

امکان سنجی طرح اختلاط بومی با استفاده از منابع بالقوه کشور به منظور دوام و توسعه پایدار (مطالعه موردی - اپرون فرودگاه مشهد)

محمدرضا زحمتکشان^۱، کیانوش صمیمی^{۲*}

۱. مدیر کل عمران و توسعه فرودگاه‌ها، شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

Email: k_samimi@sbu.ac.ir*

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۰۹]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۷/۱۷]

چکیده

طرح اختلاط بومی بتن رویکرد نوینی است که به عنوان راهکار اقتصادی به منظور توسعه پایدار بسیاری از زیربناهای عمرانی در جهان مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور در این مقاله، یک روش کاربردی و اجرایی برای افزایش کارایی و عمر روسازی‌های بتنی فرودگاه مشهد با استفاده از منابع معدنی بالقوه و نیز برای کمترین هزینه‌های نگهداری معرفی شده است. در این مطالعه، ۸ طرح اختلاط بتن با سنگدانه‌های دو معدن محلی مهریزی و رضایی نسبت به فرودگاه مشهد تهیه و سپس خواص مکانیکی و رفتار دوامی کلیه مخلوط‌ها برای ارائه طرح اختلاط بهینه بومی انجام شد. نتایج نشان داد که با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به نمونه‌های حاوی میکروسیلیس، مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی تا میزان ۸.۷ مگاپاسکال افزایش یافت. بر اساس نتایج، نمونه‌های بتنی حاوی سنگدانه‌های مهریزی در مقایسه با بتن‌های ساخته شده از سنگدانه‌های معدن رضایی عملکرد بهتری از لحاظ رفتار مکانیکی و دوامی نشان دادند. همچنین در بین مخلوط‌های معدن مهریزی، طرح اختلاط حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و ۷ درصد جایگزینی میکروسیلیس از نا با سیمان به مراتب مقاومت و دوام بالاتری نسبت به دیگر نمونه‌ها را از خود نشان دادند. به شکلی که میزان بهبود مقاومت فشاری، مقاومت در برابر تهاجم یون کلر، پدیده ذوب و یخ و واکنش‌های قلیایی سیلیسی در مقایسه با نمونه شاهد پس از پایان دوره هریک آزمایش‌های مذکور به ترتیب برابر با ۲۲/۸۱٪، ۴۱٪، ۴۰٪ و ۱۸۹/۳۱٪ شده است. پس بر اساس نتایج مذکور طرح اختلاط بومی با استفاده از مصالح معدن مهریزی برای استفاده در اپرون فرودگاه مشهد پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: الیاف پلی‌پروپیلن، روسازی بتنی، دوام، طرح اختلاط بهینه، میکروسیلیس.

۱- مقدمه

هر ساله به دلیل پایین بودن عمر خدمت‌دهی روسازی‌های بتنی و آسفالتی مبالغ بالایی برای ارزیابی کیفیت راه‌ها به ویژه روسازی فرودگاه‌های کشور هزینه می‌شود. در کشور ایران به دلایلی از جمله فراوانی قیر، آشنایی بیشتر با روسازی آسفالتی و همچنین وجود ضوابط فنی، غالب روسازی‌ها از نوع آسفالتی است. عمر بیشتر روسازی بتنی نسبت به روسازی آسفالتی، سبب شده است که متولیان امور عمرانی کشور استفاده از روسازی بتنی را به عنوان گزینه‌ای در کنار روسازی آسفالتی مطرح نمایند. استفاده از روسازی بتنی، در مکان‌های سطوح پروازی همچون اپرون، تاکسیوی و باند باید مقاومت بالایی در برابر فشار، ضربه و سایش داشته باشند. از طرفی یکی از مشکلات عمده استفاده از روسازی بتنی در مناطق سردسیر، دوام پایین آن در برابر چرخه‌های ذوب و یخبندان است. با توجه به تکنولوژی بتن و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای افزایش دوام بتن، می‌توان معایب روسازی‌های بتنی را در برابر عوامل مخرب جبران نمود و عمر خدمت‌دهی آن‌ها را به مقدار قابل توجهی افزایش داد به طوری که از لحاظ اقتصادی به نسبت رویه‌های آسفالتی توجیه قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. یکی از اولین و اصولی‌ترین مبنای اجرای با کیفیت بر اساس توسعه پایدار در روسازی‌های بتنی بهره‌مندی از طرح اختلاط بتن منطبق با شرایط خاص محیطی، مشخصات و کاربری، مصالح موجود در منطقه و افزودنی‌های مناسب است. اگر دوام بتن را به عنوان تاثیرگذارترین فاکتور در پایداری سازه‌ها بدانیم، بی شک درک صحیح و اعمال شرایط ویژه منطقه‌ای به ویژه لحاظ چگونگی مقابله با عوامل خورنده و مخرب بتن می‌تواند تضمین کننده دوام سازه‌های بتنی در شرایط مختلف محیطی باشد. همچنین توجه به ویژگی‌های اقلیمی و تاثیر آنها بر سازه‌های بتنی بویژه سازه‌های بتن آرمه از نظر افزایش دوام و در نتیجه عمر مفید سازه حائز اهمیت فراوان است [1]. شهر مشهد به خاطر موقعیت جغرافیای خاصی که دارد دارای آب و هوا و خصوصیات اقلیمی ویژه‌ای است، قسمتی از آن اقلیم سرد و خشک، و قسمتی دیگر مرطوب و سرد است. بالاترین دما در تابستان‌ها ۴۳ درجه بالای صفر و پایین‌ترین دما در زمستان‌ها ۲۳ درجه زیر صفر است. پس

ضروری است تا طرح اختلاطی پیشنهاد شود که دوام بتن در این شرایط محیطی و تغییرات دمایی حفظ شود. در حال حاضر بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا به منظور افزایش دوام سازه‌های بتنی اقدام به استفاده از مصالح نوین ساختمانی (پوزولان و افزودنی‌های نوین) در صنعت ساخت و ساز عمران نموده‌اند. نتایج و دستاورد حاصل این پروژه‌ها نشان دهنده تاثیر مثبت این فناوری‌ها در افزایش دو برابر طول عمر سازه‌های بتنی بوده است. پوزولان‌ها به عنوان مواد افزودنی می‌توانند جایگزین بخشی از سیمان مصرفی شوند. میکروسیلیس یک نمونه از پوزولان‌هایی است که در دهه‌های اخیر استفاده از آن در بتن به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. مزایای استفاده از میکروسیلیس به شرح زیر است [2]:

- مقاومت فشاری اولیه بالا
 - مقاومت کششی، خمشی و مدول الاستیسیته بالا
 - افزایش چغرمگی
 - مقاومت چسبندگی بالا
 - دوام بالا در مقابل حملات شیمیایی
 - کاهش نفوذپذیری
 - افزایش مقاومت سایشی
 - مقاومت الکتریکی بالا و نفوذپذیری کم
 - کاهش آب انداختگی در بتن تازه
 - ساخت بتن‌های با مقاومت بالا
 - کاهش واکنش قلیایی سیمان با سنگدانه‌ها
- همچنین بتن در برابر تغییرات دمایی رفتار شکننده‌ای دارد به شکلی که یکی از چالش‌های اصلی در روسازی‌های بتنی ظهور ترک و گسترش آن‌ها در طول زمان و به دنبال ورود عوامل مخرب در عمق بتن می‌باشد. یک روش برای کاهش این ترک‌ها استفاده از الیاف در مخلوط‌های بتنی است. همچنین استفاده از الیاف در ساختار بتن می‌تواند منجر به افزایش مقاومت خمشی گردد. مطالعات نشان می‌دهد استفاده از الیاف پلی پروپیلن (PP) می‌تواند به نسبت سایر الیاف‌ها عملکرد به مراتب بهتری داشته باشد. الیاف پلی پروپیلن باعث جلوگیری از آب انداختگی بتن شده و از انتقال آب به سطح بتن جلوگیری می‌کند که نتیجه آن همگن شدن بتن و یکسان سازی نسبت آب به سیمان در تمام

حمل و نقل مصالح می‌باشد و از سوی دیگر مسئله کیفیت مصالح مورد استفاده در ساخت بتن امری ضروری است، پس توجه دو سویه به منظور انتخاب بهینه معادن برای تامین مصالح مورد توجه است. در این مطالعه ۸ معدن در سرتاسر خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفتند. بسیاری از معادن در همان بررسی اولیه مردود شدند ولی در نهایت مصالح دو معدن رضایی و مهریزی مشهد برای انجام آزمایش‌های نهایی انتخاب شدند (شکل ۱). برای همه طرح اختلاط‌ها، ماسه طبیعی با بیشترین اندازه ۴/۷۵ میلی‌متر به عنوان سنگدانه ریز و شن با اندازه اسمی ۱۹/۷۵-۴ میلی‌متر به عنوان سنگدانه درشت استفاده شد.

شکل ۱. بازدید از معادن و انتخاب مصالح مناسب.



Fig. 1. Visiting mines and choosing suitable materials.

۲-۱-۲ سیمان و پوزولان

در این مطالعه از سیمان تیپ ۲ مشهد برای ساخت بتن استفاده شده است.

میکروسیلیس سبب افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش نفوذ یون کلراید، کاهش تخلخل، استحکام ریزساختار و در نهایت افزایش دوام و طول عمر بتن می‌شود. در این مطالعه از میکروسیلیس منطقه ازنا استفاده شده است.

۲-۱-۳ الیاف پلی پروپیلن

الیاف پلی پروپیلن مصرفی از نوع الیاف پیوسته و از محصول شرکت نانو نخ سیرجان می‌باشد. باید توجه شود که الیاف پلی پروپیلن به آهستگی به مخلوط بتن اضافه شود تا از جمع شدگی حجم زیادی از آنها در یک نقطه جلوگیری شده و به صورت یکنواخت با ملات بتن ترکیب شود.

۲-۱-۴ فوق روان کننده

به منظور انتخاب فوق روان کننده مناسب برای طرح اختلاط بتن، محصولات شرکت‌های سیکا، البرز شیمی، فرآورده‌های

بتن و تداوم عمل هیدراتاسیون است. این الیاف نفوذپذیری سطح بتن را کاهش داده و موجب افزایش عمر بتن و افزایش مقاومت سایشی بتن می‌شود و لذا سطح بتن دچار خردشدگی و ورقه شدن نمی‌گردد. کاربرد این الیاف سبب می‌شود تا شکندگی بتن به شکل قابل توجهی کاهش یافته و بتن الیافی، رفتار شکل پذیری را تحت بارهای مختلف از خود نشان دهد که این مسئله در هنگام زلزله و یا هر گونه بارگذاری ناگهانی حائز اهمیت است. شایان ذکر است که استفاده از الیاف‌های پلی پروپیلن هیچ زیانی را متوجه سلامتی انسان ننموده و از جنبه بهداشتی و زیست محیطی هیچ‌گونه عوارضی را به همراه ندارند [3]، ارائه نتایج این مقاله به‌عنوان یک روش کاربردی و اجرایی برای افزایش کارایی و عمر روسازی‌های بتنی با استفاده از منابع معدنی بالقوه در کشور و نیز به حداقل رساندن هزینه‌های نگهداری خواهد بود. از اهداف این پژوهش می‌توان به مواردی همچون: بهینه‌سازی طرح اختلاط بر اساس شرایط اقلیمی با توجه به مصالح موجود در منطقه، افزایش مقاومت و دوام روسازی‌های بتنی، کاهش هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و نگهداری و کاهش ضخامت روسازی‌های بتنی اشاره نمود. این رویکرد نشان می‌دهد تا چه میزان انتخاب مصالح (نوع معدن و جنس مصالح) و افزودنی‌ها می‌تواند روی عملکرد بتن تأثیرگذار باشد، به طوری که پیش از این در پروژه‌های عمرانی به آن کمتر توجه شده است. به منظور دستیابی به اهداف فوق، پس از بررسی مصالح و منابع مورد نیاز و با توجه به ویژگی‌های مقاومتی و دوامی بتن، ۸ طرح مخلوط برای بتن ارائه شد. برای ارزیابی طرح‌های ارائه شده، پس از ساخت و نمونه برداری بتن در آزمایشگاه، آزمایش‌های مختلف از جمله بررسی خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، رفتار دوامی و آنالیز ریزساختار روی آنها انجام گرفت.

۲- ابزار و روش‌ها

۲-۱-۲ بررسی منابع و مصالح

۲-۱-۲-۱ مصالح سنگی (شن و ماسه)

ابتدا معادن شن و ماسه موجود در منطقه به منظور انتخاب بهینه مصالح مورد نیاز بررسی شدند. طبیعتاً بخش قابل توجهی از هزینه ساخت و ساز در پروژه‌های عمرانی مربوط به هزینه‌های

ساختمان و استرامیکس مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت محصولات دو شرکت استرامیکس و سیکا برای ساخت نمونه-های بتنی انتخاب شدند.

نسبت آب به سیمان ۰/۳۴ به صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. طرح‌های مخلوط پیشنهادی برای ساخت بتن.

PP(kg)	Air Entraining (gr)	SP(kg)	Water (kg)	Microsilica (kg)	Cement(kg)	Almond Gravel (kg)	Pea Gravel(kg)	Sand (kg)	
0	0	3	136	0	400	540	270	990	ISI-M
0	0	4.07	136	0	400	540	270	990	IST-M
0.8	200	2.67	136	28	372	540	270	990	9SI-M
0.8	200	3.43	136	28	372	540	270	990	9ST-M
0	0	4.64	136	0	400	540	270	990	ISI-P
0	0	5.80	136	0	400	540	270	990	IST-P
0.8	200	5	136	28	372	540	270	990	9SI-P
0.8	200	5.43	136	28	372	540	270	990	9ST-P

Table 2. Suggested mix designs for concrete construction.

۵-۱-۲ هوازا

استفاده از مواد افزودنی هوازا منجر به افزایش روانی بتن و افزایش دوام بتن در برابر پدیده ذوب و یخ می‌شود. در این Mix مطالعه نیز محصولات دو شرکت استرامیکس و سیکا بمنظور بررسی عملکرد آنها انتخاب شدند.

۲-۲ طرح اختلاط

مطابق جدول ۱ ابتدا ۹ طرح اختلاط برای خمیر سیمان پیشنهاد شد و پس از ارزیابی‌های اولیه، ۴ طرح ۱، ۲، ۶ و ۹ از میان آنها انتخاب شدند. سپس برای انتخاب طرح اختلاط بهینه از میان این ۴ طرح، نمونه‌های خمیر سیمان در آزمایشگاه ساخته شد و مقاومت فشاری آنها در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. با توجه به نتایج بدست آمده طرح شماره ۱ به عنوان نمونه شاهد و طرح شماره ۹ که حاوی الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس بود، برای ساخت بتن انتخاب شدند.

جدول ۱. طرح اختلاط خمیرهای سیمانی.

N.O.	Cement (kg)	Microsilica (kg)	Water (kg)	SP (kg)	Air Entraining (gr)	PP (kg)
1	400	0	136	2.8	0	0
2	400	0	136	2.8	200	0
3	400	0	136	2.8	40	0
4	372	28	136	2.8	0	0
5	400	0	136	2.8	0	0.8
6	400	0	136	2.8	200	0.8
7	400	0	136	2.8	40	0.8
8	372	28	136	2.8	0	0.8
9	372	28	136	2.8	200	0.8

Table 1. Design of mixing cement pastes.

طرح‌های اختلاط بتن براساس این دو طرح و فوق روان کننده شرکت‌های سیکا (SI) و استرامیکس (ST) برای مصالح سنگی هر دو معدن مهریزی (M) و رضایی (P) به طور جداگانه پیشنهاد شده است. طرح‌های اختلاط بتن پیشنهاد شده به شرح جدول ۲ است. لازم به ذکر است که وزن مصالح ارائه شده برای یک مترمکعب بتن است و در تمامی طرح‌های اختلاط پیشنهادی

۳-۲ آماده سازی و نگهداری نمونه‌ها

کلیه طرح مخلوط‌ها در میکسر با حجم ۱۵۰ لیتر آماده شدند. مصالح سنگی اعم از شن و ماسه را درون میکسر ریخته و به مدت ۳ دقیقه با چرخش میکسر با یکدیگر مخلوط می‌شوند. در طول این مدت، دو سوم از آب مورد نیاز به مخلوط اضافه می‌شود. سپس مصالح پودری (سیمان و میکروسیلیس) که با الیاف مخلوط شده‌اند را به درون میکسر ریخته و مخلوط به مدت ۱ دقیقه با چرخش میکسر ادامه می‌یابد. در پایان، فوق روان کننده و آب باقی مانده را درون میکسر ریخته و مخلوط به مدت ۲ دقیقه دیگر ادامه می‌یابد. برای جلوگیری از تبخیر آب در هنگام مخلوط از یک پوشش پلاستیکی بر روی میکسر در هنگام چرخش استفاده می‌شود.

۴-۲ روش آزمایش‌ها

۴-۲-۱ آزمایش‌های کیفیت مصالح

آزمایش‌های دانه‌بندی، هم ارز ماسه‌ای، تعیین چگالی، تعیین درصد جذب آب، آزمایش تطویل و تورق، آزمایش تعیین درصد شکستگی یک جبهه و دو جبهه و آزمایش مقاومت سنگدانه در برابر سایش و ضربه (لس آنجلس) از جمله آزمایش‌هایی هستند که به منظور بررسی کیفیت و سلامت مصالح روی سنگدانه‌های معادن رضایی و مهریزی انجام شده است.

قبل و بعد از قرارگیری در خشک کن، از ۰/۵٪ وزن نمونه پس از خارج شدن از دستگاه، کمتر باشد که حداقل ۴۸ ساعت است. پس از آن نمونه مورد نظر به مدت حداقل دو روز در آب و به صورت مغروق نگهداری و بعد از بیرون آوردن از آب با سطح خشک توزین می‌شود. با استفاده از وزن خشک و خیس نمونه‌ها و همچنین وزن نمونه در سبد ارشمیدس، میزان جذب آب آن تعیین می‌شود [6].

۲-۴-۴ انقباض

آزمایش تعیین انقباض کلی بتن طبق استاندارد ASTM C157 انجام شد. در این آزمون، نمونه‌ها در یک زمان معین عمل‌آوری شده و در هوا خشکانده می‌شوند و تغییر طول آنها اندازه‌گیری می‌شود. نمونه‌ها در قالب‌هایی با ابعاد استاندارد که از چدن و با کیفیت بالا ساخته شده اند تهیه می‌شوند و میزان جمع شدگی آنها در کمپراتور تعیین تغییر طول مجهز به ساعت اندازه‌گیری با دقت 0.002 mm اندازه‌گیری می‌شود. نمونه آزمایشگاهی باید یک منشور $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ و تقریباً با طول 280 mm باشد [7].

۲-۴-۵ آزمایش مهاجرت یون کلر تسریع شده

آزمایش مهاجرت در رژیم ناپایدار تحت نیروی الکتریکی از طریق روش استاندارد NT BUILD 492 انجام می‌شود. این آزمون روی نمونه‌های استوانه‌ای با قطر حداقل 100 mm انجام می‌شود. تصویر دستگاه استفاده شده در این آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. دستگاه RCMT استفاده شده در آزمایش.



Fig. 3. The RCMT device used in the experiment.

ضریب مهاجرت یون کلراید طبق معادله (۲) محاسبه می‌شود.

۲-۴-۲ آزمایش‌های خواص مکانیکی

آزمایش مقاومت فشاری برای بررسی و کنترل کیفیت بتن سخت شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه، آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد ASTM C39 انجام شد. [4]. همچنین آزمایش مقاومت خمشی طبق استاندارد ASTM C78 انجام شد [5]. در این آزمایش نمونه‌ها را بطور مرکزی روی قطعات تکیه گاهی قرار داده و باری در حدود ۳ تا ۶ درصد بار نهایی تخمین زده شده در نقاط یک سوم آن اعمال شد. در نهایت مدول گسختگی (R) بر حسب مگاپاسگال از معادله (۱) به دست می‌آید. در این رابطه P حداکثر بار اعمال شده توسط دستگاه برحسب نیوتن، L طول دهانه برحسب میلی‌متر، b عرض متوسط نمونه برحسب میلی‌متر و d ارتفاع متوسط نمونه در سطح شکست بر حسب میلی‌متر است. تصویر نمونه شکسته شده در این آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است.

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{معادله (۱)}$$

شکل ۲. نمونه بتنی بعد از شکست در آزمایش مقاومت خمشی.



Fig. 2. Concrete sample after failure in flexural strength test.

۲-۴-۳ آزمایش جذب آب حجمی

آزمایش جذب آب حجمی بتن طبق استاندارد ASTM C642 انجام شد. در این آزمایش از سه نمونه استوانه‌ای به ابعاد 100×50 میلی‌متر استفاده شد. روش انجام آزمایش بدین صورت است که پس از ساخت و عمل‌آوری، نمونه‌ها در سن ۲۸ روز از آب خارج شده و وزن‌کشی می‌شوند. سپس نمونه‌ها درون خشک‌کن با دمای 105 تا 110 درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و از دستگاه خارج و مجدداً توزین می‌شود. مدت قرارگیری نمونه‌ها تا زمانی است که تفاضل وزن نمونه در حالت

غلظت ۵٪ CO₂ با رطوبت نسبی ۶۵±۲٪ لحاظ شده است. غلظت CO₂ و رطوبت نسبی به طور خودکار با استفاده از یک PLC (کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی) کنترل می‌شود. در محفظه دستگاه با استفاده از شیر پنوماتیک فشار داخلی CO₂ ثابت نگه داشته می‌شود. همچنین رطوبت نسبی با استفاده از رطوبت در محدوده ۶۵±۲ درصد ثابت نگه داشته می‌شود.

شکل ۴. الف) نمونه‌های بتنی آماده شده برای انجام آزمایش کربناتاسیون و ب) دستگاه استفاده شده در آزمایش.

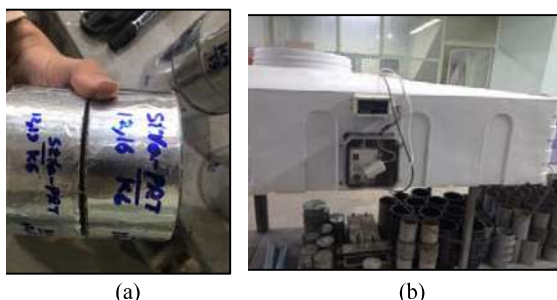


Fig. 4. a) Concrete samples prepared for the carbonation test and b) the device used in the test.

درجه حرارت در محفظه کربناته شدن در طول دوره آزمایش در ۲۳±۲ درجه سانتیگراد ثابت است. ظرفیت کلی محفظه ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد. تمامی اتصالات بررسی شده تا بتوان آزمایش را در محیط ایزوله اعمال کرد. برای تعیین کربناته شدن عمق، برش‌های سیلندر در سن ۲۸ روز با ابعاد ۵۰×۱۰۰ میلی‌متر (سه نمونه برای هر طرح مخلوط) استفاده شد. عمق نفوذ CO₂ در سن ۶۰ روزه آزمون با پاشیدن محلول فنل فتالین با غلظت ۰.۱٪ بر روی سطوح خرد شده تعیین شد. نمونه‌های بتنی قبل از آزمایش و همچنین دستگاه استفاده شده برای آزمایش کربناتاسیون تسریع شده در شکل ۴ آورده شده است.

۶-۴-۲ آزمایش ذوب و یخبندان

در این مطالعه، آزمایش ذوب و یخبندان طبق استاندارد ASTM C672 انجام شد. این روش مقاومت نمونه در برابر پوسته پوسته شدن سطح بتن را مطالعه قرار می‌دهد، به این ترتیب که نمونه به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری می‌شود و سپس به مدت ۸ ساعت در دمای محیط ۲۳ درجه سانتیگراد قرار داده می‌شود. همچنین محلولی مطابق استاندارد

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} (x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)Lx_d}{U - 2}}) \quad \text{معادله (۲)}$$

در رابطه بالا D_{nssm} ضریب مهاجرت یون کلر $(\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s})$ ، U ، ولتاژ اعمال شده (V)، T دمای محلول آنولیت (°C)، L ضخامت نمونه (mm)، x_d عمق نفوذ کلراید (mm)، t دوره زمانی آزمایش (ساعت) می‌باشد. پس از محاسبه ضریب مهاجرت یون کلر در رژیم ناپایدار، می‌توان کیفیت دوامی نمونه‌های بتنی را در برابر نفوذ یون کلر در محیط‌های مخرب ارزیابی نمود. بدین منظور، جدول ۳ سطوح مقاومت در برابر نفوذ یون‌های کلرید را که توسط Tange Jepsen و همکاران در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است می‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی این مهم باشد [8].

جدول ۳. عملکرد دوامی نمونه بر مبنای ضریب مهاجرت یون کلر در رژیم ناپایدار.

Chloride Migration Coefficient	Resistance to Chloride Penetration
$D < 2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Very good
$D < 8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Good
$D < 16 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Acceptable
$D > 16 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	unacceptable

Table 3. The durable performance of the sample based on the chloride ion invasion coefficient in the unstable regime.

۵-۴-۲ آزمایش مقاومت الکتریکی

یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن، روش چهار الکترودی است. در این روش چهار الکترود به فاصله‌های مساوی از هم قرار گرفته و یک جریان متناوب کوچک میان الکترودهای بیرونی به کار برده می‌شود و پتانسیل به وسیله الکترودهای داخلی اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت ویژه الکتریکی به کمک معادله (۳) محاسبه می‌شود. در این معادله A فاصله میان الکترودهای داخلی، V ولتاژ و I شدت جریان است [9].

$$\rho = \frac{2\pi AV}{I} \quad \text{معادله (۳)}$$

۶-۴-۲ آزمایش کربناتاسیون تسریع شده

در این مطالعه، روش آزمایش کربناتاسیون تسریع شده براساس دستورالعمل APPLT فرانسه اتخاذ شد. در این روش اعمال

در سطح نمونه ریخته می‌شود و پس از هر بار ذوب و یخ تغییرات ایجاد شده در نمونه مطابق استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه، تعداد سیکل ذوب و یخ ۵۰ بار در نظر گرفته شد. [10].

۲-۴-۶ آزمایش واکنش قلیایی سیلیسی بتن

در این مطالعه، برای تعیین میزان انبساط ناشی از واکنش‌های قلیایی سیلیسی (ASR)، از آزمایش میله ملات تسریع شده (AMBT) مطابق با استاندارد ASTM C1260 استفاده شده است. سه نمونه ملات منشوری با ابعاد $25 \times 25 \times 285$ میلی‌متر مکعب و سه نمونه ملات مکعبی با ابعاد $50 \times 50 \times 50$ میلی‌متر مکعب برای هر طرح اختلاط به ترتیب برای تجزیه و تحلیل تغییرات طول و افت مقاومت استفاده گردید. پس از قالب‌گیری، نمونه‌ها در ظروف جداگانه حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند. پس از ۲۴ ساعت نگهداری، قرائت اولیه نمونه‌های منشوری توسط کمپراتور طولی به عنوان قرائت مرجع انجام شد. پس از آن، نمونه‌ها در محلول 1 N NaOH به مدت ۹۱ روز در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا پایان دوره آزمایش نگهداری شدند. نرخ انبساط هر طرح اختلاط به صورت میانگین سه نمونه بر اساس قرائت کمپراتور طولی با دقت 0.02% میلی‌متر در طول دوره‌های متعدد ثبت و گزارش شدند. در پایان مقدار انبساط (ΔL) و افت مقاومت فشاری (CL) به ترتیب با استفاده از معادله (۴) و معادله (۵) محاسبه می‌شود [11].

$$\Delta L (\%) = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن ΔL تغییر طول در هر سن برحسب درصد، Lx طول نمونه خوانده شده توسط کمپراتور در همان سن، Li طول اولیه (مرجع) خوانده شده توسط کمپراتور و Lg طول اسمی گیج است.

$$CL (\%) = \left(\frac{CS_w - CS_A}{CS_A} \right) \times 100 \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن CL افت مقاومت فشاری نمونه پس از ۹۱ روز برحسب درصد، CS_w مقاومت فشاری نمونه پس از ۹۱ روز عمل‌آوری در آب و CS_A مقاومت فشاری نمونه پس از ۹۱ روز عمل‌آوری در محلول مخرب.

۲-۴-۶ بررسی ریزساختار

مشاهدات اسکن الکترونی میکروسکوپی از طریق طیف‌سنجی اشعه X بر روی نمونه‌های بتنی توسط آشکارسازهای SE و BSE در بزرگ‌نمایی‌های مختلف با میکروسکوپ FEI ESEM QUANTA 200 انجام گرفت. قبل از تصویرگیری، برای رسانایی سطحی از پوشش طلا روی نمونه‌ها استفاده شد که به روش PVD در دستگاه COXEM انجام شدند.

۳- نتایج

۳-۱ کیفیت مصالح

نتایج بررسی کیفیت مصالح شامل آزمایش‌های تعیین چگالی، میزان جذب آب، هم‌ارز ماسه‌ای، آزمایش تطویل و تورق، لس آنجلس و آزمایش تعیین درصد شکستگی یک جبهه و دو جبهه آورده شده است. در اکثر آزمایش‌ها، کیفیت سنگدانه معدن مهریزی بالاتر بوده و نسبت به سنگدانه معدن رضایی برای ساخت بتن در اولویت قرار دارد [12].

۳-۱-۳ مقاومت فشاری

نمونه‌های ساخته شده براساس طرح مخلوط‌های پیشنهادی مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند که نتایج آن در (شکل ۵۵) **Error! Reference source not found.** آورده شده است.

در منحنی‌های ترسیم شده تاثیر نوع معدن (مهریزی یا رضایی)، استفاده از میکروسیلیس و نوع فوق روان‌کننده (سیکا یا استرامیکس) مشهود است. بطوری که ملاحظه می‌نمایید بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه 9-SI-M است. این طرح (شماره ۹) به علت داشتن میکروسیلیس در طرح مخلوط بتنی، در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز به ترتیب ۱۸٪، ۱۹/۲٪ و ۲۲/۳٪ مقاومت فشاری بیشتری نسبت به طرح (شماره ۱) متناظر دارد. همچنین استفاده از سنگدانه‌های معدن مهریزی و فوق روان‌کننده شرکت

۲-۳ مقاومت خمشی

در شکل ۶ نتایج مربوط به آزمایش مقاومت خمشی روی نمونه‌های ساخته شده براساس طرح‌های اختلاط پیشنهادی آورده شده است. در این منحنی علاوه بر تاثیر معدن و فوق روان کننده، تاثیر استفاده از الیاف نیز کاملاً مشخص است. افزودن الیاف PP به نمونه‌های حاوی میکروسیلیس سبب شده تا مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی تا میزان ۸/۷ مگاپاسکال افزایش یابد. همچنین استفاده از سنگدانه‌های معدن مهریزی و فوق روان کننده شرکت سیکا باعث شده تا مقاومت خمشی طرح 9-SI-M از سایر نمونه‌ها بیشتر باشد.

شکل ۶. نتایج آزمایش مقاومت خمشی.

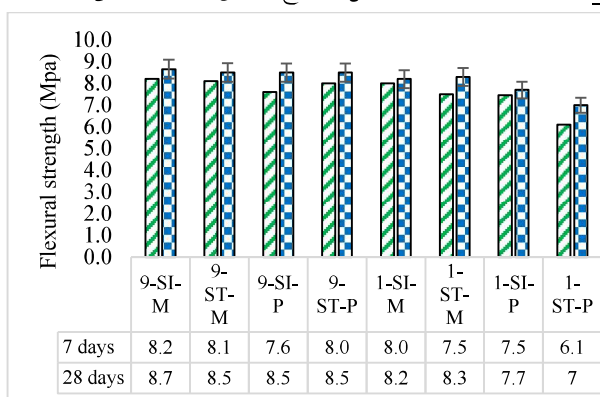


Fig. 6. Flexural strength test results.

۳-۳ جذب آب حجمی

نتایج مربوط به این آزمایش در شکل ۷ قابل مشاهده است. میزان تخلخل در تمام نمونه‌ها در سن ۹۰ به مراتب کمتر از سن ۲۸ روز است. دلیل کاهش تخلخل نمونه‌ها در سن ۹۰ روز می‌تواند مربوط به واکنش‌های پوزولانی میکروسیلیس باشد که منافذ ریزساختار نمونه‌های بتنی را با CSH ثانویه پر نموده است. همچنین کمترین میزان تخلخل مربوط به نمونه 9-SI-M (۳/۳۸٪) در سن ۹۰ روز است که در مقایسه با نمونه 1-ST-P (۹/۶٪) به میزان ۶۴٪ کاهش نشان داده است. این نتیجه نشان می‌دهد که انتخاب فوق روان کننده و مصالح استاندارد (در شرایطی که طرح مخلوط یکسان است) می‌تواند ساختار متراکم‌تری در ماتریس بتن ایجاد نماید.

سیکا باعث شده تا مقاومت فشاری این نمونه از سایر نمونه‌ها بیشتر باشد. وجود الیاف و میکروسیلیس سبب افزایش مقاومت شده است، همچنین با گذر زمان خواص پوزولانی میکروسیلیس سبب شده است که میزان تغییرات مقاومت فشاری در سن ۹۰ روز بیشتر است.

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های سلامت مصالح سنگی معادن مهریزی و رضایی.

Material	Density (Ton/m ³)	Water adsorption (%)	SE (%)	Crushing (%)	Elongation and contraction (%)	Fracture of on Front (%)
Mehrizi Sand	2.65	1.70	84	-	-	-
Sand	2.56	3.80	78.2	-	-	-
Mehrizi Pea Gravel	2.72	0.66	-	-	-	2
Rezaie Pea Gravel	2.70	0.72	-	-	-	5
Mehrizi Almond Gravel	2.71	0.63	-	11.7	6	6
Rezaie Almond Gravel	2.72	0.80	-	11.2	6	8
Limited	2.6-2.9	Max 3	Min 75	Max 40	Max 15	in 0

Table 4. The results of health tests of aggregates in Mehrizi and Rezaei mines.

شکل ۵. نتایج آزمایش مقاومت فشاری.

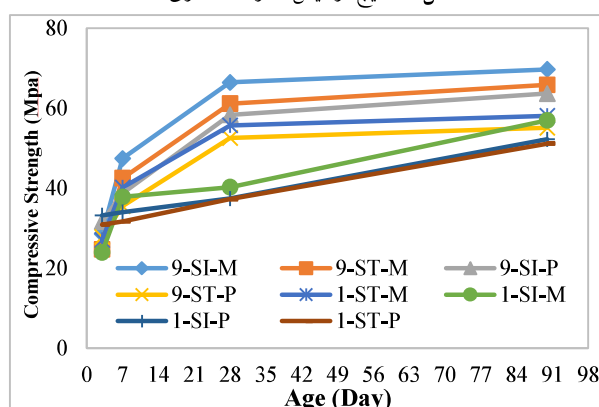


Fig. 5. Compressive strength test results.

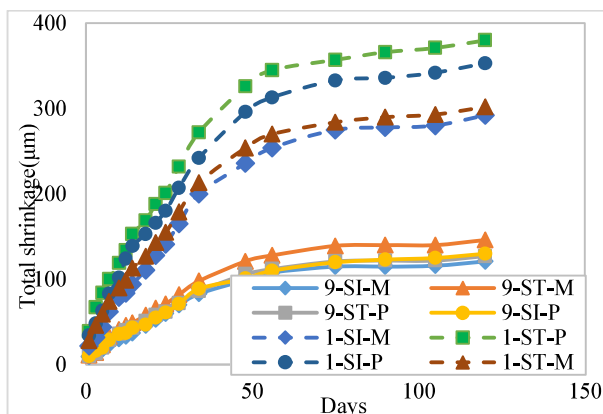


Fig. 8. Total shrinkage test results.

۳-۴ مهاجرت یون کلر تسريع شده

تصویر میزان نفوذ یون کلر در نمونه‌های بتنی تحت مهاجرت یون کلراید تسريع شده در آزمایش مهاجرت یون depth after RCMT test in the different studied mixtures.

همچنین مقادیر ضریب مهاجرت محاسبه شده برای نمونه‌های مورد مطالعه شکل ۱۰ ارائه شده است. در آزمایش مهاجرت یون کلر تسريع شده (RCMT) کمترین میزان نفوذ مربوط به نمونه 9-SI-M است. وجود میکروسیلیس در طرح اختلاط این نمونه منجر به کاهش نفوذ یون کلر در بتن شده است. میکروسیلیس منجر به ایجاد ساختار CSH در ماتریس سیمانی شده، و این ساختار منافذ موجود در ساختار سیمانی را کاهش داده و در نهایت مانع از مهاجرت یون کلر در بتن می‌شود.

شکل ۹. عمق نفوذ کلراید پس از آزمایش RCMT در مخلوط‌های مختلف مورد مطالعه.

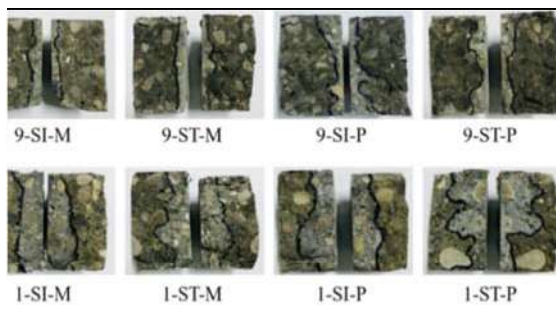


Fig. 9. Chloride penetration depth after RCMT test in the different studied mixtures.

شکل ۷. میزان تخلخل در نمونه‌های بتن.

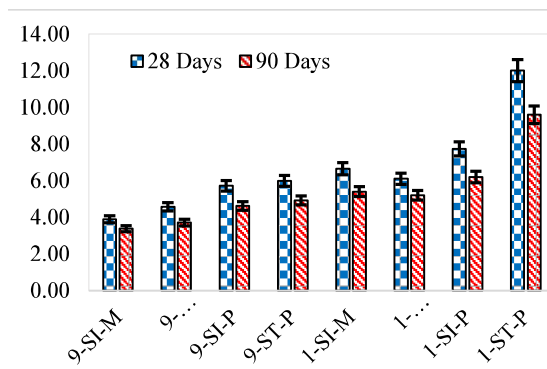


Fig. 7. The amount of porosity in concrete samples.

۳-۳ انقباض

نتایج مربوط به این آزمایش در Fig. 8. Total shrinkage test results.

آورده شده است. به علت حضور الیاف PP در طرح مخلوط شماره ۹، انقباض کلی به مراتب کمتر از طرح مخلوط ۱ است. به عنوان نمونه، در 1-ST-P پس از ۱۲۰ روز میزان انقباض کلی ۲۹۲٪ بیشتر از نمونه متناظر 9-ST-P است. بنابراین مشاهده می‌شود، وجود الیاف PP نقش اصلی در کنترل انقباض، ترک انقباض و انقباض کلی در هنگام فرآیند سخت شدن بتن دارند و این خود می‌تواند منجر به افزایش عمر روسازی‌های بتنی شود. لازم به ذکر است کمترین میزان انقباض مربوط به طرح 9-SI-M ساخته شده با سنگدانه معدن مهریزی و فوق روان کننده شرکت سیکا است.

شکل ۸. نتایج آزمایش انقباض کلی.

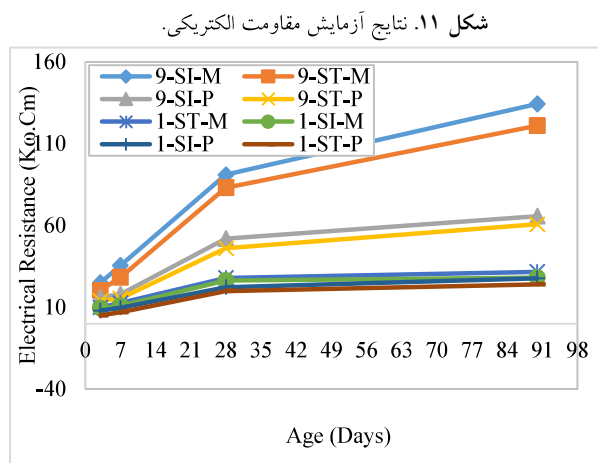


Fig. 11. Electrical resistance test results.

از سوی دیگر مشاهده می‌شود، ساختار فوق روان کننده تا چه حدی می‌تواند روی مقاومت الکتریکی تاثیر گذار باشد. در واقع فوق روان کننده‌ها با ایجاد ساختار ریپالسیون در ماتریس سیمان می‌توانند منجر به پخش شدگی بهتر دانه‌های میکروسیلیس شده و عملکرد پوزولان را بهبود دهد. همانطور که مشاهده می‌شود فوق روان کننده سیکا در نمونه 9-SI-M عملکرد بهتری در مقایسه با دیگر نمونه‌ها داشته است.

۳-۵- کرناتاسیون تسریع شده

نتایج درصد افزایش جرم ناشی از پدیده کرناتاسیون تسریع شده برای مخلوط‌های مورد مطالعه در Fig. 12. Carbonation test results of concrete.

شده است می‌بینیم. همانطور که مشاهده می‌شود، در آزمایش کرناتاسیون میزان نفوذ CO_2 و رطوبت در آغاز آزمایش بیشتر است و در هفته‌های ابتدایی تغییرات وزنی بیشتر مشاهده می‌شود. بر اساس این نتایج، تغییرات وزنی ناشی از پدیده کرناتاسیون در مصالح معدن مهریزی و رضایی به ترتیب در محدوده (۰/۳۲ - ۰/۳۵)٪ و (۰/۵۵ - ۰/۶۸)٪ می‌باشد. مصالح معدن مهریزی به دلیل ریزساختار متراکم تر عملکرد بهتری در برابر کرناتاسیون در مقایسه با معدن رضایی از خود نشان داده‌اند. بنابراین مشاهده می‌شود، اثر انتخاب معدن مناسب در نتایج آزمایش قابل مشاهده است.

همچنین مقادیر ضریب مهاجرت محاسبه شده برای نمونه‌های مورد مطالعه شکل ۱۰ ارائه شده است. در آزمایش مهاجرت یون کلر تسریع شده (RCMT) کمترین میزان نفوذ مربوط به نمونه 9-SI-M است. وجود میکروسیلیس در طرح اختلاط این نمونه منجر به کاهش نفوذ یون کلر در بتن شده است. میکروسیلیس منجر به ایجاد ساختار CSH در ماتریس سیمانی شده، و این ساختار منافذ موجود در ساختار سیمانی را کاهش داده و در نهایت مانع از مهاجرت یون کلر در بتن می‌شود.

شکل ۱۰. ضریب مهاجرت مخلوط‌های مختلف در سنین مختلف.

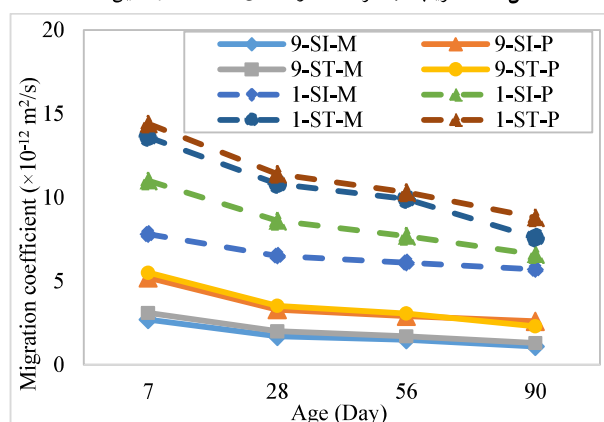


Fig. 10. Migration coefficient of different mixes at different ages.

۳-۴- مقاومت الکتریکی

نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی روی نمونه‌های بتنی در شکل ۱۱ ارائه شده است. بیشترین مقاومت الکتریکی برای نمونه 9-SI-M در سن ۹۰ روز معادل $134/3 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ است که در مقایسه با نمونه شاهد متناظر 1-SI-M $4/8$ برابر مقاومت الکتریکی بیشتری از خود نشان می‌دهد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که استفاده از میکروسیلیس منجر به افزایش مقاومت الکتریکی در بتن می‌شود. این نتایج با سایر بخش‌ها مطابقت دارد و نشان می‌دهد که ساختار CSH به خوبی در بتن‌های حاوی میکروسیلیس شکل گرفته‌اند.

۳-۶ ذوب و یخبندان

نتایج مربوط به آزمون ذوب و یخ در شکل (۱۴) نشان داده شده است. استفاده از افزودنی حباب هوازا باعث می‌شود تا افت جرم بتن ناشی از پدیده ذوب و یخ کاهش یابد.

شکل ۱۴. نتایج آزمایش ذوب و یخبندان.

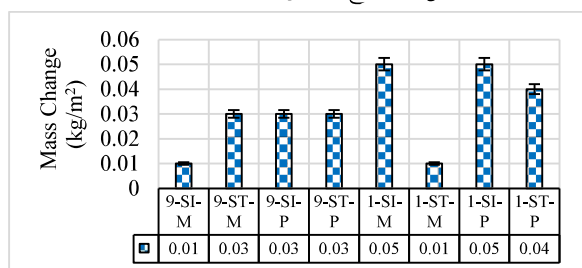


Fig. 14. Melting and freezing test results.

حباب‌های هوا فضاهای خالی برای انبساط آب یخ زده ایجاد می‌کنند. این باعث می‌شود تا آسیب ناشی از یخ زدن کاهش یابد. همچنین حباب‌های هوا اتصال بهتر ملات سیمان با سنگدانه‌ها را فراهم می‌کنند. این موضوع در خصوص نمونه 9-SI-M و 1-ST-M مشهود است. البته نتایج نشان می‌دهد که تغییرات وزنی در طول انجام آزمایش برای تمامی نمونه‌ها مناسب بوده است.

۳-۷ واکنش قلیایی سیلیسی

شکل ۱۵ نتایج آزمایش واکنش قلیایی سیلیسی بتن نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود که با افزایش سن نمونه‌های بتن انبساط ناشی از این واکنش قلیایی-سیلیسی افزایش می‌یابد. کمترین انبساط ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی مربوط به نمونه 9-SI-M و 9-ST-M است، که از حد مجاز آن یعنی ۰/۲ درصد کمتر است.

شکل ۱۵. نتایج آزمایش واکنش سیلیسی قلیایی سنگدانه.

شایان ذکر است که معمولاً پوزولان‌ها عملکرد خوبی در برابر پدیده کربناتاسیون از خود نشان نمی‌دهند زیرا پوزولان‌ها با مصرف پورتلاندیت، میزان پورتلاندیت کمی در ماتریس سیمانی به جا خواهد گذاشت که با CO_2 واکنش و به دنبال آن کربنات کلسیم ($CaCO_3$) را تولید نماید. ولی بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۱۲)، نمونه‌های حاوی میکروسیلیس عملکرد بهتری را نسبت به نمونه‌های بدون افزودنی از لحاظ میزان افزایش جرم در پدیده کربناتاسیون از خود نشان دادند. این عملکرد مثبت به ریزساختار بسیار متراکم ایجاد شده توسط میکروسیلیس می‌باشد. همچنین، تصاویر نمونه‌های بتنی بعد از انجام آزمایش کربناتاسیون تسریع شده در شکل (۱۱) را که به نمایش در آمده است می‌بینیم.

شکل ۱۲. نتایج آزمایش کربناتاسیون بتن.

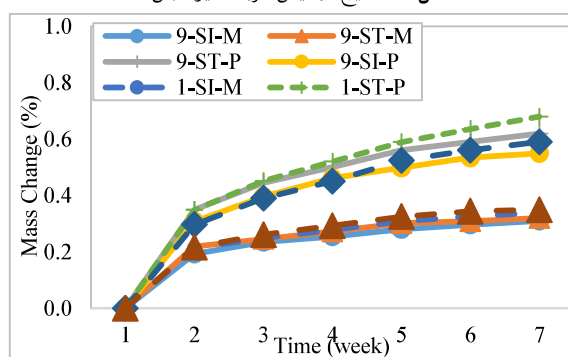


Fig. 12. Carbonation test results of concrete.

شکل ۱۳. نمونه‌های بتنی بعد از انجام آزمایش کربناتاسیون تسریع شده

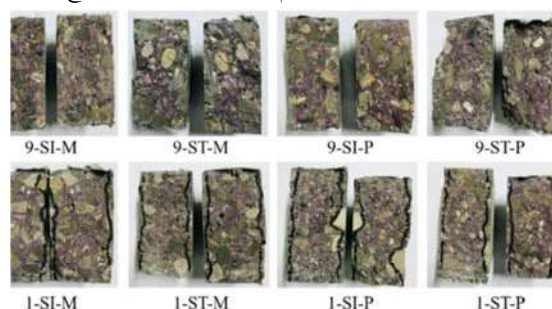


Fig. 13. Concrete samples after accelerated carbonation test.

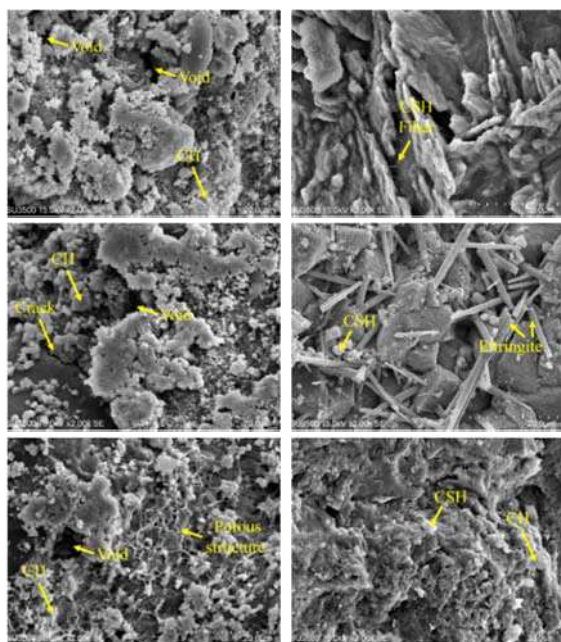


Fig. 16. Image of concrete samples using SEM imaging.

۴- نتیجه‌گیری

- بیشترین میزان مقاومت فشاری در نمونه 9-SI-M و برابر ۷۰ مگاپاسکال می‌باشد. وجود میکروسیلیس سبب شده تا مقاومت فشاری طرح شماره ۹ بیش از ۲۰ درصد نسبت به طرح شماره ۱ افزایش یابد. همچنین افزودن الیاف PP به این نمونه، منجر به افزایش مقاومت خمشی آن تا میزان ۸/۷ مگاپاسکال شده است.
- بتن ساخته شده براساس طرح اختلاط شماره ۹ نسبت به بتن ساخته شده با طرح اختلاط شماره ۱، تخلخل و در نتیجه نفوذپذیری کمتری دارد. علت این امر وجود میکروسیلیس در این طرح اختلاط است. چرا که اثر تولید محصولات پوزولانیک و نقش پرکنندگی میکروسیلیس به عنوان فیلر باعث ایجاد ساختار متراکم در ماتریس سیمانی می‌شود. همچنین وجود الیاف پلی پروپیلن در طرح شماره ۹ سبب شده تا میزان انقباض و اندازه ترک حدود ۵۰ درصد کمتر از نمونه شاهد شود.
- میزان افت جرم بتن در سیکل‌های ذوب و یخبندان برای طرح شماره ۹ کمتر از طرح شماره ۱ است. زیرا اثر حباب هوازا در طرح شماره ۹ باعث شده است که حباب‌های هوای موجود در بتن را یکپارچه نموده و از میزان خرابی در برابر تنش‌های

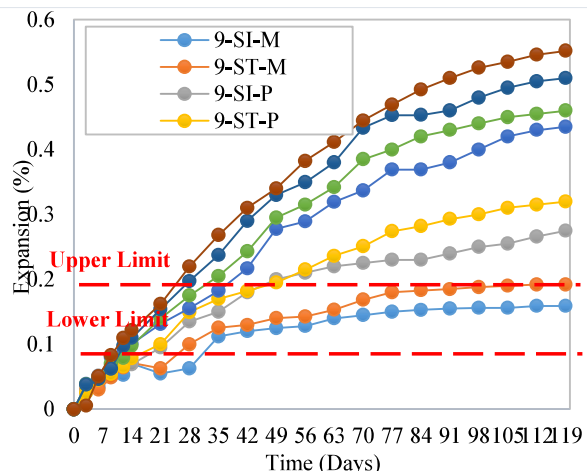


Fig. 15. Aggregate alkaline silica reaction test results.

در نمونه‌های بتنی طرح شماره ۹، نمونه‌های ساخته شده با مصالح معدن مهریزی شرایط بهتری نسبت به نمونه‌های معدن رضایی دارند. بنابراین مشاهده می‌شود، نوع سنگدانه تا چه میزان می‌تواند بر واکنش‌های قلیایی-سیلیسی تأثیرگذار که در طرح‌های مخلوط بومی باید مورد توجه باشد.

۳-۶ بررسی ریزساختار

دو نمونه 9-SI-M و 1-SI-M برای مقایسه ساختار شناسی در شکل ۱۶ به نمایش در آمده‌اند. بر این اساس، نمونه شاهد با وجود شکل‌گیری ساختارهای CSH و CH دارای تخلخل و حفرات بیشتری در سطح خود است، اما در نمونه حاوی میکروسیلیس شرایط به گونه دیگری است. تصاویر نشان می‌دهد که وجود ترکیبات به مانند میکروسیلیس می‌تواند در کاهش حفرات موثر باشد و از سوی دیگر می‌تواند در شکل‌گیری ساختار CSH موثر باشد. در نمونه اصلاح شده، مشاهده می‌شود سایر محصولات هیدراتاسیونی به مانند CH و اترینگایت در ساختار نمونه بهینه شده شکل گرفته است که نشان دهنده شرایط مساعد نمونه بیان شده است.

شکل ۱۶. تصویر نمونه‌های بتنی به کمک تصویر برداری SEM.

1-SI-M

9-SI-M

- 595-601, 2001.
- [4] ASTM C39, "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens," ASTM International. 2016, doi: 10.1520/C0039_C0039M-20.
- [5] ASTM C78 / C78M-15a, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)." ASTM International, Philadelphia, 2015, doi: 10.1520/C0078_C0078M-15A.
- [6] ASTM C642-13, "Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete," ASTM International, no. 3. ASTM International, Philadelphia, pp. 1-3, 2013, doi: 10.1520/C0642-13.
- [7] ASTM C157-75, "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and," Annual Book of ASTM Standards, vol. 04. pp. 1-7, 2017.
- [8] M. T. Jepsen, D. Mathiesen, C. Munch-Petersen, and D. Bager, "Durability of resource saving 'green' types of concrete," Proceedings - fib-Symposium on Concrete and Environment 2001. October, pp. 41-42, 2001.
- [9] ASTM C1202, "Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration," in ASTM, 2012, vol. 100, pp. 1-8.
- [10] ASTM C672 / C672M-03, "Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals (Withdrawn 2012)." ASTM International, Philadelphia, 2003, doi: 10.1520/C0672_C0672M-03.
- [11] ASTM C1260-21, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)," ASTM International. pp. 1-5, 2021, doi: 10.1520/C1260-21.
- [12] ASTM C126, "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates," ASTM, 2006.
- [13] ASTM C1260-21, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)," ASTM International. pp. 1-5, 2021, doi: 10.1520/C1260-21.
- [14] ASTM C126, "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates," ASTM, 2006.

ذوب و یخ بکاهد. از طرفی ریزساختار متراکم ناشی از واکنش‌های پوزولانیک میکروسیلیس نقش زیادی در این مهم دارند.

• هر دو بتن با سنگدانه معدن مهریزی ولی حاوی دو نوع فوق روان کننده سیکا و استرامیکس در اغلب سنین آزمایش مقاومت بسیار خوبی در برابر تهاجم یون کلر در رژیم ناپایدار در مقایسه با دیگر نمونه‌ها نشان دادند، که نشان دهنده اثر مثبت سنگدانه‌های معدن مهریزی در ایجاد ریزساختار متراکم در بتن می‌باشد.

• طرح شماره ۹ در مقایسه با طرح شماره ۱، سبب کاهش نفوذپذیری دی اکسید کربن شده است، این تغییرات در سنین اولیه کمتر و در سنین بالاتر بیشتر است. همچنین استفاده از مصالح معدن مهریزی و فوق روان کننده شرکت سیکا باعث کاهش حدود ۹ درصدی نفوذپذیری دی اکسید کربن و تغییرات جرمی بتن نسبت به نمونه شاهد شده است.

۵- سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و تلاش بی‌دریغ مدیران و پرسنل شرکت فرودگاه‌های ناوبری هوایی ایران صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

۵- مراجع

- [1] P. and B. Islamic Republic of Iran, Organization, Design, Construction and Maintenance Manual for Highways Concrete Pavements. 2017, p. 490.
- [2] R. Siddique, "Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties," Resour. Conserv. Recycl., vol. 55, no. 11, pp. 923-932, 2011.
- [3] W. Sun, H. Chen, X. Luo, and H. Qian, "The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete," Cem. Concr. Res., vol. 31, no. 4, pp.

Feasibility of local mixing plan using the country's potential resources for durability and sustainable development (case study - Mashhad airport apron)

Mohammadreza Zahmatkeshan¹, Kianoosh Samimi^{*2}

1- General manager of airport construction & development, Iran Airports and Air Navigation Company, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: k_samimi@sbu.ac.ir*

Abstract:

Today, most of the existing pavements in the country are asphalt pavements. This is due to the abundance of oil in the country and the lack of a suitable alternative for it. Asphalt pavements, despite their popularity and ease of implementation, also have disadvantages. The low service life of asphalt pavements and the exorbitant costs that are paid for their maintenance, as well as the damages caused in some special areas of the pavement, such as airport runways, require the use of pavements that can have many characteristics. It is better than asphalt paving to meet the needs of these areas. In recent years, the use of concrete pavement compared to asphalt pavement has had a higher economic justification. Also, in some cases, the use of concrete pavement, such as airport runways, which must have high resistance to pressure, impact, and wear, is the only viable option. But concrete pavement also has disadvantages such as low durability against freezing and thawing cycles in cold regions. Therefore, it is necessary to take into account the necessary measures to increase the durability of concrete, compensate for the disadvantages of concrete pavements against destructive factors and increase their service life to a significant amount, so that it is economically justified compared to asphalt procedures. The indigenous concrete mixing plan is a new approach that has been considered as an economic solution for the sustainable development of many civil infrastructures in the world. For this purpose, in this article, a practical and effective method to increase the efficiency and life of concrete pavements of Mashhad Airport by using potential mineral resources and also to minimize maintenance costs has been introduced. In this study, 8 concrete mixing plans were prepared with aggregates from two local quarries, Mehrizi and Rezaei, in relation to Mashhad airport, and then the mechanical properties and durability behavior of all mixtures were carried out to provide the optimal local mixing plan. The results showed that by adding polypropylene fibers to the samples containing microsilica, the bending strength of the concrete samples increased up to 8.7 MPa. Based on the results, concrete samples containing Mehrizi aggregates showed better performance in terms of mechanical behavior and durability compared to concretes made from Rezai mine aggregates. Also, among the mixtures of Mehrizi mine, the mixing design containing polypropylene fibers and 7% replacement of microsilica with cement showed far higher resistance and durability than other samples. In such a way that the rate of improvement in compressive strength, resistance to chlorine ion invasion, melting and ice phenomenon and silica alkali reactions compared to the control sample after the end of each of the aforementioned tests is 22.81%, 418%, 400% respectively. % and 189.31%. Therefore, based on the mentioned results, a local mixing plan using Mahden Mehrizi materials is suggested for use in the apron of Mashhad airport.

Keywords: PP fibers, concrete pavement, durability, optimal mix design, microsilica.