نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی
سال هشتم/ شماره بیست و نهم /تابستان ۱۴۰۰

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
8th Year / No. 29 / September 2021

بررسی خواص سازه ای و هیدرولیکی بتن ژئوپلیمری سرباره ای حاوی نانوسیلیس و الیاف پلی اُلفین در سدهای بتنی

محمدحسین منصورقناعی[۱]
مرتضی بیک لریان[۲] *
علیرضا مردوخ پور[۳]

چکیده

در پژوهش حاضر جهت ساخت بتن ژئوپلیمری بمنظور بکارگیری در سدهای بتنی، ۶ طرح اختلاط شامل ۲۸۸ عدد نمونه بتنی از بتن کنترل حاوی سیمان پُرتلند و بتن ژئوپلیمری سرباره ای حاوی۰ تا ۸ درصد نانوسیلیس و ۱ تا ۲ درصد الیاف پلی اُلفین تهیه گردید که در سنین عمل آوری ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روزه تحت آزمایش های مکانیکی و دوام قرار گرفتند، بمنظور بررسی ریزساختاری در این پژوهش از آزمایش های XRF و SEM استفاده گردید. نتایج حاکی از بهبود میزان مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نفوذ ناپذیری آب، عدم جذب مویینه آب برای بتن ژئوپلیمری حاوی ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف پلی الفین(بعنوان طرح بهینه) نسبت به بتن کنترل، به ترتیب به میزان ۳٪، ۹٪، ۵۶ ٪ و ۶۵ برابر در سن ۹۰ روز عمل آوری بود. در این راستا حداکثر مقدار مقاومت فشاری و مقاومت کششی کسب شده به ترتیب ۸۲/۹۶ و ۵/۵۱ مگاپاسکال و حداقل میزان نفوذ آب در بتن ۱۳ میلیمتر و حداقل میزان سرعت جذب مویینه آب ۰/۰۴۹ $Cm/s^{1/2}$ برای بتن ژئوپلیمری بدست آمد. تصاویر SEM نشان از تقویت فرایند ژئوپلیمریزاسیون به واسطه تولید ژل های هیدراته بیشتر و بهبود ریزساختار بتن ژئوپلیمری با افزایش حضور نانو ذرات سیلیس بود.

واژه‌ها کلیدی:

بتن ژئوپلیمری، سرباره کوره آهنگدازی، نانوسیلیس، الیاف پلی اُلفین، سد بتنی ژئوپلیمری.

[۱]- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.
*[۲]- گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. M.biklaryan@iauc.ac.ir
[۳]- گروه مهندسی عمران، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰

مقدمه

تولید سیمان همواره با چالش هایی مواجه بوده است، ایجاد گاز سمی دی اکسیدکربن (CO_2) و انتشار آن در جو در راستای تولید سیمان یکی از این موارد می باشد، مصرف سوخت های فسیلی ناشی از سوخت کوره کارخانجات تولید سیمان از معایب دیگر تولید سیمان به شمار می رود، در این راستا دانشمندان به فکر یافتن ماده ای نوین حاوی مواد آلومینوسیلیکاتی با خواص پوزولانی بالا برای جایگزینی با سیمان در بتن بودند که بتواند ضمن برطرف کردن دغدغه های زیست محیطی، خواص مکانیکی و دوام بالایی را در بتن تامین نماید.

اصطلاح ژئوپلیمر اولین بار در سال۱۹۵۰ توسط پروفسور گلوخفسکی[۱] در اتحاد جماهیر شوروی مطرح شد و در ادامه توسط جزف دیویدویتس در سال ۱۹۷۹ مورد تحقیق قرار گرفت(دیتولیدو[۲] و همکاران، ۲۰۱۸). بتن ژئوپلیمری ماده ای نوین در صنعت سازه ای است که می تواند جایگزین مناسبی برای بتن معمولی باشد، در ساخت بتن ژئوپلیمری از سیمان معمولی استفاده نمی گردد و بجای آن از مواد ژئوپلیمری که دارای خواص چسبندگی بالایی می باشند بهره گرفته می شود، این مواد ضمن ایفای نقش چسبندگی بر اساس ماهیت خود، می توانند نقش پرکنندگی و هسته زایی را در ریزساختار بتن داشته باشند. ساختار اصلی بتن ژئوپلیمری از دو بخش تشکیل شده است، بخش اول شامل مواد پایه تشکیل دهنده ملات ژئوپلیمری می باشند که خاصیت چسبندگی و پر کنندگی دارد و از بهترین این مواد می توان به پوزولان هایی مانند سرباره کوره آهنگدازی و نانوسیلیس اشاره کرد، بخش دوم حاوی محلول های قلیایی مانند هیدراکسیدسدیم و سیلیکات سدیم هستند که نقش واکنش پذیری و فعال سازی را در مواجهه با مواد پایه را بر عهده دارند. ریزساختار بتن ژئوپلیمری به واسطه تشکیل ژل های هیدراته از قبیل سیلیکات کلسیم هیدراته[۳]، سیلیکات آلومینیم کلسیم هیدراته[۴] و سیلیکات آلومینیم سدیم هیدراته[۵] دارای ویژگی هایی فراوانی نسبت به سایر انواع بتن ها می باشد، این ویژگی ها شامل نقش چسبندگی، پرکنندگی و هسته زایی ذراتی از قبیل نانوسیلیس در برابر منافذ، حفرات و اجزاء تشکیل دهنده بتن ژئوپلیمری است که باعث گردیده تا به همراه سایر ویژگی های بتن، تاثیر بسزایی در خواص مکانیکی و هیدرولیکی این نوع از بتن ایجاد نماید. در این مطالعه آزمایشگاهی، تولید بتن ژئوپلیمری با خواص مکانیکی و دوام بالا، که بواسطه عدم مصرف سیمان منجر به کاهش تولید گاز CO_2 شده، از طرفی با مصرف سرباره انباشته شده در کارخانجات ذوب آهن، می تواند بعنوان مصالح حافظ محیط زیست معرفی و مورد استفاده قرار گیرد، این مزایا بعنوان جنبه های نوآورانه در تحقیق حاضر شناخته می شود.

ساخت نمونه و برنامه آزمایشگاهی

مصالح مصرفی

در این تحقیق، سرباره کوره آهنگدازی مصرفی در ساخت بتن ژئوپلیمری تحت استاندارد C989/C989MASTM مورد استفاده قرار گرفت و از کارخانه ذوب آهن اصفهان خریداری شد، مشخصات شیمیایی سرباره در جدول(۱) و مشخصات فیزیکی و مکانیک آن در جدول(۲) ارائه گردیده است.

جدول(۱): مشخصات شیمیایی سرباره کوره آهنگدازی

ماده موجود	درصد
CaO	۳۶/۷۲
SiO_2	۳۵/۵
Al_2O_3	۹/۱۷
Fe_2O_3	۷/۴۵
MgO	۶/۲۴
SO_3	۰/۱۲
Na_2O	۱/۲۱
K_2O	۰/۹۲
Tio_2	۲/۴۹
MnO	۰/۱۸

[۱] Glukhovsky

[۲] de Toledo

[۳] Tobermorite Gel (C-S-H)

[۴] Ettringite Gel (C-A-S-H)

[۵] Gel N-A-S-H

L.O.I	۰/۰۲

جدول(۲): مشخصات فیزیکی و مکانیکی سرباره

وزن مخصوص (kg/m^3)	۲۴۵۰
سطح مخصوص (Cm^2/gr)	۲۲۰۰
مدول الاستیسیته(Pa)	۱/۲
چگالی ظاهری(kg/m^3)	۹۶۰
اندازه ذرات(µm)	۲/۱
رنگ	کرم

نانوسیلیس مصرفی با خلوص ۹۹/۸ درصد بکارگرفته شد، این ماده از شرکت ایوونیک آلمان خریداری شده است، برخی از مشخصات نانوسیلیس مصرفی در این پژوهش مطابق جدول(۳) ارائه گردیده است. این محصول تولید شده شرکت ایوونیک آلمان می باشد.

جدول(۳): مشخصات نانوسیلیس

رنگ	سفید
حالت	جامد
وزن مخصوص(kg/m^3)	۲۴۰۰
قطر ذرات(nm)	۷ الی ۱۴
اندازه ذرات(nm)	۲۰ الی ۶۰
خلوص	٪ ۹۹/۸
PH	۳/۷ الی ۴/۷

الیاف پلی اُلفین مصرف شده در این تحقیق تحت استاندارد ASTM D7508/D7508M مورد استفاده در بتن ژئوپلیمری قرار گرفته است، نمونه ای از این الیاف در شکل(۱) و برخی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن در جدول(۴) نشان داده شده است.



شکل(۱): الیاف پلی اُلفین

جدول(۴): مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف پلی اُلفین

وزن مخصوص(kg/m^3)	۹۲۰
مقاومت کششی(N/mm^2)	۵۰۰
طول(mm)	۳۰
قطر(mm)	۰/۸
شکل سطحی	مواج
نسبت طول به قطر	۳۷/۵

سیمان مصرفی در تحقیق پیش رو از نوع پُرتلند تیپII دیلمان بوده و آب مصرف شده برای تمامی طرح های اختلاط از آب شرب شهر لاهیجان استفاده گردیده است، این آب دارای PH در محدوده ۶/۵ الی ۷/۵ و وزن مخصوصkg/m^3 ۱۰۰۰ است.

سنگدانه های مصرفی به لحاظ دانه بندی در محدوده استاندارد ASTM C33 می باشند، مدول نرمی سنگدانه ها ۲/۸۵ میلیمتر و حداقل و حداکثر قطر شن مصرفی ۴/۷۵ و ۱۹ میلیمتر با وزن مخصوص ۲۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و برای ماسه حداقل قطر ذرات ۷۵ میکرومتر و حداکثر آن ۱۹ میلیمتر با وزن مخصوص۲۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب انتخاب گردید، سنگدانه های تأمین شده از کارخانجات شن و ماسه شهرستان لاهیجان خریداری شد و به لحاظ حذف ناخالصی‌های آلی، پاک شده است. محققین معتقدند که سنگدانه ها به علت اینکه نسبت حجمی بیشتری را در بتن اشغال می کنند، تاثیر قابل توجهی بر خصوصیات مکانیکی بتن دارند (دباغ و اکبرپور، ۲۰۱۷).

ابرروان کننده مصرفی در این تحقیق بر پایه پلی کربوکسیلات نرمال تحت استاندارد ASTM C494 و با وزن مخصوص۱۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. بتن

ژئوپلیمری تازه به علت لزجت بالا موجود در محلول قلیایی در مقایسه با بتن حاوی سیمان پُرتلند معمولی تازه، کارایی[۱] ضعیف‌تری دارد، جهت حل این مشکل یک فوق روان کننده مبتنی بر پلی کربوکسیلات اغلب به علت پیوندهای قوی مابین کلسیم با بار مثبت و پلی کربوکسیلات با بار منفی، بهترین گزینه است(پیلور و همکاران، ۲۰۱۸). محلول قلیایی مصرفی در این تحقیق، ترکیبی از سیلیکات سدیم و هیدراکسیدسدیم بصورت محلول با مولاریته ۱۲ می باشد، نسبت وزنی مصرف شده محلول سیلیکات سدیم به هیدراکسیدسدیم ۲/۵ است، این محلول دارای وزن مخصوص ترکیبی برابرkg/m^3 ۱۴۸۳ می باشد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از محلول فعال ساز قلیایی هیدروکسیدسدیم در بتن ژئوپلیمری، کارآمدتر از محلول هیدروکسیدپتاسیم است، زیرا محلول هیدراکسیدسدیم مقدار بیشتری از یون‌های Al^{3+} و Si^{4+} را نسبت به محلول هیدراکسیدپتاسیم حل می‌کند، همچنین غلظت محلول قلیایی بر کارایی و مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری تأثیر می گذارد(پیلور و همکاران، ۲۰۱۸). حداکثر مقاومت فشاری، مقاومت کششی دونیم شدن و مقاومت خمشی برای نمونه های ۲۸ روزه بتن ژئوپلیمری سرباره ای حاوی محلول قلیایی با غلظت مولاریته ۱۲ مولار گزارش شده است(کومار[۲] و همکاران، ۲۰۱۸).

طرح اختلاط

استاندارد مجزا برای طرح اختلاط بتن ژئوپلیمری موجود نمی باشد، لذا به تبعیت از برخی پژوهش های آزمایشگاهی (دب[۳] و همکاران، ۲۰۱۵. مقدم و همکاران، ۲۰۲۱)، در این تحقیق آزمایشگاهی از طرح اختلاط تحت توصیه کمیته ACI 211.1-89 استفاده گردید، در این راستا از ۶ طرح اختلاط با نسبت های مختلف مصالح به تعداد ۲۸۸ نمونه بتنی مطابق با طرح های تهیه شده در جداول(۵) و (۶) ساخته شد. برای هر دوره عمل آوری، جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن، تعداد ۴ نمونه بتنی با ابعاد مکعب ۱۰*۱۰*۱۰سانتی متر، آزمایش مقاومت کششی تعداد ۴ نمونه بتنی با ابعاد استوانه۳۰*۱۵سانتی متر، آزمایش نفوذپذیری تعداد ۴ نمونه بتنی با ابعاد مکعب ۱۲*۲۰*۲۰ سانتی متر و برای آزمایش جذب مویینه آب در بتن تعداد ۴ نمونه بتنی با ابعاد دیسکی۱۰*۵ سانتی متر تهیه گردید که میانگین نتایج نمونه ها در هر مرحله بعنوان معیار بررسی و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. نسبت آب به سیمان(W/C) در تمامی طرح ها بطور ثابت ۰/۴۵ در نظر گرفته شد. در بتن ژئوپلیمری منظور از نسبت آب به سیمان، نسبت محلول قلیایی به مواد پایه مصرفی (سرباره، نانوسیلیس و الیاف) است. در این تحقیق جهت ساخت نمونه ها براساس طرح اختلاط، درصد نانوسیلیس مصرفی با جایگزینی سرباره کوره آهنگدازی در حجم کل بتن لحاظ گردیده است، اما الیاف مصرفی جایگزین مصالح مصرفی نگردیده و فقط به میزان درصد وزن مخصوص خودش به حجم کل بتن اضافه شده است، بدیهی است در چنین شرایطی حجم واحد بتن ثابت می ماند و از مجموع تقسیم مصالح مصرفی بر وزن مخصوص آنها، حجم واحد بدست می آید.

در ادامه بمنظور ارزیابی اثر مصالح متشکله بر ریزساختار بتن، آزمایش طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس(XRF) در سن عمل آوری ۷ روزه و آزمایش تصاویر میکروسکوپ الکترونیک روبشی (SEM) در سن عمل آوری۹۰ روزه انجام پذیرفت.

نحوه ساخت و عمل آوری نمونه ها

براساس جداول طرح اختلاط (۵) و (۶) نمونه های بتنی در ۶ طرح و ۲۸۸ نمونه ساخته شدند. در این راستا مصالح مصرفی در ابتدا توزین گردیدند، سپس مصالح خشک در چند مرحله داخل دستگاه میکسر در حال گردش به هم افزوده شدند و عملیات ترکیب مصالح خشک تا ۳ دقیقه به طول انجامید، در مرحله بعدی، آب، ابرروان کننده و محلول قلیایی به ترکیب اضافه شدند و عملیات میکس۳ دقیقه دیگر ادامه پیدا کرد. پس از آماده شدن ملات، بتن در دو مرحله داخل قالب های فلزی روغن کاری شده ریخته شد و در هر مرحله با ۲۵ ضربه میله متراکم گردید. در ادامه نمونه ها به منظور تراکم بیشتر به مدت ۱ دقیقه

[۱] Workability
[۲] Kumar
[۳] Deb

بر روی میز، ویبره شدند. سپس نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق(۲۰ الی ۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند، در ادامه نمونه ها از قالب جداسازی شده و نمونه های بتن کنترل در داخل آب تحت دمای اتاق تا زمان انجام آزمایش عمل آوری شدند و نمونه های بتن ژئوپلیمری به مدت ۴۸ ساعت تحت دمای۶۰ درجه سلسیوس بمنظور افزایش استحکام و بهبود خواص مکانیکی و دوام در دستگاه گرمکن قرار گرفتند. در ادامه نمونه های بتن ژئوپلیمری در فضای خشک و دمای اتاق تا فرارسیدن زمان آزمایش عمل آوری شدند.

جدول(۵): مشخصات طرح اختلاط بتن(براساس درصد)

طرح	نوع بتن	٪			
		سیمان	سرباره	نانوسیلیس	الیاف پلی اُلفین
۱	پُرتلند	۱۰۰	۰	۰	۰
۲	ژئوپلیمر	۰	۱۰۰	۰	۰
۳	ژئوپلیمر	۰	۹۶	۴	۰
۴	ژئوپلیمر	۰	۹۲	۸	۰
۵	ژئوپلیمر	۰	۹۲	۸	٪ ۱
۶	ژئوپلیمر	۰	۹۲	۸	٪ ۲

جدول(۶): مشخصات طرح اختلاط بتن(براساس وزن)

طرح	نوع بتن	kg/m^3								
		سیمان	آب	محلول قلیایی	سرباره	نانو سیلیس	الیاف	شن	ماسه	ابرروان کننده
۱	پُرتلند	۴۵۰	۲۰۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۷۶۱/۱۳	۹
۲	ژئوپلیمر	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۵۰	۰	۰	۱۰۰۰	۸۱۶/۱۰	۹
۳	ژئوپلیمر	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۱۸	۰	۱۰۰۰	۷۶۷/۴۲	۹
۴	ژئوپلیمر	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۱۴	۳۶	۰	۱۰۰۰	۷۱۸/۷۵	۹
۵	ژئوپلیمر	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۹/۲	۱۰۰۰	۶۷۲/۷۸	۹
۶	ژئوپلیمر	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۱۸/۴	۱۰۰۰	۶۴۶/۲۸	۹

تحقیقات نشان داده است که مخلوط های بتن ژئوپلیمری تحت عمل آوری حرارت۶۰ درجه در ۲۴ ساعت اولیه، توانسته پس از ۳ روز بیش از ۷۵ درصد از مقاومت ۲۸ روزه بین۶۰ الی ۸۵ مگاپاسکال را کسب نمایند(ملکاوری[۱] و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین نتایج بررسی ها نشان می دهد که مقاومت بتن ژئوپلیمری با افزایش دمای عمل آوری افزایش می یابد (ونکاتیسان[۲] و پاژانی،۲۰۱۶).

روش های آزمایش و استانداردها

در پژوهش حاضر، هر یک از آزمایش ها در سنین عمل آوری ۷ ، ۲۸ و۹۰ روزه بر روی ۷۲ نمونه بتنی انجام پذیرفت، در این راستا آزمایش مقاومت فشاری بتن بر روی نمونه ها با ابعاد مکعب۱۰*۱۰*۱۰ سانتی متر تحت استاندارد BS EN 12390-3 انجام پذیرفت، در ابتدا نمونه ها در سن عمل آوری تعیین شده کاملاً خشک و تمیز شدند و به نحوی در دستگاه جک بتن شکن قرار داده

[۱] Malkawi

[۲] Venkatesan

شدند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن ریزی مجاور قالب بودند، در تماس با رکاب های فوقانی و تحتانی دستگاه باشند، سپس نیرو براساس استاندارد تعیین شده بصورت ثابت تا لحظه شکستن، به نمونه وارد شد و در لحظه شکست مقدار نیروی وارده ثبت گردید.

آزمایش مقاومت کششی بتن به روش دونیم شدن استوانه بر روی نمونه ها با ابعاد استوانه ۳۰*۱۵ سانتی متر تحت استاندارد ASTM C496 انجام پذیرفت، در این راستا نمونه ها از وجه بلند(۳۰سانتی متری) استوانه زیر جک بتن شکن قرار گرفتند و اعمال نیرو تا لحظه شکست نمونه بتنی، ادامه یافت. آزمایش تعیین میزان نفوذپذیری آب در بتن برای نمونه با ابعاد مکعب در اندازه های ۱۲*۲۰*۲۰ سانتی متر تحت استاندارد BS EN 12390-8 انجام پذیرفت، براساس این استاندارد در سن عمل آوری تعیین شده نمونه ها از چهار وجه با چسب آکواریوم ضد آب گردیدند و تنها از دو وجه پائین و بالا بمنظور انجام آزمایش آزاد باقی ماندند، پس از جانمائی نمونه ها در قالب دستگاه، مطابق با استاندارد نمونه ها به مدت۲±۷۲ ساعت تحت فشار آب ۵۰ ±۵۰۰ کیلوپاسکال قرار گرفتند، در طول دوره آزمایش فشار آب بر نمونه ها کنترل گردید، پس از سپری شدن مدت زمان تعیین شده نمونه ها شکسته شدند و عمق نفوذ آب در ارتفاع نمونه بتنی اندازه گیری گردید.

آزمایش جذب موئینه آب در بتن برای نمونه ها با ابعاد استوانه در اندازه ۱۰*۵ سانتی متر تحت استاندارد ASTM C1585-04 انجام گرفت، براساس این استاندارد در ابتدا نمونه های بتنی در سن عمل آوری هدف به مدت ۷۲ ساعت در داخل گرمکن با محفظه بسته تحت حرارت ۲±۵۰ درجه سلسیوس گرما داده شدند تا نمونه بطور کامل خشک و آب موجود در حفرات مویینه تخلیه گردند، سپس نمونه خشک وزن گردید، در ادامه نمونه ها داخل ظرف بر روی شبکه های مش میلگردها به نحوی قرار گرفتند که آب تا ارتفاع ۱±۲ میلیمتر بالاتر از کف نمونه برسد، روی ظرف را از پلاستیک پوشانده تا از تبخیر آب جلوگیری شود، در ادامه آهنگ بالاروندگی آب که بواسطه پر شدن حفرات مویینه از آب می باشد شروع گردید، با توجه به وزن ایجاد شدن در نمونه های بتنی، در فواصل زمانی ۱،۵،۱۰،۲۰،۳۰،۶۰،۱۲۰،۱۸۰،۲۴۰،۳۰۰ و ۳۶۰ دقیقه، مقادیر جذب آب محاسبه گردید.

آزمایش ها و تفسیر نتایج

آزمایش مقاومت فشاری بتن

نتایج حاصل از انجام آزمایش مکانیکی و مخرب مقاومت فشاری بتن در شکل(۲) نشان داده شده است.

براساس این نتایج مشاهده می گرد که با افزایش سن عمل آوری بتن در تمام طرح ها، مقدار مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد، این موضوع را می توان به دلیل فرایند تکمیل هیدراتاسیون[۱] و ژئوپلیمریزاسیون(ژئوبسپارش)[۲] با سپری شدن زمان نسبت داد که موجب تراکم و انسجام بیشتر در ماتریس سیمان گردیده است، بیشترین میزان افزایش مقاومت فشاری بتن در سن۹۰ روزه نسبت به ۷ روزه و ۲۸ روزه، متعلق به طرح۱ حاوی بتن کنترل به ترتیب به میزان ۴۶ درصد و ۱۲ درصد افزایش در مقاومت داشته است. بیشترین میزان مقاومت فشاری کسب شده در هر سه سن عمل آوری، متعلق به طرح۴ و کمترین مقدار آن مربوط به طرح۱ است.

عمل آوری ۴۸ ساعته بتن ژئوپلیمری در دمای۶۰ درجه به افزایش استحکام فشاری بتن کمک نموده است. تحقیقات نشان می دهد که مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری سرباره ای در ۲۴ ساعت نخست به رقم بالای ۳۵ مگاپاسکال می رسد و پس از گذشت ۷ روز از زمان ساخت، رشد مقاومتی در حدود ۷۰ درصد مقاومت نهایی خود را کسب می کنند و این روند رشد مقاومت همچنان با گذشت زمان ادامه می یابد (نوفلاح، ۲۰۱۸). همچنین مقاومت فشاری۹۱ روزه خمیر سیمان ژئوپلیمری حدود ۷۴ درصد بیش از مقاومت فشاری بتن معمولی بدست آمده است(جعفری ندوشن و رمضانیانپور، ۲۰۱۹).

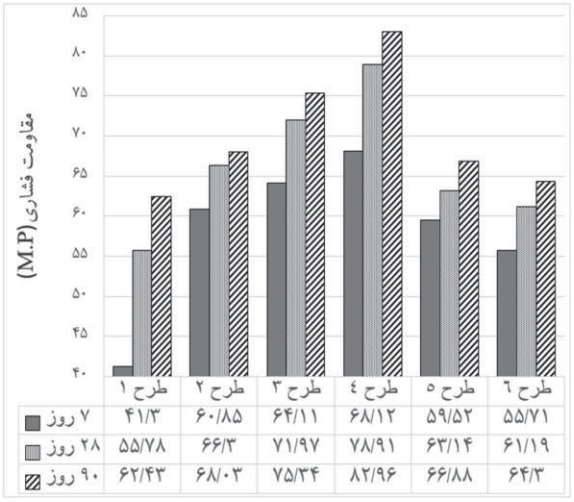
در این تحقیق، افزودن نانوسیلیس تا ۸ درصد به بتن ژئوپلیمری موجب افزایش میزان مقاومت فشاری بتن گردیده است، ذرات نانوسیلیس موجب تسریع در فرایند واکنش پذیری می گردند و به تشکیل ژل های هیدراته

---

[۱] Hydration

[۲] GeoPolymerization

کمک می کنند و تاثیر بسزایی در افزایش تراکم و چگالی در ساختار بتن علی الخصوص در نواحی انتقال بین سطحی(ITZ) ما بین سنگدانه(و الیاف) با ملات ایجاد می نمایند. در طرح های ۵ و۶ ، افزودن الیاف پلی اُلفین به بتن موجب تضعیف در میزان کسب مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری در مقایسه با بتن طرح ۴ (فاقد الیاف) گردیده است. این عیب می تواند به دلیل ورود نقص‌های داخلی کوچک[۱] در ماتریس ژئوپلیمر ناشی از اضافه الیاف باشد(وانگ[۲] و همکاران، ۲۰۰۲). در شکل(۳) نمونه بتنی تحت بارگذاری فشاری در تحقیق حاضر مشاهده می گردد.



	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤	طرح ٥	طرح ٦
۷ روز	۴۱/۳	۶۰/۸۵	۶۴/۱۱	۶۸/۱۲	۵۹/۵۲	۵۵/۷۱
۲۸ روز	۵۵/۷۸	۶۶/۳	۷۱/۹۷	۷۸/۹۱	۶۳/۱۴	۶۱/۱۹
۹۰ روز	۶۲/۴۳	۶۸/۰۳	۷۵/۳۴	۸۲/۹۶	۶۶/۸۸	۶۴/۳

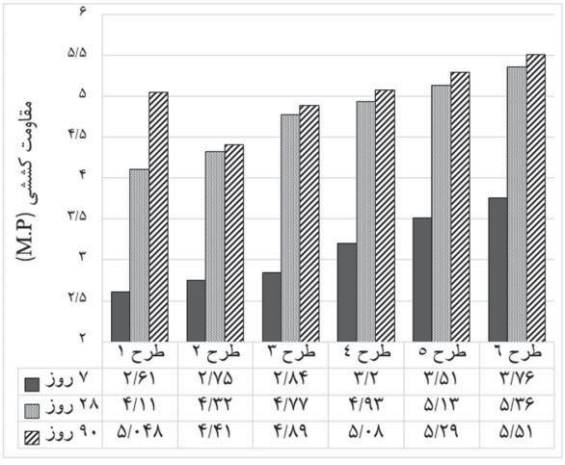
شکل(۲) : نتایج مقاومت فشاری نمونه های بتنی



شکل(۳) : نمونه بتنی تحت بارگذاری فشاری

آزمایش مقاومت کششی بتن

نتایج حاصل از انجام آزمایش مقاومت کششی بتن در شکل(۴) نشان داده شده است، براساس این نتایج مشاهده می گردد که با افزایش سن عمل آوری در بتن، میزان مقاومت کششی نمونه ها افزایش می یابد، این موضوع به دلیل مشارکت بیشتر ذرات آلومینوسیلیکاتی در فرایند هیدراتاسیون و ژئوپلیمریزاسیون با سپری شدن زمان می باشد که منجر به تولید ژل های هیدراته بیشتری گردیده است. بیشترین میزان افزایش مقاومت کششی بتن۹۰ روزه نسبت به ۷ روزه و ۲۸ روزه، متعلق به طرح۱ حاوی بتن کنترل به ترتیب به میزان۹۳ درصد و ۲۲ درصد افزایش مقاومت است. بیشترین مقدار مقاومت کششی کسب شده در ۷ روز عمل آوری متعلق به طرح۶ و کمترین مقدار آن متعلق به طرح۱ است و در سن عمل آوری۹۰روز، بیشترین و کمترین این مقدار مربوط به طرح۶ و طرح۲ است. افزودن نانوسیلیس تا ۸ درصد به بتن ژئوپلیمری موجب افزایش میزان مقاومت کششی بتن شده است. افزودن الیاف پلی اُلفین به بتن طرح ۵ و ۶ در تمام سنین عمل آوری موجب افزایش مقاومت کششی بتن نسبت به طرح۴ و طرح۱ گردیده است، این امر به دلیل نقش پل زدگی الیاف بین صفحات ترک و جلوگیری از انتشار ترک می باشد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از الیاف مختلف در بتن و ساخت بتن الیافی[۳] به عنوان یک گام موثر در جلوگیری از انتشار ریزترک ها و ترک ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می گردد(صدرممتاز و همکاران، ۲۰۱۵).



	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤	طرح ٥	طرح ٦
۷ روز	۲/۶۱	۲/۷۵	۲/۸۴	۳/۲	۳/۵۱	۳/۷۶
۲۸ روز	۴/۱۱	۴/۳۲	۴/۷۷	۴/۹۳	۵/۱۳	۵/۳۶
۹۰ روز	۵/۰۴۸	۴/۴۱	۴/۸۹	۵/۰۸	۵/۲۹	۵/۵۱

شکل(۴) : نتایج مقاومت کششی نمونه ها

[۱] micro internal defects

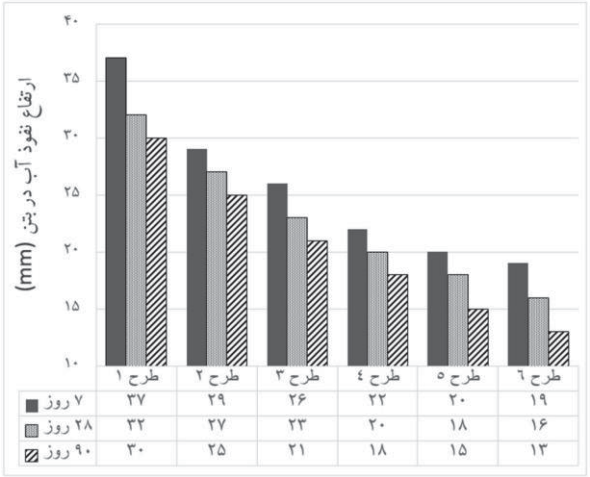
[۲] Wang

[۳] Fiber Reinforced Concrete(FRP)

آزمایش نفوذپذیری آب در بتن

نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری آب در بتن برای تمام طرح های اختلاط در سنین عمل آوری ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روز مطابق شکل(۵) ارائه گردیده است، براساس این نتایج مشاهده می گردد که در تمام طرح ها با افزایش سن عمل آوری بتن، میزان نفوذ آب در بتن کاهش پیدا می کند، این امر را می توان نتیجه تکمیل فرایند هیدراتاسیون و ژئوپلیمریزاسیون(ژئوبسپارش) در خمیر سیمان بتن کنترل و بتن ژئوپلیمری دانست که منجر به تولید ژل های هیدراته و مشارکت این ژل ها در افزایش تراکم و انسجام ماتریس سیمان گردیده است.

برای بتن ژئوپلیمری میزان نفوذپذیری آب در بتن در سنین ۷ ،۲۸ و ۹۰ روزه برای تمام طرح ها کمتر از نفوذ آب در بتن کنترل در دوره عمل آوری مشابه می باشد و این مطلب نشان از فعالیت پوزولانی مناسب سرباره و نانوسیلیس و نقش چسبندگی و پرکنندگی بالای این ذرات در مواجهه با حفرات و منافذ می باشد. بهترین عملکرد در نفوذناپذیری آب در بتن متعلق به سن۹۰ روزه طرح۶ حاوی ۹۲ درصد سرباره کوره آهنگدازی، نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف پلی اُلفین با ۱۳ میلیمتر عمق نفوذ آب می باشد و ضعیف ترین عملکرد متعلق به سن ۷ روزه بتن کنترل با ۳۷ میلیمتر ارتفاع نفوذ آب می باشد.



	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤	طرح ٥	طرح ٦
۷ روز	۳۷	۲۹	۲۶	۲۲	۲۰	۱۹
۲۸ روز	۳۲	۲۷	۲۳	۲۰	۱۸	۱۶
۹۰ روز	۳۰	۲۵	۲۱	۱۸	۱۵	۱۳

شکل(۵) : نتایج آزمایش نفوذپذیری آب

با افزودن نانوسیلیس تا ۸ درصد به بتن ژئوپلیمری، مقدار نفوذ آب در بتن کاهش می یابد، این کاهش نفوذ آب در بتن را می توان نتیجه واکنش پذیری سریع و پوزولانی نانوسیلیس و سرباره در ترکیب با محلول قلیایی و تولید ژل های هیدراته بیشتر از نوع ژل C-S-H، C-A-S-H و N-A-S-H و نقش پرکنندگی این ژل ها در حفرات و چسبندگی بین اجزاء موجود در ریزساختار بتن ژئوپلیمری دانست. افزودن الیاف در طرح ۵ و ۶ به بتن ژئوپلیمری موجب کاهش ارتفاع و عمق نفوذ آب در بتن نسبت به طرح۴ با درصد مشابه نانوسیلیس و سرباره گردیده است، این مطلب را می توان ناشی از پیوند مناسب خمیر ژئوپلیمری با الیاف پلی اُلفین در ناحیه انتقال بین سطحی[۱] دانست. نفوذپذیری مخلوط های حاوی نانوسیلیس و میکروسیلیس در مقدار بهینه شان به کمینه مقدار خود می رسد و محصولات با سطح ویژه کم، توان بالایی در تولید خوشه های اضافی ژل سیلیکات کلسیم هیدراته دارند(تاج الدینی، ۲۰۱۶). همچنین در تحقیقی بر روی افزودن سه پوزولان سرباره ذوب آهن، سرباره ذوب مس و متاکائولن به بتن، کمترین میزان نفوذپذیری[۲] آب در نمونه های بتنی حاوی۲۰ درصد پوزولان سرباره ذوب آهن گزارش شد(احمد و حسینی، ۲۰۱۷). در شکل(۶) میزان نفوذ آب در نمونه بتنی در پژوهش حاضر، در حال اندازه گیری می باشد.



شکل(۶) : اندازه گیری ارتفاع نفوذ آب در آزمایش نفوذپذیری

آزمایش جذب مویینه آب در بتن

نتایج حاصل از آزمایش جذب مویینه آب در بتن در سنین عمل آوری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه، مطابق شکل(۷) ارائه گردیده

[۱] Interfacial transition zone(ITZ)

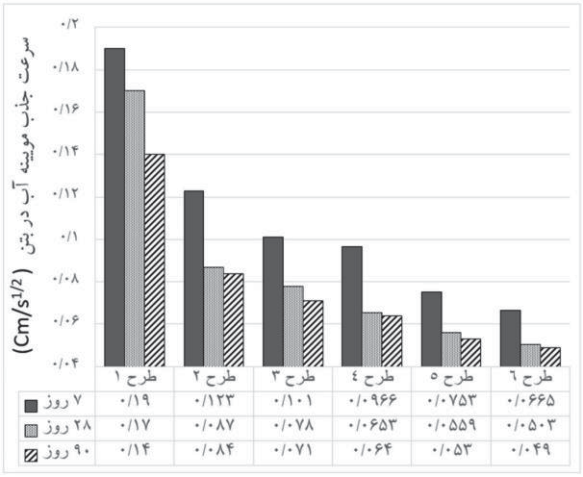
[۲] Permeability

است. براساس نتایج حاصله مشاهده می گردد که در تمام طرح های اختلاط با افزایش سن عمل آوری بتن، سرعت پیش روی آب جذب شده در حفرات مویینه در بخش ساختار خمیر سخت شده بتن سیر نزولی دارد، این موضوع نشان از بهبود ساختار بتن بواسطه پیشرفت در فرایند هیدراتاسیون و ژئوپلیمریزاسیون بتن و افزایش تراکم و دوام در بتن با افزایش سن عمل آوری می باشد، بالا بودن میزان جذب آب مویینه می تواند نشانه وجود فضاهای مویینه و ضعف در ساختار ماتریس سیمان باشد.

افزایش سن عمل آوری موجب تکمیل فرایند هیدراتاسون و ژئوپلیمریزاسیون گردیده است و در این راستا شاهد مشارکت بیشتر ذرات سیمانی(از نوع پرتلندی و پوزولانی) در فرایند واکنش شیمیایی و تولید ژل های هیدراته بیشتری هستیم که با توجه به نقش چسبندگی و پرکنندگی این ژل ها در ملات سیمان بتن کنترل و بتن ژئوپلیمری، علی الخصوص نقش پر کنندگی فضاهای مویینه بین لایه ای و چسبندگی در نواحی انتقال بین سطحی(ITZ)، منتج به افزایش خصوصیات دوام در بتن گردیده است.

تحقیقات نشان داده است که بتن ژئوپلیمر۹۰ روزه نسبت به بتن معمولی، ۴۰ درصد جذب آب مویینه کمتری دارد که تاثیر واکنش های پوزولانی در پر کردن منافذ از علل این امر می باشد(بزکورت و یازچ اوقلو[1]، ۲۰۱۰). همچنین براساس تحقیقاتی دیگر، در بتن ژئوپلیمری سرباره ای، میزان جذب مویینه آب در سن ۹۰ روز عمل آوری مقدار ۲۲ درصد بهبود را نسبت به جذب مویینه آب در بتن معمولی در همین سن دارا بوده است (رمضانیانپور و همکاران، ۲۰۱۸).

براساس نتایج حاصله در پژوهش حاضر، سرعت جذب مویینه آب در بتن ژئوپلیمری در دوره های عمل آوری مشابه، کمتر از بتن کنترل می باشد، این امر می تواند به علت تراکم بالای ماتریس سیمان ژئوپلیمری ناشی از تکمیل فرایند ژئوپلیمریزاسیون باشد. با افزایش مصرف نانوسیلیس تا میزان ۸ درصد در ترکیب بتن ژئوپلیمری شاهد بهبود و کاهش نرخ سرعت پیشروی آب مویینه در بتن هستیم، این امر را می توان در نتیجه کاهش فضاهای خالی به دلیل تشکیل و نقش پرکنندگی ژل های سیلیکات هیدراته حاصل از ترکیب ذرات سرباره و نانوسیلیس در مجاورت با محلول قلیافعال در بتن ژئوپلیمری دانست. افزودن الیاف پلی اُلفین در طرح ۵ و ۶ بتن ژئوپلیمری موجب کاهش سرعت جذب مویینه آب در بتن نسبت به بتن ژئوپلیمری طرح ۴ (بدون الیاف) با درصد مشابه سرباره و نانوسیلیس گردیده است، این موضوع نشان از عملکرد مناسب الیاف پلی اُلفین در ترکیب و پیوند بین اجزاء ملات ژئوپلیمر می باشد.



	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤	طرح ٥	طرح ٦
۷ روز	۰/۱۹	۰/۱۲۳	۰/۱۰۱	۰/۰۹۶۶	۰/۰۷۵۳	۰/۰۶۶۵
۲۸ روز	۰/۱۷	۰/۰۸۷	۰/۰۷۸	۰/۰۶۵۳	۰/۰۵۵۹	۰/۰۵۰۳
۹۰ روز	۰/۱۴	۰/۰۸۴	۰/۰۷۱	۰/۰۶۴	۰/۰۵۳	۰/۰۴۹

شکل(۷) : نتایج آزمایش جذب مویینه آب

آزمایش XRF و SEM

آزمایش طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس(XRF) بر روی بتن آسیاب شده بر گرفته از مرکز نمونه های بتنی در سن عمل آوری ۷ روزه توسط دستگاه طیف سنج فلورسانس اشعه ایکس با مدل Philips PW1730 تحت آزمایش قرار گرفت.

نتایج حاصل از این آزمون در جدول(۷) نشان داده شده است، براساس این نتایج مشاهده می گردد که عناصری مانند سیلیس، اکسیدآلومینیوم، اکسیدکلسیم و همچنین اکسیدسدیم بعنوان چهار عنصر اصلی با بیشترین میزان مشارکت در ترکیبات بتن ژئوپلیمری حضور دارند، ذرات سیلیس و آلومینیوم بعنوان عناصر اصلی پیش ماده[2] در

[1] Bozkurt & Yazicioglu

[2] Precursor

ساختار نانوسیلیس و سرباره کوره آهنگدازی شناخته می شوند، کلسیم و سدیم نیز از عناصر اصلی تشکیل دهنده محلول قلیایی مصرفی در بتن ژئوپلیمری سرباره ای در این تحقیق شناخته می شوند. روند افزایش مصرف نانو ذرات سیلیس در طرح های بتن ژئوپلیمری در نتایج جدول مشهود است، بر این اساس حداکثر میزان نانوذرات سیلیس در طرح های ۴، ۵ و ۶ دیده می شود و حداقل آن در ترکیب بتن طرح۲ مشاهده می گردد، حداکثر و حداقل میزان اکسیدآلومینیوم موجود در ترکیب به ترتیب متعلق به طرح۲ و ۱ است. حضور اکسیدهای آهن و منیزیم در محدوده ۲ درصد الی ۷ درصد در نوسان هستند، وجود اکسیدهای پتاسیم و گوگرد در محدوده ۱ درصد الی۲ درصد در تمامی ترکیب ها مشهود است و حضور اکسیدهای تیتانیم، فسفر و منگنز در اغلب طرح ها به مقادیر زیر۱درصد رسیده است. میزان افت حرارتی(LOI[1]) ناشی از خروج مواد تحت حرارت در تمامی طرح ها تقریباً در یک رنج و در محدوده ۱۶درصد مشاهده می گردد.

نتایج حاصل از آزمایش تصویر برداری میکروسکوپ الکترونیک روبشی (SEM) توسط دستگاه تصویر برداری با مدلFEI Quanta200 بر روی نمونه های بتن کنترل و بتن ژئوپلیمری در سن۹۰ روزه با مقیاس ۵ میکرومتر در شکل(۸) نشان داده شده است، براساس این تصاویر مشاهده می گردد که طرح های حاوی ذرات نانوسیلیس و سرباره با توجه به مشارکت بیشتر در فرایند ژئوپلیمریزاسیون و تشکیل ژل های هیدراته شده(شامل نواحی تیره رنگ)، به خوبی فضاهای خالی و منافذ را پر کرده و تشکیل ساختاری متراکم و منسجم داده است. این موضوع در طرح۱ حاوی بتن کنترل با تکمیل فرایند هیدراتاسیون و تشکیل ژل هیدراته کمتر، نیز به چشم می خورد.

بلورهای واکنش نکرده که در نتیجه ناخالصی های موجود در مواد اولیه و یا ذرات واکنش نکرده در فرایند هیدراسیون و ژئوپلیمیزاسیون بجای مانده اند و در تصاویر عمدتاً به رنگ سفید دیده می شوند با افزایش مقادیر بیشتر ذرات نانوسیلیس در طرح ها، کاهش پیدا کرده است. در تصاویر مشهود است که نحوه پیوندهای خمیر سیمان با سنگدانه (و الیاف) در ناحیه انتقال بین سطحی در بتن ژئوپلیمری با افزایش نانو ذرات سیلیس بهبود پیدا کرده است، زیرا تحت این شرایط(حضور نانوسیلیس بیشتر در ترکیب) با گذشت زمان عمل آوری(در سن ۹۰ روزه)، با توجه به پیشرفت فرایند ژئوپلیمریزاسیون، از میزان و حجم ذرات واکنش نکره کاسته شده و ناحیه انتقال بین خمیرسیمان ژئوپلیمر و سنگدانه (و الیاف پلی اُلفین) تقویت شده است. از طرفی تحقیقات نشان داده است که بهبود چسبندگی، هنگام استفاده از الیاف پلی اُلفین می تواند به علت کاهش حفره های هوا در فصل مشترک ماتریس و الیاف ایجاد شود (اینفداکیو[2] و همکاران، ۲۰۱۷).

در تحقیقی دیگر، تجزیه و تحلیل SEM بر روی بتن حاوی نانو ذرات نشان داد که ذرات نانو فضای خالی موجود در ریزساختار بتن را پر می کند، که منجر به ایجاد یکنواختی، خلأ کمتر و ماتریس ژئوپلیمری فشرده می شود (اسدی و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین بررسی ها نشان داده است که واکنش پوزولانی با تبدیل CH به C-S-H ریزساختارهای بتن را متراکم کرده و موجب همگنی در ترکیب می شود (دو[3] و همکاران، ۲۰۱۴).

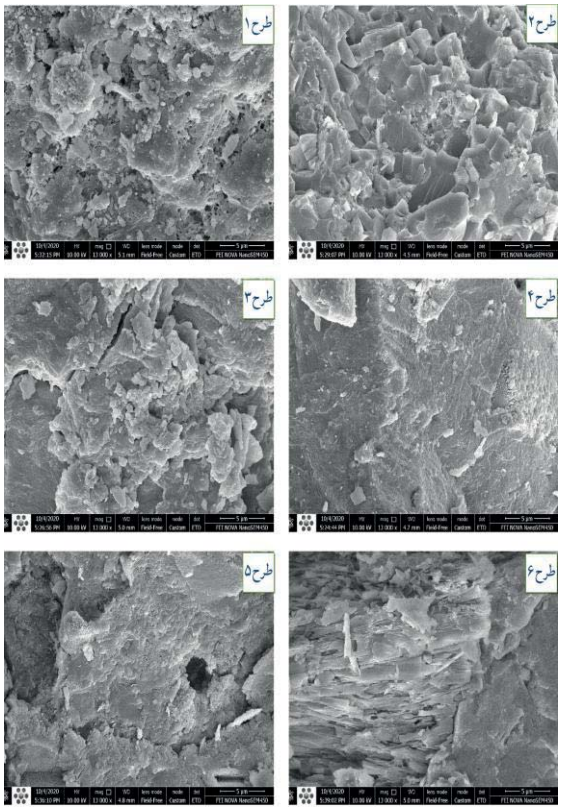
[1] Loss on ignition

[2] Enfedaque

[3] Du

جدول(۷): نتایج آزمایش XRF

ماده	مقادیر ماده در هر طرح					
	طرح۱	طرح۲	طرح۳	طرح۴	طرح۵	طرح۶
سیلیس(SiO_2)	۲۷/۱۲۲	۱۹/۵۷۴	۳۲/۰۲۶	۳۶/۳۳۱	۳۷/۰۷۶	۳۶/۸۳۴
اکسیدآلومینیوم(AL_2O_3)	۵/۶۳۹۵	۸/۰۷۳	۶/۷۲	۷/۰۱۳۱	۷/۱۲۹	۶/۹۱
اکسیدکلسیم(CaO)	۳۷/۱۶۹	۲۶/۸۱۵	۲۳/۶۰۹	۱۵/۲۵۷	۱۵/۳۱۲	۱۵/۱۸۶
اکسیدسدیم(Na_2O)	۱/۱	۱۵/۱	۹/۰۱۶	۱۲/۸۷۲	۱۲/۶۴۹	۳/۰۱۹
اکسیدآهن(Fe_2O_3)	۷/۲۰۹۸	۵/۶۴	۳/۹۴	۳/۹۴	۳/۷۹	۴/۰۱۲
اکسیدمنیزیم(MgO)	۲/۱۱۴	۵/۰۵۱	۴/۰۱۴	۳/۰۱۳۳	۳/۱۵۲	۲/۸۹۳
اکسیدپتاسیم(K_2O)	۰/۹۱۴۴	۱/۰۱۳	۱/۰۱۵	۱/۰۵۲۶	۱/۱۲۹	۱/۱۴۷
اکسیدگوگرد(SO_3)	۱/۵۹۱۳	۱/۱۶۴	۱/۸۷۵	۲/۸۲۲	۱/۹۰۲	۱/۹۸۷
اکسیدتیتانیم(TiO_2)	۰/۴۷۲	۰/۹۶۱	۱/۰۸۶	۱/۱۷۳	۰/۰۳۹	۱/۲۰۱
اکسیدفسفر(P_2O_5)	۰/۱۶۳	۰/۱۷۴	۰/۱۴۴	۰/۱۳۱	۰/۱۳۹	۰/۱۵۳
اکسیدمنگنز(MnO)	۰/۰۹۱	۰/۳۹۵	۰/۶۵۵	۰/۶۸۴	۰/۶۴۹	۰/۷۱۹
افت حرارتی(LOI)	۱۶/۴۱۴	۱۶/۰۴	۱۵/۹	۱۵/۷۱۱	۱۶/۰۳۴	۱۵/۹۳۹



شکل(۸): تصاویر میکروسکوپ الکترونیک روبشی

نتیجه گیری

۱- افزودن نانوسیلیس و الیاف پلی الفین به ترکیب بتن ژئوپلیمر، موجب بهبود خواص مکانیکی و دوام این نوع از بتن در اغلب موارد مورد آزمایش گردید.

۲- بهترین عملکرد در میزان مقاومت فشاری بتن، متعلق به سن ۹۰ روزه طرح۴ حاوی۹۲ درصد سرباره، ۸ درصد نانوسیلیس و فاقد الیاف بوده است که ۳۲ درصد عملکرد بهتری نسبت به نتیجه بتن کنترل در همین سن دارا بود.

۳- بهترین عملکرد در میزان مقاومت کششی بتن متعلق به سن ۹۰ روزه طرح۶ حاوی۹۲ درصد سرباره، ۸ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف بوده است که ۹ درصد بهبود مقاومت نسبت به نتیجه بتن کنترل در همین سن را به همراه داشت.

۴- بهترین عملکرد در میزان نفوذپذیری آب در بتن متعلق به سن ۹۰ روزه طرح۶ بوده است که ۵۶ درصد بهبود در نفوذناپذیری آب نسبت به نتیجه بتن کنترل در همین سن را به همراه داشت.

۵- بهترین عملکرد در میزان جذب مویینه آب متعلق به سن ۹۰ روزه طرح۶ بوده است که ۶۵ درصد بهبود در عدم جذب مویینه آب نسبت به نتیجه بتن کنترل در همین سن را به همراه داشت.

۶- نتایج حاصل از بررسی های ریزساختاری حاصل از

آزمون های SEM و XRF بر روی نمونه های بتنی، در هماهنگی و همپوشانی با نتایج سایر آزمون ها در این تحقیق قرار داشتند.

منابع و مراجع

1- de Toledo Pereira, D. S., da Silva, F. J., Porto, A. B. R., Candido, V. S., da Silva, A. C. R., Garcia Filho, F. D. C., & Monteiro, S. N. (2018). Comparative analysis between properties and microstructures of geopolymeric concrete and portland concrete. Journal of Materials Research and Technology, 7(4), 606-611.

2- Dabbagh, H., & Akbarpour, S. (2017). Behavior of Structural Lightweight Concrete Containing Nano Silica and Steel Fibers under Compressive Monotonic Loading. Concrete Research, 10(1), 35-46.

3- Pilehvar, S., Cao, V. D., Szczotok, A. M., Carmona, M., Valentini, L., Lanzón, M., ... & Kjøniksen, A. L. (2018). Physical and mechanical properties of fly ash and slag geopolymer concrete containing different types of micro-encapsulated phase change materials. Construction and Building Materials, 173, 28-39.

4- Kumar, S., Gautam, P. D., & Kumar, B. S. (2019). Effect of Alkali Activator Ratio on Mechanical Properties of GGBS based Geopolymer Concrete. IJITEE, 8, 947-952.

5- Deb, P. S., Nath, P., & Sarker, P. K. (2015). Drying shrinkage of slag blended fly ash geopolymer concrete cured at room temperature. Procedia Engineering, 125, 594-600.

6- Moghaddam, S. C., Madandoust, R., Jamshidi, M., & Nikbin, I. M. (2021). Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions. Construction and Building Materials, 281, 122571.

7- Malkawi, A. B., Nuruddin, M. F., Fauzi, A., Almattarneh, H., & Mohammed, B. S. (2016). Effects of alkaline solution on properties of the HCFA geopolymer mortars. Procedia engineering, 148, 710-717.

8- Venkatesan, R. P., & Pazhani, K. C. (2016). Strength and durability properties of geopolymer concrete made with ground granulated blast furnace slag and50(6),1043-1052.

9- Nofallah, M. H. (2018). Effect of sodium Hydroxide solution concentration and sodium silicate to sodium hydroxide ratio on the compressive strength and water absorption of slag based alkali-activated concrete. Concrete Research, 11(2), 95-103.

10- Jafari Nadoushan, M., & Ramezanianpour, A. (2019). Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Pastes and Determination of Optimum Values of Effective Factors. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 50(6), 1043-1052.

11- Wang, K., Shah, S. P., & Phuaksuk, P. (2002). Plastic shrinkage cracking in concrete materials-Influence of fly ash and fibers. ACI Materials Journal, 99(5), 512-513.

12- Sadr Momtazi, A., Kohani Khoshkbijari, R., & Lotfi Omran, O. (2015). Mechanical and Durability Properties of Self Compacting Concrete containing Nano Silica Particles considering Optimum Percentages of Fibers. Concrete Research, 8(2), 19-34.

13- Tajodeni, M. (2016). , In vitro evaluation of the effect of adding nanosilica with different specific surfaces on physical and mechanical parameters of soil-cement aggregates. Sharif Journal of Civil Engineering, 24-2(1/1), 13-22.

14- Ahmad, S. I., & Hossain, M. A. (2017). Water permeability characteristics of normal strength concrete made from crushed clay bricks as coarse aggregate. Advances in Materials Science and Engineering, 2017.

15- Bozkurt, N., & Yazicioglu, S. (2010). Strength and capillary water absorption of lightweight concrete under different curing conditions.

16- Ramezanianpor, A., Bahmanzadeh, F., Zolfagharnasab, A., & Ramezanianpour, A. M. (2018). Studying the Effect of the Amount of Source Materials and Water to Binder Ratio on Chloride Ions Ingress in Alkali-Activated Slag Concretes.

17- Enfedaque, A., Alberti, M. G., Paredes, J. A., & Gálvez, J. C. (2017). Interface properties of polyolefin fibres embedded in self-compacting concrete with a bond improver admixture. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 90, 287-293.

18- Assaedi, H., Alomayri, T., Shaikh, F., & Low, I. M. (2019). Influence of nano silica particles on durability of flax fabric reinforced geopolymer composites. Materials, 12(9), 1459.

19- Du, H., Du, S., & Liu, X. (2014). Durability performances of concrete with nano-silica. Construction and building materials, 73, 705-712.

20- black rice husk ash. KSCE Journal of Civil Engineering, 20(6), 2384-2391.

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی
سال هشتم/ شماره بیست و نهم /تابستان ۱۴۰۰

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
8th Year / No. 29 / September 2021

Evaluate of Structural and hydraulic properties of Geopolymer Concretes blast furnace slag by using nanosilica and polyolefin fiber in Concrete Dams

Mohammadhossein mansourghanaei[1]
Morteza Biklaryan[2] *
Alireza mardokhpour[3]

ABSTRACT

In the present study, in order to make geopolymer concrete for use in concrete dams, 6 mixing designs including 288 concrete samples of control concrete containing Portland cement and slag geopolymer concrete containing 0 to 8% nanosilica and 1 to 2% polyolefin fibers were prepared. 7, 28 and 90 days processing were subjected to mechanical and durability tests. In order to study the microstructure in this study, XRF and SEM tests were used. The results show that the compressive strength, tensile strength, water impermeability, capillary water absorption for geopolymer concrete containing 8% nanosilica and 2% polyolefin fibers (as an optimal design) compared to control concrete, by 3%, respectively, 9 %, 56% and 65 times at 90 days of processing. In this regard, the maximum values of compressive strength and tensile strength obtained were 82.96 and 5.51 MPa, respectively, and the minimum amount of water penetration in concrete was 13 mm and the minimum rate amount of water capillary absorption was 0.049 $Cm/s^{1/2}$ for geopolymer concrete. SEM images showed that the geopolymerization process was enhanced by producing more hydrated gels and improving the microstructure of geopolymer concrete by increasing the presence of silica nanoparticles.

Keywords
Geopolymer Concrete, Blast furnace slag, Nanosilica, Polyolefin fibers, Geopolymer Concrete Dam.

1- Ph.D Student in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.
2*- Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran. M.biklaryan@iauc.ac.ir
3- Department of Civil Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

Received: 2021/09/11 Accepted: 2021/02/11