

## مروری بر بهسازی خاک با مواد زائد و بازیافتی و تاثیر آن بر پارامترهای خاک

### مقاله علمی - مروری

واحد قیاسی<sup>\*</sup>، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

حامد توقع همدانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران

<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: V.ghiasi@malayeru.ac

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۴۸۲-۴۶۱

### چکیده

مقدار زیاد زباله‌های شهری، صنعتی و نخاله‌های ساختمانی به ویژه مواد پلاستیکی و لاستیکی که تجزیه آنها در طبیعت زمان‌بر است، مشکلات زیادی را در شهرها بوجود آورده است. مشکلات محیط زیستی که در اثر دفع غیر فنی و غیر اصولی این مصالح پدید آمده، توجه محققین جهت بازیافت این مواد را به خود معطوف کرده است. از طرفی روش‌های زیادی برای اصلاح پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک‌های نامناسب موجود است و یکی از روش‌های پرکاربرد بهسازی خاک، استفاده از روش‌های مسلح سازی خاک است که اغلب در تامین مصالح و نحوه اجرای آن هزینه‌بر هستند. در این راستا افزودن مواد ضایعاتی به خاک به دلیل وجود مزیت‌های زیست محیطی و سهولت اضافه کردن آن در حین کار، از جایگاه ویژه ای برخوردار است که با توجه به افزایش تولید و مصرف انواع لاستیک و پلاستیک در سال‌های اخیر افزودن موادی مانند: خرده لاستیک فرسوده، الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی، نوارهای زائد پلاستیک (پلی اتیلن ترفتالات (PET)، الیاف بازیافتی از بسته بندی مواد غذایی، نخاله های ساختمانی، مواد زائد صنعتی و غیره به خاک مورد بررسی قرار گرفته است. بنابر این تسلیح خاک با استفاده از مواد بازیافتی و ضایعاتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا علاوه بر نقش موثر آن در چرخه اقتصادی، به عنوان یکی از پارامترهای مهم توسعه در سطح کلان در کشورهای در حال توسعه است. در این مقاله سعی شده است مروری بر چند نمونه از مصالح زائد صنعتی، شهری و زباله‌های پر کاربرد که در تقویت و تسلیح خاک موثر است بررسی شود، که در این مسیر پارامترهای خاک مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مسلح سازی و تثبیت خاک‌ها از مواد بازیافتی می‌توان استفاده نمود که شرایط و مقدار آن باید مورد مطالعه قرار گیرد تا در شرایط بهینه از آنها استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف بازیافتی، بهسازی خاک، تسلیح خاک، خرده لاستیک، مواد بازیافتی

### ۱- مقدمه

(1996). اما استفاده از آنها مشکلاتی در حوزه محیط زیست ایجاد می‌کند. به عنوان مثال pH خاک و آبهای زیرزمینی را افزایش می‌دهند که باعث خوردگی سازه‌های مدفون در خاک می‌گردد. تثبیت خاک با این مواد باعث می‌شود خاک رفتار شکننده و ترد از خود نشان دهد که در مواقعی که خاک تحت بارهای دینامیکی قرار دارد می‌تواند خطر آفرین باشد. در حین فرآیند تولید این تثبیت کننده‌ها علاوه بر اینکه انرژی بسیاری مصرف می‌شود، مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای در جو رها می‌شوند که آسیب زیست محیطی قابل توجهی را ایجاد می‌کنند (Roohbakhshan and Kalantari, 2016). در این راستا معمولا از الیاف گیاهی

امروزه روش های تسلیح خاک یکی از زمینه‌های علم مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد که با استفاده از مواد و تکنولوژی‌های روز، انواع مواد و مصالح را در تقویت و بهبود خاک به کار گرفته، تا مشخصات مکانیکی خاک‌ها از جمله ظرفیت باربری، مقاومت برشی، سختی، شکل پذیری و سایر خصوصیات خاک و بستر زمین را بهبود بخشد، پژوهش‌های بسیاری در مورد خواص تثبیت کننده های سنتی نظیر سیمان، آهک، خاکستر آتش فشانی و غیره انجام شده است که نشان داده‌اند افزودن این مواد به خاک باعث افزایش مقاومت و دوام خاک می‌شود. Ghiasi et al., 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, Bell.

(2010). امروزه به دلیل نوسانات و روند رو به افزایش ارزشهای خارجی در ایران و وارداتی بودن ژئوگرید و ژئوتکتایلها قیمت بالایی دارند، که در جهت تقویت بستر راهها استفاده می‌شوند، خود هزینه‌های هنگفتی را به پروژه تحمیل می‌نماید، استفاده از مواد ضایعاتی با ارزش می‌تواند هم مقرون بصرفه باشد هم مصرف کننده زباله های تولیدی جامعه باشد.

یکی دیگر از مواد قابل بازیافت مواد پلیمری مانند پلی پروپیلن گونی است که در سال های اخیر مصرف آن رو به افزایش است. خاک از مصالحی است که به خوبی در برابر فشار و برش مقاومت می‌کند، اما قادر نیست در برابر نیروی کششی از خود مقاومت چندانی نشان دهد.

یکی دیگر از مواد قابل بازیافت که امروزه مصرف بسیار زیادی دارد و از دیرباز با معضل انباشتگی حجیم آن مواجه بوده‌اند، لاستیک (تایر) فرسوده اتومبیل بوده است. از مزایای استفاده از لاستیک و خرده لاستیک می‌توان به وزن سبک آن نسبت به خاک (یک سوم چگالی خشک خاک)، پایداری زیاد، ضریب فشار جانبی کم، شکل پذیری زیاد (به ویژه در بارگذاری سیکلیک) اشاره کرد (Yoon, Cheon and Kang, 2004).

## ۲-پیشینه تحقیق

سازه‌های مهندسی و ابنیه‌های ژئوتکنیکی بارهای خود را از طریق پی به خاک انتقال می‌دهند. سازه‌ها باید روی خاک مقاوم با قابلیت بالا ساخته شوند. تقاضا برای خاک با کیفیت خوب و دیگر مصالح ساختمانی بالاست. در برخی نقاط، خاک طبیعی با کیفیت خوب، از مسافت‌های طولانی وارد و تخلیه می‌گردد که این عمل پرهزینه و وقتگیر است. چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی محققان را جهت دستیابی به روش‌هایی به منظور بهبود کیفیت خصوصیات خاک تحریک می‌کند. برای تامین این امر باید از مواد بازیافتی و زائد استفاده کنیم تا علاوه بر صرفه جویی اقتصادی، به دفع این زباله‌ها نیز کمک کنیم.

## ۳- نمونه مصالح مصرفی

### المان تسلیح پت

ورقه‌های مورد مطالعه از جنس پلی اتیلن ترفتالات می‌باشد، که از برش بطری‌های نوشابه و آب و غیره در ابعاد حداکثر و پس از صاف کردن و سوراخ کردن آنها با قطرهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر (همانند ورقه های ژئوگرید) آماده شده است. لازم به ذکر است که تمامی این ورق‌ها دارای مقاومت کششی یکسان

برای پروژه‌های موقتی و همچنین از الیاف پلیمری و فلزی و پلیمری در پروژه‌ها استفاده می‌شود. همانطور که امروزه مشخص شده، مکانیزم رفتار خاک مسلح مبتنی بر اثرات متقابل بین خاک و المانهای مسلح کننده می‌باشد که در این میان اصطکاک بین خاک و المان مسلح کننده، نقش اساسی را در این زمینه ایفا می‌کند. در بسیاری از پروژه‌ها وجود خاک‌های سست و نامرغوب، مشکلاتی را در اجرای آن پروژه‌ها بوجود می‌آورد، در بسیاری مواقع برداشتن خاک‌های سست (به علت حجم بالا) و خاکریزی دوباره و جایگزینی خاک نامرغوب با خاک مرغوب، بسیار هزینه بر می‌باشد و یا به عنوان نمونه دیگر، استفاده از موادی در جهت تسلیح بستر خاک، خود سبب کاهش ضخامت لایه روسازی شده که این خود باعث کاهش هزینه‌های اجرایی می‌شود، به دلایل ذکر شده و دلایل دیگر طراحان به سمت استفاده از مواد تسلیح کننده روی آورده‌اند. در این بین اگر بتوان از مواد ضایعاتی که محیط زیست را تحدید می‌کند در جهت تسلیح خاک استفاده نمود، در عمل دو هدف دنبال شده است که یکی بحث تسلیح خاک و دیگری بحث حفظ محیط زیست.

بستر روسازی، سازه‌ای است که از خاک طبیعی در محل و یا از محل‌های قرضه تشکیل می‌شود تا دیگر لایه‌های دانه‌ای روسازی روی آن قرار گیرند. کیفیت و پایداری بستر، عامل بسیار مهمی است که تضمین کننده عملکرد و سرویس دهی مناسب سازه راه در طول عمر روسازی می‌شود. چالش همیشگی مهندسان در راهسازی، مواجه شدن با خاک نامرغوب است که توانایی سرویس دهی مناسب را ندارند (کاووسی و صائبی، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت مقاومت بستر در تعیین ضخامت روسازی‌های انعطاف پذیر و نقش آن در خرابی‌های زودرس راه و همچنین ایجاد مقاومت مناسب می‌توان با استفاده از مواد افزودنی به اهداف کاهش قابل توجه مصرف مصالح اساس روسازی راه، کاهش هزینه‌های ساخت، با توجه به افزایش مقاومت بستر و کاهش خسارات زیست محیطی ناشی از برداشت این مصالح از محل قرضه، به حداقل ممکن دست یافت (حسنی و همکاران، ۱۳۸۹). از مواد ضایعاتی پلی اتیلن ترفتالات (PET) می‌باشد که در ساخت بطری‌های نوشابه و آب معدنی و غیره استفاده می‌شود (Azhdarpour, Nikudel and Mohammadi, 2015). این مواد مدت استفاده کوتاهی دارند و پس از استفاده دور ریخته می‌شوند، اما به دلیل نبود تعادل بین سرعت تولید و بازیافت آن، تنها کسری از مقدار تولیدی پت بازیافت می‌شود و بقیه به محل های دفن زباله انتقال پیدا می‌کند که این امر با توجه به قیمت مواد ضایعاتی متغیر است (Gooch.



شکل ۱. نمونه ای از خرده لاستیک مصرف شده

(تاج دینی و همکاران، ۱۳۹۶)

### الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی

الیاف پروپیلن گونی مورد استفاده در این پژوهش از ضایعات کارخانه تولید گونی پلی پروپیلن تهیه شده است. این پلاستیک در برابر اسیدها و بازها مقاوم و دارای مقاومت کششی قابل قبولی است. الیاف پلی پروپیلن گونی مورد استفاده در این آزمایش به طول ۱۵ میلی‌متر بریده شده و مورد استفاده قرار گرفتند (رنجبر مالی دره و همکاران، ۱۳۹۶).

### نخاله ساختمانی

ابتدا نخاله‌ها را از سه سایت مجزا جمع‌آوری کرده و روی الک نمرة ۱ (۲۵ میلی‌متر) الک شد تا بخش ریزدانه آن جدا شود، سپس بصورت دستی تفکیک و توزین شد. بیشتر نخاله‌ها درشت‌دانه بوده و امکان بازیافت آنها وجود دارد، ولی بیشتر این تحقیق روی ضایعات آجر و بتن متمرکز است (بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹).

### نخاله ساختمانی

در تحقیق حاضر امکان استفاده از تمام نخاله‌های موجود از تخریب ساختمان به عنوان مصالح اساس یا زیراساس، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور پس از نمونه‌گیری و تعیین ترکیبات نخاله‌ها، آزمایش‌های لازم بر روی مصالح برگزیده انجام شد تا کیفیت نخاله‌های بازیافتی را به عنوان مصالح راهسازی بتوان بررسی کرد (عرفانیان نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

### آهک و خاکستر پوسته برنج

مواد زائد کشاورزی به صورتی هستند که نمی‌توانند به عنوان مواد جایگزین مورد استفاده قرار گیرند بلکه خاکستر به دست آمده از سوزاندن آنها مفید است. دو عامل در سوزاندن زائده‌های کشاورزی باید در نظر گرفته شوند که عبارتند از: خاکستر حاصل: نشان دهنده مقدار لازم زائده برای سوختن در محل است. عناصر شیمیایی متشکل؛ در خاکستر مقدار زیادی سیلیس

می‌باشد و تنها تفاوت آنها در ابعاد سوراخ و نحوه آرایش آنها است. همچنین ضخامت این ورقه‌ها ۰/۴ میلی‌متر می‌باشد (پورنوری و همکاران، ۱۳۹۲).

### الیاف تسلیح

الیاف مورد استفاده در تسلیح، تراشه‌های کوتاه و نازکی می‌باشند که از برش دادن و قیچی کردن بسته‌های مواد غذایی، پس از مصرف تهیه گردیده‌اند. این الیاف عمدتاً از جنس پلی‌اتیلن و آلومینیوم بوده، و دارای ضخامت متوسط ۰/۱۱ میلی‌متر می‌باشند که با عرض ۵ میلی‌متر قیچی شده‌اند (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

### خرده پلی اتیلن ترفتالات

به منظور مسلح کردن خاک از پلی اتیلن ترفتالات استفاده شده است. این ماده دارای سختی بالا، پوشش مقاوم، از لحاظ ابعادی پایدار و عایق الکتریسیته مناسبی می‌باشد. از جمله مشخصات بارز پت می‌توان به مقاومت در برابر آب، نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خردشدگی (برخلاف شیشه)، اشاره کرد. قطعات مسلح کننده استفاده شده در این آزمایش دارای ابعاد ۱۸۱ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۰۲ میلی‌متر است و این قطعات از بطری‌های ضایعاتی پت به دست آمده است (توفیق تبریزی و همکاران، ۱۴۰۰).

### ژئولیت و خرده لاستیک فرسوده

نوع ژئولیت در این پژوهش کلینوپتیلولیت که در واقع یک آلومینو سیلیکات سدیم و پتاسیم است و از معادن سمنان تهیه شده است و گرانول لاستیکی مورد استفاده دارای قطر ۰/۸ میلی‌متر است (سلطانی، ۱۳۹۸).

### خرده لاستیک صنعتی

خرده لاستیک صنعتی با دو نوع دانه بندی مختلف با نام G30 و G80 بوده که از ضایعات شرکت کویر تایر یزد تهیه شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. هرچه عدد بعد از G بزرگتر باشد، خرده لاستیک‌ها وزن مخصوص کمتری دارند (تاج دینی و همکاران، ۱۳۹۶).

### ژئوپلیمر بر پایه پوزولان طبیعی و پودر شیشه

پوزولان طبیعی تفتان از منطقه کوه آتشفشانی تفتان در استان سیستان و بلوچستان در ایران تهیه شده است. بر اساس تحقیقات پیشین، ریز بودن ذرات پوزولان با واکنش دهندگی آن رابطه مستقیم دارد و این بر کسب مقاومت نمونه بسیار مؤثر است. شیشه مورد استفاده در این مطالعه حاصل از پودر کردن شیشه‌های ساختمانی ضایعاتی است. پودر تهیه شده از الک شماره ۲۰۰ عبور داده شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت (صباغ گل و توفیق، ۱۳۹۸).

### الیاف پلی پروپیلن، آهک، پودر سنگ ضایعاتی

پودر سنگ مورد استفاده در این پژوهش از پسماند حاصل از برش سنگ‌های تراورتن حاجی آباد محلات تهیه شد. بدین ترتیب که ابتدا پودر سنگ از پای دستگاه برش به صورت همراه با آب سیستم خنک کننده خارج و در یک حوضچه جمع آوری می‌شود. در این پژوهش از مصالح خشک شده حوضچه رسوب لجن پودر سنگ یک کارگاه سنگبری در منطقه اندیشه کرج نمونه برداری شد. این مصالح پس از عبور دادن از الک شماره ۴۰ مورد استفاده قرار گرفت.

الیاف پلی پروپیلن مصرفی در این پژوهش از شرکت تولیدی میسون (سهام عام) تهیه شده است. این الیاف در برابر اسید و باز و نمک‌ها مقاومت بسیار زیادی دارند و در طول‌های مختلف و در بسته‌های ۲۵ کیلوگرمی به بازار عرضه می‌شوند که در این پژوهش از الیاف به طول ۱۲ میلی‌متر استفاده شده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹).

### خاکستر باگاس نیشکر و آهک

در این تحقیق از باگاس ضایعاتی کارخانه کشت و صنعت امیرکبیر جهت تولید خاکستر باگاس استفاده شده است. پس از جمع‌آوری باگاس نیشکر از محل دپو، باگاس در محیط باز پخش شد تا کاملاً خشک شود. پس از حصول اطمینان از خشک شدن، باگاس نیشکر در محیط باز سوزانده شد و تا سرد شدن کامل توده به حال خود رها شد. بعد از ۲۴ ساعت خاکستر باگاس نیشکر از مرکز توده برداشت شد و باگاس تهیه شده از الک شماره ۴ عبور داده شد تا ناخالصی احتمالی در برداشت الک شوند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹).

وجود دارد که با آهک واکنش نشان داده و تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته با خاصیت چسبندگی می‌دهد، خاکستر به دست آمده شامل حداکثر ۱۱ درصد قلیایی، مقدار کمی اکسیدهای آهن و آلومینیوم، کلسیم، منیزیم به علاوه اکسیدهای عناصر کمیاب موجود در خاکی است که برای کشاورزی استفاده می‌شود. پوسته برنج مورد استفاده در این تحقیق از برنج محلی استان گلستان بدست آمده است که مطابق شکل ۲ در فضای باز و به کمک وسایل اشتعال‌زا سوزانده شده و از مرکز توده سوخته شده خاکستر، برداشته شده است (حسن‌زاده میرکوهی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۲. نمونه‌ای از خاکستر برنج مصرف شده (حسن‌زاده میرکوهی و همکاران، ۱۳۹۵)

### آهک و خاکستر پوسته برنج

آهک مصرفی در این تحقیق با نام شیمیایی هیدروکسید کلسیم، آهک صنعتی از نوع هیدراته است و مهمترین ناخالصی آن مقدار اندکی سیلیس می‌باشد. پوسته برنج مورد استفاده در این پژوهش از برنج صدری محلی بدست آمده از مزارع شمال کشور می‌باشد که آن را در فضای باز سوزانده و از آن خاکستری به رنگ سفید همراه با دانه‌های سیاه به دست آمد. دماش هوا و جابجا کردن توده پوسته برنج به منظور خارج شدن گاز دی‌اکسید کربن و سوختن کامل پوسته برنج انجام شد (عزیزی میرمحله و همکاران، ۱۳۹۳).

### آهک و پودر ضایعات سنگی

در این پژوهش از لجن ضایعات بدست آمده از برش سنگ در کارخانه جات سنگبری حاصل از سنگ مرمر که واقع در شهرستان بروجرد است به منظور آزمون‌های آزمایشگاهی اولیه استفاده شده است (روح بخشان و کلاتری، ۱۳۹۵).

## الیاف و اپوکسی رزین

یکی از مصالح مصرفی مورد استفاده در این تحقیق الیاف شیشه بریده شده به طول ۱۲ میلی‌متر و ساخت شرکتی از کشور چین است که مطابق شکل ۳ دارای ظاهری سفید و رشته رشته می‌باشد. این الیاف از نوع شیشه کلسیم-آلومینا است که به دلیل داشتن قیمت مناسب برای مصرف عمومی بوده و متداول‌ترین نوع الیاف شیشه است که در صنعت بکار می‌رود و از مزایای آن می‌توان به استحکام کششی خوب و عایق مطلوب الکتریسیته اشاره کرد.



شکل ۳. نمونه‌ای از الیاف شیشه مصرف شده

(محمدی و توفیق، ۱۳۹۵)

یکی دیگر از مصالح مصرفی مورد استفاده در این تحقیقی الیاف کربن بریده شده با طول ۱۲ میلی‌متر و ساخت شرکت آمریکایی است که جزو الیاف با مدول متوسط است که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمونه‌ای از الیاف کربن مصرف شده

(محمدی و توفیق، ۱۳۹۵)

رزین استفاده شده در این تحقیق بر پایه اپوکسی بیسفنول و هاردنر بتن پلیمری آمینی تولید می‌شود. در ساختار این رزین اپوکسی از نوع رقیق کننده واکنش‌گرا استفاده گردیده است که علاوه بر افزایش خصوصیات عایق الکتریکی محصول، باعث ارتقای خصوصیات مکانیکی و ضربه پذیری آن نیز می‌گردد. این محصول شوک حرارتی را نیز تحمل می‌کند و در آن ترک و شکستگی به وجود نمی‌آید. این محصول بدلیل داشتن مقاومت شیمیایی خوب در محیط‌های شیمیایی نیز کاربرد دارد (محمدی و توفیق، ۱۳۹۵).

## سیمان و الیاف نخل خرما

الیاف نخل دارای طول‌های مختلف و همچنین قطرهای متفاوت هستند که در این تحقیق از نخلستان بوشهر جمع‌آوری شده است و شکل ۵ بافت آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمونه‌ای از الیاف نخل مصرف شده

(کاووسی و صائبی، ۱۳۹۵)

الیاف نخل در حالتی که تازه بریده شده‌اند انعطاف پذیرند. اما بعد از رها شدن طی چند روز مقداری از رطوبت خود را از دست داده و از انعطاف پذیری آنها کم می‌شود و هرچه ضخامت کمتر باشد منعطف‌تر هستند (کاووسی و صائبی، ۱۳۹۵).

## سیمان و خاکستر پوسته برنج و مسلح شده توسط الیاف پلی‌پروپیلن

برخی از خواص الیاف پلی‌پروپیلن مورد مطالعه که توسط سازنده ارائه شده بدین صورت است: رنگ سفید، مقطع دایره‌ای، قطر ۳۴ میکرومتر، مدول یانگ ۳۵۰۰ مگاپاسکال، وزن مخصوص ۹۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب. همچنین، مهمترین ویژگی خاکستر پوسته برنج که واکنش‌های پوزولانی را کنترل می‌کند وجود محتوای سیلیکای آمورف می‌باشد. خاکستر پوسته برنج به دلیل خاصیت پوزولانی بسیار فعال برای تشکیل ژل سیلیکات کلسیم مناسب است که در حقیقت محصول واکنش آن با سیمان است. در واقع زمانی که خاکستر پوسته برنج و سیمان در حضور آب مخلوط می‌شوند pH محیط افزایش یافته و سیلیکای فعال موجود در خاکستر پوسته برنج با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و ژل هیدرات سیلیکات کلسیم تولید می‌شود. پوسته برنج مورد استفاده در این مطالعه از شهر رشت تهیه شده است. ابتدا به طور طبیعی تحت گرمای خورشید برای سه روز خشک شد. سپس سوزانده شد تا به خاکستر تبدیل شود. خاکستر سوزانده شده برای دو ساعت در کوره در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد برای کربن‌زدایی و افزایش خاصیت پوزولانی قرار گرفت (قربانی و سلیم زاده شوئیلی، ۱۳۹۷).

## سرباره فولاد مخلوط با خاکستر

امروزه در جهان، سرباره‌ها به عنوان سنگدانه در عملیات خاکریزی روسازی و در لایه‌های اساس و زیراساس به کار گرفته می‌شوند. بررسی ادبیات فنی حاکی از عملکرد مناسب سرباره در این نوع پروژه‌های مختلف است. با توجه به وجود کارخانه‌های فولادسازی در کشور و مشکل انباشت سرباره، معرفی آنها جهت استفاده در صنعت ساخت و ساز کشور از طریق بررسی خصوصیت‌های مهندسی آنها در کوتاه مدت و به خصوص، بلند مدت از اهمیت به سزایی برخوردار است. در این تحقیق با بررسی دقیق مطالعات انجام شده قبلی، با انجام دادن آزمایش‌های آزمایشگاهی، امکان جایگزینی سرباره فولادی نوع قوس الکتریک، با مصالح طبیعی به عنوان زیراساس بررسی می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷).

## نوارهای زائد پلیاستیک PET

در تحقیق حاضر از نوارهای زائد پلیاستیک PET انعطاف پذیر استفاده شده است. زائدات پلیاستیک از بطری‌های آب معدنی تهیه گردیده و به ابعاد ۱۸۱ و ۲۸۲ سانتی متر بریده شده است (دهقان و دبیری، ۱۴۰۰).

## ژئوپلیمر با پایه پودر شیشه

پودر شیشه بازیافتی از جمع‌آوری شیشه‌های بازیافتی از سطح شهر و خرد و پودر کردن آنها در آزمایشگاه و الک کردن بدست آمد. مواد مایع استفاده شده برای ساخت ژئوپلیمرها را فعال کننده گویند. در این تحقیق برای ساخت فعال کننده از هیدروکسید سدیم خریداری شده، با درجه خلوص ۹۸٪ استفاده شده است. هیدروکسید سدیم یکی از متداول‌ترین موادی است که به عنوان فعال کننده قلیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (محمدزاده و توفیق، ۱۳۹۵).

## سیمان و غبار کوره سیمان

غبار کوره استفاده شده از فیلترهای دودکش کارخانه سیمان شاهرود تهیه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ترکیبات قلیایی در غبار کوره سیمان بیشتر از سیمان است (قوامی جمال و همکاران، ۱۳۹۹).

## ضایعات پلیاستیکی یکبار مصرف

از ضایعات پلیاستیکی پلی‌اتیلن که از ضایعات بطری‌های نگهداری مایعات تهیه می‌شود به عنوان المان مسلح کننده استفاده شده است، ماهیت سه بعدی این ضایعات امکان ایجاد شرایط محدود شدگی مناسب در خاک‌های سست و ماسه ریزدانه را فراهم می‌نماید. یکی از پرمصرف‌ترین پلیاستیک‌ها پلی‌اتیلن است. این پلیمرها از فراوان‌ترین محصولات نفتی به شمار می‌آیند که در ساخت بطری‌های نگهداری آب و دیگر مایعات به کار برده می‌شوند (هوشیار و رستمی، ۱۳۹۷).

## ۴- نتایج آزمایش

### المان تسلیح پت

در حالت غیر اشباع با افزودن ورقه‌ها به خاک تاثیر قابل ملاحظه‌ای در مقدار CBR مشاهده می‌شود و تا ۵۵ درصد آن را افزایش می‌دهد، یعنی در یک نفوذ مشخص میزان فشار وارده بیشتر شده است. همانند نمودار تراکم که در آن یک رطوبت بهینه وجود دارد در اینجا هم یک عمق بهینه برای تاثیرگذاری داریم. در خاک‌های اشباع نیز وضعیت همانند حالت غیر اشباع می‌باشد با این تفاوت که عمق بهینه بالاتر آمده است، یعنی برای رسیدن به حداکثر بازدهی ورقه‌ها، در حالت اشباع از آنها در تراز بالاتری نسبت به حالت غیر اشباع استفاده نمود (پورنوری و همکاران، ۱۳۹۲).

### الیاف تسلیح

با افزودن سیمان به خاک، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش می‌یابد و این امر مخصوصاً در الیاف کوچک قابل مشاهده است. با افزایش درصد وزنی الیاف در یک نسبت ابعاد و درصد سیمان ثابت تا یک حد معین، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش می‌یابد و این افزایش با میزان عناصر تسلیح رابطه مستقیم دارد. با افزایش درصد وزنی الیاف از مقدار بهینه با کاهش مقاومت روبه‌رو هستیم. در یک درصد وزنی ثابت از سیمان و الیاف، با افزایش نسبت ابعاد، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. علت این کاهش مقاومت در برابر افزایش طول را می‌توان در تغییر شکل نسبتاً زیاد الیاف بر اثر ازدیاد طول آن و در نتیجه کوتاه شدن طول موثر الیاف دانست (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

### خرده پلی اتیلن ترفتالات

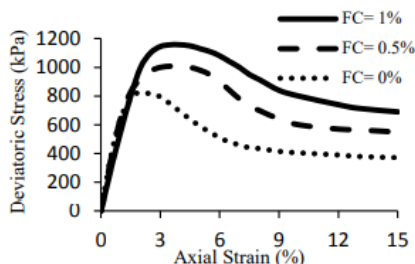
آن تحت تنش‌های بالاتر بدون ایجاد ترک است. عملاً حضور خرده‌های لاستیک، انعطاف پذیری نمونه‌ها را افزایش داده است (سلطانی، ۱۳۹۸).

### خرده لاستیک صنعتی

نمونه‌های مینا و مسلح شده در حالت زهکشی شده تحت تنش برشی پایین‌تری به گسیختگی می‌رسند و با بالا رفتن تنش قائم اولیه، اختلاف میان پوش گسیختگی مصالح در حالت‌های مذکور بیشتر شده است. عموماً با افزایش درصد خرده لاستیک به نمونه‌ها، میزان شکل پذیری آنها افزایش می‌یابد و شکست آنها از حالت ترد به حالت نرم تغییر یافته است. چنان که مشاهده می‌شود، در یک تنش همه جانبه ثابت با افزایش میزان خرده لاستیک، شکل‌پذیری مخلوط افزایش یافته است که برای اندازه‌های درشت‌تر خرده لاستیک قدری محسوس‌تر است. به عبارت دیگر افزایش میزان خرده لاستیک موجب افزایش نقش لاستیک در جذب انرژی کرنشی شده و هرچه اندازه ذرات لاستیک در نمونه بزرگتر باشد، فضای بیشتری در داخل نمونه اشغال کرده است، که این امر موجب آن می‌شود که رفتار نمونه مورد آزمایش تحت تاثیر بیشتری از لاستیک قرارگیرد (تاج دینی و همکاران، ۱۳۹۶).

### الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی

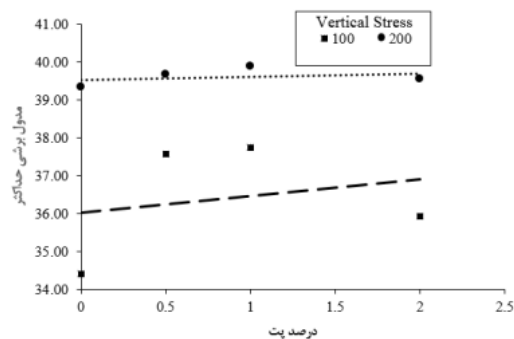
با توجه به شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت که وجود الیاف باعث افزایش مقاومت بیشینه نمونه‌ها می‌شود. افزایش درصد الیاف موجب افزایش قابل ملاحظه در مقاومت پسماند و کرنش گسیختگی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد می‌شود. سختی اولیه نمونه‌های مسلح چندان تحت تاثیر عمل تسلیح نیست و شیب اولیه نمودار برای نمونه مسلح و غیر مسلح یکسان است (رنجبر مالی دره و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۷. منحنی تنش کرنش مسلح با الیاف گونی

(رنجبر مالی دره و همکاران، ۱۳۹۶)

در مقایسه بین لوپ‌های دو نمونه با شرایط مشابه که یکی از نمونه‌ها خاک بهسازی نشده و دیگری خاک بهسازی شده با پت ۱٪ می‌باشد، مشاهده می‌شود عملیات بهسازی با پت بر حلقه‌های هیستریزس تاثیرگذار است. هرچند این تاثیر خیلی ملموس نبوده ولی به طور کلی نشان دهنده افزایش جزئی شیب و کاهش سطح مقطع بوده که نشان دهنده تاثیر بهسازی بر نسبت میرایی و مدول برشی مقادیر باید مدنظر قرار گیرد. نسبت میرایی رابطه مستقیمی با میزان اتلاف انرژی در بارگذاری دینامیکی دارد. هر مقدار حرکت ذرات خاک و لغزیدن آنها بر روی یکدیگر بیشتر باشد باعث افزایش میزان اصطکاک و بدنبال آن افزایش میرایی نمونه‌ها می‌شود. همچنین بررسی اثر بهسازی بر مقدار مدول برشی همانطور که در شکل ۶ نمایش داده شده، حضور خرده پت در خاک باعث افزایش مقدار مدول برشی حداکثر می‌گردد، اما با افزایش میزان پت این مقدار کمتر می‌گردد و نیز افزایش سربار اثر این افزودنی بر مقدار مدول برشی را کم‌رنگ‌تر می‌کند (توفیق تبریزی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۶. نمودار تغییر مدول برشی بر حسب درصد پت

(توفیق تبریزی و همکاران، ۱۴۰۰)

### ژئولیت و خرده لاستیک فرسوده

ژئولیت کرنش پذیری نمونه‌ها را بخصوص در تنش‌های بسیار بالا از مقاومت نمونه های بدون ژئولیت، افزایش می‌دهد بطوریکه با اضافه شده ژئولیت به ترکیب تثبیت در غیاب گرانول باعث افزایش کرنش متناظر با گسیختگی به میزان ۳۰٪ شده است. با اضافه شدن گرانول از ۲/۵ تا ۱۰ درصد مقاومت تک محوری نمونه‌ها تا حداکثر ۱۰ الی ۱۲ درصد افزایش یافته است. میزان گرانول لاستیکی را ۷/۵٪ در نظر می‌گیریم زیرا در اغلب نمونه‌ها بهینه است. علت افزایش مقاومت تثبیت با اضافه شدن گرانول لاستیکی، خارج شدن از ترد شکنی، تغییر شکل پذیری

### نخاله ساختمانی

جدول ۳. میزان افت مصالح درشت دانه در آزمایش ذوب و یخ

(بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹)

ملات ماسه سیمان		آجر		نمره الک
PT	P1	PT	P1	-
۱۲/۳	۶۱/۷	۲/۸	۱۲/۵	۹/۴-۵/۷۵
۸/۱	۴۰/۹	۳/۱	۱۴/۷	۴/۳-۷۵/۳۶
۱۱/۵	۵۶/۴	۱/۶	۸/۸	۲/۱-۳۶/۱۸
۲/۲	۱۱/۲	۱/۸	۹/۵	۱/۰-۱۸/۶
۱/۲	۵/۸	۳/۳	۱۷/۱	۰/۰-۶/۳
۳۵/۳	-	۱۲/۶	-	جمع کل

### نخاله ساختمانی

بیشترین مقاومت تک محوری زمانی پدید می‌آید که نمونه ساخته شده با درصد بهینه ۳ درصد آهک و ۵ درصد پوزولان تهیه شده باشد. هرچه میزان مصرف آهک افزایش یابد ظرفیت باربری کالیفرنیا مصالح متناسب با آن افزایش می‌یابد. خاک تثبیت شده با آهک دارای وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتری از خاک تثبیت نشده است و هر اندازه میزان آهک مصرفی برای تثبیت خاک بیشتر باشد این اختلاف نیز بیشتر خواهد بود (عرفانیان نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

### آهک و خاکستر پوسته برنج

آزمایش تراکم اصلاح شده مطابق موارد مطروحه در استاندارد بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد. نتایج تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت با افزایش درصد آهک-خاکستر پوسته برنج در زمان‌های عمل‌آوری مختلف و نسبت اختلاط مختلف نشان می‌دهند. با اضافه کردن مخلوط آهک-خاکستر پوسته برنج، کاهش در وزن مخصوص خشک حداکثر نمونه‌ها نسبت به خاک اصلی اتفاق می‌افتد و هر اندازه میزان آهک-خاکستر پوسته برنج مصرفی برای تثبیت خاک بیشتر باشد، مقدار این کاهش نیز بیشتر خواهد بود، علت این اتفاق می‌تواند به دلیل پایین بودن وزن مخصوص و آهک نسبت به خاک و گیرش اولیه مخلوط در اثر اضافه کردن مواد افزودنی و عدم تراکم مناسب آن باشد. همین‌طور با افزایش زمان عمل‌آوری نمونه‌ها، حداکثر وزن مخصوص خشک مصالح کمتر خواهد شد، زیرا با گذشت زمان در اثر واکنش‌های پوزولانی بین آهک-خاکستر پوسته برنج و خاک، مواد سیمانی شده بیشتری در خاک تثبیت شده تشکیل می‌گردد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد

همانگونه که در جدول ۱ مشخص است آجر بدلیل داشتن درصد جذب آب زیاد و وزن مخصوص نسبی کم، از مصالح با کیفیت نامناسب تلقی می‌شود، این موضوع در مورد ملات ماسه سیمان با وزن مخصوص کم نیز صادق است.

جدول ۱. وزن مخصوص اشباع و درصد جذب آب مصالح بازیافتی

(بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹)

W%	ssdg	
۲۲/۷	۱/۵۱	آجر گری
۲۲/۱	۱/۶۱	آجر فشاری
۸/۰۵	۲/۱۹	بتن خرد شده
۹/۳۱	۱/۹۵	ملات ماسه سیمان

عوامل شیمیایی و شرایط نامساعد جوی چون یخ بندان، اثرات جبران ناپذیری بر ساختار راه بر جای می‌گذارند. آزمایش دوام که کوششی است برای شناخت بیشتر مصالح، بر روی مصالح دانه‌ای بصورت تفکیک شده که در معرض ۵ سیکل متوالی اشباع کردن در محلول سولفات سدیم به مدت ۱۸ ساعت سپس خشک کردن مصالح در گرم‌خانه قرار می‌گیرند، انجام می‌پذیرد. در انتهای ۵ سیکل، افت وزنی به صورت مجزا برای مصالح ریزدانه و درشت دانه طبق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. میزان افت مصالح ریزدانه در آزمایش ذوب و یخ

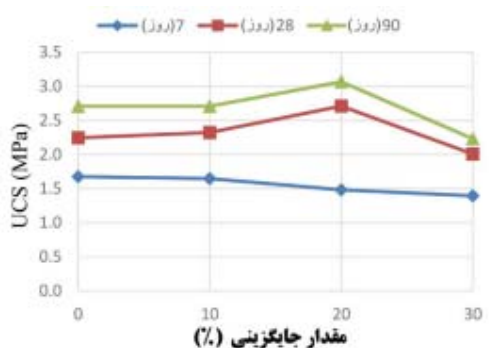
(بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹)

ملات ماسه سیمان		آجر		نمره الک
PT	P1	PT	P1	-
۳۸/۸	۹۱/۷	۶/۳	۱۳/۹	۹/۴-۵/۷۵
۱۱/۱	۴۸	۱/۸	۸/۲	۴/۳-۷۵/۳۶
۸/۲	۶۹/۴	۰/۵	۳/۸	۲/۱-۳۶/۱۸
۷/۹	۳۴/۷	۲/۴	۱۰/۷	۱/۰-۱۸/۶
۶۶/۱	-	۱۱/۱	-	جمع کل

به منظور بررسی مقاومت مصالح در برابر یخ‌زدگی و تاثیر عوامل جوی بر روی مصالح، مصالح ریزدانه و درشت‌دانه، بطور مجزا به تعداد ده سیکل در معرض یخ‌زدگی و ذوب متوالی قرار گرفتند. نتایج افت مصالح طبق جدول ۳ ارائه شده است (بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹).

### ژئوپلیمر بر پایه پوزولان طبیعی و پودر شیشه

با مقایسه بیشترین مقاومت‌ها، نقش مقدار پوزولان را می‌توان مشاهده کرد، کم بودن پوزولان در A23 مانع ادامه واکنش‌ها و تشکیل ژل آلومینوسیلیکاتی می‌شود. افزایش مقدار پوزولان در A33 و A43، موجب افزایش یون‌های سیلیکا و آلومینا و در نتیجه تشکیل زنجیره‌های طولانی‌تر پلیمری و توسعه مقاومت فشاری در ترکیبات شده است. شکل ۹، تأثیر پودر شیشه بر مقاومت فشاری نمونه را نشان می‌دهد. مطابق مقادیر به دست آمده، مشاهده می‌شود که جایگزینی ۱۰٪ پوزولان با پودر شیشه تقریباً تأثیری بر مقاومت فشاری نمونه نداشته است (صباغ گل و توفیق، ۱۳۹۸).

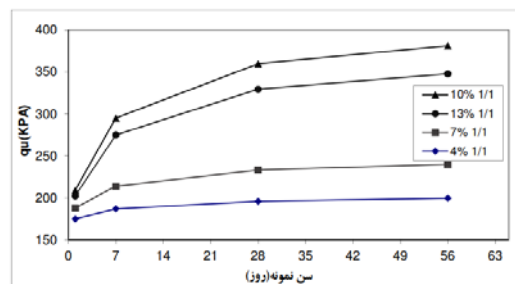


شکل ۹. نمودار تأثیر جایگزینی پوزولان با پودر شیشه بر مقاومت فشاری (صباغ گل و توفیق، ۱۳۹۸)

آهک-خاکستر پوسته برنج رطوبت بهینه نمونه‌ها روند افزایشی دارد که علت آن می‌تواند به خاطر واکنش پوزولانی باشد که احتیاج به آب اضافه دارد (حسن زاده میرکوهی و همکاران، ۱۳۹۵).

### آهک و خاکستر پوسته برنج

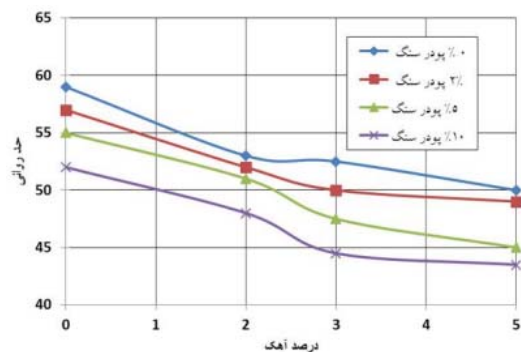
با اضافه کردن مخلوط آهک - خاکستر پوسته برنج به خاک، مقاومت فشاری تک محوری تمامی نمونه‌ها نسبت به خاک خالص افزایش پیدا کرده است. شکل ۸ نشان دهنده افزایش مقاومت تک محوری به گذشت زمان عمل‌آوری است. شیب در ۷ روز اول اتفاق می‌افتد و پس از آن  $qu$  با میزان نرخ کمتری افزایش پیدا می‌کند (عزیزی میرمحل و همکاران، ۱۳۹۳).



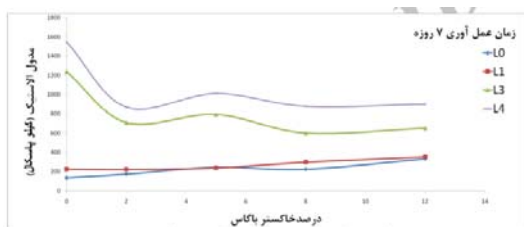
شکل ۸. نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه به سن نمونه (عزیزی میرمحل و همکاران، ۱۳۹۳)

### آهک و پودر ضایعات سنگی

نتایج آزمایش تراکم برای نمونه‌های ترکیب شده با آهک و پودر ضایعات سنگی منجر به تغییراتی در رطوبت بهینه و مقدار چگالی خشک بیشینه می‌شود و با افزودن مقدار آهک و پودر ضایعات سنگی، رطوبت بهینه افزایش می‌یابد. همچنین، چگالی خشک بیشینه با افزودن آهک و نیز افزودن مقدار پودر ضایعات سنگی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. هنگامی که آهک به خاک افزوده می‌شود، واکنش آبی تبادل کاتیونی رخ می‌دهد و ذرات خاک رس با یکدیگر لخته می‌شوند. این فرایند منجر به تشکیل حفره‌های هوا در میان ذرات شده و سبب ایجاد یک محیط متخلخل با کمترین وزن واحد حجم خشک بیشینه می‌شود. علاوه بر این، آب بیشتری نیز برای پر کردن حفرات لازم است؛ به صورتی که رطوبت بهینه افزایش می‌یابد (روح بخشان و کلاتری، ۱۳۹۵).



شکل ۱۰. نمودار تأثیر مقدار آهک به ازای درصد مختلف پودر سنگ بر حد روانی (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹)



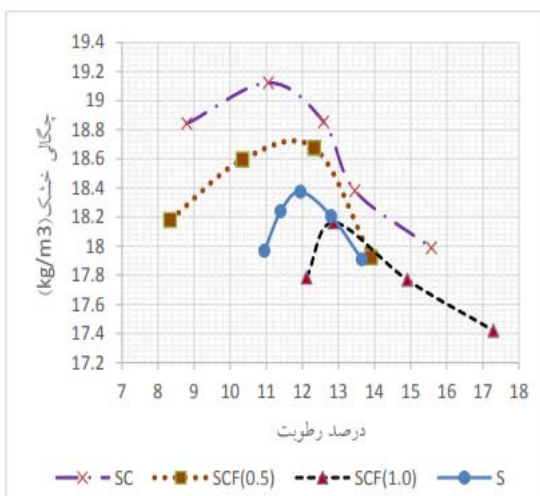
شکل ۱۳. تاثیر مقدار آهک و خاکستر باگاس بر مدول الاستیسیته (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷)

### الیاف و اپوکسی رزین

مقاومت فشاری تک محوری در نمونه‌های دارای درصد مختلف رزین در سنین مختلف نشان می‌دهد هرچه سن نمونه‌ها بالاتر رفته مقاومت فشاری آنها نیز بیشتر شده است. مقاومت کششی تک محوری در نمونه‌های دارای درصد مختلف رزین در سنین مختلف نشان می‌دهد هرچه سن نمونه‌ها بالاتر رفته مقاومت کششی آنها نیز بیشتر شده است که دلیل آن گیرش زود هنگام اپوکسی رزین است (محمدی و توفیق، ۱۳۹۵).

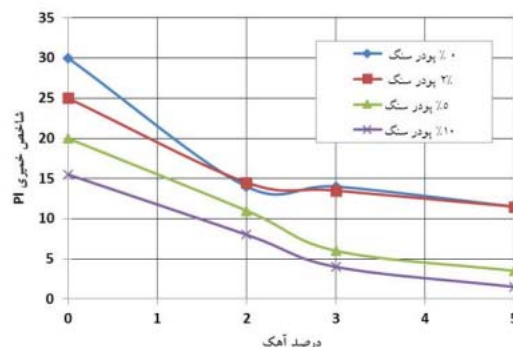
### سیمان و الیاف نخل خرما

در شکل ۱۴ نتایج آزمایش تراکم روی نمونه‌های با درصد متفاوت الیاف را مشاهده می‌کنیم. با افزودن الیاف به خاک، چگالی خشک حداکثر کاهش یافته و مقدار رطوبت بهینه افزایش می‌یابد (کاوسی و صائبی، ۱۳۹۵).



شکل ۱۴. متحنی تراکم نمونه خاک و سیمان حاوی درصد متفاوت الیاف (کاوسی و صائبی، ۱۳۹۵)

همچنین در شکل ۱۱ تأثیر سطوح مختلف آهک و پودر سنگ بر شاخص خمیری نمونه‌ها ارائه شده است. بر اساس این نمودار ملاحظه می‌شود که هر چه مقادیر آهک و پودر سنگ در نمونه‌ها افزایش یافته، شاخص خمیری نیز کاهش یافته است.

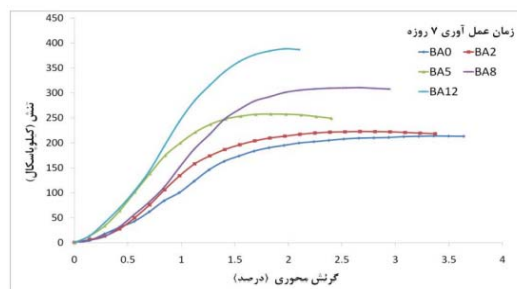


شکل ۱۱. نمودار تاثیر مقدار آهک به ازای درصد مختلف پودر سنگ بر شاخص خمیری (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹)

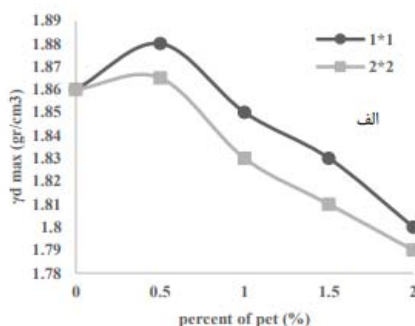
مصالح پودر سنگ و الیاف پلی‌پیلن به تنهایی تأثیری در مقاومت فشاری نداشته و یا حتی موجب کاهش آن می‌شود. ولی افزودن آهک به دلیل خاصیت چسبانندگی به تنهایی موجب افزایش مقاومت فشاری می‌شود، کاربرد توأمان این مصالح تأثیر مضاعفی بر مقاومت فشاری دارند. به طوری که مخلوط آهک و پودر سنگ موجب تثبیت و الیاف پلی پروپیلن نیز موجب تسلیح مخلوط و در مجموع افزایش مشخصات فنی و مقاومت فشاری خاک می‌شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹).

### خاکستر باگاس نیشکر و آهک

با توجه به شکل ۱۲ در خاک رسی تثبیت شده با خاکستر باگاس با افزایش درصد خاکستر باگاس مقدار مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲. نمودار تنش کرنش بر اساس درصد متفاوت خاکستر باگاس (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷)



شکل ۱۷. نتایج حاصل از آزمایش تراکم تغییرات وزن

#### مخصوص خشک حداکثر

#### ژئوپلیمر با پایه پودر شیشه

از ابتدای نمونه با افزودن پودر شیشه باعث افزایش مقادیر CBR شده تا به مقدار بهینه رسیده و از آن پس افزودن پودر شیشه تاثیر عکس می‌گذارد (محمدزاده و توفیق، ۱۳۹۵).

#### سیمان و غبار کوره سیمان

غبار کوره سیمان همچنین توانسته به صورت معناداری حد خمیری خاک را افزایش دهد اما این اثر کمتر از تاثیر سیمان است. همانطور که آنالیز آماری نتایج شاخص پلاستیسیته نشان داده افزودن غبار کوره سیمان شاخص پلاستیسیته را افزایش داده ولی با افزایش درصد این تثبیت کننده مقدار شاخص پلاستیسیته کاهش یافته است. افزودن سیمان و غبار کوره سیمان منجر به افزایش درصد رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر می‌شود. مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزودن سیمان و غبار کوره سیمان افزایش یافته است و مقدار این افزایش در نمونه‌های حاوی سیمان بسیار بیشتر از نمونه‌های حاوی غبار کوره سیمان است (قوامی جمال و همکاران، ۱۳۹۹).

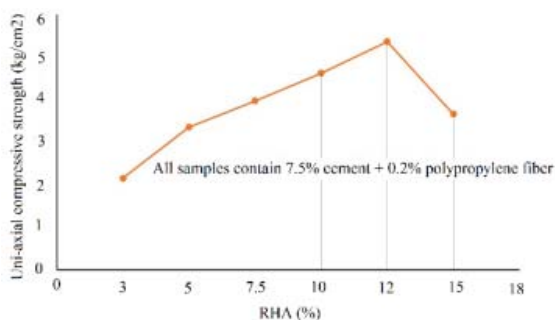
#### ضایعات پلاستیکی یکبار مصرف

در حالت تسلیح به صورت منظم طبق مشاهدات با افزایش درصد قطعات پلاستیکی مقدار تنش قابل تحمل توسط نمونه، افزایش می‌یابد. تنش حاصله با افزایش درصد قطعات تا میزان ۲/۵ درصد به حداکثر میزان خود رسیده، سپس با افزایش بیشتر درصد قطعات، مقاومت خاک مسلح شده کاهش می‌یابد که به دلیل قفل و بست کمتر قطعات پلاستیکی و خاک، در درصد‌های بالاتر می‌باشد. در حالت تسلیح به صورت نامنظم مشاهده می‌شود که با افزایش درصد قطعات پلاستیکی مقدار تنش قابل تحمل توسط نمونه، افزایش می‌یابد. تنش حاصله با افزایش درصد قطعات تا میزان ۲ درصد به حداکثر میزان خود رسیده، سپس با افزایش بیشتر درصد قطعات، مقاومت خاک مسلح شده کاهش می‌یابد (هوشیار و رستمی، ۱۳۹۷).

#### سیمان و خاکستر پوسته برنج و مسلح شده توسط الیاف

#### پلی پروپیلن

در شکل ۱۵ تاثیر درصد بهینه خاکستر پوسته برنج بر مقاومت فشاری تک محوری نشان داده شده است (قربانی و سلیم‌زاده شوئیلی، ۱۳۹۷).

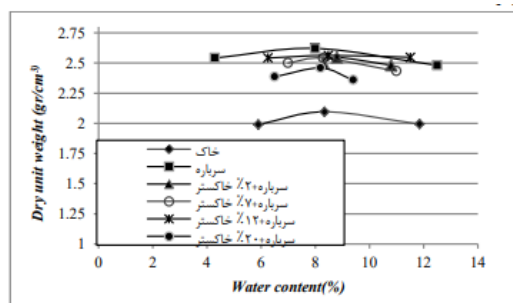


شکل ۱۵. تاثیر درصد خاکستر پوسته برنج بر مقاومت فشاری تک

محوری (قربانی و سلیم‌زاده شوئیلی، ۱۳۹۷)

#### سرباره فولاد مخلوط با خاکستر

بر اساس نتایج به دست آمده از شکل ۱۶، بیشترین میزان دانسیته خشک حداکثر مربوط به سرباره است. بررسی نمودار نشان می‌دهد که مقادیر دانسیته خشک حداکثر سرباره خالص و نیز ترکیب شده با درصد‌های مختلف خاکستر نسبت به خاک طبیعی بیشتر می‌باشد. شایان ذکر است به طور کلی افزایش درصد خاکستر به سرباره سبب کاهش مقادیر دانسیته خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه می‌شود. نتایج حاکی از آن است که ترکیب سرباره با مقادیر مورد نظر خاکستر بادی، تأثیر چندانی در رطوبت بهینه نمونه‌های آزمایشی ندارد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱۶. دانسیته خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه

برای مصالح مختلف (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷)

#### نوارهای زائد پلاستیک PET

نتایج حاصل از تراکم در شکل ۱۷ قابل مشاهده است.

جدول ۴. مروری بر مقالات بررسی شده

ش	نام نویسنده و سال	پارامترهای مورد مطالعه	روش انجام پژوهش	نتیجه گیری
۱	محمد مهدی زنجانی ۱۳۸۸	آزمایش وزن مخصوص و درصد جذب آب، حدود اتربرگ	تجربی	نتایج آزمایش‌ها بیانگر قابل استفاده بودن این مصالح در زیر اساس و در راه‌های درجه دو هستند. به منظور افزایش کیفیت این مصالح، دو روش مورد استفاده قرار گرفته است. در روش اول با جایگزینی مصالح با مصالح مرغوب افزایش CBR و در روش دوم با افزودن سیمان با درصد‌های مختلف مصالح بازیافتی، مقاومت فشاری این مواد بررسی شده است. آزمایش‌های تکمیلی بیانگر افزایش کیفیت و قابل استفاده بودن این مصالح در لایه‌های راهسازی است.
۲	پیمان نوری ۱۳۹۲	CBR	تجربی	افزودن ورقه‌ها به خاک باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار CBR خاک شده و CBR خاک‌های غیراشباع را تا حدود ۵۵٪ و CBR خاک‌های اشباع تا ۱۱۲٪ افزایش می‌یابد. با توجه به منحنی دانه بندی و همچنین نتایج بدست آمده به روشنی قطر بهینه سوراخ‌ها مشخص می‌شود. افزایش یا کاهش عمق قرارگیری ورقه‌ها از روند خاصی در نتایج CBR پیروی می‌کند، که نشان می‌دهد در عمق خاصی ورقه‌ها بیشترین تاثیرگذاری را دارند. این عمق بهینه می‌باشد که نتایج نشان می‌دهد که در حالت اشباع عمق بهینه در تراز بالاتری نسبت به حالت غیر اشباع می‌باشد.
۳	محمدعلی محمدزاده و همکاران ۱۳۹۲	آزمایش تک محوری	تجربی	اضافه نمودن سیمان به خاک باعث افزایش مقاومت می‌گردد. اضافه نمودن الیاف به خاک باعث افزایش مقاومت، کاهش سختی و بهبود شکل پذیری آن می‌گردد.
۴	محمد سجاد سلطانی ۱۳۹۲	آزمایش تک محوری	تجربی	نتایج نشان می‌دهد که نه تنها با جایگزینی گرانول لاستیکی و زئولیت مقاومت کاهش نمی‌یابد بلکه می‌تواند باعث افزایش مقاومت نهایی به میزان حداکثر تا ۱۰۰٪ و همچنین کرنش پذیری نمونه‌ها تا حداکثر ۵۸٪ شود. نتایج نشان می‌دهد که خرده لاستیک باعث بهبود عملکرد تثبیت در حضور زئولیت می‌شود. تصویر برداری الکترونی از نمونه‌ها پیوستگی و یکپارچگی تثبیت در اثر افزودنی زئولیت و خرده لاستیک را نشان داد. بهترین ترکیب اختلاط در تحقیق حاضر ۷۰٪ خرده لاستیک بصورت گرانول و ۳۰٪ زئولیت جایگزین سیمان مشاهده می‌شود.
۵	رضا عرفانیان نیا ۱۳۹۲	آزمایش تک محوری، CBR، تراکم	تجربی	هرچه میزان آهک مصرفی بیشتر گردد متناسب با آن مقاومت فشاری تک محوری نمونه افزایش می‌یابد. تقریباً به ازای هر ۱٪ آهک مصرفی مقاومت تک محوری به میزان ۱۰۰ کیلو پاسکال افزایش می‌یابد. تاثیر پوزولان در مقاومت تک محوری نمونه‌های ساخته شده با ۱٫۵٪ و ۳٪ آهک بسیار اندک می‌باشد. حداکثر مقاومت فشاری تک محوری هنگامی پدید می‌آید که نمونه با ۳٪ آهک و ۵٪ پوزولان تهیه شده باشد. با افزایش درصد آهک مصرفی همواره مقدار CBR نمونه افزایش می‌یابد. با افزودن ۱٫۵٪ و ۵٪ پوزولان به نمونه‌های که از آهک تهیه شده‌اند، CBR آنها را می‌توان افزایش داد.
۶	حسین عزیزی میرمحله، مهدی سیاوش	آزمایش تک محوری، آنالیز XRF	تجربی	تاثیر فوق العاده افزودن خاکستر پوسته برنج بر مقاومت تک محوری خاک رس با خمیری بالا را نشان می‌دهد. مقاومت تک محوری با افزایش مقدار افزودنی تا ۱۰٪ وزنی بهبود یافته ولی با افزایش این مقدار به ۱۳٪ کاهش می‌یابد. در تمامی نمونه‌ها بهترین زمان عمل‌آوری برابر با ۵۶ روز تعیین شد. افزودن ۱۰٪ از مخلوط آهک و خاکستر پوسته برنج با نسبت ۲ به ۳ باعث افزایش تنش برشی به میزان ۱۵۰٪، یعنی بیش از دو برابر تنش برشی نمونه شاهد، می‌شود. این افزایش در

<p>نمونه با نسبت آهک به خاکستر ۱ به ۱ مقدار کمتری است. بیشترین رشد مقاومت در ۷ روز اول عمل آوری مشاهده می‌شود و در زمان‌های بیشتر تغییر زیادی مشاهده نمی‌شود.</p>			<p>نیا، محمد فرید آستانه ۱۳۹۳</p>	
<p>نتایج آزمایش‌های تجربی در این تحقیق، تاثیرهای مفیدی را با افزودن آهک و پودر ضایعات سنگی به خاک رس نشان داد. با توجه به این مسئله، مشخصات ژئوتکنیکی خاک رس ترکیب شده با آهک و پودر ضایعات سنگی منجر به نتایج زیر شده است. افزودن آهک و پودر ضایعات سنگی به خاک منجر به افزایش حد خمیری، کاهش حد روانی و کاهش دامنه خمیری می‌شود. ترکیب خاک با آهک و پودر ضایعات سنگی سبب تغییر در مقدار رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک بیشینه نمونه‌ها می‌شود.</p>	تجربی	<p>آزمایش حدود اتربرگ، آزمایش دانه بندی، آزمایش تراکم استاندارد</p>	<p>آرمین روح بخشان، بهزاد کلانتری ۱۳۹۳</p>	۷
<p>هدف این تحقیق بررسی پارامترهای مقاومتی خاک ماسه ای تثبیت شده با الیاف و اپوکسی رزین با استفاده از دستگاه آزمایش فشاری تک محوری بود. از این آزمایش، پارامترهایی از قبیل مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی، کاربرد الیاف کربن و الیاف شیشه قابل نتیجه‌گیری است. آزمایش‌ها در سه درصد مختلف رزین، در سه سن متفاوت و با درصد بهینه ای از الیاف شیشه و الیاف کربن انجام شده است که پس از بررسی نتایج و مقایسه آنها با یکدیگر، نتایج زیر حاصل شد: از آنجا که سرعت گیرش اپوکسی رزین بالاست، نمونه‌های تثبیت شده با رزین در سن یکسان، مقاومت بالاتری نسبت به سیمان و آهک دارند. یعنی زمان گیرش نمونه تثبیت شده با اپوکسی رزین نسبت به سیمان یا آهک بسیار کمتر است. در نتیجه، در شرایطی که در پروژه، زمان عامل مهمی باشد، نسبت به دیگر انواع تثبیت کننده، بسیار مفید خواهد بود.</p>	تجربی	<p>آزمایش تک محوری محصور نشده</p>	<p>مسعود محمدی ۱۳۹۴</p>	۸
<p>با استفاده از الیاف درخت خرما و سیمان به منظور تقویت و تثبیت خاک معدن سرسور جزیره قشم، آزمایش‌های مقاومتی شامل CBR و UCS روی نمونه‌های حاوی درصد‌های متفاوتی از این دو ماده انجام گرفت که خلاصه نتایج تحقیق به شرح زیر است: شناسایی خاک مورد مطالعه مبین آن بود که از نوع توماشل دارای منشأ رسوبات آهکی، در طبقه A-1-b آشتو، عاری از کانی‌های رسی و دارای نمک‌های سولفات قابل حل ناچیز می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، سیمان به عنوان اصلی‌ترین ماده تثبیت کننده خاک مورد مطالعه تشخیص داده مقاومت نمونه‌ها شد و مقاومت فشاری محصور نشده تمامی نمونه‌های تثبیت شده، ارتقا یافته و نمونه‌های بهینه تا ۵۰٪ افزایش مقاومت از خود نشان دادند.</p>	تجربی	<p>آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم، CBR، مقاومت فشاری محصور نشده</p>	<p>امیر کاوسی، جواد صائبی ۱۳۹۴</p>	۹
<p>با افزایش درصد اختلاط مخلوط آهک-خاکستر پوسته برنج در خاک، در مقایسه با خاک خالص وزن مخصوص خشک حداکثر نمونه‌ها کاهش و رطوبت بهینه نمونه‌ها افزایش می‌یابد. درصد تراکم نمونه‌های بهسازی شده با افزودنی نسبت به خاک خالص با افزایش درصد وزنی و زمان عمل آوری کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصله از آزمایشات تراکم بر روی نمونه‌های ساخته شده، افزودن مقدار ۱۰٪ آهک-خاکستر پوسته برنج و عمل آوری حداقل به مدت ۲۸ روز توصیه می‌گردد.</p>	تجربی	<p>آزمایش روش تراکم پروکتور اصلاح شده</p>	<p>جواد حسن زاده میرکوهی، سینا زارع، امین زیوری ۱۳۹۵</p>	۱۰
<p>در پژوهش حاضر، آزمایش سه محوری بر روی مصالح رسی مینا و مصالح رسی مسلح شده با خرده لاستیک در دو حالت زهکشی شده و زهکشی نشده انجام شده است. اثر پارامترهای قفل و بستنی در مصالح مسلح شده مورد ارزیابی قرار گرفته است و برخی از نتایج حاصل از آزمایش به</p>	تجربی	<p>آزمایش سه محوری زهکشی شده و نشده</p>	<p>میلاذ تاج دینی، حسین</p>	۱۱

<p>این شرح هستند: همانگونه که انتظار می‌رفت، پارامترهای مقاومت برشی، زاویه اتساع و سختی برشی در مصالح زهکشی شده، تماما نسبت به مصالح زهکشی نشده بیشتر هستند.</p>		<p>زرتاج ۱۳۹۶</p>	
<p>وجود الیاف تاثیر چشمگیری بر رفتار ماسه غیر سیمانی و سیمانی دارد. افزودن آنها باعث بهبود پارامترهای مقاومتی، افزایش مقاومت بیشینه، کرنش گسیختگی و مقاومت پس ماند خاک می‌شود. تاثیر این الیاف بر تمامی پارامترهای مورد بررسی در خاک غیر سیمانی بیشتر از خاک سیمانی است. همچنین در خاک سیمانی با افزایش درصد سیمان، تاثیر آنها کمتر می‌شود. با توجه به پژوهش انجام شده، از این مصالح می‌توان در بستر راه استفاده نمود که علاوه بر فوائد اقتصادی، فوائد زیست محیطی را نیز به همراه دارد.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده</p>	<p>۱۲ نیما رنجبر مالی دره ۱۳۹۶</p>
<p>بر اساس مجموعه بررسی‌ها و آزمایش‌های آزمایشگاهی مرتبط با این پژوهش، موارد زیر قابل استنتاج است: نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم استاندارد و تراکم هاروارد نشان می‌دهد که به طور کلی افزودن خاکستر باگاس نیشکر و آهک باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه می‌شود. بر اساس استاندارد ASTM C618 از خاکستر باگاس نیشکر استفاده شده در این پژوهش را نمی‌توان به عنوان پوزولان نوع C در نظر گرفت. افزودن خاکستر باگاس به مخلوط خاک رس-آهک باعث کاهش میزان PH می‌گردد و این امر می‌تواند میزان واکنش‌های پوزولانی را تا حد امکان کاهش دهد. در تمامی نمونه‌های حاوی آهک با افزایش درصد آهک مقدار مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد. این افزایش برای مخلوط‌هایی دارای ۱٪ آهک مقداری ناچیز و نمونه‌هایی با ۳٪ و ۴٪ آهک افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد بطوریکه افزودن ۴٪ آهک به خاک رس مقدار مقاومت بیش از ۵/۵ برابر افزایش می‌یابد.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش PH آزمایش تراکم، آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده</p>	<p>۱۳ عبدالمجید کریمی ۱۳۹۶</p>
<p>استفاده از خاکستر پوسته برنج در کنار سیمان و یا به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در پروژه‌های اجرایی تثبیت ماسه، به دلیل الزامات محیط زیستی، قیمت پایین و استحکام بالا، بسیار مفید بوده و توصیه می‌شود. در این مقاله، با معرفی خاکستر پوسته برنج به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در تثبیت خاک ماسه‌ای، نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف الیاف پلی پروپیلن ساخته شده و به بررسی اثر میزان الیاف پلی پروپیلن و خاکستر پوسته برنج بر مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه ماسه تثبیت و مسلح شده پرداخته شده است.</p>	<p>تجربی</p>	<p>مقاومت فشاری محدود نشده</p>	<p>۱۴ علی قربانی، میثم سلیم زاده شوئیلی ۱۳۹۶</p>
<p>امروزه مواد ژئوپلیمری به عنوان مهمترین ماده جایگزین سیمان در جهان مورد قبول قرار گرفته است و تحقیقات بر روی این مواد در صنایع ساخت رو به افزایش است. لیکن استفاده از این مواد در بهسازی خاک، اخیرا مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از پوزولان طبیعی تفتان به عنوان ماده اولیه تولید ژئوپلیمر استفاده شده است. به علاوه امکان استفاده از پودر شیشه به عنوان جایگزین پوزولان طبیعی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. دو نوع فعال کننده نوع ۱: ترکیب سدیم هیدروکسید و سدیم سیلیکات مایع و نوع ۲: سدیم هیدروکسید در غلظت های ۶ و ۱۰۸ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده به شرح زیر است: ژئوپلیمر بر پایه پوزولان طبیعی می‌تواند به عنوان یک تثبیت کننده موثر برای ماسه استفاده شود. نسبت‌های مختلف پوزولان طبیعی و فعال کننده نوع ۱ استفاده شده و مشاهده شد که با افزایش مقدار پوزولان طبیعی و فعال کننده، مقاومت فشاری محدود نشده خاک تثبیت شده، افزایش می‌یابد. با استفاده از مقادیر مختلف پوزولان و فعال کننده، می‌توان مقاومت‌های متفاوت ۱۲-۱ مگاپاسکال را بدست آورد. مثلا ترکیب مقاومت فشاری محدود نشده خاک را تا ۲۱ برابر افزایش داده است.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده، تحلیل پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی</p>	<p>۱۵ محمد صباغ گل، وحید توفیق ۱۳۹۷</p>
<p>با توجه به نتایج حاصل از مجموع بررسی‌های به عمل آمده و آزمایش‌های انجام شده نتیجه گیری‌های زیر قابل استنتاج هستند: کاهش داد پودر سنگ با کاهش درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک خاک موجب بهبود مشخصات تراکمی می‌شود. لذا می‌توان از این ماده ضایعاتی برای بهبود کیفیت تراکم در اغلب پروژه‌های عمرانی استفاده کرد. حداکثر میزان تاثیر مستقیم آهک در افزایش مقاومت فشاری تک محوری به ازای ۵٪ آهک رخ می‌دهد. با این مقدار</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش مقاومت فشاری تک محوری</p>	<p>۱۶ نادر عباسی، آرش حیدری پاکرو،</p>

<p>آهک مقاومت فشاری ۷ روزه حدود ۴ برابر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۵ برابر افزایش می‌یابد. پودر سنگ ضایعاتی به همراه آهک می‌تواند موجب افزایش میزان مقاومت فشاری شود. حداکثر مقدار افزایش مقاومت، رشدی در حدود ۱۲٫۵٪ با کاربرد ۵٪ پودر سنگ و ۵٪ آهک بوده است.</p>		<p>رضا براملو ۱۳۹۷</p>	
<p>در این تحقیق رفتار سرباره فولاد و مخلوط آن با درصدهای مختلف نوعی خاکستر بادی به منظور استفاده در زیراساس جاده ها از طریق آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل با هم و همچنین خاک طبیعی مقایسه شد، خلاصه نتایج به شرح ذیل است: قرار نوع دانه بندی مصالح مورد آزمایش، در طبقه بندی آشتو A-1-a قرار می‌گیرد. دانه بندی مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند برای لایه زیراساس استفاده گردد. سرباره مورد بررسی، حدود مجاز مشخصات تعیین شده برای مصالح زیراساس طبق نشریه ۲۳۴ را از نظر نشانه خمیری، حدروانی، ارزش ماسه‌ای، درصد سایش و درصد افت وزنی با سولفات سدیم دارد. مقادیر دانسیته سرباره بیشتر از خاک است و با افزایش خاکستر به سرباره دانسیته خشک طبق تراکم اصلاح شده کاهش می‌یابد.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش دانه بندی، ارزش ماسه، مقاومت فشاری، تراکم، دانسیته حداکثر و حداقل</p>	<p>۱۷ سعید هاشمی طباطبایی، عطا آقایی، آرابی، بهاره کاتبی ۱۳۹۷</p>
<p>نتایج مطالعه تحقیق حاضر نشان داد، ابعاد و مقدار مناسب نوار زائد پلاستیک انعطاف پذیر جهت بهسازی رفتار خاک ریزدانه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱×۱ سانتی متر مربع و درصد وزنی مخلوط ۰/۵ درصد وزنی می‌باشد. زیرا، این میزان سبب شده است مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر به میزان ۱/۰۷ درصد بهبود یافته و رطوبت بهینه به مقدار ۱/۴ درصد کاسته شده است. همچنین، مقاومت فشاری در لحظه گسیختگی به مقدار ۳۷٪ و مدول الاستیسیته به میزان ۲/۱۵٪ در نمونه‌های مورد مطالعه افزایش یافت. البته، مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در اثر حضور زائادات پلاستیکی به میزان ۲۱٪ (در حالت شرایط بارگذاری خشک) و ۱۱/۵٪ (در حالت شرایط بارگذاری اشباع) بهبود یافت. نتایج به دست آمده مشابه با مطالعات صورت گرفته توسط Sivakumar Babu و Vasudevan؛ ۲۰۰۸؛ Sivakumar Babu و Chouksey؛ ۲۰۱۱؛ Dutta و همکاران، ۲۰۱۲؛ Soltani-Jigheh؛ ۲۰۱۴ می‌باشد.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش تراکم، مقاومت فشاری تک محوری، برش مستقیم در حالت خشک و اشباع، تحکیم و نفوذپذیری</p>	<p>۱۸ یاشار دهقان، روزبه دبیری ۱۳۹۷</p>
<p>هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان استفاده از ژئوپلیمر با پایه پودر شیشه بازیافتی در اصلاح خصوصیات مقاومتی خاک‌های رسی است. با انجام آزمایش‌های برنامه ریزی شده نتایج زیر بدست آمد: افزودن آن به خاک باعث افزایش مقاومت فشاری تک محوری شد. درصد وزنی پودر شیشه دارای مقدار بهینه (۱۵٪) است به این معنی که استفاده مقادیر وزنی کمتر و یا بیشتر از مقدار بهینه، مقاومت‌های تک محوره کمتری می‌دهد. همچنین غلظت ماده فعال کننده نیز دارای مقدار بهینه برای نتایج UCS بود. میزان مولاریته بهینه ماده فعال کننده برای آزمایش مقاومت فشاری تک محوری، ۳٪ (M=M3) بدست آمد. زمان عمل آوری نمونه‌ها نیز بر نتایج UCS موثر بود. به این معنا که با افزایش زمان عمل آوری، مقدار مقاومت تک محوری نیز افزایش می‌یابد اما شیب این افزایش مقاومت، کاهشی است که نشانه ای بر زود گیر بودن آن در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی است.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش مقاومت تک محوری، نسبت باربری کالیفرنیا بر روی نمونه اصلاح شده، عکس برداری الکترونی روبشی</p>	<p>۱۹ محمد علی محمد زاده ۱۳۹۷</p>
<p>در این مقاله به بررسی و مقایسه پارامترهای ژئوتکنیکی خاک رس کائولینیت تثبیت شده با سیمان و غبار کوره سیمان CKD پرداخته شد. به این منظور پس از مخلوط خاک رس کائولینیت با ۵، ۱۰ و ۱۵٪ (نسبت به وزن خشک) سیمان و CKD، آزمایش‌های حدود اتربرگ، تراکم، مقاومت فشاری محصور نشده و نسبت باربری کالیفرنیا بر نمونه‌ها انجام شد. جهت بررسی اثر افزودنی‌ها بر ریزساختار خاک، نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ الکترونی مورد عکس برداری قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد: افزودن سیمان و غبار کوره سیمان حد روانی و حد خمیری خاک رس را افزایش می‌دهد. با افزودن غبار کوره سیمان شاخص پلاستیسیته ابتدا افزایش و سپس</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش حدود اتربرگ، تراکم، مقاومت فشاری محصور</p>	<p>۲۰ صادق قوامی جلال، حمید جهان بخش، فریدون</p>

<p>کاهش می‌یابد. تولید محصولات سیمانی در اثر افزودن سیمان باعث تغییر بافت خاک و اندازه موثر دانه شده و در نتیجه مقدار رطوبت جذب شده به این ذرات کاهش یافته و پلاستیسیته خاک کمتر می‌شود. سیمان و غبار کوره سیمان منجر به افزایش درصد رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر خاک رس کائولینیت می‌گردند.</p>		<p>نشده، نسبت باربری کالیفرنیا</p>	<p>مقدس نژاد ۱۳۹۷</p>	
<p>در پژوهش حاضر از قطعات پلاستیکی ضایعاتی (درب بطری های پلاستیکی یکبار مصرف جهت نگهداری نوشیدنی‌ها) به عنوان مسلح کننده سه بعدی یک نوع خاک ماسه ای سست استفاده شده و نتایج ذیل از این تحقیق استحصال گردیده است. با افزایش درصد قطعات پلاستیکی تا ۲٪ در حالت نامنظم (پخش تصادفی) و تا ۲/۵٪ در حالت منظم (بصورت لایه بندی شده) مقاومت افزایش پیدا کرده و با افزایش بیشتر قطعات از مقدار ذکر شده مقاومت کاهش خواهد یافت. این تحقیق، درصد تسلیح ۲٪ تا ۲/۵٪ را به عنوان درصد بهینه قطعات پلاستیکی جهت تسلیح خاک ماسه‌ای معرفی شده پیشنهاد می‌کند. ضمناً استفاده از این نوع قطعات هزینه‌های بسیار اندکی را جهت تهیه مصالح تسلیح و صرف انرژی، با توجه به محاسن آنها، بر پروژه تحمیل می‌نماید. با مقایسه مقاومت خاک در حالت مسلح شده منظم و نامنظم می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مسلح کننده‌ها به صورت نامنظم باعث افزایش مقاومت بیشتری نسبت به حالت منظم می‌شود و از دیدگاه اجرایی نیز سهولت بیشتری دارد.</p>	<p>تجربی</p>	<p>CBR</p>	<p>ابوالقاسم هوشیار، وحید رستمی ۱۳۹۷</p>	<p>۲۱</p>
<p>اثر سربار در نمونه اصلاح شده و اصلاح نشده به وضوح قابل مشاهده می‌باشد به طوری که باعث افزایش قابل توجه مدول برشی و نیز کاهش قابل توجه نسبت میرایی گردید، اما در نمونه‌های اصلاح شده این اثر با درصد پت در نمونه نسبت عکس داشته و با افزایش مقدار پت، اثر سربار مقداری کاهش یافته و این اثر در نمونه‌های بهسازی نشده بیشتر بوده است. مقدار افزایش مدول برشی با افزایش سربار در کرنش‌های بالا بین ۴۵ تا ۶۰ درصد و در کرنش‌های پایین بین ۹۵ تا ۱۱۵ درصد بوده است. علاوه بر این مقدار نسبت میرایی با افزایش سربار در کرنش‌های پایین بین ۵۰ تا ۶۵ درصد و در کرنش‌های بالا بین ۵ تا ۱۰ درصد کاهش داشته است.</p>	<p>تجربی</p>	<p>آزمایش های دینامیکی با استفاده از دستگاه برش ساده</p>	<p>محمد توفیق تبریزی ۱۳۹۹</p>	<p>۲۲</p>

## ۵- نتیجه گیری

استفاده از این مواد مزایای خاص خود را دارد ولی برای استفاده از آنها باید موارد زیر را در نظر داشت:

- استفاده از هر یک از این مواد با توجه به مشخصات خاک و منطقه مورد نظر متفاوت است.
- استفاده از هر یک از این مواد با توجه به نوع کاربری و استفاده‌ای که از آن در آینده می‌شود متفاوت است.
- باید شرایط محیطی را از نظر آلودگی های ایجاد شده (مانند استفاده از ترکیبات حاوی آهک) بررسی کنیم.
- ابتدا باید در یک نمونه آزمایشگاهی نوع مواد مورد آزمایش قرار گیرد و مقدار بهینه آن مشخص شود، چون همانگونه که استفاده از این مواد به بهبود پارامترهای خاک کمک می‌کند، استفاده بیش از حد آن تاثیر عکس روی عملکرد پارامترها داد.

مطابق بررسی‌های بررسی‌های بعمل آمده از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه جهت تسلیح و تثبیت خاک‌های مسئله‌دار یا خاک‌هایی با پارامترهای ضعیف می‌توان از مواد زائد و بازیافتی کمک گرفت و مزایای زیر را نیز شامل می‌شود.

- صرفه اقتصادی به دلیل رایگان بودن و یا ارزان بودن تهیه آنها.
- جایگزینی مقرون به صرفه برای مواد اصلی آماده که بعضاً وارداتی هستند.
- محلی برای دفع زباله‌های شهری و صنعتی می‌شوند.
- از دفع غیر اصولی و صرفاً امحای زباله جلوگیری می‌شود.
- جلوگیری از آلودگی محیط زیست.
- از صرف انرژی و تخریب محیط زیست برای تهیه مواد اصلی جلوگیری می‌کند.

## ۶- اندیس‌ها و مخفف‌ها

PET (Poly Ethylene Terephthalate) :	پلی اتیلن ترفتالات
CBR (California Bearing Ratio) :	آزمایش باربری کالیفرنیا
UCS (Uniaxial Compressive Strength) :	مقاومت فشاری تک محوری
CKD (Cement Kiln Dust) :	غبار کوره سیمان
XRF (X-Ray Fluorescence) :	اشعه ایکس فلورسانس

## ۷- مراجع

doi: 10.24200/j30.2017.4563

- رنجبر مالی دره، نیما، شوش پاشا، عیسی، میرحسینی، سید محمد و دهستانی، مهدی (۱۳۹۷). بررسی عملکرد ایاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه ای بابلسر با درصدهای مختلف سیمان. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*. ۱۰(۲)، ۳۷۱-۳۸۴.

- بلوری بزاز، جعفر، و زنجانی، محمد مهدی (۱۳۸۹). بررسی مقاومت مصالح حاصل از بازیافت نخاله های ساختمانی جهت استفاده در لایه های روسازی. *پژوهشنامه حمل و نقل*. ۷(۲۳ پیاپی)، ۱۳۳-۱۱۹.

- عرفانیان نیا رضا، بلوری بزاز جعفر، لشته نشایی میر احمد (۱۳۹۲). بررسی مقاومت مصالح حاصل از بازیافت نخاله ساختمانی با مخلوط آهک و پوزولان. *اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی*.

- حسن زاده میر کوهی، جواد و همکاران (۱۳۹۵). بررسی رفتار تراکمی خاک های رهنده اصلاح شده با آهک و خاکستر پوسته برنج. *پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش نوین در عمران-معماری و شهرسازی، سنگاپور*.

- عزیزی میر محله، حسین و همکاران (۱۳۹۳). بررسی اثر آهک و خاکستر پوسته برنج بر مقاومت تک محوری خاک های رسی با خمیری بالا. *هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل*.

- روح بخشان، آرمین و کلانتری، بهزاد (۱۳۹۵). تثبیت خاک رس با آهک و پودر ضایعات سنگی. *نشریه مهندسی عمران /میرکبیر*، ۴۸(۴)، ۴۲۹-۴۳۸.

doi: 10.22060/ceej.2016.679

- کاوسی، امیر و صائبی، جواد. (۱۳۹۵). تثبیت خاک نامرغوب ساحلی با استفاده از سیمان و ایاف نخل خرما برای بستر روسازی ها. *مهندسی زیر ساخت های حمل و نقل*. ۲(۴)، ۶۱-۷۲.

doi: 10.22075/jtie.2017.1267.1088

- حسینی، ابوالفضل و همکاران (۱۳۸۹). ساخت راه در بستر ماسه ای روان با استفاده از پوزولان و آهک. *پژوهشنامه حمل و نقل*، دوره ۱، شماره ۱، ۶۴-۵۷.

- پورنوری پیمان و همکاران (۱۳۹۲). بررسی بهسازی ماسه با استفاده از ضایعات پلاستیکی پلی اتیلن ترفتالات. *اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی*.

- محمدزاده، محمد علی و همکاران (۱۳۹۲). بهسازی خاک ماسه ای محصور شده با استفاده از سیمان و ایاف بازیافتی از بسته بندی مواد غذایی. *اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی*.

- توفیق تبریزی، محمد و همکاران (۱۴۰۰). ارزیابی رفتار دینامیکی خاک ماسه بندر استحصالی انزلی بهسازی شده با خرده پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی. *نشریه مهندسی دریا، سال هفدهم، شماره ۳۴، ۴۸-۳۷*.

- سلطانی، محمد سجاد سلطانی (۱۳۹۸). ارزیابی تاثیر ژئولیت و خرده لاستیک فرسوده بر تثبیت ماسه با سیمان. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مرتضی جبرایی شراهی، مسعود عامل سخی، قم: دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه صنعتی قم.

- تاج دینی، میلاد، زرتاج، حسین و طاهرخانی، حسن (۱۳۹۶). بررسی تاثیر افزودن خرده لاستیک صنعتی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح رس کائولینیتی. *مجله مهندسی عمران شریف*. ۲(۲)، ۹۹-۱۰۹.

کاتولینیت با سیمان و غبار کوره سیمان. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۹۳۵-۹۴۸، (۴)۵۲.

**doi: 10.22060/ceej.2018.15100.5829**

- هوشیار، ابوالقاسم و رستمی، وحید (۱۳۹۷). استفاده از ضایعات پلاستیکی یکبار مصرف در بهبود ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۷۵۵-۷۶۴، (۴)۵۰.

**doi: 10.22060/ceej.2017.11924.5100**

- Azhdarpour, A., Nikudel, M. and Mohammadi, S. (2015). Assessment the Role of Recycled Bottle Fragments and Littered Rubber Fibers on the Sandy Soil Engineering Behaviors. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95), 135-140.

**doi: 10.22071/gsj.2015.42183**

- F.G. Bell, (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*. 42(4), 223-237. **doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2**

- Roohbakhshan, A. and Kalantari, B. (2016). Stabilization of clayey soil with lime and waste stone powder. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 48(4), 429-438. **doi: 10.22060/ceej.2016.679**

-Ghafari, M., Nahazanan, H., Yusoff, Z.M. et al. (2021). Effect of soil cohesion and friction angles on reverse faults. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* 20, 329-334.

**doi.org/10.1007/s11803-021-2023-x**

-Ghiasi, V., (2012). Effects of Weak Rock Geomechanical Properties on Tunnel Stability (Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia).

-Ghiasi, V., Haghtalab Joraghani, M. and Rashno, S., (2023). An Overview of Chemical Soil Stabilization Methods. *Road*, 31(116), 151-166.

**doi: 10.22034/road.2022.312705.1988**

-Ghiasi, V., Smaeili, K. and Arzjani, D., (2021). Pile Tunnel Interaction in Subway Tunnels under Seismic Loads. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 51(104), 149-157.

**doi: 10.22034/jcee.2020.9813**

-Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). An Overview of Earth Dam behavior Under Earthquake Movements. *New Approaches in Civil Engineering*, 6(3), 1-31.

**doi: 10.30469/jnace.2022.166901**

-Ghiasi, V. and Azami, M. (2022). Earth Dam Behavior under Earthquake Movements- An Overview. *Reliability Engineering and Resilience*, 4(1), 1-30.

**doi: 10.22115/rer.2022.340458.1046**

-Ghiasi, V. and Eskandari, S. (2024). Improvement of Alluvial Soils Using Cement Injection Method. *Road*, 32(118), 209-232.

**doi: 10.22034/road.2022.323689.2016**

- صباغ گل، محمد و توفیق، وحید (۱۳۹۸). مطالعه امکان‌سنجی تثبیت خاک ماسه‌ای با ژئوپلیمر بر پایه پوزولان طبیعی و پودر شیشه. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۱۶۹-۱۸۲، (۱)۵۱.

**doi: 10.22060/ceej.2018.13086.5325**

- عباسی نادر، حیدری پاکرو آرش، بهراملو رضا (۱۳۹۹). کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن، آهک و پودر سنگ ضایعاتی برای تثبیت خاک رسی. علوم آب و خاک. ۲۴ (۲)، ۲۳۴-۲۲۱.

- کریمی، عبدالمجید، عباسی، نادر و سیاوش نیا، مهدی (۱۳۹۷). استفاده از خاکستر باگاس نیشکر و آهک برای تثبیت خاک‌های رسی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۱)، ۱-۱۲.

**doi: 10.22059/ijswr.2017.220607.667730**

- محمدی، مسعود و توفیق، وحید (۱۳۹۵). بررسی آزمایشگاهی تثبیت و تسلیح ماسه با استفاده از الیاف و اپوکسی رزین. مهندسی زیر ساخت‌های حمل و نقل. ۱۱۸-۱۰۳، (۱)۲.

**doi: 10.22075/jtie.2016.415**

- کاوسی، امیر و صائبی، جواد (۱۳۹۵). تثبیت خاک نامرغوب ساحلی با استفاده از سیمان و الیاف نخل خرما برای بستر روسازی‌ها. مهندسی زیر ساخت‌های حمل و نقل. ۷۲-۶۱، (۴)۲.

**doi: 10.22075/jtie.2017.1267.1088**

- قربانی علی، سلیم زاده شوئیلی، میثم (۱۳۹۷). تثبیت خاک ماسه‌ای با استفاده از سیمان و خاکستر پوسته برنج و مسلح شده توسط الیاف پلی پروپیلن. مهندسی عمران مدرس. ۱۸ (۵)، ۱۶۵-۱۷۶.

- آقایی آرایبی، عطا، کاتبی، بهاره، سلامت، امیرسعید و هاشمی طباطبایی، سعید (۱۳۹۷). استفاده از سرباره فولاد مخلوط با خاکستر جهت تثبیت لایه زیراساس جاده. مهندسی ساختمان و علوم مسکن. ۱۲(۱)، ۱۳-۱۹.

- دهقان، یاشار و دبیری، روزبه (۱۴۰۰). مطالعه تأثیر نوارهای زائد پلاستیک (PET) بر بهسازی خاک ریزدانه. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست. ۵۱ (۱۰۳)، ۱۲۷-۱۳۹.

**doi: 10.22034/jcee.2019.9474**

- محمدزاده، محمد علی و توفیق، محمدحسن (۱۴۰۱). ساخت ژئوپلیمر با پایه پودر شیشه بازیافتی و بررسی کاربرد آن در اصلاح پارامترهای مقاومتی جهت تثبیت خاک رس. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۱۸۵-۱۹۰، (۵)۵۴.

**doi: 10.22060/ceej.2021.19653.7306**

- قوامی جمال، صادق، جهان بخش، حمید و مقدس نژاد، فریدون (۱۳۹۹). مطالعه آزمایشگاهی مقایسه تثبیت خاک رس

- Geomechanics and Engineering*, 16(2), 187–194.  
**doi.org/10.12989/GAE.2018.16.2.187**
- Ghiasi, V., & Mozafari, V., (2018). Seismic response of buried pipes to microtunnelling method under earthquake loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 193-201.  
**doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.020**
- Ghiasi, V., & Omar, H. (2011). Analysis of shotcrete lining of underground tunnels. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 19(2), 249-257.
- Ghiasi, V., & Yousefi, M. (2020). Development of Prediction-Area charts to improve the output of landslide potential models. *Modares Civil Engineering Journal*, 20(6), 127-131.
- Ghiasi, V., Alborzi Moghadam, M. and Koushki, M. (2022). Optimization of Invasive Weed for Optimal Dimensions of Concrete Gravity Dams. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*. 6(4), 95-111.  
**doi: 10.22115/scce.2022.340697.1432**
- Ghiasi, V., Farzan, A. (2019). Numerical study of the effects of bed resistance and groundwater conditions on the behavior of geosynthetic reinforced soil walls. *Arab J Geosci* 12, 729.  
**doi.org/10.1007/s12517-019-4947-2**
- Ghiasi, V., Ghasemi, S.A.R. & Yousefi, M., (2021). Landslide susceptibility mapping through continuous fuzzification and geometric average multi-criteria decision-making approaches. *Nat Hazards* 107, 795–808.  
**doi.org/10.1007/s11069-021-04606-y**
- Ghiasi, V., Ghiasi, S. and Prasad, A., (2012). Evaluation of tunnels under squeezing rock condition. *Journal of Engineering, Design and Technology*. Vol. 10 No. 2, 168-179.  
**doi.org/10.1108/17260531211241167**
- Ghiasi, V., Ghiasi, S., Omar, H., Ebrahimi, B., & Ghiasi, M. (2010). A review of metro tunnel safety parameters and role of risk management, Tehran Metro. In *Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany*, 511-515.
- Ghiasi, V., Heydari, F. and Behzadinezhad, H. (2021). Numerical analysis and back calculation for embankment dam based on monitoring results (Case study: Iran-Lurestan Rudbar). *Scientia Iranica*, 28(5), 2519-2533.  
**doi: 10.24200/sci.2021.56159.4579**
- Ghiasi, V., Jalalvand, A., & Saeidijam, S. (2014). Diaphragm Wall-Tunnel Interaction in Saturated Soil. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19.
- Ghiasi, V., Koushki, M. (2020). Numerical and artificial neural network analyses of ground surface settlement of tunnel in saturated soil. *SN Appl. Sci.* 2, 939-940. **doi.org/10.1007/s42452-020-2742-z**
- Ghiasi, V., Mahmoodi, A. and Yousefi, M. (2023). Landslide risk potential mapping by using continuously-weighted spatial criteria and
- Ghiasi, V. and Kamalabadi Farahani, M., (2024). Feasibility Study of Soil Pollution Removal Using the Electrokinetic Method. *Road*, 32(119), 507-528.  
**doi: 10.22034/road.2022.323983.2018**
- Ghiasi, V. and Koushki, M., (2021). Numerical investigation of ground surface settlement due to circular tunneling influenced by variations of geometric characteristics of tunnel and mechanical properties of saturated soil and its prediction in the artificial neural network. *Journal of Modeling in Engineering*, 19(64), 27-39.  
**doi: 10.22075/jme.2019.18022.1735**
- Ghiasi, V. and Madah, S. (2024). Investigation of Increasing Shear Strength of Dispersive Clays Using Additives. *Road*, 32(121), 361-384.  
**doi: 10.22034/road.2022.324512.2023**
- Ghiasi, V. and Molaei Tari, P. (2022). Geotechnical design of landfills and solutions for their construction in different soils. *Road*.  
**doi: 10.22034/road.2022.324326.2020**
- Ghiasi, V. and molaei tari, P. (2023). Investigating the potential application of biochar on soil water retention properties (swrc) with different textures in geotechnical engineering structures. *Road*.  
**Doi: 10.22034/road.2023.353589.2073**
- Ghiasi, V. and Mostafaeifar, A. (2023). Assessment of the effects of geosynthetics on geotechnical soils behavior. *Road*. 31(115), 67-80.  
**doi: 10.22034/road.2022.323429.2015**
- Ghiasi, V. and Najafi, F. (2022). Investigation of liquefiable soils improvement methods. *Road*. 30(110), 41-56. **doi: 10.22034/road.2023.112863**
- Ghiasi, V. and Nazhdghorbani, A. (2024). An Overview of the Use of Fly Ash for Soil Stabilization. *Road*. 32(120), 455-488.  
**doi: 10.22034/road.2022.333556.2034**
- Ghiasi, V. and Sharifi far, F. (2025). Bearing Capacity of Strip Foundation on Granular Soil Reinforced with Geogrid. *Road*, 33(122), 305-314.  
**doi: 10.22034/road.2023.360048.2083**
- Ghiasi, V. and Sohrabi, F. (2022). Optimization of the Bearing Capacity of Shallow Foundation. *Reliability Engineering and Resilience*, 4(2), 1-17.  
**doi: 10.22115/rer.2022.360789.1049**
- Ghiasi, V. and Zakavi, I. (2023). Geosynthetics of Stone Columns- A Review. *Road*. 31(117), 143-170.  
**doi: 10.22034/road.2022.333550.2033**
- Ghiasi, V., & Eskandari, S. (2023). Comparing a single pile's axial bearing capacity using numerical modeling and analytical techniques. *Results in Engineering*, 17, 100893.  
**doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100893**
- Ghiasi, V., & Farzan, A. (2020). Numerical Study of the Effects of Groundwater and Bed Resistance Conditions on the Behavior of Geosynthetic Soil Walls.
- Ghiasi, V., & Moradi, M. (2018). Assessment the effect of pile intervals on settlement and bending moment raft analysis of piled raft foundations.

vector machine algorithm. *Geomechanics and Engineering*, 34(3), 267–284.

**doi.org/10.12989/GAE.2023.34.3.267**

-Ghiasi, V., Valipour, M. R., Mohammadirad, A. R., & Baharipour, S. (2013). Methods of retrofitting the foundation of unreinforced masonry buildings. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 5747-5758.

-Gooch, J.W., Encyclopedic dictionary of polymers. Vol. 1. (2010). Springer Science & Business Media.

**doi.org/10.31763/aet.v2i2.1010**

-Jafarzadeh Marandi, M., Ghiasi, V., & Badv, K. (2023). Numerical Evaluation of Two-dimensional Multi-layer Cover System to Regulate Acid Mine Drainage of Tailing Dams. *International Journal of Engineering*, 36(10), 1839-1856.

-Mousapoor, E., Ghiasi, V., & Madandoust, R. (2020). Macro modeling of slab-column connections in progressive collapse with post-punching effect. In *Structures*, Elsevier. Vol. 27, 837-852.

**doi.org/10.1016/j.istruc.2020.06.025**

-Pourkeramat, P., Ghiasi, V. & Mohebi, B. (2021). The Effect of Post-Earthquake Fire on the Performance of Steel Moment Frames Subjected to Different Ground Motion Intensities. *Int J Steel Struct*. 21, 1197–1209.

**doi.org/10.1007/s13296-021-00496-9**

-Rahimpour, H., Ghiasi, V., Fahmi, A., & Marabi, Y. (2023). Geopolymer vs ordinary portland cement: review of the 3-d printing of concrete. *Applied Engineering and Technology*, 2(2), 133-152.

-Yoon, Y.W., Cheon, S. and Kang, D. (2004). Bearing capacity and settlement of tire-reinforced sands. *Geotextiles and Geomembranes*, Cheon and Kang, 22(5), 439-453.

**doi: 10.1016/j.geotextmem.2003.12.002**

convolution artificial neural network. *Scientia Iranica*, **doi: 10.24200/sci.2023.60988.7088**

-Ghiasi, V., Marabi, Y., Fahmi, A., Maleki, H. R., & Rahimpour, H., (2025). Compressive strength of geopolymer brick samples based on sand-washing waste with different particle sizes. *Advances in Materials Research*, 14(1), 31–42.

**doi.org/10.12989/AMR.2025.14.1.031**

-Ghiasi, V., Mousapoor, E. and madandoust, R. (2021). The effect of compressive membrane force and surrounding slabs on the behavior of flat slab structures in progressive collapse. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(8), 128-143. **doi: 10.22065/jsce.2020.240430.2197**

-Ghiasi, V., Omar, H., & Huat, B. K. (2009). A study of the weathering of the Seremban granite. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 14(9).

-Ghiasi, V., Omar, H., Kim Huat, B.B., Muniandi, R., Zainuddin, B. and Yusof (2011), "Risk management overview of tunnels using numerical modeling. *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 9 No. 1, 110-124.

**doi.org/10.1108/17260531111121495**

- Ghiasi, V., Omar, H., Rostami, J., Yusoff, Z. B. M., Ghiasi, S., Huat, B. K., & Muniandy, R. (2011). Geotechnical and geological studies of NWCT tunnel in Iran focusing on the stabilization analysis and design of support: A case study. *Scientific Research and Essays*, 6(1), 79-97.

**Doi: 10.5897/SRE10.704**

-Ghiasi, V., Omar, H., Yusoff, Z. B. M., Huat, B. K., Muniandy, R., & Alias, M. N. (2010). A New Model of Microcracks Propagation in Granite Rock. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1), 1-23.

-Ghiasi, V., Pauzi, N. I. M., Karimi, S., & Yousefi, M. (2023). Landslide risk zoning using support

# **A Review of Soil Improvement with Waste and Recycled Materials and Its Impact on Soil Parameters**

*Vahed Ghiasi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Architecture Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.*

*Hamed Tavagh Hamedani, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.*

*E-mail: v.ghiasi@malayeru.ac.ir*

Received: January 2024- Accepted: April 2025

## **ABSTRACT**

The increasing volume of municipal and industrial waste and construction waste, especially plastics and rubber materials, which take a long time to decompose in nature, has created many problems in large cities. These include environmental problems caused by the unprincipled non-technical disposal of this. The resulting materials have attracted the attention of researchers to recycle these materials. On the one hand, there are several methods to improve unsuitable soils' physical properties and mechanical behavior today. On the other hand, one of the standard soil improvement methods is the use of soil reinforcement methods, which often have a relatively high cost in providing materials and how to implement it. The increasing of waste materials to the soil due to the environmental benefits and the ease of adding it during the embankment, has a special place due to the increase in the production of rubber and plastics in recent decades. The addition of materials such as Worn rubber crumbs, recycled polypropylene sack fibers, plastic waste strips (polyethylene terephthalate pet), recycled fibers from food packaging, construction waste, industrial waste has been examined in the soil. Therefore, arming the ground with waste materials is particularly important because of its influential role in the economic cycle as one of the critical indicators of macro-level development in developing countries. In this research, several examples of industrial, urban waste, and used wastes that are effective in strengthening and reinforcing the soil have been investigated, in which soil parameters have been evaluated. In the reinforcement and stabilization of soils, recycled materials can be used, the conditions and amount of which must be studied to be used in optimal conditions.

**Keywords:** Recycled Fibers, Soil Improvement, Soil Reinforcement Rubber Crumbs, Recycled Materials