

بررسی مشخصات مکانیکی و دوام در محیط اسیدی ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی پودر شیشه و سرباره مسلح شده با الیاف ترکیبی

کمیل مومنی *

استادیار فنی گروه مهندسی عمران دانشگاه فنی و حرفه‌ای، دانشکده فنی امام صادق آستانه اشرفیه، گیلان.

چکیده

در این تحقیق، مشخصات مکانیکی و دوام ملات‌های پلیمری اصلاح شده با پلیمر استایرن بوتادین رزین (SBR) و حاوی پودر شیشه و سرباره مسلح شده با الیاف ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است. طرح‌های اختلاط مختلف حاوی و فاقد SBR با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت پودر شیشه و سرباره به صورت مجزا و ترکیبی و علاوه بر آن‌ها اثر حضور مجزا و ترکیبی الیاف شیشه، پلی پروپیلن و فولادی مورد بررسی گرفته است. در تمام طرح‌های حاوی الیاف، مقاومت کششی و خمشی افزایش یافته است. همچنین حضور SBR باعث بهبود این مقاومت‌ها شده است. بالاترین بهبود مقاومت خمشی نهایی در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی پروپیلن، شیشه و فولادی بوده است. این طرح‌ها با حضور ۱۰٪ پودر شیشه، ۱۰٪ سرباره، و ۵٪ پودر شیشه و ۵٪ سرباره بترتیب ۳۶/۰۵، ۳۱/۸۴ و ۴۱/۰۶ درصد افزایش نسبت به طرح شاهد نشان داده‌اند. ملات‌های پلیمری اصلاح شده دارای مقادیر چقرمگی T_{150}^D بالاتری نسبت به طرح‌های بدون پلیمر بوده‌اند و حضور SBR به شکل قابل توجهی جذب انرژی را بهبود داده است. همچنین در طرح‌هایی که از ۵٪ سرباره و ۵٪ پودر شیشه استفاده شده است، مقادیر جذب انرژی بیشتر بوده است. استفاده از پلیمر SBR تأثیر بسیار زیادی در بهبود دوام در برابر محیط اسیدی داشته است. این تأثیر هم در کاهش افت وزن نمونه‌ها پس از قرارگیری در اسید سولفوریک و هم در بهبود مقاومت باقیمانده پس از قرارگیری در اسید مشاهده شده است. مقاومت فشاری باقیمانده پس از قرارگیری در محیط اسید سولفوریک در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولادی با حضور ۱۰٪ پودر شیشه، ۱۰٪ سرباره، و ۵٪ پودر شیشه و ۵٪ سرباره برابر ۳۳/۲۶، ۳۳/۴۲ و ۳۳/۷۶ مگاپاسکال بوده است که به ترتیب ۲۰/۳۹، ۲۰/۹۷ و ۲۲/۱۷ درصد بهبود نسبت به طرح شاهد را نشان داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ملات پلیمری اصلاح شده، SBR، جذب انرژی، دوام، الیاف.

۱- مقدمه

عنوان لایه می باشد [۱۳-۱۷]. به عنوان مثال در تحقیق ممیز و همکاران [۱۸] دو نوع از بتن های پلیمری اصلاح شده، یکی بوسیله SBR و دیگری به وسیله چسب پلیمری K100 مورد بررسی و مقایسه با بتن های معمولی و بتن های حاوی دوده سیلیس قرار گرفت و گزارش شد بتن های پلیمری اصلاح شده دارای مقاومت پیوستگی بسیار بیشتری بوده اند. در تحقیقی دیگر صدرممتازی و همکاران [۱۹] به بررسی مشخصات بتن های پلیمری اصلاح شده با SBR و اکریلیک و حاوی میکروسیلیس را بررسی کرده اند و گزارش کردند افزایش جایگزینی آب با پلیمرهای محلول تا ۵۰ درصد، باعث بهبود مقاومت پیوستگی به بتن بستر تا ۳۰ درصد در بتن پلیمری اصلاح شده با SBR و تا ۲۸ درصد در بتن پلیمری اصلاح شده با اکریلیک بوده است. دوام پیوستگی بتن پلیمری اصلاح شده با SBR در برابر چرخه های یخبندان و ذوب در تحقیق صدرممتازی و کهنی [۲۰] مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد، عملکرد این بتن ها بسیار بهتر از بتن های سیمانی عادی می باشد.

استفاده از الیاف در بتن ها و ملات های پلیمری اصلاح شده نیز در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. آزادمنش و همکاران [۲۱] مشخصات مکانیکی بتن های پلیمری اصلاح شده با SBR و اتیلن وینیل استات حاوی الیاف پلی وینیل الکل (PVA) را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند اصلاح به وسیله پلیمر و استفاده از الیاف به شکل چشمگیری باعث بهبود عملکرد می شود و مقاومت فشاری، خمشی و همچنین جذب انرژی نمونه نیز بهبود یافته است. همان طور که در تحقیق Shi و همکاران [۲۲] اشاره شده است، اصلاح ملات سیمانی جهت تعمیرات بوسیله ۸٪ SBR در حدود ۱۲٪ مقاومت خمشی و ۶۲٪ چقرمگی ملات را بهبود می بخشد. همچنین به کارگیری پوزولان ها همانند نانوسیلیس و نانوتیتانیوم می تواند باعث بهبود کارایی و افزایش مشخصات مکانیکی در ملات های پلیمری اصلاح شده با SBR گردد [۲۳].

در این تحقیق، مشخصات مکانیکی و دوام در برابر محیط اسیدی ملات های پلیمری اصلاح شده با SBR حاوی پودر شیشه و سرباره مسلح شده با الیاف ترکیبی بررسی گردیده است. طرح های اختلاط مختلف حاوی SBR با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت پودر شیشه و سرباره به صورت مجزا و ترکیبی و علاوه بر آن ها اثر

بتن های اصلاح شده با از پلیمرها از دهه ی ۱۹۵۰ معرفی شده اند. این بتن ها حاوی سیمان پرتلند به همراه یک پلیمر مانند استایرن بوتادین (SBR)، اکریلیک، پلی وینیل استات و اتیلن وینیل استات به عنوان اصلاح کننده می باشند. SBR به عنوان گسترده ترین اصلاح کننده مورد استفاده برای ساخت لایه های تعمیراتی و روکش کف ها و پل ها استفاده می شود [۲۰، ۲۱]. مقاومت چسبندگی بالا به بتن بستر، استحکام خمشی مناسب و نفوذ پذیری بسیار کم از مزایای ملات پلیمری اصلاح شده با SBR می باشد [۳-۵]. یکی از مهمترین جنبه های کاربردی در مورد ملات ها و بتن های پلیمری اصلاح شده این مورد می باشد که تکنولوژی ساخت آن ها بسیار شبیه به ملات ها و بتن های سیمانی رایج است. مقدار پلیمر مورد استفاده معمولاً در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی سیمان در طرح اختلاط می باشد. تأثیر بکارگیری الیاف در بتن های پلیمری اصلاح شده در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است که باعث کاهش ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی در آن ها شده است [۶].

کاهش جزئی مقاومت فشاری در اثر افزودن پلیمر یکی از مواردی است که در مقالات به آن اشاره شده است، اما بهبود قابل توجه مقاومت کششی و خمشی از مزایای مهم پلیمرها در ترکیبات سیمانی می باشد [۸، ۷]. بتن های پلیمری اصلاح شده با SBR حاوی مصالح بتنی ضایعاتی خرد شده در تحقیق Hwang و همکاران [۹] مورد بررسی قرار گرفت و آن ها گزارش کردند در این بتن ها کاهش قابل ملاحظه ای در نفوذ پذیری و همچنین بهبود مقاومت خمشی را مشاهده کرده اند.

عملکرد بسیار عالی بتن های پلیمری اصلاح شده در برابر حملات اسیدی و محیط های خورنده در تحقیقات زیادی گزارش شده است [۱۰]. در مطالعات Rossignolo و همکاران [۱۱، ۱۲] دوام بتن های سبک دانه پلیمری اصلاح شده حاوی SBR در برابر اسید سولفوریک، اسید کلریدریک و اسید استیک مطالعه شد و این تحقیق نشان داد که کاهش وزن و مقاومت در بتن های اصلاح شده با پلیمر در مواجهه با محیط اسیدی بسیار کمتر از بتن های سیمانی عادی می باشد.

یکی دیگر از مزایای ملات های پلیمری اصلاح شده مقاومت پیوستگی بسیار عالی آن ها به بتن بستر در زمان استفاده از آنها به

جدول ۲- مشخصات سرباره و پودر شیشه

ترکیب شیمیایی (%)	سرباره	پودر شیشه
SiO ₂	۳۷/۴	۶۹/۰۱
Al ₂ O ₃	۷/۴	۰/۸۹
Fe ₂ O ₃	۲۷/۶	۱/۸
CaO	۲۰/۵	۸/۰۵
MgO	۲/۸	۱/۶۵
K ₂ O	۰/۸	۰/۲۸
Na ₂ O	۰/۵	۱۸/۱۸

مشخصات فیزیکی

سطح مخصوص (m ² /kg)	۳۴۵	۵۰۶
جرم مخصوص	۲/۶۴	۲/۵۵

جدول ۳- مشخصات الیاف

نوع	قطر (mm)	طول (mm)	مقاومت کششی (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)	چگالی (g/cm ³)
فولادی	۰/۲	۱۶	۳۰۰۰	۲۰۰	۷/۸
پلی پروپیلن	۰/۰۲	۱۲	۴۰۰	۵/۶	۰/۹۱
شیشه	۰/۰۱۷	۱۲	۳۴۰۰	۷۲/۴	۲/۶

۲-۲- برنامه آزمایشگاهی

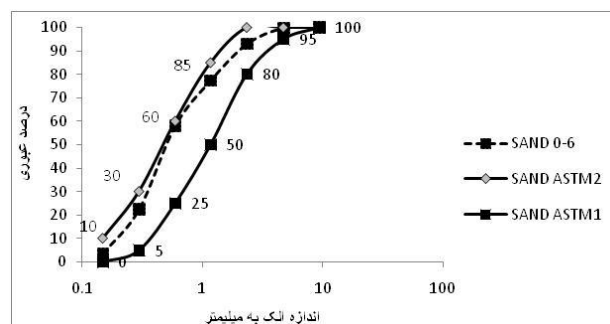
طرح‌های ساخته شده در دو دسته حاوی پلیمر و بدون پلیمر بوده اند. همچنین از درصد های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد از سرباره و پودر شیشه به عنوان جایگزین سیمان استفاده شده است. برای ساخت ملات‌های پلیمری اصلاح شده از نکات دستورالعمل ASTM C192 [۲۶] نیز رعایت شده است. در طرح های حاوی SBR از مقدار بهینه پلیمر برابر ۲۵٪ جایگزین آب [۱۹] استفاده شد. نسبت آب کل مخلوط به مواد سیمانی به صورت ثابت برابر ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است. الیاف شیشه و پلی پروپیلن با درصد‌های حجمی ۰/۱ و ۰/۲ درصد به صورت مجزا و ترکیبی در نظر گرفته شدند. همچنین مقدار استفاده از الیاف فولادی ثابت و برابر ۰/۲۵ درصد

حضور مجزا و ترکیبی الیاف شیشه، پلی پروپیلن و فولادی در نظر گرفته شده است.

۲- مصالح و برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح

ماسه مورد استفاده در این تحقیق از نوع رودخانه‌ای و گرد گوشه بوده است. وزن مخصوص ظاهری ماسه ۲/۶ گرم بر سانتی متر مکعب و مقدار جذب آب در آن ۲/۵ درصد است. دانه بندی براساس استاندارد ASTM C33 [۲۴] انجام شده است و مطابقت آن با محدوده مورد پذیرش استاندارد در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- دانه بندی ماسه

سیمان هگمتان استفاده شده است. زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان مطابق اعلام کارخانه تولیدکننده به ترتیب برابر ۹۰ و ۲۴۰ دقیقه بوده و عدد بلین سیمان برابر ۳۴۰ m²/Kg بوده است. برای ساخت ملات‌های پلیمری اصلاح شده از رزین PAYA L-310 که رزینی تک جزئی و بر پایه SBR می باشد و تولید شده در شرکت پایاژیک می باشد استفاده شده است. مشخصات فنی این رزین ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مشخصات شیمیایی سرباره و پودر شیشه مورد استفاده در جدول ۲ بیان شده است. الیاف فولادی مورد استفاده دارای مشخصات ارائه شده در جدول ۳ بوده است.

جدول ۱- مشخصات رزین PAYA L-310

شکل ظاهری	مایع شیری رنگ
وزن مخصوص	۱/۰۱ (gr/cm ³)
دمای زمان اجرا	۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد
دمای بهره برداری	۱۰- تا ۷۰ درجه سانتی گراد
PH	۱±۸

حجمی در نظر گرفته شد. الیاف فولادی به مقدار ۰/۲۵٪ بصورت ثابت جهت اطمینان از عملکرد جذب انرژی در نظر گرفته شده است. طرح های ساخته شده در جدول ۴ مشاهده می شوند. ۱۸ طرح ساخته شده بصورت نمونه های فشاری، خمشی، کششی، جذب آب و جهت قرارگیری در حوضچه اسید سولفوریک ساخته شدند. نمونه های عادی در آب و نمونه های بتن پلیمری اصلاح شده به مدت ۵ روز در آب و ۲۳ روز تحت عمل آوری در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند [۲۵ و ۲۶]. برای همه ی طرح ها، آزمایشات مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ASTM C109 [۲۷] بر روی نمونه های مکعب ۵ سانتیمتر برای ملات در سنین ۷ و ۲۸ روز، جذب آب مطابق استاندارد ASTM C642 [۲۸] و مقاومت کششی به روش برزلی (دو نیم شدن استوانه) مطابق با استاندارد ASTM C496 [۲۹] انجام شده است. در شکل ۲ تصویر نمونه ها را قبل و پس از قرارگیری در اسید نشان می دهد. آزمایش جذب انرژی طبق استاندارد ASTM-

C1609 [۳۰] بر روی تیرهای با ابعاد ۵۰*۱۰*۱۰ سانتی متر مطابق شکل ۳ انجام شد که در هر لحظه از بارگذاری، تغییر شکل وسط دهانه تیر اندازه گیری شده و به وسیله نمودار بار-تغییر مکان شاخص چقرمگی هر نمونه محاسبه شده است. شاخص چقرمگی ظرفیت جذب انرژی کامپوزیت های تقویت شده با الیاف را نشان می دهد و به عنوان سطح کل زیر منحنی بار-تغییر مکان وسط دهانه تیر تا تغییر مکانی معادل L/۱۵۰ تعریف می شود. شاخص چقرمگی با نماد T_{150}^D نشان داده می شود و واحد آن کیلو نیوتن در میلی متر است. جهت بررسی دوام در برابر اسید، نمونه های مکعبی استاندارد فشاری با ابعاد مکعب ۵ سانتیمتر برای ملات در حوضچه های حاوی اسید سولفوریک با PH برابر ۱ قرار گرفتند و پس از ۲۸ روز نمونه ها از حوضچه خارج شده، پس از خشک شدن، ابعاد و وزن نمونه ها مجدداً اندازه گیری شده است و نمونه ها تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند تا مقاومت باقیمانده در آن ها محاسبه شود.

جدول ۴- طرح اختلاط

نام طرح	سیمان Kg/m ³	پودر شیشه % (C)	سرباره % (C)	الیاف PP % (V)	الیاف شیشه % (V)	الیاف فولادی % (W)	آب		ماسه Kg/m ³
							آب موجود در پلیمر Kg/m ³	آب سیمانی/آب کل Kg/m ³	
Ctrl	۷۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G10P	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۲	۰	۰/۲۵	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
S10P	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۲	۰	۰/۲۵	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G5S5P	۶۳۰	۵	۵	۰/۲	۰	۰/۲۵	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G10PR	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۲	۰	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
S10PR	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۲	۰	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
G5S5PR	۶۳۰	۵	۵	۰/۲	۰	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
G10G	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۲	۰/۲۵	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
S10G	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۲	۰/۲۵	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G5S5G	۶۳۰	۵	۵	۰/۲	۰/۲۵	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G10GR	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۲	۰/۲۵	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
S10GR	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۲	۰/۲۵	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
G5S5GR	۶۳۰	۵	۵	۰/۲	۰/۲۵	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
G10PG	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
S10PG	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G5S5PG	۶۳۰	۵	۵	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۲۴۵	۱۳۹۶
G10PGR	۶۳۰	۱۰	۰	۰/۱	۰/۱	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
S10PGR	۶۳۰	۰	۱۰	۰/۱	۰/۱	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶
G5S5PGR	۶۳۰	۵	۵	۰/۱	۰/۱	۲۵	۳۶/۷۵	۲۰۸/۲۵	۱۳۹۶



شکل ۳- آزمایش جذب انرژی



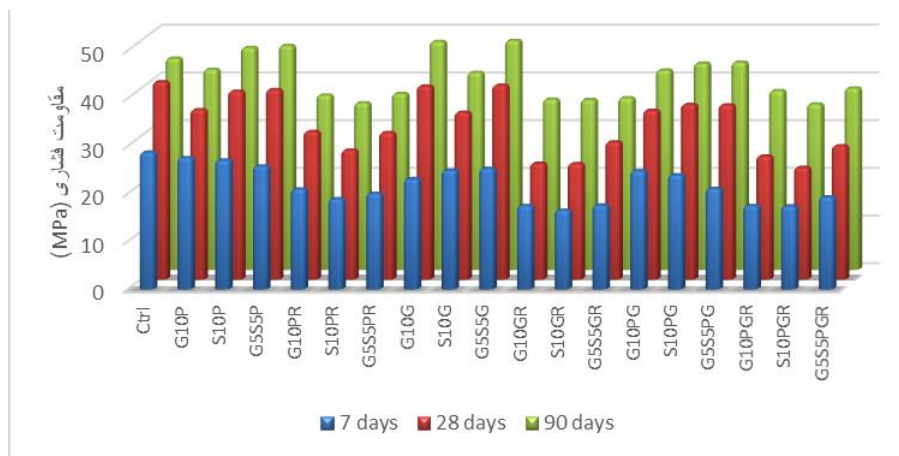
شکل ۲- نمونه قبل و بعد از قرارگیری در اسید سولفوریک

است که برای طرح های حاوی الیاف پلی پروپیلن، شیشه و ترکیبی بترتیب ۳۴/۵، ۴۱/۴ و ۴۳/۳٪ کاهش را نشان داده است. همچنین بطور کلی کاهش مقاومت فشاری در طرح های حاوی SBR شدیدتر بوده است. این کاهش مقاومت فشاری که بعلت حضور پلیمر در طرح ها اتفاق می افتد در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است و علت آن می تواند مرتبط به کمتر بودن مقاومت فشاری بخش های سخت شده ی پلیمر در داخل ساختار ملات نسبت به سایر محصولاتان هیدراسیون در ریزساختار باشد [۱۹].

۳- نتایج و بررسی

۳-۱- مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری طرح های ساخته شده در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل قابل ملاحظه است، با افزودن پوزولان های سرباره و پودر شیشه و همچنین استفاده از پلیمر در طرح اختلاط، مقاومت فشاری ۷ روزه همه طرح ها نسبت به طرح شاهد کاهش یافته است. بیشترین کاهش در طرح های حاوی ۱۰٪ پودر شیشه و SBR مشاهده شده

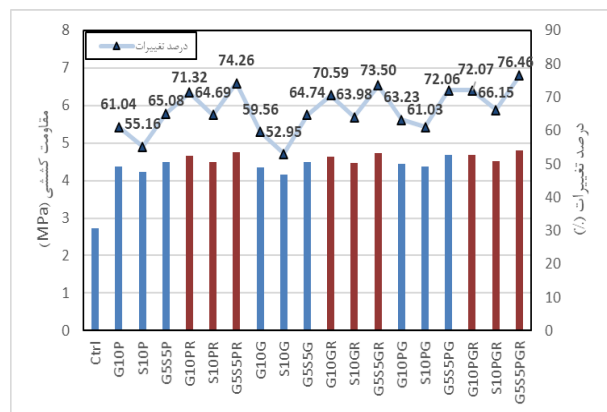


شکل ۴- مقاومت فشاری طرح ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

در سنین پایین تر ناشی از استفاده از پوزولان ها نیز می باشد. در طرح های G5S5P که حاوی ۵٪ پودر شیشه و ۵٪ سرباره به همراه الیاف پلی پروپیلن و فولادی بوده است، با ۴۷/۰۱ مگاپاسکال مقدار ۵/۹٪ افزایش نسبت به طرح شاهد و در طرح G5S5G که حاوی

در سن ۲۸ روز مقاومت فشاری طرح های حاوی الیاف تکی پلی پروپیلن و شیشه در عدم حضور SBR به مقاومت طرح شاهد نزدیک بوده است و پس از گذشت ۹۰ روز مقاومت بالاتری نیز نشان داده اند. لازم به ذکر است که بخشی از این کاهش مقاومت

فولادی) بترتیب ۷/۳۳٪ و ۲۶/۷۴٪ نسبت به طرح شاهد بوده است.



شکل ۵- مقاومت کششی طرح ها

۳-۳- مقاومت خمشی و جذب انرژی

شکل ۶ نتایج مقاومت خمشی و چقرمگی تیرهای ساخته شده با طرح‌های اختلاط را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشخص است، شاهد افزایش مقاومت خمشی نهایی در همه ی طرح‌ها نسبت به طرح شاهد بودیم که به علت حضور الیاف در همه ی طرح‌های دیگر قابل توجه است. این افزایش در ملات‌های پلیمری اصلاح شده بیشتر بوده است که می‌توان آن را به مقاومت کششی بالاتر این طرح‌ها نسبت داد [۲۲ و ۲۳]. مقاومت خمشی نهایی طرح شاهد برابر ۵/۲۸ مگاپاسکال بوده است که در طرح‌های ملات پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولادی G10PR، S10PR و G5S5PR به مقادیر ۷/۰۵، ۶/۹ و ۷/۲۶ مگاپاسکال رسیده است و بترتیب نشانگر ۳۳/۶۲، ۳۰/۸۱ و ۳۷/۶۱ درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد می‌باشد. این افزایش در طرح‌های G10GR، S10GR و G5S5GR حاوی الیاف شیشه و فولادی بترتیب ۲۵/۱۴، ۲۲/۷۲ و ۳۱/۳۸ درصد نسبت به نمونه شاهد بوده است. بالاترین بهبود مقاومت خمشی نهایی در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی پروپیلن، شیشه و فولادی بوده است. طرح‌های G10PGR، S10PGR و G5S5PGR بترتیب ۳۶/۰۵، ۳۱/۸۴ و ۴۱/۰۶ درصد افزایش نسبت به طرح شاهد نشان داده‌اند.

پارامتر چقرمگی T_{150}^D به میزان انرژی قابل جذب در نمونه تا قبل از لحظه گسیختگی دارد و تابعی از مقاومت خمشی نهایی نمی‌باشد [۳۲ و ۳۳]. در شکل ۶ نتایج چقرمگی T_{150}^D به دست آمده از نمودارهای بار-تغییر مکان برای همه ی طرح‌های اختلاط نشان

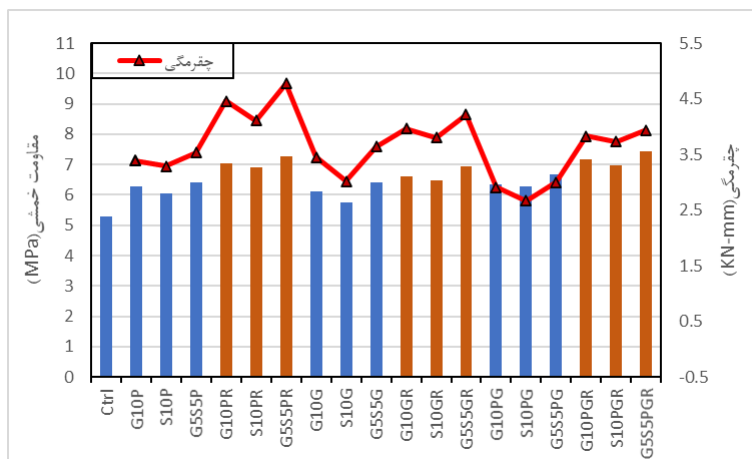
۵٪ پودر شیشه و ۵٪ سرباره به همراه الیاف شیشه و فولادی بوده است، با ۴۸/۰۶ مگاپاسکال مقدار ۸/۳٪ افزایش نسبت به طرح شاهد پس از ۹۰ روز ملاحظه شد. در طرح‌های G5S5PR و G5S5GR که مشابه طرح‌های اشاره شده بوده اند با این تفاوت که در آن‌ها به مقدار ۲۵٪ پلیمر SBR موجود بوده است، مقاومت فشاری به ترتیب ۳۶/۳۷ و ۳۶/۰۶ مگاپاسکال بوده است. همچنین در طرح‌های حاوی الیاف ترکیبی شیشه، پلی پروپیلن و فولادی، شاهد کاهش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد بودیم که به علت تراکم بالای الیاف و تشکیل فضاهای خالی غیرقابل اجتناب ناشی از آن‌ها در ساختار ملات می‌باشد. با توجه به علت اصلی استفاده از الیاف که افزایش مشخصات جذب انرژی و کاهش جمع‌شدگی می‌باشد [۲۱]، این کاهش مقاومت فشاری باید در مقایسه با سایر مشخصات مورد آزمایش مورد قضاوت قرار گیرد تا مشخص شود که آیا عملکرد در دوام نیز دچار مشکل شده است یا خیر.

۳-۲- مقاومت کششی

شکل ۵ نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه به روش شکافت استوانه را در طرح‌های ساخته شده نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل ملاحظه است، در تمام طرح‌های حاوی الیاف شاهد افزایش مقاومت کششی بوده‌ایم. همچنین تأثیر جزئی مثبت استفاده از پلیمر در این شکل قابل ملاحظه است. این افزایش مقاومت کششی در اثر استفاده از پلیمر در تحقیق صدرممتازی و کهنی [۲۰] در بتن‌های پلیمری اصلاح شده با پلیمرهای SBR و اکریلیک نیز گزارش شده بود. همچنین مشاهده می‌شود استفاده از الیاف ترکیبی پلی پروپیلن و شیشه در کنار الیاف فولادی نتایج بالاتری نسبت به حالت تکی هر یک از این الیاف در مقاومت کششی طرح‌ها داشته است. استفاده هم‌زمان از سرباره و پودر شیشه نیز مانند مقاومت فشاری باعث بهبود مقاومت کششی نسبت به پوزولان‌های تکی شده است. مقاومت کششی در طرح G5S5PGR که حاوی ۵٪ پودر شیشه و ۵٪ سرباره به همراه الیاف شیشه، پلی پروپیلن و فولادی بوده است و در آن ۲۵٪ پلیمر SBR وجود دارد برابر ۴/۸ مگاپاسکال بوده است که ۷۶/۴۶٪ افزایش نسبت به طرح شاهد را نشان می‌دهد. این افزایش برای طرح‌های G5S5GR (دارای الیاف شیشه و فولادی) و G5S5PR (دارای الیاف پلی پروپیلن و

اصلاح شده حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولادی PR10G، PR10S و PR5S5G مقادیر چقرمگی ۴/۴۶، ۴/۱۲ و ۴/۷۷ کیلونیوتون-میلیمتر بوده است و بترتیب ۳۲/۰۱، ۲۴/۷۹ و ۳۴/۹۹ درصد افزایش نسبت به نمونه های فاقد پلیمر را نشان داده اند. این افزایش در طرح های GR10G، GR10S و GR5S5G حاوی الیاف شیشه و فولادی بترتیب ۱۴/۹۸، ۲۵/۹۹ و ۱۵/۷۶ درصد نسبت به نمونه های فاقد پلیمر بوده است. بالاترین مقادیر چقرمگی در ملات های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی پروپیلن، شیشه و فولادی بوده است. طرح های PGR10G، PGR10S و PGR5S5G بترتیب ۳۱/۴۰، ۳۹/۸۴ و ۳۱/۵ درصد افزایش نسبت به نمونه های فاقد پلیمر نشان داده اند.

داده شده است. نکته قابل توجه این مورد می باشد که بر اساس استاندارد ASTM-C1609 [۳۱] این رابطه برای مواد سیمانی دارای الیاف کاربرد دارد و به همین علت برای نمونه شاهد که بدون الیاف بوده محاسبه نشده است. همانطور که در این شکل قابل ملاحظه می باشد، ملات های پلیمری اصلاح شده دارای مقادیر چقرمگی T_{150}^D بالاتری بوده اند و حضور پلیمر SBR به شکل قابل توجهی جذب انرژی را بهبود داده است. همچنین در طرح هایی که از ۵٪ سرباره و ۵٪ پودر شیشه استفاده شده است، مقادیر جذب انرژی بیشتر بوده است که این تأثیر در آزمایشات دیگر نیز مشاهده شد و می توان نتیجه گرفت این ترکیب پوزولان ها بهترین مشخصات مکانیکی را حاصل کرده است. در ملات پلیمری

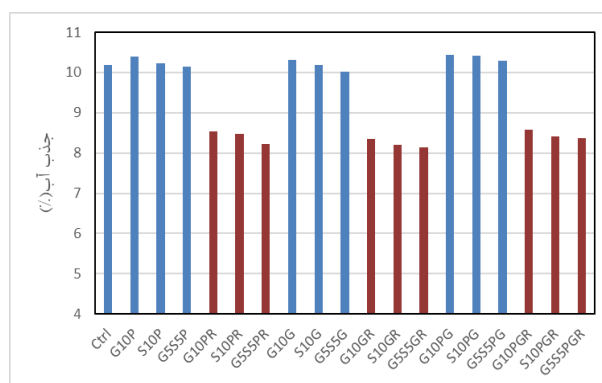


شکل ۶- مقاومت خمشی و جذب انرژی طرح ها

می تواند باعث افزایش جذب آب شود که بعلا استفاده از پوزولانها و همچنین پلیمر این مشکل تا حد زیادی در طرح های دیگر برطرف شده است. مقدار جذب آب در نمونه شاهد برابر ۱۷/۱٪ بوده است. این مقدار در ملات های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولادی PR10G، PR10S و PR5S5G به ۸/۵۴، ۸/۴۷ و ۸/۲۲ درصد بوده است و به ترتیب ۱۶/۱۱، ۱۶/۷۳ و ۱۹/۲۴ درصد کاهش نسبت به طرح شاهد را نشان داده اند. این کاهش در طرح های GR10G، GR10S و GR5S5G حاوی الیاف شیشه و فولادی بترتیب ۱۸/۰۱، ۱۹/۳۴ و ۲۰/۱ درصد نسبت به طرح شاهد بوده است. جذب آب در ملات های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی پروپیلن، شیشه و فولادی بالاترین در میان طرح های پلیمری اصلاح شده بوده است. طرح های PGR10G، PGR10S و PGR5S5G

۴-۳- جذب آب

شکل ۷ نتایج جذب آب در طرح های ساخته شده را نشان می دهد.

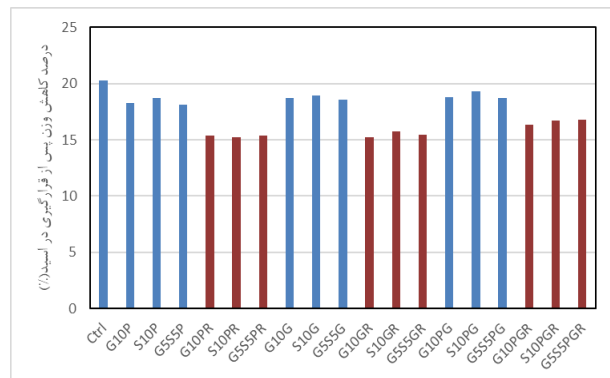


شکل ۷- جذب آب در طرح ها

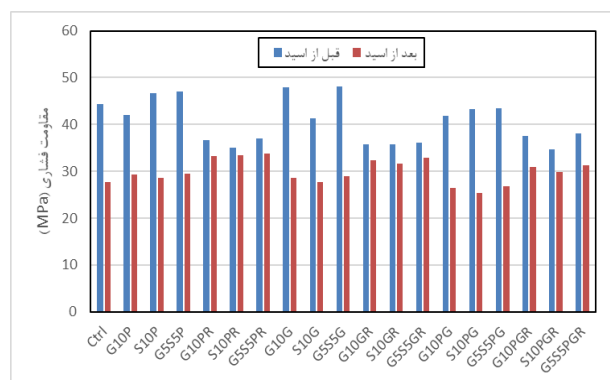
استفاده از پلیمر SBR تا حد زیادی در کاهش جذب آب نمونه ها تأثیر داشته است. حضور الیاف به علت ایجاد فضاهای خالی بیشتر

همچنین در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی‌پروپیلن، شیشه و فولادی، طرح های PGR10S, PGR10G و PGR55SG بترتیب ۱۷/۶۴، ۱۷/۲۸ و ۱۷/۷۴ درصد کاهش نسبت به طرح شاهد نشان داده‌اند.

به طرح شاهد نشان داده‌اند.



شکل ۸- درصد کاهش وزن پس از قرارگیری در اسید سولفوریک



شکل ۹- مقاومت فشاری پس از قرارگیری در اسید سولفوریک

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، مشخصات مکانیکی و دوام در برابر محیط اسیدی ملات‌های پلیمری اصلاح شده با SBR حاوی پودر شیشه و سرباره مسلح شده با الیاف ترکیبی بررسی گردیده است. طرح های اختلاط مختلف حاوی SBR با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت پودر شیشه و سرباره بصورت مجزا و ترکیبی و علاوه بر آن‌ها اثر حضور مجزا و ترکیبی الیاف شیشه، پلی‌پروپیلن و فولادی در نظر گرفته شده است. مهمترین نتایج این تحقیق بشرح زیر می باشد:

- به‌طور کلی مقاومت فشاری حضور SBR کاهش یافته است. در سن ۲۸ روز مقاومت فشاری طرح های حاوی الیاف تکی پلی پروپیلن و شیشه در عدم حضور SBR به مقاومت طرح شاهد نزدیک بوده است و پس از گذشت ۹۰ روز مقاومت بالاتری نیز

شکل های ۸ و ۹ نتایج تغییرات وزن و مقاومت نمونه‌های فشاری ساخته شده از طرح های اختلاط را پس از قرارگیری در محیط اسید سولفوریک نشان می دهد. تأثیر قابل توجه استفاده از پلیمر SBR در بهبود دوام ملات‌های ساخته شده در این شکل ها قابل مشاهده است. کاهش جذب آب بوسیله پلیمر تأثیر بسزایی در بهبود دوام طرح ها داشته است. درصد کاهش وزن در نمونه شاهد پس از قرارگیری در اسید برابر ۲۰/۲۶ بوده است. این مقدار در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولادی PR10S, PR10G و PR55SG به ۱۵/۳۴، ۱۵/۲۲ و ۱۵/۳۵ درصد بوده است که بترتیب ۲۴/۲۸، ۲۴/۸۷ و ۲۴/۲۶ بهبود نسبت به طرح شاهد را نشان داده اند. این بهبود در طرح های GR10G, GR10S و GR55SG حاوی الیاف شیشه و فولادی بترتیب ۲۴/۸۹، ۲۴/۲۶ و ۲۳/۸۵ درصد نسبت به طرح شاهد بوده است. همچنین در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی‌پروپیلن، شیشه و فولادی، طرح های PGR10S, PGR10G و PGR55SG به ترتیب ۱۹/۳۶، ۱۷/۵۶ و ۱۷/۳۴ درصد بهبود نسبت به طرح شاهد نشان داده‌اند. طرح شاهد پس از قرارگیری در اسید سولفوریک کاهش مقاومتی به اندازه ۳۷/۷۴٪ داشته است و مقاومت فشاری آن به ۲۷/۶۳ مگاپاسکال رسیده است. حضور پلیمر SBR علاوه بر کاهش افت وزنی، در حذف مقاومت فشاری بعد از قرارگیری در اسید نیز بسیار موثر بوده است. همچنین استفاده از دو پوزولان سرباره و پودر شیشه نیز در بهبود دوام تأثیر مناسبی داشته است و بهترین عملکرد در حضور ۵٪ از هر یک از پوزولان ها مشاهده شده است. مقدار بهبود مقاومت فشاری باقیمانده پس از قرارگیری در محیط اسید سولفوریک در ملات‌های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و فولادی PR10G, PR10S و PR55SG برابر ۳۳/۲۶، ۳۳/۴۲ و ۳۳/۷۶ مگاپاسکال بوده است که بترتیب ۲۰/۳۹، ۲۰/۹۷ و ۲۲/۱۷ درصد بهبود نسبت به طرح شاهد را نشان داده اند. این بهبود در طرح های GR10G, GR10S و GR55SG حاوی الیاف شیشه و فولادی بترتیب ۱۷/۳۸، ۱۴/۷۴ و ۱۸/۸۷ درصد نسبت به طرح شاهد بوده است.

of superabsorbent polymers to reduce cracking of bonded mortar overlays," *Cement & Concrete Composites*.

[5] Beushausen, H., Gillmer, M. and Alexander, M. (2014) "The influence of superabsorbent polymers on strength and durability properties of blended cement mortars," *Cement & Concrete Composites*.

[6] Fowler, D. W. (1999) "Polymers in concrete: a vision for the 21st century," *Cement & Concrete Composites*, pp. 449-452.

[7] Lewis, W. J. and Lewis, G. (1990) "The influence of polymer latex modifiers on the properties of Concrete," *COMPOSITES*, vol. 21, pp. 487-494.

[8] Mahdi, F., Abbas, H. and Khan, A. A. (2013) "Flexural, shear and bond strength of polymer concrete utilizing recycled resin obtained from post consumer PET bottles," *Construction and Building Materials* pp. 798-811.

[9] Hwang, E. H. and Ko, Y. S. (2008) "Comparison of mechanical and physical properties of SBR-polymer modified mortars using recycled waste materials," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* pp. 644-650.

[10] Shaker, F. A., El-Dieb, A. S. and Reda, M. M. (1997) "Durability of Styrene-Butadiene Latex Modified Concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 27, pp. 711-720.

[11] Rossignolo, J. A. and Agnesini, M. V. C. (2004) "Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete," *Cement & Concrete Composites* pp. 375-380.

[12] Rossignolo, J. A. and Agnesini, M. V. C. (2002) "Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete," *Cement and Concrete Research* pp. 329-334.

[13] Thamboo, J. A., Dhanasekar, M. and Yan, C. (2013) "Flexural and shear bond characteristics of thin layer polymer cement mortared concrete masonry," *Construction and Building Materials* pp. 104-113.

[14] Brien, J. V. and Mahboub, K. C. (2007) "Influence of polymer type on adhesion performance of a blended cement mortar," *International Journal of Adhesion & Adhesives*, pp. 7-13.

[15] Courard, L., Piotrowski, T. and Garbacz, A. (2014) "Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair," *Cement & Concrete Composites* pp. 73-80.

[16] Espeche, A. D. and León, J. (2011) "Estimation of bond strength envelopes for old-to-new concrete interfaces based on a cylinder splitting test," *Construction and Building Materials* pp. 1222-1235.

نشان داده اند.

- در تمام طرح های حاوی الیاف، مقاومت کششی افزایش یافته است. همچنین حضور SBR باعث بهبود مقاومت کششی شده است. استفاده از الیاف ترکیبی پلی پروپیلن و شیشه در کنار الیاف فولادی نتایج مقاومت کششی بالاتری نسبت به حالت تکی هر یک از این الیاف در مقاومت کششی داشته است. استفاده همزمان از سرباره و پودر شیشه نیز مانند مقاومت فشاری باعث بهبود مقاومت کششی نسبت به پوزولان های تکی شده است.

- مقاومت خمشی نهایی در همه ی طرح ها نسبت به طرح شاهد افزایش یافته است که بعلاوه حضور الیاف در همه ی طرح های دیگر قابل توجه است. این افزایش در ملات های پلیمری اصلاح شده بیشتر بوده است. بالاترین بهبود مقاومت خمشی نهایی در ملات های پلیمری اصلاح شده حاوی الیاف ترکیبی پلی پروپیلن، شیشه و فولادی بوده است. طرح های S10PGR، G10PGR و G5S5PGR بترتیب ۳۶/۰۵، ۳۱/۸۴ و ۴۱/۰۶ درصد افزایش نسبت به طرح شاهد نشان داده اند.

- ملات های پلیمری اصلاح شده دارای مقادیر چقرمگی T_{150}^D بالاتری نسبت به طرح های بدون پلیمر بوده اند و حضور SBR بشکل قابل توجهی جذب انرژی را بهبود داده است. همچنین طرح هایی که از ۵٪ سرباره و ۵٪ پودر شیشه استفاده شده است، مقادیر جذب انرژی بیشتر بوده است.

- استفاده از پلیمر SBR تأثیر قابل توجهی در بهبود دوام در برابر محیط اسیدی داشته است. این تأثیر هم در کاهش افت وزن نمونه ها پس از قرارگیری در اسید سولفوریک و هم در بهبود مقاومت باقیمانده پس از قرارگیری در اسید مشاهده شده است.

۵- مراجع

[1] Barluenga, G. and Hernández, F. (2004) "SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour," *Cement and Concrete Research* pp. 527-535.

[2] Diab, A. M., Elyamany, H. E. and Ali, A. H. (2014) "The participation ratios of cement matrix and latex network in latex cement co-matrix strength," *Alexandria Engineering Journal*.

[3] Manson, J. A. (1976) "Modifications of Concretes with Polymers," *Materials Science and Engineering*, pp. 41-52.

[4] Beushausen, H. and Gillmer, M. (2014) "The use

International.

- [30] ASTM, (2019), "C1609 / C1609M – 19a : Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading).", ASTM International.
- [31] Aminul Haque, M., Chen, B., Riaz Ahmad, M., Ali shah, S.F., (2020), "Mechanical strength and flexural parameters analysis of micro-steel, polyvinyl and basalt fibre reinforced magnesium phosphate cement mortars", *Construction and building materials*, Vol.235.
- [32] Bertelsen, I.M.G., Ottosen, L.M., Fischer, G., (2020), "Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review", *Construction and building materials*, Vol.230.
- [17] Julio, E. N. B. S., Branco, F. A. B. and Silva, V. D. (2004) "Concrete-to-concrete bond strength. Influence of the roughness of the substrate surface," *Construction and building materials*, pp. 675-681.
- [18] Momayez, A., Ehsani, M. R., Ramezani pour, A. A. and Rajaie, H. (2005) "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials," *Cement and Concrete Research*, pp. 748-757.
- [19] Sadrmomtazi, A., Kohani Khoshkijari, R., (2019) " Determination and Prediction of Bonding Strength of Polymer Modified Concrete (PMC) as the Repair Overlay on the Conventional Concrete Substrate", *KSCE Journal of Civil Engineering*. Vol. 23, No. 3.
- [20] Sadrmomtazi, A., Kohani Khoshkijari, R., (2017) "Bonding durability of Polymer Modified Concrete repair overlays under freeze–thaw conditions," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 69, Issue 24. pp. 1268-1275.
- [21] Azadmanesh, H., Hashemi, S.A.H., Ghasemi, S.H., (2021)." The effect of styrene-butadiene rubber and ethylene vinyl acetate polymers on the mechanical properties of Engineered Cementitious Composites", *Composites Communications*, Vol. 24.
- [22] Shi, C., Wang, P., Ma, C., Zou, X., Yang, L., (2020)," Effects of SAE and SBR on properties of rapid hardening repair mortar", *Journal of Building Engineering*, Vol.35.
- [23] Idrees, M., Saeed, F., Amin, A., Hussain, T., (2021)," Improvement in compressive strength of Styrene-Butadiene-Rubber (SBR) modified mortars by using powder form and nanoparticles", *Journal of Building Engineering*, Vol.44.
- [24] ASTM, (2016), "C33 / C33M-16 : Standard Specification for Concrete Aggregates," ASTM International.
- [25] ACI, (2009), "ACI committee 548. 3R-09: Report on Polymer-Modified Concrete," ed: American Concrete Institute.
- [26] ASTM, (2002), "C 192/C 192M-02 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory," ASTM International.
- [27] ASTM, (2005), "C109/C109M-05 : Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars." ASTM International.
- [28] ASTM, (2013), "C642-13 : Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete."
- [29] ASTM, (2004), "C496 / C496M-11 : Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.", ASTM

Investigating the mechanical properties and durability in acidic environment of hybrid fiber-reinforced polymer modified mortars containing glass powder and slag

K. Momeni *

PHD of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Imam sadeq Astaneh ashrafiyeh, Guilan Branch, Technical and Vocational University (TVU), Guilan, Iran.

Abstract

In the current study, mechanical properties and durability of polymer modified mortars by Styrene Butadiene Resin (SBR) containing glass powder and slag is studied. Different mix design with and without SBR is regarded by consideration of different amount of glass powder and slag individually or simultaneously, and furthermore, hybrid or individual presence on glass, polypropylene, and steel fibers is investigated. In all of the fiber-reinforced mixes, tensile and flexural strengths were increased. Also, the presence of SBR improved these strengths. The maximum of flexural strength was observed in polymer modified mortars contained hybrid fibers of glass, polypropylene, and steel. In these mixes with presence of 10% glass powder, 10% slag and, 5% slag and 5% glass powder, the flexural strength increased 36.05, 31.84 and 41.06%, respectively. Polymer modified mortars showed higher T_{150}^D toughness and the presence of SBR significantly increased the energy absorption of mixes. Moreover, simultaneous use of glass powder and slag enhanced the energy absorption. The use of SBR drastically improved the durability against acidic environment. The effect was observed in weight loss, and residual strength of samples after exposure the sulfuric acid environment. The residual compressive strength after exposure to acid in polymer modified mortars contained polypropylene and steel fibers with presence of 10% glass powder, 10% slag and, 5% slag and 5% glass powder, were respectively, 33.26, 33.42 and 33.76% higher than control sample.

Keywords: Polymer Modified Mortar, SBR, Energy Absorption, Durability, Fibers.

* Corresponding Author: kmomeni@tvu.ac.ir

