

بررسی مشخصات تازه، ریزساختاری و مکانیکی خمیر ژئوپلیمری حاوی سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو

علی صدرممتازی

استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

ابراهیم رشیدی فرد*

دانشجوی دکتری سازه، گروه مهندسی عمران، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان.

چکیده

سرباره کوره آهن گدازی به عنوان یک ماده فرعی بالقوه شناخته می شود که می تواند به عنوان منبع آلومینا-سیلیکانی در تولید ژئوپلیمرها استفاده شود. ژئوپلیمرهای بر پایه سرباره کوره آهن گدازی معایی مانند انقباض زیاد، کارایی کم و زمان گیرش کوتاه دارند. ثابت شده است که این عیوب را می توان با جایگزینی نسبی سرباره کوره آهن گدازی با سایر مواد آلومینا-سیلیکاتی کم کلسیم مانند خاکستر برگ بامبو کاهش داد. در این مقاله، اثر خاکستر برگ بامبو بر خصوصیات تازه، ریزساختاری و مکانیکی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، اثر غلظت محلول هیدروکسید سدیم و نسبت محلول فعال کننده قلیایی به ماده پایه (Al/Bi) بر روی خصوصیات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که پودر ژئولیت طبیعی موجب افزایش کارایی و زمان گیرش خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی شده است. اما بر اساس نتایج ارائه شده در تحقیقات قبلی در صورت استفاده از مقدار بالای این ماده، جهت دستیابی به مقاومت مطلوب خمیرهای ژئوپلیمری نیاز به عمل آوری تحت حرارت خواهند داشت. بر اساس نتایج به دست آمده، جایگزینی ۱۰ درصد از وزن مواد پایه با خاکستر برگ بامبو در خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه منجر به افزایش کارایی و زمان گیرش و همچنین کاهش مقدار فاز کریستالی تولید شده و در نتیجه کاهش مشخصات مکانیکی می شود. علاوه بر این نتایج نشان می دهد که افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر موجب کاهش کارایی، زمان گیرش و مشخصات مکانیکی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو شده است. همچنین، در این نوع خمیر، افزایش نسبت Al/Bi از ۰/۵ به ۰/۷ موجب افزایش کارایی و زمان گیرش و کاهش مشخصات مکانیکی شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، خاکستر برگ بامبو کارایی و زمان گیرش خمیرهای ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی را افزایش می دهد اما با این حال، استفاده از آن باید تا مقدار معینی که موجب کاهش قابل توجه در مشخصات مکانیکی خمیر ژئوپلیمری نشود، محدود گردد.

واژه های کلیدی: خاکستر برگ بامبو، خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی، پودر ژئولیت طبیعی، زمان گیرش، مشخصات ریزساختاری، مشخصات مکانیکی.

* نویسنده مسئول: rashidifard1384@yahoo.com

۱- مقدمه

سیمان پرتلند معمولی (OPC) به عنوان اصلی ترین و پرمصرف ترین ماده در صنعت ساختمان در سراسر جهان شناخته می شود. در فرآیند تولید OPC، مقادیر قابل توجهی از منابع طبیعی و سوخت های فسیلی مصرف می شود و در نتیجه حجم عظیمی از گازهای گلخانه ای وارد اتمسفر می شود [۱]. این مسئله محققین را به یافتن یک جایگزین ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست ترغیب کرد [۲]. در نهایت، تلاش آنها منجر به معرفی ژئوپلیمرها در دهه ۱۹۷۰ شد. ژئوپلیمر یک شبکه سه بعدی آلومینا سیلیکاتی است که در اثر واکنش مواد غنی از آلومینا و سیلیس با محلول های قلیایی تشکیل می شود [۳-۵]. در تولید ژئوپلیمرها، محصولات جانبی صنعتی و معدنی و همچنین مواد زائد کشاورزی که غنی از آلومینا و سیلیس هستند، می توان استفاده کرد [۶-۱۸]. مشخصات عالی ژئوپلیمرها مانند خواص مکانیکی بالا [۱۹] و دوام استثنایی [۲۰] آن را به یک ماده ساختمانی برتر تبدیل کرده است. بنابراین، می توان انتظار داشت که ژئوپلیمرها به زودی سهم قابل توجهی در صنعت ساخت و ساز داشته باشند.

سرباره کوره آهن گدازی (GGBFS) یک محصول جانبی در صنعت تولید آهن است که عمدتاً شامل CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 و MgO است [۲۱]. در سرباره کوره آهن گدازی فازهایی مانند گهلیت، آکرمائیت، کوارتز، کلسیت، مروینیت، گچ، انیدریت و شیشه C-S-H موجود است [۲۱، ۲۲]. ترکیبات شیمیایی سرباره کوره آهن گدازی با سایر مواد آلومینا-سیلیکاتی متفاوت است. با توجه به این واقعیت، مکانیزم واکنش سرباره کوره آهن گدازی و ویژگی های ژئوپلیمرهای تشکیل شده با سایر انواع ژئوپلیمرها متفاوت است. سرباره کوره آهن گدازی حاوی مقادیر بالایی از CaO است که به طور مثبت بر فرآیند ژئوپلیمریزاسیون و محصولات تأثیر می گذارد. کلسیم فرآیند ژئوپلیمریزاسیون را تسریع می کند و در نتیجه محتوای بالای ژئوپلیمر در مدت زمان کوتاهی تشکیل می شود. به همین دلیل، زمان گیرش و روند کسب مقاومت در ژئوپلیمرهای بر پایه سرباره کوره آهن گدازی سریعتر از سایر انواع ژئوپلیمرها است. علاوه بر این، ژئوپلیمرهای بر پایه سرباره کوره آهن گدازی دارای خواص مکانیکی بالاتری است [۲۳-۲۶]. تحقیقات نشان داده است که C-(A)-S-H فاز کریستالی اصلی تشکیل شده در ژئوپلیمرهای بر پایه سرباره کوره

آهن گدازی است [۲۷-۳۱]. سایر فازهای کریستالی مانند کلسیت، واتریت، کوارتز و گهلیت نیز در این نوع ژئوپلیمرها شناسایی شده اند [۲۷، ۳۲]. ژئوپلیمرهای بر پایه سرباره کوره آهن گدازی معایبی مانند زمان گیرش سریع، انقباض ناشی از خشک شدن زیاد و خواص ژئولوژیکی ضعیف دارند [۳۳]. برای از بین بردن این معایب، جایگزینی قسمتی از سرباره کوره آهن گدازی با سایر مواد آلومینا-سیلیکاتی توصیه می شود [۷، ۳۳ و ۳۴]. هادی و همکاران [۷] اثرات جایگزینی سرباره کوره آهن گدازی با خاکستر بادی، متاکائولین و دوده سیلیس را بر زمان گیرش و کارایی بتن ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که وقتی سرباره کوره آهن گدازی با خاکستر بادی، متاکائولین و دوده سیلیس جایگزین می شود، زمان گیرش اولیه و نهایی و همچنین کارایی از ۱۰٪ به ۶۰٪ افزایش می یابد. بیات و همکاران [۳۳] نشان دادند که ترکیب سرباره کوره آهن گدازی با گل سرخ منجر به افزایش زمان گیرش و کارایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی می شود. عرفانی منش و شربتدار [۳۵] نشان دادند که جایگزینی نسبی سرباره کوره آهن گدازی با پودر زئولیت طبیعی باعث کاهش خواص مکانیکی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی حاوی محلول کربنات سدیم فعال می شود.

امروزه، محققان بر استفاده از مواد زائد کشاورزی به عنوان جایگزینی برای OPC تمرکز کرده اند [۳۶-۴۲]. خاکستر برگ بامبو (BLA) یکی از این ضایعات کشاورزی است که به تازگی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. سالانه تقریباً ۲۰ میلیون تن بامبو در سراسر جهان تولید می شود و در نتیجه حجم بالایی از برگ های بامبو تولید می شود [۴۳]. برگ ها در حجم زیاد در محل های دفن زباله جمع می شوند یا به طور غیرقابل کنترلی سوزانده می شوند و در نتیجه بر محیط زیست تأثیر منفی می گذارند [۴۳]. محققان ترکیبات شیمیایی و خواص ریزساختاری خاکستر برگ بامبو را بررسی کرده و تأیید کردند که این ماده یک پوزولان طبیعی با واکنش پذیری بالا است. فریاس و همکاران [۴۳] ویژگی های خاکستر برگ بامبو برزیلی را که در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد کلسینه شده است، بررسی کردند و نشان دادند که حاوی مقدار زیادی SiO_2 (۷۸,۷۱٪) است. علاوه بر این، آنها نشان دادند که خاکستر برگ بامبو برزیلی دارای ماهیت آمورف است که از

اجزای اصلی کریستالی کلسیت، کریستوبالیت و سولفات کلسیم تشکیل شده است. آنها تأیید کردند که سرعت ثابت واکنش خاکستر برگ بامبو برزلی از مرتبه 10^{-1} در ساعت است، به این معنی که این ماده فعالیت پوزولانی بالایی دارد. دوویدی و همکاران [۴۴] و سینگ و همکاران [۴۵] نتیجه گرفتند که خاکستر برگ بامبو هندی دارای مقدار زیادی سیلیس و همچنین خواص پوزولانی خوبی است. علاوه بر این، آنها کوارتز را به عنوان فاز کریستالی اصلی موجود در خاکستر برگ بامبو هندی شناسایی کردند. مورائس و همکاران [۴۶] خواص خاکستر برگ بامبو تهیه شده توسط احتراق خودکار را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که خاکستر برگ بامبو به دست آمده حاوی $74,23\%$ درصد سیلیس است. علاوه بر این، آنها کوارتز را به عنوان فاز کریستالی اصلی در الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) خاکستر برگ بامبو شناسایی کردند. علاوه بر این، آنها تأیید کردند که خاکستر برگ بامبو می تواند به عنوان یک پوزولان بسیار واکنش پذیر در ترکیب با OPC در ماتریس های سیمانی استفاده شود.

سیلوا و همکاران [۴۷]، بر اساس تجزیه و تحلیل چرخه حیات خاکستر برگ بامبو، اظهار داشت که این ماده یک پوزولان اقتصادی و سازگار با محیط زیست با واکنش بالا است. اولواله [۴۸] دمای 600°C درجه سانتیگراد و مدت زمان $4,5$ ساعت را به عنوان بهترین دما برای به دست آوردن سیلیس آمورف با واکنش پذیری بالا از برگهای بامبو توصیه کرد که می تواند در تولید سرامیک استفاده شود. ویلار کوسینیا و همکاران [۴۹] ترکیبات شیمیایی و فعالیت پوزولانی خاکستر برگ بامبو و دوده سیلیس را مقایسه کرده اند. آنها نشان دادند که هر دوی آنها مواد واکنش پذیر بالا هستند که عمدتاً توسط سیلیس آمورف تشکیل شده اند. آنها به این نتیجه رسیدند که ثابت سرعت واکنش خاکستر برگ بامبو و دوده سیلیس به ترتیب برابر با $4/78 \times 10^{-1}$ و $5/11 \times 10^{-1}$ در ساعت است. این بدان معناست که این دو ماده واکنش پذیری مشابهی دارند. دوده سیلیس به دلیل محدودیت منابع به عنوان یک ماده گران قیمت محسوب می شود. بر اساس نتایج بدست آمده توسط ویلار کوسینیا و همکاران [۴۹]، خاکستر برگ بامبو می تواند جایگزین ارزان و مناسبی برای دوده سیلیس باشد. دوده سیلیس یک ماده بالقوه در تولید ژئوپلیمرها است. بیشتر در ترکیب با سایر آلومینا سیلیکات ها مانند سرباره کوره آهن گدازی،

خاکستر بادی، متاکائولین و غیره استفاده می شود [۵۰، ۷، ۱۰ و ۵۱]. از آنجایی که خاکستر برگ بامبو و دوده سیلیس دارای ترکیبات شیمیایی مشابه و همچنین واکنش پذیری برابر هستند، به نظر می رسد که این ماده می تواند پتانسیل استفاده در تولید ژئوپلیمرها را داشته باشد.

ترکیبات شیمیایی خاکستر برگ بامبو نشان می دهد که این ماده را می توان برای تولید ژئوپلیمرها استفاده نمود. اما تاکنون تحقیقی در رابطه با ژئوپلیمرهای حاوی خاکستر برگ بامبو انجام نشده است. در مقاله حاضر، در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی، تا 10% از وزن مواد پایه با خاکستر برگ بامبو جایگزین گردیده و خصوصیات خمیرها مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، تأثیر غلظت محلول هیدروکسید سدیم (8 ، 12 و 16 مول در لیتر) و نسبت محلول فعال کننده قلیایی به ماده پایه (Al/Bi) (نسبت های $0/5$ ، $0/6$ و $0/7$) بر روی خصوصیات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو بررسی شده است. خصوصیات مورد مطالعه شامل چگالی ظاهری، زمان گیرش اولیه و نهایی، قطر پخش مینی اسلالمپ، نوع و مقدار فازهای کریستالی، مقاومت فشاری و خمشی و همچنین منحنی های بار-تغییر مکان به دست آمده از آزمایش خمش سه نقطه ای انجام شده بر روی نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری می باشد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد

در این مقاله از سرباره کوره آهن گدازی (GGBFS)، پودر زئولیت طبیعی (NZP) و خاکستر برگ بامبو به عنوان مواد پایه استفاده شد. ترکیبات شیمیایی این مواد در جدول ۱ ارائه شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مواد خام در شکل های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. سرباره کوره آهن گدازی با چگالی 2880 کیلوگرم بر متر مکعب از کارخانه سیمان سپاهان اصفهان تهیه شد. نتایج تجزیه شیمیایی نشان می دهد که سرباره کوره آهن گدازی عمدتاً از اکسیدهای مانند CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 و MgO تشکیل شده است. الگوی XRD مربوط به سرباره کوره آهن گدازی در شکل ۴ ارائه شده است.

پودر زئولیت طبیعی با وزن مخصوص ۲۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب از کارخانه آفرند توسکا در سمنان خریداری شد. در جدول ۱، مشاهده می شود که SiO_2 و Al_2O_3 در مقادیر بالایی در پودر زئولیت طبیعی موجود هستند. علاوه بر این، الگوی XRD نشان می دهد که پودر زئولیت طبیعی یک ماده آمورف با فازهای کریستالی نهفته کریستوبالیت و کوآرتز است (شکل ۵). خاکستر برگ بامبو با وزن مخصوص ۲۱۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب از برگ درختان بامبو کاشته شده در مزارع روستای لیالستان لاهیجان در ایران تهیه شد. جدول ۱ نشان می دهد که خاکستر برگ بامبو حاوی مقدار زیادی SiO_2 است. در حالی که مقدار کمتری از Al_2O_3 در خاکستر برگ بامبو موجود است. در شکل ۶ مشاهده می شود که یک ناحیه قوز وسیع بین ۱۰ و ۴۰ درجه (2θ) به وضوح در الگوی XRD خاکستر برگ بامبو وجود دارد، که تایید می کند خاکستر برگ بامبو یک ماده آمورف است. در این الگو، فازهای کریستالی کوچک کوآرتز و کلسیت موجود می باشند. در این تحقیق از ترکیب محلول های هیدروکسید سدیم (NaOH) و سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) برای تولید نمونه های خمیر ژئوپلیمری استفاده شد. سیلیکات سدیم مایع با مدول M_s برابر ۲/۰۷ و وزن مخصوص ۱۵۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب از شرکت سیلیکات ایران در قزوین خریداری شد. محلول هیدروکسید سدیم با غلظت های ۸، ۱۲ و ۱۶ مول در لیتر با حل کردن مقدار معینی از سود سوزآور در آب تهیه شده است. سود سوزآور با خلوص ۹۹ درصد از شرکت پترو گوهر تهیه شده است.

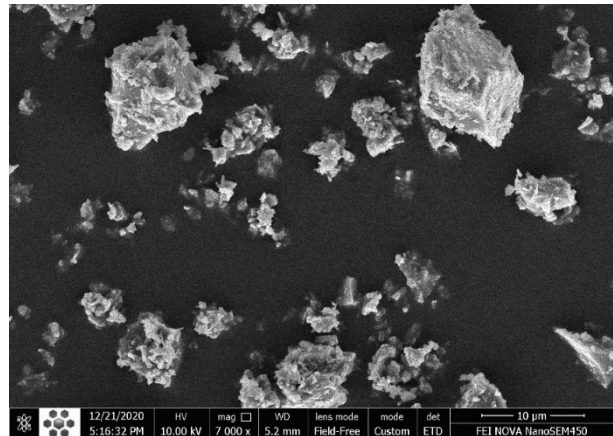
جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد خام (درصد وزنی)

ترکیب شیمیایی	سرباره کوره آهن گدازی	پودر زئولیت طبیعی	خاکستر برگ بامبو
SiO_2	35.7	70.4	70.7
Al_2O_3	11.2	10.7	2.5
Fe_2O_3	1.2	1.3	1.6
CaO	37	2.54	6.7
MgO	11	0.72	3.5
K_2O	0.68	1.8	4
Na_2O	0.6	2	2
MnO	1.58	-	0.065

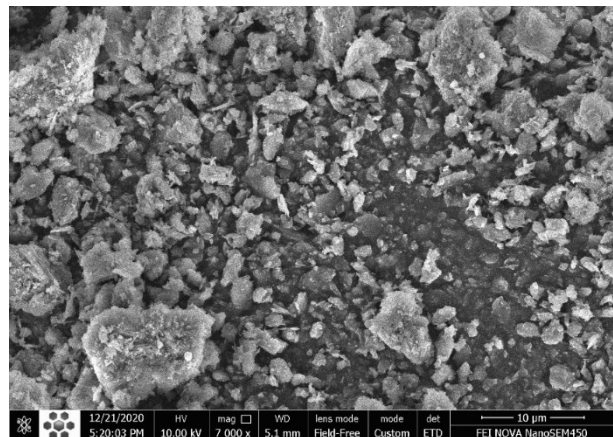
۲-۲- نسبت مخلوط و آماده سازی نمونه ها

در مقاله حاضر ۴ سری و در مجموع ۱۰ طرح مخلوط برای بررسی

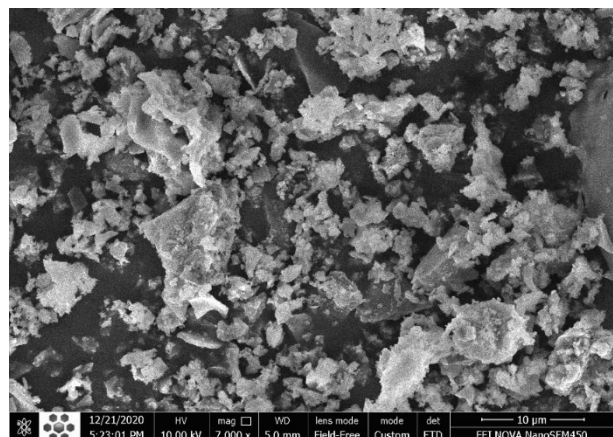
همانطور که در این شکل مشاهده می شود، یک ناحیه قوز گسترده بین ۲۰ و ۴۰ درجه (2θ) وجود دارد که نشان دهنده ماهیت آمورف (بی شکل) سرباره کوره آهن گدازی است. علاوه بر این، تعدادی از قله های بازتابی تیزتر مربوط به کلسیت، واتریت، آکرمانیت، گهنلیت و کوآرتز در الگوی XRD سرباره کوره آهن گدازی شناسایی شده اند.



شکل ۱- تصویر SEM از سرباره کوره آهن گدازی



شکل ۲- تصویر SEM از پودر زئولیت طبیعی



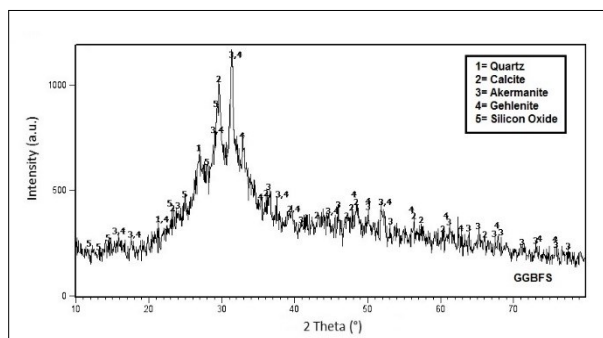
شکل ۳- تصویر SEM از خاکستر برگ بامبو

پایه با خاکستر برگ بامبو جایگزین می‌شود. در تمام طرح مخلوط های سری ۱ و ۲، نسبت محلول فعال کننده به ماده پایه (Al/Bi) و غلظت محلول هیدروکسید سدیم به ترتیب برابر ۰٫۶ و ۱۲ مول در لیتر در نظر گرفته شده است. در این طرح مخلوط‌ها، محلول فعال کننده از محلول‌های هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم به نسبت ۱:۱ تشکیل شده است. طرح مخلوط‌های سری ۳ جهت بررسی تاثیر غلظت محلول هیدروکسید سدیم بر روی مشخصات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی/خاکستر برگ بامبو تعریف شده‌اند. در این سری از طرح مخلوط‌ها، غلظت محلول هیدروکسید سدیم برابر ۸، ۱۲ و ۱۶ مول در لیتر تعیین گردیده است. سری ۴ طرح مخلوط‌ها جهت بررسی تاثیر نسبت محلول قلیایی فعال کننده به ماده پایه (برابر با ۰٫۵، ۰٫۶ و ۰٫۷) بر روی مشخصات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی/خاکستر برگ بامبو تعریف شده است. جهت ساخت نمونه های خمیر ژئوپلیمری این تحقیق، ابتدا یک دستگاه مخلوط کن مواد خام خشک را به مدت ۳ دقیقه مخلوط کرد. سپس محلول فعال کننده قلیایی به تدریج به مواد خشک اضافه شد و اختلاط به مدت ۵ دقیقه ادامه یافت تا خمیری همگن به دست آید. در نهایت خمیرهای ژئوپلیمری تازه در قالب های استاندارد در سه لایه ریخته و سپس توسط میز ارتعاشی متراکم شدند. نمونه های خمیر ژئوپلیمر سخت شده پس از ۲۴ ساعت قالب گیری شدند و به مدت ۲۸ روز در ظرف آب در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

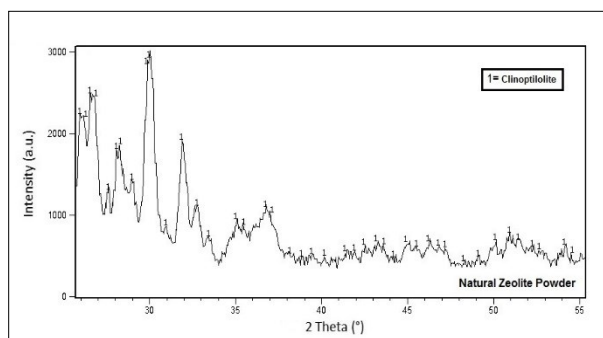
۲-۳- روش‌های آزمایش

زمان گیرش اولیه و نهایی خمیرهای ژئوپلیمر تازه با استفاده از دستگاه سوزن ویکات بر اساس ASTM C191-18a اندازه گیری شد [۵۲]. آزمایش مینی اسلامپ با استفاده از یک مخروط با قطر داخلی بالایی ۷۰ میلی متر، قطر داخلی پایینی ۱۰۰ میلی متر و ارتفاع ۵۰ میلی متر مطابق با ASTM C1437-15 انجام شد [۵۳]. علاوه بر این، چگالی ظاهری تازه تمام مخلوط‌های خمیر ژئوپلیمر بر اساس EN 1015-6 اندازه گیری شد [۵۴]. برای تعیین مقاومت فشاری و خمشی خمیرهای ژئوپلیمر سخت شده، به ترتیب از سه نمونه مکعبی با ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ میلی متر و سه نمونه منشوری با ابعاد ۴۰×۴۰×۱۶۰ میلی متر برای هر طرح مخلوط استفاده شد. تست‌های مقاومت فشاری و خمشی بر اساس ASTM C109-

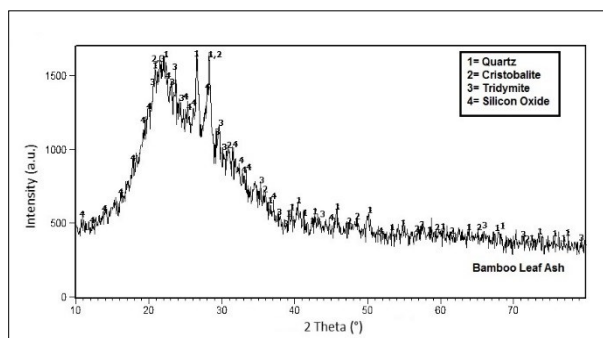
اثرات جایگزینی ماده پایه با خاکستر برگ بامبو، غلظت محلول هیدروکسید سدیم و نسبت محلول فعال کننده به ماده پایه (Al/Bi) بر مشخصات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی/پودر ژئولیت طبیعی در نظر گرفته شده است (جدول ۲).



شکل ۴- الگوی XRD مربوط به سرباره کوره آهن‌گدازی



شکل ۵- الگوی XRD مربوط به پودر ژئولیت طبیعی



شکل ۶- الگوی XRD مربوط به خاکستر برگ بامبو

در طرح‌های سری ۱، ماده پایه شامل سرباره کوره آهن‌گدازی و خاکستر برگ بامبو می‌باشد که در آن تا ۱۰ درصد از وزن ماده پایه (۰، ۵، ۷٫۵ و ۱۰ درصد) با خاکستر برگ بامبو جایگزین شده است. سری ۲ شامل دو طرح مخلوط می‌باشد. در این سری، ماده پایه شامل سرباره کوره آهن‌گدازی، پودر ژئولیت طبیعی و خاکستر برگ بامبو می‌باشد که در آن ۰ و ۱۰ درصد از وزن ماده

16a و C 348-02 انجام شد [۵۵ و ۵۶]. علاوه بر این، نمودار دستگاه یونیورسال SANTAM مدل STM-150 با نرخ نیرو-تغییر مکان عمودی وسط دهانه هر نمونه منشوری توسط بارگذاری ۰٫۱ میلی متر در دقیقه اندازه گیری شد (شکل ۷).

جدول ۲- طرح مخلوط ها

غلظت محلول	نسبت هیدروکسید سدیم (مول در لیتر)	نسبت Al/Bi ^a	نسبت خاکستر برگ بامبو/ ماده پایه (%)	نسبت پودر ژئولیت طبیعی/ ماده پایه (%)	نسبت سرباره کوره آهن گدازی/ ماده پایه (%)	طرح مخلوط
12	0.6	0	0	0	100	GA6S12
12	0.6	5	5	0	95	GB5A6S12
12	0.6	7.5	7.5	0	92.5	GB7.5A6S12
12	0.6	10	10	0	90	GB10A6S12
12	0.6	0	0	10	90	GZA6S12
12	0.6	5	5	10	85	GZB5A6S12 ^b
8	0.6	10	10	0	90	GB10A6S8
16	0.6	10	10	0	90	GB10A6S16
12	0.5	10	10	0	90	GB10A5
12	0.7	10	10	0	90	GB10A7

Al/Bi^a: نسبت محلول قلیایی فعال کننده به ماده پایه

GZB5A6S12^b: خمیر ژئوپلیمری حاوی ۸۵٪ سرباره کوره آهن گدازی، ۱۰٪ پودر ژئولیت طبیعی و ۵٪ خاکستر برگ بامبو با نسبت محلول به ماده پایه ۰٫۶ و محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۲ مول در لیتر

۳- نتایج و بحث:

۳-۱- مشخصات خمیر تازه

۳-۱-۱- چگالی ظاهری

مقادیر چگالی ظاهری خمیرهای تازه ژئوپلیمری مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که چگالی ظاهری خمیرهای تازه ژئوپلیمری تحت تأثیر مقادیر خاکستر برگ بامبو قرار دارد. بر اساس نتایج بدست آمده، در خمیرهای ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی، وقتی از ۰٪ تا ۱۰٪ از وزن ماده پایه با خاکستر برگ بامبو جایگزین می شود، چگالی ظاهری از ۱۹۶۰ به ۱۹۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش می یابد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد در خمیرهای ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی، با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو به ۱۰٪ از وزن ماده پایه، چگالی ظاهری از ۱۹۳۳ به ۱۸۹۲ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش می یابد. کاهش در چگالی ظاهری خمیرهای ژئوپلیمری با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو می تواند ناشی از وزن مخصوص پایین تر خاکستر برگ بامبو نسبت به سرباره کوره آهن گدازی باشد. مطابق نتایج بدست آمده، چگالی ظاهری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت



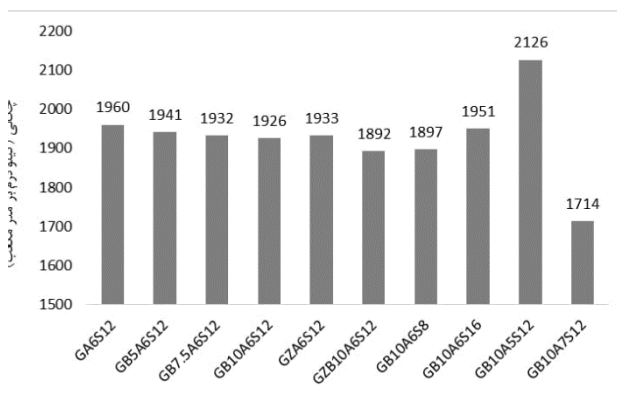
شکل ۷- آزمایش خمش بر روی نمونه های منشوری

تمامی نمونه ها در سن ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفتند. مشخصات ریزساختاری خمیرهای ژئوپلیمر مانند نوع و محتوای فازهای کریستالی تشکیل شده و هم چنین نسبت کریستال به آمورف محصول ژئوپلیمری بر اساس الگوی XRD هر نمونه خمیر شناسایی شدند. مشخصات ریزساختاری با اندازه گام ۰٫۰۵ درجه (۲θ) توسط دستگاه پراش اشعه ایکس مدل PW1730 Philips با تابش Cu Kα با طول موج ۱٫۵۴۰۶ Å در ۴۰ کیلو ولت و ۳۰ میلی آمپر ارزیابی شد.

طبیعی کم تر از خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی می باشد که علت آن کم تر بودن چگالی پودر زئولیت طبیعی نسبت به سرباره کوره آهن گدازی است. در شکل ۸ ملاحظه می گردد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، چگالی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو از ۱۹۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود که در این نوع خمیرها، با افزایش نسبت Al/Bi از ۰٫۵ به ۰٫۷، چگالی از ۲۱۲۶ به ۱۷۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می یابد.

خاکستر برگ بامبو افزایش می یابد. بر اساس نتایج بدست آمده، در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی، با افزایش مقدار جایگزینی ماده پایه با خاکستر برگ بامبو از ۰ تا ۱۰٪، زمان گیرش اولیه و نهایی به ترتیب از ۱۴ به ۱۷ دقیقه و از ۲۹ به ۳۴ دقیقه افزایش می یابد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی، با جایگزینی ۱۰٪ از وزن ماده پایه با خاکستر برگ بامبو، زمان گیرش اولیه و نهایی به ترتیب از ۱۷ به ۲۱ دقیقه و از ۳۵ به ۴۱ دقیقه افزایش می یابد. زمان گیرش ژئوپلیمرها تحت تأثیر ترکیبات شیمیایی موجود در ماده پایه مانند CaO ، SiO_2 و Al_2O_3 قرار دارد. وقتی مقادیر اکسیدهای CaO ، SiO_2 و Al_2O_3 در مواد پایه افزایش می یابد و همچنین نسبت جرمی SiO_2 به Al_2O_3 کاهش می یابد، فرآیند ژئوپلیمریزاسیون تسریع می شود و زمان گیرش کوتاه تر می شود. سرباره کوره آهن گدازی حاوی مقادیر بیشتری از CaO نسبت به پودر زئولیت طبیعی است. درحالی که، خاکستر برگ بامبو از مقدار کمتری از CaO تشکیل شده است. بنابراین، با جایگزینی بخشی از مواد خام با خاکستر برگ بامبو، زمان گیرش افزایش می یابد. خاکستر برگ بامبو حاوی مقادیر بیشتری از SiO_2 و همچنین مقادیر بسیار کمتری از Al_2O_3 نسبت به سرباره کوره آهن گدازی است. به این دلایل، زمان گیرش خمیر حاوی خاکستر برگ بامبو بیشتر است. بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی ماده پایه، مشخص است که مقادیر اکسیدهای CaO ، SiO_2 و Al_2O_3 موجود در سرباره کوره آهن گدازی بیشتر از پودر زئولیت طبیعی است، بنابراین زمان گیرش خمیر بر پایه سرباره کوره آهن گدازی کوتاه تر از خمیر بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی است. در شکل ۹ مشاهده می شود که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو به ترتیب از ۲۱ به ۱۳ دقیقه و از ۴۱ به ۲۷ دقیقه کاهش می یابد. این کاهش در زمان گیرش می تواند ناشی از قلیائیت بالا محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶ نسبت به ۸ مول در لیتر باشد. محلول هیدروکسید سدیم با غلظت بالا سریعاً با مواد پایه واکنش داده و موجب کوتاه شدن زمان گیرش می گردد. علاوه بر این در این نوع خمیر، با افزایش نسبت Al/Bi از ۰٫۵ به ۰٫۷، مقادیر گیرش اولیه و نهایی به ترتیب

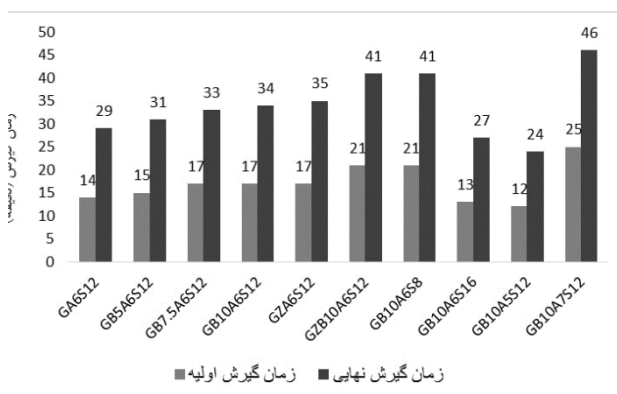
طبیعی کم تر از خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی می باشد که علت آن کم تر بودن چگالی پودر زئولیت طبیعی نسبت به سرباره کوره آهن گدازی است. در شکل ۸ ملاحظه می گردد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، چگالی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو از ۱۸۹۷ به ۱۹۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود که در این نوع خمیرها، با افزایش نسبت Al/Bi از ۰٫۵ به ۰٫۷، چگالی از ۲۱۲۶ به ۱۷۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می یابد.



شکل ۸- چگالی ظاهری خمیرهای ژئوپلیمری تازه

۳-۱-۲- زمان گیرش اولیه و نهایی

در شکل ۹، زمان گیرش اولیه و نهایی خمیرهای ژئوپلیمرمورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۹- زمان گیرش اولیه و نهایی خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه

همانطور که نشان داده شده است، در خمیرهای ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی، هر دو زمان گیرش اولیه و نهایی با افزایش مقدار

در پودر زئولیت طبیعی کمتر است. علاوه بر این، ترکیب اصلی موجود در خاکستر برگ بامبو SiO_2 است و سایر ترکیبات در مقادیر کمتری هستند. بنابراین، حداقل مقدار اسلامپ به خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی تعلق دارد. دلیل اصلی کارایی کمتر خمیر ژئوپلیمر مبتنی بر سرباره کوره آهن گدازی، واکنش شیمیایی اولیه و تشکیل سریع محصولات ژئوپلیمری است. اگر بخشی از مواد پایه با خاکستر برگ بامبو جایگزین شود، محتوای کمتری از اجزای فعال در سیستم موجود است و در نتیجه به دلیل واکنش پذیری ضعیف اولیه، مقدار اسلامپ افزایش می یابد. نتایج ارائه شده در شکل ۱۰ نشان می دهد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، اسلامپ خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو از ۲۸۷ به ۲۴۴ میلیمتر کاهش می یابد. این کاهش در اسلامپ می تواند ناشی از قلیائیت بالا محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶ مول در لیتر نسبت به ۸ مول در لیتر باشد. محلول هیدروکسید سدیم با غلظت بالا سریعاً با مواد پایه واکنش داده و موجب کاهش کارایی می گردد. از شکل ۱۰ ملاحظه می گردد که با افزایش نسبت Al/Bi از ۰/۵ به ۰/۷، اسلامپ خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/خاکستر برگ بامبو از ۲۲۶ به ۳۱۹ میلیمتر افزایش می یابد. با افزایش نسبت Al/Bi ، مقدار آب موجود در سیستم افزایش در نتیجه کارایی خمیر افزایش می یابد.

۳-۲- خواص مکانیکی

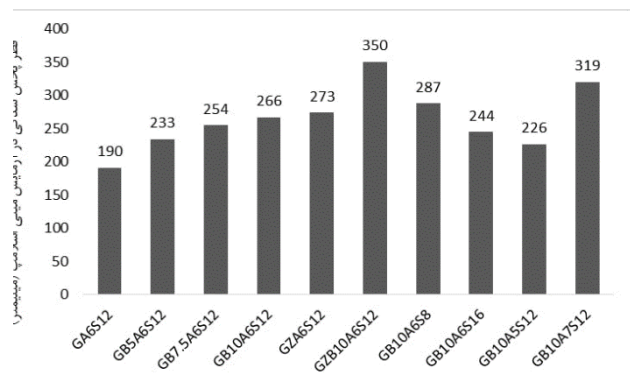
۳-۲-۱- مقاومت فشاری

در شکل ۱۱، مقاومت فشاری خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که مقاومت مکانیکی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو، کاهش می یابد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که مقاومت فشاری خمیر ژئوپلیمر بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی کمتر از مقاومت خمیر بر پایه سرباره کوره آهن گدازی است. بر اساس نتایج بدست آمده، وقتی تا ۱۰٪ از وزن سرباره کوره آهن گدازی با خاکستر برگ بامبو جایگزین می شود، مقاومت فشاری به ترتیب از ۴۶،۸۹ به ۱۹،۳۷ مگاپاسکال و از ۳۴،۶۶ به ۱۴،۲۷ مگاپاسکال در خمیر ژئوپلیمری

از ۱۲ به ۲۵ دقیقه و از ۲۴ به ۴۶ دقیقه افزایش می یابد. با افزایش نسبت Al/Bi ، مقدار آب موجود در سیستم افزایش می یابد. حضور آب موجب تاخیر در روند ژئوپلیمریزاسیون شده و در نتیجه زمان گیرش طولانی تر می شود.

۳-۱-۳- کارایی

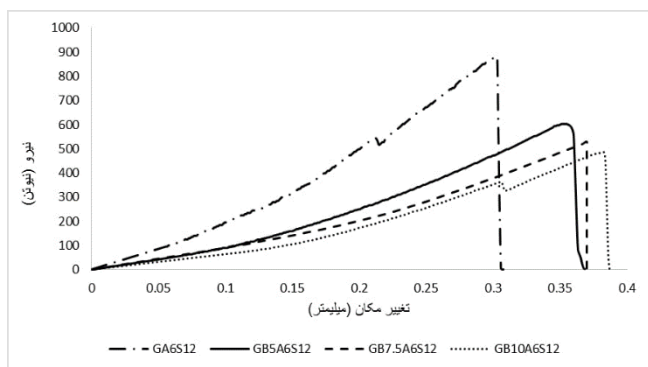
در شکل ۱۰، مقادیر اسلامپ خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی، مقدار اسلامپ افزایش می یابد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که مقادیر اسلامپ خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی بیشتر از خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی است. به این معنی که پودر زئولیت طبیعی موجب افزایش کارایی خمیر ژئوپلیمر مبتنی بر سرباره کوره آهن گدازی می شود.



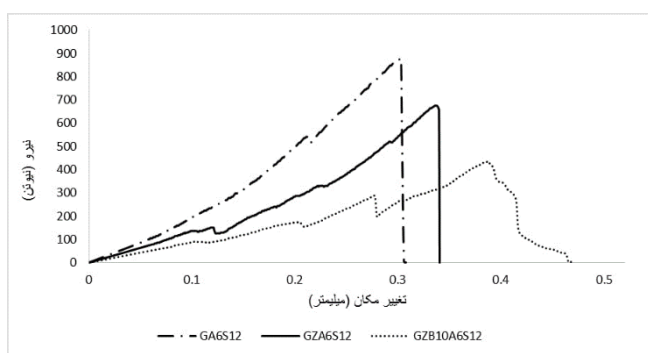
شکل ۱۰- قطر پخش شدگی بدست آمده از آزمایش مینی

اسلامپ برای خمیرهای مورد مطالعه

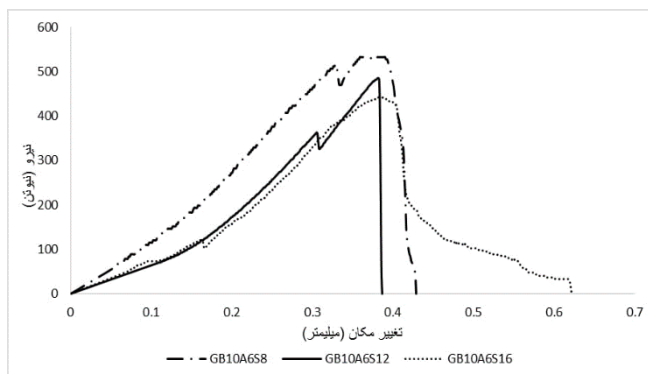
بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو به ۱۰ درصد از وزن مواد پایه، مقادیر اسلامپ برای خمیرهای ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی به ترتیب از ۱۹۰ به ۲۶۶ میلی متر و از ۲۷۳ به ۳۵۰ میلی متر افزایش می یابد. کارایی خمیر ژئوپلیمر تحت تأثیر عواملی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه است. سرباره کوره آهن گدازی علاوه بر نرمی بلین زیادتر، حاوی مقادیر بیش تری از اجزای فعال مانند SiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 و MgO است، در حالی که مقادیر این ترکیبات



شکل ۱۲- نمودار بار-تغییر مکان وسط دهانه نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی حاوی مقادیر مختلف خاکستر برگ بامبو



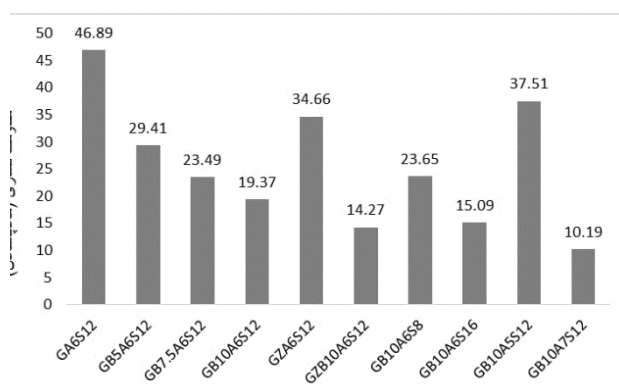
شکل ۱۳- نمودار بار-تغییر مکان وسط دهانه نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی با و بدون خاکستر برگ بامبو



شکل ۱۴- نمودار بار-تغییر مکان وسط دهانه نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/ خاکستر برگ بامبو حاوی محلول هیدروکسید سدیم با غلظت های مختلف

مدول گسیختگی خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه در شکل ۱۶ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش درصد جایگزینی خاکستر برگ بامبو تا ۱۰٪ از وزن ماده پایه، مدول گسیختگی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و و

بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی کاهش می یابد. نتایج ارائه شده در شکل ۱۱ نشان می دهد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، مقاومت فشاری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/خاکستر برگ بامبو از ۲۳،۶۵ به ۱۵،۰۹ مگاپاسکال کاهش می یابد. علاوه بر این، ملاحظه می گردد که در این نوع خمیر، با افزایش نسبت Al/Bi ، مقاومت فشاری از ۳۷،۵۱ به ۱۰،۱۹ مگاپاسکال کاهش می یابد.

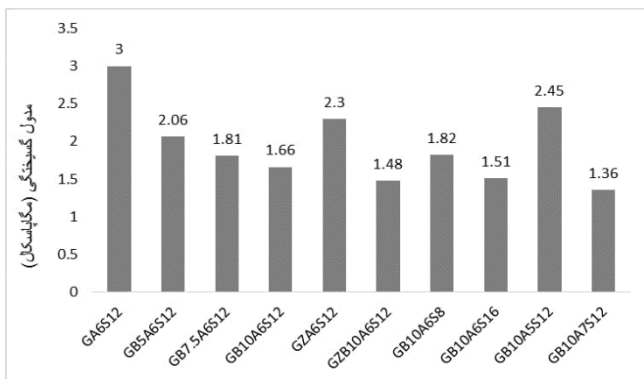


شکل ۱۱- مقاومت فشاری خمیر های مورد مطالعه

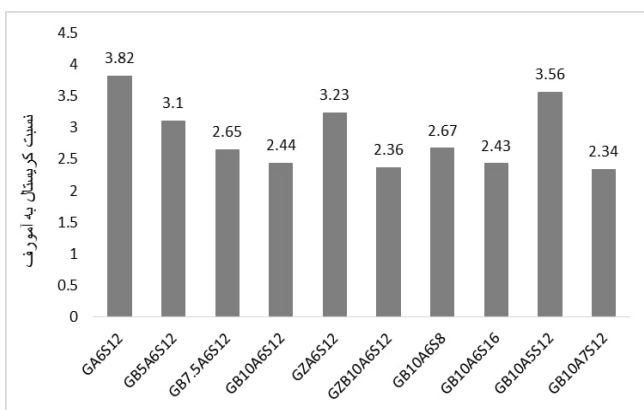
۳-۲-۲- مقاومت خمشی

نمودار بار-تغییر مکان وسط دهانه به دست آمده از آزمایش های خمشی سه نقطه ای انجام شده بر روی نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری در شکل های ۱۲-۱۵ نشان داده شده اند. مقادیر بار حداکثر و تغییر مکان متناظر با بار حداکثر در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش مقادیر خاکستر برگ بامبو در خمیر های مورد مطالعه، بار حداکثر حاصل از آزمایش خمشی سه نقطه ای، کاهش و تغییر مکان متناظر با آن افزایش می یابد. علاوه بر این ملاحظه می گردد که بار حداکثر بدست آمده از نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و تغییر مکان متناظر با آن به ترتیب بیش تر و کم تر از مقادیر این پارامترها در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی است. شکل های ۱۴ و ۱۵ نشان می دهد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر و همچنین افزایش نسبت Al/Bi از ۰/۵ به ۰/۷ بار حداکثر و تغییر مکان نظیر آن در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/خاکستر برگ بامبو به ترتیب کاهش و افزایش یافته است.

شکل های ۱۸ تا ۲۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج ارائه شده ملاحظه می گردد که کلیت فاز کریستالی اصلی شناسایی شده در نمونه های مورد بررسی می باشد. در شکل های ۱۸ و ۱۹ به ترتیب الگوهای پراش اشعه ایکس مربوط به خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی حاوی مقادیر مختلف خاکستر برگ بامبو ارائه شده است.



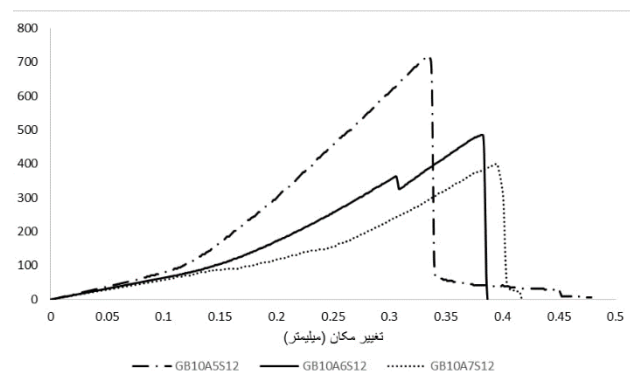
شکل ۱۶- مدول گسیختگی خمیر های مورد مطالعه



شکل ۱۷- نسبت کریستال به آمورف در خمیر های ژئوپلیمری مورد مطالعه

ملاحظه می گردد که با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو، ناحیه کوژ موجود در الگوی پراش اشعه ایکس افزایش می یابد، در حالی که شدت قله های مربوط به فازهای کریستالی کاهش می یابد. علاوه بر این، نتایج ارائه شده در شکل ۱۷ نشان می دهد که در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی، وقتی تا ۱۰٪ از وزن مواد پایه با خاکستر برگ بامبو جایگزین می شود، نسبت کریستال به آمورف در محصول ژئوپلیمری به ترتیب از ۳.۸۲ به ۲.۴۴ و از ۳.۲۳ به ۲.۳۶ کاهش می یابد. این بدان معنی

خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر زئولیت طبیعی به ترتیب از ۳ به ۱.۶۶، مگاپاسکال و از ۲.۳ به ۱.۴۸، مگاپاسکال کاهش می یابد. نتایج ارائه شده در شکل ۱۶ نشان می دهد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر و همچنین نسبت Al/Bi از ۰/۵ به ۰/۷، مقادیر مدول گسیختگی نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/خاکستر برگ بامبو به ترتیب از ۱.۸۲ به ۱.۵۱، مگاپاسکال و از ۲.۴۵ به ۱.۳۶، مگاپاسکال کاهش می یابد.



شکل ۱۵- نمودار بار-تغییر مکان وسط دهانه نمونه های منشوری خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/ خاکستر برگ بامبو با نسبت های مختلف Al/Bi

جدول ۳- مقادیر بار حداکثر و تغییر مکان متناظر در نمونه های منشوری خمیر های ژئوپلیمری مورد مطالعه

تغییر مکان وسط دهانه نظیر بار حداکثر (میلیمتر)	نیرو (نیوتن)	طرح مخلوط
0.303	879.17	GA6S12
0.355	602.83	GB5A6S12
0.37	530.57	GB7.5A6S12
0.382	485.4	GB10A6S12
0.338	675.18	GZA6S12
0.388	434.84	GZB10A6S12
0.372	532.39	GB10A6S8
0.387	442.56	GB10A6S16
0.335	718.08	GB10A5S12
0.395	398.21	GB10A7S12

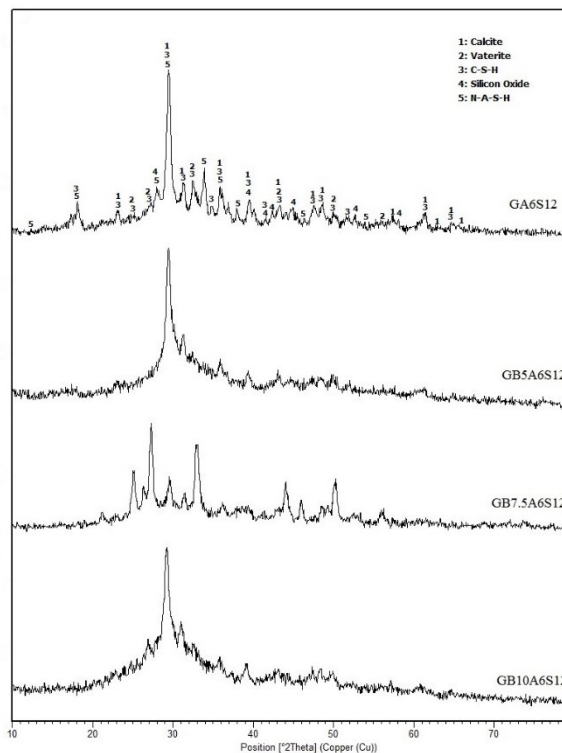
۳-۳- مشخصات ریزساختاری

در شکل ۱۷، نسبت کریستال به آمورف در محصولات ژئوپلیمری تشکیل شده در خمیرهای مورد مطالعه ارائه شده است. الگوهای پراش اشعه ایکس مربوط به خمیرهای ژئوپلیمری مورد مطالعه، در

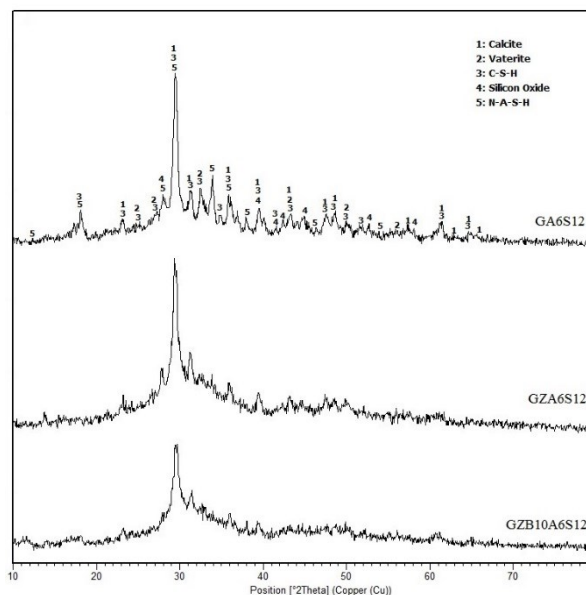
مواد اولیه با CO_2 جو واکنش داده و در نتیجه کربنات کلسیم تولید می‌شود. از طرف دیگر، بقیه عناصر کلسیمی در ژئوپلیمریزاسیون شرکت می‌کنند و در تولید C-S-H شرکت می‌کنند. سرباره کوره آهن‌گدازی حاوی تعداد زیادی از عناصر کلسیم است، در حالی که این عنصر در تعداد کمتری در خاکستر برگ بامبو موجود است. بنابراین، وقتی بخشی از سرباره کوره آهن‌گدازی با خاکستر برگ بامبو جایگزین می‌شود، تعداد عناصر کلسیم در سیستم کاهش می‌یابد و بنابراین محتوای کمتری از فازهای کریستالی کلسیت، واتریت و C-S-H تشکیل می‌شود. دلیل دیگر کاهش شدت پیک فازهای کریستالی با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو می‌تواند اندازه بزرگتر ذرات آن در مقایسه با ذرات سرباره کوره آهن‌گدازی باشد. با افزایش اندازه ذرات ماده پایه، پتانسیل واکنش پذیری آن کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که واکنش پذیری خاکستر برگ بامبو، به دلیل ذرات بزرگتر آن، می‌تواند کمتر از سرباره کوره آهن‌گدازی باشد. به همین دلایل، با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو، مقدار کمتری از فازهای کریستالی تشکیل شده و در نتیجه مقاومت مکانیکی خمیر ژئوپلیمر سخت شده کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشخص است که خواص ریزساختاری (نسبت کریستال به آمورف) و مکانیکی خمیرهای ژئوپلیمری دارای روند تغییرات مشابهی هستند. در جزئیات بیشتر، با کاهش محتویات فازهای کریستالی تشکیل شده، مقاومت مکانیکی خمیرهای ژئوپلیمر نیز کاهش می‌یابد.

در شکل های ۲۰ و ۲۱، الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی/خاکستر برگ بامبو حاوی محلول هیدروکسید سدیم با غلظت‌های مختلف و همچنین نسبت های مختلف Al/Bi نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم و نسبت Al/Bi، ناحیه کوژ موجود در الگوی پراش اشعه ایکس و همچنین شدت قله های مربوط به فازهای کریستالی کاهش می‌یابد. نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ و افزایش نسبت Al/Bi از ۰/۶ به ۰/۷، نسبت کریستال به آمورف به ترتیب از ۲,۶۷ به ۲,۴۳ و از ۳,۵۶ به ۲,۳۴ کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت Al/Bi، مقدار کل آب، تعداد یون های هیدروکسیل و همچنین کاتیونها (مانند Na^+

است که در اثر جایگزینی خاکستر برگ بامبو با ماده پایه، فاز آمورف افزایش یافته و محتویات فازهای کریستالی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی حاوی خاکستر برگ بامبو



شکل ۱۹- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی/بودر زئولیت طبیعی حاوی خاکستر برگ بامبو

در فرآیند ژئوپلیمریزاسیون تعدادی از عناصر کلسیم موجود در

اسید سیلیسیک می‌شود که به ساختار ژئوپلیمر حمله می‌کند و بر خواص آن تأثیر منفی می‌گذارد [۶۴]، (۲) همچنین ممکن است ویسکوزیته بالاتر محلول منجر به جلوگیری از انحلال آسان اتم های سیلیس و آلومینا از ماده پایه شود و در نتیجه فرایند ژئوپلیمریزاسیون را مختل کند [۶۵] و (۳) مقادیر بیش از حد یون های هیدروکسید در غلظت های بالای محلول هیدروکسید سدیم باعث ایجاد مشکلاتی در فرایند ژئوپلیمریزاسیون می شود [۶۶].

۴- نتیجه گیری

در مقاله حاضر، اثر خاکستر برگ بامبو بر مشخصات خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی بررسی شده است. نتایج اصلی به دست آمده به شرح زیر است:

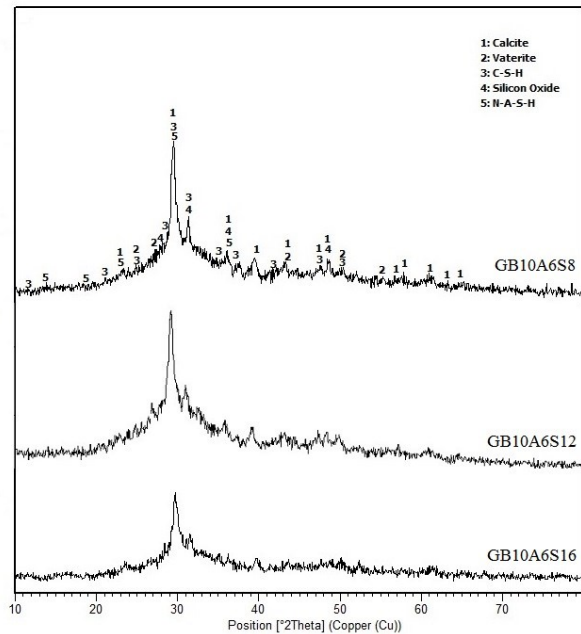
- جایگزینی ۱۰٪ از وزن ماده پایه با خاکستر برگ بامبو زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی را به ترتیب برابر ۲۱،۴۳٪ و ۱۷،۲۴٪ افزایش می دهد. همچنین این جایگزینی زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی را به ترتیب ۲۳،۵۳٪ و ۱۷،۱۴٪ افزایش می دهد.

- جایگزینی ۱۰٪ از وزن ماده پایه با خاکستر برگ بامبو کارایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی را ۴۰٪ افزایش می دهد. همچنین این جایگزینی کارایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی را ۲۸،۲۱٪ افزایش می دهد.

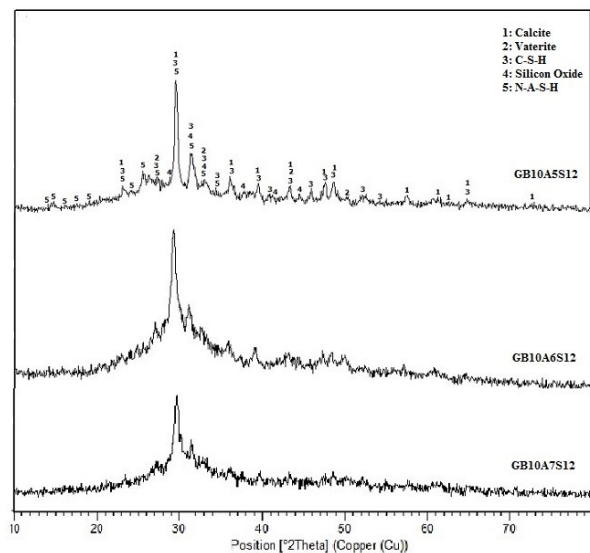
- با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو تا ۱۰٪ از وزن ماده پایه، نسبت مقدار فازهای کریستالی به آمورف در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی به ترتیب ۳۶،۱۳٪ و ۲۶،۹۳٪ کاهش می یابد.

- در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی، جایگزینی ۱۰٪ از وزن ماده پایه با خاکستر برگ بامبو موجب کاهش ۵۸،۶۹٪ و ۴۴،۶۷٪ در مقاومت فشاری و مدول گسیختگی می شود. در خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/پودر ژئولیت طبیعی افزایش جایگزینی تا ۱۰٪ از وزن ماده پایه موجب کاهش

در سیستم افزایش می‌یابد. این موارد مانع فرایند ژئوپلیمریزاسیون شده و باعث می‌شود محتوای کمتری از شبکه ژئوپلیمری با ریزساختار ضعیف تر تشکیل شود [۵۷-۶۳].



شکل ۲۰- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/ خاکستر برگ بامبو حاوی محلول هیدروکسید سدیم با غلظت های مختلف



شکل ۲۱- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/ خاکستر برگ بامبو با نسبت های مختلف Al/Bi

علاوه بر این، با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم (۱) مقدار زیادی اتم سیلیس در محلول حل می شود. این منجر به تشکیل

curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*. 2017 Jun 1;140:424-31.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.131>
[8] Nie Q, Hu W, Ai T, Huang B, Shu X, He Q. Strength properties of geopolymers derived from original and desulfurized red mud cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*. 2016 Oct 30;125:905-11.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.144>
[9] Pouhet R, Cyr M. Formulation and performance of flash metakaolin geopolymer concretes. *Construction and Building Materials*. 2016 Sep 1;120:150-60.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.061>
[10] Okoye, F. N., Durgaprasad, J., & Singh, N. B. (2016). Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete. *Ceramics International*, 42(2), 3000-3006. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.084>

[11] Heah CY, Kamarudin H, Al Bakri AM, Bnhussain M, Luqman M, Nizar IK, Ruzaidi CM, Liew YM. Study on solids-to-liquid and alkaline activator ratios on kaolin-based geopolymers. *Construction and Building Materials*. 2012 Oct 1;35:912-22.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.102>
[12] Nikolov A, Rostovsky I, Nugteren H. Geopolymer materials based on natural zeolite. *Case Studies in Construction Materials*. 2017 Jun 1;6:198-205.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.001>
[13] Moukannaa S, Loutou M, Benzaazoua M, Vitola L, Alami J, Hakkou R. Recycling of phosphate mine tailings for the production of geopolymers. *Journal of Cleaner Production*. 2018 Jun 1;185:891-903. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.094>

[14] Ahmari S, Zhang L. Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. *Construction and building materials*. 2012 Apr 1;29:323-31. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.048>

[15] dos Santos LF, de Carvalho JM, Peixoto RA, Brigolini GJ. Iron ore tailing-based geopolymer containing glass wool residue: A study of mechanical and microstructural properties. *Construction and Building Materials*. 2019 Sep 30;220:375-85. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.181>

[16] Kaur K, Singh J, Kaur M. Compressive strength of rice husk ash based geopolymer: The effect of alkaline activator. *Construction and Building Materials*. 2018 Apr 30;169:188-92. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.200>

و ۵۸٫۸۳٪ و ۳۵٫۶۵٪ به ترتیب در مقاومت فشاری و مدول گسیختگی می شود.

- با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم از ۸ به ۱۶ مول در لیتر، مقاومت فشاری و مدول گسیختگی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی/خاکستر برگ بامبو به ترتیب ۳۶٫۱۹٪ و ۱۷٫۰۳٪ کاهش می یابد. علاوه بر این، کارایی، زمان گیرش اولیه و زمان گیرش نهایی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو به ترتیب ۱۴٫۹۸٪، ۳۸٫۱٪ و ۳۴٫۱۵٪ کاهش می یابد.

- با افزایش نسبت Al/Bi از ۰٫۵ به ۰٫۷، مقاومت فشاری و مدول گسیختگی خمیر ژئوپلیمری بر پایه سرباره کوره آهن گدازی و خاکستر برگ بامبو به ترتیب ۷۲٫۸۳٪ و ۴۴٫۴۹٪ کاهش می یابد. علاوه بر این کارایی، زمان گیرش اولیه و زمان گیرش نهایی به ترتیب ۴۱٫۱۵٪، ۱۰۸٫۳٪ و ۹۱٫۶۷٪ افزایش می یابد.

۵- مراجع

[1] Schneider M, Romer M, Tschudin M, Bolio H. Sustainable cement production—present and future. *Cement and concrete research*. 2011 Jul 1;41(7):642-50.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>
[2] Jindal BB. Investigations on the properties of geopolymer mortar and concrete with mineral admixtures: A review. *Construction and Building Materials*. 2019 Dec 10;227:116644. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.025>

[3] Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications 3* (Saint-Quentin, France: Geopolymer Institute).

[4] Davidovits J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and calorimetry*. 1991 Aug 1;37(8):1633-56. <https://doi.org/10.1007/bf01912193>

[5] Part WK, Ramli M, Cheah CB. An overview on the influence of various factors on the properties of geopolymer concrete derived from industrial by-products. *Construction and Building Materials*. 2015 Feb 15;77:370-95. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.065>

[6] Fan F, Liu Z, Xu G, Peng H, Cai CS. Mechanical and thermal properties of fly ash based geopolymers. *Construction and Building Materials*. 2018 Jan 30;160:66-81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.023>

[7] Hadi MN, Farhan NA, Sheikh MN. Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient

- Building Materials*, 79, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.068>
- [28] Cao, R., Zhang, S., Banthia, N., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2020). Interpreting the early-age reaction process of alkali-activated slag by using combined embedded ultrasonic measurement, thermal analysis, XRD, FTIR and SEM. *Composites Part B: Engineering*, 186, 107840. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.107840>
- [29] Brough, A. R., & Atkinson, A. (2002). Sodium silicate-based, alkali-activated slag mortars: Part I. Strength, hydration and microstructure. *Cement and concrete research*, 32(6), 865-879. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00717-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00717-2)
- [30] Wang, S. D., & Scrivener, K. L. (2003). ²⁹Si and ²⁷Al NMR study of alkali-activated slag. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 769-774. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01044-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01044-X)
- [31] Haha, M. B., Le Saout, G., Winnefeld, F., & Lothenbach, B. (2011). Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 301-310. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.016>
- [32] Shariati, M., Shariati, A., Trung, N. T., Shoaie, P., Ameri, F., Bahrami, N., & Zamanabadi, S. N. (2021). Alkali-activated slag (AAS) paste: Correlation between durability and microstructural characteristics. *Construction and Building Materials*, 267, 120886. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120886>
- [33] Bayat, A., Hassani, A., & Yousefi, A. A. (2018). Effects of red mud on the properties of fresh and hardened alkali-activated slag paste and mortar. *Construction and Building Materials*, 167, 775-790. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.105>
- [34] Fu, B., Cheng, Z., Han, J., & Li, N. (2021). Understanding the Role of Metakaolin towards Mitigating the Shrinkage Behavior of Alkali-Activated Slag. *Materials*, 14(22), 6962. <https://doi.org/10.3390/ma14226962>
- [35] Erfanimanesh, A., & Sharbatdar, M. K. (2020). Mechanical and microstructural characteristics of geopolymers paste, mortar, and concrete containing local zeolite and slag activated by sodium carbonate. *Journal of Building Engineering*, 32, 101781. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101781>
- [36] Singh NB, Singh VD, Rai S. Hydration of bagasse ash-blended Portland cement. *Cem Concr Res* 2000;30:1485-8. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00324-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00324-0)
- [37] Rainho S, Eunice A, Tadeu G, Fidel A. Sugar cane bagasse ash as a potential quartz replacement [17] Ribeiro RA, Ribeiro MG, Sankar K, Kriven WM. Geopolymer-bamboo composite—A novel sustainable construction material. *Construction and Building Materials*. 2016 Oct 1;123:501-7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.037>
- [18] Bashar II, Alengaram UJ, Jumaat MZ, Islam A, Santhi H, Sharmin A. Engineering properties and fracture behaviour of high volume palm oil fuel ash based fibre reinforced geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*. 2016 May 15;111:286-97. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.022>
- [19] Bernal SA, de Gutiérrez RM, Pedraza AL, Provis JL, Rodriguez ED, Delvasto S. Effect of binder content on the performance of alkali-activated slag concretes. *Cement and concrete research*. 2011 Jan 1;41(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.08.017>
- [20] Singh B, Ishwarya G, Gupta M, Bhattacharyya SK. Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Construction and building materials*. 2015 Jun 15;85:78-90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036>
- [21] Li, C., Sun, H., & Li, L. (2010). A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+ Ca) and metakaolin (Si+ Al) cements. *Cement and concrete research*, 40(9), 1341-1349. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.020>
- [22] Park, H., Jeong, Y., Jeong, J. H., & Oh, J. E. (2016). Strength development and hydration behavior of self-activation of commercial ground granulated blast-furnace slag mixed with purified water. *Materials*, 9(3), 185. <https://doi.org/10.3390/ma9030185>
- [23] Amer, I., Kohail, M., El-Feky, M. S., Rashad, A., & Khalaf, M. A. (2021). A review on alkali-activated slag concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1475-1499. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.003>
- [24] Fu, Q., Bu, M., Zhang, Z., Xu, W., Yuan, Q., & Niu, D. (2021). Hydration Characteristics and Microstructure of Alkali-Activated Slag Concrete: A Review. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.07.026>
- [25] Garcia-Lodeiro I, Fernández-Jimenez A, Pena P, Palomo A. Alkaline activation of synthetic aluminosilicate glass. *Ceram Int* 2014;40(4):5547-58. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.10.146>
- [26] Provis JL, van Deventer JSJ. Alkali activated materials, RILEM State-of-the-Art Reports 13. Dordrecht: Springer; 2014.
- [27] Gu, Y. M., Fang, Y. H., You, D., Gong, Y. F., & Zhu, C. H. (2015). Properties and microstructure of alkali-activated slag cement cured at below-and about-normal temperature. *Construction and*

<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00418>

[49] Villar-Cociña, E., Rodier, L., Savastano, H., Lefrán, M., & Rojas, M. F. (2020). A comparative study on the pozzolanic activity between bamboo leaves ash and silica fume: kinetic parameters. *Waste and Biomass Valorization*, 11(4), 1627-1634. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00556-y>

[50] Preethi, P., Sintha, N., Raj, M. P., Tamilarasan, K., & Vinith, R. (2020). Exploration on geopolymer concrete using GGBS and silica fume. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.768>

[51] Liang, G., Zhu, H., Li, H., Liu, T., & Guo, H. (2021). Comparative study on the effects of rice husk ash and silica fume on the freezing resistance of metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 293, 123486. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123486>

[52] ASTM, C191-18a. Standard Test Methods for Time of Setting Hydraulic Cement by Vicat Needle; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2018.

[53] ASTM, C1437-15. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar; ASTM International West Conshohocken, PA, USA, 2015.

[54] The European Committee for Standardization. EN 1015-6. Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 6: Determination of Bulk Density of Fresh Mortar; CEN: Brussels, Belgium, 1999.

[55] ASTM C109-16a. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens); ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2016.

[56] ASTM. C348-02. Standard Test Method for flexural strength and modulus of hydraulic cement mortars. ASTM; ASTM International West Conshohocken, PA, USA, 2002.

[57] Ruiz-Santaquiteria C, Skibsted J, Fernández-Jiménez A, Palomo A. Alkaline solution/binder ratio as a determining factor in the alkaline activation of aluminosilicates. *Cement and Concrete Research*. 2012 Sep 1;42(9):1242-51.

[58] Hadi MN, Farhan NA, Sheikh MN. Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*. 2017 Jun 1;140:424-31.

[59] Martínez JG, Pariente JP, editors. *Materiales zeolíticos: síntesis, propiedades y aplicaciones*. Publicaciones de la Universidad de Alicante; 2003.

[60] Hunger B, Klepel O, Kirschhock C, Heuchel M, Toufar H, Fuess H. Interaction of water with alkalimetal cation-exchanged X type zeolites: A temperature-programmed desorption (TPD) and X-

in red ceramic. *J AM Ceram Soc* 2008;91:1883–7. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.02212.x>

[38] Chusilp N, Jaturapitakkul C, Kiattikomol K. Effects of LOI ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars. *Constr Build Mater* 2009;23:3523–31. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.046>

[39] Frías M, Villar-Cociña E, Valencia E. Characterization of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: calcining temperature and kinetic parameters. *Waste Manage* 2007;27:533–8. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.017>

[40] Villar-Cociña E, Frías M, Valencia E. Sugar cane wastes as pozzolanic materials: application of mathematic model. *ACI Mater J* 2008;105:258–64.

[41] Frías M, Villar E, Savastano H. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. *Cem Concr Compos* 2011;33:490–6. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.02.003>

[42] Savastano JR H, Warden PG, Coutts RSP. Microstructure and mechanical properties of waste fibre-cement composites. *Cem Concr Comp* 2005;27:583–92. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.009>

[43] Frías, M., Savastano, H., Villar, E., de Rojas, M. I. S., & Santos, S. (2012). Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. *Cement and Concrete Composites*, 34(9), 1019-1023. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.05.005>

[44] Dwivedi VN, Singh NP, Das SS, Singh NB. A new pozzolanic material for cement industry: bamboo leaf ash. *J Phys Sci* 2006;1:106–11. <https://doi.org/10.5897/IJPS.9000022>

[45] Singh NB, Das SS, Singh NP, Dwivedi VN. Hydration of bamboo leaf ash blended Portland cement. *J Eng Mater Sci* 2007;14:69–76.

[46] Moraes, M. J. B., Moraes, J. C. B., Tashima, M. M., Akasaki, J. L., Soriano, L., Borrachero, M. V., & Payá, J. (2019). Production of bamboo leaf ash by auto-combustion for pozzolanic and sustainable use in cementitious matrices. *Construction and Building Materials*, 208, 369-380. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.007>

[47] Silva, L. H. P., Tamashiro, J. R., de Paiva, F. F. G., dos Santos, L. F., Teixeira, S. R., Kinoshita, A., & Antunes, P. A. (2021). Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement. *Journal of Building Engineering*, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102769>

[48] Olawale, O. (2020). Bamboo leaves as an alternative source for silica in ceramics using Box Benhken design. *Scientific African*, 8, e00418.

- ray diffraction study. *Langmuir*. 1999 Aug 31;15(18):5937-41.
- [61] Ng EP, Mintova S. Nanoporous materials with enhanced hydrophilicity and high water sorption capacity. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2008 Sep 1;114(1-3):1-26.
- [62] Chindapasirt P, De Silva P, Sagoe-Crentsil K, Hanjitsuwan S. Effect of SiO₂ and Al₂O₃ on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems. *Journal of Materials Science*. 2012 Jun 1;47(12):4876-83.
- [63] Part WK, Ramli M, Cheah CB. An overview on the influence of various factors on the properties of geopolymer concrete derived from industrial by-products. *Construction and Building Materials*. 2015 Feb 15;77:370-95.
- [64] Escalante-García JI, Gorokhovskiy AV, Mendoza G, Fuentes AF. Effect of geothermal waste on strength and microstructure of alkali-activated slag cement mortars. *Cement and concrete research*. 2003 Oct 1;33(10):1567-74.
- [65] Chindapasirt P, Jaturapitakkul C, Chalee W, Rattanasak U. Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste management*. 2009 Feb 1;29(2):539-43.
- [66] Somna K, Jaturapitakkul C, Kajitvichyanukul P, Chindapasirt P. NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. *Fuel*. 2011 Jun 1;90(6):2118-24.

Fresh, microstructural and mechanical properties of the GGBFS/bamboo leaf ash based geopolymer paste

Ali Sadrmomtazi

Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Ebrahim Rashidi Fard*

Civil Department, University of Guilan, University Campus 2, Rasht, Iran.

Abstract

Ground Granulated Blast furnace slag (the GGBFS) is known as a potential by-product that can be used as a source of alumina-silicate in production of the geopolymers. The GGBFS based geopolymers possess disadvantages such as high shrinkage, low workability and short setting time. It has been proven that these defects can be reduced by partial replacement of the GGBFS by the other low calcium alumina-silicate materials. The bamboo leaf ash (BLA), which contains high content of SiO_2 and low content of CaO , can be one of these materials. In this article, the effects of bamboo leaf ash on fresh, microstructural and mechanical properties of the GGBFS and the GGBFS/natural zeolite powder based geopolymer pastes have been investigated. Moreover, effect of the NaOH solution concentration (i.e. 8, 12 and 16 mole/liter) and the Al/Bi ratio (i.e. 0.5, 0.6 and 0.7) on properties of the geopolymer pastes have been evaluated. The results show that the NZP increases the workability and setting time of the GGBFS based geopolymer paste. However, according to the results presented in the previous researches, the GGBFS based geopolymers containing high amounts of the NZP requires to be cured at high temperature to reach a desirable strength. Based on the results, replacing 10% wt. of the base materials by the BLA in the studied geopolymer pastes leads to an increase in the workability and setting time. While, this substitution results in reduction in the amount of crystalline phases produced and consequently a decrease in the mechanical characteristics. Based on the results, as the NaOH solution concentration increases from 8 to 16 mole/liter, the workability, setting time and mechanical characteristics of the GGBFS/BLA based geopolymer paste have been reduced. Moreover, in the GGBFS/BLA based geopolymer paste, increasing the Al/Bi ratio from 0.5 to 0.7 leads to increase in the workability and the setting time as well as reduction in the mechanical properties. From the results obtained, Although the BLA increases the workability and setting time of the GGBFS based geopolymer pastes, However, its use should be limited to a given amount so that not cause a significant decrease in the mechanical characteristics of the geopolymer paste.

Keywords: Bamboo Leaf Ash, GGBFS based Geopolymer Paste, Natural Zeolite Powder, Setting Time, Microstructural Properties, Mechanical Properties.

* Corresponding Author: rashidifard1384@yahoo.com

