش می توان در علوم مهندسی عمران، معماری و ساختن ساختمان های سبز بهره برد. جهت گردآوری اطلاعات از روش های مطالعات اسنادی و کتابخانه ای و از طریق سایت های معتبر در رابطه با مطالعات انجام شده مشابه در جهان استفاده گردیده است.

واژگان کلیدی: بتن سازگار با محیط زیست، تکنولوژی بتن، بتن سبز، خاکستر لجن، خاکستر سبک، شیشه بازیافتی.

مقدمه

اگرچه بتن ماده‌ی ساختمانی بسیار انعطاف پذیر است دارای خطرهای محیطی جدی می باشد. برای نمونه، فرآیند تولید برای سیمان پرتلند نیازمند حرارت دهی سنگ آهک تا ۱۴۰۰ درجه سلسیوس تولید و دو برابر مقدار دی اکسید کربن در هر تن از سیمان در مقایسه با مصالح سبز دیگر است. دی اکسید کربن اضافی و دیگر گازها توسط حفاری، انتقال و کاربرد بتن در محیط زیست به وجود می آید [1].

بتن معمولی با مزایای شناخته شده فراوان محبوبیت زیادی در صنعت ساخت و ساز دارد، اما این کاربردهای فراوان با تأثیرات زیست محیطی فراوان توأم است. تا کنون نزدیک به ۵ میلیارد مترمکعب بتن در جهان تولید شده است و این حجم از تولید بتن نیازمند استفاده از حجم زیادی از منابع طبیعی برای تولید سنگدانه ها و سیمان مصرفی در بتن بوده است [2].

همچنین برای تهیه سنگدانه های مصرفی در بتن مقادیر زیادی از منابع طبیعی دستخوش تخریب شده اند. پس بدیهی است که ما نمی توانیم ساخت و سازی پایدار بدون اعمال تغییراتی در تکنولوژی بتن و تبدیل آن به بتن سبز داشته باشیم [3]. بتن سبز مفهوم مصرف مواد سازگار با محیط زیست در بتن است که باعث ایجاد سیستم مقاوم و پایداری می شود. بتن سبز اغلب ارزان قیمت است. علت این امر به طور مثال به علت استفاده از محصولات پسماند به شکل مواد جایگزین سیمان به کار رفته است و دفع پسماندها هزینه چندان در بر ندارد. مصرف انرژی آنها نیز در تولید ناچیز بوده و قابلیت دوام پذیری بالاتری هم دارند. اما باید توجه کرد که بتن با هیچ رنگی قاطی نشود [4].

پسماند می تواند محصولات جدیدی تولید کرده و یا می تواند به عنوان مخلوط با دیگر مواد به کار رود. به طوری که منابع طبیعی محدود شده و به طور کارآمدتری به کار روند. این کار از محیط زیست در برابر پسماند ها محافظت می کند. مواد باقیمانده غیرآلی مثل گرد و غبار سنگ، بتن ساییده شده یا پسماند مرمر به عنوان مصالح دانه ای در بتن سبز به کار می روند. به علاوه، با جایگزینی سیمان با خاکستر بادی سیلیس کوچک در مقادیر بزرگ تر باعث افزایش کیفیت سیمان های سبز جدید شده و در نهایت بر سطح مصرف مواد خام و سوخت های جایگزین می افزاید. این امر باعث مصرف انرژی کم و بهبود سیمان می شود. مقاله انجام شده در راستای مصرف محصولات مختلف صنعتی و همچنین پرکننده های ریز بتنی انجام گرفته است. مصرف پسماند های سیمان طبیعی نه تنها مقرون به صرفه می باشد بلکه باعث افزایش ویژگی های بتن می شود؛ مانند دوام پذیری [5]. راهکارهای گوناگونی برای جبران کاهش مقاومت بتن با سنگدانه های بازیافتی پیشنهاد شده است. افزودن خاکستر بادی، میکروسیلیس، افزایش مقدار سیمان و استفاده از انواع الیاف از جمله آنها است [6-8].

در پژوهشی که از خرده نخاله های ساختمانی و خرده بتن به عنوان سنگدانه های بازیافتی به میزان ۵۰٪، ۱۰۰٪ و همچنین از الیاف شیشه ای و پلی پروپیلن در بتن استفاده شد، نتایج نشان داد که با افزایش سنگدانه های مقاومت بتن کاهش می یابد اما با افزودن الیاف این کاهش مقاومت جبران می شود. همچنین الیاف شیشه ای نسبت به الیاف پلی پروپیلن عملکرد بهتری از خود نشان داده اند [9].

این مقاله اقدامات مختلف صورت گرفته جهت توسعه بتن سازگار با محیط زیست را به طور خلاصه مطرح کرده و نشان می دهد که این مواد برای مصالح ساختمان سبز مطلوب هستند. در نتیجه می توان از سیمان پرتلند استفاده کرد. مخصوصاً جهت تولید محصولات فرایند های صنعتی مثل خاکستر بادی، خاکستر کوره و دوده سیلیس. به علاوه اقداماتی نیز جهت استفاده از مواد بازیافت شده مطلوب و جایگزین کننده های مصالح دانه ای بتن صورت گرفته است. که دارای اهمیت زیادی می باشند؛ به طور مثال مصالح دانه ای بتن قابل بازیافت.

مواد و روش ها

بتن بازیافت شده و مصالح ساختمانی

بتن دانه بندی بازیافت شده و مصالح ساختمانی درجه بندی مصالحی است که از بتن بازیافتی و تمیز بدست آمده و کاربرد های مختلفی در راه سازی دارند. این مواد ممکن است آجر، شن، خرده سنگ یا سایر اشکال مواد سنگی که به شکل مواد ادغام شده اند را در بر گیرد. شکل، درجه بندی و مقدار دانه ها ممکن است بر روی کارایی، درصد تراوش، اندودکاری و حساسیت ترک

خوردگی و کشسانی بتن تاثیر گذارند. شن و ماسه ساخته شده می تواند برای جایگزینی نسبت اصلی شن طبیعی به کار رود که فاقد اتلاف عملکرد در محصولات مبتنی بر سیمان است.

پسماند سنگ مرمر به شکل مواد پر کننده

سنگ مرمر به طور متداول از زمان یونان باستان تا به امروز به عنوان ماده ساختمانی به کار می رود. دفع مواد پسماند صنعت سنگ مرمر متشکل از پودر های بسیار دانه درشتی است که یکی از مشکلات و مسائل زیست محیطی سراسر جهان به شمار می رود. اگرچه این مواد پسماند می توانند به طور موفقیت آمیز و در سطح اقتصادی برای توسعه برخی ویژگی های بتن و محصولات به کار روند [10].

تخریب بتن و اثرات آن در محیط زیست

یک سازه بتن مسلح در طول دوره عمر مفید خود پیوسته با اثرات مختلف تهاجمی و زیست محیطی که می تواند باعث آسیب آن شود، روبرو می باشد. این تاثیرات می تواند از محیط زیست سرچشمه بگیرد و یا مربوط به استفاده از آن سازه در گذر زمان باشد. عوامل موثر در طول عمر مفید یک سازه را می توان در سه گروه عمومی طبقه بندی نمود: اثرات فیزیکی، زیستی و شیمیایی [10].

نیاز برای کاهش اثرات زیست محیطی بتن در گزارش اخیر شورای استراتژیک توسعه (در کشور آمریکا) مورد شناسایی و توجه قرار گرفته است. خلاصه ای از گزارش تحت عنوان (دیدگاه سال ۲۰۳۰ برای صنعت بتن آمریکا در مارس ۲۰۰۱ مجله Concrete international منتشر شده است [11]).

اثرهای مثبت و منفی بتن بر انسان و محیط زیست، مورد بررسی قرار گرفته اند. بررسی های انجام شده، به ویژه در کشور آلمان، حاکی از آنند که بتن در تماس با آب و خاک آب دار، شسته شده، ذراتی از آن خارج شده و در محیط رها می شوند که به طور عمده مواد معدنی و غیرآلی اند. خروج این مواد می تواند از همان شروع ساخت و به صورت پیوسته و در کلیه مراحل تولید، کاربرد، بهره برداری، تخریب، انباشت در محیط زیست یا باز مصرف، ادامه داشته باشد. شسته شدن و بیرون آمدن ذراتی که ممکن است برای محیط زیست زیان بار باشند، می تواند به طرق مختلف اتفاق بیافتد:

- ۱- شسته شدن مواد سطحی بتن
- ۲- شسته شدن مواد قابل انحلال در آب با مایع حلال و شوینده که بتدریج این مایعات مواد قابل حل را در خود حل کرده و به داخل بتن پیش می روند.
- تهیه بتن چه در کارگاه و چه کارخانه های تهیه بتن آماده، با آلودگی هوا صوتی همراه است و این مساله می تواند برای کارگران و سایر افراد نزدیک به محل کار، مزاحمت و ناراحتی به دنبال داشته باشد.
- جا دادن بتن با استفاده از لرزش می تواند به لرزش دست و بازو و گاه به لرزش تمام بدن منجر می شود و کارگر را دچار بیماری می کند.
- از همه مواد موجود در طبیعت کم یا بیش اشعه رادیواکتیو ساطع می شود که ناشی از فروپاشی برخی ذرات هسته ای درون آنها است. میزان تابش برای مواد مختلف اندازه گیری شده و تابش طبیعی گفته می شود. فروپاشی ذرات هسته ای، علاوه بر تابش اشعه گاما و افزایش مستقیم دوز جذبی اشعه توسط افراد مجاور، سبب بیرون زدن گاز رادون می شود که از جمله گازهای کمیاب رادیواکتیو می باشد. ذرات حاصل از فروپاشی هسته ها ممکن است از بتن خارج شده، به ذرات پراکنده در هوا چسبیده و وارد بدن انسان شوند.
- در صورتی که سیمان تازه با پوست بدن در تماس مداوم باشد سبب ناراحتی های پوستی شده و در صورت تداوم می تواند به آگزمای سیمان منجر شود.
- از نظر ایجاد گرد و غبار، بتن سالم و دارای کیفیت خوب، عملاً تولید گرد و غبار نمی کند مگر در سطوح سخت عبور و مرور مستمر مثل جاده ها و کف های صنعتی که میزان آن هم بسیار اندک و قابل چشم پوشی است.

• بتن مانع اثر میدان های الکتریکی و مغناطیسی ساکن و تناوبی می شود و سپری برای سلامت و ایمنی انسان و محیط زیست در برابر اشعه رادیواکتیو است.

• بتن سپر حفاظتی خوبی در برابر صداهایی است که از طریق هوا منتشر می شوند و صداهای به صورت همهمه را بخوبی خاموش می کند ولی برای مقابله با صداهای ناشی از ضربه مستقیم عملکرد مناسب ندارد. آخرین بررسی های انجام شده در بلژیک و اتریش نشان داده اند که یک روکش بتنی با دانه های سنگی نمایان به ضخامت ۴ سانتیمتر، که دانه ها شکسته و ابعاد آنها به ۴ تا ۸ میلیمتر محدود شده باشند و دوغاب سطح آن با برس تمیز گردد نه با شستن می تواند صدای مزاحم و همهمه تیر اتومبیل ها را بگیرد [12].

تجارب موجود در ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری سازه های دارای بتن مسلح نشان می دهد که مشکلات متعددی باعث آسیب شدید آن می شود و اغلب، باعث به خطر انداختن ظرفیت باربری سازه ها می شود آسیب به بتن و آرماتور، دوام بتن و ظرفیت باربری آن را تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین هزینه قابل توجهی باید برای تعمیرات بشود به ویژه هنگامی که آنها در معرض اثرات زیست محیطی هستند. عوامل متعددی در تخریب زود هنگام بتن دخیل هستند:

- تخریب بتن در اثر یخ زدگی
- تخریب بتن در اثر ریشه گیاهان و پوشش گیاهی
- تخریب بتن در اثر یخ زدایی توسط نمک
- توسعه خوردگی از فولاد در بتن [10].
- تخریب بتن در اثر حوادث طبیعی
- تخریب بتن در اثر عوامل فیزیکی مانند کاویتاسیون.

معیار های کلی انتخاب محصول/مواد:

- **بهروری منابع:** بهروری منابعاً شامل ویژگی های محتوای بازیافت شده، طبیعی یا تجدید پذیر، منابع کار آمد فرایند تولید می باشد که در سطح داخلی قابل دسترس بوده و به طور مطلوبی ارائه می شود و همچنین از دوام بالایی برخوردار بوده و قابل بازیافت و مصرف هستند.
- **کیفیت هوای داخلی:** کیفیت هوای داخل ساختمان توسط موادی با خصوصیات زیر افزایش یافته است: کم و یا غیر سمی، حداقل انتشار شیمیایی، مقاومت در برابر رطوبت و حفظ سلامت.
- **کارایی و بازده انرژی:** این امر اساساً به انرژی به کار رفته در بتن اشاره می نماید. این مواد همچنین نشان می دهند که کمترین مقدار انرژی در زمان ساخت و ساز بتن مورد نیاز است.
- **تبدیل آب:** موادی که به تبدیل آب نواحی زمین کمک می کنند در طول ساخت و ساز ساختمان باعث کاهش مصرف آب در مواد ساختمانی می شوند. به علاوه به ذخیره آب نیز کمک می کنند.
- **ارزش:** این ویژگی می تواند در طول ساخت و ساز ساختمان بر حسب طول عمر و هزینه مصالح تنظیم شود. آنها با مواد معمولی مقایسه شده و به طور کلی درصد تعریف شده ای از بودجه کل را به خود اختصاص می دهند.
- **ذخیره آب:** موادی که به ما کمک می کنند و آب را ذخیره می کنند در مناطقی برای استفاده در زمان ساخت و ساز به عنوان ذخیره آب ساخت و ساز، ترجیح داده می شوند، و یا حتی به کاهش مصرف آب در مواد ساختمانی کمک می کنند [13]. در جدول (۱) برخی از مواد جایگزینی برای بتن سبز آورده شده است [14, 15].

جدول ۱: مواد جایگزینی برای بتن سبز [15]

شماره SI	مواد متشکله معمولی	مواد جایگزینی برای بتن سبز
۱	سیمان	خاکستر سبک جامد شهری، خاکستر لجن، شیشه بازیافتی، دوده سیلیکا
۲	سنگ دانه های درشت	سنگ دانه های بازیابی شده، ضایعات بتن آماده اختلاط، ضایعات شیشه
۳	سنگ دانه های ریز	سنگ دانه های بازیابی شده ریز، ضایعات آجر تخریب شده، گرد و غبار معدن، ضایعات پودر سنگ مرمر

مصالح دانه درشت خاکستر بادی

چندین مصالح باعث تولید بتن سبک وزن می شوند که از طریق خاکستر بادی تولید می شوند. علاوه بر استفاده از خاکستر کوره در سیمان بتن، از پلت های خاکستر بادی که توسط نفوذ حرارتی یا شیمیایی و یا از طریق سیمان یا اهک سخت می شوند استفاده کرد. چنین موادی دارای ویژگی های دوام پذیرتری هستند.

در اواسط سال ۱۹۹۰ PACIFIC POWER تحقیقی بر روی تولید مصالح ریزدانه ای خاکستر بادی انجام داد و به بررسی مصرف چنین مصالح ریزدانه ای در تولید بتن پرداخت. خاکستر بادی حمل شد و سپس در دمای کنترل شده آتش گرفت و باعث تولید مصالح دانه ای درشت و ترکیبی گشت.

مصالح دانه ای خاکستر بادی دارای سطح ثقل ویژه ۱،۲۰ تا ۱،۴۷ است؛ سطح چگالی حجمی آنها نیز بین 650 kg/m^3 تا 790 kg/m^3 و جذب بالای ۸٪-۱۶٪ است. این ویژگی ها نتایج مثبتی را برای خاکستر بادی به عنوان مصالح دانه ای نشان دادند.

پسماند های سنگی به شکل مصالح دانه ای

گرد و غبار صخره های معدن می تواند به شکل مواد پسماند باقی مانده ای تعریف گردد که پس از استخراج و پردازش صخره ها به ذرات کمتر از 4.75 mm تبدیل می گردند. گرد و غبار در حال انفجار، سنگ شکنی و غربال گری باعث تولید ذرات تیز و زاویه دار می شود. استفاده از گرد و غبار معدن گاهی اوقات باعث افزایش مقدار سیمان مورد نیاز برای حفظ کارایی می شود. بتن هایی که چنین گردو غباری دارند به طور مطلوب مقاومت اسید و سولفات را تحمل کرده و سطح نفوذ پذیری کمتری دارند [13, 16].

مصرف شن و ماسه معدن به خاطر حجم خمیری با سیمان بالا محدود شده است. تا قابلیت کارایی مطلوب بتن حفظ شود. مقدار محتوای چسبندگی اضافی به شدت به شکل، بافت، درجه بندی و محتوای گرد و غبار شن وابسته است. افزایش نیاز آب در مخلوط های بتنی از طریق تاثیرات معکوس شکل و بافت شن و ماسه معدن صورت گرفته و می تواند توسط مخلوط کن کاهنده آب در سطح بالا کم شود. هر دو نمونه باعث افزایش هزینه ساخت و ساز می شوند [13, 16].

خاکستر سبک به عنوان ماده دارای خواص سیمان

خاکستر سبک پودر بسیار نرمی است که به سفر در هوا تمایل دارد. هنگامیکه زغال سنگ برای تولید گرما می سوزد، باقیمانده حاوی ۸۰٪ خاکستر سبک، ۲۰٪ خاکستر انتهایی (سنگین) است. خاکستر سبکی در نیروگاه های هندوستان تولید شده اند، به رنگ خاکستری روشن تا متوسط هستند و ظاهر پودر سیمان را دارند.

استفاده از خاکستر سبک در بتن به جای PCC، نه تنها صرفه جویی در مصرف سیمان و انرژی را ایجاد می کند، بلکه اقتصادی نیز هست. از لحاظ تئوری جایگزینی سیمان پرتلند ۱۰٪ با خاکستر سبک امکان پذیر است، اما در سطوح جایگزینی بالای ۸۰٪، عموماً به یک فعال کننده شیمیایی نیاز است. علاوه بر این، خاکستر سبک می تواند خواص مشخص سیمان نظیر

دوام را بهبود بخشد. زیرا حرارت کمتری از هیدراسیون تولید می کند، این نوع بتن به ویژه برای کاربردهای بتن توده ای به خوبی مطالعه شده است. خاکستر سبک مورد استفاده در بتن کارایی بتن پلاستیکی و قدرت و دوام بتن سخت را افزایش می دهد. عموماً، مزیت خاکستر سبک، بتنی با کاهش آب مورد نیاز برای اختلاط و بهبود رفتار جریان خمیری است [16].



شکل ۱: خاکستر سبک

جدول ۲: خواص شیمیایی خاکستر سبک [16-17].

تست انجام شده	مقدار (%) مشاهده شده	نیاز بر اساس IS:130-1981
افت حرارت	2.32	5.0 (max)
سیلیکا به عنوان SiO_2	42.04	$\text{SiO}_2 + \text{E}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 70$
Fe_2O_3 آهن به عنوان	4.40	-
آلومینا به عنوان Al_2O_3	33.60	-
CaO کلسیم به عنوان	12.73	-
منیزیم به عنوان MgO	0.00	5.0
سولفات به عنوان SO_3	0.40	3.0
کلراید	-	-
واکنش پذیری آهک	4 N/mm^2	4.5

مصالح خاکستر سبک

برخی از مصالح بتن سبک می توانند از خاکستر سبک تولید شوند. علاوه بر استفاده از خاکستر پایین (سنگین) کوره در بتن بنایی، گلوله های خاکستر سبک می توانند به وسیله همجوشی حرارتی یا شیمیایی، استفاده از سیمان یا آهک، پیوند داده شوند. چنین موادی خواص مطلوبی دارند. این مصالح خاکستر سبک، گرانی و ویژه ای در محدوده ۱،۲۰-۱،۴۷، چگالی توده ای در محدوده $650-790 \text{ kg/m}^3$ و جذب بسیار بالای ۱۶-۲۴٪ دارند. این خواص نتایج بسیار مثبتی برای خاکستر سبک به عنوان مصالح نشان داده اند [13, 16].

ضایعات توده های گرد و غبار / سنگ شکن به عنوان سنگ دانه های ریز

گرد سنگ معدن می تواند به عنوان باقیمانده، باطله یا زباله بی ارزش دیگری بعد از استخراج و فرآوری سنگ ها برای تشکیل ذراتی ریز کمتر از 4.75 mm تعریف شوند. گرد معدن در طول انفجار، خرد کردن و غربال دانه های درشت ایجاد می شود. گرد معدن، ذراتی زبر، تیز و زاویه دار است و به خاطر چنین دلایلی، در پی قفل شدن در هم بهتر، به قدرت بیشتری دست می یابد. استفاده از مواد جایگزین ماسه در کارهای ساخت و سازی نیازمند توجه با در دسترس بودن و کاربردی بودن آنها است.

استفاده از گرد معدن گاهی موجب افزایش کمیت سیمان مورد نیاز برای حفظ کارایی، می شود. بتن گرد سنگ معدن، در مقایسه با بتن معمولی، مقاومت اسیدی و سولفاتی بهتری دارد و نفوذ پذیری آن کمتر است. با این حال، جذب آب بتن گرد سنگ معدن اندکی بالاتر از بتن معمولی است. استفاده از ماسه معدنی معمولاً به خاطر حجم بالای خمیر سیمان مورد نیاز برای دست یابی به کارایی کافی بتن، محدود می شود [18-19].



شکل ۳: گردو غبار سنگ معدن

جدول ۳: خواص فیزیکی گردو غبار سنگ معدن [18]

ویژگی	گردو غبار سنگ معدن
گرانروی ویژه	2.54-2.60
چگالی نسبی توده ای (Kg/m^3)	1720-1810
جذب (%)	1.20-1.50
محتوای رطوبت	Nil
ذرات ریز کمتر از 0.075 mm	12-15
آنالیز غربال	Zone II

تولید بتن سازگار با محیط زیست با تکنولوژی متحول کننده

پروفسور ریچارد استاد دانشگاه راتگرز روش نوین و تغییر پذیر برای کنترل واکنش های آب در دمای پایین ایجاد کرده است. این تکنولوژی بنیادی در مواد سخت مانند سرامیک محسوب می شود. این مواد می توانند سرامیک خالص، ترکیب سرامیک و فلز، ترکیب سرامیک و پلیمر و به طور کلی طیف گسترده ای از مواد مرکب باشد.



شکل ۴: بتن سازگار با محیط زیست و تکنولوژی جدید

رایمان روشی به نام چگالش هیدروترمال انفعالی فاز مایع (rHLPD) را بدین منظور معرفی کرد. در این روش دما به ندرت بالاتر از ۲۴۰ درجه سانتیگراد می رود. در این نوع بتن شوره زدگی ناشی از وجود آب یا هرگونه مایع دیگر در بتن کاهش می یابد. این بتن به میزان کمتر از دو درصد آب جذب می کند و مقاومت فشاری آن حدود 10000 PSI می باشد [20].

نتیجه گیری

در دنیای امروز، نیاز به ساخت و ساز پایدار وجود دارد. بنابراین، برای دست یابی به ساخت و ساز پایدار، مفهوم بتن سبز به تصویب رسید. تکنولوژی بتن سبز یکی از گام های اساسی است که صنعت ساخت و ساز برای دست یابی به ساخت و ساز پایدار با منابع مختلف فوق الذکر، می تواند فراهم شود. با تکنولوژی بتن سبز، مواد طبیعی را برای استفاده های نسل های بعدی ذخیره می شود. طبیعی می باشد که با گذشت زمان، مواد خام به پایان می رسند و بنابراین قیمت مواد افزایش خواهد یافت و هزینه بیشتری را به ساخت و ساز می افزاید اما اگر از مواد زائد برای ساخت و ساز استفاده شود، مواد خام ماده ای پایدار خواهند بود و قیمت کاهش می یابد. با مواد زائد به عنوان یک جایگزین، به کاهش مشکلات زیست محیطی کمک می شود و موادی را که به صورت طبیعی وجود دارند را برای نسل آینده، حفظ می شود. بتن سبز اثرات زیست محیطی کاهش یافته ای را همراه با کاهش ۳۰ درصدی انتشارات CO₂ در صنعت بتن دارد. بتن سبز مقاومت حرارتی و آتشی خوبی دارد. در این بتن، استفاده بازیافتی از مواد زائد مثل ضایعات سرامیک، مصالح، استفاده صنعت بتن از ضایعات را ۲۰٪ افزایش می دهد و در نتیجه، بتن سبز انرژی کمتری مصرف می کند و استفاده مقرون به صرفه ای دارد. در این بررسی مشخص شد که چگونه و با چه ابزار و مصالحی می توان جایگزین های مناسبی برای سیمان و سنگدانه در بتن معمولی بکار برد و صنعت ساز و ساز را به سمت توسعه پایدار سوق داد.

منابع و مراجع

- [۱] عرب اسماعیلی، ن. شعاعی، ح. ۱۳۹۳. بررسی و نقش مصالح سبز در کاهش مصرف انرژی با رویکرد معماری پایدار. تهران
- [2] Meyer, C. (2013). Concrete as a Green Building Material, Columbia University, New York., PP: 2-3.
- [۳] احمدی، م. حسنی، الف. سلیمانی کرمانی، م. یوسفی، ح. ۱۳۹۵. عملکرد بتن الیافی سازگار با محیط زیست در روسازی بتنی. مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس. دوره شانزدهم. شماره ۱.
- [۴] ابراهیمی، ح. ربیعی فر، ح. ۱۳۹۴. بتن سبز راهی برای دستیابی به ساخت و ساز پایدار، کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران، معماری و شهرسازی. تهران.
- [5] Zasiah, T. Shovona, K. and Sabreena, N. (2011). Environmental impact of green Concrete in practice, International onference on Mechanical Engineering and renewable Energy, 22-24. Pp. 32-34.
- [۶] نیلی، م. نظری منفرد، الف. ۱۳۹۱. تاثیر مقاومت بتن مادر، دوده سیلیسی و الیاف فولادی بر مشخصات مکانیکی بتن های بازیافتی. چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن، ایران. تهران.
- [7] Gonza' lez-Fonteboa, B. and Marti' nez-Abella, F. (2008). Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. materials and mechanical properties", Building and Enviroment, Vol.43, 2008, pp.3357-3363.
- [8] Umadevi, C.V. and Gowda, M.R. (2014). Study on Strength Characteristics of Recycled Aggregate Concrete using Polypropylene Fiber, Civil Engineering Technology and Research, Vol. 2, No. 1, pp. 259-266.
- [9] Awchat, G.D. and Kanhe, N.M. (2013). Experimental Studies on Polymer Modified Steel Fibre Reinforced Recycled Aggregate Concrete. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol. 2, pp.126-134.
- [10] Bonic, Z. Toplicic Curcic, G. Davidovic, N. and Savic, J. (2015). Damage of Concrete and reinforcement of reinforced-Concrete. International scientific conference Urban civil Engineering and Municipal Facilities, 2015. Procedia engineering, 117: 411-418.
- [11] William, H. P. (2001). Introducing vision 2030, our industrys 30-year map to the future, Concrete international march. pp, 25-34.
- [۱۲] قربانی، ه. رحیمی، و. نصرتی، ع. ۱۳۸۸. بتن و محیط زیست. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران. مهر.
- [13] Shadab, M. Abdullah, M. Mohd, A. and Mohd, A.K. (2017). Green Concrete or Eco-Friendly Concrete. Volume2, Issue3. Available online at: www.ijarnd.com.
- [14] Er.Maaz, A. Shadab, M. and Mohd, A. (2016). Eco-friendly building or green buildings. IJSRD vol.4, Issue 10.
- [15] Sivakumar and Prakash. M. (2011). Characteristic studies on the Mechanical Properties of Quarry Dust addition in conventional concrete. Journal of Civil Engineering and Construction Technology, October 2011.
- [۱۶] شکرچی زاده، م. میرزایی زانیار، الف. ۱۳۸۸. آموزش مهندسی بتن و سیمان با نگرش به محیط زیست. نشریه دانشکده فنی تهران. شماره ۱۲۱. ص ۱۰۹.
- [17] Er.Maaz, A.K. (2016). Analysis of high-rise reinforced concrete building. IJETTER vol.4 Issue 4.

- [18] Awchat, G.D. and Kanhe, N.M. (2013). Experimental Studies on Polymer Modified Steel Fibre Reinforced Recycled Aggregate Concrete”, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol. 2, 2013, pp.126-134.
- [۱۹] ملکی، ف. پیکانیورفرد، پ. ۱۳۹۴. اثرات زیست محیطی صنعت بتن و نقش بازیافت آن در محیط زیست، کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی.
- [20] Shahul Hammed, M. and Sekar, A.S.S. (2009). Properties of Green Concrete Containing Quarry Dust and Marble Sludge Powder as Fine Aggregate”, APRN Journal of Engineering and Applied Sciences.
- [21] Limbachiya, M.C. Koulouris, A. Roberts, J.J. and Fried, A.N. (2004). Performance of Recycled Aggregate Concrete. RILEM Publications SARL.
- [22] <http://interestingengineering.com/technology-produces-eco-friendly-concrete/>.