تحقیقات بتن
سال هفدهم، شمارهٔ دوم
تابستان ۱۴۰۳
ص ۱۰۲ – ۹۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

اثر ترکیب بنتونیت و زئولیت بر روی برخی از خصوصیات مکانیکی و رئولوژی بتن خودتراکم

اشکان خدابنده‌لو*
دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.
علی مقتدری
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.

چکیده

امروزه تولید بیش از حد سیمان در جهان به‌ویژه در ایران به یک بحران تبدیل شده. چرا که تولید سیمان باعث انتشار گاز دی اکسید کربن و تولید آلاینده در هوای شهرها شده. از این رو در این تحقیق برای افزایش کیفیت بتن و کاهش مصرف مصالحی مانند پودر سنگ و سیمان، از ترکیب بنتونیت و زئولیت استفاده شد. برنامه آزمایشگاهی این تحقیق شامل پنج طرح مخلوط با ترکیب هم‌زمان بنتونیت و زئولیت در نسبت‌های مختلف ۰٪، ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ وزنی سیمان در بتن خودتراکم می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده همزمان از زئولیت و بنتونیت به میزان حداکثر ۵٪ وزنی سیمان می‌تواند نتایج قابل قبولی داشته باشد. به‌طوری‌که باعث افزایش ۸٪ مقاومت فشاری و ۱۱٪ مقاومت کششی بتن می‌شود. اما این پوزولان‌ها بدلیل جذب آب بالایی که دارند قوام بتن خودتراکم را افزایش می‌دهند و ریسک انسداد بتن را در پشت تراکم آرماتور افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: **بتن خودتراکم، پوزولان معدنی، زئولیت، بنتونیت، رئولوژی بتن.**

* نویسنده مسئول: a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر رشد جمعیت باعث افزایش نیاز به مسکن شده که برای برطرف کردن تقاضا لازم است از مصالحی استفاده شود که هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم کمترین آسیب را به محیط زیست برساند[۱]. صنعت ساخت و ساز حدود ۵۰ نوع ماده خام طبیعی و ۸۴۰ نوع منبع انرژی را مصرف و نیمی از زباله‌های صنعتی جهان را تولید می‌کند. سیمان با مصرف حدود ۲۱۵ منبع انرژی، یکی از بزرگ‌ترین صنایع مصرف کننده انرژی و تولید کننده زباله و آلودگی به شمار می‌رود. به‌طوری‌که به ازای تولید هر تن تولید سیمان، یک کیلوگرم دی اکسید کربن در هوا منتشر می‌شود. البته تولیدکنندگان سیمان برای کاهش انتشار گازها اقداماتی انجام داده‌اند[۲]. به لطف پیشرفت در بهره‌وری انرژی، میانگین دی‌اکسیدکربن حاصل از تولید سیمان طی ۲۰ سال گذشته ۱۸٪ در سطح جهان کاهش یافته. اما چنین سیستم‌هایی در مقیاس زیاد نمی‌تواند اثرگذاری قابل توجهی برجای گذارد. بنابراین آنچه صنعت سیمان باید انجام دهد، سرمایه‌گذاری و تلاش برای تولید مواد جدید یا جایگزین سیمان است که نیازی به کلینکر نداشته باشد[۳]. در چندسال گذشته استفاده از مواد مکمل سیمانی برای مدیریت گرمایش جهانی و کمبود انرژی به‌دلیل استفاده بیش از حد از منابعی که تجدیدناپذیرند افزایش یافته است. امروزه محققان در پی یافتن پوزولان‌هایی ارزان قیمت و مقرون به صرفه‌اند که باعث بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن گردند. منبع این پوزولان‌ها و مواد مکمل می‌تواند موادی طبیعی یا زباله‌های صنعتی باشند که برای تولید آن‌ها انرژی زیادی صرف نمی‌شود[۴]. مواد پوزولانی انواع مختلفی دارند که منشاء آن‌ها طبیعی، صنعتی و شیمیایی هستند. مطابق با تعریف استاندارد ASTM-C618، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ملی بتن ایران (آبا)، پوزولان‌ها ماده‌ای سیلیسی یا سیلیسی آلومیناتی هستند که به تنهایی خاصیت چسبندگی ندارند، اما به شکل ذرات بسیار ریز در مجاورت رطوبت با درجات حرارت معمولی با هیدروکسید کلسیم، واکنش شیمیایی می‌دهند و ترکیباتی را به‌وجود می‌آورند که خاصیت سیمانی داشته و چسبندگی بتن را افزایش می‌دهند[۶,۵]. پوزولان در ایران در سال ۱۳۲۰ کشف شد. از پوزولان‌های طبیعی در ایران می‌توان به تراس، توف، پومیس، خاک سرخ، پوکه، بنتونیت و زئولیت اشاره کرد. دامنه کوه‌های سبلان، سهند، دماوند، تفتان، استان کرمان و سمنان نیز از جمله مکان‌های دارای معادن پوزولان‌های طبیعی در ایران هستند[۷].

تاکنون مطالعات زیادی بر روی تاثیر استفاده از پوزولان‌های طبیعی به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در بتن انجام گرفته. لوپز[1] و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی میزان نفوذپذیری و مقاومت بتن دارای دوده سیلیسی، زئولیت و خاکستر بادی پرداختند. نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری نشان داد که پوزولان‌های مصرفی باعث کاهش نفوذناپذیری بتن می‌شود. همچنین در قسمت نتایج تحقیق ذکر شد که دوده سیلیسی باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها و زئولیت و خاکستر بادی باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌شود[۸]. کارمو[2] و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی به بررسی اثر میکروسیلیس و زئولیت برروی بتن خودتراکم پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده همزمان از ۵٪ زئولیت و ۵٪ میکروسیلیس در بتن باعث افزایش ۲۴٪ مقاومت فشاری ۲۸ روزه، افزایش ۱۲٪ مقاومت کششی و افزایش ۳٪ مقاومت خمشی بتن می‌شود[۹]. هلمس[3] و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی به بررسی خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری بتن دارای متاکائولن، زئولیت و خاکستر بادی به صورت ترکیب دوگانه و سه‌گانه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان مقاومت فشاری بدست آمده مربوط به ترکیب سه‌گانه پوزولان‌ها به میزان جایگزینی ۱۵٪ بوده و استفاده از مقادیر بیش از آن باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود[۱۰]. ژانگ[4] و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی به بررسی استفاده از بنتونیت به جای بخشی از سیمان در بتن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ۵٪ بنتونیت در بتن، مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن را تا ۸٪ افزایش می‌دهد[۱۱]. ساجدی و همکاران در سال ۱۴۰۰ به بررسی فنی و اقتصادی بتن‌های بازیافتی حاوی پوزولان‌های طبیعی پرداختند. به‌طوری‌که برای افزایش کیفیت بتن‌های بازیافتی از پوزولان‌های میکروسیلیس، خاکستربادی و زئولیت طبیعی به صورت جداگانه جایگزین بخشی از سیمان استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بتن دارای ۲۵٪ درشت‌دانه بازیافتی، ۱۰٪ میکروسیلیس و ۱۰٪ زئولیت طبیعی

[1] Lopez.s
[2] Karmo.j
[3] Helmes.t
[4] Zhang.k

دارای توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به بتن شاهد است[۱۲]. زرگر و همکاران در سال ۱۴۰۱ به بررسی و ارزیابی الیاف کاه بر روی پارامترهای مکانیکی بتن‌های حاوی زئولیت و بنتونیت پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین ترکیب حاوی ۶٪ زئولیت، ۶٪ بنتونیت و یک درصد الیاف کاه است[۱۳].

با توجه به نتایج بدست آمده از سایر تحقیقات گذشته، می‌توان نتیجه گرفت که عمدتاً میزان استفاده از پوزولان‌های طبیعی در بتن، با توجه به نوع و ساختار شیمیایی آن ماده متغیر می‌باشد. بنابراین ضرورت دارد تا میزان استفاده از هر نوع پوزولان در بتن بر اساس آزمایش و بهینه‌یابی مورد بررسی و سنجش قرار گیرد. از طرفی استفاده ترکیبی از دو پوزولان زئولیت و بنتونیت در بتن خودتراکم از ابهامات استفاده از این روش است که تاکنون پاسخی برای آن یافت نشده است. در این تحقیق پس از معرفی مصالح مصرفی و تعیین استانداردهای روش کار، اقدام به تحلیل و تفسیر نتایج آزمایشگاهی می‌گردد.

نوآوری که در این تحقیق آن را از سایر تحقیقات دیگر متمایز می‌نماید، بررسی استفاده هم‌زمان زئولیت و بنتونیت در نسبت‌های مختلف وزنی به جای سیمان برای بهینه‌یابی و تأثیر آن بر روی بتن خودتراکم می‌باشد. از جمله پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل خصوصیات رئولوژی و رفتار مکانیکی بتن در سنین مختلف می‌باشد. هدف این تحقیق بررسی استفاده از ترکیب پوزولان‌های طبیعی به جای سیمان جهت پایداری حفظ محیط زیست می‌باشد.

۲-مواد و مصالح

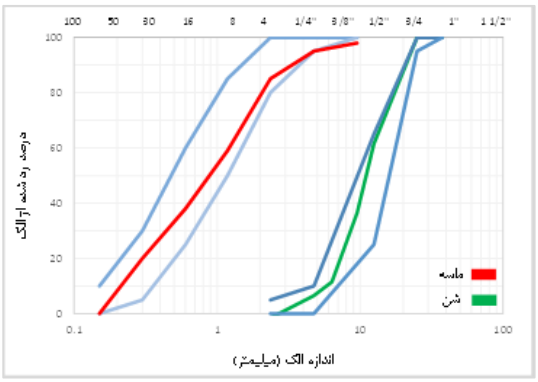
۲-۱- مصالح

سنگ‌دانه مورد استفاده جهت ساخت بتن در این تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می‌باشد که از معدن منطقه دوکوهک استان فارس تهیه گردیده. مشخصات فیزیکی این سنگ‌دانه مطابق با جدول شماره ۱ می‌باشد. مدول نرمی ماسه مورد استفاده مطابق با استاندارد ASTM-C136 نیز ۲/۹ بدست آمد.

جدول ۱- مشخصات شن و ماسه مصرفی

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	وزن مخصوص خشک	جذب آب
	mm		kg/m^3	%
ماسه	۴/۷۵	۲/۹	۱۶۵۰	۲/۳
شن	۱۹	–	۱۳۵۰	۱/۵۷

روش اجرا و طبقه‌بندی الک‌های شماره‌بندی شده، مطابق استاندارد ASTM-C136 انجام گرفت که در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است. همچنین میزان وزن و اندازه سنگ‌دانه‌ها با الگوی پیشنهادی استاندارد ASTM-C33 مقایسه و تطبیق داده شد. در شکل شماره ۱ الگوی دانه‌بندی ماسه با منحنی قرمز رنگ، الگوی دانه‌بندی شن با منحنی سبز رنگ و تعیین حداقل یا حداکثر میزان مجاز دانه‌بندی شن و ماسه طبق استاندارد ASTM-C33 با منحنی آبی رنگ نمایش داده شده است.



شکل ۱- منحنی دانه بندی شن و ماسه مصرفی

سیمان مصرفی در این تحقیق، از نوع سیمان تیپ ۲ سپاهان می‌باشد. چگالی این سیمان ۳/۱۰ gr/cm^3 است. آنالیز شیمیایی این سیمان در جدول شماره ۲ که منطبق بر شناسه فنی شرکت سازنده این محصول می‌باشد ضمیمه شده است.

جدول ۲- خواص شیمیایی سیمان تیپ دو سپاهان

ساختار شیمیایی	مقدار ٪
SiO_2	٪ ۲۰/۸
AL_2O_3	٪ ۴/۷
Fe_2O_3	٪ ۴/۱
MgO	٪ ۲/۲۵
SO_3	٪ ۲/۳۵
CaO	٪ ۶۴/۲
C_3A	٪ ۵/۷
L.O.I	٪ ۰/۸
I.R	٪ ۰/۳

بنتونیت[1] یک پوزولان طبیعی است که از خانواده رس‌ها می‌باشد. این ماده نوعی رس ریزدانه است که حداقل دارای ۸۵٪ رس مونت‌موریلونیت می‌باشد[۱۴]. این پوزولان طبیعی در استان‌های

[1] Bentonite

سمنان و خراسان جنوبی به وفور یافت می‌شود. بنتونیت‌ها عمدتاً بر پایه سدیم دار و کلسیم دار یافت می‌شوند. بنتونیت سدیم دار وقتی با آب ترکیب می‌شود، منبسط شده و حجم آن چند برابر می‌شود و نیز دارای چسبندگی می‌شود به همین دلیل به بنتونیت سدیم دار، متورم نیز می‌گویند[۱۵]. بنتونیت مصرفی در این تحقیق از نوع سدیم‌دار با حداکثر اندازه ۳۷ میکرون و دارای رنگ طوسی می‌باشد که از معادن استان سمنان تهیه شده است. سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی این محصول به شرح جدول شماره ۳ و ۴ می‌باشد.

جدول ۳- خواص شیمیایی بنتونیت مصرفی

ساختارشیمیایی	مقدار ٪
AL_2O_3	۱۱/۸۸
Fe_2O_3	۱/۷۳
MgO	۱/۴۲
SiO_2	۶۹/۸
CaO	۰/۹۶
K_2O	۰/۴۷
Na_2O	۰/۵
TiO_2	۰/۱

جدول ۴- خواص فیزیکی بنتونیت مصرفی

اندازه اسمی	حداکثر اندازه	تورم	سختی موهس	میزان جذب آب ٪
Mesh	µm	Ml/gr^2		
# ۴۰۰	µ ۳۷	۲۳	۲	۴۰۰-۳۰۰

زئولیت[1] یک پوزولان طبیعی است که به دو دسته معدنی و رسوبی تقسیم‌بندی می‌شوند. نوع معدنی عموماً جزء سنگ‌های آذرین یا آتشفشانی می‌باشد و زئولیت رسوبی نوع صنعتی آن است که نسبت سیلیسیم به آلومینیوم آن بیشتر از نوع آتشفشانی می‌باشد[۱۶]. زئولیت منبع غنی از اکسید آلومینیوم و اکسید سیلیس است که با کلسیم هیدروکسید موجود درسیمان واکنش داده و منجر به تولید ژل آلومینات خواهد شد (خاصیت آمورف دارد). این پوزولان در ایران به وفوریافت می‌شود و به راحتی قابل استخراج و فرآوری است[۱۷]. زئولیت مصرفی در این تحقیق از نوع معدنی و مخلوطی از مش‌های ۸۰۰ و ۱۵۰۰ می‌باشد. زئولیت مصرفی مستخرج از معادن زئولیت منطقه اَفتر استان سمنان می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی زئولیت بکار رفته در این تحقیق به شرح جدول شماره ۵ و ۶ می‌باشد.

جدول ۵- خواص شیمیایی زئولیت مصرفی

ساختارشیمیایی	مقدار ٪
AL_2O_3	۶۶/۲۱
Fe_2O_3	۴۴/۱۰
MgO	۲/۱
SiO_2	۸۰/۶۷
CaO	۶۸/۱
K_2O	۵/۳

جدول ۵- خواص فیزیکی زئولیت مصرفی

اندازه اسمی	حداکثر اندازه	چگالی	سختی موهس	مدول نرمی
Mesh	µm	gr/cm^3		
# ۸۰۰	µ ۱۵	۲/۳	۳	۰/۹
# ۱۵۰۰	µ ۸			۰/۶

یکی از ویژگی‌های متمایز مهم بتن خودتراکم، روانی بالای آن می‌باشد. امروزه استفاده از روان کننده‌ها یا کاهنده‌های آب، به جهت افزایش کیفیت خصوصیات مکانیکی و روئولوژی بتن‌های خودتراکم و نیز دستیابی به روانی مطلوب بسیار مرسوم بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق برای ساخت بتن خودتراکم و تامین روانی مدنظر از اَبر روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اِتر، استفاده گردید[۱۸]. خصوصیات فیزیکی این ماده مطابق و به شرح جدول شماره ۷ می‌باشد.

جدول ۶- مشخصات فیزیکی اَبرروان کننده بر پایه کربوکسیلات اِتر

وزن مخصوص	استاندارد	یون کلر	PH	حالت فیزیکی	مقدار جایگزینی
۱/۱ gr/cm^3	ASTM C1017	٪ ۰/۱	۵/۵۸	مایع	٪ ۰/۱ تا ۱ وزن سیمان

[1] Zeoleit

۲-۲- برنامه آزمایشگاهی و طرح مخلوط

برنامه آزمایشگاهی ساخت بتن خودتراکم در این تحقیق مجموعاً متشکل از ۴۰ نمونه می‌باشد. آزمایشات انجام شده شامل حلقه J، جعبه L، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، مقاومت کششی و جذب آب اولیه و ثانویه بتن (۳۰ دقیقه و ۷۲ ساعت) می‌باشد. قابل ذکر است که برای آزمایش مقاومت فشاری، سه آزمونه مطابق الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان مورد آزمایش قرار گرفته و میانگین جواب آن‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد. جدول شماره ۸ استاندارد روش انجام آزمایش، تعداد نمونه به تفکیک هر آزمایش، ابعاد نمونه و شرح آزمایش را نشان می‌دهد.

مبنای طرح اختلاط برای ساخت بتن خودتراکم در این تحقیق تجربه آزمایشگاهی و مطالعات پیشین سایر تحقیقات بوده که در آن محدودیت‌ها و ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران در نظر گرفته شده است[۲۰-۱۹]. در این طرح مخلوط عیار سیمان در نمونه کنترل kg/m^3 ۴۵۰ در نظر گرفته شده. همچنین حداکثر اندازه سنگ دانه مورد استفاده ۱۹ میلیمتر و نسبت آب به سیمان ۰/۴ در نظر گرفته شده است. در ادامه جهت کاهش حجم سیمان مصرفی و افزایش کیفیت و قوام بتن خودتراکم، از پودر زئولیت و بنتونیت بطور همزمان در نسبت‌های وزنی ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ جایگزین سیمان استفاده شده. همچنین جهت حفظ کارایی بتن خودتراکم از محلول اَبر روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات به میزان ثابت ۳٪ وزنی سیمان استفاده گردید. جدول شماره ۹ میزان مصالح مصرفی برای طرح مخلوط‌های مورد بررسی در مقیاس یک متر مکعب نشان می‌دهد.

جدول ۷- شرح استاندارد آزمایش و تعداد نمونه‌های ساخته شده به تفکیک ابعاد

ردیف	شرح آزمایش	شماره استاندارد	نمونه ۷ روزه	نمونه ۲۸ روزه	ابعاد نمونه (سانتیمتر)
۱	حلقه J	BS-EN 12350-12	-	-	-
	جعبه L	BS-EN 12350-10	-	-	-
۲	مقاومت فشاری	BS-EN-12390	۱۵	۱۵	۱۵x۱۵x۱۵ مکعبی
۳	مقاومت کششی	ASTM-C496	-	۵	۳۰x۱۵ استوانه‌ای
۴	جذب آب بتن سخت شده	ASTM C642	-	۵	۱۰x۱۰x۱۰ مکعبی

جدول ۸- طرح مخلوط مورد استفاده جهت انجام آزمایش

ردیف	نام	سیمان	ماسه	شن	بنتونیت	زئولیت	اَبر روان کننده	آب
		kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
۱	SC-B-Z-0%	۴۵۰	۱۰۵۰	۸۵۰	۰	۰	۱۳/۵	۱۸۰
۲	SC-B-Z-2.5%	۴۲۷/۵	۱۰۵۰	۸۵۰	۱۱/۲۵	۱۱/۲۵	۱۳/۵	۱۸۰
۳	SC-B-Z-5%	۴۰۵	۱۰۵۰	۸۵۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۳/۵	۱۸۰
۴	SC-B-Z-7.5%	۳۸۲/۵	۱۰۵۰	۸۵۰	۳۳/۷۵	۳۳/۷۵	۱۳/۵	۱۸۰
۵	SC-B-Z-10%	۳۶۰	۱۰۵۰	۸۵۰	۴۵	۴۵	۱۳/۵	۱۸۰

شکل ۲- برخی از تصاویر مربوط به برنامه آزمایشگاهی تحقیق (از سمت چپ به راست به ترتیب: حلقه J، قیف V، مقاومت کششی، مقاومت فشاری)

در این آزمایش برای ساخت بتن، کلیه سنگ‌دانه‌ها ابتدا به مدت ۳ روز در دمای ۲۵+ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک و آب موجود در حفرات آن تبخیر شود. در ابتدا شن، ماسه و نیمی از آب به داخل میکسر ریخته و به مدت ۶۰ ثانیه مخلوط شدند. پس از آن سیمان، پودر زئولیت و پودر بنتونیت اضافه و به مدت ۶۰ ثانیه دیگر مخلوط شدند. در انتها آب باقیمانده و محلول اَبرروان کننده به آرامی به مخلوط اضافه گردید و تمامی مصالح به مدت ۳ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. قابل ذکر است که سرعت دوران میکسر بتن ۱۵ دور در دقیقه تنظیم گردید. در نهایت، آزمایشات مربوط به بتن تازه بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد. به منظور جلوگیری از چسبندگی بتن به جدار قالب، ابتدا جداره‌های داخلی قالب با یک لایه‌ی نازک روغن معدنی آغشته و بعد بتن بوسیله پارچ ملات‌ریز داخل قالب ریخته شد.

۳- نتایج آزمایشات

۳-۱- حلقه J

آزمایش حلقه J به نوعی شبیه‌ساز عبور بتن از بین آرماتورهای متراکم موجود در قالب می‌باشد. از این آزمایش می‌توان برای تعین ویژگی عبور بتن تازه که خود متأثر از لزجت خمیری می‌باشد هم استفاده کرد. برای انجام این آزمایش لازم است تا صفحه پایه و قسمت درونی مخروط اسلامپ را مرطوب و مرکز حلقه J را بر مرکز صفحه پایه منطبق کرد و سپس مخروط اسلامپ را در مرکز آن قرار داد. پس از ریختن بتن بوسیله کمچه به داخل مخروط اسلامپ و صاف کردن سطح بتن در بالای آن، مخروط را برداشته و اجازه داد بتن به صورت آزاد جریان یابد. سپس اختلاف ارتفاع بتن داخل و خارج حلقه J را در چهار نقطه اندازه گرفته و میانگین-گیری شود. قطر نهائی بتن در دو جهت عمود بر هم در دایره تشکیل شده را اندازه گرفته و میانگین آن‌ها را یادداشت گردد. همچنین در صورت وجود هر گونه شیره در اطراف بتن پخش شده آن را ثبت نمود. هر چه اختلاف ارتفاع بتن موجود در قبل و بعد آرماتورها بیشتر باشد، توانایی عبور کمتر است. بر همین اساس حداکثر اختلاف ارتفاع مجاز برای بتن خود تراکم ۱۰ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. اگر مقادیر اختلاف بیشتر از ۱۰ میلیمتر باشد، احتمال بروز پدیده انسداد افزایش می‌یابد[۲۱]. در نهایت نتیجه این آزمایش از رابطه شماره ۱ می‌شود.

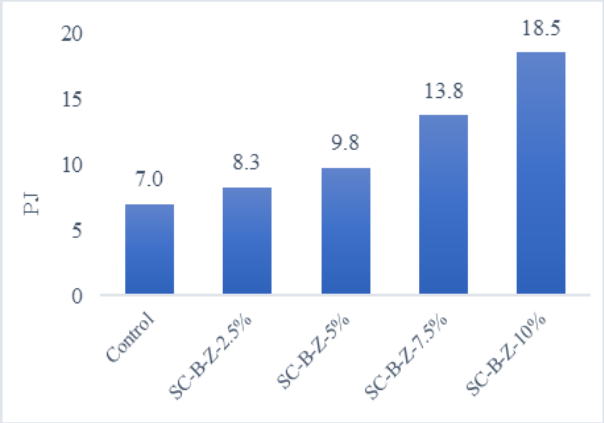
$$P_J = \frac{\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}}{4} - \Delta h_0 \qquad (۱)$$

P_J= انسداد بتن پشت میلگرد

Δh_0= میزان ارتفاع جریان در مرکز بتن

$\Delta h_{x1}, \Delta h_{x2}, \Delta h_{y1}, \Delta h_{y2}$= میزان ارتفاع جریان در اطراف بتن

نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر بنتونیت و زئولیت، میزان روانی بتن خودتراکم کاهش می‌یابد. شکل شماره ۳ نسبت اختلاف ارتفاع (PJ) طرح مخلوط‌ها را نشان می‌دهد. مطابق نتایج بدست آمده، نسبت اختلاف ارتفاع طرح SC-B-Z-2.5%, 5% در محدوده مجاز قرار دارد. اما استفاده از مقادیر بیش از آن ریسک انسداد بتن را پشت تراکم آرماتور افزایش می‌دهد. به‌طوری‌که احتمال انسداد بتن پشت میلگرد در طرح دارای ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ به ترتیب ۱۵/۶٪، ۲۸/۵٪، ۴۹/۲٪ و ۶۲/۱ ٪ افزایش یافته است.

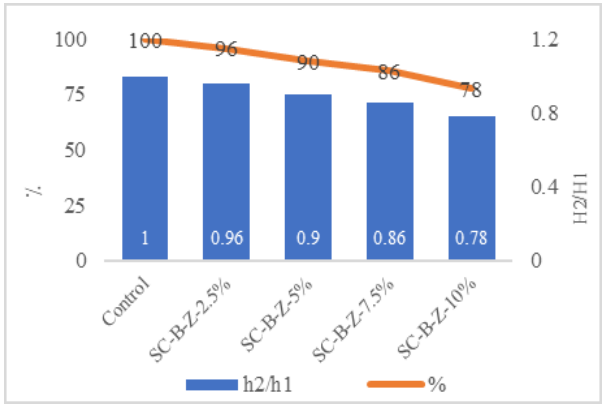


شکل ۳- مقایسه نتایج آزمایش حلقه J طرح‌های مورد آزمایش

۳-۲- جعبه L

این آزمایش قابلیت عبور و پرکنندگی بتن خودتراکم را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و احتمال انسداد مخلوط تازه در اثر مواجه با آرماتورها را بررسی می‌کند. در مقایسه با آزمایش حلقه J، نتایج این آزمایش ارتباط بهتری را با عملکرد مخلوط‌های مختلف در پروژه‌ها داشته است که دلیل آن می‌تواند به کارگیری حجم بیشتر بتن برای عبور از میان آرماتورها است که قاعدتاً به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌باشد. از معایب این روش نیز می‌توان به عدم تمایز بین ویژگی‌های "پرکنندگی" و "قابلیت عبور" مخلوط مورد آزمایش اشاره نمود. روند انجام آزمایش به طور خلاصه به این صورت می‌باشد که ابتدا جداگر کشویی دستگاه بسته شده و قسمت قائم جعبه با نمونه بتنی همگن پر شده و به مدت ۱ دقیقه در

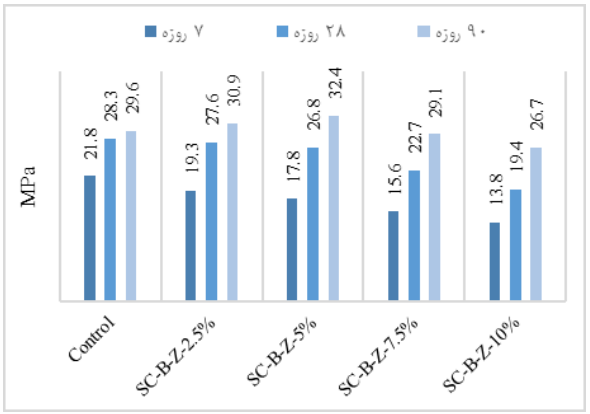
حالت سکون رها می‌شود. سپس جداگر کشویی به بالا کشیده شده و بتن در قسمت افقی جریان می‌یابد. پس از توقف جریان بتن، کاهش ارتفاع سطح بتن در قسمت قائم جعبه به صورت میانگین سه قرائت در عرض وجهی که جداگر نیز در آن قرار دارد اندازه گیری می‌شود تا به کمک آن عمق بتن H_1 در قسمت قائم (تفاضل ارتفاع قسمت قائم دستگاه و AH_1 مشخص شود. به روش مشابه عمق بتن در انتهای قسمت افقی جعبه H_2 از تفاضل ارتفاع جعبه در قسمت انتهایی و میانگین سه قرائت (AH به دست می‌آید). از تقسیم H_2 به H_1 نسبت قابلیت عبور در آزمایش جعبه‌ی L شکل به دست می‌آید. لازم به ذکر است که محدوده قابل قبول برای نسبت (H_2/H_1) بین ۰/۸ تا ۱ می‌باشد. بنابراین هرچه این نسبت به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر برابری ارتفاع بتن در دو ناحیه است و یعنی بتن قابلیت عبور از آرماتور و کارایی مطلوبی دارد[۲۲]. با توجه به نتایج بدست آمده از لحاظ میزان جریان-پذیری بتن در تراکم میلگردها، مشخص گردید که به استثنای طرح SC-B-Z-10% نسبت انسداد تمامی‌نمونه‌ها بالای ۰/۸ می‌باشد که این عدد طبق استاندارد، قابل قبول است. با افزایش درصد جایگزینی همزمان زئولیت و بنتونیت به جای سیمان، شاهد روند صعودی کمی‌در نسبت انسداد خواهیم بود به گونه‌ای که در طرح مخلوط SC-B-Z-2.5%، SC-B-Z-5% و SC-B-Z-7.5% نسبت انسداد ۰/۹۶، ۰/۹۰ و ۰/۸۶ بوده اما در طرح مخلوط SC-B-Z-10% نسبت انسداد ۰/۷۸ می‌باشد. بنابراین با افزایش درصد بالای زئولیت و بنتونیت در بتن، غلظت خمیره سیمان افزایش یافته و میزان جریان‌پذیری را کاهش می‌دهد. در نتیجه بتن در پشت میلگردهای جعبه L با سرعت کمتری جاری شده و باعث بروز اختلاف ارتفاع بیشتری خواهد شد.



شکل ۴- مقایسه نتایج آزمایش جعبه L طرح‌های مورد آزمایش

۳-۳- مقاومت فشاری

پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که عمدتاً استفاده و بکارگیری از پوزولان‌های معدنی باعث افزایش مقاومت بتن می‌شود. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در این تحقیق نیز موید این موضوع است. به‌طور کلی با افزودن پوزولان‌ها بجای سیمان، مقدار مقاومت فشاری در سنین اولیه کاهش می‌یابد اما با افزایش سن عمل‌آوری و انجام کلیه واکنش‌های پوزولانی این اختلاف مقاومت نسبت به نمونه شاهد تا حدودی از بین می‌رود و جبران می‌گردد. در سنین اولیه به علت در دسترس نبودن کلسیم هیدروکسید $Ca(OH)_2$ کافی برای شروع واکنش‌های پوزولانی، اُفت مقاومت فشاری در بتن رخ می‌دهد. ولی در سنین بالا به دلیل پیشرفت سرعت هیدراتاسیون و افزایش سیلیکات کلسیم که در طی واکنش‌های پوزولانی رخ می‌دهد، مقاومت فشاری روند رو به رشدی خواهد داشت. به‌طوری‌که در طرح SC-B-Z-2.5% و SC-B-Z-5% مشخص گردید که مقاومت فشاری نهایی ۹۰ روزه آن در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب ۴/۲ ٪ و ۸/۶ ٪ افزایش پیدا کرده است.



شکل ۵- مقایسه مقاومت فشاری کسب شده در سنین مختلف

از طرفی با کاهش حجم سیمان، به همان نسبت فرایند هیدراتاسیون (C_3S , C_2S) کاهش پیدا می‌کند و آهک شکفته نشده در سیمان به همان مقدار کمتر خواهد شد. بنابراین این مهم دلیلی بر کاهش مقاومت فشاری در سنین اولیه بتن خواهد بود. اما با افزایش سن عمل‌آوری، جایگزینی پوزولان‌ها به خوبی باعث شده تا مقاومت فشاری افزایش یابد و در مواردی برابر نمونه شاهد یا به مقاومتی بیش از نمونه شاهد دست یابند. این مهم متاثر از افزایش تراکم ایجاد شده توسط ریزدانه‌های بنتونیت و زئولیت در بتن می‌باشد که باعث افزایش مقاومت فشاری نهایی بتن خواهند شد. قبلاً اشاره شد که پوزولان‌ها به تنهایی نمی‌توانند از خود مقاومتی نشان دهند، به

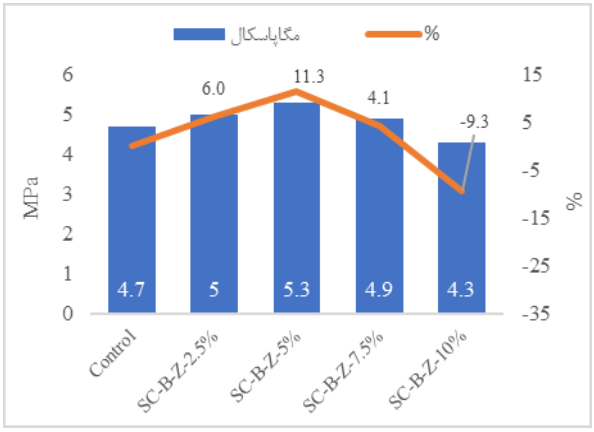
طور کلی پوزولان‌ها از جمله زئولیت و بنتونیت به تنهایی فاقد خاصیت چسبندگی هستند و در مجاورت آهک موجود در سیمان در فرایند هیدراتاسیون، خاصیت چسبندگی بیشتری پیدا می‌کنند. حد بهینه استفاده همزمان از زئولیت و بنتونیت در این تحقیق، بطور جداگانه ۵٪ تعیین گردید. به‌طوری‌که با افزودن مقادیر بیش از آن مانند طرح مخلوط SC-B-Z-7.5% و SC-B-Z-10% شاهد اُفت مقاومت فشاری نهایی (۹۰ روزه) به ترتیب ۱/۷ ٪ و ۱۰/۸ ٪ در مقایسه با نمونه شاهد خواهیم بود. اما با در نظر گرفتن کاهش هزینه‌ها و مخاطرات زیست محیطی و سایر مزایای دیگری که استفاده از کاهش حجم مصرفی سیمان دارد، این میزان اُفت مقاومت فشاری قابل توجیه و استفاده از آن می‌تواند قابل قبول باشد.

۳-٤- مقاومت کششی

تاکنون ثابت شده که میزان مقاومت کششی بتن ارتباط مستقیمی‌با مقاومت فشاری آن دارد[۲۳]. بنابراین عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر روی مقاومت فشاری بتن بر روی میزان مقاومت کششی اثر خواهد داشت. در این تحقیق میزان مقاومت کششی بر روی نمونه‌های استوانه ای ۱۵X۳۰ سانتیمتر و در سن ۲۸ روزه به روش برزیلی مورد سنجش قرار گرفته و نتایج آن در شکل شماره ۵ نمایش داده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، طرح SC-B-Z-5% بیشترین مقاومت را در کشش از خود نشان داده. نتایج سایر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که افزودن پوزولان‌های معدنی در بتن، چسبندگی را افزایش می‌دهد[۲۴]. اما نمونه‌های دارای مقادیر بیشتر از ۵٪ بنتونیت و ۵٪ زئولیت در سطوح جایگزینی سیمان با کاهش مقاومت کششی همراه خواهد بود. در میان عوامل ذکر شده، موثرترین آن‌ها در رابطه با استفاده از مواد پوزولانی، پیوند بین مولکولی می‌باشد که بر همین اساس درصد استفاده از مواد پوزولانی همچون بنتونیت و زئولیت بسیار مهم می‌باشد.

۳-۵- جذب آب بتن سخت شده

این آزمایش علاوه بر اندازه‌گیری میزان جذب آب نیز معیاری برای سنجش تخلخل در بتن می‌باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی دقیق‌تری از خصوصیات بتن سخت شده طرح‌های دارای افزودنی‌های مختلف، درصد جذب آب اولیه (۳۰ دقیقه) و نهایی (۷۲ ساعت) نمونه‌های مکعبی اندازه گیری شد.



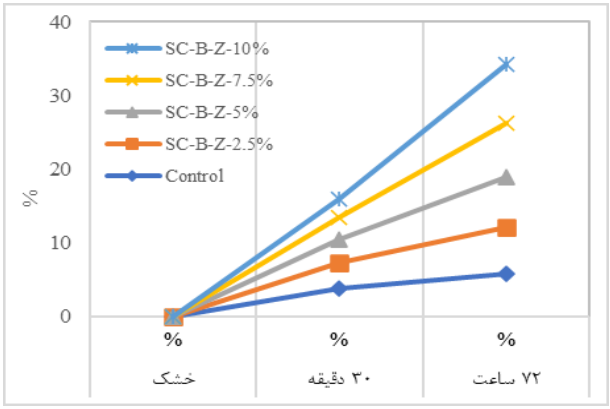
شکل ۶- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های مورد آزمایش

این آزمایش بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۵X۱۵X۱۵ سانتیمتر و در سنین ۲۸ روز انجام گرفت. برای انجام این آزمایش، نمونه‌ها پس از رسیدن به سن آزمایش، از محیط عمل آوری خارج و سطوح آن‌ها بوسیله دستمال خشک گردید. سپس در خشک کن (آون) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد، قرار گرفتند. پس از خروج از آون، نمونه‌ها خنک شده و بعد از رسیدن به وزن ثابت، وزن شدند (جرم M_0). پس از آن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه و ۷۲ ساعت درون آب قرار گرفتند (غرقاب شدند) و پس از خروج از آب توسط پارچه، آب سطحی نمونه‌ها پاک شده، و وزن شدند (جرم M_i). نتایج جذب آب اندازه‌گیری شده برای هر نمونه به‌عنوان افزایش جرم نمونه بر اثر غرق شدن در آب و بر حسب درصد وزن خشک نمونه ارائه گردید. میزان جذب آب بتن اولیه و ثانویه از رابطه شماره ۲ بدست می‌آید[۲۵].

(۲)

$$a = \frac{Mi - Mo}{Mo} \times 100$$

همانطور که انتظار می‌رفت بنتونیت به دلیل دارا بودن خاصیت رسی بسیار آب دوست می‌باشد. همچنین منافذ موجود در زئولیت باعث شده تا بتن مانند یک اسفنج عمل کند. بنابراین این ویژگی زئولیت و بنتونیت موجب می‌شود که جذب آب نمونه‌ها افزایش یابد. قابل ذکر است که استفاده همزمان از بنتونیت و زئولیت به‌دلیل افزایش تراکم در بتن، سرعت نفوذ آب را در بتن کم کرده و میزان جذب آب اولیه بتن را کاهش می‌دهد. به‌طوری‌که در کلیه طرح مخلوط‌ها میزان جذب آب اولیه بتن (۳۰ دقیقه) در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته. اما میزان جذب آب ثانویه بتن (۷۲ ساعت) به‌دلیل خاصیت بنتونیت و زئولیت در بتن افزایش می‌یابد.



شکل ۵- مقایسه میزان درصد آب جذب شده بتن سخت شده

آبا به منظور سنجش کیفیت بتن در آزمایش جذب آب، بتن‌های با جذب آب ۵ ٪ و بالاتر را در رده ضعیف، ۳٪ تا ۵٪ را در رده متوسط و کمتر از ۳ ٪ را در رده خوب دسته بندی کرده است. همچنین در این آیین‌نامه، برای پایایی بتن در محیط‌های خورنده و دریایی مانند سازه‌های بتنی در تماس با خلیج فارس و دریای عمان، حداکثر میزان جذب آب را در قسمت‌هایی که در ناحیه جزر و مد و ناحیه پاشش فوق العاده شدید و سازه‌های نگهدارنده‌های آب و تصفیه خانه فاضلاب ۳/۵ ٪ تعیین کرده است. بنابراین با توجه به نتایج کسب شده از این آزمایش مشخص گردید که تمامی‌طرح اختلاط‌های مورد بررسی نیاز دارند تا برای افزایش دوام در محیط خورنده از سایر افزودنی‌های مکمل جهت کاهش تخلخل بتن استفاده گردد.

٤- بحث

مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید سیمان باعث تولید دی اکسید کربن و آلودگی هوای کلانشهرها می‌شود. همچنین محدودیت‌های تامین انرژی (برق و گاز) مورد نیاز کارخانجات تولید سیمان بعضاً باعث اختلال در روند تولید و افزایش مقطعی قیمت سیمان می‌گردد. بنابراین لازم است تا تدابیری برای کاهش حجم سیمان مصرفی بکار گرفته شود. وجود این مشکلات و تهدیدها امروزه ایجاب می‌کند تا برای کاهش تولید سیمان به افزودنی‌های معدنی روی آوریم تا ضمن حفظ دوام و کیفیت بتن بتوان تولید و مصرف سیمان را کاهش داد.

با توجه به یافته‌های این تحقیق، می‌توان از بنتونیت و زئولیت به‌عنوان یک افزودنی مناسب جهت استفاده در بتن نام برد. بنتونیت و زئولیت جزء پوزولان‌های طبیعی محسوب می‌گردند که می‌توانند جایگزین بخشی از سیمان در بتن خودتراکم گردند. همچنین این جایگزینی باعث بهبود مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن و کاهش مصرف سیمان می‌شود.

٥-نتیجه‌گیری

برخی از مهم ترین نتایج این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

۱. استفاده مقادیر بالای بنتونیت و زئولیت در بتن خودتراکم بدلیل جذب آب شدید، میزان روانی را کاهش می‌دهند. اما بدلیل افزایش قوام خمیره سیمان جلوی جداشدگی سنگ‌دانه و آب انداختگی بتن را خواهد گرفت.

۲. استفاده از بنتونیت و زئولیت در بتن خودتراکم، میزان مقاومت فشاری را در سنین اولیه کاهش می‌دهد که علت آن کمبود هیدروکسید کلسیم برای شروع واکنش‌های پوزولانی می‌باشد. اما در سنین بالا به‌دلیل پیشرفت سرعت هیدراتاسیون و افزایش سیلیکات کلسیم که در طی واکنش‌های پوزولانی رخ می‌دهد، مقاومت فشاری روند رو به رشدی خواهد گرفت.

۳. استفاده از ۲/۵ ٪، ۵٪ بنتونیت و زئولیت به‌طور هم‌زمان به جای سیمان در بتن خودتراکم باعث رشد مقاومت فشاری نهایی (۹۰ روزه) به ترتیب به میزان ۴/۲ ٪ و ۸/۶ ٪ گردید.

۴. با توجه به نتایج به دست آمده از مقاومت فشاری و کششی، می‌توان گفت نمونه‌های ساخته شده با ۵٪ زئولیت و ۵٪ بنتونیت در کشش عملکرد خوبی خواهند داشت.

۵. استفاده از ۲/۵ ٪، ۵٪ و ۷/۵ ٪ بنتونیت و زئولیت بطور هم‌زمان به جای سیمان در بتن خودتراکم باعث رشد مقاومت کششی به ترتیب به میزان ۶/۰ ٪، ۱۱/۳ ٪ و ۴/۱ ٪ گردید.

۶. از آنجایی که بنتونیت بسیار آبدوست بوده و منافذ موجود در زئولیت، جذب آب بالاتری نسبت به سیمان خالص دارند، افزایش بنتونیت و زئولیت، درصد جذب آب بتن تولیدی را بالا می‌برند.

۷. استفاده از ۲/۵ ٪، ۵٪، ۷/۵ ٪ و ۱۰٪ بنتونیت و زئولیت بطور همزمان به جای سیمان در بتن خودتراکم به ترتیب باعث افزایش ۶/۳ ٪، ۶/۸ ٪، ۷/۴ ٪ و ۸٪ میزان جذب آب در بتن سخت شده خواهد شد.

٦- مراجع

[1]. Kalhari, M., Saibani, M. (2012) .Durability of concretes containing zeolite against chloride ion penetration and corrosion. Second National Conference on Engineering and Construction Management, Amir Kabir University of Technology, Bandar Abbas Campus, Iran, pp. 83-48.
[2]. Shirzad.A., Khoshro.M., Katbi.A. (2017) .Investigation of mechanical properties and durability of concrete containing zeolite cement supplement and micronanobubble water. Concrete Research, Year 12, No. 48, pp. 98-60.
[3]. Ramzan Ali. A, Abdi Moghadam.M (2019) .Laboratory investigation of replacing different percentages of zeolite with cement on improving the mechanical characteristics and durability of concrete at high temperatures. Amirkabir Engineering Journal, Volume 52, Pages 1-18.
[4]. Parivi.S., Zahiri.R., Moradi.K., Shaiste.H. (2013) .Investigation of geological and mineralogical characteristics of zeolites of the After Semnan mine., Journal of Sciences and Earth, year 24, number 94, pages 27 to 36.
[5]. Sadat Emini.A (2017) .Investigating the ability of Semnan zeolite to absorb water in removing pollutants from polluted water. First International Water Crisis Conference, Zabul University.
[6]. Ghale Navi.M., Azhdari Moghadam.M., Urei Golmakani.A.A., (2008) .Study on increasing the durability of concrete against freezing and thawing cycles. 8th International Congress of Civil Engineering, Shiraz - Iran
[7]. Esfahani.M.R., Rajabi.M., Ramezani.A.R., (2018) .Investigating the durability of concrete with composite fibers against thawing and freezing cycles with the help of the relative dynamic elasticity modulus., Concrete Research 12th year, number 2, Iran.
[8]. H. Lopz, s. Nunes, j.s. Coutinho, c. Andrade, (2017). Linking fresh and durability properties of paste to scc mortar, cement concr. Compos. 209–226.
[9]. C. Karmo, a.j. Ahmadian hosseini, b. Ashraf hosseini (2019) .investigation of the effect of adding crushed tiles on the strength and stability parameters of self-compacting concrete., 3rd international research conference on concrete technology, berlin, germany.
[10]. C. Helmes, k. Andalibi, j. Kesai (2019). evaluation of the effect of adding recycled aggregate on the mechanical properties of concrete. 10th international congress of civil engineering, faculty of civil engineering, tabriz, iran.
[11]. Zh.zhang, m. Pradhouni (2020) .investigation of the effect of glass powder on the compressive strength of concrete (review article). 7th annual international congress on civil engineering, architecture and urban development, tehran, iran.
[12]. Sajedi.M.R., Rajabi.M., Ramezani.A.R., (2018) "Investigating the durability of concrete with composite fibers against thawing and freezing cycles with the help of the relative dynamic elasticity modulus", Concrete Research 12th year, number 2, Iran.
[13]. M.Zargar, h., dehghani, a., labafzadeh, m. P. (1401) .effect of calcium carbonate with nanocarbon coating on mechanical properties and durability of concrete. Journal of engineering, sharif omran, 2, 39-31.
[14]. B. Shirgir, H. Alizadeh (2017) .Laboratory study of the effect of recycled ceramic shards on the wear resistance of permeable concrete in pavements. - 7th National Conference of Applied Researches in Civil Engineering and Architecture, Khawaja Nasiruddin Tosi University-Tehran, Iran.
[15]. Zoharabi. M. (2016) .Investigation of mechanical and rheological properties of self-compacting concrete containing recycled aggregates with micro-silica pozzolan. - master's thesis in civil engineering, structure orientation, Gilan University, Iran.
[16]. Kalhari, M., Saibani, M. (2012) "Durability of metakaolin-containing concretes against the penetration of chloride ions and corrosion" Second National Conference on Engineering and Construction Management, Amir Kabir University of Technology, Bandar Abbas Campus, Iran, page 132-149.
[17]. Mirgadaz Langroudi.M.M., Mohammadi.V. (2017) .Effect of bentonit on rheological, mechanical and durability characteristics of cement composites. Concrete Research, year 11, number 1, pages 61-74, Iran.
[18]. Khalilzadeh.A, Vahidi.V, Moradi.N (2016) .Laboratory investigation of the effect of nanoclay and fly ash on the compressive strength of cement-sand mortar,. Journal of Structural and Construction Engineering, Iran Structural Engineering Association, year 3, number 1, Iran.
[19]. Tadin.M., Rahmati.H., Salami.H. (1390) .The relationship between the process of obtaining concrete strength and different cements in Iran. - Journal of Concrete Technology Engineering, 1st year, 4th issue, Iran.
[20]. Zahihi.A., Nahovi.A., Samadi.D., Farmanpour.G. (2014) .Comparison of electrical and compressive strength of concrete in freezing and water cycles. 6th annual concrete conference, Tehran, Iran.

[21]. Ramzanianpour. A. A., Ramzanianpour. A. M., Zulfiqaranseb. A. (2014) .The role of silica fume and silica fume mixed cements in the mechanical properties and durability of concrete. - 7th Annual Congress of Concrete Technology, Tehran, Iran.
[22]. F. Old Takme Dash, A.M. Sadeghi, H. Afshin (2018) .Investigation of some durability characteristics of concrete surfaces containing rubber powder. Scientific and research journal of Azarbaijan University, Tabriz, Iran.
[23]. Sharif Tehrani. S., Hosseini Lavasani. H., Shirgir. B. (2016) .Investigation of the effect of water flow and de-icing materials on asphalt concrete deterioration under freezing and thawing cycles. Scientific Research Journal of Civil Engineering, Modares, Iran.
[24]. Tadin.M., Rahmati.H., Salami.H. (1390) .The relationship between the process of gaining concrete strength and different cements in Iran. - Journal of Concrete Technology Engineering, Year 1, Number 4, Iran
[25]. M. Goldost Rezaei, H. Tarvirdizadeh, (2015) .Investigation of the advantages and disadvantages of green and recycled concrete. 4th International Congress of Civil Engineering, Tehran, Iran
[26]. Homayoun, M. J., Aghamajidi, R., Bazaee, A., & mansouri, B. (2022). Studying the Behavior and the Freezing Endurance of Heavy Concrete with Nano-Silica Gel and Ilmenite Powder in Different Volume Ratios. Journal of Concrete Structures and Materials, 7(2), 89-110.
[27]. L.Soltani.J., Zunemat Kermani.M., (1400) .Investigation of the effect of rubberin light dense concrete containing silica and concrete without nano. 2nd Annual Conference of Civil Engineering Research, Tehran – Iran.
[28]. Shirzad.A., Khoshro.M., Katbi.A. (2017) "Investigation of mechanical properties and durability of concrete containing metakaolin cement supplement and micronanobubble water" Concrete Research, Year 12, Number 48, Pages 60-98.
[29]. Azad, B., & Bazaee, A. (2022). Comparison Of Cost And Time Of Construction RCCP And Asphalt Surface (Case Study Of Shiraz). Journal of Concrete Structures and Materials, 7(1), 114-136.
[30]. Familyi.H., Tadin.M., Taghi Tehrani.P. (2008) .Evaluation of the effect of the initial temperature of concrete on its resistance to consecutive cycles of freezing and thawing. - First National Concrete Conference, Tehran – Iran.
[31]. Iranian concrete standard .ABA.
[32]. Ahmadi.J., Azizi.H., Kohi.M. (2014) "Investigation of the effect of metakaolin in different grades of cement on the strength and permeability of concrete" Concrete Research, Year 8, Number 2, Pages 60-78.
[33]. Topic 9 of National Building Regulations. 2019 Edition.

The Effect of Bentonite and Zeolite Combination on Some Mechanical and Rheological Properties of SCC Concrete

Ashkan Khodabandehlou*
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.
Ali Moghtaderi
Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.

Abstract

Today, the large production of cement in the world, especially in Iran, has become critical. Because the production of cement has caused the production of carbon dioxide gas and increased air pollution in cities. Therefore, in this research, the combination of bentonite and zeolite was used to increase the quality of concrete and reduce the consumption of stone and cement powder. The laboratory program of this research includes five mixed designs with the simultaneous combination of bentonite and zeolite in different ratios of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight of cement in SCC concrete. The results of this research showed that the simultaneous use of zeolite and bentonite up to 5% by weight of cement can have acceptable results. It increases the compressive strength by 8% and the tensile strength by 11%. But these pozzolans increase the hardness of SCC concrete due to their high water absorption and the possibility of the concrete being blocked behind the rebar density increases.

Keywords: SCC Concrete, Mineral Pozzolan, Zeolite, Bentonite, Concrete Rheology.

* Corresponding Author: a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir