



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



بررسی مقاومت فشاری و دوام بتن حاوی گل قرمز مجتمع تولید آلومینا جاجرم

حمید رشیدی برجی^۱، جعفر بلوری بزار^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

hamidrb69@gmail.com

چکیده

در ایران و سراسر دنیا ضایعات مختلف صنعتی در اشکال گوناگون تولید می‌شود. این ضایعات صنعتی عموماً تهدیدی برای محیط زیست اطراف خود هستند. یک نمونه از این ضایعات صنعتی خطرناک گل قرمز است. گل قرمز یک باطله‌ی صنعتی است که در فرآیند تولید آلومینا به وجود می‌آید. این ماده به شدت قلیایی بوده و خطرات زیادی برای محیط زیست ایجاد می‌کند. مجتمع تولید آلومینا جاجرم تولیدکننده سالانه حدود یک میلیون تن گل قرمز است. به دلیل مشکلات زیستمحیطی، در ساخت بتن از گل قرمز به عنوان جایگزین درصدی از سیمان استفاده شده و مقاومت فشاری و دوام بتن حاوی گل قرمز مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور تعداد ده طرح اختلاط با دو نسبت آب به سیمان متفاوت و درصدهای جایگزینی ۰، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ درصد در نظر گرفته شده است. اسلامپ در همه‌ی طرح‌ها ثابت بوده است و نمونه‌های بتن تحت آزمایش‌های ذوب و یخ‌بندان و مقاومت فشاری قرار گرفته‌اند. با توجه به این‌که گل قرمز یک ماده باطله است، نتایج نشان می‌دهند به طور کلی استفاده از گل قرمز در بتن امکان‌پذیر است و با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و ذوب و یخ‌بندان، بتن حاوی ۱۲ درصد گل قرمز دارای بهینه‌ترین طرح اختلاط است.

کلمات کلیدی: بتن، گل قرمز، مقاومت فشاری، ذوب و یخ‌بندان، محیط زیست



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



۱- مقدمه

فعالیت‌های بشری بهنحوی مرتبط با محیط زیست می‌باشند. امروزه با رشد سریع تکنولوژی بشر محصولات زیادی تولید می‌کند. تولید این محصولات معمولاً آلودگی محیط زیست را دربر دارد. از این‌رو با بهبود کیفیت زندگی بشری، روزبه‌روز تاثیرات منفی بر محیط زیست بیشتر شده است (نوروزی، بدیعی، و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۷).

با روند روبرو شد جمعیت، تقاضا برای ساخت و ساز افزایش می‌یابد. در طول سالیان گذشته، صنعت ساخت و ساز همیشه جزو بزرگ‌ترین و پرمصرف‌ترین صنایع از نظر مصرف انرژی و منابع بوده است. در این‌بین بتن به دلیل کم هزینه بودن و دوام زیاد در مقابل عوامل مختلف یکی از اولویت‌های اصلی ساخت و ساز می‌باشد (Kuntz, ۲۰۰۶). از سال‌های ۱۹۰۰ به بعد بهخصوص با پایان جنگ‌های جهانی مصرف سیمان در اروپا و ژاپن بسیار افزایش یافت که با توجه به خواصی‌های جنگ نیز دور از انتظار نبوده است (عبدالله‌نیا و ساسانیان، ۱۳۹۳). در قرن حاضر نیز میزان استفاده از بتن با پیشرفت روزافزونی روپرتو است. به‌طوری‌که سالانه میلیاردها تن سنگدانه‌های طبیعی، سیمان پرتلند و آب شرب در تولید بتن مصرف می‌شود (مدیدی و کیوانی، ۱۳۹۳). در فرآیند تولید هر تن سیمان پرتلند حدود ۴ گیگاژول انرژی مصرف می‌شود که در نتیجه حدود یک تن کربن دی‌اکسید وارد اتمسفر می‌گردد (Mehta, ۲۰۰۱). میزان تولید جهانی سیمان در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ به ترتیب ۱۱۰۰، ۲۷۰۰ و ۴۳۰۰ میلیون تن بوده است و برآورد شده است تا پایان سال ۲۰۵۰ به ۵۶۰۰ تن نیز می‌رسد. با توجه به این سرعت رشد زیاد در مصرف سیمان، تخمین زده شده است در سال ۲۰۱۴ حدود ۳۳۰۰۰ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید وارد جو زمین گردیده که از این میزان حدود ۸/۶ درصد مربوط به تولید سیمان می‌باشد (Isaksson, ۲۰۱۶). براساس آمارها میزان تولید سیمان در سال ۱۳۹۲ حدود ۷۱ میلیون تن بوده است که این میزان حدود ۲ درصد از سهم جهانی تولید سیمان می‌باشد. بنابراین، ایران به عنوان چهارمین تولید کننده بزرگ تولید سیمان در دنیا شناخته می‌شود (محمدبُد، ۱۳۹۳).

با مصرف منابع طبیعی، مواد خام اولیه در جهان کاهش می‌یابد. به همین دلیل، تحقیقات بسیاری در زمینه مواد جایگزین و روش‌های بازیافت شده است. بنابراین باید علاوه‌بر تلاش در زمینه بازیافت مواد، به سمت استفاده از ضایعات صنایع گوناگون گرایش پیدا کرد (Rossi & Oliveira, ۲۰۱۲). امروزه رویکرد کلی در مورد محصولات فرعی یا ضایعات صنعتی ومعدنی، بررسی روش‌های جایگزین برای بهره‌برداری از آن‌ها بهمنظور حذف هزینه‌های دفع و اجتناب از آلودگی خاک و آب است. خیلی از این مواد صنعتی ناخواسته شامل مقادیر قابل توجه عناصر غیرآلی مثل اکسید سیلیسیوم، آلومینیوم، کلسیم و آهن است که می‌تواند در تولید کلینکر سیمان پرتلند مورد استفاده باشد (Tsakiridis, Agatzini-Leonardou, & ۲۰۰۴) Oustadakis,).

صرف بیش از حد سیمان علاوه بر مشکلات زیست‌محیطی، می‌تواند باعث تمام شدن منابع اولیه آن نیز بشود. هم‌زمان با این موضوع، افزایش در تولیدات صنعتی باعث ایجاد ضایعات صنعتی مثل فلی اش، سرباره و گل قرمز می‌گردد. از آن‌جا به که مقدار تولید این ضایعات بسیار انسو بوده، تنها روش دفع این ضایعات ابیاشتن آن‌ها در زمین‌های بی‌حاصل یا استفاده در صنعت ساخت‌وساز است (Rana & Sathe, ۲۰۱۵). کاربرد مواد ضایعاتی در ساخت بتن موضوع جدیدی نیست. در پژوهش پیش‌رو به بررسی مقاومت و دوام بتن حاوی گل قرمز پرداخته شده است.

گل قرمز یک پسماند صنعتی است که در فرآیند بایر در تولید پودر آلومینا بر جای می‌ماند (رشیدی برجی و بلوری بزار، ۱۳۹۵). این ماده‌ی پیچیده دارای ترکیبات گوناگون و گستردگی شیمیایی و معدنی (که وابستگی به منبع بوکسیت و پارامترهای فرآیند صنعتی دارد)، می‌باشد. این ماده شامل شش جزء متشکله اصلی، Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 ,



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

V, Ga, Cr, P, Mn, Cu, Cd, Ni, Zn, Pb, Mg, Zr, Hf, Nb, U, Th, K, Ba, Sr و CaO است. همچنین دارای مقادیر کمی از Tsakiridis, ۲۰۰۴) می‌باشد. به علت وجود اکسید آهن رنگ آن قرمز آجری است (Agatzini-Leonardou, & Oustadakis ۲۰۱۵). این ماده به شدت قلیایی با pH بین ۱۰ تا ۱۲/۵ و نرمی حدود ۱۰ تا ۳۰ m²/g می‌باشد. بهنظر می‌رسد حدود ۱۴۲ میلیون تن گل قرمز سالانه در دنیا تولید می‌گردد (Rana & Sathe, ۲۰۱۵). بازای تولید هر یک تن آلومینا بین یک تا ۲ تن گل قرمز تولید می‌گردد. بنابراین تخمین زده می‌شود سالانه در حدود یک میلیون تن گل قرمز در مجتمع آلومینا جاجرم تولید شود. این مقدار زیاد، نیاز به محل بزرگی برای دفع دارد و همینطور هزینه‌های دفع این مواد گران است (قربانی، اولیازاده، شاهوردی، و پیرایه گر، ۱۳۸۶؛ قربانی، فخاریان، و گودرزی، ۱۳۹۳). علاوه بر این هزینه‌ها، خطرات زیستمحیطی از جمله آبودگی آب‌های سطحی، نفوذ آب قلیایی به سفره‌های زیرزمینی، نابارور شدن خاک‌های حاصلخیز منطقه و مشکلات ناشی از ریزگردها گریبان‌گیر محیط زیست منطقه می‌باشد (Rana & Sathe, ۲۰۱۵). مشکلات فراوان به وجود آمده به‌وسیله گل قرمز باعث شده است تحقیقات بسیاری در زمینه حذف یا کاهش اثرات منفی این ماده انجام شود. به‌طورکلی نتایج حاصل از تحقیقات مختلف در سراسر دنیا نشان می‌دهند با زیاد شدن گل قرمز در بتن از مقاومت فشاری آن کاسته می‌شود (Sawant, Kumthekar, Diwan, & Hiraskar, ۲۰۱۲). همچنین بیان شده است که احتمالاً دلیل خاصیت سیمانی گل قرمز، SiO₂ و Al₂O₃ می‌باشد (Ribeiro, Labrincha, & Morelli, ۲۰۱۱). نتایج یکی از مقالات نشان می‌دهد افزودن ۴ درصد گل قرمز به بتن تاثیری در مقاومت فشاری نداشته است. همچین گفته شده است که جایگزینی مقدار ۲ درصد گل قرمز با سیمان در بتن خودتراکم می‌تواند افزایش ناچیزی در مقاومت داشته باشد (Kushwaha, Akhtar, & Rajout, ۲۰۱۳). یکی از مقالات از بزریل به افزایش مقاومت الکتریکی بتن با افزایش مقدار گل قرمز اشاره می‌کند. همچنین با افزایش مقدار گل قرمز کاهش نرخ خوردگی در بتن مشاهده شده است (D. Ribeiro, Labrincha, & Morelli, ۲۰۱۲). نویسنده دیگری از چین گفته است گل قرمز همکاری در مقاومت ندارد و در بتن به عنوان فیلر عمل می‌کند و کاهش مقاومت فشاری با اضافه کردن گل قرمز عموماً به علت افزایش آب به سیمان است. او پیشنهاد کرده است به همراه گل قرمز، میکروسیلیس هم در بتن اضافه شود (Tang, ۲۰۱۴). محققی از ایران گل قرمز را به عنوان افزودنی به سیمان اضافه کرده است. در نتیجه مشخص شده با افزودن گل قرمز به بتن مقاومت فشاری افزایش یافته است (شیرکا و حسن‌اوغلی، ۱۳۹۵).

در پژوهش حاضر، هدف انجام آزمایش‌های ذوب و یخ‌بندان و مقاومت فشاری بر روی بتن حاوی گل قرمز می‌باشد. از گل قرمز به عنوان جایگزین برای سیمان با درصدهای ۰، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

گل قرمز مورد استفاده در این آزمایشات از محل سد باطله مجتمع آلومینا جاجرم برداشت شده است (تصویر شماره ۱). سیمان مورد مصرف در ساخت بتن از نوع تیپ یک کارخانه سیمان سبزوار انتخاب شده است. نمونه‌های گل قرمز به همان صورتی که از دپو برداشت شده اند، بعد از ردشدن از الک مربوطه در بتن مصرف شده اند. گل قرمز مورد استفاده در طرح‌های با گروه C از الک ۴ و گل قرمز استفاده شده در طرح‌های با گروه B از الک ۳۰ رد شده اند.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر




تصویر شماره ۱: بخشی از محل ذخیره‌سازی گل قرمز مجتمع آلومنیا جاجرم

برای ساخت بتن از یک عدد میکسر برقی به حجم ۱۰۰ لیتر و با سرعت حدود ۱۵ دور در دقیقه استفاده شد. قالب‌های نمونه‌گیری بتن از نوع پلاستیکی و با ابعاد $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر بوده است. در تحقیق حاضر، کلیه مراحل مربوط به ثبت داده‌ها، انتخاب حجم پیمانه‌ها، مصالح، عملکرد مخلوطکن‌ها، توزین، اختلاط، نمونه‌گیری، قالب‌گیری و عمل‌آوری نمونه‌ها براساس الزامات استاندارد ASTM C192, ۲۰۰۷ (ASTM C192, ۲۰۰۷) صورت پذیرفت.

پس از توزین تمامی مقادیر مورد نیاز، ابتدا سنگدانه و نیمی از آب اختلاط به داخل میکسر اضافه، سپس سیمان به آرامی به میکسر در حال چرخش اضافه می‌گردید. پس از اتمام مقدار سیمان و مواد سیمانی، مقدار آب باقی‌مانده به مخلوط اضافه می‌گردید. تمامی مراحل فوق در حدود ۱۲ دقیقه و در دمای 23 ± 2 برای تمامی طرح‌های اختلاط انجام شده است. پس از این مراحل، بتن در داخل قالب‌ها ریخته شده و متراکم می‌شد. براساس استاندارد ASTM C192, ۲۰۰۷ (ASTM C192, ۲۰۰۷) پس از گذشت 24 ± 8 ساعت از قالب‌گیری، نمونه‌ها از قالب خارج شده و طبق استاندارد ASTM C511 (ASTM C511, ۲۰۰۶) در حوضچه‌ی آب با دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ و 28 روز نگهداری شدند.

درمجموع ۱۰ طرح اختلاط شامل ۱۲۰ عدد قالب مکعبی بتن ساخته شد. ۵ طرح سری اول (طرح‌های C) با نسبت w/c برابر با 0.45 و ۵ طرح سری دوم (طرح‌های B) با نسبت w/c برابر با 0.40 هستند. همه‌ی طرح‌ها با اسلامپ ثابت 50 میلی‌متر می‌باشند. برای ثابت نگهداشتن اسلامپ از فوق روان‌کننده استفاده شد.

هر طرح اختلاط دارای ۱۲ قالب بتن می‌باشد که ۳ عدد از آن‌ها در سن ۷ روز و ۳ عدد دیگر در سن 28 روز شکسته شد. قالب‌های باقی‌مانده تحت آزمایش ذوب و یخ‌بندان قرار گرفتند.

مشخصات هر طرح در جدول ۱ آمده است:

جدول شماره ۱: مشخصات طرح‌های اختلاط

نمونه	مقدار سیمان٪	مقدار گل قرمز٪	نسبت w/c	اسلامپ (mm)
C1	۱۰۰	۰	۰/۴۵	۵۰



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

C2	۹۴	۶	۰/۴۵	۵۰
C3	۸۸	۱۲	۰/۴۵	۵۰
C4	۸۲	۱۸	۰/۴۵	۵۰
C5	۷۶	۲۴	۰/۴۵	۵۰
B1	۱۰۰	۰	۰/۴۵	۵۰
B2	۹۴	۶	۰/۴۵	۵۰
B3	۸۸	۱۲	۰/۴۵	۵۰
B4	۸۲	۱۸	۰/۴۵	۵۰
B5	۷۶	۲۴	۰/۴۵	۵۰

۳- نتایج آزمایش‌ها

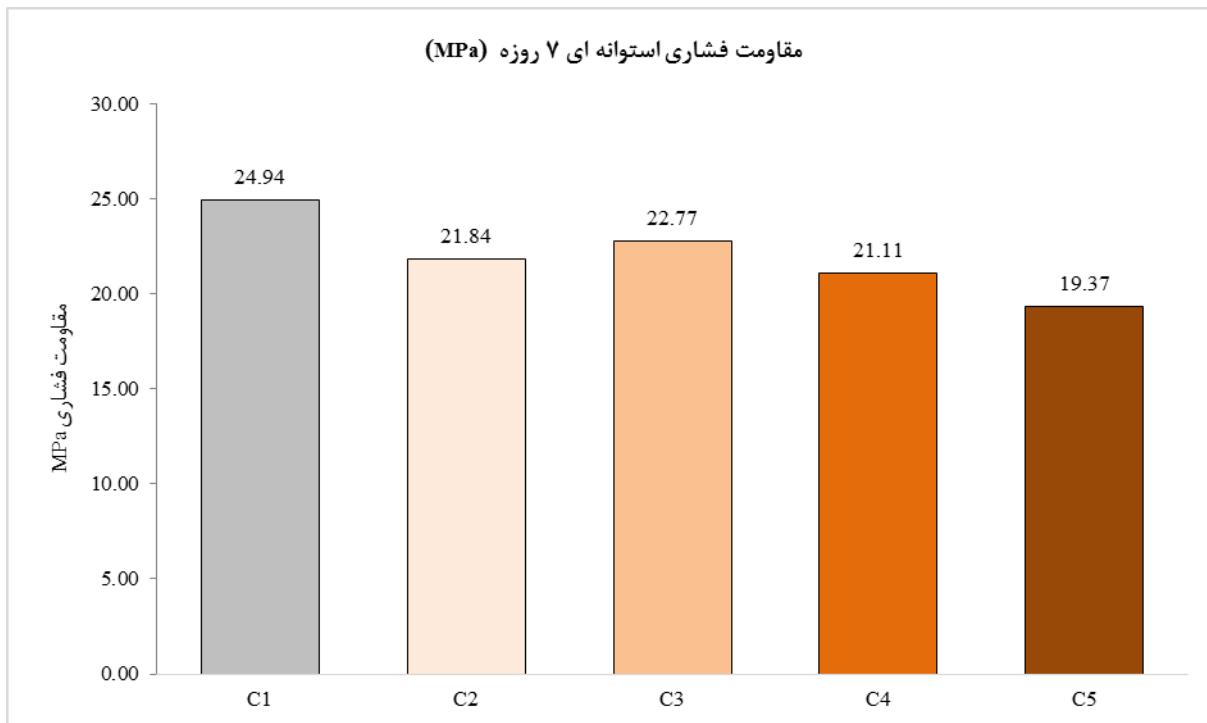
۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری مکعبی برای سن ۷ و ۲۸ روزه برای هر طرح بدست آمد. سپس با استفاده از ضرایب موجود مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲) مقاومت فشاری استوانه‌ای محاسبه شد. در جداول شماره ۲، ۳، ۴، ۵ و تصاویر شماره ۲ و ۳، مقاومت فشاری استوانه‌ای ۷ و ۲۸ روزه طرح‌های با گروه C و نیز در جداول شماره ۶، ۷، ۸، ۹ و تصاویر شماره ۴ و ۵، مقاومت فشاری استوانه‌ای ۷ و ۲۸ روزه طرح‌های با گروه B آمده است.

جدول شماره ۲: میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه استوانه‌ای طرح‌های گروه C (رشیدی برجی و بلوری بزار، ۱۳۹۵)

نمونه	میانگین مقاومت فشاری استوانه ای ۷ روزه (MPa)
C1	۲۴/۹۴
C2	۲۱/۸۴
C3	۲۲/۷۷
C4	۲۱/۱۱
C5	۱۹/۳۷

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



تصویر شماره ۲: میانگین مقاومت فشاری استوانه ای ۷ روزه طرح های گروه C (رشیدی برجی و بلوری براز، ۱۳۹۵)

جدول شماره ۳: درصد کاهش مقاومت فشاری استوانه ای ۷ روزه طرح های گروه C (رشیدی برجی و بلوری براز، ۱۳۹۵)

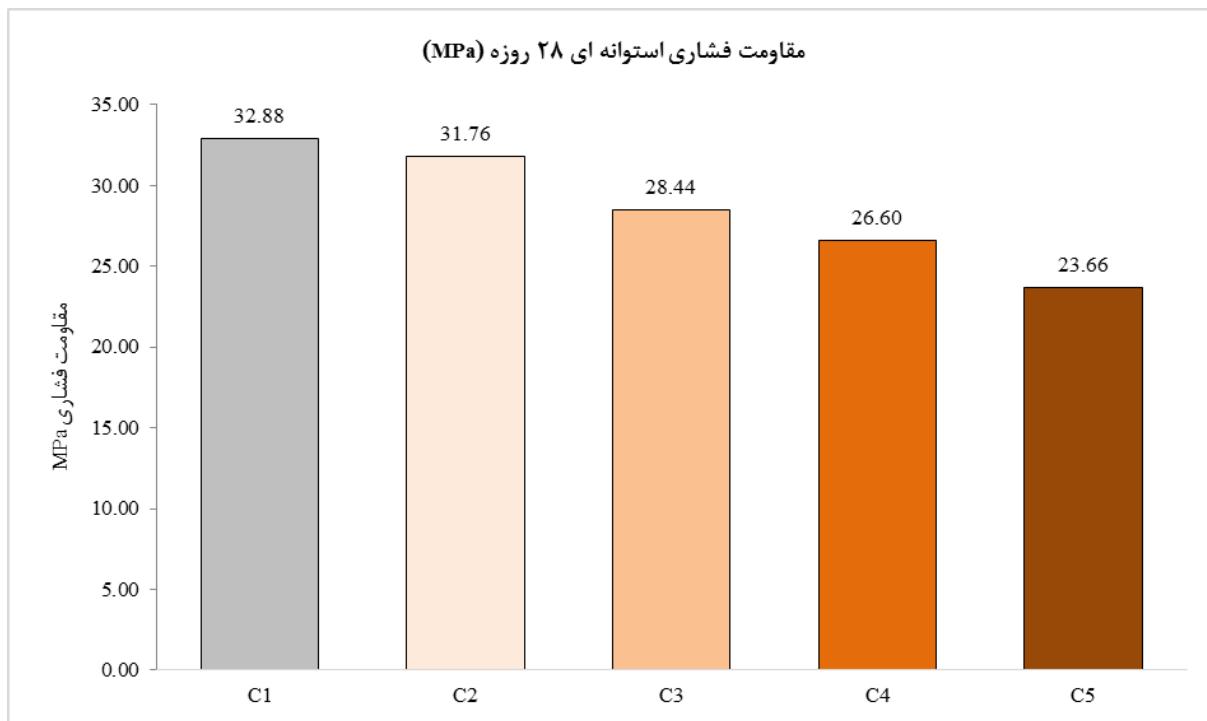
نمونه	میزان کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه %
C1	.
C2	۱۲/۵
C3	۸/۷
C4	۱۵/۴
C5	۲۲/۴

جدول شماره ۴: میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه استوانه ای طرح های گروه C (رشیدی برجی و بلوری براز، ۱۳۹۵)

نمونه	میانگین مقاومت فشاری استوانه ای ۲۸ روزه (MPa)
C1	۳۲/۸۸
C2	۳۱/۷۶
C3	۲۸/۴۴
C4	۲۶/۶۰
C5	۲۳/۶۶



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

تصویر شماره ۳: مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه طرح‌های گروه C (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

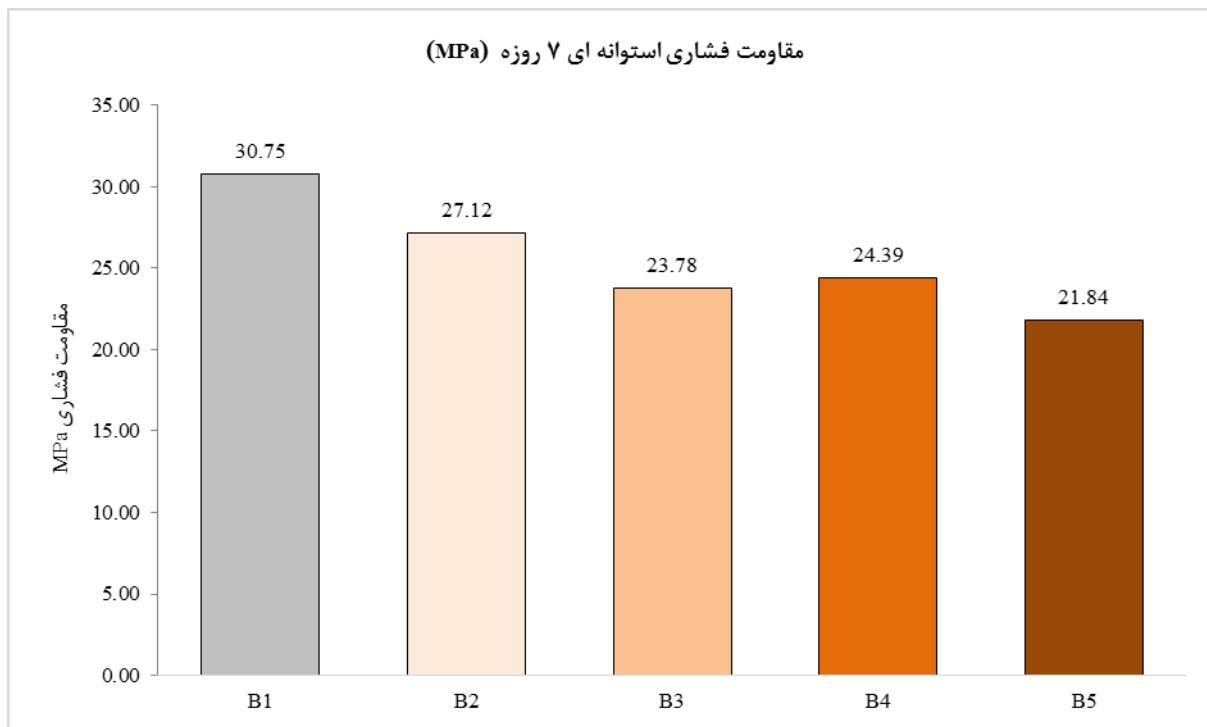
جدول شماره ۵: درصد کاهش مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه طرح‌های گروه C (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

نمکن	میزان کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه /%
C1	.
C2	۳/۴
C3	۱۳/۵
C4	۱۹/۱
C5	۲۸

جدول شماره ۶: میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه استوانه‌ای طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

نمکن	میانگین مقاومت فشاری استوانه ای ۷ روزه (MPa)
B1	۳۰/۷۵
B2	۲۷/۱۲
B3	۲۳/۸۷
B4	۲۴/۳۹
B5	۲۱/۸۴

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



تصویر شماره ۴: مقاومت فشاری استوانه‌ای ۷ روزه طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

جدول شماره ۷: درصد کاهش مقاومت فشاری استوانه‌ای ۷ روزه طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

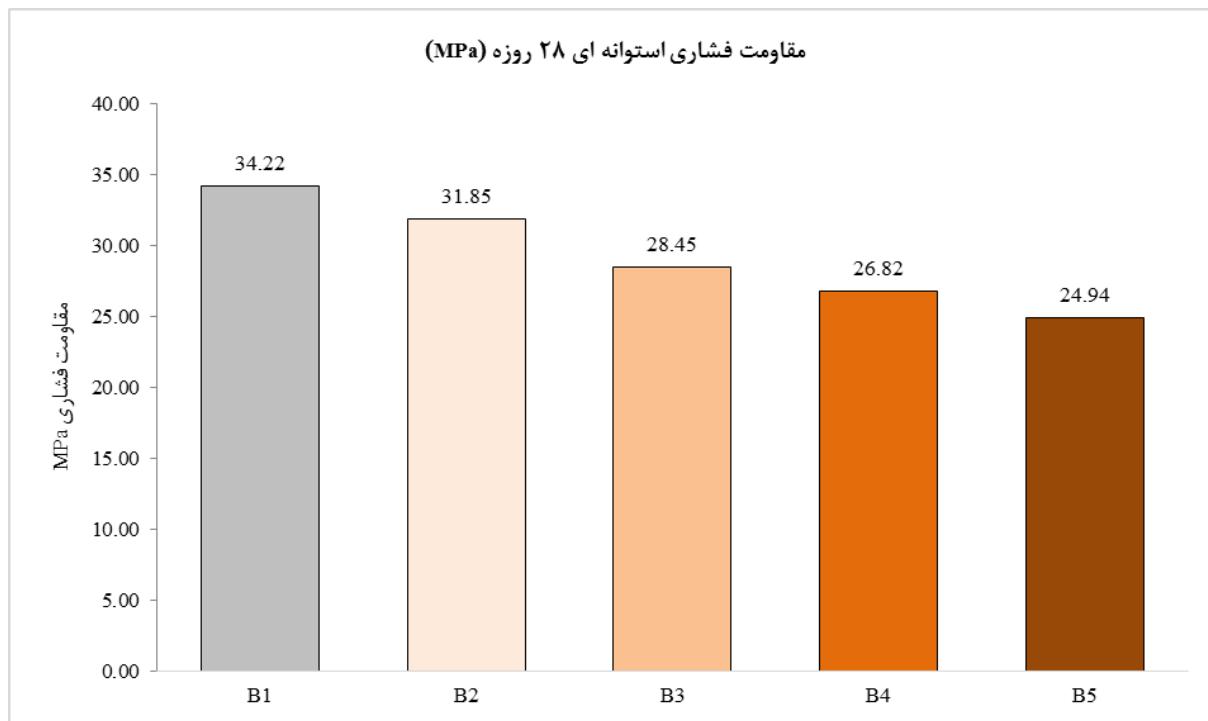
نمونه	میزان کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه %
B1	.
B2	۱۱/۸
B3	۲۲/۷
B4	۲۰/۷
B5	۲۹

جدول شماره ۸: میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه استوانه‌ای طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

نمونه	میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه (MPa)
B1	۳۴/۲۲
B2	۳۱/۸۵
B3	۲۸/۴۵
B4	۲۶/۸۲
B5	۲۴/۹۴



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

تصویر شماره ۵: مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

جدول شماره ۹: درصد کاهش مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه طرح‌های گروه B (رشیدی برجی و بلوری باز، ۱۳۹۵)

عينونه	میزان کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه %
B1	.
B2	۷
B3	۱۶/۹
B4	۲۱/۶
B5	۲۷/۱

۲-۳- آزمایش ذوب و یخیندان

قالب‌های باقی‌مانده پس از ۲۸ روز عمل‌آوری از حوضچه بیرون آورده شد و ۳ عدد آن‌ها در هوای آزاد نگهداری شدند. ۳ عدد باقی‌مانده تحت ۶۰ سیکل ذوب و یخیندان قرار گرفتند. به این صورت که در هر سیکل نمونه‌ها به دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد می‌رسیدند و سپس در آب قرار داده شده تا دمای آن‌ها به ۴ درجه سانتی‌گراد برسد. پس از این دوباره در دمای ۱۸- قرار داده می‌شدند. بعد از ۶۰ سیکل هردو گروه نمونه‌های داخل سیکل‌های ذوب و یخیندان و در هوای آزاد تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. قابل ذکر است که طرح‌های شماره ۴ و ۵ از گروه B و C به دلیل این‌که کاهش مقاومت زیادی در آزمایش مقاومت فشاری داشتند، از این آزمایش حذف شدند. نتایج در جداول شماره ۱۰ و ۱۱ و تصاویر شماره ۶ و ۷ آمده است.

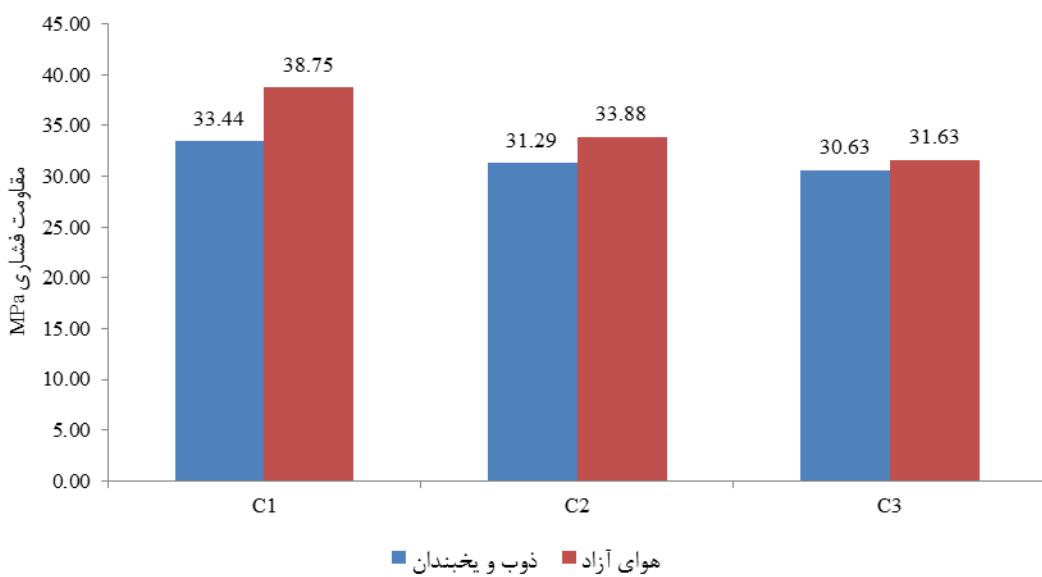


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

جدول شماره ۱۰: میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای طرح‌های C در هوای آزاد و در سیکل ذوب و یخ‌بندان

کد نمونه	میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای (MPa) در سیکل ذوب و یخ‌بندان	میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای (MPa) در هوای آزاد	درصد کاهش نسبت به خود نمونه %
			۱۳/۷
C1	۳۳/۴۴	۳۸/۷۵	
C2	۳۱/۲۹	۳۳/۸۸	۷/۶
C3	۳۰/۶۳	۳۱/۶۳	۳/۲

مقایسه مقاومت فشاری بتن در هوای آزاد و تحت سیکل ذوب و یخ‌بندان

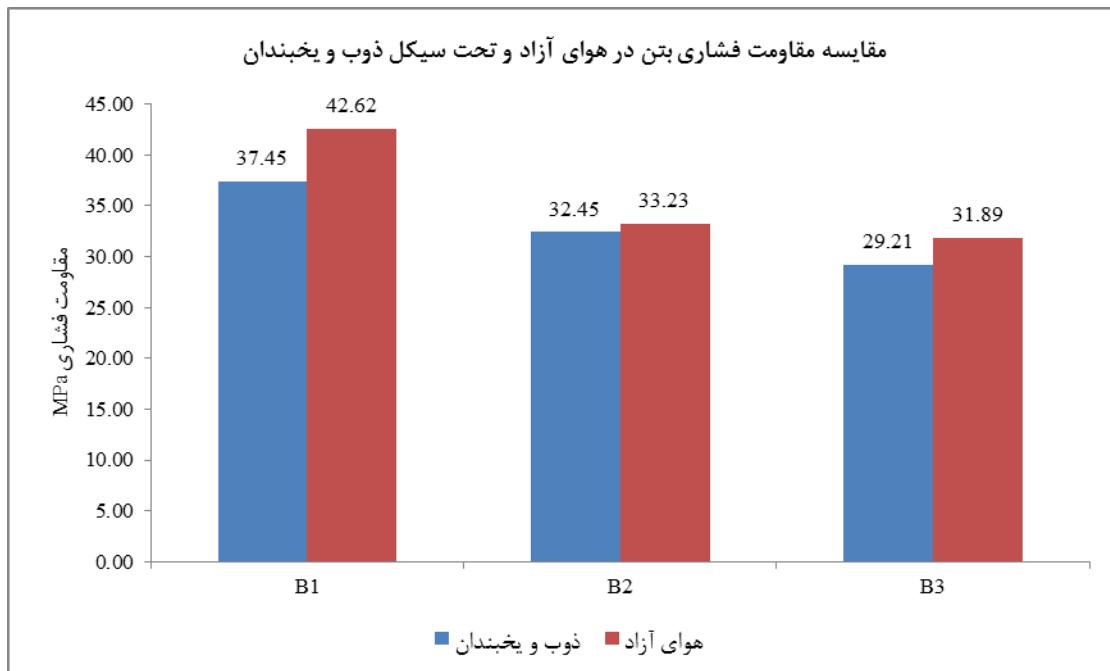


تصویر شماره ۶: مقایسه مقاومت فشاری طرح‌های C در هوای آزاد و در سیکل ذوب و یخ‌بندان

جدول شماره ۱۱: میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای طرح‌های B در هوای آزاد و در سیکل ذوب و یخ‌بندان

کد نمونه	میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای (MPa) در سیکل ذوب و یخ‌بندان	میانگین مقاومت فشاری استوانه‌ای (MPa) در هوای آزاد	درصد کاهش نسبت به خود نمونه %
			۱۲/۱
B1	۳۷/۴۵	۴۲/۶۲	
B2	۳۲/۴۵	۳۳/۲۳	۲/۳
B3	۲۹/۲۱	۳۱/۸۹	۸/۴

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



تصویر شماره ۷: مقایسه مقاومت فشاری طرح‌های B در هوای آزاد و در سیکل ذوب و یخیندان

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش آزمایش‌های مقاومت فشاری و ذوب و یخیندان بر روی نمونه‌ها انجام شد. از نظر مقاومت فشاری بهترین طرح‌های حاوی گل قرمز، طرح شامل ۶ درصد گل قرمز بوده است. با جایگزینی ۶ درصد گل قرمز، حدود ۳ تا ۷ درصد از مقاومت فشاری شاهد کاسته شده است. با توجه مشکلات زیستمحیطی فراوان، قیمت بسیار کم این ماده و این که در اصل گل قرمز یک ماده‌ی باطله و اضافی است، نتیجه‌ی حاصل امیدبخش بوده است.

در آزمایش‌های ذوب و یخیندان نتایج نشان می‌دهند گل قرمز مقاومت بهتری نسبت سیمان داشته است. بتن حاوی گل قرمز در هر دو طرح شامل ۶ و ۱۲ درصد جایگزینی نتیجه‌ی بهتری نسبت به بتن حاوی سیمان بدون گل قرمز از خود نشان داده است. به طوری که بتن حاوی سیمان بدون گل قرمز تا ۶ برابر کاهش مقاومت بیشتری نسبت به بتن حاوی گل قرمز داشته است.

هزینه‌های تولید سیمان و خطرات زیستمحیطی به وجود آمده در حین تولید آن از یک سو و هزینه‌ها و مشکلات زیست محیطی گل قرمز از سوی دیگر باعث شده تا استفاده ۱۲ درصد از گل قرمز به عنوان جایگزین سیمان در بتن، حتی با وجود کاهش مقاومت حدود ۱۳ تا ۱۷ درصدی نسبت به نمونه شاهد (که رقم زیادی برای استفاده از یک خاک بدون فرآوری نیست) منطقی به نظر برسد.

مراجع

- رشیدی برجی، حمید، و بلوری بزار، جعفر. معرفی و بررسی مقاومت فشاری بتن حاوی گل قرمز مجتمع تولید آلومینا جاجرم. چهارمین همایش ملی فن آوری های نوین صنعت ساختمان، مشهد، ایران، ۱۳۹۵
- شیرکا، آرمین، و حسن اوغلی، سینا. بررسی عملکرد کوتاه مدت گل قرمز و سرباره ذوب آهن بر مقاومت فشاری بتن. سمینار ملی بتن های سازگار با محیط زیست، گرمسار، ایران، ۱۳۹۵
- عبدالله نیا، حمید، و ساسانیان، آتنا. بتن با رویکرد حفظ محیط زیست و توسعه پایدار. دومین همایش ملی معماری، مرمت، شهرسازی و محیط زیست پایدار، ۱۳۹۳



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



۴. قربانی، یوسف، اولیازاده، منوچهر، شاهوردی، احمد رضا، و پیرایه گر، آتنا. فروشبوی شیمیایی آلومینیا از گل قرمز با بررسی اثر مجزا و ترکیبی اسیدهای آلی و معدنی. دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۴۱(۳)، صص ۳۴۳-۳۵۳، ۱۳۸۶.
۵. قربانی، اعظم، فخاریان، علی، و گودرزی، معصومه. استخراج فلزات با ارزش پسماند تولید آلومینیا (گل قرمز) به عنوان یکی از آلاندنه‌های خطرناک محیط زیست با استفاده از روش‌های هیدرومالتالورژی. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۱۳۹۳.
۶. محمد بُد، علی. تحلیلی از صنعت سیمان در میزگرد تخصصی صنعت سیمان، نمایشگاه بین المللی بورس، بانک و بیمه. ماهنامه علمی-تخصصی فن آوری سیمان، ۹(۳)، ۱۱-۵، ۱۳۹۳.
۷. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم، دفتر مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۲.
۸. مددی، سروناز، و کیوانی، عبدالله. مکانیزم بلوغ بتون در ارزیابی ساختار و توامندی بتون سبز و نقش آن در توسعه پایدار و حفظ محیط زیست. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۳.
۹. نوروزی، شهلا، بدیعی، خشایار، و دولتی ارد جانی، فرامرز. کاربرد باطله تصفیه شده گل قرمز جهت حذف فلز نیکل از پساب. دوازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، ۱۳۸۷.
10. ASTM C192. (2007). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*: ASTM International.
 11. ASTM Standard C511. (2006). *Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes*: ASTM International.
 12. Isaksson, R. (2016). Process based system models for detecting opportunities and threats—the case of World Cement Production. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 8(3), pp.246-262.
 13. Kuntz, L. M. (2006). The "greening" of the concrete industry: Factors contributing to sustainable concrete. (B.S. Civil & Environmental Engineering), Massachusetts Institute of Technology.
 14. Kushwaha, M., Akhtar, S., & Rajout, S. (2013). Development of the Self Compacting Concrete By Industrial Waste (Red Mud). *Cement and Concrete*, 3(4), pp.539-542.
 15. Mehta, P. K. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete international*, 23(10), pp.61-66.
 16. Rana, A. Y., & Sathe, N. A. (2015). Analysing the Potential Substitute of Red Mud in Concrete Adding Lime and Silica. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(4), pp.410-414.
 17. Ribeiro, D., Labrincha, J., & Morelli, M. (2012). Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 42(1), pp.124-133.
 18. Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., & Morelli, M. R. (2011). Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement. *Materials Research*, 14(1), pp.60-66.
 19. Rossi, C. R. C., & Oliveira, D. R. C. d. (2012). Concretes with red mud coarse aggregates. *Materials Research*, 15(3), pp.333-340.
 20. Sawant, A., Kumthekar, M., Diwan, V., & Hiraskar, K. (2012). Experimental Study on Partial Replacement of Cement by Neutralized Red Mud in Concrete. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(1), pp.282-286.
 21. Tang, L. (2014). Study of the possibilities of using Red Mud as an additive in concrete and grout mortar. Retrieved from
 22. Tsakiridis, P., Agatzini-Leonardou, S., & Oustadakis, P. (2004). Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. *Journal of Hazardous Materials*, 116(1), 103-110.