



بررسی آزمایشگاهی تاثیر افزودنی پلیمری «نیکوفلاک» بر روی مقاومت فشاری و کششی ماسه بادی بیابانی و ساحلی در لایه‌های روسازی

فرزاد رضائی مقدم^{۱*}، بهمن جعفری نادر^۱، تقی رضائی مقدم^۲

^۱ فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۴
بازنگری: ۱۳۹۸/۰۸/۱۵
پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

کلمات کلیدی:

ماسه بادی
نیکوفلاک
سیمان
مقاومت فشاری و کششی
تثبیت

خلاصه: ماسه بادی جزء مصالحی است که در نواحی بیابانی و ساحلی به مقدار زیاد وجود دارد. در این تحقیق نمونه‌هایی از مناطق ساحلی دریای خزر در شهر آستارا و مازندران و همچنین مناطق بیابانی اطراف شهر کرمان شناسایی و جمع‌آوری شده‌است و بر روی نمونه‌های گردآوری شده تاثیر افزودن پلیمر طبیعی معدنی نیکوفلاک به همراه سیمان به صورت تثبیت شده بر روی مقاومت آنها بررسی شده‌است. در این تحقیق سعی بر آن است تا با بهبود مقاومت فشاری و کششی ماسه بادی موجود در سواحل دریاها و بیابان‌ها، امکان استفاده از این مصالح در لایه‌های خاک بستر، زیرساز و اساس راه‌ها صورت تثبیت شده با سیمان مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق تعداد ۲۰۰ نمونه با ۳ درصد، ۶ درصد و ۱۲ درصد سیمان به همراه ۰/۳ درصد، ۰/۶ درصد و ۱/۲ درصد نیکوفلاک از مصالح ماسه بادی نمونه برداری شده، ساخته شده‌است و مقاومت فشاری و کششی غیرمستقیم ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌ها به دست آمده است و سپس میزان افت مقاومت آنها در ۴۵ سیکل ذوب و یخ مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است، تثبیت مصالح ماسه بادی با سیمان به همراه افزودنی نیکوفلاک، بدلیل افزایش مقاومت فشاری و کششی این مصالح، امکان استفاده از آن را در لایه‌های روسازی راه‌ها فراهم می‌آورد.

۱- مقدمه

تثبیت از یک دیدگاه به دو دسته افزودنی‌های متعارف مانند سیمان، آهک، قیر و افزودنی‌های غیر متعارف مانند سیلیکات‌ها، افزودنی‌های معدنی، نمک‌ها، آنزیم‌ها، اسیدها، پلیمرها و صمغ‌ها تقسیم بندی می‌شوند [۲]. و از دیدگاه دیگر براساس نوع تاثیرگذاری به دو دسته واکنش دهنده با کانی‌های خاک و واکنش ندهنده با کانی‌های خاک تقسیم بندی می‌شوند و هر دو دسته باعث چسبیدن ذرات خاک به همدیگر می‌شوند [۳]. لذا در این تحقیق برای افزایش مقاومت مصالح ماسه بادی از تثبیت خاک با استفاده از سیمان به همراه پلیمرهای معدنی استفاده شده‌است.

الکارنی^۱ در تحقیقی با عنوان اصلاح مشخصات ژئوتکنیکی ماسه روان با استفاده از تثبیت با سیمان، در سال ۲۰۱۲، تاثیر افزودن سیمان

شرایط توپوگرافی و جغرافیایی ایران، به گونه ای است که در شمال و جنوب آن مناطق ساحلی زیاد و در قسمت مرکزی آن بیابان‌هایی با وسعت زیاد قرار گرفته است. عمدتاً مصالح این مناطق از نوع ماسه بادی با دانه بندی نامناسب است که به دلیل مقاومت کم و همچنین عدم وجود مصالح درشت دانه در آن‌ها، امکان استفاده از آنها در ساخت و ساز و تهیه مخلوط‌های سیمانی نیست [۱]. در حالت کلی یکی از راهکارهای بهبود کیفیت مصالح و افزایش توان باربری مصالح، تثبیت مصالح است که با توجه به عواملی همچون شرایط جوی، جنس خاک، هدف از تثبیت، مسائل زیست محیطی، شرایط اقتصادی و غیره، نوع افزودنی انتخاب می‌شود. افزودنی‌های مورد استفاده در

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: F_Rezaie@uma.ac.ir

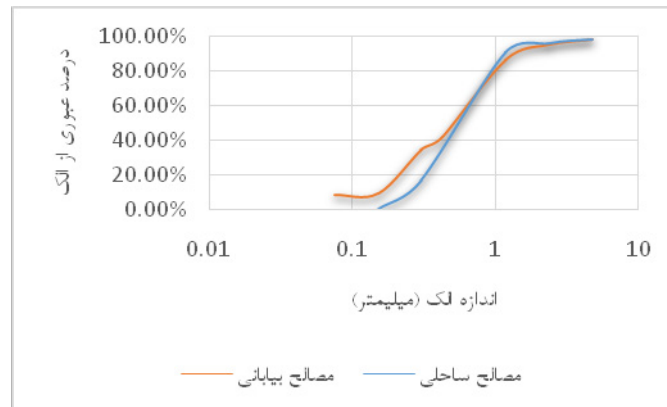


بر روی ماسه‌های روان بیابان‌های کشور عربستان را مورد مطالعه قرار داد و برای همین منظور نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف سیمان تهیه کرد و بعد از عملآوری تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری و برشی قرار داد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که افزودن سیمان به این مصالح تا حدودی ویژگی‌ها، خصوصیات فنی و مقاومتی این مصالح را بهبود بخشید [۴]. پارمنوویچ^۱ و همکارش در سال ۲۰۱۳ در تحقیقی سه نوع ماده تثبیت کننده به نام‌های NANO STAB، ANT و نیکوفلاک به همراه سیمان را بر روی مصالح سنگی شکسته و ماسه ای که با درصد‌های مختلف با هم مخلوط شده بود، استفاده کردند و تحت آزمایش مقاومت فشاری و کششی قرار دادند. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از مواد پلیمری نیکوفلاک در این مصالح باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی پنج روزه و هفت روزه نمونه‌ها شد. در این تحقیق، پارمنوویچ میزان نیکوفلاک مصرفی در ساخت نمونه‌های مورد آزمایش را ده درصد وزنی سیمان در نظر گرفته است [۵]. نیکولای گوسیو^۲ در سال ۲۰۱۳ در تحقیقی با عنوان ارزیابی مقاومت سازه‌ای لایه‌های راه پوشیده شده از مصالح پلیمری نیکوفلاک، تاثیر افزودنی نیکوفلاک را بر روی سه نوع مصالح در سه خیابان با درصد‌های مختلف سیمان و نیکوفلاک مورد بررسی و آزمایش قرار داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است دانه‌های آسفالتی تثبیت شده با ۵ درصد سیمان و ۰/۵ درصد نیکوفلاک در خیابان دوبرولیو که در سال ۲۰۱۰ ساخته شده بود، دارای مقاومت فشاری و کششی به ترتیب برابر با ۶/۵ و ۱/۲۵ مگاپاسکال بوده‌است. مصالح سنگی شکسته تثبیت شده با ۵ درصد سیمان و ۰/۵ درصد نیکوفلاک در خیابان سوچی که در سال ۲۰۱۰ ساخته شده بود دارای مقاومت فشاری و کششی به ترتیب برابر با ۷/۷ و ۱/۱ مگاپاسکال بوده‌است و دانه‌های گرانیتهی الک شده مصرفی در رویه روسازی با ۶ درصد سیمان و ۰/۶ درصد نیکوفلاک در خیابان ولام در سال ۲۰۱۰ ساخته شده بود دارای مقاومت فشاری و کششی به ترتیب برابر با ۶/۹ و ۰/۹ مگاپاسکال بوده‌است [۶]. طاهرخانی و همکارش در سال ۱۳۹۲ در تحقیقی با عنوان، مقایسه تثبیت کننده‌های آهک، سیمان و CBR PLUS برای تثبیت خاک رس ضمن بیان اینکه خاک‌های رسی جزو مصالح مشکل آفرین برای کارهای راهسازی می‌باشند، تاثیر استفاده از سه نوع مصالح سیمان، آهک و CBR PLUS را در بهبود

1 Parmenovich
2 Gusev

خواص مقاومتی خاک رس مورد بررسی قرار داده اند از جمله نتایج این تحقیق مربوط به بیشترین افزایش مقاومت تک محوری بوده که بوسیله تثبیت خاک رس با سیمان حاصل شده‌است [۷]. روح بخشان و کلانتری در سال ۱۳۹۵ در تحقیقی با عنوان تثبیت خاک رس با آهک و پودر ضایعات سنگی، ضایعات سنگی به‌دست آمده از برش سنگ در کارخانجات سنگبری را برای تثبیت خاک رس همراه با آهک مورد بررسی قرار داده اند، نتایج به‌دست آمده از این تحقیق کاهش معناداری در پلاستیسیته و تغییر در رطوبت بهینه و وزن واحد حجم بیشینه خاک رس را با افزایش مقادیر پودر ضایعات سنگی و آهک نشان داده است، همچنین نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان داده است که در زمان های عمل آوری مختلف، افزودن پودر ضایعات سنگی و آهک سبب افزایش مقدار مقاومت فشاری تا ۶ درصد پودر ضایعات سنگی و ۷ درصد آهک شده‌است و برای درصد‌های بیشتر، مقدار مقاومت فشاری کاهش یافته است [۸]. عابدی کویابی و همکارانش در سال ۱۳۹۴ در تحقیقی با عنوان ارزیابی دوام و پایداری خاک‌های رسی تثبیت شده با آهک هیدراته در مجاورت سازه های آبی، تأثیر آهک هیدراته بر روی مقاومت فشاری خاک رسی در دو حالت با رطوبت بهینه و رطوبت اشباع را مورد بررسی قرار داده اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است که با افزایش مقدار آهک هیدراته مخلوط در خاک، وزن واحد حجم خشک حداکثر کاهش یافته و رطوبت بهینه افزایش یافته است. همچنین افزایش آهک هیدراته به طور قابل ملاحظه ای موجب افزایش مقاومت فشاری خاک در دو حالت با رطوبت بهینه و رطوبت اشباع گردیده و این افزایش مقاومت به طور معنی دار متأثر از زمان عمل آوری و مقادیر آهک هیدراته بوده‌است. نتایج به دست آمده نشان داده است که مقدار ۵ درصد آهک هیدراته به عنوان مقاومت فشاری بیشینه بوده‌است [۹].

لذا در این تحقیق با توجه به وسعت زیاد مناطق ساحلی در شمال و جنوب کشور ایران و همچنین وسعت زیاد مناطق بیابانی در قسمت مرکزی کشور ایران، با نمونه برداری از ماسه‌بادی موجود در نواحی اطراف دریای خزر در شهر آستارا و مازندران و نیز نواحی بیابانی اطراف شهر کرمان و ساخت نمونه‌های تراکمی استاندارد تثبیت شده با سیمان و پلیمر معدنی نیکوفلاک، ویژگی‌ها و خصوصیات این مصالح برای استفاده در لایه‌های روسازی خصوصاً در این مناطق مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی مصالح ماسه‌بادی بیابانی و ساحلی
Fig. 1. Grading curve of coastal and desert sand

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی اردبیل

Table 1. Chemical properties of Adr Portland Cement

CL	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ماده
<۵	<۱	۴۴	۱/۱	<۵	۵۶/۵	۳/۲	۶/۵	۲۶/۸۵	درصد

مخصوص این سیمان 3130 kg/m^3 می‌باشد. نتایج آزمایش XRF بر روی نمونه‌ای از این مصالح در جدول ۱ آورده شده‌است.

مواد پلیمری نیکوفلاک یک ترکیب پلیمری - معدنی است که به صورت مخلوطی از سیلیکای فعال شده، سیمان فعال شده، نمک کلسیم، نمک سدیم و مخلوط پودرهای باز پخش شده بر مبنای لیگنین و به ویژه لیگنین تغییر یافته، اسیدهای کربن‌دار، نفتالن سولفونیک اسید و فرمالدهید می‌باشد. این مواد بصورت خاکستر با وزن مخصوص ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و رطوبت کمتر از ۲ درصد می‌باشد، همچنین بیشتر از ۹۰ درصد این مواد از الک شماره ۰/۳۱۵ عبور می‌کنند. این مواد سمی، آتش زا و خطرناک نیست، دارای تاییدیه بهداشت می‌باشد، میتوان آن را در دمای پایین حمل و نگهداری کرد، و مشخصات خود را تا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد از دست نمی‌دهد، این ترکیب به صورت هیدروفوبیک است، در طی نگهداری آن بایستی از تماس مستقیم با آب جلوگیری شود. در شکل ۲ تصویر مصالح نیکوفلاک و سیمان نمایش داده شده‌است، همچنین بر روی مصالح آزمایش XRF انجام گرفته و نتایج آن در جدول ۲ نمایش داده شده‌است. این تست بر اساس استاندارد ASTM E1621 [۱۱]، با استفاده از دستگاه 1480 PW، نرم‌افزار IQ+ و در آزمایشگاه مرجع مرکزی دانشگاه علم و صنعت ایران انجام گردیده است.

۲- مصالح

مصالح مورد استفاده در این پژوهش شامل مصالح ماسه‌بادی ساحلی و بیابانی، سیمان، آب و پلیمر نیکوفلاک است. هر کدام از این مصالح به تفکیک در ادامه معرفی گردیده‌اند:

۲-۱- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها در این پژوهش مصالح ماسه‌بادی هستند که برای گروه اول بطور مستقیم و طبیعی از نواحی مجاور دریای مازندران و از شهر آستارا برداشت گردیده است، این مصالح با نام «ماسه‌بادی ساحلی» مورد استفاده قرار گرفته‌است، برای گروه دوم نیز از مصالح موجود در نواحی بیابانی اطراف شهر کرمان استفاده گردیده‌است، این مصالح نیز با نام «ماسه بادی بیابانی» استفاده شده‌است. بر روی هر کدام از این مصالح آزمایش دانه‌بندی مطابق استاندارد ASTM C136 [۱۰] انجام گردید که نتایج آن در شکل ۱ آورده شده‌است.

۲-۲- سیمان و نیکوفلاک

سیمان مصرفی برای ساخت نمونه‌ها از نوع تیپ ۲ و پرتلند پوزولانی است که از کارخانه سیمان اردبیل تهیه گردیده است. وزن



پلیمر نیکوفلاک



سیمان

شکل ۲. شکل ظاهری نمونه مصالح سیمان و نیکوفلاک مصرفی در این تحقیق
Fig. 2. Cement and "Nicoflok" Polymer materials used in this study

جدول ۲. مشخصات شیمیایی افزودنی «نیکوفلاک»

Table 2. Chemical properties of "Nicoflok" polymer

TiO ₂	CaO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	ترکیب
<<	۳۳/۱۳۴	۰/۵۰۵	۲/۹۶۹	۰/۱۱۸	۴۸/۰۴۶	۰/۷۸۶	۰/۷۳۵	۲/۹۳۰	درصد
PbO	Y ₂ O ₃	Sr	ZnO	Ni	Fe ₂ O ₃	Mn	Cr	V ₂ O ₅	ترکیب
-	-	<<	-	<<	۰/۷۷۵	<<	-	-	درصد
L.O.I	Cu	F	Mo	Ce	Co	Cl	ZrO ₂	Ba	ترکیب
۵/۹۱۱	<<	۴/۰۸۳	-	-	-	-	-	-	درصد

مصالح ماسه‌بادی گردید، درصد سیمان به کار رفته در ساخت نمونه‌ها بطور تجربی برابر ۳، ۶ و ۱۲ درصد و نیز مصالح پلیمری نیکوفلاک بکار رفته براساس مطالعات پیشین صورت گرفته برابر با ۱۰ درصد وزنی سیمان استفاده گردید، سپس بر روی نمونه‌های ساخته‌شده آزمایش‌های مقاومت فشاری و کشش غیرمستقیم (برزیلی) انجام گردید، همچنین بر روی تعدادی از نمونه‌ها تعداد ۴۵ سیکل ذوب و یخ مطابق استاندارد ASTM C666 [۱۴] انجام گردید و بر روی نمونه‌های مورد نظر و نمونه‌های شاهد ذوب و انجماد آزمایش مقاومت فشاری انجام شد، درصد‌های وزنی سیمان، آب و نیکوفلاک استفاده شده برای ساخت نمونه‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده‌است.

۲-۳- عمل‌آوری نمونه‌ها

نمونه‌های مربوط به بررسی مقاومت ۷ روزه، ابتدا پس از ساخت

۲-۳- آب

برای ساخت نمونه‌ها از آب آشامیدنی شهر اردبیل استفاده گردیده‌است، در اکثر اختلاط‌ها آب مناسب برای بتن آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد. [۱۲]

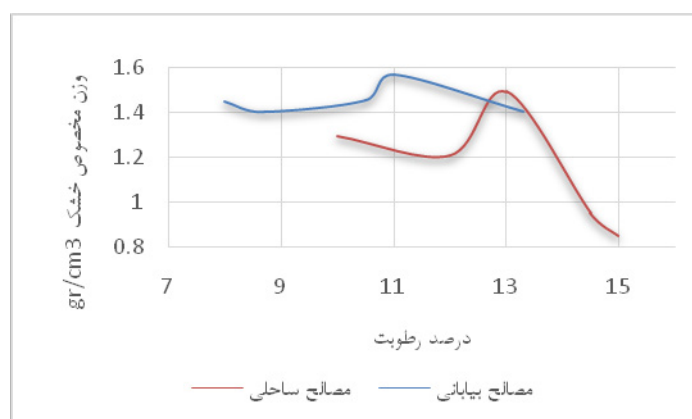
۳- کارهای آزمایشگاهی

۳-۱- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق، بعد از انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، آزمایش تراکم بر روی نمونه‌ها انجام گردید، درصد رطوبت بهینه به‌دست آمده از آزمایش تراکم به عنوان درصد آب بکار رفته در ساخت مصالح استفاده گردیده است، پس از این آزمایش با استفاده از درصد‌های رطوبت به‌دست آمده شروع به ساخت نمونه‌های تراکمی - تثبیت شده با سیمان مطابق استاندارد ASTM D558 [۱۳] از هر دو گروه

جدول ۳. طرح اختلاط استفاده شده برای ساخت نمونه‌های تثبیت شده
Table 3. Mix design was Used for making stabilized samples

درصد نیکوفلاک	درصد سیمان	درصد رطوبت	نام گذاری طرح اختلاط	نوع مصالح	درصد نیکوفلاک	درصد سیمان	درصد رطوبت	نام گذاری طرح اختلاط	نوع مصالح
۰	۳	۱۳	G-B-1	ماسه بادی	۰	۳	۱۱	G-A-1	ماسه بادی
۰	۶	۱۳	G-B-2	بیابانی	۰	۶	۱۱	G-A-2	ساحلی
۰	۱۲	۱۳	G-B-3		۰	۱۲	۱۱	G-A-3	
۰/۳	۳	۱۳	G-B-4		۰/۳	۳	۱۱	G-A-4	
۰/۶	۶	۱۳	G-B-5		۰/۶	۶	۱۱	G-A-5	
۱/۲	۱۲	۱۳	G-B-6		۱/۲	۱۲	۱۱	G-A-6	



شکل ۳. منحنی تراکم مصالح ماسه‌بادی
Fig. 3. Compaction curve of Sand materials

شده برای ساخت نمونه‌ها مطابق نمودار زیر برای مصالح ماسه‌بادی ساحلی ۱۱ درصد و برای مصالح ماسه‌بادی بیابانی ۱۳ درصد انتخاب گردید. همانطور که در نمودارها می‌توان مشاهده کرد و بنابه نتایج به‌دست آمده از تحقیقات یوان [۱] منحنی تراکم مصالح ماسه‌بادی دارای دو نقطه اوج و فرود می‌باشد، بیشترین تراکم خشک این مصالح در دو نقطه منحنی ایجاد می‌گردد، یکی در رطوبت بهینه و دیگری در رطوبت صفر درصد می‌باشد، که به خاطر استفاده از سیمان در ساخت این نمونه‌ها از رطوبت بهینه استفاده گردیده‌است.

به مدت ۲۴ ساعت در داخل کیسه پلاستیکی نگهداری شد تا عمل سخت شدن سیمان در رطوبت بهینه انجام گیرد، سپس تا رسیدن به زمان تست در شرایط مرطوب نگهداری شد، نمونه‌های ۲۸ روزه را نیز ابتدا به مدت ۲۴ ساعت داخل کیسه پلاستیکی نگه‌داشته و سپس در داخل حوضچه آب قرار داده شد، نمونه‌هایی را که قرار بود بر روی آنها تست ذوب و انجماد انجام شود پس از ۱۴ روز از حوضچه خارج و سایر نمونه‌ها تا زمان تست مقاومت فشاری و کشش غیر مستقیم داخل آب نگهداری شد.

۴-۳- آزمایش مقاومت فشاری

این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C39 [۱۵] انجام گرفته‌است، بدین ترتیب که نمونه‌های استوانه‌ای ساخته شده را مطابق شکل ۴ بین دو فک دستگاه تک محوری قرار داده و نیروی

۳-۳- آزمایش تراکم

بر روی هر دو گروه مصالح مورد استفاده آزمایش تراکم استاندارد مطابق استاندارد ASTM D558 [۱۳] انجام گرفت، منحنی تراکم بر روی نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده‌است، درصد رطوبت استفاده



شکل ۴. نحوه بارگذاری بصورت فشاری
Fig. 4. Test setup for Compressive Strength



شکل ۵. نحوه بارگذاری نمونه‌ها در آزمایش کشش غیر مستقیم
Fig. 5. Test setup for Indirect tensile Strength

فشاری قطری در امتداد طول نمونه استوانه‌ای وارد می‌شود تا نمونه گسیخته شود. شکل ۵ تصویر نحوه قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه بتن شکن تک محوره را نشان می‌دهد. این تست بر روی نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه ساخته شده از درصد‌های مختلف سیمان و پلیمر انجام گردید.

۳-۶- آزمایش ذوب و یخ

نمونه‌ها را به مدت ۱۴ روز مطابق با استاندارد ASTM C 192

قائم تا شکستن نمونه بر آن وارد گردید. این آزمایش بر روی نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه و نیز بر روی نمونه‌های خارج شده از سیکل ذوب و یخ ساخته شده از مصالح با گروه‌های مختلف انجام گردید.

۳-۵- آزمایش کشش غیرمستقیم

این آزمایش مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۷ [۱۶] است و هدف از آن تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها به روش دو نیم کردن برای نمونه‌های استوانه‌ای بکار می‌رود، در این روش یک نیروی

بتن شکن قرار گرفتند.

۴- نتایج آزمایش‌ها

در جدول ۴ نتایج حاصل از مقاومت فشاری و کشش غیرمستقیم بر روی نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه نشان داده شده است، جدول (۵) نیز نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های حاصل از ۴۵ سیکل ذوب و انجماد و نیز نمونه‌های شاهد که بصورت همزمان با نمونه‌های ذوب و انجماد تست شدند را نشان می‌دهد.

۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه

شکل ۶ نتایج تاثیر افزودن پودر پلیمری - معدنی نیکوفلاک بر روی مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف سیمان را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود این پودر در تمام حالات منجر به افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها گردیده است، شکل ۷ میزان افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه را بر حسب درصد بیان می‌کند، همانطور که مشاهده می‌شود برای مصالح

[۱۷] در داخل حوضچه آب معمولی نگهداری کرده و سپس آزمایش سیکل ذوب و یخ مطابق استاندارد ASTM C666 [۱۴] بر روی آن‌ها انجام گردید. در این صورت سیکل ذوب و یخ می‌بایست به یکی از دو روش زیر انجام شود:

روش اول: ذوب و انجماد سریع در آب

روش دوم: انجماد سریع در هوا و ذوب در آب

با توجه به امکانات موجود روش دوم انتخاب گردید، بر اساس دستورالعمل استاندارد مذکور دمای نمونه‌ها طی دوره انجماد از ۴ درجه به ۱۸- درجه سانتیگراد و سپس در دوره ذوب از ۱۸- درجه به ۴ درجه سانتیگراد می‌رسد. در این تحقیق هر سیکل یخ زدن و آب شدن ۳ ساعت بطول انجامید که در آن نمونه‌ها بمدت ۲ ساعت و ۲۰ دقیقه به حالت انجماد در دستگاه یخچال قرار گرفتند و ۴۰ دقیقه در داخل آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برای ذوب شدن قرار داده شدند. این کار برای هر نمونه ۴۵ بار تکرار شد. نمونه‌ها پس از پایان تعداد ۴۵ سیکل به همراه نمونه‌های شاهد مورد استفاده که برای مقایسه مقاومت فشاری آن‌ها ساخته شده بودند، زیر دستگاه

جدول ۴. نتایج آزمایش مقاومت فشاری و کشش غیرمستقیم

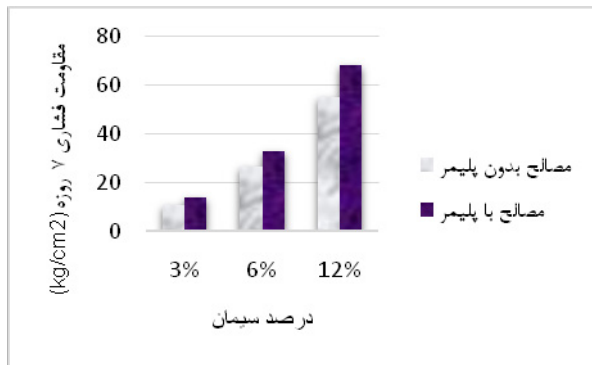
Table 4. results of compressive and indirect tensile strength

مقاومت فشاری				مقاومت کششی				نام‌گذاری طرح اختلاط	نوع مصالح
۲۸ روزه		۷ روزه		۲۸ روزه		۷ روزه			
متوسط مقاومت فشاری (kg/cm ²)	نیروی فشاری متوسط (ton)	متوسط مقاومت فشاری (kg/cm ²)	نیروی فشاری متوسط (ton)	متوسط مقاومت کششی (kg/cm ²)	نیروی کششی متوسط (ton)	متوسط مقاومت کششی (kg/cm ²)	نیروی کششی متوسط (ton)		
۱۶/۴۵	۱/۲	۱۰/۷۵	۰/۸۵	۱۲/۱	۰/۸	۸/۹	۰/۷	G-A-1	مصالح
۲۷/۸	۲/۲	۲۶/۵۵	۲/۱	۱۳/۹	۱/۱	۱۳/۳	۱/۰۵	G-A-2	ماسه
۷۰/۸	۵/۶	۵۵/۲	۵/۱۵	۲۱/۵۵	۱/۷	۲۰/۹	۱/۶۵	G-A-3	بادی
۲۴/۱	۱/۹	۱۳/۹	۱/۱	۱۲/۷	۱	۱۱/۱	۰/۸۵	G-A-4	ساحلی
۳۶/۷	۲/۹	۳۲/۹	۲/۶	۱۵/۲	۱/۲	۱۴/۵۵	۱/۱۵	G-A-5	
۸۴/۸۵	۶/۷	۶۸/۴	۵/۴	۲۴/۱	۱/۹	۲۵/۳	۲	G-A-6	
۱۴/۵۵	۱/۱۵	۱۱/۴	۰/۹	۱۱/۴	۰/۹	۱۰/۱	۰/۸	G-B-1	مصالح
۴۴/۹	۳/۵۵	۲۶/۶	۲/۱	۱۵/۲	۱/۲	۱۳/۹	۱/۱	G-B-2	ماسه
۶۰/۱	۴/۷۵	۴۶/۸۵	۲/۷	۱۶/۴۵	۱/۳	۱۵/۸۵	۱/۲۵	G-B-3	بادی
۲۲/۸	۱/۸	۱۲/۷	۱	۱۳/۹	۱/۱	۱۲/۷	۱	G-B-4	بیابانی
۵۶/۹۵	۴/۵	۳۷/۲۵	۲/۹۵	۱۷/۷	۱/۴	۱۵/۲	۱/۲	G-B-5	
۶۲/۱	۴/۹	۵۰/۷	۴	۲۳/۴۵	۱/۸۵	۱۹/۶۵	۱/۵۵	G-B-6	

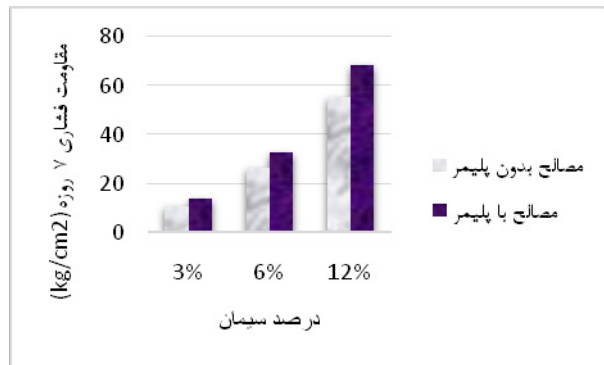
جدول ۵. نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های حاصل از ذوب و انجماد و نمونه‌های شاهد

Table 5. Result of compressive Strength of freeze-thaw test samples

مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد	متوسط مقاومت فشاری نمونه‌های تحت ذوب و انجماد	نام طرح اختلاط	نوع مصالح	مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد	متوسط مقاومت فشاری نمونه‌های تحت ذوب و انجماد	نام طرح اختلاط	نوع مصالح
۲۴/۱	۱۳/۹	G-B-1	ماسه‌بادی	۲۵/۶	۱۱/۴	G-A-1	ماسه‌بادی
۵۱/۹	۴۰/۵	G-B-2	بیابانی	۳۵/۴	۲۰/۳	G-A-2	ساحلی
۶۲	۵۹/۵	G-B-3		۸۳/۴	۴۹/۹	G-A-3	
۳۲/۹	۲۲/۸	G-B-4		۳۴/۱	۲۲/۸	G-A-4	
۶۳/۲	۴۴/۳	G-B-5		۶۵/۷	۵۳/۱	G-A-5	
۷۲/۲	۶۳/۳	G-B-6		۹۱	۷۵/۸	G-A-6	



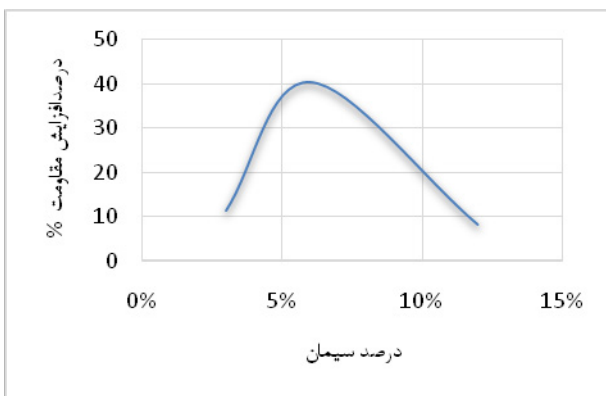
ماسه‌بادی بیابانی



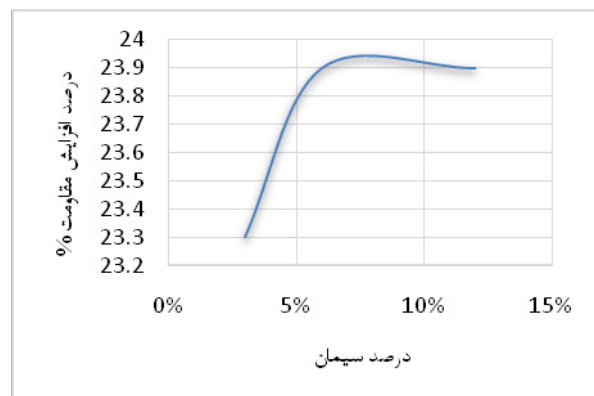
ماسه‌بادی ساحلی

شکل ۶. نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع

Fig. 6. Results of 7 day Compressive strength in kg/cm2



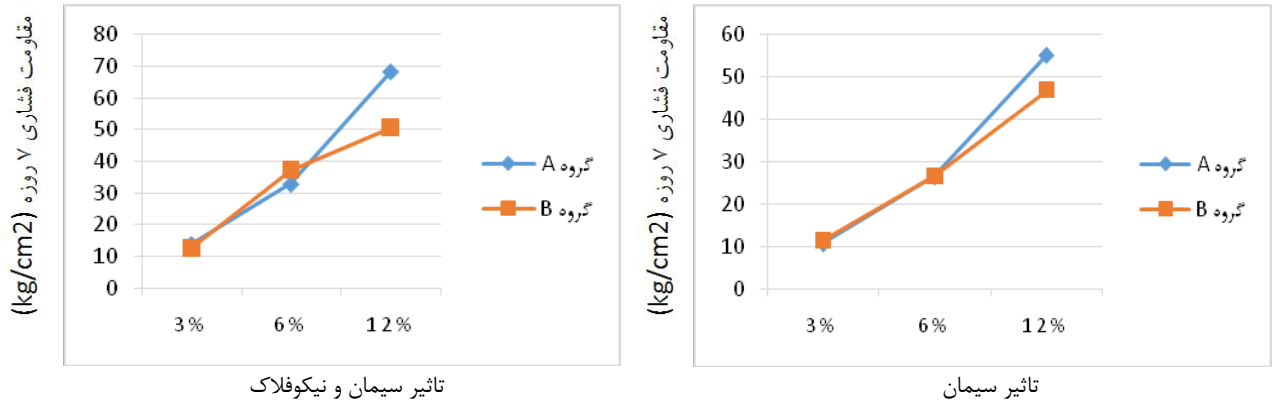
ماسه‌بادی بیابانی



ماسه‌بادی ساحلی

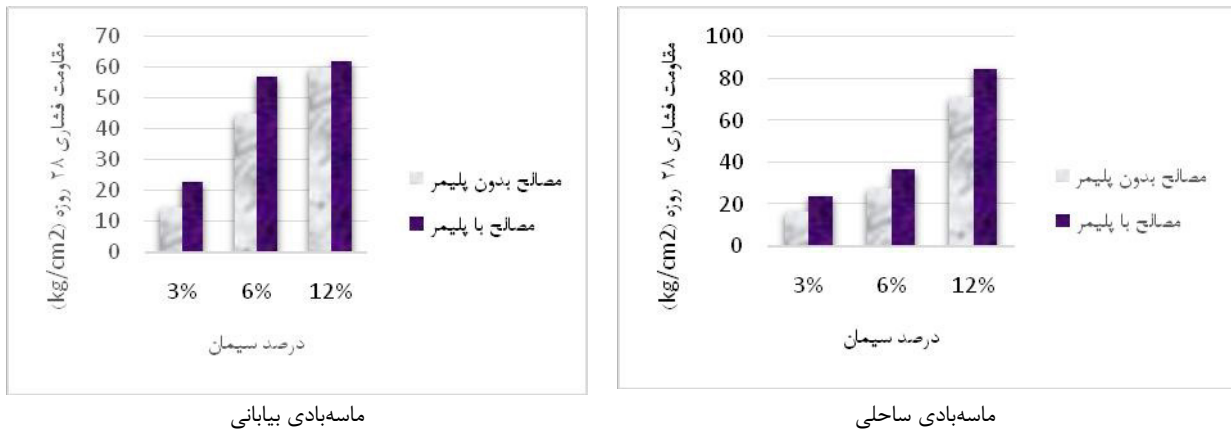
شکل ۷. تاثیر افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه در اثر استفاده از پلیمر نیکوفلاک به همراه سیمان

Fig. 7. Result of 7 days compressive strength at the effect of Using cement with "Nicoflok" polymer



شکل ۸. نتایج تاثیر سیمان و تاثیر سیمان و نیکوفلاک با درصدهای مختلف سیمان در ماسه‌بادی ساحلی (گروه A) و بیابانی (گروه B) بر روی مقاومت فشاری ۷ روزه

Fig. 8. Result of use cement only and Cement with "NicoFlo" with various Percent of cement in coastal Sands (Group A), and desert Sands (Group B) at the 7 Day compressive Strength



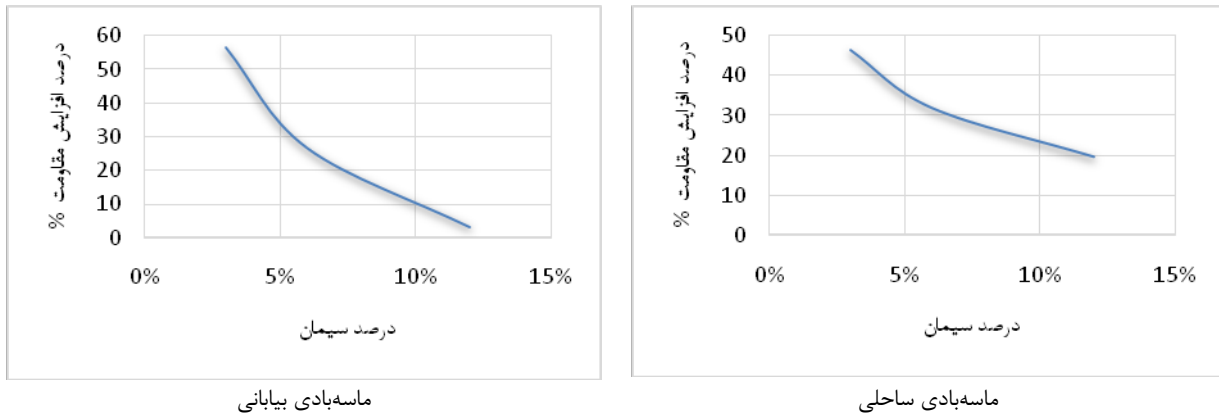
شکل (۹) نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع

Fig. 9. Results of 28 day Compressive strength in kg/cm²

افزودن ۱۲ درصد سیمان، بدون پودر نیکوفلاک و با پودر نیکوفلاک مقاومت مصالح ماسه‌بادی ساحلی بیشتر از مصالح ماسه‌بادی بیابانی شده‌است. همچنین افزودن نیکوفلاک در شرایطی که مصالح دارای ۳ درصد سیمان می باشد، تاثیری بر روی میزان مقاومت فشاری ۷ روزه این مصالح نداشته ولی در شرایطی که مصالح دارای ۶ درصد سیمان و یا ۱۲ درصد سیمان می باشد، میزان مقاومت فشاری ۷ روزه در هر دو نوع مصالح به میزان قابل توجهی افزایش می یابد.

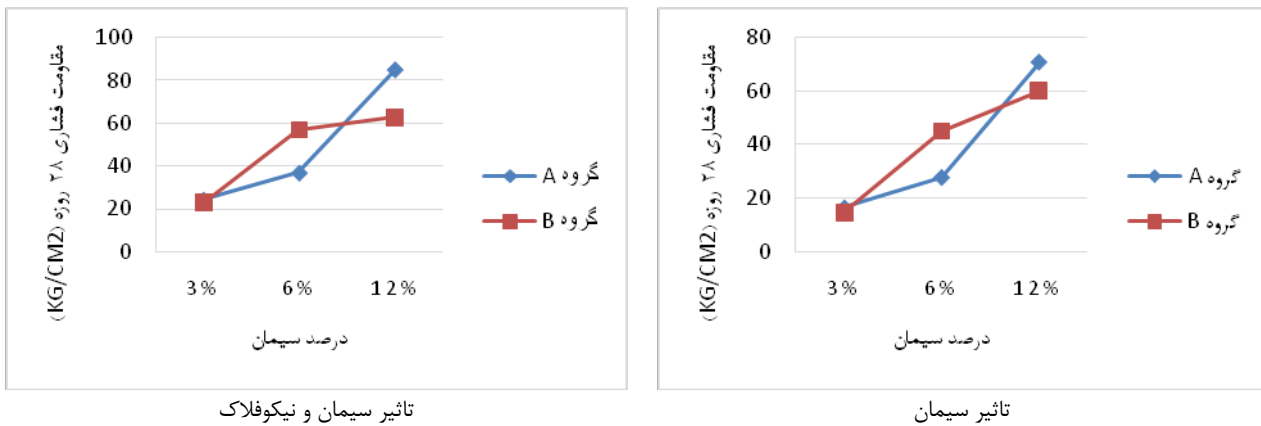
نمونه‌های تراکمی ساخته شده بعد از اینکه به مدت ۲۸ روز در داخل آب قرار گرفتند مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند، شکل ۹ نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های ۲۸ روزه را نشان می‌دهد، همانطور که می‌توان مشاهده کرد پلیمر نیکوفلاک

ماسه‌بادی ساحلی بطور کلی مقاومت مصالح به میزان ۲۳ تا ۲۴ درصد افزایش یافته است. برای مصالح ماسه‌بادی بیابانی مقاومت فشاری با اضافه شدن درصد سیمان تا ۶ درصد حالت صعودی داشته است و بیشترین تاثیر این پودر مربوط به حالت ۶ درصد سیمان با ۰/۶ درصد پودر نیکوفلاک است که مقاومت را به میزان حدود ۴۰ درصد افزایش داده‌است و با اضافه شدن درصد سیمان بعد از ۶ درصد مقاومت فشاری مرتبا کاهش یافته است، شکل ۸ مقایسه‌ای از تاثیر افزایش سیمان و پلیمر را بصورت مجزا بر روی هر دو نوع مصالح مورد استفاده نشان داده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده‌است مقاومت فشاری ۷ روزه بر روی هر دو نوع مصالح برای ۳ و ۶ درصد سیمان بدون نیکوفلاک و با نیکوفلاک تقریبا یکسان و در حالت



شکل ۱۰. تاثیر افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه در اثر استفاده از پلیمر نیکوفلاک به همراه سیمان

Fig. 10. Result of 28 days compressive strength at the effect of Using cement with "Nicoflo" polymer

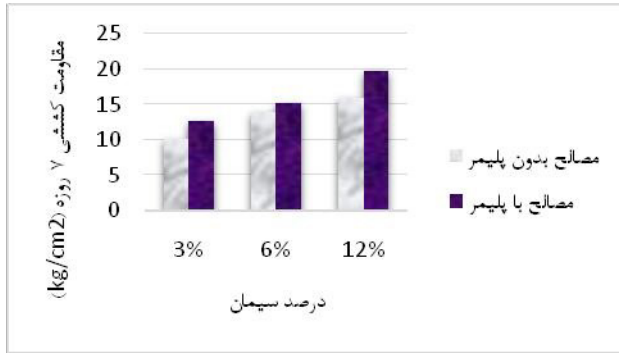


شکل ۱۱. نتایج تاثیر سیمان و تاثیر سیمان و نیکوفلاک با درصدهای مختلف سیمان در ماسه‌بادی ساحلی (گروه A) و بیابانی (گروه B) بر روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه

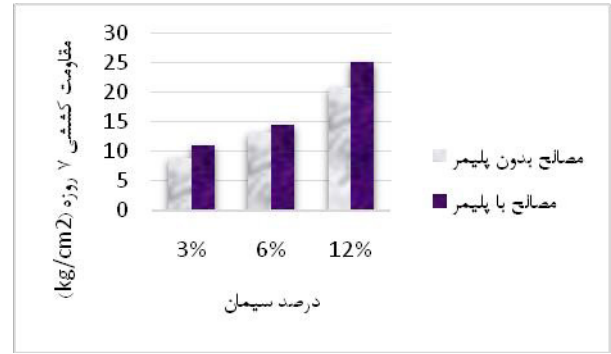
Fig. 11. Result of use cement only and Cement with "Nicoflo" with various Percent of cement in coastal Sands (Group A), and desert Sands (Group B) at the 258 Day compressive Strength

افزایش مقاومت ۲۸ روزه برای مصالح ماسه بادی بیابانی به ۲۰ درصد و برای مصالح ماسه بادی ساحلی نزدیک به صفر درصد شده‌است. شکل ۱۱ مقایسه ای از تاثیر افزایش درصد سیمان و پلیمر را به صورت مجزا بر روی مصالح ماسه بادی ساحلی و بیابانی نشان داده است. همان طوری که در این شکل نشان داده شده‌است مقاومت فشاری ۲۸ روزه بر روی هر دو نوع مصالح برای ۳ درصد سیمان بدون نیکوفلاک و با نیکوفلاک تقریباً یکسان و مقاومت فشاری ۲۸ روزه با ۶ درصد سیمان در هر دو حالت بدون نیکوفلاک و با نیکوفلاک برای مصالح ماسه بادی بیابانی نسبت به ساحلی بیشتر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه با ۱۲ درصد سیمان در هر دو حالت بدون نیکوفلاک و با نیکوفلاک برای مصالح ماسه بادی ساحلی نسبت به بیابانی بیشتر

سبب افزایش مقاومت فشاری در تمام درصدها در طول ۲۸ روز گردیده‌است. در شکل ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه را برای مصالح ماسه بادی ساحلی و بیابانی آورده شده‌است. همانطوری که در این شکل نشان داده شده‌است بیشترین تاثیر مواد نیکوفلاک برای هر دو نوع مصالح ماسه‌بادی ساحلی و بیابانی مربوط به حالت استفاده از ۳ درصد سیمان با ۰/۳ درصد نیکوفلاک با ۴۸ درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه برای مصالح ماسه بادی ساحلی و ۵۷ درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه برای مصالح ماسه بادی بیابانی بوده و با افزایش درصد سیمان مصرفی و پودر نیکوفلاک به تناسب آن، درصد افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه مصالح مرتباً کاهش یافته و در شرایطی که میزان سیمان مصرفی به ۱۲ درصد وزنی رسیده، میزان



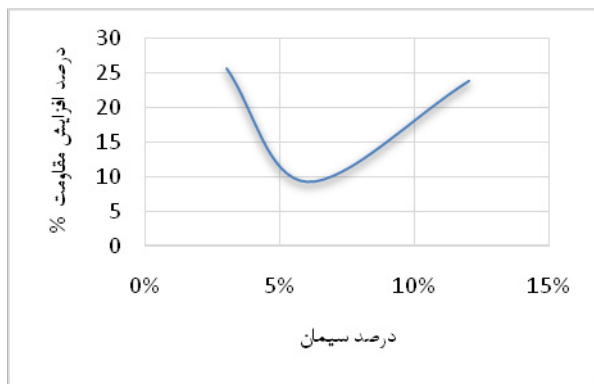
ماسه‌بادی بیابانی



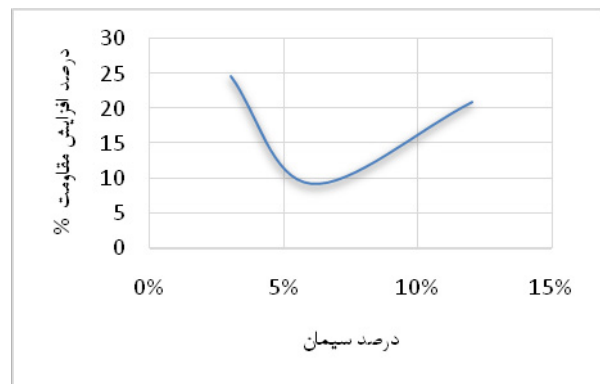
ماسه‌بادی ساحلی

شکل ۱۲. نتایج آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم ۷ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع

Fig. 12. Results of 7 day Indirect Tensile strength in kg/cm²



ماسه‌بادی بیابانی



ماسه‌بادی ساحلی

شکل ۱۳. درصد افزایش مقاومت کششی ۷ روزه در اثر استفاده از پلیمر نیکوفلاک

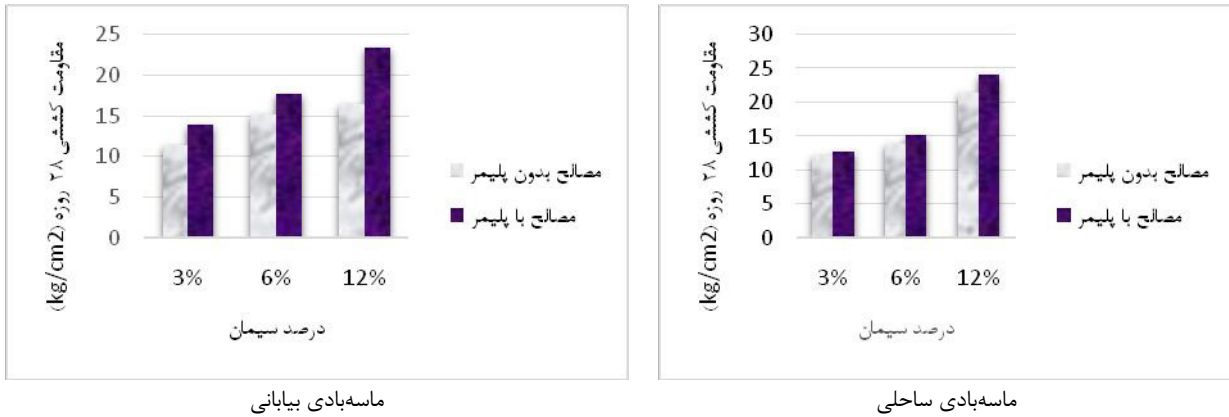
Fig. 13. Result of 7 day indirect Tensile strength at the effect of Using cement with "Nicoflik" polymer

با ۰٫۳ درصد نیکوفلاک و همچنین ۱۲ درصد سیمان با ۱/۲ درصد نیکوفلاک بوده و کمترین تاثیر آن بر روی مصالح با ۶ درصد سیمان و ۰/۶ درصد نیکوفلاک است. در شکل ۱۳ درصد افزایش مقاومت کششی ۷ روزه در اثر استفاده از پودر نیکوفلاک برای مصالح ماسه بادی ساحلی و بیابانی نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل مشخص است برای هر دو نوع مصالح ماسه بادی با ۳ درصد سیمان و ۰/۳ درصد نیکوفلاک، مقاومت کششی ۷ روزه تا ۲۵ درصد افزایش داشته است و برای شرایطی که ۶ درصد سیمان و ۰/۶ درصد نیکوفلاک استفاده شده و مقاومت کششی ۷ روزه تا ۱۰ درصد افزایش و برای مصالح ماسه بادی با ۱۲ درصد سیمان و ۱/۲ درصد نیکوفلاک، مقاومت کششی ۷ روزه تا ۲۵ درصد افزایش یافته است.

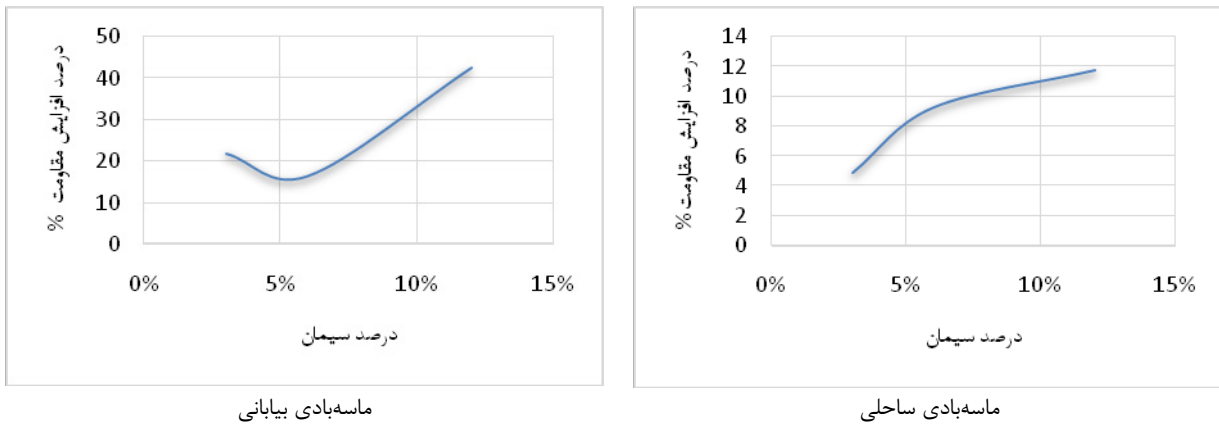
در شکل ۱۴ تاثیر استفاده از پودر نیکوفلاک بر روی مقاومت کششی ۲۸ روزه مصالح ماسه بادی آورده شده است. همانطوری که

است. همچنین افزودن نیکوفلاک به مصالح ماسه بادی ساحلی با ۶ درصد و ۱۲ درصد سیمان و افزودن نیکوفلاک به مصالح ماسه بادی با ۶ درصد سیمان، باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه به مقدار قابل توجهی شده است و وجود نیکوفلاک در مصالح ماسه بادی بیابانی با ۱۲ درصد سیمان تاثیری بر روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن نداشته است.

۲-۴ نتایج آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم ۷ روزه و ۲۸ روزه در شکل ۱۲ تاثیر استفاده از پودر نیکوفلاک بر روی مقاومت کششی ۷ روزه مصالح ماسه‌بادی نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود مقاومت کششی ۷ روزه هر دو نوع مصالح ماسه بادی ساحلی و بیابانی در اثر استفاده از پودر نیکوفلاک افزایش یافته است. بیشترین تاثیر پودر نیکوفلاک مربوط به حالت ۳ درصد سیمان



شکل ۱۴. نتایج آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم ۲۸ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی مترمربع
 Fig. 14. Results of 28 day Compressive strength in kg/cm²



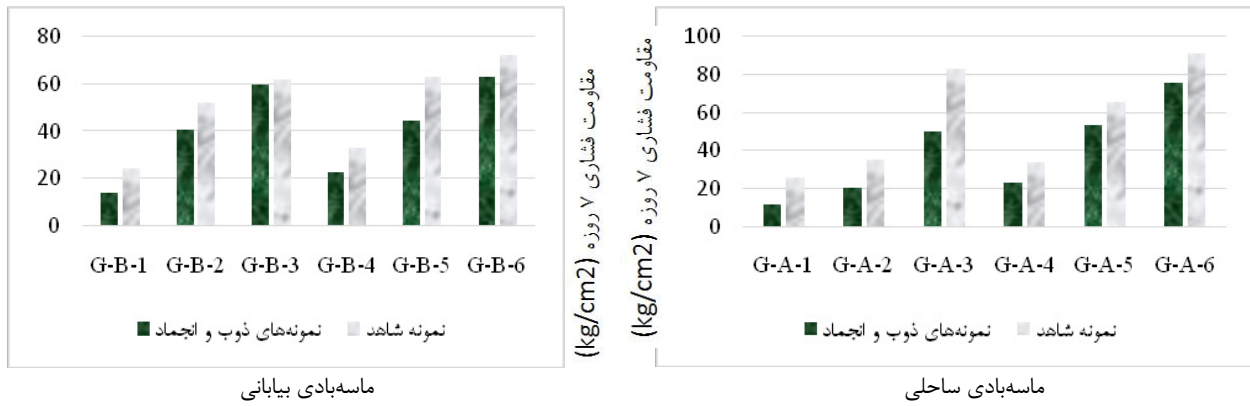
شکل ۱۵. درصد افزایش مقاومت کششی ۲۸ روزه در اثر استفاده از پلیمر نیکوفلاک
 Fig. 15. Result of 28 day indirect Tensile strength at the effect of Using cement with "NicoFlok" polymer

باشد. برای مصالح ماسه بادی بیابانی به ازای ۳ درصد سیمان و ۰/۳ درصد نیکوفلاک، مقاومت کششی ۲۸ روزه تا ۲۵ درصد افزایش، به ازای ۶ درصد سیمان و ۰/۶ درصد نیکوفلاک تا ۱۵ درصد افزایش و به ازای ۱۲ درصد سیمان و ۱/۲ درصد نیکوفلاک مقاومت کششی ۲۸ روزه تا ۴۲/۵ درصد افزایش یافته است ولی برای مصالح ماسه بادی ساحلی بر خلاف مقاومت کششی ۷ روزه، درصد افزایش مقاومت زیاد نبوده و برای ۱۲ درصد سیمان و ۱/۲ درصد نیکوفلاک، حداکثر افزایش مقاومت ۱۱/۸ درصد می باشد.

۴-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های حاصل از ۴۵ سیکل ذوب و یخ

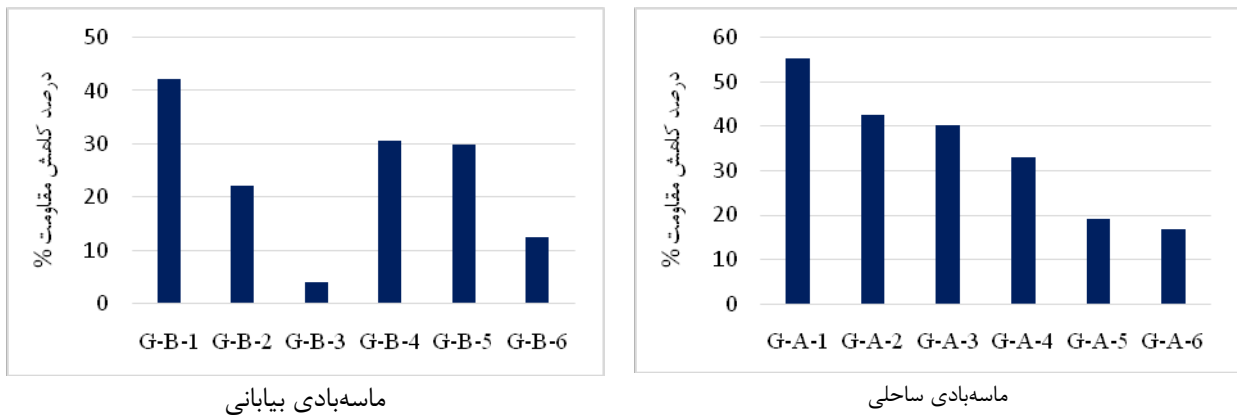
شکل ۱۶ نتایج آزمایش ۴۵ سیکل ذوب و انجماد بر روی نمونه‌ها را نمایش می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود برای مصالح

در این شکل مشخص شده است مقاومت کششی ۲۸ روزه مصالح ماسه بادی در هر دو نوع افزایش یافته و بیشترین افزایش مقاومت کششی ۲۸ روزه مربوط به حالت ۱۲ درصد سیمان با ۱/۲ درصد پودر نیکوفلاک می‌باشد همچنین در مصالح ماسه بادی بیابانی میزان افزایش مقاومت کششی ۲۸ روزه در قیاس با مصالح ماسه بادی ساحلی قابل توجه بوده و مقاومت از حدود ۱۶ کیلوگرم بر سانتی مترمربع به حدود ۲۵ کیلوگرم بر سانتی مترمربع افزایش یافته است. شکل ۱۵ درصد افزایش مقاومت کششی ۲۸ روزه در اثر استفاده از پودر نیکوفلاک برای مصالح ماسه بادی ساحلی و بیابانی را نشان می‌دهد. همانطوریکه در این شکل مشخص است روند تغییرات افزایش مقاومت ۲۸ روزه برای مصالح ماسه بادی بیابانی تا حدودی مطابق روند تغییرات افزایش مقاومت ۷ روزه آن مصالح بوده ولی روند تغییرات برای مصالح ماسه بادی ساحلی با روند تغییرات ۷ روزه متفاوت می



شکل ۱۶. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ذوب و یخ و نمونه‌های شاهد

Fig. 16. Results of compressive test on samples with 45 cycles of freeze-thaw and also control samples



شکل ۱۷. درصد مقاومت کاهش یافته طی پروسه ۴۵ سیکل ذوب و انجماد

Fig. 17. Results of decreased strength of samples in 45 cycles of freeze-thaw test

در این نوع مصالح با ۱۲ درصد سیمان و ۱/۲ درصد نیکوفلاک شاهد هستیم. برای مصالح ماسه بادی ساحلی نمونه با ۳ درصد سیمان و ۰/۳ درصد نیکوفلاک، درصد کاهش مقاومت کمتری داشته ولی نمونه‌های با ۶ درصد و ۱۲ درصد سیمان به همراه پودر نیکوفلاک علی‌رغم اینکه نسبت به نمونه‌های بدون نیکوفلاک دارای مقاومت بیشتری است ولی در برابر آزمایش ۴۵ سیکل ذوب و یخ، درصد کاهش مقاومت بالاتری را نسبت به نمونه‌های بدون نیکوفلاک از خود نشان داده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با ساخت نمونه‌های تراکمی از مصالح ماسه‌بادی ساحلی و بیابانی با ۳، ۶ و ۱۲ درصد سیمان و نیز ساخت نمونه‌هایی با همین درصد سیمان و ۱۰ درصد سیمان پودر نیکوفلاک و عمل آوری

ماسه‌بادی ساحلی نمونه‌های با پودر نیکوفلاک دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های فاقد این پودر می‌باشد و میزان افزایش مقاومت برای شرایط با ۶ درصد سیمان و ۱۲ درصد سیمان قابل توجه است. در مصالح ماسه بادی بیابانی نیز نمونه‌های با پودر نیکوفلاک دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های فاقد این پودر می‌باشد ولی برای شرایط با ۶ درصد و ۱۲ درصد سیمان میزان افزایش مقاومت آنچنان نیست.

شکل ۱۷ درصد کاهش مقاومت را برای هر ۶ نوع مصالح ماسه بادی بیابانی و هر ۶ نوع مصالح ماسه بادی ساحلی در اثر ۴۵ سیکل ذوب و انجماد نشان می‌دهد. همانطوری که مشاهده می‌شود برای مصالح ماسه بادی ساحلی در نمونه‌های با پودر نیکوفلاک نسبت به نمونه‌های بدون پودر نیکوفلاک با درصد سیمان یکسان، درصد کاهش مقاومت خیلی کمتر بوده و کمترین درصد کاهش مقاومت را

سیمان برای سایر درصدها کمتر می‌باشد.

۶- با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این پژوهش می‌توان از مصالح ماسه‌بادی که به وفور در نواحی بیابانی و ساحلی یافت می‌شود به عنوان مصالح روسازی و لایه تثبیت شده با سیمان استفاده کرد. با توجه به نوع ناحیه مصرفی و شرایط آب و هوایی موجود می‌توان از درصدهای متناسب با شرایط محلی استفاده نمود. لازم به ذکر است در صورت تمایل به استفاده از این مصالح در لایه های روسازی، این مصالح صرفاً به صورت تثبیت شده به همراه پودر پلیمری - معدنی نیکوفلاک قابلیت استفاده را داشته و بدون این افزودنی قابل استفاده نخواهد بود. لذا استفاده از این مصالح به همراه نیکوفلاک در مناطق ساحلی و بیابانی باعث کاهش هزینه های ناشی از ساخت روسازی راهها، حفظ محیط زیست، جلوگیری از استخراج بی رویه معادن، کوهها، تپه ها و هزینه های فوق العاده سنگین استخراج، شکستن و حمل این مصالح در مناطق بیابانی و ساحلی می‌شود.

مراجع

- [1] Y. Yu-qing, and W. J. C. J. o. G. E. Xuan-cang, "Experimental research on compaction characteristics of aeolian sand [J]," vol. 3, 2007.
- [2] J. S. Tingle, and R. L. J. T. R. R. Santoni, "Emulsion polymers for soil stabilization," in Proceeding of FAA Worldwide Airport Technology Transfer Congerence, Atlantic City, New jersey, USA, 2004.
- [3] H. Taherkhani, "Study and Comparison of Compressive Strength of Clays Soils Stabilization with Cement, Lime and CBR Plus," Modares Civil Engineering Journal, 2016
- [4] A. AlKarni, S. M. J. J. o. E. ElKholly, and C. Sciences, "Improving geotechnical properties of dune sands through cement stabilization," vol. 5, no. 1, pp. 1-19, 2012.
- [5] M. Parmenovich, and S. Vladimirovich, "Study of the Influence of Stabilizing Additives on properties Strengthened by Mineral Structures Tablet - Sanded Mixtures," New technologies, 2013.
- [6] N. Gusev, and P. Nekhoroshkov, "Investigation of strength of Structure Layers Road clothes from Materials

نمونه‌ها به مدت ۷ و ۲۸ روز مورد مطالعه قرار گرفت و بر روی این نمونه‌ها تست مقاومت فشاری، کششی غیر مستقیم و ۴۵ سیکل ذوب و انجماد انجام گرفت نتایج پژوهش انجام گرفته بصورت زیر می‌باشد:

۱- مواد پلیمری «نیکوفلاک» سبب افزایش مقاومت ۷ روزه نمونه‌های ماسه‌بادی تثبیت شده با سیمان گردیده‌است، این افزایش برای مصالح ماسه‌بادی ساحلی بطور متوسط برابر ۲۳/۷ درصد و برای مصالح ماسه‌بادی بیابانی برابر ۲۰ درصد می‌باشد، بیشترین درصد افزایش مقاومت فشاری برای نمونه ماسه‌بادی ساحلی در این حالت مربوط به حالتی است که از ۶ و ۱۲ درصد سیمان با ۱۰ درصد وزنی سیمان نیکوفلاک استفاده شده‌است، و برای ماسه‌بادی بیابانی برای حالت ۶ درصد سیمان با ۰/۶ درصد نیکوفلاک است.

۲- برای حالت مقاومت فشاری ۲۸ روزه افزودن ۳ درصد سیمان با ۰/۳ درصد پودر نیکوفلاک بیشترین تاثیر در افزایش مقاومت فشاری دارد. متوسط افزایش مقاومت برای نمونه‌های ماسه‌بادی ساحلی ۳۲/۷ درصد و برای نمونه‌های ماسه‌بادی بیابانی ۲۸/۹ درصد است.

۳- استفاده از پودر نیکوفلاک سبب بهبود مقاومت کششی در مصالح ماسه بادی تثبیت شده با سیمان گردیده‌است، این افزایش مقاومت برای حالت ۷ روزه برای مصالح ماسه‌بادی ساحلی بطور متوسط برابر ۱۸/۳ درصد و برای مصالح ماسه بادی بیابانی برابر ۱۹/۶ درصد است، برای حالت ۲۸ روزه نیز افزایش مقاومت مصالح ماسه‌بادی ساحلی بطور متوسط برابر ۸/۶ درصد و برای مصالح ماسه‌بادی بیابانی برابر ۲۶/۹ درصد می‌باشد.

۴- بیشترین تاثیر پودر نیکوفلاک در افزایش مقاومت کششی نمونه‌های ۷ روزه مربوط به حالت ۳ درصد سیمان با ۰/۳ درصد نیکوفلاک است، این افزایش مقاومت برای هر دو نوع مصالح ماسه‌بادی تقریباً یکسان و برابر ۲۵ درصد می‌باشد، برای حالت ۲۸ روزه بیشترین تاثیر پودر نیکوفلاک مربوط به زمانی است که ۱۲ درصد سیمان با ۱/۲ درصد پودر نیکوفلاک مخلوط می‌گردد، این افزایش مقاومت برای مصالح ماسه‌بادی ساحلی برابر ۱۱/۸ درصد و برای مصالح ماسه‌بادی بیابانی برابر ۴۲/۵ درصد است.

۵- بطور کلی با افزایش درصد سیمان و پودر نیکوفلاک مقاومت مصالح ماسه‌بادی ساحلی در برابر سیکل ذوب و یخ بهبود یافته است، اما برای نمونه‌های ماسه‌بادی بیابانی این امر صادق نبوده و مقاومت فشاری نمونه‌های دارای پودر نیکوفلاک به جز برای حالت با ۳ درصد

- and coarse aggregates,” 2014
- [11] A. E, “Standard guide for elemental analysis by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry,” 2013.
- [12] A. M. Neville, and J. J. Brooks, Concrete technology: Longman Scientific & Technical England, 1987.
- [13] ASTM, “Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures,” 2011.
- [14] ASTM, “Standard test method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and thawing,” 2003.
- [15] ASTM, “Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens,” 2018.
- [16] I. N. S. 6047, “Evaluation of Indirect Tensile Strength by Splitting Cylindrical Samples,” 2016.
- [17] ASTM, “Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory,” 2016
- Strengthened Polymeric – Mineral Composition <NICOFLOK>,” Bulletin of PSTU, 2013.
- [7] H. Taherkhani, and H. Salami, “**Comparison of Lime, Cement and CBR PLUS Additives for Stabilizing Clay Soil**” Journal of Transportation Engineering, 2014
- [8] A. Roohbakhshan, and B. Kalantari, “**Stabilization of Clayey Soil with Lime and Waste Stone Powder,**” Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering, 2016.
- [9] J. Abedi Koupai, K. Norozian, and N. Abbasi, “**Evaluation of durability and stability of hydrated lime-stabilized clay soils in the vicinity of aquatic structures,**” Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 2016.
- [10] ASTM, “Standard test method for sieve analysis of fine

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Rezaie Moghaddam, B. Jafari Nader, T. Rezaie Moghaddam, *Laboratory Investigation of the Effect of “NICOFLOK” Polymer on the Compressive and Tensile Strength of Desert and Coastal Sand at the pavement Layers, Amirkabir J. Civil Eng., 53(2) (2021) 733-748.*

DOI: [10.22060/ceej.2020.16612.6288](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.16612.6288)



