

اثر آب شیشه بر مشخصات مکانیکی و دوام ملات ژئوپلیمری چند جزئی پوزولانی حاوی الیاف بازالت

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد^{۱*} و آرن پاکدل^۲

*۱- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

Email: *h.mosavi@guilan.ac.ir

پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۰۹]

دریافت: [۱۴۰۲/۱۰/۰۵]

چکیده

سیمان یکی از پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در دنیا به خصوص کوره ها محسوب می شود. با توجه به آلاینده‌گی تولید سیمان ۹۰۰ کیلوگرم گاز CO₂ به ازای تولید هر تن سیمان بیشتر تحقیقات سال‌های اخیر برای جایگزینی سیمان با یک ماده جدید سازگار با محیط زیست بوده است. نتیجه این تحقیقات منجر به معرفی ماده جدیدی تحت عنوان فراک شد. فراک به عنوان ترکیب عمدتاً یک ماده چسباننده آهنی است که کربن منفی را به دست می‌دهد. ساخت این ماده جدید از گرد و غبار آهن همراه با نسبت‌هایی از پودرسنگ آهک، خاکستر بادی، متاکائولین و آگزالیک اسید تهیه می‌شود. هدف این پژوهش بررسی دوام و مقاومت ملات های ژئوپلیمری حاوی فراک و الیاف بازالت در حرارت بالا است. پس، برای این منظور در گام نخست نسبت‌های مختلفی از سرباره برای بهینه‌یابی جایگزین سیمان هیدرولیکی شد. در گام دوم بهترین نسبت سرباره در گام اول با نسبت‌های مختلفی از فراک مخلوط می‌شود تا بهترین درصد جایگزینی فراک بدست آید و در نهایت با افزودن درصد‌های مختلفی از الیاف بازالت به بهینه‌ترین نمونه‌های گام دوم نمونه‌های ملات تهیه شد و در هوای آزاد آزمایشگاه عمل آوری شد. سپس نمونه‌های ۲۸ روزه در درجه حرارت های ۲۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت ملات ژئوپلیمری حاوی فراک بترتیب افت ناچیز (۱۴٪) و افت محسوس (۵۰٪) را در دماهای مذکور کسب می‌کند و نمی‌تواند مورد مناسبی برای استفاده در بدنه کوره‌های گرمایی باشد. نتایج نشان می‌دهد نمونه‌های با درصد الیاف کمتر (۰.۳٪) مقاومت فشاری بیشتری را در ۲۸ روز (۵۳.۹٪) کسب کرده‌اند.

کلید واژه‌ها: فراک، مقاومت و دوام، الیاف بازالت، حرارت بالا.

۱-مقدمه

زیادی گازهای گلخانه‌ای از جمله گاز دی اکسید کربن می‌شود. از طرفی با توجه به افزایش ساخت و سازها نیاز به بتن بیشتر شده است. با این وجود، یکی از راه‌های مناسب

امروزه یکی از مهم‌ترین عناصر تشکیل دهنده بتن سیمان پرتلند است ولی تولید انبوه این ماده باعث تولید مقدار

برای کم کردن گازهای گلخانه‌ای تولید حذف و یا کمتر مصرف کردن سیمان در بتن است. بتن ژئوپلیمری بتنی است که در آن از ترکیب یک ماده پایه و محلول فعال ساز به جای سیمان استفاده می‌شود که از اهداف توسعه پایدار است. از مواد پایه می‌توان به مصالح آلومینا-سیلیکاتی غنی از سیلیسیم (Si) و آلومینوم (Al) و محلول قلیایی به عنوان چسباننده اشاره کرد. (das و همکاران، ۲۰۱۴) (Vijayan و همکاران، 2020) توصیه کردند برای تشکیل ماده فراک بهترین نسبت شامل ۶۰٪ پودر آهن، ۲۰٪ خاکستر بادی، ۱۰٪ پودر خاک سنگ، ۶٪ متاکائولن و در نهایت ۲٪ پودر اگزالیک اسید ضعیف است. برای این منظور آن‌ها نسبت‌های مختلفی از این مواد را با هم ترکیب کردند و اثر هر کدام روی مقاومت فشاری را بررسی کردند [1, 2].

جدول ۱- نسبت های مخلوط استفاده شده [۱]

Contents of different materials in the mixture (in terms of total mass of the powder)						
Component material	1	2	3	4	5	6
iron powder	64	60	62	58	69	67
fly ash	20	20	20	20	15	15
limestone powder	8	8	10	10	8	8
Metakaolin	6	10	6	10	6	10

Table.1. Mix Proportions Used[1]

طبق تحقیقات (Desilva و همکاران، ۲۰۰۷) و (Hardjito و همکاران، 2004) منابع آلومیناسیلیکاتی با توجه به خواص مورد نیاز، هزینه و در دسترس بودن می‌توانند جایگزین نسبی ماده پایه شود. آنها همچنین عواملی همچون نوع منبع آلومیناسیلیکاتی، نوع محلول فعال کننده قلیایی، غلظت محلول هیدروکسیدی، نسبت وزنی محلول سیلیکاتی به محلول هیدروکسیدی، میزان آب موجود در طرح اختلاط و شرایط عمل آوری را از جمله عوامل تاثیرگذار بر مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری قلمداد کردند [3] (Redaei و همکاران، 2016) به این نتیجه رسیدند که آب اضافه سبب کاهش انبساط حجمی و کاهش مقاومت مکانیکی می‌شود،

افزایش بیش از حد غلظت ماده قلیایی افزایش نامطلوب دانسیته را در پی دارد و با افزایش دما و زمان عمل‌آوری مقاومت مکانیکی افزایش می‌یابد [4]. طبق تحقیقات Sharma و همکاران، 2017 اضافه کردن محلول هیدروکسید سدیم تا ۱۶ مول باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. همچنین توصیه کردند برای افزایش مقاومت فشاری می‌توان نسبت محلول فعال کننده قلیایی نسبت به منبع آلومیناسیلیکاتی موجود در محلول را از ۰/۳۵ به ۰/۴۵ افزایش داد و بیش از نسبت ۰/۵ باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود [5]. (Niveditha و همکاران، 2020) با هدف بررسی اثر ماده معدنی فراک (پوزولان‌های ترکیبی چند جزئی) بر دوام و مقاومت ملات ژئوپلیمری نشان دادند فراک در مقایسه با سیمان معمولی به عنوان جایگزین نسبی باعث بهبود ۵ برابری استحکام فشاری و انعطاف پذیری بتن می‌شود. استفاده از برخی مواد معدنی در مخلوط‌های بتنی به ویژه پودر آهن، می‌تواند نقش موثری در بهبود مشخصات دوامی و مکانیکی آن داشته باشد [6]. (Jayaseelan و همکاران، 2019) نشان دادند گرد و غبار پودر آهن با دی اکسید کربن موجود در هوا واکنش نشان داده و زنگ می‌زند و طی فرآیند خشک شدن باعث تشکیل فراک می‌شود [7]. (Porwal و Mehta، 2013) جایگزینی فراک با سیمان معمولی سبب بهبود ۵ برابری استحکام فشاری و انعطاف پذیری بتن می‌شود ولی برای جایگزینی ۱۰۰٪ ای فراک نیازمند محیطی با موجودیت ۱۰۰٪ ای Co2 هستیم، همچنین بهترین مکان برای تولید فراک پروژه‌هایی هستند که در تماس با آب دریا می‌باشند زیرا فرآیند زنگ زدگی به تولید هرچه بیشتر فراک کمک می‌کند. [8] (Niveditha و همکاران، 2020) فراک را می‌توان ماده‌ای چسبنده و سازگار با محیط زیست دانست زیرا برخلاف سیمان از ترکیب واکنش کربناسیون و هوا طی مدت ۵ روز تشکیل می‌شود و مقاومت فشاری بهتری نیز بدست می‌آید. سازوکار مقاومت فراک بستگی به مصرف کربن دی‌اکسید آن دارد که با پودر آهن واکنش می‌دهد و باعث تشکیل کربنات آهن شده که باعث خاصیت چسبندگی فراک می‌شود [8]. (D.)

بلندتر باشد اتصال بهتر و محکم‌تری بین پیوندهای آن‌ها به وجود می‌آید [12] در این پژوهش سعی بر این است تا خواص مکانیکی و دوام ملات‌های نوین ژئوپلیمری الیافی حاوی فراک و درصدهای مختلف الیاف بازالت تحت حرارت بالا مورد بررسی قرار گیرد که این نوع ملات الیافی ترکیبی تاکنون بررسی نشده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش، با ۲۰ طرح اختلاط، مجموعه‌ای از ۱۶۰ آزمون مکعبی بتنی ساخته شدند که دارای مقادیر مختلفی از سرباره، فراک و الیاف بازالت بوده اند.

۲-۱- مصالح مورد استفاده

مصالح مورد استفاده در این پژوهش برای ساخت ملات شامل ریز دانه (ماسه)، آب، سرباره، فراک و در نهایت الیاف بازالت می‌باشد. تغییرات پوزولان‌های استفاده شده در فراک طبق جدول (۱) بودند.

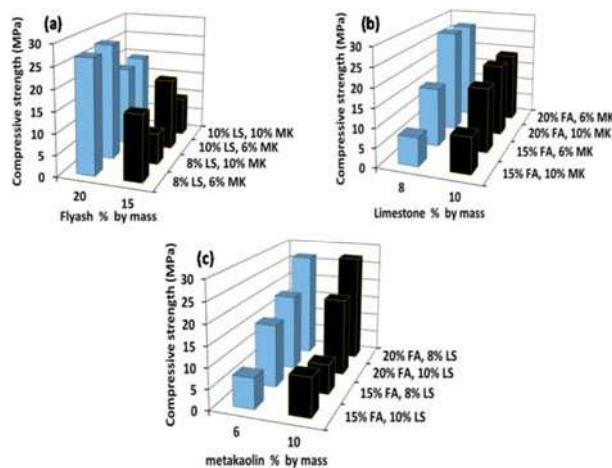
جدول ۲. خلاصه‌ای از مواد خام لازم برای تولید فراک

raw materials	percentage (by weight)	Specifications
Iron Powder	60%	Scrap metal iron powder with an average particle size of 19.03 μm
Fly Ash	20%	Class F fly ash in accordance with ASTM C 618 or ground glass particles
Limestone powder	10%	Limestone powder (average particle size 0.7 μm) conforming to ASTM C 568
Metakaolin	8%	Complies with ASTM C 618
Weak oxalic acid	2%	It acts as a catalyst

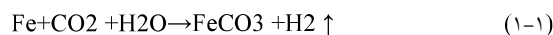
Table 2 Summary of raw materials required for ferrock manufacturing (suresh, 2015)

Vijayan و همکاران، 2020) و (Das و همکاران، 2015) واکنش زیر را که دستاورد هر دو تیم تحقیقاتی بود بدست آوردند:

Fig. 1. Effect of (a) fly ash, (b) limestone, (c) metakaolin on compressive strength of iron powder fasteners[1]



شکل ۱- اثر (الف) خاکستر بادی، (ب) سنگ آهک، (ج) متاکائولن بر مقاومت فشاری اتصال دهنده های پودر آهن [۱]



آب استفاده شده در فراک تنها برای اختلاط بهتر مواد خام با هم استفاده می‌شود. این برخلاف سیمان است که در موقع عمل‌آوری و کسب مقاومت خود هم نیاز به آب دارد [9]. (Arzu M. Hadi و همکاران، 2023) اشاره می‌کنند که فراک یک ماده سازگار با محیط زیست ولی جدیدتر است که ممکن است هزینه نگهداری بلند مدت آن مشابه یا کمی بالاتر از بتن سنتی باشد [10]. (Pravitha و همکاران، 2023) دریافتند پودر آهن به کار رفته در فراک با بافت زاویه‌ای خاص خود پرکننده عالی‌ای برای استحکام بخشیدن به این نوع بتن است، هم چنین مواد پوزولانی هم چون خاکستر بادی، متاکائولن و پودر سنگ آهک با اندازه میکرو اثر پرکننده را در این نوع بتن افزایش داده و پیوند بهتری بین سنگدانه و خمیر سیمان ایجاد می‌کنند [11]. (Li و همکاران، ۲۰۰۴) نشان دادند که طول الیاف تاثیر مستقیمی بر مقاومت فشاری بتن دارد و هرچه قدر طول الیاف

۲-۲- نسبت‌های مخلوط

برای نسبت مخلوط‌های مورد استفاده در این پژوهش، پارامترهای زیر به عنوان متغیر در نظر گرفته شد: از سرباره به عنوان ماده پایه اصلی در ساخت ملات‌های ژئوپلیمری استفاده می‌شود، از الیاف بازالت با درصدهای ۰.۳، ۰.۵، ۰.۷ و ۱ درصد حجمی کل در طرح‌ها استفاده می‌شود، از ترکیب سیلیکات سدیم (آب شیشه) و هیدروکسید سدیم به عنوان ماده فعال کننده قلیایی استفاده می‌شود، نسبت آب شیشه به هیدروکسید سدیم ۱.۵ و ۲ در طرح‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شود، نسبت ماسه به مواد چسباننده ۱.۵ و ۲ و نسبت مواد محلول به مواد چسباننده ۰.۴ و ۰.۵ در نظر گرفته شد، نسبت آب شیشه به هیدروکسید سدیم بهینه برابر ۱.۵ و ۲ و مولاریته محلول هیدروکسید سدیم ۱۰ است. به منظور دستیابی به بهترین نسبت و طرح اختلاط مواد پایه و محلول قلیایی اقدام به انجام دو مرحله بهینه‌یابی شد که شامل: گام ۱: ساخت طرح‌های شاهد با دو نسبت مواد محلول به ماده پایه ۰.۴ و ۰.۵ و با دو نسبت آب شیشه به هیدروکسید سدیم ۱.۵ و ۲

هدف: انتخاب طرح‌های بهینه شاهد برای ورود به گام ۲

نتیجه: در گام اول طرح‌های با نسبت مواد محلول به ماده پایه ۰.۵ (2R0.5 1.5R0.5) بهینه شد و طرح اختلاط به شکل زیر دنبال می‌شود.

جدول ۳. جزئیات نهایی نسبت مخلوط‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)

Sodium silicate	Sodium hydroxide	Silicate to hydroxide ratio	Basalt fibers	The ratio of soluble materials to cement	sand	ferrock	slag	Design name	Design number
764	508	1.5	32.4	0.5	5080	256	2290	R1.5F12G0.3	1
764	508	1.5	54	0.5	5080	256	2290	R1.5F12G0.5	2
764	508	1.5	75.6	0.5	5080	256	2290	R1.5F12G0.7	3
764	508	1.5	108	0.5	5080	256	2290	R1.5F12G1	4
848	424	2	32.4	0.5	5080	256	2290	R2F12G0.3	5
848	424	2	54	0.5	5080	256	2290	R2F12G0.5	6
848	424	2	75.6	0.5	5080	256	2290	R2F12G0.7	7
848	424	2	108	0.5	5080	256	2290	R2F12G1	8

Table 3. Details of the final mixing plan (kg/m³)

در گام بعدی (گام ۲) برای انتخاب طرح بهینه‌یابی فراک اقدام به ساخت طرح‌هایی با جایگزینی وزنی ۵، ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد فراک با سرباره بهینه شده (گام ۱) شد.

پس از بدست آوردن بهترین مقدار طرح سرباره و فراک از طرح بهینه گام ۲ اقدام به گام نهایی و اضافه کردن الیاف بازالت می‌شود، در این مرحله ۰.۳، ۰.۵، ۰.۷ و ۱ درصد حجمی کل الیاف بازالت به طرح اضافه می‌شود و هدف انتخاب طرح بهینه حاوی فراک مسلح شده با الیاف بازالت برای طرح‌های بهینه انتخاب شده ۱.۵ و ۲ از گام ۱ و ۲ است.

۲-۳- مقاومت فشاری نمونه‌ها

برای آزمایش و تعیین مقدار مقاومت فشاری تعداد ۳ نمونه فشاری از هر طرح اختلاط پس از ۷ روز توسط دستگاه آزمایش مقاومت بدست آمد و یادداشت شد. بعد از گذشت ۲۸ روز از ساخت و نگهداری نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه تعداد ۳ نمونه فشاری دیگر تحت آزمایش و شکست توسط دستگاه آزمایش مقاومت قرار گرفتند و میزان مقاومت کسب شده آنها یادداشت شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان از کسب مقاومتی مناسب در طرح اختلاط‌های ساخته شده می‌دهد.

۴-۲- قرار گیری در دمای بالا

هر آزمون مکعبی $50 \times 50 \times 50$ میلی متری ۲۸ روزه عمل آوری شده در دمای محیط پس از اندازه گیری وزن به تعداد ۶ آزمون از هر طرح اختلاط به مدت ۲۴ ساعت ابتدا تحت دمای 100°C خشک و وزن آن یادداشت شد. به همین ترتیب تعداد ۳ آزمون از هر طرح اختلاط را با فاصله های یکسان و در یک تراز ارتفاعی، درون اوون تحت دمای 200°C و ۳ آزمون دیگر تحت دمای 600°C قرار داده شد.

شایان ذکر است در تمام مدت خشک کردن در دمای 100°C و سپس حرارت های 200°C و 600°C در پیچه های سقف اوون باز نگه داشته شد تا آب آزاد تبخیر شده و پتانسیل انفجاری ناشی از قرار گرفتن ناگهانی بخار آب به حداقل برسد. پس از مدت ۴ ساعت آزمون هایی که تحت حرارت 200°C درجه و 600°C قرار گرفته بودند را از اوون خارج کرده و پس از خنک شدن و اندازه گیری وزن تحت آزمایش قرار گرفت که میانگین مقاومت فشاری به دست آمده از سه آزمون به عنوان نتیجه نهایی نمونه ثبت شد.

جدول ۳. جزئیات سیکل حرارتی اعمال شده

Thermal cycle	Operation
100	- Reaching 100 degrees - Staying at 100 degrees for 24 hours - turn off
200	- Reaching 200 degrees - Staying at 200 degrees for 4 hours - turn off
600	- Reaching 600 degrees - Staying at 600 degrees for 2 hours - turn off

Table 4. Details of heating cycles

شکل ۱. چیدمان آزمون ها در کوره تحت حرارت 200°C



Fig. 1. The arrangement of the samples in the furnace under the heat of 200 degree

شکل ۲. چیدمان آزمون ها در کوره تحت حرارت 600°C



Fig. 2. The arrangement of the samples in the furnace under the heat of 600 degrees

۳- نتایج و بحث

شکل (۳) نتایج مقاومت فشاری نمونه ها را پیش از دمای بالا پس از ۷ روز و ۲۸ روز بعد از ساخت نشان می دهد. شایان ذکر است که نتایج ذکر شده به عنوان برای هر نمونه، متوسط نتایج سه آزمون آزمایش شده است. مقاومت فشاری این نمونه ها بین 26.5 و 63.2 مگاپاسکال متغیر بوده است. در بین طرح اختلاط های با کمترین میزان الیاف طرح ۵ مقاومت فشاری بالاتری کسب نموده زیرا علاوه بر درصد الیاف کمتر، نسبت هیدروکسید به سیلیکات هم در آن ۲ است و میزان هیدروکسید کمتر و سیلیکات بیشتری در آن استفاده شده است. با توجه به مقاومت های کسب شده می توان نتیجه گرفت که هر چقدر به میزان الیاف بازالت در طرح اضافه می شود به همان میزان رابطه مستقیمی با کاهش مقاومت فشاری نمونه ها دارد، در طرح ۴ و طرح ۸ که بیشترین میزان

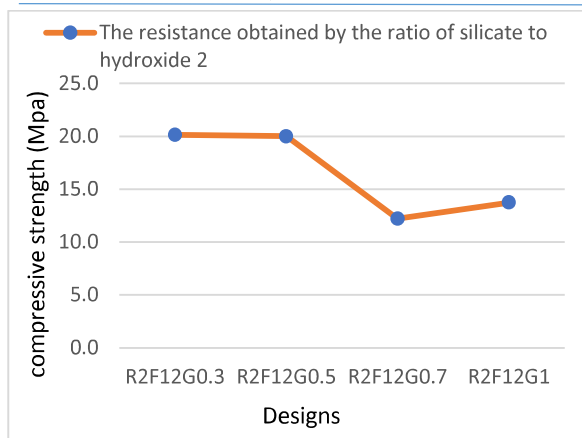


Fig. 5. Gained resistance at ratio 2 between 7 and 28 days

طبق مشاهدات فوق و روند کسب مقاومت می توان به این نتیجه رسید که هر چقدر میزان سیلیکات نسبت به هیدروکسید (نسبت ۲) بیشتر باشد با افزایش مقدار الیاف بازالت مقاومت کمتری در نمونه ها کسب شده و همچنین مقاومت نهایی ۲۸ روزه این نمونه ها کمتر از مقاومت ۲۸ روزه نمونه هایی است که دارای مقدار الیاف بازالت کمتری هستند. این روند در مطالعه (Zheng و همکاران، 2022) نیز مشاهده شد که در آن افزودن معقول از الیاف بازالت با قطر تقریبی ۱۰-۲۰ میکرومتر، طول تقریباً ۱۲-۲۰ میلی متر و کسر حجمی بهینه ۱٪ باعث بهبود استحکامی خواص مکانیکی بتن شد [13]. با توجه به شکل (۶) می توان به این نتیجه رسید که پس از قرار گرفتن تحت دمای ۲۰۰°C درجه آزمونه هایی که سیلیکات بیشتر و الیاف کمتری دارند مقاومت بیشتری از دست دادند و مقاومت نمونه های (نسبت ۱.۵) با درصد جایگزینی کمتری از الیاف بازالت پس از حرارت ۲۰۰°C و ۶۰۰°C بیشتر است و به اصطلاح مقاومت بهتری از خود در برابر حرارت نشان داده اند.

شکل های (۷ و ۸) به ترتیب کاهش مقاومت پس از حرارت ۲۰۰°C و ۶۰۰°C را نسبت به مقاومت کسب شده ۲۸ روزه نشان می دهند.

درصد الیاف را در خود دارند مقاومت کمتری در ۷ روز و ۲۸ روز نسبت به بقیه طرح ها کسب شده است. با توجه به الگوی مقاومت کسب شده شکل های (۴ و ۵) در طرح ها و آزمونه های ساخته شده می توان به این نتیجه رسید که از مدت زمان ۷ روز پس از ساخت تا ۲۸ روز پس از ساخت آزمونه ها نمونه هایی که دارای هیدروکسید کمتر و سیلیکات بیشتری هستند مقاومت فشاری بیشتری در طی این مدت کسب کرده اند.

شکل ۳. مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها

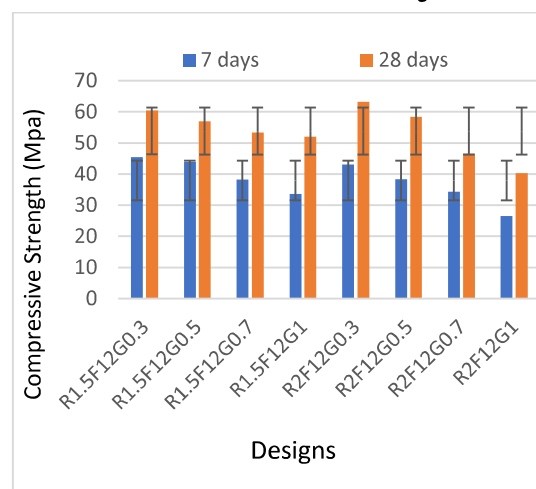


Fig. 3. compressive strength of 7 and 28 days samples

شکل ۴. مقاومت کسب شده با نسبت سیلیکات به هیدروکسید ۱.۵ در بازه ۷ تا ۲۸ روز

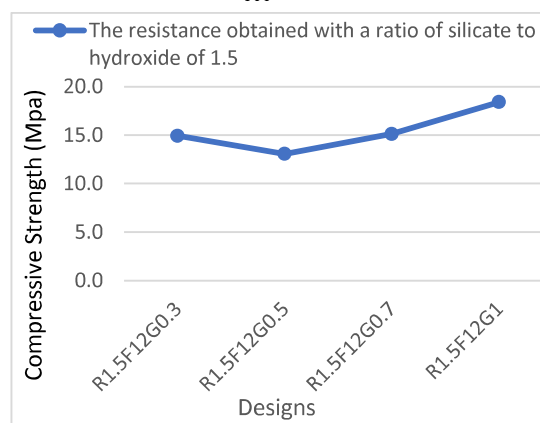


Fig. 4. Gained resistance at ratio 1.5 between 7 and 28 days

شکل ۵. مقاومت کسب شده با نسبت سیلیکات به هیدروکسید ۲ در بازه ۷ تا ۲۸ روز

(Guler و همکاران، 2022) در مشاهدات خود به این نتیجه رسیدند که الیاف بازالت به تنهایی وقتی در ملات ژئوپلیمری که حاوی خاکستر بادی اضافه می شود در حرارت بالا باعث انبساط حجمی مخلوط (۱٪) و تاثیر بسیار منفی بر مقاومت فشاری و خمشی مخلوط تقریباً ۵٪ می شود [14]، (Alaskar و همکاران، 2021) نیز گزارش شده است که ناشی از پراکندگی غیریکنواخت الیاف در سطح مخلوط نسبت داده شد. [15].

۳-۱- مشاهدات ظاهری

شکل (۹) به عنوان نمونه، وضعیت آزمون‌های مکعبی طرح ۶ (R2F12G0.5) را پس از رژیم‌های حرارتی ۲۰۰ و ۶۰۰ درجه نشان می دهد.

به طور کلی، آزمون‌های قرار گرفته در معرض ۶۰۰ درجه به دلیل از دست دادن آب سطحی به رنگ روشن‌تری در مقایسه با آزمون‌های حرارت ندیده و آزمون‌هایی که تحت حرارت ۲۰۰ درجه بودند دیده می‌شوند. آزمون‌های قرار گرفته در معرض دمای ۶۰۰ درجه دچار ترک‌خوردگی‌های قابل توجهی شدند که در عمق آزمون‌ها قابل مشاهده است. وضعیت صدمه ظاهری نمونه‌ها پس از شکست مقاومت فشاری دارای همبستگی قابل توجهی با نسبت مخلوط به کار رفته و مدت زمان قرار گیری در معرض دما دارد.

شکل ۹. وضعیت ظاهری آزمون‌های طرح R2F12G0.5 پس از قرارگیری در دمای بالا



Fig. 9. The appearance of R2F12G0.5 design samples after exposure to high temperature

شکل ۱۰. وضعیت ظاهری نمونه R2F12G0.5 پس از ۶۰۰ درجه حرارت

شکل ۶. مقاومت فشاری پس از ۲۰۰ و ۶۰۰ درجه حرارت

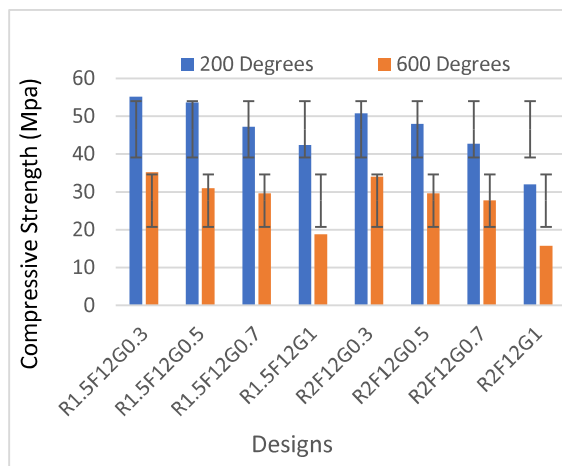


Fig. 6. Compressive strength after 200 and 600 degrees heating

شکل ۷. کاهش مقاومت پس از ۲۰۰ درجه حرارت

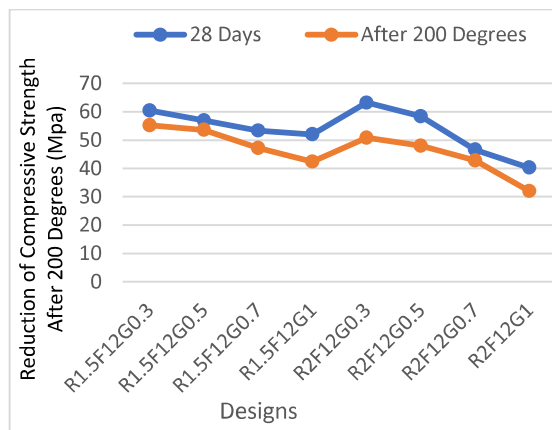


Fig. 7. Reduction of strength after 200 degree heating

شکل ۸. کاهش مقاومت پس از ۶۰۰ درجه حرارت

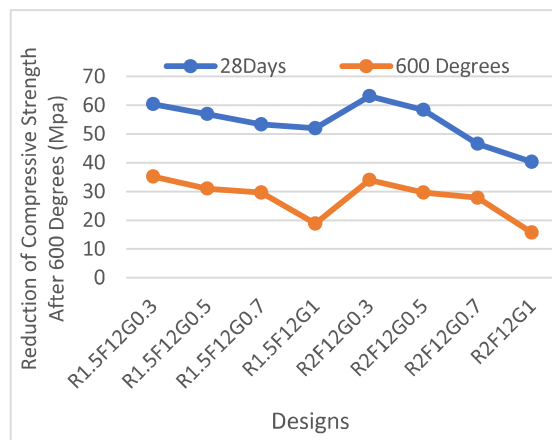


Fig. 8. Reduction of strength after 600 degree heating

میانگین نتیجه سه نمونه بدست آمده است. آهنگ افزایش بار هم طبق توصیه استاندارد انگلستان (BS1881-83) و BS1881-170) ۱/۰ تا ۰/۲ مگاپاسکال بر ثانیه بود. برعکس مقاومت فشاری در انجام آزمایش کشش ناشی از خمش طرح‌هایی که دارای مقدار بیشتری از الیاف هستند مقاومت کششی و نتیجه بهتری از خود نشان می‌دهند و بهترین نتیجه را می‌توان طبق شکل (۱۱) در طرح‌های R2F12G0.7 و R1.5F12G0.7 مشاهده نمود.



Fig. 10. The appearance of R2F12G0.5 design sample after 600 degree temperature

شکل ۱۱. مقاومت کششی ناشی از خمش پس از ۲۸ روز

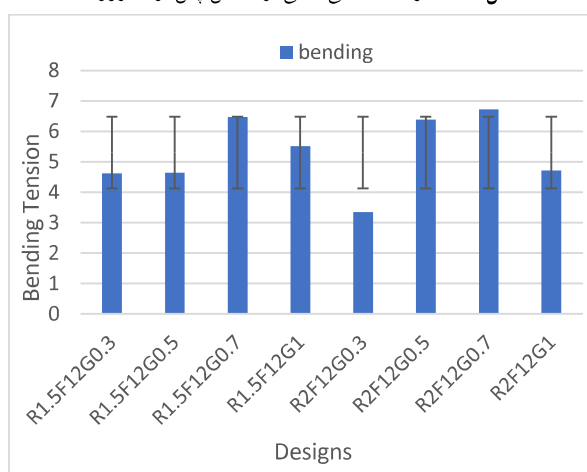


Fig. 11. Bending tension after 28 days

طبق مشاهدات در شکل‌های (۶ و ۱۱) رابطه خطی در افزایش مقاومت فشاری و کششی طرح‌هایی که به آن‌ها ۰.۷٪ (R2F12G0.7 و R1.5F12G0.7) الیاف بازالت اضافه شده است دیده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

- ۱- وضعیت صدمه ظاهری آزمون‌ها در اثر دما دارای همبستگی قابل توجهی با نسبت مخلوط به کار رفته و مدت زمان قرارگیری در معرض دما دارد.
- ۲- قرارگیری در معرض دمای ۲۰۰ درجه منجر به افت نسبتاً کمی در مقاومت نمونه‌ها می‌شود. در صورت استفاده کمتر از الیاف بازالت، مقاومت نمونه پس از تجربه دمای ۲۰۰

بهترین نمونه‌های ساخته شده آزمون‌هایی بودند که دارای مقدار کمتری از الیاف بازالت را داشتند و به اصطلاح طرح‌های R2F12G0.3 و R1.5F12G0.3 بهترین نتیجه را پس از گذشت ۷ روز و ۲۸ روز از ساخت و همچنین بیشترین مقاومت را پس از حرارت‌های ۲۰۰ و ۶۰۰ درجه دارند.

۲-۳- مقاومت کششی ناشی از خمش

از آنجا که ضعف بتن در خمش و کشش، مهم‌ترین محدودیت پیش روی مجریان و طراحان سازه بتنی است، لازم است میزان مقاومت خمشی بتن محاسبه شود؛ چرا که آزمایش مقاومت خمشی بتن برای بررسی ترک و جمع‌شدگی بتن بسیار حائز اهمیت است. برای تعیین مقاومت خمشی بتن، یک نمونه در سنین مشخص از روش بار چهار نقطه‌ای و سه نقطه‌ای مشخص می‌شود. این دو آزمایش در استاندارد ASTM شماره C78 و C293 به طور کامل تبیین شده است. مهم‌ترین تفاوت این دو روش، افت مقاومت ۱۵ درصدی در روش سه نقطه‌ای نسبت به چهار نقطه‌ای است. در واقعیت نیز هر چه میزان بار وارد شده بیشتر شود، این اختلاف افزایش پیدا می‌کند. برای انجام این آزمایش تعداد سه نمونه منشوری به ابعاد ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی‌متر را پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت با روش بار چهار نقطه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج ارائه شده از

[5] M. W. g. A. palomo, M.T. blanco, "Alkali-activated fly ashes: A cement for the future," 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00243-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9).

[6] G. K. Rakesh Sharma†V, Sayali Yashwant Bhong§, Partha Roy||, Santosh Kumar SinghL, Shikha Singh, Chelladurai Karthikeyan Balavigneswaran†, Kaushal Kumar Mahato†, Biswajit Ray#Orcid, Pralay Maiti‡Orcid, and Nira Misra, "Osteoconductive Amine-Functionalized Graphene-Poly(methyl methacrylate) Bone Cement Composite with Controlled Exothermic Polymerization," 2017, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.7b00241>.

[7] G. P. Revathy Jayaseelan, G. Ashwini, "Neural networks for the prediction of fresh properties and compressive strength of flowable concrete," 2019, doi: 10.4090/juee.2019.v13n1.183197

[8] Mehta, H. and V. Porwal, Green building construction for sustainable future. *Civil and environmental Research*, 2013. 3(6): p. 7-13

[9] M. Niveditha, Y. Manjunath, and S. H. Prasanna, "Ferrock: A carbon negative sustainable concrete," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 90-98, 2020.

[10] A. M. Hadi, K. F. Hasan, I. M. Ahmed, M. A. Meteab, and Q. F. Hasan, "Green Concrete: Ferrock Applicability and Cost-Benefit Effective Analysis," *ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials*, vol. 2, no. 2, pp. 119-134, 2023.

[11] J. J. Pravitha, R. N. Merina, and N. Subash, "Mechanical properties and microstructural characterization of ferrock as CO₂-negative material in self-compacting concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 396, p. 132289, 2023.

[12] Bei-Xing, Ming-xiang, Fang, Lu ping, The mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 2004. 19: p. 68-71

[13] Y. Zheng, Y. Zhang, J. Zhuo, Y. Zhang, and C. Wan, "A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 359, p. 129360, 2022.

[14] S. Guler and Z. F. Akbulut, "Effect of high-temperature on the behavior of single and hybrid glass and basalt fiber added geopolymer cement mortars," *Journal of Building Engineering*, vol. 57, p. 104809, 2022.

[15] A. Alaskar, A. Albidah, A. S. Alqarni, R. Alyousef, and H. Mohammadhosseini, "Performance evaluation of high-strength concrete reinforced with basalt fibers exposed to elevated temperatures," *Journal of Building Engineering*, vol. 35, p. 102108, 2021.

درجه دارای افت کمتری می‌شود. قرارگیری در دمای ۶۰۰ درجه افت محسوس مقاومت فشاری نمونه‌ها را در پی داشت.

۳- افزایش مقدار سیلیکات سدیم و کاهش هیدروکسید سدیم و همچنین افزایش درصد جایگزینی الیاف بازالت منجر به کسب مقاومت بیشتری در بازه زمانی ۷ تا ۲۸ روز پس از ساخت می‌شود ولی بعد از حرارت بالا افت محسوس تری در مقاومت فشاری این نمونه‌ها دیده می‌شود.

۴- هر چه نسبت سیلیکات سدیم به هیدروکسید سدیم نمونه‌های ساخته شده بالاتر باشد و مقدار الیاف بیشتری به نمونه شود کشش ناشی از خمش بالاتری بدست می‌آید و به اصطلاح نمونه در برابر خمش مقاوم تر است.

۵- افت مقاومت فشاری مشاهده شده پس از حرارت بالا می‌تواند ناشی از پراکندگی غیریکنواخت الیاف بازالت در سطح نمونه باشد

نتایج گزارش شده در این مقاله از نخستین نتایج آزمایشگاهی در خصوص عملکرد ملات دارای سرباره و فراک توام با الیاف بازالت پس از قرارگیری در دمای بالا بوده و می‌تواند برای دستیابی به ملات مقاومی در برابر انقباض و حرارت بالاتر به صورت کاربردی بسیار مفید واقع شود.

۵-مراجع

[1] Das, S., et al., Synthesis and properties of a novel structural binder utilizing the chemistry of iron carbonation. *ACS applied materials & interfaces*, 2014. 6(11): p. 8295-8304.

[2] D. Vijayan, S. Arvindan, and T. S. Janarthanan, "Evaluation of ferrock: A greener substitute to cement," *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 781-787, 2020.

[3] K. S.-C. P. De silva, V.srivivatnanon, "Kinetics of geopolymerization: Role of Al₂O₃ and SiO₂," 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.01.003>

[4] Redaei, M.M.a.M.M., Comparison of the effect of lightweight aggregate on the compressive strength properties of geopolymer concrete and ordinary concrete according to economic evaluation. 2016.

The effect of glass water on mechanical characteristics and durability of multi-component pozzolanic geopolymeric mortar containing basalt fibers

Seyed Hosein Ghasemzadeh Mousavinejad 1* Arian Pakdel 2

1*- Associate Professor, Technical and Engineering Faculty, Guilan University

2- Master's Student, Technical and Engineering Faculty, Guilan University

Email: *h.mosavi@guilan.ac.ir

Abstract:

Cement is one of the most widely used construction materials in the world. Considering that the production of cement is polluting and for every one ton of cement produced, one ton of carbon dioxide gas enters the atmosphere. Therefore, for this reason, most of the research in recent years is to replace cement with a new environmentally friendly material. Is. The result of this research led to the identification and introduction of a new substance called ferrock. Ferrock as a compound is an iron binder that yields a variety of waste materials to form a carbon-negative building material. To make this new material, iron dust is used along with proportions of limestone powder, fly ash, metakaolin and oxalic acid. It shows the best usage of iron ore waste powder obtained during the mining process that is just dumped away from the mines, causing air pollution, health hazards and also consuming larger area. The product indirectly reduces the carbon dioxide released by its unique strength gaining mechanism, which is in contrary with that cement and thus stands out among many other supplements of cement. Ferrock involves a curing process with carbonation and air curing in varied number of days for better strength in terms of compression, tensile strengths and achieving desirable properties. Ferrock is thus a more promising eco friendlier binding material in terms of its carbon negativity and in best usage of the waste. Although implementing Ferrock may require an initial investment, the long-term advantages of reduced maintenance costs and improved sustainability contribute to its overall value proposition. Iron dust in the form of powder (size less than 90 microns) and fine aggregate (size between 150 microns to 2.36mm) is used to develop the iron carbonate matrix which is major binding material in ferrock and they considered light . In this research, the aim is to investigate the durability and resistance of geopolymeric mortars containing ferrock and basalt fibers against high temperature, therefore, for this purpose, different proportions of ferrock and slag are replaced with hydraulic cement and mortar samples are prepared with different percentages of basalt fibers. . Then the 28-day samples are tested at temperatures of 200 and 600 degrees. The results of these tests show that the strength of geopolymer mortar containing frac has a slight drop (14%) at 200 degrees but a noticeable drop (50%) at higher temperatures, also the results show that the samples with percentage Fewer fibers (0.3%) have gained more compressive strength after 28 days. Increasing the amount of sodium silicate and decreasing sodium hydroxide, as well as increasing the replacement percentage of basalt fibers leads to greater resistance in the period of 7 to 28 days after construction, but after high temperature, a more noticeable drop in the compressive strength of these samples can be seen. The higher the ratio of sodium silicate to sodium silicate of the manufactured samples and the more fibers are used to replace the slag in the sample, the higher the tension due to bending is obtained.

Keywords: ferrock, resistance and durability, basalt fibers, high temperature.