اثر هیدروکربن‌های نفتی، خاکستر پوسته برنج و خاکستر زغال‌سنگ بر مقاومت فروروی خاک

سعید گودرزی[1]، محمدعلی حاج‌عباسی[2] و محمدرضا مصدقی[2]
۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این پژوهش، اثرات برهم‌کنش هیدروکربن‌های نفتی و افزودنی‌هایی مانند خاکسترهای پوسته برنج و زغال‌سنگ بر ویژگی‌های مکانیکی خاک بررسی شد. خاک از منطقه بختیاردشت اصفهان، با سطوح آلودگی وزنی ۰، ۲ و ۴٪ تهیه شد. خاکسترهای پوسته برنج (RHA) و زغال‌سنگ (مخلوطی از خاکسترهای بادی و پایینی) در سه سطح ۰، ۴ و ۸٪ وزنی با خاک‌های آلوده و غیرآلوده مخلوط شد و در گلدان‌های kg ۱ به مدت ۱۲۰ روز با دوره آبیاری مشخص در انکوباسیون قرار گرفته سپس مقاومت فروروی تیمارها اندازه‌گیری شد. شاخص مخروطی (CI) با افزایش سطح آلودگی کاهش و با افزایش خاکستر، افزایش یافت به طوری که با افزایش آلودگی نفتی از صفر به ۴ درصد، شاخص مخروطی ۴۰/۸٪ کاهش معنی‌دار یافت. همچنین با افزایش خاکستر از ۴ به ۸٪، شاخص CI افزایش ۴۳/۰۳٪ نشان داد. به طور کلی هیدروکربن‌های نفتی، خاکستر پوسته برنج و زغال‌سنگ سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های مکانیکی خاک شدند.

واژه‌های کلیدی: هیدروکربن‌های نفتی، خاکستر پوسته برنج، خاکستر زغال‌سنگ، مقاومت فروروی، شاخص مخروطی

مقدمه

خاک، بخش بسیار مهمی از محیط زیست جانداران خشکی‌زی در کنار آب و هوا، محیطی منحصر به فرد برای زندگی گیاهان و جانوران است که در حفظ تعادل و حیات این موجودات نیز نقشی حائز اهمیت دارد. خاک به عنوان محیط دانه‌ای طبیعی حاصل از فرسایش و دگرگونی سنگ‌ها، توانایی تحمل نیروهای وارد بر خود را تا حد خاصی داشته و در برابر بار وارد به آن تغییرشکل می‌دهد که این نیروها می‌توانند سبب تخریب فیزیکی خاک شوند. یکی دیگر از انواع تخریب خاک، آلودگی است. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک تعیین‌کننده کیفیت خاک هستند. آلودگی خاک می‌تواند در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی و روش‌های غیراصولی دفع مواد زائد جامد و مایع باشد که این آلودگی سبب کاهش کیفیت خاک، توان تولید مواد غذایی، علوفه و گیاهان صنعتی شده و نتایج نامطلوب اقتصادی به همراه دارد . ورود آلاینده‌های نفتی به محیط زیست به دلیل پایداری و آثار سمّیتی زیاد از اهمیت چشمگیری برخوردار است (کرمانپور، ۱۳۹۲). آبگریزی نسبتاً بالای هیدروکربن‌های نفتی موجب افزایش چشمگیر قابلیت تجمع این آلاینده‌ها در خاک و رسوبات نسبت به محیط‌های آبی می‌شود. پاک‌سازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی با روش‌های گوناگون فیزیکی، بیولوژیک، شیمیایی و غیره امکان‌پذیر است که ممکن است استفاده از اقتصادی نباشد؛ از این رو می‌توان به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک آلوده پرداخته و ویژگی‌های مهندسی این خاک‌ها را بهبود بخشید.

اصلاح‌کننده‌های خاک ترکیباتی هستند که برای بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک و به ویژه تأمین عناصر غذایی گیاه به خاک اضافه می‌شوند.. موادی جهت اصلاح خاک‌ها وجود دارند که طی فرآیندهای صنعتی به وجود می‌آیند. پژوهش‌ها نشان می‌دهدکه افزودن پسماندهای صنعتی مانند خاکستر بادی، آهک، گچ، زئولیت، شن ریخته‌گری، سرباره صنایع فولاد، مواد لایروبی و فوم‌های سیلیکاتی در خاک‌ها، ساختمان خاک را بهبود و انبساط و تورم را در خاک‌های رسی کاهش می‌دهند (Lu et al., 2014). استفاده از خاکستر در خاک‌های با دانه‌بندی ریز جهت بهبود ویژگی‌های مهندسی مورد آزمایش قرار گرفته که نتایج نشان می‌دهد مقاومت فشاری و گنجایش باربری خاک بهبود یافته و کشسانی خاک کاهش یافته است (Yilmaz, 2015).

به بقایای غیرقابل سوختنی که از سوختن زغال‌سنگ در کوره نیروگاه‌های حرارتی برجا می‌ماند، خاکستر زغال‌سنگ گویند. ذرات ریز و سبک‌تر این خاکستر به وسیله جریان گاز خارج شده و در رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک جمع‌آوری می‌شوندکه به آن خاکستر بادی[1] گفته می‌شود و خاکسترهایی که در پایین کوره‌ها جمع می‌شوند را خاکستر پایینی زغال‌سنگ[2] گویند (Mukhtar et al. 2003). موارد استفاده زیادی از خاکستر بادی مانند تولید سیمان، زیرساخت جاده‌ها، احیای معادن، تولید پشم معدنی، بازیافت و بهسازی کیفیت فلزات و همچنین به عنوان مواد جایگزین خاکدانه‌ها می‌توان داشت. هرچند که در حال

1. fly ash
2. bottom ash

حاضر مقدار بسیار زیادی از خاکستر بادی تولید شده در دنیا، به محیط زیست ریخته و دفن می‌شود (Ukwattage et al., 2013). بهره‌وری از این خاکسترها به وسیله کشورهای مختلف جهت حذف و یا به حداقل رساندن خطرهای ناشی از استفاده آن در حال بررسی است (Yilmaz, 2015). ذرات خاکستر پایینی درشت، زاویه‌دار، غیرمنظم، متخلخل و دارای سطح زبر بوده و رنگ متمایل به خاکستری دارند. دامنه اندازه ذرات خاکستر پایینی از ریگ ریز تا شن ریز است و ذراتی در حدود ۰/۱ تا ۲۰ میلی‌متر را شامل می‌شود (Blissett and Rowson, 2012).

خاکستر پوسته برنج در نتیجه سوزاندن پوسته برنج در دمای ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس حاصل شده که حاوی ذرات SiO_2 است (Qu et al., 2014). خاکستر پوسته برنج دارای کربن و سیلیسیم بالایی بوده که می‌تواند سبب تغییرات نامطلوبی در ویژگی‌های آب و خاک شود. خاکستر پوسته برنج سبک، حجیم و دارای تخلخل بالایی است و دارای سیلیسیم، کربن، فسفر و پتاسیم است (Della et al., 2002). در این پژوهش تأثیر هیدروکربن‌های نفتی (در نسبت‌های وزنی ۰، ۲ و ۴٪) و خاکسترهای پوسته برنج و زغال‌سنگ (با نسبت‌های ۴ و ۸٪ وزنی) بر حدود آتربرگ، شاخص‌های پایداری و مقاومت فروروی خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک و اندازه‌گیری غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) موجود در خاک

نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک از پالایشگاه اصفهان (واقع در شمال غربی اصفهان و در منطقه بختیاردشت) به صورت دستی و کاملاً تصادفی از سه نقطه در منطقه بختیاردشت برداشت شد. برای اندازه‌گیری کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در خاک‌های آلوده، از دستگاه سوکسله استفاده شد (USEPA, 1982). میزان هیدروکربن‌های موجود درخاک بر حسب گرم بدست آمده و با تقسیم این مقدار بر وزن خاک مورد آزمایش درصد TPHs از رابطه زیر محاسبه شد:

$$TPH\% = \frac{W_2 - W_1}{M_s} \times 100 \quad (۱)$$

که در این معادله W_2 جرم بالن جوش و عصاره نفتی استخراج شده، w_1 جرم بالن جوش خالی در ابتدای آزمایش و Ms جرم خاک خشک است (USEPA, 1982).

تهیه نمونه‌های خاک آلوده، نمونه‌های خاکستر و نمونه‌های نهایی برای آزمایش اصلی

بعد از تعیین میزان آلودگی خاک، به منظور رقیق‌سازی و رسیدن به آلودگی مورد نظر در انجام آزمایش، خاک غیرآلوده برداشت شده از همان منطقه با خاک آلوده به گونه‌ای مخلوط شد تا میزان آلودگی خاک‌ها از سطح آلودگی اولیه کمتر شده و در سه سطح صفر، ۲ و ۴ درصد آلودگی آماده شدند.

خاکستر زغال‌سنگ از کوره‌های ذوب‌آهن در شیراز تهیه شده و پوسته برنج ازشالیکوبی‌های واقع در استان اصفهان تهیه شد. برای تهیه خاکستر پوسته برنج، پوسته‌ها به مدت ۸ ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. خاکسترهای بدست آمده از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. خاک‌ها و خاکسترهای تهیه شده با سطوح ۰، ۲ و ۴ درصد آلودگی و سطوح ۴ و ۸ درصد ازخاکستر زغال‌سنگ و خاکستر پوسته برنج در سه تکرار با یکدیگر مخلوط شده و برای انجام آزمایش‌های اصلی به مدت ۱۲۰ روز با دوره آبیاری مشخص و در گلدان‌های ۱ کیلوگرمی در گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان در انکوباسیون قرار گرفت.

تهیه نمونه‌ها و اندازه‌گیری مقاومت فروروی خاک

برای تهیه نمونه‌های مقاومت فروروی، از سیلندرهایی به قطر ۵/۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۳ سانتی‌متر استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از پل رطوبتی به رطوبت PL ۰/۸۵ رسانده شدند. مقاومت فروروی (PR) با استفاده از دستگاه تک‌محوری و میله فروسنج با زاویه مخروط ۳۰ درجه، قطر مخروط ۴ میلی‌متر، سرعت فروروی ۲ میلی‌متر بر دقیقه و با استفاده از فرمول زیر اندازه‌گیری و محاسبه شد:

$$F_{average} = \sqrt[9]{\prod_{i=1}^{9} Fi} \quad (۲)$$

که در آن $F_{average}$ میانگین هندسی نیرو و F_i مقدار نیرو در هر یک از اندازه‌گیری‌ها است. در نهایت شاخص مخروطی (CI) برای هر نمونه محاسبه شد (Celik et al., 2010):

$$CI = \frac{F_{average}}{A_{cone}} \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و بکارگیری نرم‌افزار SAS 9.0 انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمارها، مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر سطح آلودگی، نوع و درصد اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار مقاومت فروروی در خاک غیرآلوده دیده شد. روند کاهشی و معنی‌داری با افزایش سطح آلودگی وجود داشت تا آنجا که مقدار مقاومت فروروی با افزایش سطح آلودگی نفتی از صفر به ۴ درصد به مقدار ۴۰/۸ درصد کاهش معنی‌دار یافت. کمترین مقاومت فروروی در تیمار مخلوط شده با خاکستر پوسته برنج دیده شد. افزایش درصد اصلاح‌کننده نیز تأثیر معنی‌داری بر مقاومت فروروی داشت به طوری که بیشترین مقاومت به فروروی در سطح خاکستر ۸ درصد دیده شد و مقدار افزایش سطح خاکستر از ۴ به ۸ درصد موجب افزایش ۴۳/۰۳ درصدی شاخص مخروطی شد (جدول ۲). تیمارهای خاکستر زغال‌سنگ به دلیل داشتن ذرات درشت‌تر (در اندازه شن) و تشکیل فضای بین ذره‌ای برای پیوندهای رسی-شن و همچنین گنجایش رطوبتی کمتر نسبت به سایر تیمارها، بیش‌ترین مقدار شاخص مخروطی (CI) را داشت. وجود آلودگی با ویژگی روان‌کاری و خاکستر پوسته برنج با داشتن ذرات در اندازه سیلت و شن می‌توانند در رطوبت نزدیک به گنجایش مزرعه‌ای منجر به کاهش مقدار شاخص مخروطی شوند. پژوهشگران یافته‌اند که در خاک‌های بدون ساختمان یا با ساختمان ضعیف، در هنگام مرطوب شدن، ذرات سیلت و رس به فضاهای بین دانه‌ای شن منتقل شده و به عنوان پل‌های اتصال‌دهنده دانه‌ها عمل کرده و به این طریق سبب افزایش مقاومت خاک می‌شوند (فراهانی و همکاران، ۱۳۹۱).

افزایش آلودگی منجر به کاهش مقاومت فروروی شده که این روند ممکن است ناشی از برهم‌کنش سیال منفذی و مواد معدنی موجود درخاک باشد که منجر به کاهش ویژگی‌های اصطکاکی تماس ذرات خاک می‌شود. این یافته ها با نتایج پژوهش‌های میگودا و راتناویرا (۱۹۹۴) هماهنگ است. آن‌ها دریافتند که گرانروی زیاد هیدروکربن‌های نفتی موجب افزایش تراکم‌پذیری و کاهش مقاومت خاک می‌شود.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطح آلودگی، نوع و درصد اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی (CI) در مخلوط‌های خاک-خاکستر-هیدروکربن‌های نفتی* (N=۱۵)

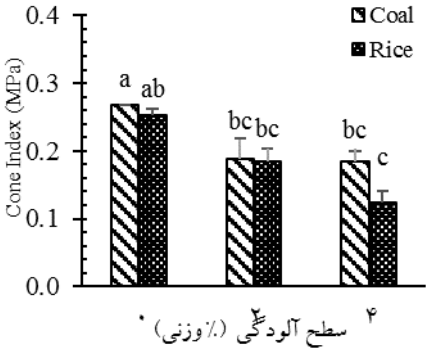
عوامل آزمایش	CI (MPa)
آلودگی (وزنی)	
۰٪	۰/۲۶[a]
۲٪	۰/۱۹[b]
۴٪	۰/۱۵[c]
نوع اصلاح کننده	
پوسته برنج	۰/۱۸[b]
زغال‌سنگ	۰/۲۱[a]
درصد اصلاح‌کننده (وزنی)	
۴٪	۰/۱۷[b]
۸٪	۰/۲۴[a]

*درهر ستون و در هر گروه، میانگین‌های با حروف متفاوت از نظر آماری در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار دارند (آزمون LSD).

از طرفی حضور آلاینده‌های نفتی در خاک سبب انجام واکنش‌های فیزیکوشیمیایی شده که منجر به تغییراتی در ساختمان خاک و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن می‌شود. در نهایت این واکنش‌ها تغییراتی در قطر لایه پخشیده ایجاد کرده و سبب ایجاد ساختمان دانه‌ای شده و افزایش آن در خاک ساختمان پراکنده ایجاد می‌کند. وجود آلاینده‌های نفتی با حضور آنیون‌ها می‌تواند سبب گسستن پیوندهای بین ذرات خاک شده و ناپایداری خاک را به همراه داشته باشد.

بررسی آثار برهم‌کنش سطح آلودگی و نوع اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی (CI)، روند کاهشی را با افزایش سطح آلودگی نشان می‌دهد (شکل ۱). در هر سطح آلودگی، تیمار مخلوط با خاکستر زغال‌سنگ مقاومت بیش‌تری در مقایسه با تیمار مخلوط با خاکستر پوسته برنج نشان داد ولی این تفاوت معنی‌دار نبود. افزایش میزان آلودگی سبب کاهش در سطح

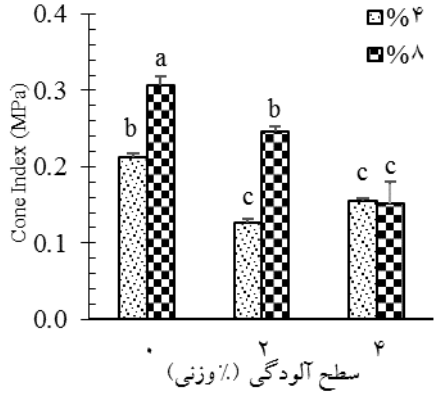
مقاومتی تیمارها شده و بیش‌ترین مقدار مقاومت فروروی در تیمار خاک غیرآلوده با خاکستر زغال‌سنگ و کم‌ترین مقدار این پارامتر در تیمار دارای سطح آلودگی ۴ درصد و مخلوط با خاکستر پوسته برنج گزارش شد. همچنین می‌توان افزایش گنجایش تبادل کاتیونی را به دلیل افزودن خاکسترها پیش‌بینی کرد که منجر به چسبندگی بیشتر ذرات خاک به یکدیگر شده و همین امر سبب افزایش مقاومت خاک می‌شود. در سطح آلودگی ۴ درصد تفاوت بیشتری در بین نوع اصلاح‌کننده‌ها مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر خاکستر زغال‌سنگ در مقادیر بیشتر آلودگی است اگرچه این تغییرات معنی‌دار نبود.



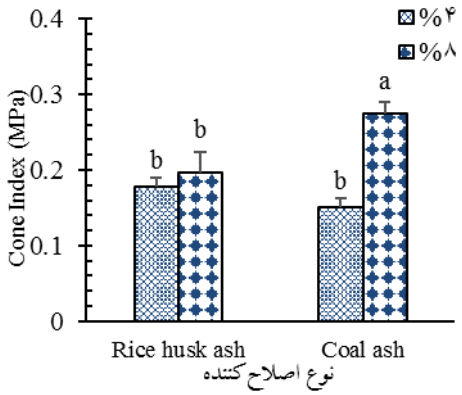
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطح آلودگی نفتی و نوع اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی (CI) خاک.

بررسی آثار برهم‌کنش سطح آلودگی و درصد خاکسترها نشان می‌دهد که بین سطوح اصلاح‌کننده ۴ و ۸ درصد خاکستر در خاک غیرآلوده و خاک با ۲ درصد آلودگی نفتی تفاوتی معنی‌دار وجود داشته اما در سطح آلودگی ۴ درصد اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۴ و ۸ درصد خاکستر وجود ندارد؛ هرچند که با سایر سطوح آلودگی اختلاف به شدت معنی‌داری دیده می‌شود (شکل ۲). افزایش سطح خاکستر در تیمار خاک غیرآلوده از ۴ به ۸ درصد، افزایش ۴۴/۶ درصدی و معنی‌دار را در مقاومت فروروی ایجاد کرد که با افزایش آلودگی خاک به ۲ درصد، این اختلاف بین سطوح خاکستر بیشتر شده و به ۹۴/۸ درصد رسید. حدادیان (۱۳۹۵) نیز گزارش کرد که با افزایش سطح کاربرد تیمارهای آلی در خاک لوم شنی، مقاومت فروروی کاهش می‌یابد. وی یافته خود را به دلیل کاهش نیروی اصطکاک داخلی بین ذرات در حضور مواد آلی عنوان کرد. ایشان کاهش مقاومت خاک در اثر افزودن مواد آلی را به آثار کوتاه‌مدت مواد آلی مانند پوک و سبک کردن خاک مربوط دانست. بخشی از مواد و آلاینده‌های آلی، به علت نبود کانی‌های لازم و نیز سطح ویژهٔ مناسب، جذب ذرات رس نمی‌شوند و در فضای بین ذرات باقی مانده و در سهولت جابه‌جایی ذرات مؤثرند. عامل مؤثر در کاهش مقاومت خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی نسبت به خاک غیرآلوده را می‌توان با این موضوع مرتبط دانست. نتایج نشان داد، مقاومت فروروی به ازای افزایش مقدار اصلاح‌کننده افزایش می یابد (شکل ۳). در سطح ۸ درصد، تفاوت اثر خاکستر زغال‌سنگ دیده شد. سطح ۴ درصد از خاکستر پوسته برنج نسبت و زغال‌سنگ، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. افزایش خاکستر زغال‌سنگ از ۴ به ۸ درصد موجب افزایش ۸۱/۶ درصدی شاخص مخروطی شد. بالا بودن میزان سیلیس در خاکستر پوسته برنج و خاکستر زغال‌سنگ سبب انجام واکنش‌های پوزولانی شده که می‌تواند موجب استحکام توده خاک و به عبارتی افزایش مقاومت خاک شود (هوائی و زارع، ۱۳۹۳).

به طور کلی نتایج نشان داد بیش‌ترین شاخص CI در تیمار خاک غیرآلوده با سطح ۸ درصد خاکستر زغال‌سنگ و کم‌ترین مقدار آن در سطح ۴ درصد آلودگی و کاربرد ۸ درصد خاکستر پوسته برنج دیده شد. هیدروکربن‌های نفتی اثری معنی‌دار بر شاخص مخروطی (CI) تیمارها نشان دادند. بیشترین مقدار شاخص CI در تیمارهای غیرآلوده و کمترین مقدار شاخص مخروطی در سطح ۴ درصد آلودگی نفتی دیده شد. خاکستر زغال‌سنگ افزایش بیش‌تری را در شاخص مخروطی موجب شد. سطوح متفاوت از اصلاح‌کننده‌ها اثری معنی‌دار بر شاخص CI داشته به طوری که بیشترین شاخص CI در سطح ۸ درصد از اصلاح‌کننده‌ها دیده شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطح آلودگی نفتی و درصد اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی (CI) خاک



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نوع و درصد اصلاح‌کننده بر شاخص مخروطی (CI) خاک

به طور کلی نتایج نشان داد بیش‌ترین شاخص CI در تیمار خاک غیرآلوده با سطح ۸ درصد خاکستر زغال‌سنگ و کم‌ترین مقدار آن در سطح ۴ درصد آلودگی و کاربرد ۸ درصد خاکستر پوسته برنج دیده شد. هیدروکربن‌های نفتی اثری معنی‌دار بر شاخص مخروطی (CI) تیمارها نشان دادند. بیشترین مقدار شاخص CI در تیمارهای غیرآلوده و کمترین مقدار شاخص مخروطی در سطح ۴ درصد آلودگی نفتی دیده شد. اثر خاکسترهای پوسته برنج و زغال‌سنگ بر شاخص مخروطی (CI) تیمارها معنی‌دار شدند. خاکستر زغال‌سنگ افزایش بیش‌تری را در شاخص مخروطی موجب شد. سطوح متفاوت از اصلاح‌کننده‌ها اثری معنی‌دار بر شاخص CI داشته به طوری که بیشترین شاخص CI در سطح ۸ درصد از اصلاح‌کننده‌ها دیده شد.

منابع

حدادیان، م.، ۱۳۹۵. *اثر بقایای تازه، بیوچار و کمپوست شاخساره درختچه برگ نو بر کمیت‌های آب قابل‌استفاده (PAW، LLWR، IWC، E_1) و کیفیت فیزیکی در دو خاک با بافت متفاوت*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

فراهانی، ا.، م. ر. مصدّقی و ع. ا. محبوبی، ۱۳۹۱. اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی و بررسی پدیده سخت‌شوندگی در برخی از خاک‌های استان همدان، *مجله علوم آب و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۶۱: ۱۸۱-۱۹۴.

کرمانپور، م.، ۱۳۹۲. *اثر آلودگی‌های نفتی بر ویژگی‌های هیدرولیکی، آب قابل استفاده و آبگریزی خاک در بختیار دشت اصفهان*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

لشکری‌پور، غ. ر.، م. غفوری و ف. رجایی، ۱۳۸۹. تأثیر آلودگی نفتی روی ویژگی‌ها مکانیکی ماسه، سیلت و رس، *چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور*، مشهد.

Blissett, R. S. and N. A. Rowson. 2012. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash. *Fuel*. 97: 1–23.

Celik, I., H. Gunal, M. Budak and C. Akpinar. 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*. 160: 236–243.

Della, V. P., I. Kühn and D. Hotza. 2002. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. *Mater. Lett.* 57: 818–821.

Kumar, S., A. Kadono, R. Lal and W. Dick. 2012. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio. Soil Sci. Soc. Am. J. 76: 1798–1809.

Lu, S. and L. Zhu. 2004. Effect of fly ash on physical properties of ultisols from subtropical China. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 703–717.

Lu, S. G., F. F. Sun and Y. T. Zong. 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena. 114: 37–44.

Meegoda, N. J. and P. Ratnaweera. 1994. Compressibility of contaminated fine-grained soils. Geotech. Test. j. 17: 101–112.

Mukhtar, S., A. L. Kenimer, S. S. Sadaka and J. G. Mathis. 2003. Evaluation of bottom ash and composted manure blends as a soil amendment material. Bioresour. Technol. 89: 217–228.

Qu, J., B. Li, T. Wei, C. Li and B. Liu. 2014. Effects of rice husk ash on soil consistency and compactibility. Catena. 122: 54–60.
United States. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. 1982. Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods. 87: 120291
Yilmaz, Y. 2015. Compaction and strength characteristics of fly ash and fiber amended clayey soil. Eng. Geol. 188: 168–177.

The effect of petroleum hydrocarbons, rice husk ash and cola ash on soil penetration resistance

S. Goudarzi[1], M. A. Hajabbasi[2] and M. R. Mosaddeghi[2]
[1]. Graduated student (M.Sc.) and Professor, Department of Soil Science, Isfahan University of Technology

Abstract
In this study, interaction effects of petroleum hydrocarbons and rice husk ash and coal ash amendments on soil mechanical properties were studied. Soil from Isfahan refinery complex (Bakhtiyardasht) with 0, 2 and 4% (by weight) pollution was used after passing through 2 mm sieve. Rice husk ash (RHA) and coal ash (a mixture of fly ash and bottom ash) in three levels of 0, 4 and 8% by weight was mixed with contaminated and non-contaminated soils then were put in 1 kg pots and incubated for 120-day with specified irrigation period, afterwards, the Penetration resistance (PR) was measured. The results showed that the cone index (CI) decreased by 40.8% with increase the pollution from 0 to 4% and significantly increased with higher levels of ash. Also, by increase the ashes rate from 4 to 8%, the cone index increased by 43.03%. In general, petroleum hydrocarbons, rice husk ash and coal ash caused significant changes in the soil penetration resistance.

Keywords: Petroleum hydrocarbons, Rice husk ash, Coal ash, Penetration resistance, Cone index