نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد 11، مرداد - شهریور 1396، ص. 434-424

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 11, Agu.-Sept. 2017, p. 424-434

بررسی راهکارهای افزایش پایداری شیب‌های خاکی در کانال‌های آبیاری

قاسم پناهی[1]، سعیدرضا خداشناس[2*]

تاریخ دریافت: 1395/8/26 تاریخ پذیرش: 1395/11/24

چکیده

از دیدگاه مهندسی ژئوتکنیک، روش‌های افزایش پایداری شیب‌های خاک به سه دسته کلی روش‌های مکانیکی، تسلیح خاک و شیمیایی، تقسیم می‌شوند. اصلاح رفتار خاک به کمک افزودنی‌ها که جز روش‌های شیمیایی طبقه‌بندی می‌شود، همواره به عنوان یکی از روش‌های موثر در افزایش پایداری شیب‌های خاکی، مدنظر پژوهشگران در مهندسی ژئوتکنیک بوده است. در این پژوهش اثر افزودن چهار ماده سدیم‌کلرید[3]، کلسیم‌کلرید[4]، آهک[5] و مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر، در سه سطح 5، 7/5 و 10 درصد وزنی طی دو دوره عمل‌آوری 7 و 21 روز، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که سدیم‌کلرید، پایداری شیب‌های خاکی را کاهش و کلسیم‌کلرید، آهک و مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر موجب افزایش پایداری در شیب‌های خاکی می‌شوند. همچنین نتایج بیانگر آن بود که دوره عمل‌آوری 21 روزه نسبت به دوره عمل‌آوری 7 روزه تاثیر بیش‌تری در افزایش یا کاهش پایداری شیب‌های خاکی داشت.

واژه‌های کلیدی: آهک، خاکستر تفاله نیشکر، سدیم‌کلرید، کلسیم‌کلرید، کانال خاکی

مقدمه

پایداری شیب‌های خاکی به عوامل متعددی وابسته می‌باشد. از جمله عوامل مهم و موثر در پایداری شیب‌های خاکی می‌توان به دبی عبوری از کانال، زاویه شیب، جنس خاک، چسبندگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، مقاومت برشی خاک و ... اشاره کرد. خاک اکثر نقاط کشورمان را خاک‌های ریزبافت و رسی تشکیل می‌دهند که در اکثر مواقع این خاک‌ها از نظر ظرفیت باربری، نشست، تورم و ..... جز خاک‌های مساله‌دار محسوب می‌شوند. این ویژگی خاک‌های ریزبافت و رسی سبب کاهش پایداری در شیب‌های خاکی می‌شوند که برای اصلاح آن‌ها از روش‌های مکانیکی، تسلیح خاک و روش-های شیمیایی، کمک می‌گیرند. در اصلاح رفتار خاک به روش مکانیکی که بیش‌تر در احداث سدها کاربرد دارد، خاک را بوسیله غلطک‌های مناسب، متراکم می‌کنند. در این روش برای رسیدن به تراکم مورد نظر، غلطک‌ها به دفعات روی خاک محل مورد نظر حرکت می‌کنند. در اصلاح خاک به روش تسلیح، در خاک مورد نظر از تیرک‌هایی با جنس‌های مختلف (چوبی، فلزی، بتنی و ...) استفاده می‌شود. در این روش اصطکاک بین خاک و تیرک، موجب افزایش پایداری می‌شود. در اصلاح رفتاری خاک‌های مساله‌دار به روش شیمیایی، معمولا به آن موادی که دارای کلسیم و سلیسیم می‌باشند، مانند آهک، سیمان، کلسیم‌کلرید و ... اضافه می‌کنند. حضور کلسیم در خاک باعث ساخته شدن و تشکیل خاکدانه‌ها شده و سیلیسیم موجب سخت شدن خاکدانه‌ها می‌شود. تشکیل خاکدانه‌ها در خاک و همچنین سخت شدن آن‌ها باعث افزایش مقاومت برشی خاک شده که در جهت افزایش پایداری شیب‌های خاکی می‌باشد. تکنیک اصلاح خاک‌های مساله‌دار با آهک از زمان‌های گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در ایران نیز تحقیقات بسیاری در رابطه با اصلاح و تثبیت خاک‌های رسی به روش شیمیایی، انجام شده است. شهسواری و عباسی (1390)، طی انجام آزمایشی تاثیر افزودن نمک سدیم‌کلرید به خاک رس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود نمک سدیم‌کلرید در خاک باعث کاهش چسبندگی و افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. کوثیم و همکاران نیز نشان دادند افزودن محلول سدیم‌کلرید به خاک، مقاومت آن را کاهش داد (Kusim et al., 2013). آمو و سلیمی نشان دادند که با افزودن نمک‌های سدیم، کلسیم و منیزیم به خاک، ظرفیت باربری خاک رسی را می‌توان افزایش داد(Amu and Salimi,2010). شهسواری

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد
2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

3- NaCl
4- CaCl2
5- CaCO3

و عباسی (1390) با افزودن نمک سولفات سدیم[1] به خاک رس، نشان دادند که افزودن نمک مورد نظر به خاک رسی چسبندگی خاک کاهش و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می‌یابد. صداقت و خمیری (1394) با افزودن محلول کلسیم‌کلرید به خاک رس، تغییرات پارامترهای مقاومتی خاک را با دستگاه برش مستقیم، مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها افزایش چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک را نشان داد. عابود و همکارن، بهبود مقاومت فشاری خاک رسی را با افزودن ترکیبات کلردار به آن را گزارش کردند (Abood et al., 2007). جافر، طی انجام آزمایشاتی بر خواص فیزیکی یک نمونه خاک رسی چنین نتیجه‌گیری کرد که افزودن ترکیبات کلردار به خاک رسی موجب افزایش مقاومت برشی و وزن مخصوص و در عین حال سبب کاهش رطوبت بهینه می‌شود (Jafer., 2013). شریعتمداری و همکاران نیز با انجام آزمایشاتی چنین نتیجه‌گیری کردند که با افزودن ترکیبات کلردار به خاک‌های رسی، وزن مخصوص و هدایت هیدرولیکی خاک افزایش و رطوبت بهینه و پتانسیل تورم خاک کاهش می‌یابد (Shariatmadari etal., 2011). طاهرخانی و جوانمرد (1394)، طی انجام پژوهشی تاثیر آهک و سیمان را بر پتانسیل تورم خاک‌های رسی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن آهک و سیمان به خاک‌های رسی، پتانسیل تورم آن را کاهش می‌دهد. همچنین بیان کردند که تاثیر افزودن سیمان به خاک‌هایی که دامنه خمیرایی کمی دارند، بیش‌تر از تاثیر آهک می‌باشد. عابدی و همکاران (1394)، تاثیر آهک را بر دوام و پایداری خاک‌های رسی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با افزودن آهک به خاک‌های رسی، می‌توان میزان تورم خاک‌های رسی را به میزان 10% کاهش داد. کالیک و صادقلو، تاثیر آهک بر مقاومت فشاری تک محوره خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها افزایش مقاومت فشاری در خاک اصلاح شده با آهک را نشان می‌دهد (Calik and Sadeghlu., 2014). ماکی و همکاران نیز با بررسی اثر افزودن آهک به خاک‌لای با انجام آزمایش برش سه‌محوری چنین گزارش کردند که افزودن آهک به خاک‌لای باعث افزایش چسبندگی و کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود (Makki etal., 2015). عسگری و همکاران، اثر سیمان و آهک را بر روی پارامترهای فیزیکی و مقاومت فشاری خاک رس با خمیرایی کم را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش درصد سیمان و آهک در خاک، مقدار رطوبت بهینه کاهش و حداکثر وزن مخصوص خشک و مقاومت فشاری خاک افزایش می‌یابد (Asgari etal., 2015). چانگ و کاسیم، با انجام آزمایش برش مستقیم، اثر آهک بر خاک رس را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با انجام این آزمایش نشان دادند که با افزودن آهک به خاک رسی، چسبندگی افزایش و زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می‌یابد (Chong and Kasim., 2015). ابدی و همکاران، با بررسی عددی تاثیر آهک بر خاک‌لای، افزایش پایداری خاک اصلاح شده با آهک را گزارش کردند (Abdi et al., 2015). دی سانته و همکاران، با انجام آزمایش برش تک-محوری و هدایت هیدرولیکی، افزایش مقاومت و کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی را با افزودن آهک به خاک رسی گزارش کردند (Disante et al., 2015). نائینی و همکاران و جاها و سیواپولا، افزایش مقاومت خاک و ظرفیت باربری آن و همچنین کاهش پتانسیل تورم را با افزودن آهک به خاک رس گزارش کردند (Naeini et al., 2015 and Jha and Sivapullaiah., 2015). علی و همکاران با افزودن خاکستر تفاله نیشکر و پودر سنگ به خاک رس نشان دادند که افزودن این دو ماده به خاک رسی سبب کاهش پتانسیل تورم و رطوبت بهینه و افزایش وزن مخصوص می‌شود(Ali etal., 2014). قو و همکاران با افزودن خاکستر ساقه برنج به خاک-لای، تغییرات حدود اتربرگ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزودن خاکستر ساقه برنج به خاک‌لای، حد خمیری و حد روانی افزایش پیدا می‌کنند (Qu et al., 2014). صادیق و همکاران افزایش ظرفیت باربری را با افزودن خاکستر تفاله نیشکر به خاک رس گزارش کردند (Sadeeq et al., 2015). دانسو و همکاران نشان دادند که با افزودن خاکستر ساقه نیشکر به ماسه، مقاومت کششی آن را افزایش و وزن مخصوص آن را کاهش می‌دهد(Danso et al., 2015). کومار و کاپتا، افزایش مقاومت فشاری خاک‌لای را با افزودن خاکستر ساقه برنج گزارش کردند (Kumar and Gupta., 2015). مالیک و همکاران با افزودن خاکستر زغال‌سنگ به خاک رسی، نشان دادند که با افزودن خاکستر زغال‌سنگ به خاک رسی موجب افزایش مقاومت خاک و ظرفیت باربری آن می‌شود (Malik etal., 2015). عزیز و همکاران با افزودن خاکستر ساقه برنج به یک نمونه خاک رس، خواص فیزیکی آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان خمیرایی و پتانسیل تورم خاک با افزودن خاکستر ساقه برنج، کاهش می‌یابد (Aziz etal., 2015). در جدول1 خلاصه‌ای از مطالعات گذشته ارایه شده است.

در این پژوهش، تاثیر 4 ماده سدیم‌کلرید، کلسیم‌کلرید، آهک و مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر، بر دو نوع خاک ریزدانه (رس و لای) بررسی شد. هدف از این پژوهش، انتخاب ماده‌ای است که بتواند مشکلات مقاومتی و مکانیکی خاک‌های ریزدانه و رسی که یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری می‌باشد را برطرف می‌کند.

1- Na2SO4

جدول1 – خلاصه‌ای از نتایج بررسی مقاومت مکانیکی خاک تحت اثر افزودنی‌های مختلف در مطالعات گذشته

ردیف	محقق	سال	خاک	نوع ماده افزودنی	آزمایش	درصد تغییرات
1	صداقت و خمیری	1394	رس	محلول کلسیم‌کلرید	آزمایش برش مستقیم	95% افزایش در چسبندگی 1/26% افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک
2	Kusim et al	2013	رس	محلول سدیم‌کلرید	آزمایش تک‌محوری	25% کاهش مقاومت
3	شهسواری و عباسی	1390	رس	سدیم‌کلرید	آزمایش سه‌محوری	0/63% کاهش در چسبندگی 0/16%کاهش در زاویه اصطکاک داخلی خاک
4	شهسواری و عباسی	1390	رس	سولفات‌سدیم	آزمایش سه‌محوری	18% کاهش در چسبندگی 50% افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک
5	Abood et al	2007	رس	ترکیبات کلردار	آزمایش تک‌محوری	80% افزایش مقاومت
6	عابدی و همکاران	1394	رس	آهک	آزمایش تک‌محوری	278% افزایش مقاومت
7	Naeini et al	2015	رس	آهک	آزمایش برش مستقیم	20% افزایش در چسبندگی 14% کاهش در زاویه اصطکاک داخلی خاک
8	Jha et al	2015	رس	آهک	آزمایش تک‌محوری	430% افزایش مقاومت
9	Chong and Kassim	2014	رس	آهک	آزمایش تک‌محوری	170% افزایش مقاومت
10	Calik and Sadoghlu	2013	رس	آهک	آزمایش تک‌محوری	16% افزایش مقاومت
11	Makki et al	2013	لای	آهک	آزمایش سه‌محوری	75% افزایش در چسبندگی 10% افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک
12	Asgari et al	2013	رس	آهک	آزمایش تک‌محوری	550% افزایش مقاومت
13	Danso et al	2015	ماسه	خاکستر ساقه نیشکر	آزمایش مقاومت‌کششی	141% افزایش مقاومت
14	Kumar and Gupta	2015	لای	خاکستر ساقه برنج	آزمایش تک‌محوری	120% افزایش مقاومت
15	Malik et al	2015	رس	خاکستر زغال سنگ	آزمایش تک‌محوری	102% افزایش مقاومت

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، دو نمونه خاک ریزدانه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های دانه‌بندی انجام شده به روش‌های الک و هیدرومتر، بر اساس استانداردهای طبقه‌بندی در سیستم یونیفاید، خاک‌ها در گروه CH (خاک رس با خمیرایی زیاد) و ML (خاک‌لای با پلاسیسیته کم)، طبقه‌بندی شدند. اطلاعات مربوط به دانه‌بندی و پارامترهای فیزیکی خاک‌ها در جدول 2 شرح داده شده است. مشخصات مواد افزوده شده برای بررسی تاثیر آن‌ها بر مقاومت خاک‌ها نیز در جدول3 آورده شده است. در این پژوهش مقاومت فشاری محصور نشده خاک که از پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری شیب‌های خاکی می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

سالانه بیش از یک میلیون تن تفاله نیشکر (باگاس)، بعد از شربت‌گیری در کارخانجات قند و شکر تولید می‌شود. این تفاله‌ها در اکثر مواقع توسط کارخانه‌ها سوزانده می‌شود و یا در محلی در نزدیکی کارخانه دفن می‌شود. تفاله ساقه نیشکر بدلیل داشتن مواد قندی، پس از گذشت مدت زمانی کوتاه طی فرآیند تخمیر، الکل تولید می‌کند. با بالا رفتن دمای محیط دفن، باگاس دچار خودسوزی شده و بدون هیچ‌گونه استفاده‌ای از بین می‌رود.

جدول 2– درصد ذرات و پارامترهای فیزیکی خاک‌های مورد آزمایش

خاک	رس (%)	لای (%)	ماسه (%)	چگالی (Kg/m^3)	وزن مخصوص خشک حداکثر (KN/m^3)	رطوبت بهینه(%)	رطوبت حد روانی(%)	رطوبت حد خمیری(%)
نمونه1(CH)	47	12	41	2590/52	14/32	24/5	87/2	28/9
نمونه2(ML)	23	61	16	2572/84	19/42	11/7	24/6	-

جدول 3- مشخصات افزودنی‌های مورد استفاده در آزمایش

ماده	فرمول شیمیایی	شکل ظاهری	چگالی (gr/cm^3)	وزن مخصوص (kN/m^3)	حلالیت بر حسب گرم در 100 گرم آب 20 درجه
سدیم کلرید	NaCl	پودر-سفیدرنگ	2/16	21/18	35/9
کلیسم کلرید	$CaCl_2$	دانه‌ای-سفیدرنگ	2/15	21/09	74/5
آهک	$CaCO_3$	پودر-سفیدرنگ	2/71	26/58	-

باگاس را می‌توان یکی از منابع غنی سیلیس دانست. برای استفاده کردن از سیلیس موجود در گیاه نیشکر، باید سیلیس موجود در آن به صورت خالص، از آن جدا شود. یکی از روش‌های استخراج سیلیس از تفاله ساقه نیشکر، سوزاندن آن و تبدیل کردن آن به خاکستر می‌باشد. خالص بودن و مقدار سیلیس حاصل از سوختن تفاله ساقه نیشکر، به مدت زمان و دمای سوزاندن آن بستگی دارد. تولید حداکثر سیلیس با درصد خلوص بالا، با سوزاندن تفاله نیشکر در دمایی بین 500 تا 650 درجه سانتی‌گراد به مدت 2 ساعت می‌باشد. برای تولید خاکستر از تفاله نیشکر برای بکار بردن در این پژوهش، تفاله نیشکر به مدت 2 ساعت در کوره‌ای با دمای 600 درجه سانتی-گراد سوزانده شد. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاکستر تفاله نیشکر و آهک در جدول4 آمده است. کلسیم‌کلرید مورد استفاده در این پژوهش به صورت دانه‌های سفیدرنگ با ابعاد 2 تا 6 میلی‌متر بود که به صورت بسته‌های یک کیلوگرمی در بازار قابل تهیه می‌باشد. سدیم‌کلرید مورد استفاده نیز به صورت پودر سفیدرنگ در بسته‌های نیم کیلوگرمی در بازار موجود می‌باشد. آهک مصرفی در این پژوهش، آهک صنعتی ساوه از نوع شکفته بود که در کیسه‌های 25 کیلوگرمی با وزن مخصوص (gr/cm3) 0/55 در بازار موجود می‌باشد.

جدول4- تجزیه شیمیایی آهک و خاکستر تفاله نیشکر

ترکیب شیمیایی	SiO_2 (%)	CaO (%)	Al_2O_3 (%)	MgO (%)	K_2O (%)	سایر
آهک	3/29	88/27	1/04	0/81	-	6/59
خاکستر تفاله نیشکر	83/29	2/17	0/71	1/06	3/48	9/29

جهت آماده کردن نمونه‌ها، ابتدا خاک مورد نظر را در مقابل هوا خشک کرده و با ضربات پتک لاستیکی کلوخه‌های آن خرد شد. پس از خرد کردن کلوخه‌ها، خاک از الک شماره 10 عبور داده شد. مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر را برای مخلوط کردن با خاک با نسبت 2 به 1 (دو قسمت آهک و یک قسمت خاکستر تفاله نیشکر) ترکیب شد. سدیم‌کلرید، کلسیم‌کلرید، آهک و مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر با نسبت‌های 5%، 7/5% و 10% وزن خشک نمونه‌ها به آن‌ها اضافه شد. دلیل انتخاب این درصدها (مقادیر زیر 10%)، توجیه‌پذیری اقتصادی برای استفاده در پروژه‌های کلان عمرانی بود. پس از افزودن مواد اصلاحی مورد نظر به نمونه‌ها، مقدار آب لازم جهت رساندن رطوبت نمونه‌ها به رطوبت بهینه به آن‌ها اضافه شد. برای رساندن رطوبت نمونه‌ها به رطوبت بهینه از آب مقطر (آب بدون املاح) استفاده شد. دلیل انتخاب رطوبت بهینه برای انجام آزمایش‌ها این است که بیش‌تر پروژه‌های عمرانی و ژئوتکنیکی در رطوبت بهینه انجام شوند. دلیل انتخاب رطوبت بهینه برای انجام پروژه‌های عمرانی این بود که بیش‌ترین مقاومت خاک زمانی حاصل می‌شود که میزان رطوبت خاک، برابر رطوبت بهینه باشد. برای جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه‌ها، بعد از اضافه کردن رطوبت لازم و تیمارهای مختلف، در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شد. مدت زمان عمل‌آوری نمونه‌ها 7 و 21 روز و در دمای آزمایشگاه (25 درجه سانتی‌گراد) بود. در نهایت تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها با انجام آزمایش برش تک محوری، بررسی شد. قابل ذکر است که آزمایشات انجام شده مطابق استانداردهای جدول 5 انجام شد.

جدول5-استانداردهای مورد استفاده در آزمایش

آزمایش هیدرومتری	آزمایش تعیین دانسیته	آزمایش حدود اتربرگ	آزمایش پراکتور استاندارد	آزمایش برش تک محوری
ASTM-D422-63	ASTM-D854-87	ASTM-D4318-87	ASTM-D698	ASTM-D2166-8

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در قالب شکل‌های زیر ارایه می‌شود. در شکل‌های ارایه شده، مقاومت فشاری تک محوره به صورت نسبی آورده شده است. هدف از انجام این کار مشاهده و درک بهتر از

تغییرات بوجود آمده در نمونه‌های مورد بررسی بود. برای این کار مقاومت فشاری بدست آمده طی انجام آزمایش بر مقاومت فشاری نمونه شاهد (نمونه‌ای که هیچ ماده افزودنی به آن اضافه نشده بود)، تقسیم شد.

تاثیر سدیم‌کلرید

شکل1، تاثیر نمک سدیم‌کلرید را بر خاک‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل مشخص است، نمک سدیم‌کلرید باعث کاهش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک‌ها شده است. کاهش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک‌ها با افزایش مقدار نمک سدیم‌کلرید در خاک، به دلیل آن است که یون سدیم (Na^+)، خاصیت دیسپرس کنندگی(پراکنده کنندگی) یون‌ها را دارد. از این رو حضور یون سدیم در خاک مانع از ایجاد پیوندهای یونی در خاک می‌شود. نتایج تحقیقات کوثیم و همکاران نیز، همین روند را برای نمک سدیم‌کلرید گزارش کردند(Kusim et al 2015). با افزایش درصد نمک سدیم-کلرید در خاک‌ها و افزایش مدت زمان عمل‌آوری آن، از مقاومت فشاری تک محوره خاک‌ها کاسته می‌شود. دلیل کاهش مقاومت خاک‌ها با افزودن نمک سدیم‌کلرید به آن‌ها، تجمع یون Na^+ در اطراف ذرات رس و تشکیل یک لایه مضاعف یونی و در نتیجه پراکنده شدن ذرات خاک، می‌باشد. در خاک رس به‌دلیل بیش‌تر بودن ذرات باردار ، یون‌های Na^+ بیش‌تری در اطراف آن‌ها تجمع پیدا می-کند ولی در خاک‌لای بدلیل این‌که ذرات باردار کم‌تری دارد، ضخامت لایه یونی کم‌تر بوده و در نتیجه کاهش کم‌تری را در مقاومت خود، نشان می‌دهد. به همین دلیل تاثیر کاهشی مقاومت فشاری با افزودن نمک سدیم‌کلرید به خاک‌ها، در خاک رس بیش‌تر از خاک‌لای می-باشد. با توجه به شکل 1 می‌توان دریافت که دلیل نزدیک بودن نمودارهای عمل‌آوری 7 روزه و 21 روزه خاک‌لای، کم بودن درصد ذرات باردار در خاک‌لای می‌باشد. همین امر باعث می‌شود که افزودن نمک سدیم‌کلرید به خاک‌لای تاثیر چندانی بر روی آن نداشته باشد.

شکل1- تاثیر سدیم‌کلرید بر مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های مورد بررسی طی دو دوره عمل‌آوری

تاثیر کلسیم‌کلرید

شکل2، تاثیر نمک کلسیم‌کلرید را بر مقاومت فشاری تک محوره خاک‌های رس و لای را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، نمک کلسیم‌کلرید بر مقاومت تک محوره خاک‌ها تاثیر مثبتی داشته است. دلیل این امر خاصیت فولوکوله شدن خاک توسط یون کلسیم(Ca^{2+}) می‌باشد. صداقت و خمیری‌ثانی(1394)، آمو و سلامی، و همچنین جافر، نیز افزایش مقاومت فشاری و ظرفیت باربری خاک را با افزودن نمک کلسیم‌کلرید به آن، گزارش کرده‌اند (Amu and Salami, 2010) (Jafer, 2013). بیش‌ترین تاثیر این نمک بر روی خاک رسی بوده است. در خاک‌های رسی بیش‌تر ذرات خاک را ذرات رس تشکیل می‌دهد که ذراتی با بار منفی هستند. از طرفی کلسیم موجود در نمک کلسیم‌کلرید دارای بار مثبت است. در نتیجه ذرات رس و کلسیم یک پیوند یونی ایجاد می‌کنند که این امر باعث افزایش مقاومت فشاری تک محوره خاک رس می‌شود. در عمل‌آوری 7 روزه خاک رس، بیش‌ترین افزایش مقاومت فشاری در سطح 5% نمک می‌باشد. در این دوره عمل‌آوری با افزایش مقدار نمک، مقاومت فشاری کاهش پیدا می‌کند. دلیل این کاهش افزایش غلظت یون‌های کلسیم در اطراف ذرات رس و افزایش ضخامت لایه یونی اطراف آن می‌باشد. در عمل‌آوری 21 روزه خاک رس مشاهده می‌شود که بیش-ترین مقاومت مربوط به سطح 7/5% نمک می‌باشد. در خاک‌لای

بدلیل این‌که ذرات رس کم‌تری وجود دارد، افـزایش خیلـی کمـی در مقاومت فشاری آن به چشم می‌خورد. بطوری‌کـه نمودارهـای عمـل-آوری 7 و 21 روزه در خـاک‌لای تقریبـا بـر هـم منطبـق هسـتند. در عمل‌آوری‌های 7 و 21 روزه خاک‌لای، بـیش‌تـرین مقاومـت فشـاری مربوط به سطح 7/5% نمک می‌باشد. از این موضوع مـی‌تـوان نتیجـه گرفت که سطح 7/5% نمک برای افزایش مقاومت فشاری خـاک‌لای و خاک رسی با دوره عمل‌آوری طولانی، یک درصد بهینه می‌باشد

شکل 2- تاثیر کلسیم‌کلرید بر مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های مورد بررسی طی دو دوره عمل‌آوری

تاثیر آهک

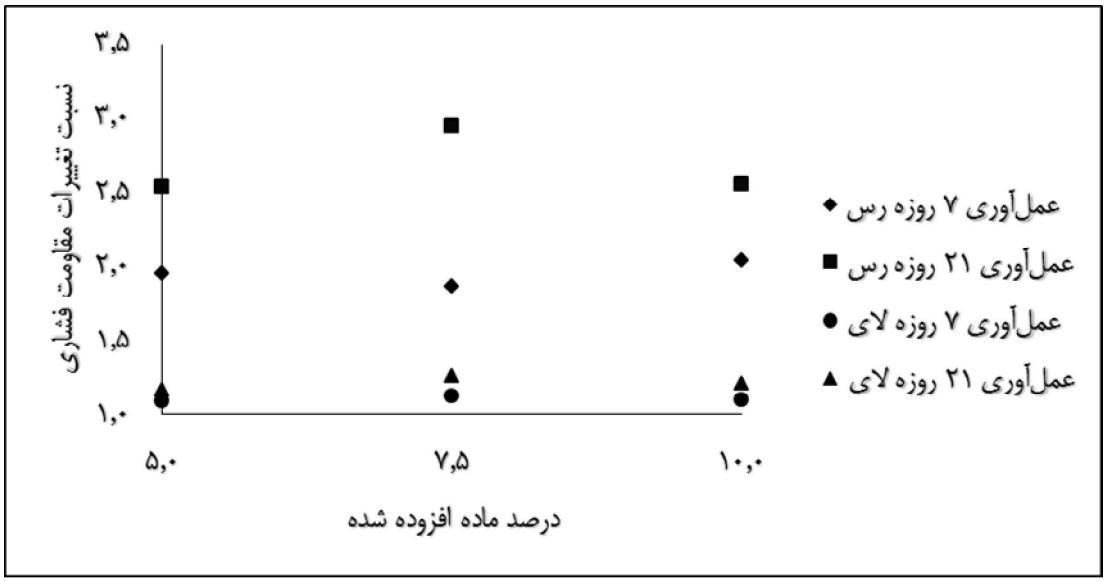
شکل 3، تاثیر افزودن آهک به خاک‌های رس و لای بر مقاومـت فشاری تک محوره خاک‌های رس و لای را نشان مـی‌دهـد. مطـابق این شکل، آهک تاثیر مثبتی در مقاومت فشاری تک محوره خـاک‌هـا داشته است. افزایش مقاومت فشاری تک محوره خاک‌هـا بـا افـزودن آهک به خاک بدلیل ایجاد پیونـدهای یـونی بـین ذرات بـاردار رس و یون کلسیم موجود در آهک می‌باشد. نتایج بررسی‌های عابدی‌کوپایی و همکاران(1394)، کالیک و صادقلو در سال 2014 و کومار و کاپـا در سال 2015 نیز همین تاثیر را نشان می‌دهد (Calik and Sadoghlu, 2014) (Kumar and Gupta, 2015). بدلیل باردار بودن ذرات رس (بار منفی) و باردار بودن یون کلسیم (بار مثبت)، یک پیوند یونی بـین ذرات رس و یون کلسیم بوجود می‌آید که همین امـر باعـث افـزایش مقاومت فشاری خاک‌ها می‌شود. در خاک‌های رسـی بـدلیل بـیش‌تـر بودن ذرات باردار نسبت بـه خـاک‌لای، پیونـدهای یـونی بـیش‌تـری تشکیل می‌شود. افزایش بیش‌تر مقاومت فشاری در خاک رس نسـبت به خاک‌لای به همین دلیل است. همـان‌طـور کـه در شـکل3 قابـل مشاهده است، افزایش مقاومت فشـاری در دوره‌هـای عمـل‌آوری 21 روزه نسبت به دوره عمل‌آوری 7 روزه، بیش‌تر است. این روند به ایـن دلیل است که ذرات باردار رس و یون کلسیم، فرصت بیش‌تری بـرای ایجاد پیوند یونی دارند. در عمل‌آوری 21 روزه خاک رس، بـیش‌تـرین افزایش مقاومت در سطح 7/5% آهک می‌باشد، درحالی‌که بیش‌تـرین درصد افزایش مقاومت در دوره عمل‌آوری 7 روزه خـاک رس و دوره-های عمل‌آوری 7 و 21 روزه لای، در سطح 10% بـوده اسـت. دلیـل این امر این است که با افزایش میزان آهک در خـاک، امکـان بوجـود آمدن پیوندهای یونی بیش‌تر وجود دارد

تاثیر مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر

شکل4، تاثیر افزودن مخلوط آهک و خاکسـتر تفالـه نیشـکر بـه خاک، بر مقاومت فشاری تک محوری آن را نشان مـی‌دهـد. در یـک دید کلی می‌توان دریافت که افزودن این مخلوط بـه خـاک، تـاثیرات مثبتی بر مقاومت فشاری خاک‌های مورد بررسی داشـته اسـت. دلیـل این افزایش مقاومت فشاری تـک محـوره خـاک‌هـا بـا افـزودن ایـن مخلوط به آن، دو دلیل دارد. دلیل اول ایجـاد پیونـدهـای یـونی بـین ذرات باردار رس و یون کلسیم موجود در آهک این مخلوط مـی‌باشـد. دلیل دوم این امر سیلیس موجود در خاکستر تفاله نیشکر می‌باشد کـه باعث استحکام خاک‌دانه‌ها مـی‌شـود. نتـایج آزمـایش‌هـای دانسـو و همکاران و کومار و کاپا نیز همین روند را نشان می‌دهنـد(Danso et al, 2015) (Kumar and Gupta, 2015).

دلیل افزایش مقاومت فشاری خاک‌ها با افزودن مخلـوط آهـک و خاکستر تفاله نیشکر به خاک، ایجاد پیوند یونی بین یون‌های ناهم‌نـام در رس و آهک (ذرات رس با بار منفی و یون کلسیم با بـار مثبـت) و همچنین سخت شدن ایـن پیونـدها بـه واسـطه سـیلیس موجـود در

خاکستر تفاله نیشکر می‌باشد.



شکل3- تاثیر آهک بر مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های مورد بررسی طی دو دوره عمل‌آوری

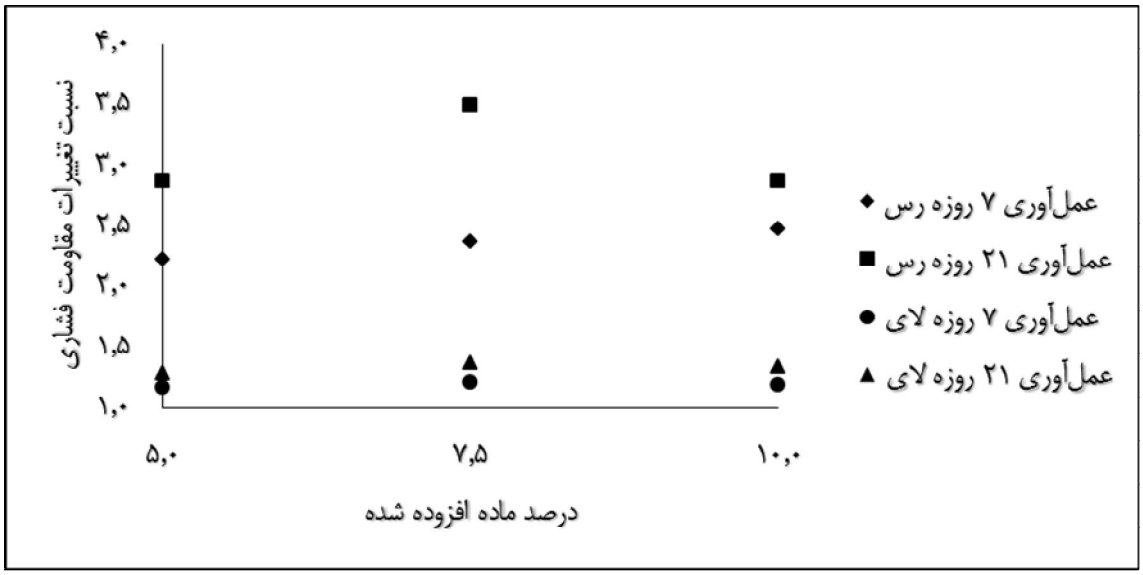
با توجه به شکل 5 می‌توان دریافت که دوره‌های عمل‌آوری 21 روزه نسبت به دوره‌های عمل‌آوری 7 روزه، افزایش بیش‌تری در مقاومت فشاری داشته‌اند. این افزایش بیش‌تر به این دلیل است که برای ایجاد پیوندهای یونی، فرصت بیش‌تری بوده است. در خاک رس بدلیل وجود ذرات باردار بیش‌تر نسبت به لای، افزایش بیش‌تری در مقاومت فشاری آن مشاهده می‌شود. در خاک لای بدلیل وجود مقدار خیلی کم ذرات باردار، افزودن مخلوط مورد نظر به آن، تاثیر چندانی بر مقاومت آن نداشته است. با افزایش سطح مخلوط در هر دو دوره عمل‌آوری لای، مقاومت آن افزایش می‌یابد. در دوره عمل‌آوری 7 روزه رس نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. ولی در دوره عمل‌آوری 21 روزه رس، بیش‌ترین مقاومت فشاری در سطح 7/5% مخلوط بوده است. از این فرآیند چنین می‌توان نتیجه گرفت که در دوره‌های عمل‌آوری مختلف برای خاک‌لای و دوره‌های عمل‌آوری کوتاه مدت در خاک رس، با افزایش سطح مخلوط در خاک، مقاومت آن نیز افزایش پیدا می‌کند. ولی در دوره‌های عمل‌آوری طولانی مدت برای خاک رس، برای رسیدن به بیش‌ترین مقاومت فشاری باید از درصد بهینه مخلوط استفاده شود. این درصد بهینه بر اساس آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش، سطح 7/5% این مخلوط بدست آمده است.

در شکل5 می‌توان تفاوت بین نتایج حاصل از این پژوهش و دیگر پژوهش‌ها را مشاهده کرد. همانطورکه در شکل5-الف مشاهده می‌شود، میزان کاهش مقاومت فشاری در پژوهش انجام شده با افزودن سدیم‌کلرید به خاک، بیش‌تر از نتایج بدست آمده از تحقیق کوثیم و همکاران می‌باشد (Kusim et al, 2013). از شکل 5-ب می‌توان دریافت که عابود و همکاران در سال 2007، افزایش مقاومت کم‌تری را نسبت به پژوهش انجام گرفته، گزارش کردند (Abood et al, 2007). شکل 5-ج نشان می‌دهد که عابدی‌کوپایی و همکاران (1394)، چانگ و کاثیم و همچنین کومار و کاپا به ترتیب 2/78، 1/7 و 4/3 برابر شدن مقاومت فشاری خاک را گزارش کردند(Chong and Kassim, 2015) و (Kumar and Gupta, 2015). درحالی‌که نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها در این پژوهش مقداری بین این مقادیر، یعنی 2/91 برابر شدن مقاومت فشاری را نشان می‌دهد. در شکل5-د مشاهده می‌شود که با افزودن مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر به خاک، مقاومت فشاری نسبت به زمانی که خاکستر به صورت تنها به خاک افزوده می‌شود، به میزان بیش‌تری افزایش می‌یابد.

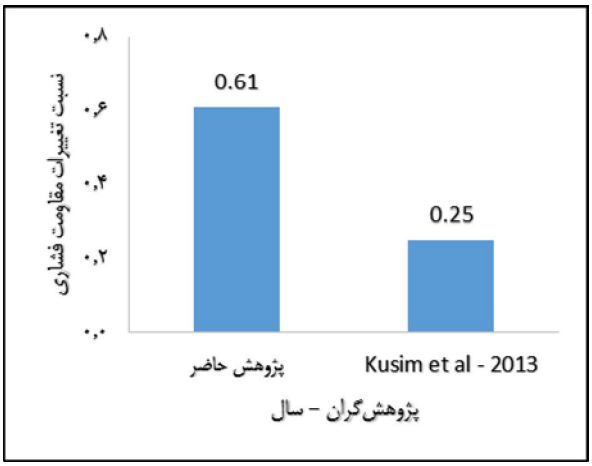
نتیجه‌گیری

همان طورکه بیان شد یکی از عوامل موثر بر پایداری شیب‌های خاکی، مقاومت فشاری خاک می‌باشد. با توجه به این که در کانال‌های آبیاری، همواره جریان آب وجود دارد، و جریان آب دارای نیروی وزن می‌باشد، در نتیجه همواره نیروی ناشی از وزن آب متوجه شیب‌های خاکی کانال‌های آبیاری می‌باشد. از آن‌جایی که این نیرو در جهت کاهش پایداری شیب‌های خاکی کانال آبیاری عمل می‌کند، بررسی پارامترهای مقاومتی خاک مورد استفاده برای شیب‌های خاکی، امری ضروری به نظر می‌رسد. از جمله پارامترهای مقاومتی خاک،

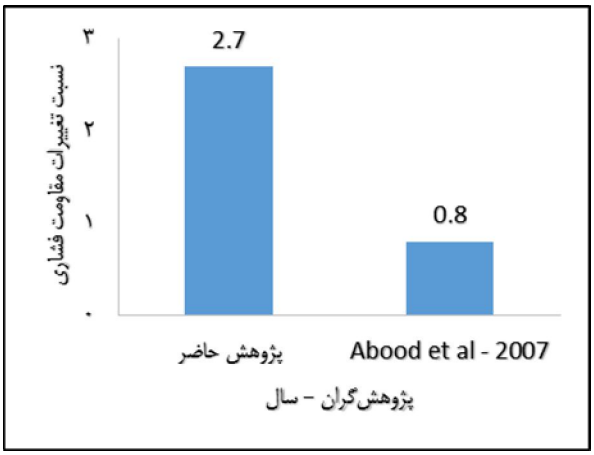
مقاومت فشاری می‌باشد که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.



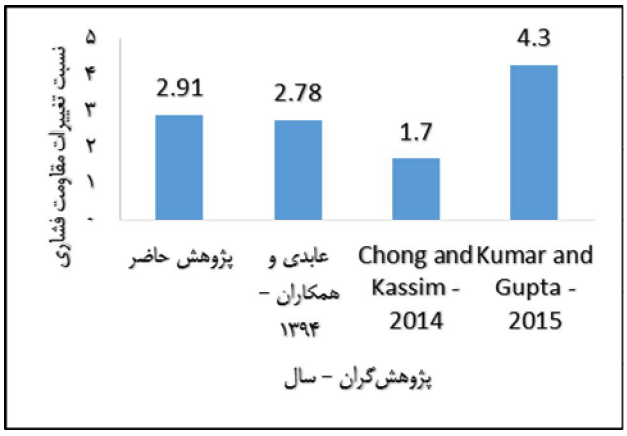
شکل4– تاثیر مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر بر مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های مورد بررسی طی دو دوره عمل‌آوری



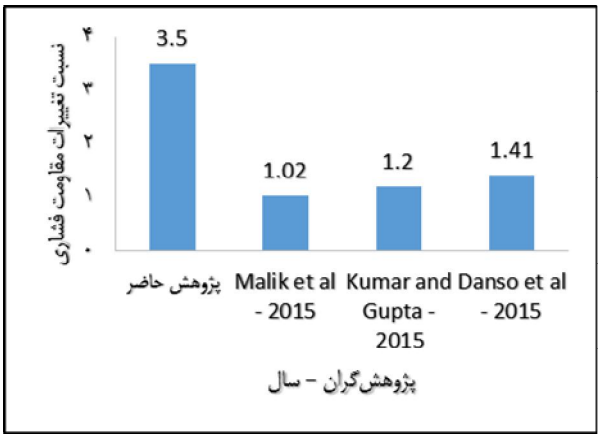
الف



ب



ج



د

شکل5 –مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های پیشین. الف)تاثیر افزودن سدیم‌کلرید. ب)تاثیر افزودن کلسیم‌کلرید. ج)تاثیر افزودن آهک. د)تاثیر افزودن مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر

بر اساس بررسی‌ها و آزمایشات انجام شده در این پژوهش، نتـایج زیر قابل استنتاج و بیان می‌باشند:

سدیم‌کلرید موجب کاهش مقاومت فشاری خاک‌ها می‌شود.

مخلوط آهک و خاکستر تفاله نیشکر، آهـک و کلسـیم‌کلریـد بـه ترتیب بیش‌ترین تاثیر افزایشی را در مقاومت فشاری خاک‌ها داشتند.

درصد بهینه مواد اصلاحی بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، معادل 7/5% وزنی نمونه‌ها می‌باشد.

افزایش یا کاهش مقاومت فشاری خاک‌هـا، در دوره‌هـای عمـل-آوری 21 روزه بدلیل داشتن زمان بیش‌تر برای ایجاد پیوندهای یـونی بین ذرات باردار خاک و ترکیبات افزوده شـده، بـیش‌تـر از دوره‌هـای عمل‌آوری 7 روزه بود.

پیشنهادها

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش به دلایل زیر، توصیه می‌شود که در پروژه‌های عمرانی جهـت افـزایش مقاومـت فشـاری و کاهش پتانسیل تورم خاک، به جای افزودن آهک از مخلوط آهـک و خاکستر تفاله نیشکر استفاده شود.

مخلوط آهک و تفاله نیشکر در شرایط یکسان، مقاومـت فشـاری خاک را به میزان بیش‌تری افزایش مـی‌دهـد. قابـل ذکـر اسـت کـه افزایش مقاومت فشاری افزایش پایداری شیب‌هـای خـاکی را در پـی دارد.

از آن‌جایی که تهیه خاکستر تفاله نیشکر نسبت بـه تولیـد آهـک ارزان‌تر می‌باشد، از لحاظ اقتصادی در پروژهای کلان عمرانـی کـاملا به صرفه می‌باشد.

با استفاده از مخلوط آهـک و تفالـه نیشـکر، میـزان اسـتخراج از معادن و در پی آن مصرف سوخت و آلودگی هوا کاهش می‌یابد.

استفاده از مخلوط آهک و تفالـه نیشـکر باعـث کـاهش آلـودگی محیط زیست و منابع آب زیرزمینی می‌شود.

منابع

شهسـواری،ا و عباسـی،ن. 1390. ارزیـابی تـاثیر کلریـد سـدیم بـر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های رسی. همایش ملی سازه، راه، معماری، چالوس، ایران.

شهسواری،ا و عباسی،ن. 1390. تاثیر نمک سولفات سدیم بر مقاومـت برشی خاک‌های ریزدانه. اولین کنفرانس ملـی عمـران و توسـعه، زیباکنار، ایران.

صداقت،ا و خمیری‌ثانی،م. 1394. بررسی افزایش مقاومت خـاک‌هـای رسی با وارد کردن محلول کلرید کلسیم. دومـین کنفـرانس ملـی توسعه علوم و مهندسی، تنکابن، ایران.

طاهرخانی،ح و جوانمرد،م. 1394. مقایسه تاثیر سـیمان، آهـک و نـانو پلیمـر CBR PLUS در کـاهش تـورم خـاک‌هـای رسـی بسـتر روسازی‌ها. نشریه زمین شناسی مهندسی. 9-4.

عابـدی‌کوپـایی،ج.، نوروزیـان،ک و عباسـی،ن. 1394. ارزیـابی دوام و پایداری خاک‌های رسی تثبیت شده با آهک هیدراته در مجـاورت سازه‌های آبی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 19-73.

Abadi,A.N., Aliasgharzadeh,M., Mirmohammadsadeghi,M., Hanifi,S. 2015. Effects of Adding Lime to Improve Levee Soil Layer Using Numerical Method (Case Study: Part VI of Bijar–Zanjan Four-Lane). Cumhuriyet Science Journal. 36:2079-2087.

Abood,T.T., Kasa,A.B., Chik,Z.B. 2007. Stabilisation of silty clay soil using chloride compounds. Journal of engineering science and technology 2:102-110.

Ali,R., Khan,H., Shan,A.A. 2014. Expansive Soil Stabilization Using Marble Dust and Bagasse Ash. International Journal of Science and Research, 3:2812-2816.

Amu,O., Salami,B.A. 2010. Effect of common salt on some engineering properties of eggshell stabilized lateritic soil. ARPN journal of Engineering and applied sciences 5:64-73.

Asgari,M.R., Baghebanzade,D.A., Bayat,M. 2015. Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime. Arabian Journal of Geosciences. 8:1439-1452.

Aziz,M., Saleem,M., Irfan,M. 2015. Engineering behavior of expansive soils treated with rice husk ash. GEOMECHANICS AND ENGINEERING. 8:173-186.

Calik,U., Sadoglu.E. 2014. Classification, shear strength, and durability of expansive clayey soil stabilized with lime and perlite. Natural hazards. 71:1289-1303.

Chong,S.Y., Kassim,K.A. 2015. Effect of Lime on Compaction, Strength and Consolidation Characteristics of Pontian Marine Clay. Jurnal Teknologi. 72:41-47.

Danso,H., Martinson,D.B., Ali,M., and Williams,J.B. 2015. Effects of sugarcane bagasse fibre on the strength properties of soil blocks. p. 1-7. First International Conference on Bio-based Building Materials, 22-24 june. 2015. Clermont-Ferrand, France.

Di Sante,M., Fratalocchi,E., Mazzieri,F., Brianzoni,V. 2015. Influence of delayed compaction on the

Effect of Coal Ash on Strength and CBR Properties of Lacustrine Soil. International Journal of Engineering Research and Technology. 3:37-42

Naeini,S.A., Gholampoor,N., Najmosadaty,S.A. 2015. The Effect of Wetting-Drying Cycles and Plasticity Index on California Bearing Ratio of Lime Stabilized Clays. Journal of Engineering Geology. 9:2818.

Qu,J., Li,B., Wei,T., Li,C., Liu,B. 2014. Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility. Catena. 122: 54-60.

Sadeeq,J.A., Ochepo,J., Salahudeen,A.B., Tijjani,S.T. 2015. Effect of Bagasse Ash on Lime Stabilized Lateritic Soil. Jordan Journal of Civil Engineering. 9:203-213.

Shariatmadari,N., Salami,M., Karimpourfard,M. 2011. Effect of inorganic salt solutions on some geotechnical properties of soil-bentonite mixtures as barriers. International Journal of Civil Engineering. 9:103-110.

compressibility and hydraulic conductivity of soil–lime mixtures. Engineering Geology. 185:131-138.

Jafer,H.M. 2013. Stabilization of Soft Soils Using Salts of Chloride. Babylon University/Engineering Sciences. 21:1546-1554.

Jha,A.K., Sivapullaiah,P.V. 2015. Mechanism of improvement in the strength and volume change behavior of lime stabilized soil. Engineering Geology. 198:53-64.

KumarA., Gupta,D. 2015. Behavior of cement-stabilized fiber-reinforced pond ash, rice husk ash–soil mixtures. Geotextiles and Geomembranes. 9:1-9

Kusim,A.S., Abdullah,N.E., Hashim,H., Beeran,K.S. 2013. Effects of salt content on measurement of soil resistivity. p. 124-128. Power Engineering and Optimization Conference, 3-4 June. 2013. Langkawi, Malaysia.

Makki-Szymkiewicz L., Hibouche A., Taibi,S., Herrier,G. 2015. Evolution of the properties of lime-treated silty soil in a small experimental embankment. Engineering Geology. 191:8-22.

Malik,M., Iqbal,A., Manzoor,J., Nazir,H., Iqbal,T. 2015.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 11, Agu.-Sept. 2017, p. 424-434

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد 11، مرداد - شهریور 1396، ص. 434-424

Evaluating Methods for Increasing the Stability Earth slop's in Irrigation Channels

G.Panahi,[1] S.R.Khodashenas [*2]

Recived: Nov.16, 2016 Accepted: Feb.12, 2017

Abstract

From the perspective of geotechnical engineering, increasing the stability of earth slopes into three general categories, mechanical methods, soil reinforcement and chemical methods, are divided. The geotechnical engineering researchers have been considered on the soil behavior modification to aid additives that is classified in chemical methods, always as one of the most effective methods for increasing the stability of the earth slopes. In this study, the effect of adding four materials sodium chloride, calcium chloride, lime and mixed of lime and bagasse ash at 5, 7.5 and 10 wt% during the curing period of 7 and 21 days, were studied. The results of this study showed that sodium chloride reduces the stability of earth slopes, and calcium chloride, lime and mixed of lime and bagasse ash enhance the stability of earth slopes. The results also showed that the curing period of 21 days compared to 7-day curing period is more effective in increasing or decreasing the stability of earth slopes.

Keywords: Lime, bagasse ash, Sodium chloride, Calcium chloride, Earth channel

1- Graduate Student in Water Structures, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor , Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)