

## بررسی تأثیر مواد مختلف اصلاحی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی

۱- نجمه یزدان‌پناه، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان  
najmeyazdanpanah@yahoo.com

۲- ابراهیم پذیرا، استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

۳- علی نشاط، استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- مجید محمودآبادی، استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۰۴

پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۱۷

### چکیده

شور و سدیمی شدن خاک از جنبه‌های مهم تخریب اراضی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. این تحقیق به بررسی نقش مواد اصلاح‌کننده مختلف، در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی شامل هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبدیلی، کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت قابل استفاده می‌پردازد. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار مواد اصلاحی معدنی و آلی شامل شاهد، کود گاوی، تفاله پسته، گچ، ترکیب کود گاوی با گچ و ترکیب تفاله پسته با گچ، دو تیمار آب آبخویی (با و بدون اسید سولفوریک) و سه تکرار که در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از ستون خاک انجام شد. چهار مرحله آبخویی به روش متناوب با فواصل زمانی یک ماه و هر کدام به میزان یک حجم تخلخل انجام شد. نتایج نشان داد برای تیمارهای مختلف، EC و ESP خاک اصلاح‌شده نسبت به خاک اولیه، به‌ترتیب بین ۶۶/۲ تا ۸۴/۹ و ۷۳/۶ تا ۹۰/۶ درصد کاهش یافت. همچنین به دلیل آهکی بودن خاک مورد مطالعه، بدون استفاده از هر ماده اصلاح‌کننده‌ای و تنها با عملیات آبخویی EC و ESP نسبت به خاک اولیه به‌ترتیب ۸۰ و ۸۴/۲ درصد کاهش یافت. در حضور و عدم حضور اسید سولفوریک در آب آبخویی، به‌ترتیب گچ و تفاله پسته بیشترین تأثیر را در کاهش EC داشتند. همچنین، تفاله پسته نسبت به سایر تیمارها، کارایی مطلوب‌تری در کاهش ESP داشت. در مقابل، کود دامی وضعیتی ضعیف‌تری از نظر اصلاح خاک شور و سدیمی نشان داد. پس از پایان عملیات آبخویی، ESP نهایی برای تمام تیمارها به کمتر از ۱۱ درصد کاهش یافت. از طرفی، مواد آلی علاوه بر قابلیت اصلاح شوری و سدیمی، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نیز شدند. نتایج نشان داد که مصرف اسید سولفوریک، تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری ندارد. همچنین تیمارهای شاهد و گچ کمترین مقادیر رطوبت اشباع و رطوبت قابل استفاده را نشان داد. نتایج همچنین نشان دهنده این است که ترکیب گچ با مواد آلی نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها اثر معنی‌داری در بهبود رطوبت قابل استفاده دارد. در مجموع یافته‌های این تحقیق اهمیت و کارایی مطلوب تفاله پسته را در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی تحت آبخویی معمولی روشن ساخت.

**واژگان کلیدی:** آبخویی؛ اسید سولفوریک؛ اصلاح خاک؛ گچ؛ هدایت الکتریکی؛ درصد سدیم تبدیلی.

### مقدمه

امروزه تخریب اراضی به‌عنوان یک تهدید جهانی مطرح بوده و از جنبه‌های مختلف باعث کاهش محصول و افت عملکرد در اراضی کشاورزی می‌شود. یکی از علت‌های تخریب اراضی، شور و سدیمی شدن خاک است که بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار داده است. حدود نیمی از اراضی زیر کشت آبی دنیا در معرض تهدید شوری و سدیم قرار گرفته‌اند (Flagella et al., 2002). در ایران خاک‌های شور و سدیمی، وسعتی حدود ۱۵ تا ۲۶ میلیون هکتار (۱۰ تا ۱۵٪ از مساحت کشور) را به خود اختصاص داده‌اند (Chorom & Rengasamy, 1997; Mostafazadeh-Farad et al., 2007). خاک‌های شور و سدیمی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نامطلوبی دارند که باعث کاهش عرضه عناصر غذایی و در نهایت افت رشد گیاه و

امروزه تخریب اراضی به‌عنوان یک تهدید جهانی مطرح بوده و از جنبه‌های مختلف باعث کاهش محصول و افت عملکرد در اراضی کشاورزی می‌شود. یکی از علت‌های تخریب اراضی، شور و سدیمی شدن خاک است که بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار داده است. حدود نیمی از اراضی زیر کشت آبی دنیا در معرض تهدید شوری و سدیم قرار گرفته‌اند

افزون بر ماده آلی ( Li & Valzano et al., 2001; Mitchell et al., 2009; Keren, 2009; Wong et al., 2009) گنج (Keren, 2009; Wong et al., 2009) و اسید سولفوریک (Amezketta et al., 2005; Sadiq et al., 2007) از جمله اصلاح کننده‌هایی است که برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزون بر این، اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از طریق آبخویی نیز به وسیله برخی از پژوهشگران ( Anapali et al., 2001; Akhtar et al., 2003; Ammari et al., 2008) انجام شده است. آن دسته از خاک‌های شور و سدیمی که آهکی نیز هستند، در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گستره قابل توجهی دارند. در این شرایط  $\text{CaCO}_3$  موجود در خاک به آرامی حل شده و کلسیم را برای فرآیند اصلاح عرضه می‌کند (Qadir et al., 1996). از آنجا که حلالیت آهک برای تأمین کلسیم بسیار کم است، به طور معمول از یک ماده اسیدی و یا اسیدزا استفاده می‌شود (Keren, 1996).

با توجه به این که بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک آهکی بوده و از آنجا که میزان حلالیت آهک پایین است، می‌توان با افزودن ماده آلی، فشار گاز دی اکسیدکربن را در خاک افزایش داد. این امر باعث افزایش حلالیت آهک و از طرفی کاهش واکنش خاک می‌شود (Hanay et al., 2004). از این‌رو از یک طرف، شدت جایگزینی کلسیم محلول به جای سدیم تبادلی افزایش یافته و از طرف دیگر به دلیل بهبود شرایط ساختمان و افزایش نفوذپذیری خاک، تخلیه سدیم سریع تر رخ می‌دهد (Vance et al., 1998; Walker & Bernal, 2008). همچنین گنج به دلیل دارا بودن کلسیم و جایگزینی آن به جای سدیم در مکان‌های تبادلی، می‌تواند باعث کاهش سدیم تبادلی و افزایش نفوذپذیری گردد (Amezketta et al., 2005; Wong et al., 2009). افزون بر این، در خاک‌های آهکی، اسید سولفوریک به دلیل واکنش با کلسیت، باعث تأمین منبع کلسیم محلول در خاک می‌گردد (Sadiq et al., 2003; Smart et al., 2003).

به‌علت افزایش انحلال‌پذیری منابع کلسیم‌دار در حضور اسید سولفوریک می‌توان از این ماده به‌عنوان یک عامل سرعت دهنده در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی بهره برد (Amezketta et al., 2005; Sadiq et al., 2007).

عملکرد آن می‌گردد (Quirk, 2001; Qadir & Oster, 2004).

به دلیل محدودیت‌های خاک‌های شور و سدیمی، اصلاح و احیا این اراضی که قابلیت کشت و کار در آن‌ها وجود دارد، امری اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. از این‌رو برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، روش‌های متفاوتی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است (Qadir et al., 2001; Valzano et al., 2001; Wong et al., 2009). مبنای اصلاح خاک‌های سدیمی جایگزین نمودن سدیم تبادلی توسط کلسیم است. سدیم جایگزین شده با آبخویی از ناحیه ریشه و یا پروفیل خاک خارج می‌شود. منبع مرسوم کلسیم، ماده‌ای است که خود دارای کلسیم باشد و یا این که پس از مصرف باعث انحلال آن در محلول خاک گردد. بنابراین، دو روش در اصلاح چنین خاک‌هایی وجود دارد که شامل (۱) افزودن منبع حاوی کلسیم در خاک‌های غیرآهکی و (۲) افزایش حل‌پذیری کلسیم موجود به‌ویژه در خاک‌های آهکی است (Quirk, 2001).

تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر سدیمی شدن خاک‌ها بر خصوصیات فیزیکی آن‌ها انجام گرفته است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که اولین شواهد تخریب، افزایش ESP و پراکندگی ذرات خاک بوده که با فروپاشی خاکدانه‌ها و پرشدن منافذ درشت، هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهد (So & Aylmore, 1993). روش‌های مختلفی برای بهبود خصوصیات فیزیکی خاک ارائه شده که یکی از آن‌ها استفاده از منابع آلی است. هرچه ماده آلی یک خاک بیشتر باشد، به دلیل ایجاد فضای بین ذرات، جرم مخصوص خاک کاهش می‌یابد. از طرفی مواد آلی یکی از عوامل اتصال‌دهنده ذرات اولیه بوده که باعث تشکیل و پایداری خاکدانه می‌شود. خاکدانه‌سازی و افزایش اندازه خاکدانه‌ها، فضای تخلخل را افزایش داده و به این ترتیب، جرم مخصوص کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات برخی محققان مانند (Kay, Puget et al., 2000) و همچنین (Tejada et al., 2002) & Vandenbygaart (2006) نشان می‌دهد که با کاربرد مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری کاهش می‌یابد. این پژوهشگران دریافتند که ماده آلی به‌عنوان عامل سیمانی‌کننده عمل کرده و در هم‌آوری ذرات برای تشکیل خاکدانه‌های مقاوم ضروری است.

با توجه به نقش مواد اصلاح‌کننده در بهبود خصوصیات خاک، این تحقیق به بررسی تأثیر روش‌های مختلف اصلاح بر تغییر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شور و سدیمی می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

### ۱) خاک مورد مطالعه

در این تحقیق از یک نمونه خاک شور و سدیمی واقع در اراضی کشاورزی استفاده گردید. این خاک آهکی با بافت لوم بود که از عمق ۳۰ سانتیمتر سطحی جمع‌آوری شد. پس از انتقال نمونه خاک به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک گردید و از الک دو میلیمتری عبور داده شد. سپس

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از روش کلوخه، درصد رطوبت ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحه فشار و رطوبت اشباع با استفاده از روش آون تعیین گردید (Page et al., 1992). میزان pH و EC به ترتیب در گل و عصاره اشباع و کاتیون‌های محلول شامل کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون و سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم-فوتومتر اندازه‌گیری شدند. کربن آلی به روش Walkley & Black (1934). میزان  $\text{CaCO}_3$  معادل از روش تیتراسیون و گچ به روش استون، تعیین گردید (Pansu & Gautheyrou, 2006).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی (واحد)	مقدار	ویژگی (واحد)	مقدار
سدیم محلول ( $\text{meq. L}^{-1}$ )	۲۶۴/۵	شن (%)	۴۸
پتاسیم محلول ( $\text{meq. L}^{-1}$ )	۴/۱۹	سیلت (%)	۴۰
کلسیم محلول ( $\text{meq. L}^{-1}$ )	۳۷/۰	رس (%)	۱۲
منیزیم محلول ( $\text{meq. L}^{-1}$ )	۹۸/۰	جرم مخصوص ظاهری ( $\text{g. cm}^{-3}$ )	۱/۵۵
هدایت الکتریکی ( $\text{dS. m}^{-1}$ )	۱۹/۸۱	رطوبت اشباع (%)	۲۹/۲۴
pH	۷/۸	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	۲۰/۸
درصد سدیم تبدیلی	۴۰/۶	گچ (%)	ناچیز
کربن آلی (%)	۰/۴۹	کربنات کلسیم معادل (%)	۲۰/۷۵

### ۲) انجام آزمایش‌های اصلاح

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار مواد اصلاحی معدنی و آلی، دو تیمار آب آبشویی و سه تکرار بود که در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از ستون خاک اجرا شد. تیمارهای مواد اصلاح‌کننده عبارت بودند از ۱) گچ پودری خالص برابر با نیاز گچی خاک مورد مطالعه به مقدار ۵/۲ گرم در کیلوگرم (G)، ۲) کود گاوی پوسیده به مقدار ۵۰ گرم در کیلوگرم (M)، ۳) تفاله پسته پوسیده به مقدار ۵۰ گرم در کیلوگرم (P)، ۴) گچ + کود گاوی (G+M)، ۵) گچ + تفاله پسته (G+P) و ۶) شاهد (C). منظور از تیمار شاهد، خاکی است که هیچ اصلاح‌کننده‌ای به آن اضافه نشد ولی آبشویی آن مشابه سایر تیمارها انجام شد. همچنین دو تیمار آب آبشویی شامل آب معمولی و آب

حاوی اسید سولفوریک معادل گچ نیز مورد استفاده قرار گرفت. مواد آلی مورد استفاده به‌عنوان اصلاح‌کننده دارای خصوصیات شیمیایی متفاوتی بودند. میزان EC تفاله پسته (۱۰/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از کود گاوی (۸/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. همچنین تفاله پسته pH بیشتری نسبت به کود گاوی داشت. در بین کاتیون‌ها، میزان سدیم و منیزیم در کود گاوی نسبت به تفاله پسته، بیشتر و پتاسیم و کلسیم کمتر بود.

به‌منظور تهیه ستون خاک، از استوانه‌هایی با قطر داخلی ۱۰ و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و جنس پی‌وی‌سی استفاده شد. پس از ساخت ستون‌ها و نصب زهکش از جنس شن، تیمارهای مواد آلی و معدنی با خاک به طور کامل مخلوط و به داخل ستون‌ها منتقل گردید. انتقال به صورت لایه به لایه (۲/۵ سانتیمتر) و رساندن جرم

مصرفی معادل گچ (۳/۱) گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک) در نظر گرفته شد که طی ۴ مرحله آبشویی مصرف گردید. به دلیل اهمیت کیفیت آب آبشویی، برخی خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش‌های آبشویی اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در پایان پس از هواخشک شدن، خاک هر ستون جمع‌آوری و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. به منظور تجزیه و تحلیل نتایج، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵٪ با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید.

مخصوص به شرایط مزرعه (۱/۵۵) گرم بر سانتیمتر مکعب) تا ایجاد عمق همگن ۳۰ سانتیمتر در هر ستون انجام شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ماه در دمای ۲۵ °C و رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از این مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ روز تحت آزمایش‌های آبشویی قرار گرفت. برای نزدیک شدن به شرایط طبیعی منطقه، آبشویی به روش متناوب با دور ۳۰ روز و به میزان یک حجم تخلخل انجام شد. در مجموع، ۴ آزمایش آبشویی در فواصل زمانی یک ماهه اعمال گردید. همچنین به منظور بررسی نقش اسید سولفوریک به عنوان یک اصلاح‌کننده، آبشویی ستون‌های خاک با دو نوع آب با کیفیت متفاوت (با و بدون اسید سولفوریک) انجام شد. در تیمار با اسید، میزان اسید

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبشویی مورد استفاده در آزمایش‌های آبشویی

SAR ( $\text{meq.L}^{-1}$ ) <sup>1/2</sup>	آنیون‌های محلول ( $\text{meq.L}^{-1}$ )			کاتیون‌های محلول ( $\text{meq.L}^{-1}$ )			pH	EC ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	
	کلر	بیکربنات	کربنات	منیزیم	کلسیم	پتاسیم			سدیم
۱/۳	۳	۵	ناچیز	۲/۰	۸/۰	۰/۰۲	۲/۹۷	۸/۰	۵۳۶

ESP در سطح ۵٪ و بر رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت قابل استفاده در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری نشان می‌دهد. از نتایج این قسمت چنین نتیجه‌گیری می‌شود که استفاده از مواد اصلاح‌کننده مورد مطالعه، در ترکیب با خاک نقش بیشتری در تغییر خصوصیات خاک در مقایسه با مصرف اسید همراه با آب آبشویی داشته است. از طرفی، اثر متقابل مصرف مواد اصلاح‌کننده بر تغییر کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری معنی‌داری نشد. در ادامه تغییر در هر یک از ویژگی‌های مورد مطالعه تحت تأثیر مواد اصلاح‌کننده مختلف، به طور جداگانه بررسی می‌شود.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر مواد اصلاح‌کننده از طریق ترکیب با خاک و یا آب آبشویی بر تغییر برخی ویژگی‌های خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مواد اصلاح‌کننده‌ای که با خاک ترکیب شده‌اند، باعث تغییر معنی‌دار کربن آلی، EC، درصد سدیم تبادلی (ESP)، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی و همچنین رطوبت قابل استفاده در سطح ۱٪ شده است. این در حالی است که استفاده از اسید سولفوریک به همراه آب آبشویی تنها بر

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای تیمارهای مختلف (اعداد میانگین مربعات (MS) است)

منبع تغییرات	درجه آزادی	EC ( $\text{m}^{-1}.\text{dS}$ )	ESP (%)	کربن آلی (%)	جرم مخصوص (%)	رطوبت اشباع (%)	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	رطوبت قابل استفاده (%)
اصلاح‌کننده	۵	۶/۳۵۹**	۲۳/۵۲**	۱/۵۰۳۸**	۰/۱۴۴۵**	۲۵/۳۴۸**	۴۵/۷۵**	۱۱/۵۷**
اسید سولفوریک	۱	۰/۱۱۱ <sup>NS</sup>	۹/۳۰*	۰/۰۰۴۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۳ <sup>NS</sup>	۳/۰۰۴ <sup>NS</sup>	۴/۰۷**	۱/۰۰**
اصلاح‌کننده × اسید	۵	۱/۹۳۶**	۵/۶۶*	۰/۰۰۱۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۲۳ <sup>NS</sup>	۴/۵۴۱*	۱/۴۳**	۰/۳۶**
خطا	۲۴	۰/۳۱۹	۲/۲۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۹	۱/۰۷۰	۰/۲۱	۰/۰۵

\* معنی‌دار در سطح ۵٪، \*\* معنی‌دار در سطح ۱٪، NS عدم معنی‌داری

## الف) هدایت الکتریکی

مقدار هدایت الکتریکی (EC)<sup>۱</sup> خاک بین برخی از تیمارهای اصلاح‌کننده، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان می‌دهد (شکل ۱). در شرایط عدم استفاده از اسید سولفوریک همراه با آب آبخویی، کاربرد کود گاوی در ترکیب با گچ کارایی کمتری نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهد. یکی از علت‌های اصلی چنین وضعی این است که کاربرد متوالی کودهای حیوانی یا کمپوست حاوی مقادیر نسبتاً بالای نمک می‌تواند شوری خاک را تشدید کند (Smith et al., 2001; Walker & Bernal, 2008). همچنین Hao & Chang (2003) پس از مصرف کود گاوی، افزایش شوری خاک را گزارش شد. مطابق شکل ۱ برای تمام تیمارها، میزان EC خاک در مقایسه با خاک اولیه (۱۹/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش چشم‌گیری داشته است. درصد کاهش هدایت الکتریکی نسبت به خاک اولیه برای تیمارهای مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. درصد کاهش هدایت الکتریکی و درصد سدیم تبدالی در خاک اصلاح شده نسبت به خاک اولیه برای تیمارهای مورد مطالعه

تیمار	هدایت الکتریکی (EC)		درصد سدیم تبدالی (ESP)	
	بدون اسید	با اسید	بدون اسید	با اسید
شاهد	۸۰/۰	۸۲/۸	۸۴/۲	۸۸/۷
کود دامی	۷۸/۵	۶۹/۴	۸۰/۸	۷۶/۸
تفاله پسته	۸۲/۰	۷۶/۵	۸۸/۴	۹۰/۶
گچ	۸۰/۳	۸۴/۹	۸۳/۳	۹۰/۵
گچ+کود دامی	۶۶/۲	۷۱/۴	۷۳/۶	۸۱/۲
گچ+تفاله	۷۵/۴	۷۴/۱	۸۷/۴	۸۵/۳

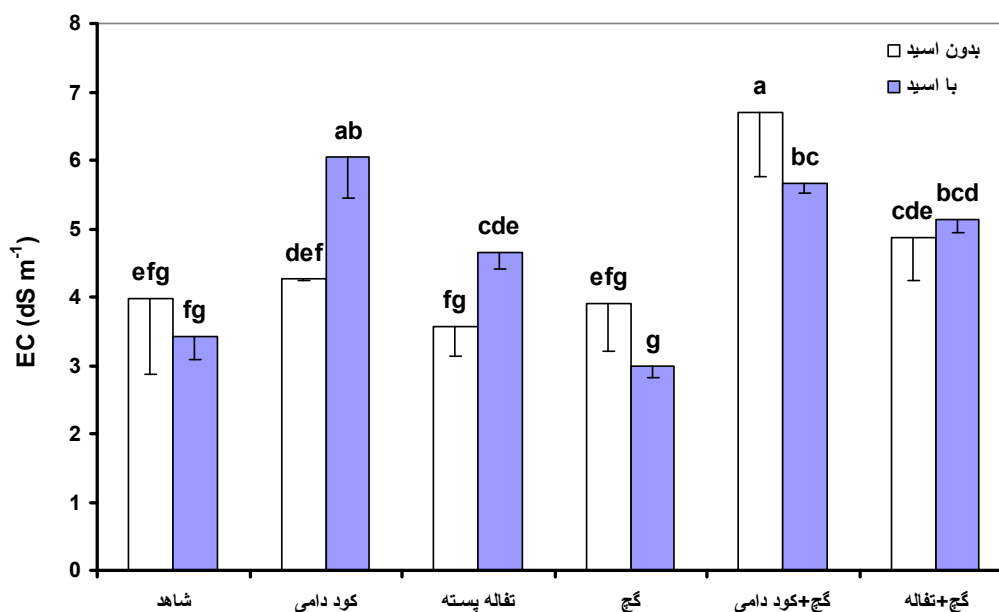
مقادیر بر مبنای خاک اولیه  $EC=19.81 \text{ dS.m}^{-1}$  و  $ESP=40.6\%$  به دست آمده است.

بر این اساس، برای تیمارهای مختلف، EC خاک اصلاح‌شده نسبت به خاک اولیه بین ۶۶/۲ تا ۸۴/۹٪ کاهش یافته است. این موضوع نشان دهنده از کارایی همه مواد اصلاح‌کننده در اصلاح شوری خاک شور و سدیمی است. در اثر فرآیند آبخویی املاح از ستون خاک شسته و تخلیه شده‌اند. از آن‌جا که نمک‌های محلول، انتقال‌پذیری زیادی دارند، مقدار EC خاک نه تنها تحت تأثیر نوع اصلاح‌کننده است، بلکه از حرکت آب در ستون خاک نیز تأثیر می‌پذیرد (Hao & Chang, 2003). بر اساس جدول ۴ مشخص می‌شود که بدون استفاده از هر ماده

اصلاح‌کننده‌ای و تنها با عملیات آبخویی می‌توان شوری را تا حد زیادی نسبت به خاک اولیه (۸۰٪) کاهش داد.

شکل ۱ همچنین نشان می‌دهد که در پی آبخویی ستون‌های خاک بدون حضور اسید سولفوریک که با کاربرد مواد آلی به تنهایی تیمار شده‌اند، نسبت به مخلوط گچ و مواد آلی، شوری خاک کاهش معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان می‌دهد که با یافته (Wong et al., 2009) همخوانی دارد. در مقابل، Vance et al. (1998) گزارش نمود که در مقایسه با کاربرد گچ به تنهایی، افزودن هم‌زمان ماده آلی و گچ به خاک باعث کاهش میزان EC خاک می‌شود. همچنین با مصرف گچ، شوری خاک در مقایسه با تیمار شاهد، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ نداشته است. یافته‌های (Muraoka & Dos Santos, 2001) نشان داد که کاربرد گچ همراه با آبخویی، باعث کاهش شوری خاک می‌گردد. به هر حال، در شرایط عدم استفاده از اسید سولفوریک همراه با آب آبخویی، تیمارهای مواد آلی به تنهایی (کود دامی و تفاله پسته)، گچ و شاهد (آبخویی تنها) قابلیت مطلوبی در اصلاح خاک شور و سدیمی داشته و EC را به حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داده‌اند.

بر اساس شکل ۱، در حالی که همراه با آب آبخویی از اسید سولفوریک استفاده شده است، تیمار گچ بیشترین تأثیر را در کاهش شوری خاک داشته است. هر چند تیمار شاهد نیز کارایی مطلوبی در کاهش EC نشان می‌دهد. این در حالی است که اعمال تیمار کود دامی به تنهایی و یا همراه گچ و همچنین تیمار تفاله پسته همراه با گچ، کاهش کمتری در شوری خاک نسبت به تیمار شاهد به دنبال داشته است. بیشتر بودن شوری در حضور اسید سولفوریک برای تیمار دارای کود دامی، احتمالاً به افزایش غلظت یون‌های محلول در نتیجه انحلال کانی‌های خاک ارتباط دارد که ناشی از افزایش فشار دی اکسید کربن (Sekhon & Bajwa, 1993) و یا تشکیل اسیدهای آلی (Wong et al., 2009) رخ می‌دهد. در مجموع، در بین تیمارهای مورد مطالعه در حضور اسید سولفوریک، گچ و شاهد بیشترین کارایی را در کاهش شوری خاک نشان می‌دهند. این یافته با نتایج (Clark et al., 2007) در مورد تأثیر گچ تناقض دارد.



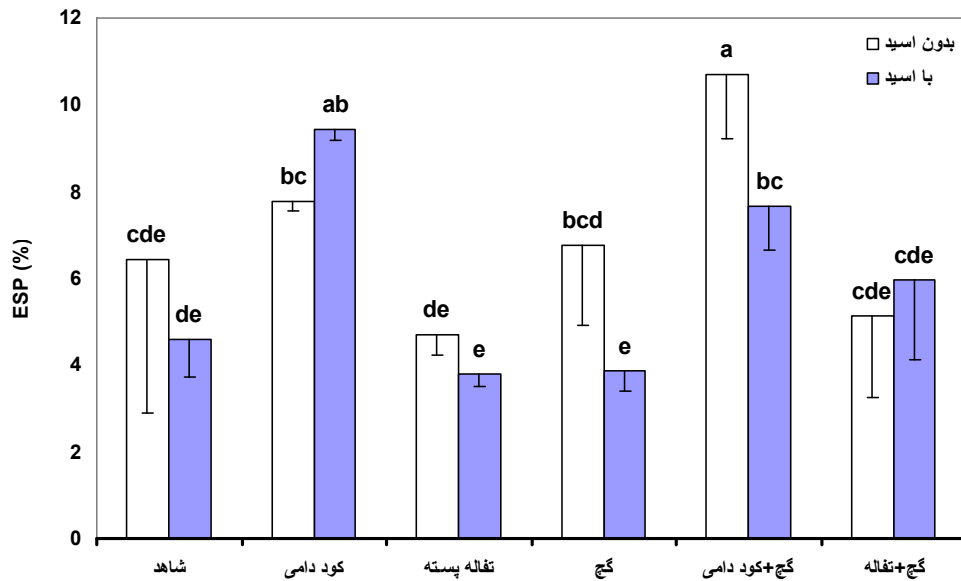
شکل ۱. تأثیر مواد اصلاح کننده مختلف بر تغییر میزان EC خاک (میانگین های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارد).

تیمارهای مورد مطالعه، کود دامی در ترکیب با گچ کمترین کارایی را در اصلاح خاک شور و سدیمی نشان می دهد. در مطالعات متعددی اثر کود دامی را در کاهش ESP گزارش شده است (Qadir et al., 2001; Jalali & Ranjbar, 2009). (Tejada et al., 2006) با افزودن بقایای پوسیده پنبه به خاک شور و سدیمی دریافت که میزان ESP کاهش یافته است. نتایج تحقیق حاضر روشن ساخت که در خاک های آهکی میزان کارایی ماده آلی به ترکیب شیمیایی آن بستگی دارد. همان گونه که پیش تر گفته شد، مقدار سدیم و منیزیم در کود گاوی نسبت به تفاله پسته بیشتر است. از همین رو، نتایج Clark et al. (2007) نیز نشان داد که نسبت مجموع کاتیون های کلسیم، منیزیم و پتاسیم به سدیم در ماده آلی اضافه شده به خاک، همبستگی منفی با درصد سدیم تبادلی دارد.

#### ب) درصد سدیم تبادلی

درصد سدیم تبادلی (ESP) یکی از مهمترین معیارهای بررسی وضعیت خاک های متأثر از سدیم به شمار می آید. نتایج نشان دهنده آن است که مواد اصلاح کننده اثرهای مختلفی بر اصلاح خاک شور و سدیمی دارند. مطابق شکل ۲، مشاهده می شود که پس از پایان عملیات آبشویی، ESP همه تیمارها نسبت به خاک اولیه که ۴۰/۶٪ بود، تا حد قابل قبولی کاهش نشان داده و در نهایت برای اغلب آنها به کمتر از ۱۰٪ رسیده است. با توجه به این که در منابع، حد آستانه ESP برابر با ۱۵٪ در نظر گرفته می شود (Li & Keren, 2009)، بنابراین به نظر می رسد همه تیمارهای مورد مطالعه در کاهش ESP به کمتر از حد آستانه کارایی مطلوبی داشته اند. بر اساس جدول ۴، تیمارهای مورد مطالعه باعث کاهش ESP خاک بین ۷۳/۶ تا ۹۰/۶٪ نسبت به خاک اولیه شده اند.

مواد آلی از طریق تولید CO<sub>2</sub> و در نتیجه افزایش انحلال آهک، باعث تولید یون کلسیم شده (Walker & Bernal, 2008) و همچنین از ورود سدیم به مکان های تبادلی جلوگیری و باعث کاهش ESP خاک می شوند (Qadir et al., 2001; Walker & Bernal, 2008). در بین



شکل ۲. تأثیر مواد اصلاح‌کننده مختلف بر تغییر ESP خاک (میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارد).

معمولی نیز می‌توان ESP خاک را تا حد مطلوبی (۰.۸۴/۲) کاهش داد.

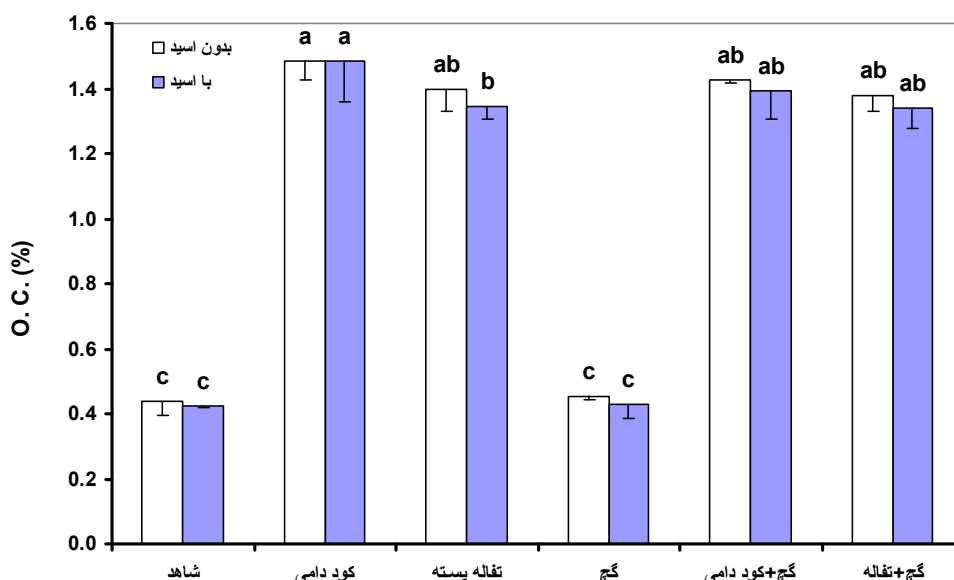
در شرایطی که از تیمار آب آیشویی با اسید سولفوریک استفاده شد، تیمارهای تفاله پسته و گچ با بیش از ۹۰٪، در مقایسه با تیمار کود دامی به تنهایی و یا در ترکیب با گچ، بیشترین قابلیت را در کاهش ESP داشته است (جدول ۴). نتایج همچنین نشان می‌دهد که در حضور اسید سولفوریک، کارایی گچ در کاهش ESP افزایش یافته است. با وجود اثر آنتاگونیسمی بین گچ و آهک با ورود اسید سولفوریک، مقدار بیشتری از منابع کلسیم‌دار وارد فاز محلول می‌شود، در نتیجه برای تیمار گچ، ESP خاک کاهش محسوسی یافته است. نقش اسید سولفوریک به گونه‌ای است که در خاک شاهد نیز باعث کاهش بیشتر ESP گردیده است. نتایج برخی از تحقیقات گذشته نیز نقش مؤثر اسید سولفوریک را در اصلاح خاک‌های آهکی سدیمی، تأیید نموده است (Amezket et al., 2005). در این تحقیق در حضور اسید سولفوریک، به دلیل آهکی بودن خاک، کارایی اسید سولفوریک در کاهش سدیم تبدلی بیشتر از گچ است. چنین می‌توان نتیجه گرفت که در حضور اسید سولفوریک همچنان تفاله پسته تأثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها در کاهش ESP داشته است.

نتایج همچنین نشان دهنده آن است که در شرایط آیشویی بدون مصرف اسید سولفوریک، کود دامی زمانی که با گچ ترکیب می‌شود، تأثیر آن در کاهش ESP کاهش می‌یابد. با این وجود، نتایج نشان از کاهش نسبت به خاک اولیه، با استفاده از مواد آلی به تنهایی و یا در ترکیب با گچ دارد. گچ از طریق رهاسازی کاتیون کلسیم و افزایش غلظت الکترولیت خاک و در نتیجه کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده باعث هم‌آوری ذرات رس شده و از پراکنده شدن آن‌ها جلوگیری می‌کند (Chorom & Elsharawy et al., 2008). به‌طور مشابهی نتایج (Rengasamy, 1997; Nelson et al., 1999) نشان داد که با افزودن ماده آلی و گچ به خاک به‌عنوان اصلاح‌کننده، درصد سدیم تبدلی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین Wong et al. (2009) گزارش کردند که با افزودن ماده آلی و گچ به‌ویژه در ترکیب با یکدیگر، ESP خاک کاهش می‌یابد. بر اساس شکل ۲، افزودن گچ به تنهایی کارایی مشابهی با تیمار شاهد در کاهش اثر سدیم تبدلی دارد. نتایج دیگر تحقیقات نیز نشان می‌دهد که با مصرف گچ، تخلیه سدیم از خاک افزایش و ESP کاهش می‌یابد (Singh & Bajwa, 1991). یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در خاک آهکی، تنها از طریق آیشویی

### ج) کربن آلی

اعمال تیمارهای آلی، کربن آلی به طور مستقیم به خاک افزوده شده و همین موضوع باعث افزایش سطح کربن آلی به مقادیر بیش از ۱/۳٪ در خاک شده است. این در حالی است که خاک اولیه مقدار کمتر از ۰/۵٪ کربن آلی داشته و اعمال تیمارهای مواد آلی، افزایش قابل توجه سطح کربن آلی را به دنبال داشته است. همان گونه که پیش تر گفته شد، دو تیمار تفاله پسته و گچ به نسبت کارایی مطلوب تری در کاهش شوری و سدیمی خاک مورد مطالعه دارند. این در حالی است که گچ یک اصلاح کننده معدنی بوده که هیچ گونه کربن آلی به خاک نمی افزاید، در حالی که تفاله پسته از این نظر برتری دارد.

یکی از محدودیت های مهم خاک های مناطق خشک و نیمه خشک کمبود مواد آلی است. برخی از مواد اصلاح کننده علاوه بر بهبود وضعیت شوری و سدیمی خاک، باعث افزایش سطح کربن آلی خاک شده و از این نظر اصلاح ساختمان خاک را نیز به دنبال دارند. شکل ۳ تأثیر مواد اصلاح کننده مختلف را بر تغییر کربن آلی خاک نشان می دهد. در هر دو شرایط حضور و عدم حضور اسید سولفوریک به طور تقریب نتایج مشابهی از نظر میزان کربن آلی به دست آمده است. به طور کلی، در بین تیمارهای مورد مطالعه، دو تیمار شاهد و گچ کمترین و تیمارهای حاوی منابع آلی بیشترین افزایش سطح کربن آلی خاک را باعث شده اند. با



شکل ۳. تأثیر مواد اصلاح کننده مختلف بر تغییر کربن آلی خاک (میانگین های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارد).

### د) جرم مخصوص ظاهری

مخصوص را دارد. Zaka et al. (2005) با استفاده از گچ، کود حیوانی و ترکیب آنها طی آزمایش های آبشویی نشان داد که ترکیب اصلاح کننده های مختلف در خاک شور و سدیمی نه تنها کارایی اصلاح را افزایش می دهد، بلکه با افزایش نفوذپذیری، باعث سرعت گرفتن امر اصلاح خاک هم می گردد.

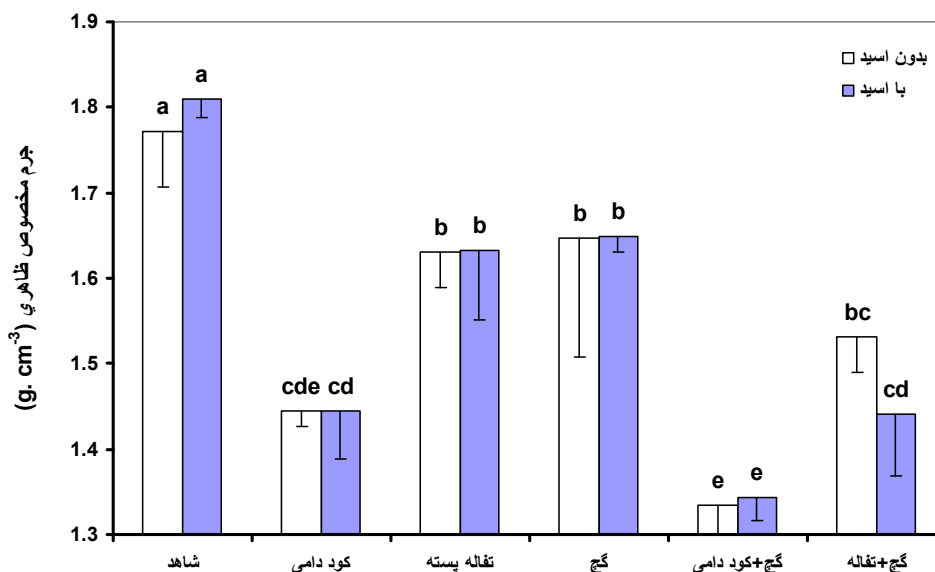
در اثر تجزیه مواد آلی، از یک طرف ترکیبات آلی اتصال دهنده و از طرف دیگر کاتیون های هم آور کننده آزاد می شوند. بنابراین افزون بر ماهیت ماده آلی که جرم

کاربرد اصلاح کننده های مختلف، افزون بر بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مانند شوری و سدیمی، منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی های فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع و رطوبت قابل استفاده می شود. شکل ۴ جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر اعمال تیمارهای مختلف را پس از آبشویی نشان می دهد. در بین تیمارهای مورد مطالعه، تیمار شاهد به طور معنی داری بیشترین و کود دامی در ترکیب با گچ کمترین مقدار جرم



حاضر همچنین نشان می‌دهد که در تمام تیمارها، افزودن گچ باعث کاهش جرم مخصوص نسبت به عدم کاربرد گچ (تیمار شاهد) شده است. گچ دارای کاتیون کلسیم بوده که در هم‌آوری ذرات نقش اساسی بازی می‌کند. به‌نظر می‌رسد ترکیب تیمارهای مختلف با گچ باعث اتصال بیشتر ذرات خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود.

مخصوص کمی دارد، مواد حاصل از تجزیه آن نیز بر خاکدانه‌سازی و در نتیجه جرم مخصوص خاک تأثیر می‌گذارد. (Elsharawy et al. 2008) با بررسی تأثیر ماده آلی و گچ بر اصلاح یک خاک شور و سدیمی دریافت که با مصرف این مواد، خصوصیات فیزیکی خاک شامل ساختمان، خاکدانه‌سازی، تخلخل، چگالی حجمی، هدایت آبی و وضعیت رطوبتی بهبود می‌یابد. یافته‌های تحقیق



شکل ۴. تأثیر مواد اصلاح‌کننده بر جرم مخصوص ظاهری خاک (میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارد).

بهبود خصوصیات فیزیکی مانند جرم مخصوص ظاهری نیز برتری این مواد را تأیید می‌نماید.

#### ه) رطوبت اشباع

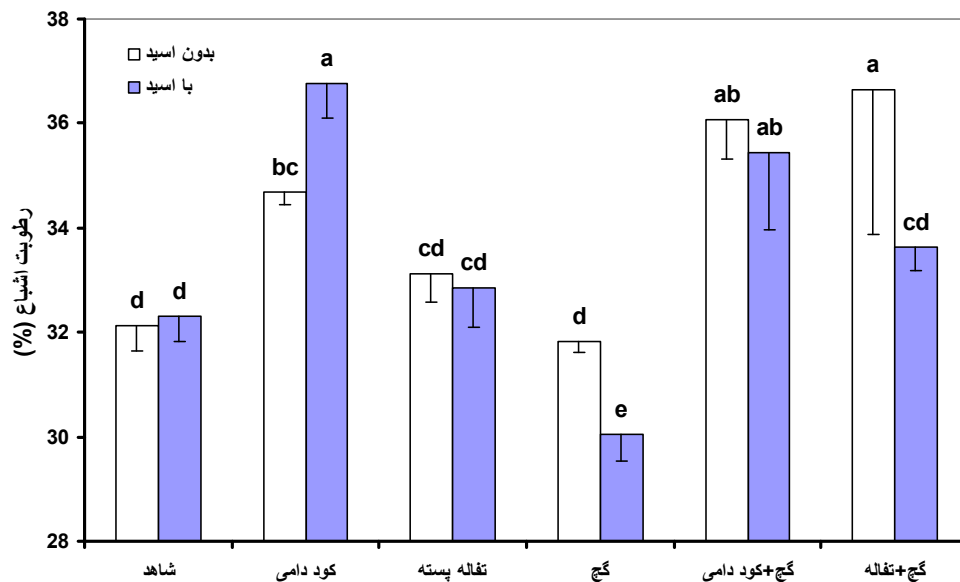
شکل ۵ تأثیر مواد اصلاح‌کننده بر رطوبت اشباع خاک را پس از فرآیند اصلاح نشان می‌دهد. در شرایط عدم حضور اسید سولفوریک، تیمارهای شاهد، گچ و تفاله پسته کمترین مقادیر رطوبت اشباع را نشان می‌دهند. هر چند کاربرد گچ به تنهایی خصوصیات شیمیایی خاک را از طریق کاهش EC و ESP بهبود بخشیده، اما در اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک کارآمدی مواد آلی را ندارد (Lakhdar et al., 2009). با افزودن مواد آلی به‌ویژه در ترکیب با گچ، رطوبت اشباع افزایش یافته است. این نتیجه دلیلی بر اهمیت مواد آلی در افزایش قابلیت جذب رطوبت خاک می‌باشد. گچ به تنهایی قادر به افزایش رطوبت اشباع نبوده ولی زمانی که با مواد آلی ترکیب و به خاک افزوده

در شرایطی که از اسید سولفوریک همراه با آب آبخوبی استفاده شود، همچنان تیمار شاهد بیشترین جرم مخصوص ظاهری را دارا است. در مقابل، تیمار کود دامی در ترکیب با گچ به دلایل گفته شده در بالا دارای کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری است.

(Hussain et al. 2001) برای اصلاح یک خاک سدیمی در شرایط مزرعه از گچ، اسید سولفوریک و کود دامی به‌صورت جداگانه و در ترکیب با هم استفاده نمود. نتایج نشان داد که کاربرد با هم هر سه ماده، بیشترین تأثیر را بر کاهش جرم مخصوص، افزایش تخلخل، نفوذپذیری و هدایت آبی داشته است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مصرف اسید سولفوریک، تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری ندارد؛ در حالی که مواد آلی بیشترین نقش را در کاهش آن دارا است. بنابراین، افزودن بر نقش مواد آلی در اصلاح خاک شور و سدیمی، تأثیر بر

منافذ همراه باشد. با افزودن مواد آلی به خاک به دلیل کاهش جرم مخصوص در اثر خاکدانه‌سازی، از یک طرف حجم بیشتری از محلول در تعامل با سطح کلوئیدی خاک بوده و از طرف دیگر به دلیل اندازه بزرگتر مجاری بین ذرات، حجم بیشتری از آب دارندهٔ املاح مضر از خاک شسته می‌شود. در شرایطی که به جای آب معمولی از آب تیمار شده با اسید سولفوریک استفاده شود، تیمار گچ کمترین درصد رطوبت اشباع را نشان می‌دهد. در این شرایط، تیمار شاهد دارای رطوبت اشباع (تخلخل کل) بیشتری نسبت به تیمار گچ است. اسید سولفوریک این قابلیت را دارد که در خاک آهکی، کلسیم را از ساختار آهک خارج نموده و آن را به‌عنوان عامل پیوند بین ذرات خاک عرضه نماید. همچنین افزودن ماده آلی باعث افزایش رطوبت اشباع خاک می‌شود. رطوبت اشباع مطلوب در یک خاک، بستگی به ساختار خاک و توزیع اندازه تخلخل دارد که در نهایت رطوبت قابل استفاده گیاه را کنترل می‌کند. در مجموع، مواد آلی به دلیل افزایش تخلخل کل و اندازه منافذ هم توانایی جذب رطوبت توسط خاک و هم قابلیت استفاده از آن توسط گیاه را افزایش می‌دهند.

می‌شود، افزایش رطوبت اشباع را در پی دارد. به‌نظر می‌رسد اثر متقابل گچ و مواد آلی در خاک آهکی به‌گونه‌ای است که افزایش تخلخل کل خاک را باعث می‌گردد. از آن‌جا که گچ با آهک دارای اثر آنتاگونیسمی بوده، بنابراین به تنهایی قادر به افزایش رطوبت اشباع نیست. استفاده از اصلاح‌کننده‌های مختلف، باعث تغییر در مقدار رطوبت اشباع خاک می‌گردد. هر چه رطوبت اشباع خاک بیشتر باشد، نشان‌دهنده حجم بیشتر تخلخل کل آن است. به‌عبارتی، چنین خاکی قابلیت نگهداری رطوبت بیشتری را در خود دارد. رطوبت اشباع بیشتر و یا تخلخل کل بیشتر، به مفهوم حجم بیشتر فاز محلول خاک در مجاورت ذرات خاک است. هر چه این حجم بیشتر باشد، به‌ویژه در خاک‌های با دانه‌بندی ریزتر، می‌تواند باعث افزایش تعاملات بین فاز جامد و محلول گردد. خاک‌های دارای ذرات ریزتر، سطح ویژه بیشتری داشته و در نتیجه سطح مؤثر ذرات که در تماس با محلول خاک است، افزایش می‌یابد. آن‌چه که در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در این ارتباط اهمیت دارد، تخلیه املاح مضر مانند سدیم از ستون خاک است. رطوبت اشباع در صورتی باعث سرعت گرفتن فرآیند اصلاح خاک می‌گردد که با اندازه درشت‌تر



شکل ۵. تأثیر مواد اصلاح‌کننده بر رطوبت اشباع خاک (میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارد).

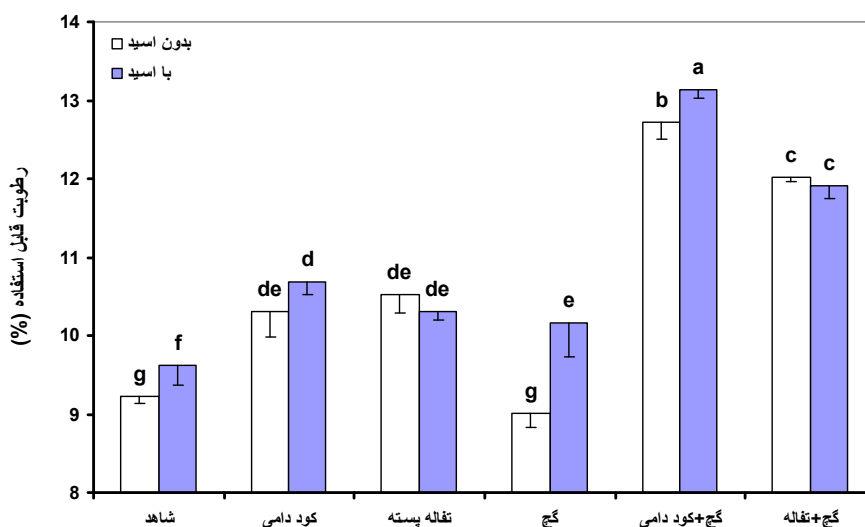
حضور اسید سولفوریک در آب آبخوئی، دو تیمار گچ و شاهد کمترین مقدار رطوبت قابل استفاده را نشان می‌دهند. در حالی که تیمار ترکیب کود دامی با گچ به‌طور

#### و) رطوبت قابل استفاده

شکل ۶ تأثیر مواد اصلاح‌کننده مورد مطالعه را بر رطوبت قابل استفاده خاک نشان می‌دهد. در شرایط عدم

است. عوامل زیادی بر توزیع تخلخل علاوه بر رطوبت اشباع یک خاک اثر می‌گذارند. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به نقش مواد آلی اشاره کرد. مواد آلی افزون بر افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت، نقش تعدیل‌کننده در توزیع اندازه ذرات خاک و در نتیجه توزیع منافذ خاک دارد. بنابراین، در حضور مواد آلی افزون بر افزایش رطوبت اشباع خاک، توزیع تخلخل به سمت منافذ درشت میل می‌کند. نتیجه آن که هر چند خاک حجم قابل توجهی آب یا رطوبت را در خود نگهداری می‌کند، این قابلیت را دارد که رطوبت خود را به تدریج در اختیار گیاه قرار دهد. اهمیت مواد آلی در این زمینه از آنجا روشن می‌شود که خاک‌های حاوی رس زیاد نیز دارای ظرفیت نگهداشت بالای رطوبت هستند، ولی توزیع اندازه ذرات به سمت ذرات ریز میل دارد. در نتیجه با وجود تخلخل کل به مقدار زیاد این خاک‌ها، منافذ ریز بخش زیادی از خاک را به خود اختصاص داده که عرضه رطوبت به گیاه را با دشواری روبرو می‌سازد.

معنی‌داری بیشترین مقدار رطوبت قابل استفاده را باعث شده است. نتایج همچنین نشان دهنده آن است که ترکیب گچ با مواد آلی نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها اثر معنی‌داری در بهبود رطوبت قابل استفاده داشته است. در صورت استفاده از تیمار آب آیشویی همراه با اسید سولفوریک، همچنان تیمار شاهد دارای کمترین مقدار رطوبت قابل استفاده است، در حالی که با افزودن مواد آلی به ویژه در ترکیب با گچ، رطوبت قابل استفاده افزایش معنی‌داری در سطح ۵٪ می‌یابد. همچنین کود دامی نسبت به تفاله پسته رطوبت قابل استفاده بیشتری را نشان می‌دهد. به‌طور مشابهی، (El-Shakweer et al. (1998، (Qadir et al. (2001، (Jalali و Elsharawy et al. (2008، (Ranjbar & Ranjbar (2009) افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک را با مصرف کود دامی گزارش نمودند. افزون بر تخلخل کل، توزیع اندازه خلل و فرج نیز در خاک اهمیت زیادی دارد. در صورتی که یک خاک تخلخل کل زیادی با فراوانی بیشتر منافذ ریز داشته باشد، با وجود رطوبت اشباع قابل توجه، هدایت آبی آن در حالت اشباع، کم



شکل ۶. تأثیر مواد اصلاح‌کننده بر رطوبت قابل استفاده خاک (میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارد).

### نتیجه‌گیری

حالی است که استفاده از اسید سولفوریک به همراه آب آیشویی تنها بر ESP، رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت قابل استفاده اثر معنی‌داری نشان داد. در شرایط عدم استفاده از اسید سولفوریک، تیمار تفاله پسته، بیشترین تأثیر را در کاهش شوری خاک داشت و در مقابل کاربرد کود گاوی

نتایج این تحقیق نشان داد که مواد اصلاح‌کننده آلی و معدنی که با خاک ترکیب شده‌اند، باعث تغییر معنی‌دار کربن آلی، هدایت الکتریکی (EC)، درصد سدیم تبادلی (ESP)، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی و همچنین رطوبت قابل استفاده، شده است. این در

سطح کربن آلی از ۰/۵٪ اولیه به مقادیر بیش از ۱/۳٪ در پایان، رسید. نتایج نشان داد که مصرف اسید سولفوریک، تأثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری ندارد، در حالی‌که مواد آلی بیشترین نقش را در کاهش آن دارد. در شرایط عدم حضور اسید سولفوریک، تیمارهای شاهد و گچ کمترین مقادیر رطوبت اشباع و قابل استفاده را ایجاد نمودند. با افزودن مواد آلی به‌ویژه در ترکیب با گچ، این رطوبت‌ها افزایش یافت. نتایج همچنین نشان می‌دهد که ترکیب گچ با مواد آلی نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها اثر معنی‌داری در بهبود رطوبت قابل استفاده دارد. در حضور اسید سولفوریک، تیمار گچ کمترین درصد رطوبت اشباع و تیمار شاهد کمترین مقدار رطوبت قابل استفاده را نشان دادند، در حالی‌که با افزودن مواد آلی به‌ویژه در ترکیب با گچ، رطوبت اشباع و قابل استفاده افزایش معنی‌داری یافتند. در مجموع، موثرترین تیمارها در کاهش EC و ESP در حالت آبشویی با آب معمولی، به‌ترتیب تفاله پسته، شاهد، گچ و تفاله+گچ و در حالت آبشویی با اسید سولفوریک به‌ترتیب گچ، تفاله پسته، شاهد و تفاله+گچ است. به‌طور کلی، اقتصادی‌ترین تیمار موثر در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی آهکی در مقیاس وسیع به‌ترتیب شاهد، تفاله پسته و در آخر گچ معرفی می‌شود.

در ترکیب با گچ کارایی کمتری نشان داد. در تیمارهای مورد مطالعه، EC خاک اصلاح‌شده نسبت به خاک اولیه بین ۶۶/۲ تا ۸۴/۹٪ کاهش یافت. همچنین بدون استفاده از هر ماده اصلاح‌کننده‌ای و تنها با عملیات آبشویی شوری تا ۸۰٪ نسبت به خاک اولیه کاهش یافت. در حضور اسید سولفوریک، کود گاوی کمترین و گچ بیشترین کارایی را در کاهش شوری خاک دارد. در فرآیند آبشویی بدون حضور اسید سولفوریک، تفاله پسته بهترین قابلیت را در کاهش ESP خاک نشان داد. در مقابل، کود دامی، وضعیتی ضعیف‌تری از نظر اصلاح خاک شور و سدیمی نشان داد. پس از پایان عملیات آبشویی، ESP نهایی برای اغلب تیمارها به کمتر از ۱۰٪ کاهش یافت. برای تیمارهای مورد مطالعه، ESP خاک اصلاح‌شده نسبت به خاک اولیه بین ۷۳/۶ تا ۹۰/۶٪ کاهش یافت. مشخص گردید که در خاک‌های سدیمی آهکی، تنها از طریق آبشویی صرف نیز می‌توان ESP خاک را تا ۸۴/۲٪ کاهش داد. در حضور اسید سولفوریک، کارایی گچ در کاهش ESP مشابه با EC افزایش می‌یابد. همچنین در حضور اسید سولفوریک، تفاله پسته هم‌چنان تأثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها در کاهش ESP داشته است. همچنین مواد آلی افزون بر نقش اصلاح‌کنندگی شوری و سدیمی، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی گردیده‌اند. با اعمال تیمارهای مواد آلی، افزایش

## References

- Akhtar, M. S., Steenhuis, T. S., Richards, B. K., & McBride, M. B. (2003). Chloride and lithium transport in large arrays of undisturbed silt loam and sandy loam soil columns. *Vadose Zone Journal*, 2, 715-727.
- Amezketta, E., Aragues, R., & Gazol, R. (2005). Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, 97, 983-989.
- Ammari, T. G., Tahboub, A. B., Saoub, H. M., Hattar, B. I., & Al-Zubi, Y. A. (2008). Salt removal efficiency as influenced by phyto-amelioration of salt-affected soils. *Journal of Food, Agricultura and Environment*, 6, 456-460.
- Anapali, O., Sahin, V., Oztas, T., & Hanay, A. (2001). Defining effective salt leaching regions between drains. *Turkish Journal of Agriculture*, 25, 51-56.
- Chorom, M., & Rengasamy, P. (1997). Carbonate chemistry, pH and physical properties of an alkaline sodic soil as affected by various amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 35, 149-161.
- Clark, G. J., Dodgshun, N., Sale, P. W. G., & Tang, C. (2007). Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2806-2817.
- El-Shakweer, M. H. A., El-Sayad, E. A., & Ejes, M. S. A. (1998). Soil and plant

- analysis as a guide for interpretation of the improvement efficiency of organic conditioners added to different soils in Egypt. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29, 2067-2088.
- Elsharawy, M. A. O., Elbording, M. M., & Sedeka, A. A. (2008). Improvement of a salt affected soil on Bahr EL-Bakar area using certain industrial by products. *Journal of Applied Science and Research*, 47, 839-846.
- Flagella, Z., Cantore, V., Giuliani, M. M., Tarantino, E., & De Caro, A. (2002). Crop salt tolerance: Physiological, yield and quality aspects. *Recent Research Development Plant Biology*, 2, 155-186.
- Hanay, A., Buyuksanmz, F., Kiziloglu, F. M., & Canbolat, M. V. (2004). Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science and Utilization*, 12, 175-179.
- Hao, X., & Chang, C. (2003). Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture Ecosystem and Environment*, 94, 89-103.
- Hussain, N., Hassan, G., Arshadullah, M., & Mujeeb, F. (2001). Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3, 319-322.
- Jalali, M., & Ranjbar, F. (2009). Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma*, 153, 194-204.
- Kay, B. D. & Vandenbygaart, A. J. (2002). Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, 66, 107-118.
- Keren, R. (1996). Reclamation of sodic-affected soils. In: Agassi, M. (Ed.), *Soil Erosion Conservation and Rehabilitation*. pp. 353-374. Marcel Dekker Inc, New York.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 29-37.
- Li, F. H., & Keren, R. (2009). Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere*, 19, 465-475.
- Mitchell, J. P., Shennan, C., Singer, M. J., Peters, D. W., Miller, R. O., Prichard, T., Grattan, S. R., Rhoades, J. D., May, D. M., & Munk, D. S. (2000). Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 45, 55-71.
- Mostafazadeh-Farad, B., Heidarpour, M. Aghakhani, A., & Feizi, M. (2007). Effects of irrigation water salinity and leaching on soil chemical properties in an arid region. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9, 466-469.
- Muraoka, T., & Dos Santos, R. V. (2001). Nutrition of vigha plants on a gypsum amended saline-sodic soils. *Development in Plant and Soil Sciences*, 92, 438-440.
- Nelson, P. N., Baldock, J. A., Clarke, P., Oades, J. M., & Churchman, G. J. (1999). Dispersed clay and organic matter in soil: Their nature and associations. *Australian Journal of Soil Research*, 37, 289-315.
- Page, A. L., Miller, R. H. & Jeeney, D. R. (1992). *Methods of soil analysis, part 1: Physical properties*. SSSA Pub., Madison. 1750 p.
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of soil analysis, Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Springer, 993 p.
- Puget, P., Chenu, C., & Balasdent, J. (2000). Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, 51, 595-605.
- Qadir, M., & Oster, J. D. (2004). Review, crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of Total Environment*, 323, 1-19.

- Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2001). Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*, 50, 197-210.
- Qadir, M., Qureshi, R. H., & Ahmad, N. (1996). Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma*, 74, 207-217.
- Quirk, J. P. (2001). The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1185-1217.
- Sadiq, M., Hassan, G., Chaudhry, G. A., Hussain, N., Mehdi, S. M., & Jamil, M. (2003). Appropriate land preparation methods and sulfuric acid use for amelioration of salt affected soils. *Pakistan Journal of Agronomy*, 138-145.
- Sadiq, M., Hassan, G., Mehdi, S. M., Hussain, N., & Jamil, M. (2007). Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere*, 17, 182-190.
- Sekhon, B. S., & Bajwa, M. S. (1993). Effect of organic matter and gypsum in controlling soil sodicity in rice-wheat-maize system irrigated with sodic waters. *Agricultural Water Management*, 24, 15-25.
- Singh, H., & Bajwa, M. S. (1991). Effect of sodic irrigation and gypsum on the reclamation of sodic soil and growth of rice and wheat plants. *Agricultural Water Management*, 20, 163-171.
- Smart, M. K. (2003). Effect of long term irrigation with reclaimed water on soils of the northern Adelaide plains. *Australian Journal of Soil Research*, 1-16.
- Smith, D. C., Beharee, V. & Hughes, J. C. (2001). The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Science of Horticulture*, 91, 393-406.
- So, H. B., & Aylmore, L. A. G. (1993). How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behaviour. *Australian Journal of Soil Research*, 31, 761-778.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., & Hernandez, M. T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1413-1421.
- Valzano, F. P., Greene, R. S. B., Murphy, B. W., Rengasamy, P., & Jarwal, S. D. (2001). Effects of gypsum and stubble retention on the chemical and physical properties of a sodic grey Vertosol in western Victoria. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1333-1347.
- Vance, W. H., Tisdell, J. M., & McKenzie, B. M. (1998). Residual effects of surface application of organic matter and calcium salts on the sub-soil of a red-brown earth. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38, 595-600.
- Walker, D. J., & Bernal, M. P. (2008). The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresources Technology*, 99, 396-403.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Wong, V. N. L., Dalal, R. C., & Greene, R. S. B. (2009). Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41, 29-40.
- Zaka, M. A., Rehman, O., Rafam, H. U., & Khan, A. A. (2005). Integrated approach for reclamation of salt affected soils. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 183, 94-97.

## **Effect of different amendments on some physical and chemical properties of a saline-sodic soil**

1-N. Yazdanpanah, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, I.R. Iran  
najmeyazdanpanah@yahoo.com

2- E. Pazira, Department of Soil Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

3-A. Neshat, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, I.R. Iran

4- M. Mahmoodabadi, Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, I.R. Iran

Received: 26 Sep 2011

Accepted: 06 Jun 2012

### **Abstract**

Soil salinity and sodicity are two aspects of land degradation, especially in arid and semi-arid regions. This study focused on the role of different amendments on physical and chemical properties of a saline sodic soil, including EC, ESP, organic carbon, bulk density, saturated percent, field capacity and available water content. The experiments were conducted as factorial based on completely randomized design using six soil amendments, including control (C), cattle manure (M), pistachio residue (P), gypsum (G), M+G and P+G, moreover, two water treatments (with and without sulfuric acid) each at three replicates. The experiments were carried out under laboratory condition using soil column. Four intermittent leaching steps were applied with one month intervals and one pore volume. Results showed that at different treatments, final EC and ESP values compared to those of the initial soil decreased 66.2- 84.9% and 73.6-90.6%, respectively. Since the soil was calcareous, the final EC and ESP of soil compared to the initial soil decreased 80 and 84.2%, respectively because of leaching. In presence and absence of sulfuric acid, the highest efficiency in reduction of EC was found for gypsum and pistachio residue. In addition, pistachio residue and cattle manure exhibited higher and less efficiencies in reduction of ESP, respectively. The finally, ESP of the treated soils was reduced to less than 11%, for all of the treatments. Furthermore, the application of organic matters led to improvement of soil physical properties. The results indicated that sulfuric acid had no significant influence on soil bulk density. Control and gypsum treatments showed the least amounts of available water. It was also found that the combined application of organic matters with gypsum compared to their exclusive application had more significant impact on available water. The findings of this research reveal the importance of pistachio residue in ameliorating saline sodic soil under leaching condition.

**Keywords:** Leaching; Sulfuric acid; Soil reclamation; Gypsum; Electrical Conductivity; Exchangeable Sodium Percentage.