

## بررسی تغییرات ظرفیت باربری خاکهای ماسه ای سست، تثبیت شده با ضایعات کارخانه های سنگبری (گل سنگ)

شهاب زاغیان<sup>۱</sup>، البرز حاجیان نیا<sup>۲</sup>، بهرام نادری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

:

Shahabcivil23@gmail.com

### خلاصه

به کلیه عملیاتی که موجب بهبود مشخصات ژئوتکنیکی خاک گردد تثبیت خاک گفته می شود، بهسازی خاک در محل یک راه حل مهندسی مناسب جهت کم کردن هزینه های اجرایی می باشد، استفاده از مواد و ضایعات کارخانه های سنگبری جهت بهسازی و افزایش مقاومت خاک هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی حائز اهمیت می باشد. متغیرهای موجود در این پژوهش شامل تعیین درصد بهینه ی استفاده از ضایعات سنگبری به عنوان فیلر و همچنین تعیین درصد رطوبت بهینه آب می باشد و بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش ضایعات سنگبری (فیلر) به مقدار ۲۵٪ وزن خاک، وزن مخصوص خشک خاک افزایش میابد و همچنین با افزایش فیلر تا ۱۵٪ وزنی خاک باعث افزایش نسبت باربری CBR میگردد.

کلمات کلیدی: تثبیت خاک، خاک های دانه ای، ضایعات سنگبری، فیلر.

### ۱. مقدمه

در بسیاری از پروژه های راهسازی به علت وجود ضعف در خاک منطقه نیاز به بهسازی جهت بهبود خواص مکانیکی خاک وجود خواهد داشت. هدف از تثبیت خاک افزایش مقاومت خاک و کاهش نفوذپذیری و افزایش تراکم خاک می باشد که بسته به شرایط مختلف منطقه و نوع خاک از انواع روشهای مکانیکی، شیمیایی، الکتریکی و غیره استفاده میگردد[۱].

یکی از راهکارهای کاهش هزینه های اجرایی استفاده از ضایعات دیگر صنایع به علت فراوانی و در دسترس بودن آنها و در نتیجه کاهش هزینه های اقتصادی طرح و همچنین کاهش خطرات زیست محیطی به علت عدم رهاسازی این مواد در طبیعت میباشد، در فرایند تولید سنگهای ساختمانی، در نتیجه برش سنگ توسط تیغه های الماسی در حدود ۳۰٪ از سنگ مادر به ذرات ریزی تبدیل می گردد و توسط آبی که جهت خنک کردن تیغه های در تماس با سنگ استفاده می شود به صورت دوغاب از سنگ مادر جدا گشته و به حوضچه های آرامش سرازیر می شوند و پس از ته نشینی در این حوضچه ها توسط پمپ در فضای باز تخلیه می گردد تا پس از خشک شدن آنها مجدداً بارگیری و در مکانهای مشخص شده در طبیعت رها گردند، همین رهاسازی در طبیعت باعث بروز مشکلات زیست محیطی فراوانی از جمله تاثیر بر کیفیت آب منطقه، ایجاد گرد و غبار پس از خشک شدن کامل، افزایش دامپینگ در زمین، مانع رشد گیاهان و ایجاد مشکلاتی در چرخه غذایی و اکوسیستم منطقه میگردد[۲].

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

## ۲. مروری بر سوابق تحقیق

تثبیت و مسلح کردن خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی یک خاک برای تأمین یک رشته اهداف از پیش تعیین شده، اطلاق می‌گردد. مسلح کردن خاک یکی از راهکارهای مناسب برای بهره برداری و اجرای سریع تر پروژه‌های عمرانی می باشد. در راه سازی مسلح کردن خاک به منظور افزایش باربری خاک انجام می گیرد واز این مصالح برای ایجاد خاکریز، لایه های اساس، زیراساس، خاک بستر و روسازی استفاده می شود. تثبیت خاک که به منظور بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک ها انجام می شود، به روشهای بسیار متفاوتی اجرا می گردد که این روشها با توجه به نوع پروژه و عمر آن، هدف تثبیت، زمان استفاده و میزان بارهای وارده بر سازه ساخته شده، انتخاب می‌شود[۳].

Jayeshkumar Pitroda و OzbekRajgor در سال ۲۰۱۳ در مطالعاتی که جهت موارد کاربردی گل سنگ انجام دادند از این ماده به عنوان یک ماده ی پرکننده برای جاده ها و سدها جهت افزایش مقاومت فشاری محوری آنها استفاده گردید و همچنین درصدهای مختلفی از این ماده بر روی خاکهای مختلف را به عنوان مقادیر بهینه عنوان کردند. به طور مثال برای خاکهای سیلتی ۱۲٪ و برای خاکهای رسی کمتر از ۳۰٪ می‌باشد[۲].

امیر روح بخش و بهزاد کلانتری در سال ۲۰۱۳ اثر آهک و گل سنگ را به صورت همزمان بر روی خاک رس مورد بحث و بررسی قرار دادند و نتایج حاصله نشان دهنده ی کاهش قابل توجه شکل پذیری خاک و افزایش مقدار PH خاک رس با افزایش میزان ضایعات سنگبری و آهک می باشد[۴]. Anadolu Tarim Bilim در سال ۲۰۱۰، نتایج ترکیب گل سنگ با سه نوع خاک رس را از نظر خواص فیزیکی، تراکم، حدود اتزبرگ، و آزمایش فشاری تک محوری مورد بررسی قرار داد؛ گل سنگ باعث افزایش وزن مخصوص خشک خاک و کاهش درصد رطوبت بهینه و همچنین باعث کاهش حدود خمیری و روانی و افزایش مقاومت فشاری نمونه ها گردید[۵].

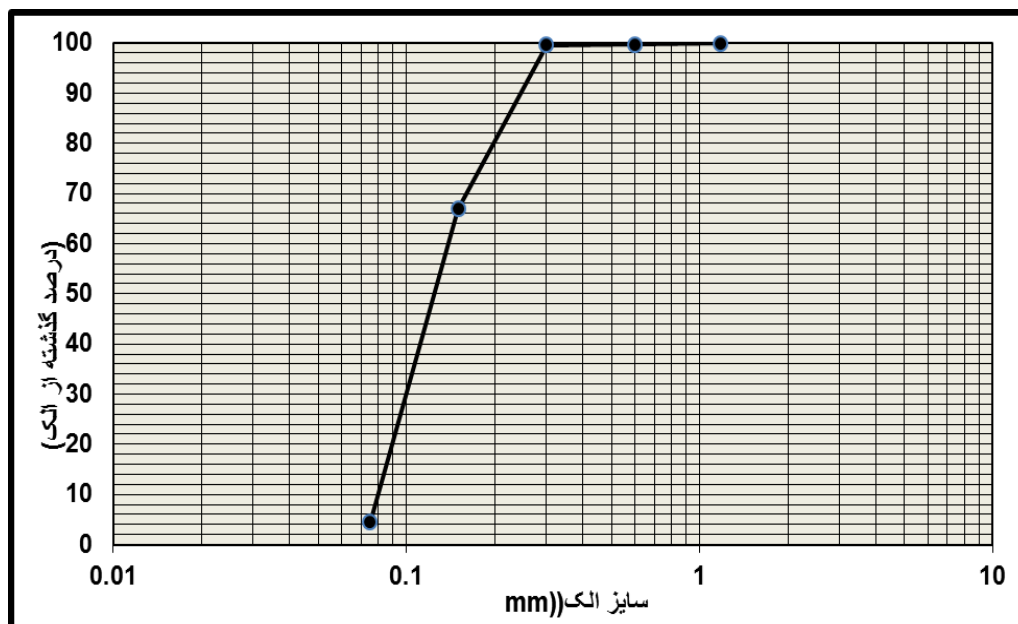
Nabil Al-Joulani در سال ۲۰۱۲، به بررسی اثر گل سنگ و آهک بر تاثیرات مقاومت، تراکم و CBR خاک خوب دانه بندی شده پرداخته است. وی با اضافه کردن درصدهای مختلف از گل سنگ و آهک به خاک و انجام آزمونهای تراکم و برش مستقیم دریافت که با اضافه کردن ۳۰ درصد گل سنگ زاویه اصطکاک داخلی تا ۵۰ درصد افزایش می یابد و افزایش گل سنگ بیش از ۳۰ درصد موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. افزودن آهک تا ۳۰ درصد باعث کاهش وزن مخصوص تا ۱۹٪ و کاهش درصد رطوبت بهینه تا ۱۳.۵٪ می‌شود ولی افزودن گل سنگ باعث افزایش CBR از ۵.۲ برای خاکهای تثبیت نشده به ۱۶ تا ۱۸ برای خاکهای تثبیت شده رسیده که باعث کاهش ضخامت لایه اعطاف پذیر روسازی از ۳۸ سانتیمتر به ۱۷ تا ۲۰ سانتیمتر شده است[۶].

Koray R. Kiyildi و Osman Sivrikaya در سال ۲۰۱۴ به مقایسه تاثیر گل سنگ مرمر و گل سنگ گرانیت، هر یک به عنوان افزودنی به خاک رس پرداختند و مشخص گردید هر دوی این گل سنگها تاثیرات مناسب و خوبی بر خواص خاک رس از قبیل کاهش شاخص خمیری و کاهش درصد رطوبت بهینه و همچنین افزایش وزن مخصوص خشک گذاشته اند ولی تاثیر گل سنگ مرمر نسبت به گل سنگ گرانیت بیشتر بوده است[۷].

## ۳. مواد مصرفی

۱-۳ خاک مورد استفاده در این پژوهش، ماسه با دانه‌بندی یکنواخت میباشد که مطابق جدول شماره ۱ مشخصات فیزیکی آن آورده شده است و منحنی دانه بندی آن نیز در نمودار شماره ۱ ترسیم گردیده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی ماسه		
مشخصه فیزیکی	مقدار	استاندارد انجام آزمایش
D10	0.16	ASTM-D 422
D30	0.18	ASTM-D 422
D50	0.2	ASTM-D 422
D60	0.21	ASTM-D 422
CU	1.312	ASTM-D 422
CZ	0.96	ASTM-D 422
هم ارز ماسه	0.73	ASTM-D 2419
حدود اتربرگ	NP	ASTM-D 4318
GS	2.67	ASTM 854
نوع خاک در طبقه بندی یونیفاید	SP	ASTM-D 2487
نوع خاک در طبقه بندی آشتو	A-3	AASHTO

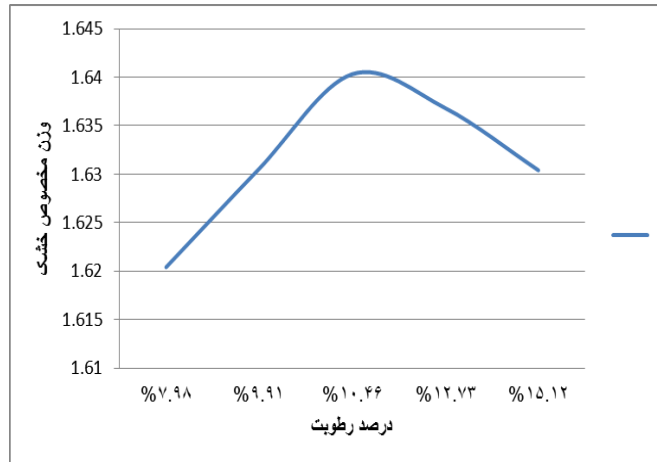


نمودار ۱- منحنی دانه بندی ماسه

### ۲-۳ ضایعات سنگبری

در طی فرایند تولید سنگهای ساختمانی از مقدار زیادی آب جهت خنک کردن تیغه های برشی دستگاه‌ها استفاده می شود که در طی این برش قسمت هایی از سنگ مادر به صورت بخش های بسیار کوچکی از آن جدا شده و توسط آب از محل برش جدا می شوند و به صورت دوغاب در حوضچه های آرامش قرار گرفته و پس از ته نشین شدن توسط پمپ از حوضچه ها خارج شده و در فضای آزاد خشک می شوند و سپس بارگیری و به محل های مشخص شده تخلیه می گردند. بسته به جنس سنگ مادر می‌توانند دارای منشا آذرین، رسوبی و یا دگرگونی باشند، در این پژوهش از ضایعات سنگ تراورتن که دارای منشا آهکی می باشند به عنوان تثبیت کننده استفاده شده است.

۴. آزمایش تراکم



نمودار ۲- تراکم ماسه خالص

جدول ۳- نتایج نهایی آزمایش تراکم ماسه خالص

حد اکثر وزن مخصوص خشک ( $\frac{g}{cm^3}$ )	درصد رطوبت بهینه
1.64	10.46%

جدول ۴- نتایج نهایی آزمایش تراکم ماسه همراه با درصدهای مختلف فیلر

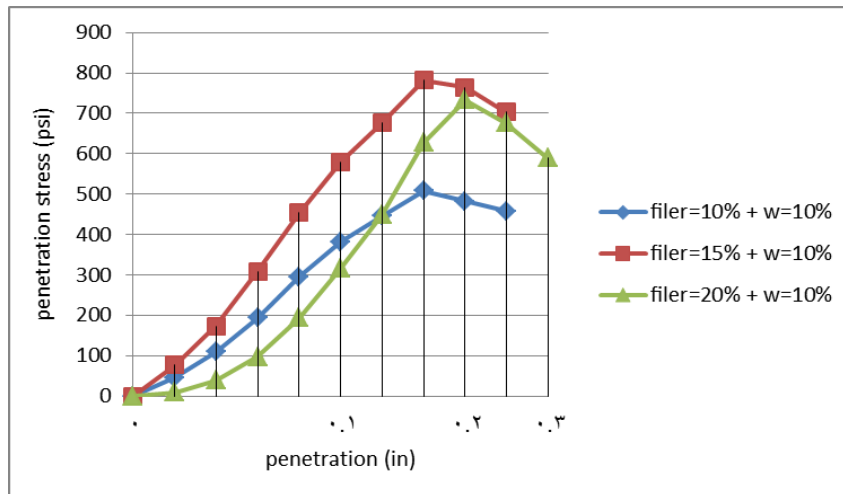
حد اکثر وزن مخصوص خشک ( $\frac{g}{cm^3}$ )	درصد رطوبت بهینه	درصد فیلر
1.64	10.46%	0%
1.84	10.52%	10%
1.90	10.38%	15%
1.92	10.12%	20%
1.93	9.37%	25%
1.91	9.16%	30%
1.89	8.91%	35%

## ۵. آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

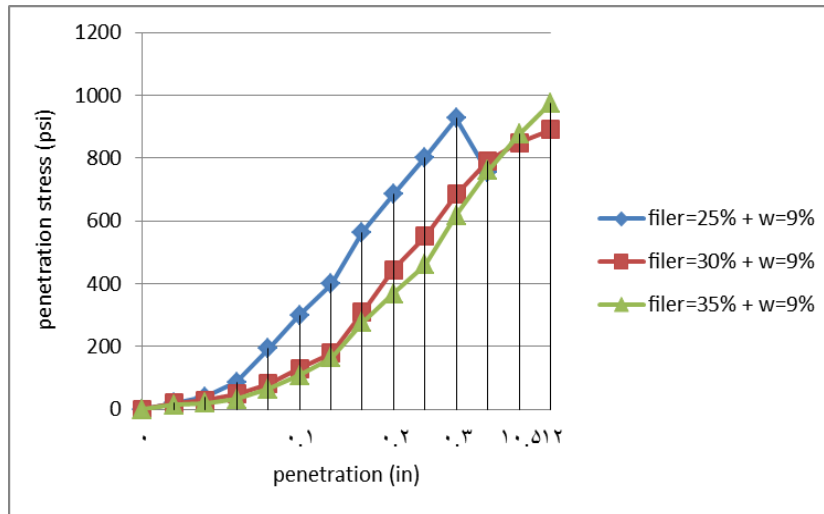
این روش برای ارزیابی قدرت باربری خاک بستر روسازی راهها و فرودگاهها و نیز تعیین قدرت باربری مصالح سنگی استفاده می شود. در این پژوهش از استاندارد (ASTM D698-B) جهت انجام آزمایشات استفاده شده است. نمونه ها در یک قالب فلزی استوانه ای است با قطر داخلی  $۰.۰۲۶ \pm ۰.۰۰۱$  اینچ و ارتفاع آن  $۰.۱۶ \pm ۰.۰۰۱$  اینچ در ۳ لایه و ۵۶ ضربه تحت رطوبت بهینه متراکم می شوند [۷]. قبل از تهیه نمونه ها و انجام آزمایش CBR، آزمایش تراکم پراکتور استاندارد طبق استاندارد ASTM-D698-70 انجام گرفت. برای تهیه نمونه ابتدا مقدار درصد مورد نظر فیلر نسبت به وزن خاک مورد استفاده را با هم مخلوط کرده و سپس مقدار آب بهینه محاسبه شده را به آن اضافه نمودیم و سپس آنها را در سه لایه با ضخامت های مساوی داخل قالب ریخته و توسط چکش استاندارد در هر مرحله با ۵۶ ضربه عملیات تراکم صورت گرفت و پس از قرار دادن سرباره ها کل مجموعه در زیر دستگاه CBR قرار گرفت و آزمایش صورت پذیرفت، نتایج و نمودارهای آزمایشات در زیر ارائه شده است.

## ۶. اثر درصد فیلر بر افزایش ظرفیت باربری

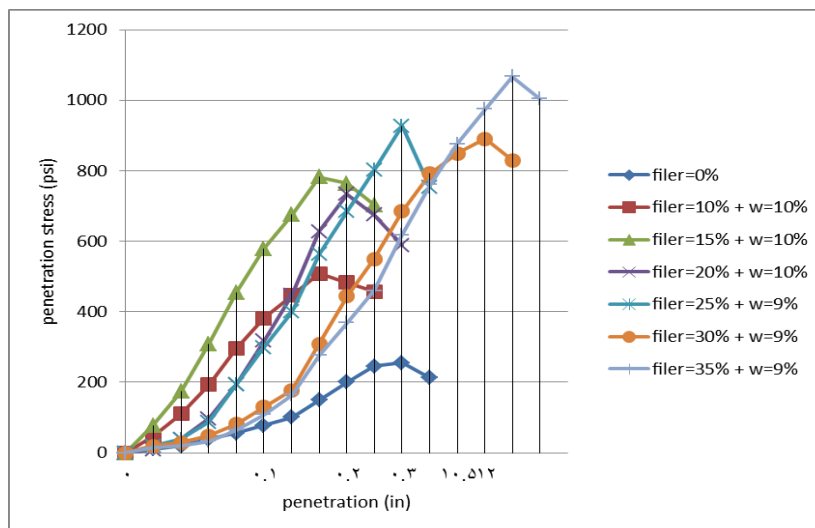
بر اساس نتایج مشاهده شده نمونه خاک ترکیب شده با ۱۵٪ ضایعات کارخانه های سنگبری به همراه رطوبت بهینه بدست آمده از آزمایش تراکم برای مقدار ۱۵٪ فیلر دارای بیشترین عدد CBR میباشد. در جداول زیر مقادیر تغییرات عدد CBR برای درصدهای مختلف فیلر قابل مشاهده میباشد.



نمودار ۳- تغییرات درصد CBR بر حسب افزایش درصد فیلر



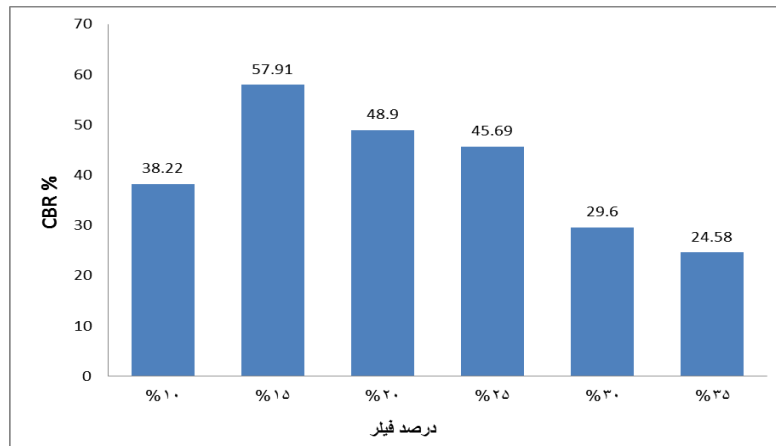
نمودار ۴- تغییرات درصد CBR بر حسب افزایش درصد فیلر



نمودار ۵- تغییرات درصد CBR بر حسب افزایش درصد فیلر

جدول ۵- نتایج آزمایش CBR

عدد CBR (max)	عدد CBR		درصد فیلر
	نفوذ 0.2 (in)	نفوذ 0.1 (in)	
38.22%	32.17%	38.22%	10%
57.91%	50.96%	57.91%	15%
48.90%	48.90%	31.66%	20%
45.69%	45.69%	29.92%	25%
29.60%	29.60%	12.93%	30%
24.58%	24.58%	10.81%	35%



نمودار ۶- مقایسه تغییرات درصد CBR

جدول ۶- نتایج نهایی CBR

15%	درصد فیلر
10%	درصد رطوبت
57.91%	عدد CBR

## ۷. نتیجه گیری

- بر اساس نتایج مشاهده شده با افزایش فیلر (ضایعات سنگبری) به مقدار ۲۵٪ وزن خاک، وزن مخصوص خشک خاک افزایش می‌یابد.
- افزایش فیلر (ضایعات سنگبری) به مقدار ۱۵٪ وزن خاک، باعث افزایش CBR می‌شود.
- بر خلاف افزایش وزن مخصوص خشک خاک با افزایش درصد فیلر تا ۲۵٪ وزن خاک، مقدار CBR با افزایش بیش از ۱۵٪ فیلر باعث کاهش ظرفیت باربری می‌گردد.
- به نظر می‌رسد با افزایش مقدار ریزدانه (فیلر) بیش از ۱۵ درصد وزن خاک، تماس مستقیم بین دانه های ماسه کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت باربری خاک کاهش می‌یابد.
- با افزایش درصد فیلر بیش از ۱۵ درصد میتوان مشاهده نمود که در عدهای نفوذ بالا عدد CBR بالا می‌رود و این نشان دهندهی افزایش حالت شکل پذیری در نمونه می‌باشد.

## ۸. مراجع

- [1] al-Joulani, n., effect of stone powder and lime on strength, compaction and CBR properties of fine soils, jordan journal of civil engineering, volume 6, No. 1, 2012
- [2] Pitroda, J., a Study of utilization aspect of Stone Waste in Indian Context, Volume : 2 | Issue : 1 | Jan 2013

[۳] ابن جلال، رضا، ۱۳۲۲، اصول نظری و عملی مکانیک خاک، دانشگاه شهید چمران.

- [4] roohbakhshan, a., kalantari, b., influence of lime and waste stone powder on the ph values and atterberg limits of clayey soil, annals of faculty engineering hunedoara, international Journal of engineering, department of civil engineering, hormozgan university, iran, 2013
- [5] attom, m., el-emam, m., the use of cutting-stone-slurry-waste in engineering practice, american university of Sharjah, college of engineering, department of civil engineering, sharjah, united arab emirates, 2010
- [6] roohbakhshan, a., kalantari, b., effect of lime and waste stone powder variation on the pH values, moisture content and dry density of clayey soil, vol. 3, no. 1, march 2014, pp. 41~46
- [7]sivrikaya, o., recycling waste from natural stone processing plants to stabilize clayey soil, environ earth sci (2014)