تثبیت خاک ریزدانه با استفاده از خاکستر باگاس، خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته بادام

مسعود عامل سخی*[۱]، آرش ابراهیمی

۱. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

چکیده

این پژوهش یک مطالعه آزمایشگاهی به منظور بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک ریزدانه رسی است. بدین منظور از خاکستر پسماند کشاورزی نظیر باگاس نیشکر، پوسته برنج و پوسته بادام درختی استفاده شده است. در این راستا، به بررسی اثر استفاده از خاکستر الیاف مذکور با درصدهای وزنی ۴، ۸ و ۱۲ بر روی خاک ریزدانه رسی پرداخته شده است. نتایج آزمایش تراکم حاکی از آن است این افزودنی‌ها به‌طور کلی باعث افزایش درصد رطوبت بهینه خاک می‌شود. نتایج نشان داد که حداکثر درصد رطوبت بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با ۱۲ درصد خاکستر رخ می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج آزمایش تک محوری، افزودنی‌های مورد بررسی موجب افزایش مقاومت تک محوری خاک شده‌اند؛ نمونه‌های ساخته شده با ۱۲ درصد خاکستر دارای بیشترین تأثیر بودند به طوری که افزودن ۱۲ درصد خاکستر باگاس نیشکر مقاومت تک محوری خاک را ۱۱۷ درصد افزایش داد و افزودن ۱۲ درصد خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته بادام درختی نیز مقاومت تک‌محوری خاک را به ترتیب ۸۹ و ۸۰ درصد افزایش دادند.

کلیدواژه‌ها: خاکستر باگاس، خاکستر پوسته برنج، خاکستر پوسته بادام، آزمایش تراکم، مقاومت فشاری محصور نشده.

مقدمه

در اکثر پروژه‌های عمرانی خاک محل پروژه دارای ویژگی‌های فنی موردنیاز نبوده و باید اقداماتی برای بهبود خصوصیات و ویژگی‌های ژئوتکنیکی بستر صورت گیرد. وجود خاک‌های مسئله‌دار نظیر خاک‌های منبسط شونده در بستر احداث پروژه بسیار حائز اهمیت است، چراکه می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیری ایجاد نمایند. یکی از راهکارهای بهسازی خاک استفاده از مصالح افزودنی است که غالباً تثبیت خاک نامیده می‌شود (عامل سخی و احمدی، ۱۳۹۶). عامل سخی در سال ۲۰۰۱ به بررسی استفاده از تراشه لاستیک‌های فرسوده در افزایش مقاومت برشی ماسه‌ها پرداخت (Amelsakhi, 2001). استفاده از مواد ضایعاتی صنایع مختلف و پسماند کشاورزی به جهت بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک‌های مسئله‌دار از جمله روش‌های مورد توجه جدید در زمینه تثبیت خاک محسوب می‌شود. مطالعاتی توسط سکو به همراه همکاران بر روی خاک‌های منبسط شونده انجام شد. پژوهش آنان بیانگر یک مطالعه آزمایشگاهی در تثبیت خاک منبسط شونده از جمله کاهش ظرفیت تورمی

* نویسنده مسئول: mamelsakhi@yahoo.com
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.3.101684

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

و بهبود ویژگی‌های ژئوتکنیکی آن با افزودن محصولات فرعی و مواد زائد صنعتی می‌باشد. از میان مواد زائد، قابل ذکرترین رفتار خاکستر غلاف برنج بود که موجب کاهش پتانسیل انبساطی خاک رس شده است (Seco et al., 2011). در پژوهش انجام شده توسط قربانی و شئولی، به تثبیت خاک ماسه‌ای با استفاده از سیمان و خاکستر پوسته برنج و مسلح شده توسط الیاف پلی‌پروپیلن پرداخته شد. در این پژوهش روشی جدید جهت تثبیت ماسه بندر انزلی با استفاده از خاکستر پوسته برنج و سیمان ارائه و امکان جایگزینی سیمان با خاکستر پوسته برنج بیان گردید (قربانی و سلیم زاده، ۱۳۹۷). در مطالعه دیگر برای تثبیت خاک رسی سست از پوسته برنج و آهک استفاده گردید و مشاهدات حاکی از کاهش نشست خاک سست و افزایش CBR و بهبود مقاومت تک‌محوره است (Shrivastava et al., 2014). کریمی و همکاران برای تثبیت خاک‌های رسی از خاکستر باگاس نیشکر و آهک استفاده نمودند و درصدهای مختلف خاکستر باگاس و آهک بر روی خاک رس را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها تراکم استاندارد، تراکم هاروارد و مقاومت فشاری تک محوره نشان داده با افزایش مقدار خاکستر باگاس نیشکر و آهک به خاک رسی وزن واحد حجم خشک کاهش و رطوبت بهینه افزایش یافته و ترکیب ۸ درصد خاکستر باگاس با خاک رس، موجب افزایش ۹۳درصدی مقاومت فشاری محصور نشده خاک شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶). طی پژوهشی در اندونزی برای تثبیت خاک‌های منبسط شونده از خاکستر باگاس نیشکر، سیمان پرتلند، آهک و گچ استفاده شد، نتایج این پژوهش بیانگر کاهش تورم خاک رس در حضور ۸٪ خاکستر باگاس نیشکر و برای آهک، سیمان و گچ ترکیب۶ درصدی از آن‌ها بهترین عملکرد در کاهش تورم و افزایش مقاومت CBR مشاهده شد(Zaika and Soeharjono, 2016). در سال ۲۰۱۶ پژوهشی توسط ساریده و دوتا برای بهبود خواص دینامیکی خاک‌های متورم شونده با استفاده از خاکستر بادی انجام گردید. در این تحقیق، تلاش شده تا خاک‌های متورم شونده را برای بهبود خواص تورمی، سختی و میرایی با خاکستر بادی تثبیت شود. درصد وزنی خاکستر بادی بین ۵ تا ۲۰ درصد وزن خشک خاک متغیر بود. جهت تعیین خواص دینامیکی ازجمله مدول برشی (G) و نسبت میرایی (D) و همچنین نسبت پوآسون (v) خاک‌های متورم شونده اصلاح نشده و اصلاح شده با خاکستر بادی، آزمایش‌های ستون تشدید یک سرگیردار انجام گردید. پیش از آزمایش، نمونه‌ها در اتاقی مرطوب به مدت ۱، ۷ و ۲۸ روز برای عمل‌آوری نگهداری شدند. مشاهده شده که مدول برشی خاک رس متورم شونده افزایش می‌یابد و نسبت میرایی نظیر با افزایش درصد خاکستر بادی کاهش یافته است(Saride and Dutta, 2016). جمال‌الدین و همکاران دریافتند که بهبود قابل توجهی در فشار انحرافی گسیختگی و پارامترهای مقاومت برشی (CوØ)خاک سست تقویت شده با الیاف نخل می‌تواند به دست آید. مشاهده شده است که الیاف ذرات و گروهی از ذرات را در یک ماتریس منسجم واحد به هم می‌بافد در نتیجه خواص ژئوتکنیکی خاک می‌تواند افزایش یابد (Jamellodin et al., 2010). در پژوهشی توسط بیات و بحرانیان تأثیر خاکستر بادی و آهک بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که به اضافه شدن خاکستر بادی تا ۲۰ درصد در خاک ماسه‌ای بدون آهک، باعث افزایش بیشتری در وزن مخصوص خشک حداکثر می‌شود و این مقدار با وجود ۱۰ ٪آهک به مقدار ۱۰ ٪کاهش می‌یابد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که مقدار ۲۰٪ خاکستر بادی یک مقدار بهینه جهت تثبیت خاک با آهک یا بدون آن است به طوریکه بیشترین مقدار نسبت باربری کالیفرنیا در این حدود خاکستر بادی بدست می‌آید (بیات و بحرانیان، ۱۳۹۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

مواد و مصالح

مشخصات خاک

خاک استفاده شده در پژوهش حاضر از نوع خاک ریزدانه رسی با کانی‌های ایلیت است. پس از خشک کردن خاک در دمای اتاق و عبور از الک ۲۰۰، انجام آزمایش‌های تراکم استاندارد و تعیین حدود خمیری، طبق طبقه‌بندی متحده، خاک از نوع رس با شاخص خمیری پایین طبقه‌بندی گردید. نتایج آزمایش‌های شناسایی در جدول‌های ۱و۲ نشان داده شده‌اند.

جدول۱. مشخصات خاک

Table 1. Soil properties

ویژگی	مقدار
صد رطوبت طبیعی خاک	2%
حد خمیری(PL)	14.5%
حد روانی(LL)	25%
توده ویژه(Gs)	2.69%

جدول۲. مشخصات شیمیایی خاک رس (غفارپور جهرمی و یزدی راوندی، ۱۳۹۸)

Table 2. Clay chemical properties (Ghafarpour Jahromi and Yazdi Ravandi, 1398)

ترکیب‌ها	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
غلظت مواد (درصد وزنی)	62.89	15.33	5.03	2.82	1.74	2.59	3.01

مشخصات افزودنی‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک مورد مطالعه از خاکستر سه الیاف باگاس نیشکر، پوسته برنج و پوسته بادام استفاده شده است. برای تهیه‌ی خاکستر، بعد از تهیه الیاف مذکور، درکوره با دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد سوزانده شده و پس از کوبیدن از الک شماره ۲۰۰ عبور داده می‌شود.

۳. خاکستر باگاس نیشکر(BGA[1]): باگاس محصول جانبی نیشکر است که پس از شربت‌گیری از ساقه نیشکر به شکل توده فیبر خشک باقی می‌ماند. در جدول۳ مشخصات شیمیایی خاکستر باگاس ارائه شده است.

[1] .Baggas Ash

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

جدول۳. ترکیب‌های یونی موجود در خاکستر باگاس (قربانی و سلیم زاده، ۱۳۹۷)
Table 3. Ionic compounds of baggas ash (Ghorbani and Salimzade, 1397)

ترکیب‌ها	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
غلظت مواد (درصد وزنی)	31.6	4.2	3.1	3.9	19.7	4.2	3.5

۲. خاکستر پوسته برنج(RHA[2]): پوسته برنج یک محصول جانبی به شمار می‌آید و مناسب خوراک دام و انسان نمی‌باشد، از همین رو مدیریت این محصول مشکلاتی برای متصدیان به وجود می‌آورد. استفاده از خاکستر این محصول در زمینه بهسازی خاک یک راهکار مناسب می‌تواند باشد. جدول۴ بیانگر مشخصات شیمیایی خاکستر پوسته برنج است.

جدول۴. ترکیب‌های یونی موجود در خاکستر پوسته برنج (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶)
Table 4. Ionic compounds of rice husk ash (Karimi et al., 1396)

ترکیب‌ها	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
غلظت مواد (درصد وزنی)	90.6	0.49	0.73	1.8	1.51	0.88	0.22

۳. خاکستر پوسته بادام(AHA[3]): اگرچه در گذشته پوست بادام درختی ماده‌ای، دور ریز تلقی می‌شد، اما امروزه در صنعت چوب سازی و بدست آوردن کربن فعال کاربرد پیدا کرده است. مشخصات شیمیایی خاکستر پوسته بادام در جدول۵ ارائه شده است.

جدول۵. ترکیب‌های یونی موجود در خاکستر پوسته بادام (Soriano et al., 2021)
Table 5. Ionic compounds of almond husk ash (Soriano et al., 2021)

ترکیب‌ها	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
غلظت مواد (درصد وزنی)	0.64	0.19	0.47	46.98	18.73	1.68	0.37

برنامه آزمایشگاهی

جهت بررسی تأثیر خاکستر الیاف باگاس، پوسته برنج و پوسته بادام بر مقاومت تک‌محوری خاک ریزدانه رسی، زمان عمل‌آوری ۱ روز مدنظر قرار گرفت و مجموعاً تعداد ۳۸ آزمایش تک‌محوری انجام شد. به‌منظور بهسازی خاک مذکور از مقادیر ۴ درصد وزنی خاکستر، مقادیر ۰، ۴، ۸ و ۱۲ درصد با توزیع تصادفی استفاده شده است. با مشاهده پیشینه پژوهش حاضر خاک‌های تثبیت شده با درصدهای بیشتر از ۱۲درصد وزنی خاکستر نتایج نامطلوبی داشته و همچنین با توجه به توده ویژه بسیار پایین

[2] .Rice Husk Ash
[3] .Almond Husk Ash

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

خاکسترهای مذکور، روند بهسازی خاک سایت را دشوار نموده و موجب غیر اقتصادی شدن پروژه خواهد شد. به همین جهت برای تثبیت خاک ریزدانه رسی از مقادیر ۰، ۴، ۸ و ۱۲ درصد وزنی استفاده گردیده است. جزئیات برنامه آزمایشگاهی انجام شده در جدول۶ بیان شد.

جدول۶. طرح اختلاط نمونه‌ها
Table 6. Mixing plan of samples

Samples ID	Samples Description		
	Soil (g)	Ash (g)	%Ash
Original Soil	4000	0	0
R1	4000	160	4%
R2	4000	320	8%
R3	4000	520	12%

جدول۷ بیانگر آزمایش‌های انجام شده در پژوهش حاضر به همراه استانداردهای مربوط به هر آزمایش می‌باشد.

جدول۷. استانداردهای آزمایشگاهی
Table 7. Laboratory standards

تعیین حدود اتربرگ	ASTM D4318
آزمایش تراکم	ASTM D698
آزمایش تک محوره	ASTM D2166

آزمایش تراکم(ASTM D698)

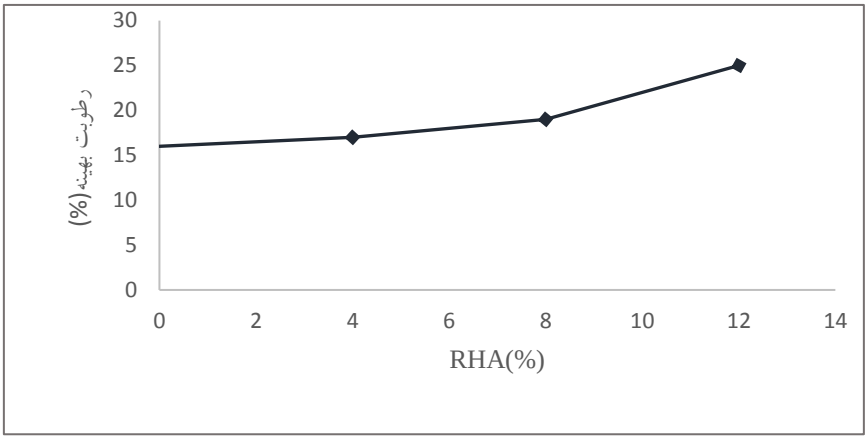
هدف از انجام این آزمایش کاهش میزان تخلخل خاک و بدست آوردن درصد رطوبت بهینه است. در هنگام متراکم کردن، به خاک مورد نظر آب اضافه می‌کنند تا تراکم خاک راحت‌تر انجام می‌شود. افزودن رطوبت کاهش اصطکاک بین ذرات و آسان شدن تراکم خاک می‌شود. با کاهش تخلخل و افزایش وزن مخصوص خاک نشست در زمان بارگذاری کاهش می‌یابد.

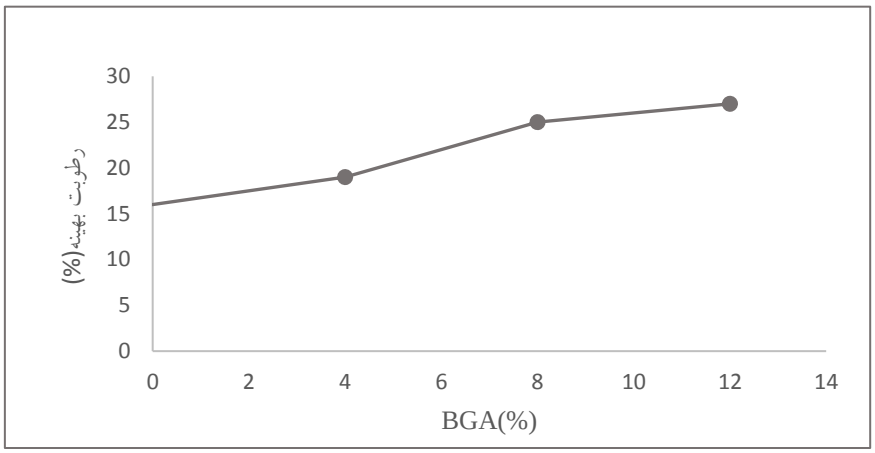
نتایج آزمایش تراکم

خاکستر سه مصالح باگاس، پوسته برنج و پوسته بادام استفاده شده در این پژوهش از الک نمره۲۰۰ عبورِ داده شده و بر اساس آزمایش‌های انجام شده، چگالی نسبی BGA ، RHA و AHA کوچک‌تر از۱ تعیین گردیدند. بر این اساس خاکستر مواد فوق دارای سطح ویژه بالایی می‌باشند و هرچه مقدار خاکستر مورد استفاده در این پژوهش افزایش یابد مقدار رطوبت بهینه نیز افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش درصد خاکستر به دلیل سطح ویژه بالای آن، جذب آب سطحی توسط ذرات خاکستر نیز افزایش یافته، این عمل موجب افزایش رطوبت بهینه می‌شود و نشست در زمان بارگذاری را کاهش می‌دهد. از نتایج بدست‌آمده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

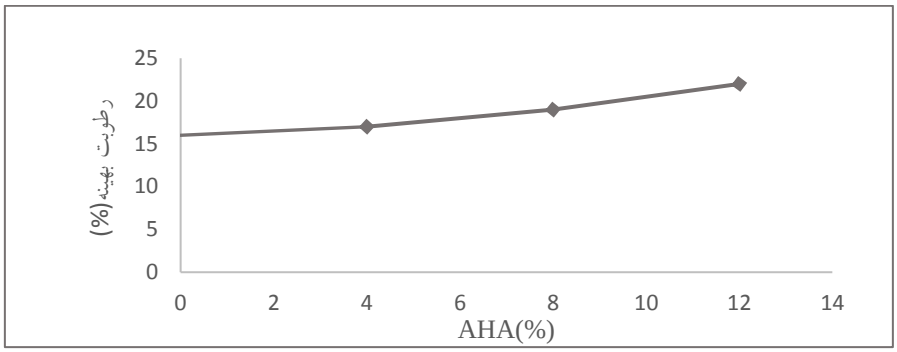
مشاهده شد که مقادیر مختلف از خاکستر موجب افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه می‌شوند. حداکثر درصد رطوبت بهینه برای نمونه‌های بهبود یافته با ۱۲ درصد وزنی افزودنی‌ها مشاهده شد و رطوبت بهینه خاک مسلح شده با ۱۲ درصد خاکستر باگاس نیشکر، خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته بادام، به ترتیب ۶۸درصد، ۵۵درصد و ۳۸ درصد نسبت به خاک (بدون افزودنی) افزایش یافت.





[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]



شکل۱. نتایج آزمایش تراکم- رطوبت بهینه نمونه رس مخلوط با خاکستر باگاس نیشکر(BGA)، رطوبت بهینه نمونه بهبود یافته با خاکستر پوسته برنج(RHA)، رطوبت بهینه نمونه بهبود یافته با خاکستر پوسته بادام(AHA)

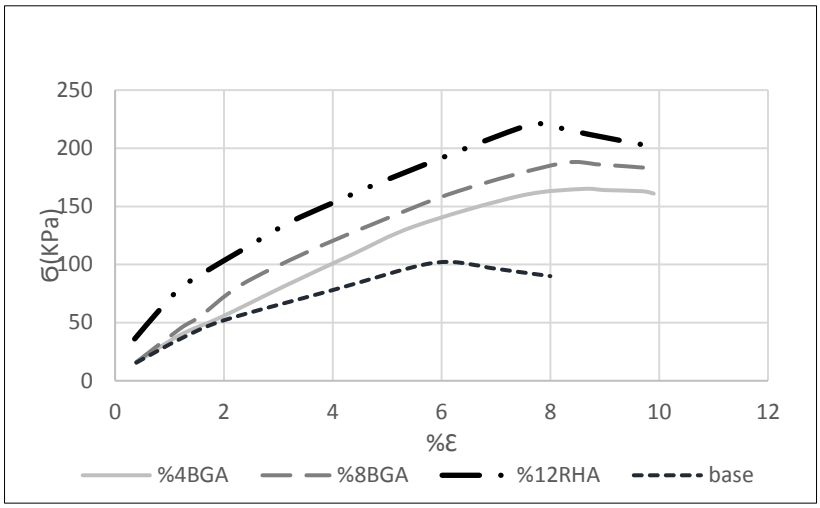
Fig. 1. Compaction test results – optimum water content of clay mixed with BGA, optimum water content of clay mixed with RHA, optimum water content of clay mixed with AHA

آزمایش تک‌محوره(ASTM D2166)

آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده بر روی مخلوط خاک رس و افزودنی‌ها انجام گرفت. طبق نتایج بدست‌آمده افزودن BGA و RHA و AHA موجب افزایش مقاومت تک محوری شد، همچنین افزایش خاکستر سبب افزایش مقاومت تک محوره نمونه‌ها می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌های تک محوره نشان می‌دهند که بیشترین مقدار مقاومت تک محوری برای خاک مسلح شده با ۱۲ درصد وزنی افزودنی‌ها بدست آمد. افزودن خاکستر باگاس با درصدهای ۴، ۸ و۱۲ مقاومت تک محوری را ۶۳، ۸۵ و ۱۱۵ درصد نسبت به خاک مبنا افزایش داد (شکل۲). نکته قابل توجه در بررسی نمودارها این است که وجود افزودنی باگاس باعث افزایش سختی خاک مورد مطالعه شده است. این امر با بررسی نمودارهای تنش-کرنش قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن بیشتر باگاس به خاک، مدول الاستیسیته افزایش بیشتری یافته است. حتی افزودن ۴ درصد باگاس به خاک، باعث افزایش در مدول الاستیسیته خاک شده است. بر این اساس باید انتظار داشت که شاخص‌های مقاومت برشی خاک نیز افزایش یافته باشند. نکته قابل ذکر دیگر این است که افزودن باگاس به خاک، علاوه بر افزودن مقاومت خاک، باعث شده است که این مقاومت حداکثر در کرنش‌های بالاتری نیز رخ دهند. به عبارت دیگر افزودن هرچه بیشتر باگاس، تا محدوده ۱۲ درصد، کرنش نظیر گسیختگی خاک را نیز جابجا نموده است. این نکات مهم را در افزودنی‌های خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته بادام در شکل‌های ۳ و ۴ نیز می‌توان به خوبی مشاهده نمود. این نتایج به خوبی نشان‌دهنده تغییر رفتار مقاومت برشی خاک مسلح به افزودنی‌های مورد اشاره است.

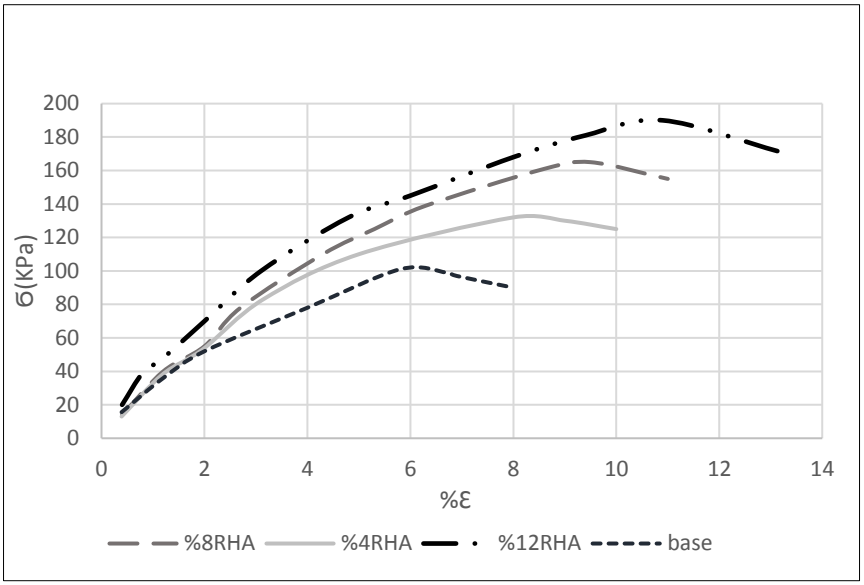
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]



شکل۲. نمودار تنش _ کرنش برای درصدهای متفاوت BGA
Fig. 2. Stress-strain diagram for different components of BGA

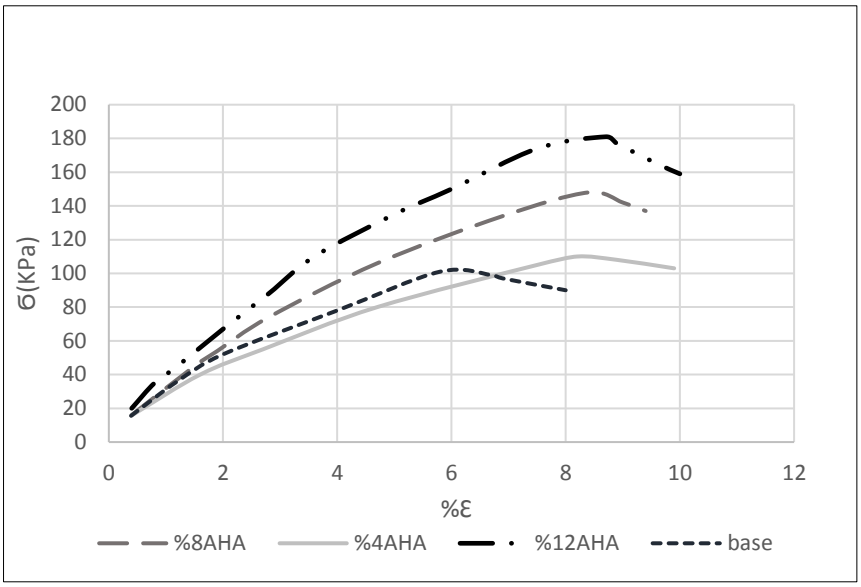
این روند آزمایش برای خاکستر پوسته برنج نیز تکرار شد و افزودن ۴، ۸ و ۱۲ درصد ، مقاومت تک محوری را ۳۰، ۶۵ و ۸۹ درصد نسبت به خاک مبنا افزایش داد (شکل۳).



شکل۳. نمودار تنش _ کرنش برای درصدهای متفاوت RHA
Fig. 3. Stress-strain diagram for different components of RHA

همچنین افزودن ۴، ۸ و ۱۲ درصد خاکستر پوسته بادام درختی نیز مقاومت تک محوری را ۱۰، ۴۸ و ۸۰ درصد نسبت به خاک مبنا افزایش داد (شکل۴).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]



شکل۴. نمودار تنش _ کرنش برای درصدهای متفاوت AHA
Fig. 4. Stress-strain diagram for different components of AHA

در جدول ۸ خلاصه مقادیر مقاومت تک محوری بدست آمده بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق ارائه شده است.

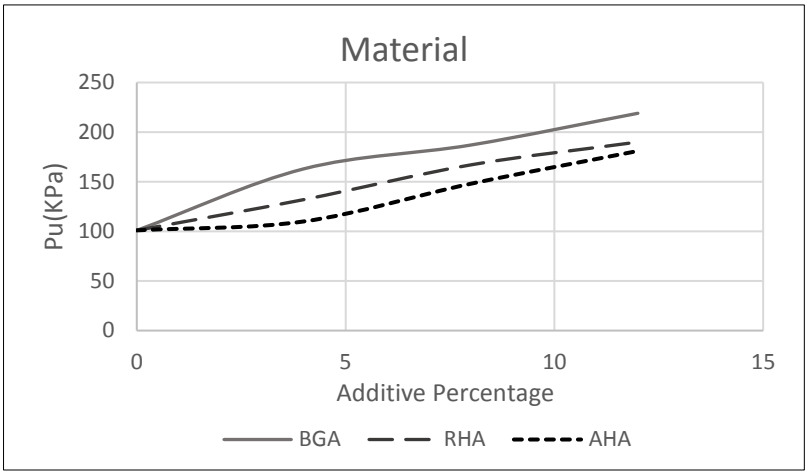
جدول ۸. مقایسه نتایج بدست آمده برای مقاومت تک محوری (kPa)
Table 8. Comparison between uni-axial shear strength results (kPa)

%	BGA	RHA	AHA
0	99	99	99
4	165	132	110
8	186	165	142
12	220	190	181

علاوه برآنکه افزایش افزودنی‌ها موجب افزایش مقاومت شده است، انتخاب نوع افزودنی نیز مهم است. نتایج نشان می‌دهند که جدا از آنکه هر سه خاکستر مورد استفاده موجب افزایش مقاومت خاک رس شده‌اند، اما درصد افزایش مقاومت برای هریک متفاوت می‌باشد. شکل ۵ بیانگر مقاومت تک محوری برحسب درصدهای مختلف افزودنی‌ها می‌باشد. نمودار BGA مقاومت تک محوری نمونه‌ها در حضور ۴، ۸ و ۱۲ درصد وزنی باگاس نیشکر را نشان می‌دهد، به همین ترتیب نمودار RHA متعلق به خاکستر پوسته برنج و همچنین نمودار AHA متعلق به خاکستر پوسته بادام درختی می‌باشد. مشاهده می‌شود خاکستر باگاس نیشکر نسبت به دو خاکستر دیگر مقاومت تک محوری خاک را بیشتر افزایش داده، روند صعودی مقاومت در مقطع اولیه نمودار این خاکستر شیب بیشتری داشته و سپس با افزایش درصد خاکستر شیب افزایش مقاومت کاهش یافته ولی این

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

روند افزایشی در خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته تا حدی متفاوت می‌باشد. این مطلب نشان دهنده این موضوع است که نوع مصالح افزودنی بر نحوه تغییر پارامترهای مقاومت برشی خاک و نیز رفتار تنش –کرنش و نیز در ادامه آن بر روی مدول الاستیسیته خاک مسلح، تأثیرگذار است. برای نمونه، خاکستر باگاس بر روی خاک مورد مطالعه بیشترین اثر افزایشی را داشته است.



شکل۵. نمودار مقاومت تک محوری بر حسب درصد افزودنی
Fig. 5. Uni-axial strength diagram based on additive percentage

اثر افزودنی‌ها بر نحوه شکست در آزمایش تراکم

به‌طور کلی مشاهده می‌شود در تمامی اشکال نمونه‌ها شکست نمونه‌ی خاک بدون افزودنی با متلاشی شدن همراه بوده در حالی که افزودن خاکستر سبب ایجاد یک ساختار منسجم‌تر شده و با افزایش خاکستر از عمق ترک‌ها هنگام شکست کاسته شده است. در شکل ۶ نحوه شکست نمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده در حضور خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر باگاس نیشکر بیان شده است. نمونه۱، خاک بدون افزودنی، نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ خاک مسلح شده با ۴، ۸ و ۱۲ درصد خاکستر باگاس است.

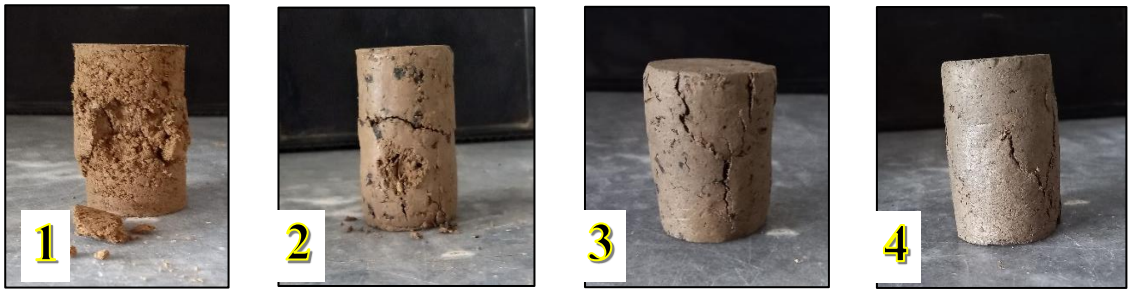
شکل۶. نحوه شکست نمونه‌های خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر باگاس نیشکر
Fig. 6. Soil samples' failure mode without and with BGA

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

شکل۷ بیانگر نحوه شکست نمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده در حضور خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر پوسته برنج است. نمونه۱، خاک بدون افزودنی، نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ خاک مسلح شده با ۴، ۸ و ۱۲ درصد خاکستر پوسته برنج می‌باشد.

شکل۷. نحوه شکست نمونه‌های خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر پوسته برنج
Fig. 7. Soil samples' failure mode without and with RHA

همچنین در شکل ۸ نیز نحوه شکست نمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده در حضور خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر پوسته بادام مشاهده می‌شود. نمونه۱، خاک بدون افزودنی، نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ خاک مسلح شده با ۴، ۸ و ۱۲ درصد خاکستر پوسته بادام می‌باشد.



شکل۸. نحوه شکست نمونه‌های خاک بدون افزودنی و مسلح شده با خاکستر پوسته بادام
Fig. 8. Soil samples' failure mode without and with AHA

بررسی دقیق‌تر شکل‌های ۶ الی ۸ نشان می‌دهد که وجود افزودنی مسلح کننده در خاک موردنظر، علاوه بر افزایش مقاومت برشی خاک و نیز مدول الاستیسیته خاک مسلح، باعث افزایش شکل‌پذیری بیشتر خاک در لحظه گسیختگی شده است. این مطلب بسیار مهم در تمامی نمونه‌های مورد بررسی مشاهده می‌شود. دلیل این امر می‌تواند وجود ماده افزودنی به عنوان یک محصورکننده در بین ذرات خاک مورد مطالعه بوده باشد. باید به این نکته نیز توجه نمود که نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیق‌های صورت گرفته در قبل که در ادبیات فنی مورد مطالعه قرار گرفتند، همخوانی دارد. البته نباید انتظار یکسان بودن نتایج را داشت چرا که جنس خاک و نوع مصالح مصرفی بر نتایج حاصله اثرگذار می‌باشند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور بررسی خواص ژئوتکنیکی خاک ریزدانه (رسی) و بهسازی آن با افزودن درصدهای وزنی مختلف خاکستر باگاس نیشکر (BGA)، خاکستر پوسته برنج (RHA) و خاکستر پوسته بادام درختی (AHA) تحت آزمایش‌های تراکم و همچنین آزمایش‌های تعیین حدود اتربرگ قرار گرفت و نتایج به شرح زیر می‌باشد:

- نتایج آزمایش تراکم نشان داد که مقادیر مختلف از خاکستر موجب افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه شده، حداکثر درصد رطوبت بهینه برای نمونه‌های بهبود یافته با ۱۲ درصد افزودنی مشاهده شد. رطوبت بهینه خاک مسلح شده با ۱۲ درصد خاکستر باگاس نیشکر، خاکستر پوسته برنج و خاکستر پوسته بادام، به ترتیب ۶۸درصد، ۵۵درصد و ۳۸درصد نسبت به خاک (بدون افزودنی) افزایش یافت.

- مطابق نتایج آزمایش تک‌محوره، افزودن RHA و AHA و BGA به خاک مقاومت فشاری را به میزان بسیار قابل توجهی افزایش داده، این افزایش با افزودن درصدهای بیشتر خاکستر همچنان روند صعودی داشته به‌گونه‌ای که حداکثر مقاومت برای نمونه‌های مسلح شده با ۱۲ درصد افزودنی رخ داد. در حضور ۱۲ درصد BGA ، RHA و AHA مقاومت فشاری ۱۱۷ ، ۸۹ و ۸۰ درصد افزایش یافت.

با توجه به نتایج آزمایش‌ها مذکور می‌توان از خاک مسلح شده با BGA و RHA و AHA در یکی از لایه‌های روسازی (بستر، زیراساس، اساس)، مسلح نمودن خاک بستر برای پیاده‌رو سازی ساخت آجر خاکستر و نیز به‌عنوان بتن مگر جهت بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک بهره برد. در پایان باید اشاره نمود که تحقیق حاضر بر اساس تمامی محدودیت‌های موردنظر صورت گرفته است. جهت حصول به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود که خاک‌های با جنس مختلف و نیز آزمایش‌های دیگر و به خصوص آزمایش‌های صحرایی مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

بیات، م. بحرانیان، م. ۱۳۹۸، تأثیر خاکستر بادی و آهک بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران جلد سیزدهم شماره ۲ ، ۹۰-۸۵

قربانی، ع. سلیم زاده شوئیلی، م. ۱۳۹۷، تثبیت خاک ماسه‌ای با استفاده از سیمان و خاکستر پوسته برنج و مسلح شده توسط الیاف پلی‌پروپیلن، مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره هجدهم، شماره ۵.

کریمی، ع. عباسی، ن. سیاوش نیا، م.، ۱۳۹۶، استفاده از خاکستر باگاس نیشکر و آهک برای تثبیت خاک‌های رسی، تحقیقات آب و خاک ایران دوره۴۹ شماره ۱، (۱-۱۲).

عامل سخی، م. احمدی، ش.،۱۳۹۶، بهسازی خاک، انتشارات دیبای دانش.

غفارپورجهرمی، س. یزدی راوندی، ز. ۱۳۹۸، "بررسی تاثیر نانوسیلیس در تثبیت خاک رس و اصلاح مشخصات مکانیکی و حجمی آن در بستر راه"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره۵۸.

Amelsakhi, M., 2001, Influence of optimized tire shreds on strength of sand-reinforced with tire shreds, In Partial Fulfillment of the Requirements the Degree of Master of Science, Faculty of Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Jamellodin Z, Talib Z, Kolop R, Noor N., 2010, The effect of oil palm fiber on strength behavior of oil". In: 3rd SANREM Conference, kota kinabalu, Malaysia; 3–5

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

Saride, I. and Dutta T., 2016, Effect of Fly-Ash Stabilization on Stiffness Modulus Degradation of Expansive Clays, Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 28 Issue 12

Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L., García B., 2011, Stabilization of expansive soils for use in construction. Clay Science Volume 51, Issue 3, 348-352

Shrivastava, D., Singhai, A. K., Yadav, R K. 2014, Effect of Lime and Rice Husk Ash on Engineering Properties of Back Cotton Soil. International journal of engineering research and science & technology Vol. 3, No. 2

Soriano, L., Font, A., Mauro M. Tashima, José Monzó, Maria Victoria Borrachero, Thaís Bonifácio, Jordi Payá. 2021, “Almond-shell biomass ash (ABA): A greener alternative to the use of commercial alkaline reagents in alkali-activated cement”, Construction and Building Materials Volume 290.

Zaika, Y. and Soeharjono, A., 2016, Bagasse Ash (BA) and Additive Materials Treated Expansive Soil, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, (21.20). 7085-7094.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

Fine Clay Soil Stabilization using Bagasse Ash and Rice Husk Ash and Almond Husk Ash

Masoud Amelsakhi*[1], Arash Ebrahimi[2]

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
2. M.Sc. in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

Received: 20 Sep 2022 Accepted: 17 Dec 2022

Abstract

This research is a laboratory study to improve the geotechnical properties of fine-grained soils. For this purpose, agricultural waste ash such as sugarcane bagasse, rice husk and almond husk have been used. In this regard, the effect of using ash of the mentioned fibers with at 4, 8 and 12 weight percentages on fine grain clay soils has been investigated. The compaction test results indicate that these additives generally increase the optimum soil moisture and the maximum optimum moisture was observed for the samples made with 12% ash. Also, based on the results of the unconfined compressive strength test, the studied additives have increased the uniaxial strength of the soil. The samples made with 12% ash were the most effective, so that the addition of 12% bagasse ash increased the soil resistance by 117%, and the addition of 12% rice husk ash and almond husk ash increased the soil resistance by 89, 80% respectively.

Keywords: Bagasse Ash, Rice Husk Ash, Almond Husk Ash, compaction test, unconfined compression test.

Introduction

Waste is a source of damage to the environmental; especially to the soils. So it is very important to find economic and also engineering solution to overcome this critical aspect of environmental problem. Geotechnical engineering is a useful and effective way to be a solution for this environmental problem. Many researchers have studied waste material to increase the shear strength of sands (Amelsakhi, 2001, Seco et al., 2011). Shrivastava et al. used rice husk ash in order to investigate the effect of this cultural waste material on the shear reinforced clay parameters. They also studied the settlement of the reinforced clay with rice husk ash. Their laboratory tests showed that the uniaxial strength of the reinforced clay and also the CBR values increased and the settlement decreased. These results show that use of this material and also similar materials, has a positive effect on the reinforced clay with similar materials (Shrivastava et al, 2014). These studies and similar laboratory studies encourage the authors of this article conduct a comprehensive laboratory tests to investigate different cultural waste materials that are produced in Iran to reinforce the clay. This research is based on two important factors; technical and also economic aspects that should be

*Corresponding author: mamelsakhi@yahoo.com
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.3.101684

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]

considered in civil engineering projects. A very important issue that affects the civil engineering projects is the environmental factor. Using these cultural waste materials not only strengthens the clay, but also reduces these economic waste materials in our environment. This aspect of Geo-Environmental Engineering has been widely considered in all the countries like Iran.

Materials and Methods

Bagasse ash, rice husk ash and almond husk ash are used in this research in order to reinforce the clay. Different samples with different percentages by weight of these waste cultural materials are used in laboratory tests. The unconfined shear strength of the reinforced clay with different additions is compared with the base clay; unreinforced clay. The shear strength was determined by the Unconfined Shear Strength laboratory test. The unconfined Shear Strength Test is a reliable laboratory test to investigate the shear strength parameters of clay, so this test is selected in this research. All the tests are carried out at the optimum water content.

Results and Discussion

This research is a laboratory study to improve the geotechnical properties of fine-grained soils. For this purpose, agricultural waste ashes such as sugarcane bagasse, rice husk and almond husk have been used. In this regard, the effect of using ash of the mentioned fibers at of 4, 8 and 12 weight percentages on fine grain clay soils have been investigated. The compaction test results indicate that these additives generally increase the optimum soil moisture and the maximum optimum moisture was observed for the samples made with 12% ash. Also, based on the results of the unconfined compressive strength test, the studied additives have increased the uniaxial strength of the soil; The samples made with 12% ash were the most effective, so that the addition of 12% bagasse ash increased the soil resistance by 117%, and the addition of 12% rice husk ash and almond husk ash increased the soil resistance by 89, 80%. The samples are investigated in order to evaluate the failure cracks at the end of the unconfined shear strength tests. The results obtained show that there is a flexible behavior in the reinforced clay samples in comparison with the base unreinforced clay.

Conclusions

The use of cultural waste material to reinforce the clay has a positive environmental impact. In addition, the use of waste material can increase the shear strength of the mixed clay-waste cultural materials. The main reason for increase in soil parameters is the interlocking effect that occurs between the soil and the added reinforced material. The most important aspect of these extensive laboratory tests demonstrates that waste cultural materials; bagasse ash, rice husk ash and almond husk ash can be used to reinforce the clay and they can be used in many geotechnical engineering projects. These cultural materials are very cheap and available in many parts of Iran.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.3.101684]