



اثر استفاده ساده و ترکیبی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر کیفیت زهاب خروجی و نسبت

جذب سدیم در یک خاک شور و سدیمی

واحده قهری^۱، محبوبه ضرابی^{۲*}، زهرا وارسته خانلری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

*mzarabi@malayeru.ac.ir, zarrabi7@gmail.com

چکیده:

آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با هدف بررسی اثر تیمارهای معدنی (گچ، گوگرد) و آلی (ضایعات انگور و ورمی کمپوست) به صورت ساده و ترکیبی، بر ویژگی‌های یک خاک شور و سدیمی رسی تحت فرآیند آیشویی در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه ملایر در سال ۱۴۰۳ انجام شد. ستون‌های خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده با نیم درصد وزنی از تیمارها در سه تکرار، به مدت ۴ ماه با فواصل زمانی یک ماه، با آب شهر آیشویی شدند. در زهاب‌های خروجی غلظت تجمعی کاتیون‌ها، در زهاب ماه اول و آخر pH، EC و SAR و در خاک آیشویی شده برخی ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شد. نتایج بیانگر اثر معنی‌دار تیمارها بر pH ($p < 0.05$)، EC و SAR ($p < 0.01$) در زهاب ماه آخر و غلظت تجمعی کاتیون‌های آیشویی شده ($p < 0.01$) بود. مقدار کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم تجمعی آیشویی شده به ترتیب از تیمارهای گوگرد، گوگرد+ضایعات انگور، گچ و گوگرد+ضایعات انگور اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها نشان داد ($p < 0.05$). آیشویی با تیمارهای ساده آلی موجب سدیک شدن خاک شد. تیمارهای گچ+ضایعات انگور، گوگرد+ضایعات انگور، گچ+ورمی کمپوست و گوگرد+ورمی کمپوست موجب تبدیل خاک مورد مطالعه به خاک شور شدند. با توجه به نتایج به دست آمده، مطالعات میدانی و تکمیلی با استفاده از تیمارهای ترکیبی معدنی و آلی این تحقیق، همراه با احداث زهکش زیرزمینی در خاک منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: آیشویی، خاک شور و سدیمی، ضایعات انگور، گوگرد عنصری، گچ

مقدمه:

در خاک‌های شور و سدیمی به دلیل تجمع نمک‌های محلول و یون سدیم، رشد گیاهان با مشکل روبرو است. تقریباً ۱/۳ میلیارد هکتار از اراضی دنیا تحت تأثیر این مشکل قرار دارند. این مسئله به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران به طور قابل توجهی مشهود است (Zhang et al., 2022). وسعت اراضی شور و سدیمی در ایران در بین ۱۵ تا ۲۶ میلیون هکتار می‌باشد (Mahmoudinejad et al., 2024). در این خاک‌ها کاهش حاصلخیزی، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و افزایش فشار اسمزی بر رشد گیاهان، میکروفلور خاک و تنوع زیستی تأثیر منفی می‌گذارد. اصلاح این گونه خاک‌ها به کمک مواد آلی و معدنی تحت فرآیند آیشویی، یک رویکرد پایدار مؤثر جهت بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک می‌باشد. اصلاح یک خاک شور و سدیمی مستلزم حذف سدیم از فاز تبادل و وارد نمودن آن به فاز محلول توسط کاتیون‌های دو ظرفیتی و سپس خروج آن با انجام دوره‌های معینی آیشویی با کیفیت مشخص، از پروفیل خاک است. مطالعات گوناگونی در ارتباط با اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در سطح جهان و ایران با استفاده از مواد اصلاح‌کننده آلی و معدنی مختلف نظیر گچ (Kim et al., 2017)، گوگرد عنصری، اسید سولفوریک (Piri et al., 2024)، ورمی کمپوست و بیوجار (Saghafi et al., 2019) انجام شده است. در شهرستان ملایر استان همدان سالانه مقادیر قابل توجهی از ضایعات



انگور پس از تهیه شیره انگور تولید می‌شود. ضایعات انگور حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر ماکرو و میکرو می‌باشند و می‌توانند تامین کننده عناصر غذایی در خاک‌ها باشند (Al Juhaimi et al., 2017). ورمی‌کمپوست نیز از جمله اصلاح کننده‌های آلی خاک است که موجب بهبود ساختار خاک، ظرفیت نگهداری آب و تهویه شده و همچنین جذب و دسترسی عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را برای گیاهان افزایش می‌دهد (Blouin et al., 2019). از آنجایی که مطالعه‌ای در مورد اثر ضایعات انگور و ورمی‌کمپوست همراه با گچ و گوگرد عنصری بر روی خاک‌های شور و سدیمی انجام نشده است، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مواد اصلاح کننده آلی و معدنی به صورت ساده و تلفیقی در طی فرآیند آبشویی بر خصوصیات شیمیایی یک خاک شور و سدیمی انجام شد.

مواد و روش‌ها:

جهت انجام این پژوهش یک نمونه خاک شور و سدیمی (جدول ۱) از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی متری از منطقه نوشیجان واقع در شهرستان ملایر، استان همدان در سال ۱۴۰۲ تهیه شد. نمونه خاک تهیه شده به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه ملایر منتقل شده و هوا خشک شد. سپس جهت آنالیز خاک و مطالعات آبشویی به ترتیب از الک ۲ و ۴ میلی متری عبور داده شد. قبل از انجام مطالعات آبشویی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک نمونه برداری شده اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری، و در عصاره اشباع تهیه شده مقادیر pH و EC، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتری، یون کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 2020). جهت اصلاح به میزان ۰/۵ درصد وزنی (Tejada et al., 2006) بر اساس جرم مخصوص ظاهری و ارتفاع خاک درون ستون‌ها از تیمارهای معدنی، شامل گچ (G)، گوگرد عنصری به همراه ۰/۵ درصد وزنی باکتری تیوباسیلوس (S) و تیمارهای آلی شامل ضایعات انگور (Gw)، ورمی‌کمپوست (VC) به صورت ساده (G, S, Gw, VC) و ترکیبی شامل تیمارهای ساده و ترکیبی گچ+ورمی‌کمپوست (G+VC)، گچ+ ضایعات انگور (G+Gw)، گوگرد+ورمی‌کمپوست (S+VC) و گوگرد+ ضایعات انگور (S+Gw) به همراه ستون خاک شاهد (Control) استفاده شد. تیمارها کاملاً با خاک مخلوط شدند و مطالعات آبشویی در سه تکرار و با استفاده از ۲۷ ستون آبشویی در آزمایشگاه انجام شد. اصلاح کننده‌های آلی قبل از استفاده از الک ۰/۵ میلی متری عبور داده شدند و ویژگی‌های آن‌ها (جدول ۲) با روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (Wang et al., 2015). جهت انجام مطالعات آبشویی از ستون‌های پلاستیکی با طول ۲۴ سانتی متر و قطر داخلی ۶/۸ سانتی متر استفاده شد. ستون‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی متری با خاک‌های آماده شده پر شده و به مدت چهار ماه با فاصله زمانی یک ماه، با یک پورالیوم آب شهر با pH، EC و SAR به ترتیب برابر با ۷/۵، dSm^{-1} و ۰/۶۵ و $(meq\ l^{-1})^{1/2}$ آبشویی شده و در زهاب‌های خارج شده در طول چهار دوره آبشویی، غلظت تجمعی کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و در زهاب ماه اول و آخر آبشویی مقادیر pH، EC و SAR به روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 1996). در پایان آبشویی، خاک درون ستون‌های آبشویی تخلیه و خشک شده و برخی از ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها به روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزار SPSS 27.0.1 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها توسط نرم افزار Excel 2013 رسم شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه قبل از آبشویی

بافت	جرم مخصوص ظاهری gcm^{-3}	آهک %	SAR $(meq\ l^{-1})^{1/2}$	*EC (dSm^{-1})	*pH	*Na ⁺	*K ⁺	*Ca ²⁺	*Mg ²⁺
رسی	۱/۳	۳۴/۵	۴۴/۴	۸/۴	۸/۳	۱۵۱/۹	۱/۴	۱۳/۴	۱۰



*اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی اصلاح‌کننده‌های آلی

pH	EC (dSm ⁻¹)	C/N	ترکیب آلی
۷/۶	۱/۱	۲۱/۳	ورمی کمپوست
۴/۰	۵۲/۴	ضایعات انگور	

نتایج و بحث:

مقادیر pH، EC و SAR در زهاب‌ها

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارها اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار pH و در سطح احتمال یک درصد بر مقادیر EC و SAR زهاب‌های خارج شده در ماه اول و ماه آخر آبیاری داشتند (جدول ۳).

مطابق نتایج مقایسه میانگین در زهاب ماه اول، بیشترین مقدار pH به دست آمده در تیمار ساده آلی ورمی کمپوست (۸/۰۷) با مقدار pH در سایر تیمارها بجز تیمار شاهد و تیمارهای گچ، ضایعات انگور و گچ+ورمی کمپوست اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان داد (شکل ۱). همچنین کمترین مقدار pH مشاهده شده در تیمار گوگرد+ضایعات انگور (۷/۱۰) با pH در تیمارهای گچ+ورمی کمپوست، گچ+ضایعات انگور، گچ و گوگرد+ورمی کمپوست اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۱). نتایج نشان دهنده افزایش pH در آخرین زهاب خارج شده از خاک‌های شاهد و تیمار شده نسبت به زهاب ماه اول است. در زهاب ماه آخر نیز بیشترین مقدار pH، در تیمار ورمی کمپوست (۸/۵۷) مشاهده شد که با pH در سایر تیمارها بجز تیمارهای ضایعات انگور و گچ+ضایعات انگور اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) داشت و همچنین بین کمترین مقدار pH مشاهده شده در آخرین زهاب خارج شده از تیمار گوگرد (۷/۷۱) با مقدار pH در تیمار شاهد و تیمارهای گوگرد+ضایعات انگور، گچ+ورمی کمپوست و گوگرد+ورمی کمپوست اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۱). دلایان و همکاران (۱۴۰۰) نیز در مطالعه اثر اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی، افزایش pH را در آخرین زهاب گزارش نمودند. وجود یک منبع بالقوه از یون کلسیم برای جاگزینی یون سدیم تبادلی و شست و شو و خروج آن دلیل افزایش pH زهاب خارج شده از ستون‌های خاک می‌باشد (Udo., 1987).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقادیر pH، EC و SAR زهاب‌های خارج شده در ماه اول و آخر آبیاری

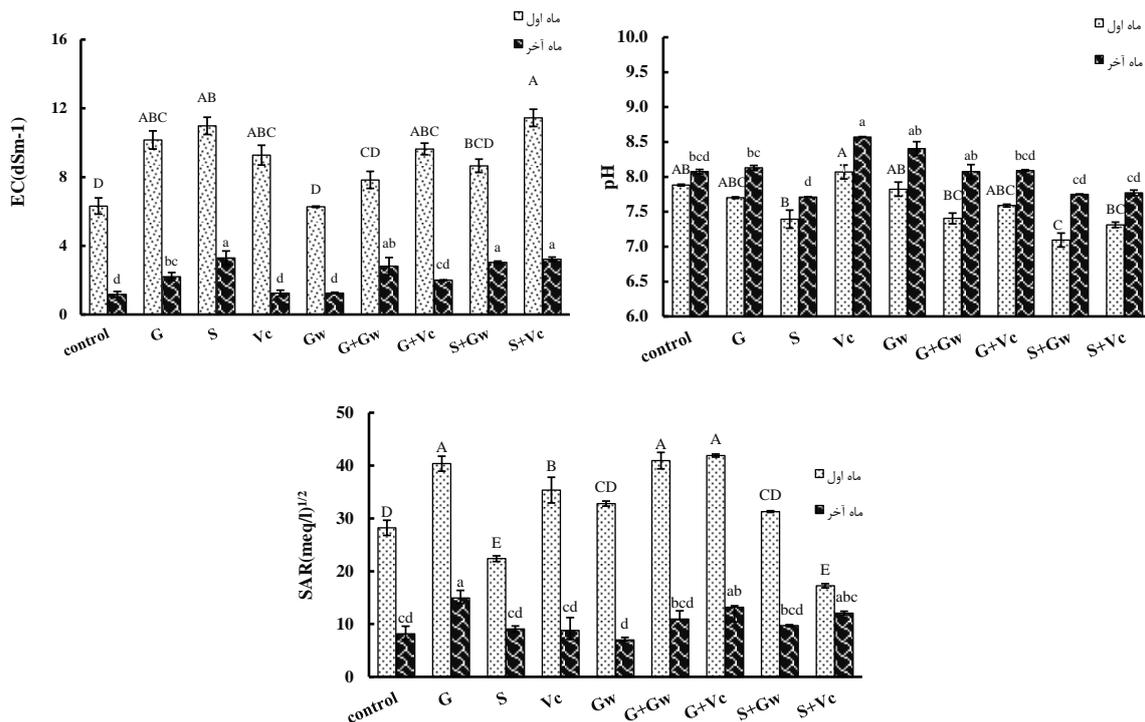
زهاب ماه آخر			زهاب ماه اول			منابع تغییرات
SAR	EC	PH	SAR	EC	PH	
میانگین مربعات			میانگین مربعات			درجه آزادی
۱۹/۹**	۲/۲**	۰/۰۱**	۲۳۳/۸۸**	۱۰/۴۳**	۰/۲۸۶*	۸ تیمار
۴/۴۹	۰/۱۸۷	۰/۰	۴/۴۳	۱/۷	۰/۰۹۶	۱۸ خطا
۲۰/۲۲	۱۹/۰۷	۰/۰	۶/۵۷	۱۴/۵۶	۱۲/۹۱	ضریب تغییرات (/)

*، **، *** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

مطابق نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱)، بیشترین مقدار EC در زهاب ماه اول در تیمار گوگرد+ورمی کمپوست (dSm⁻¹) ۱۱/۴۵ مشاهده شد که بجز تیمارهای شاهد، ضایعات انگور، ضایعات انگور+گچ و ضایعات انگور+گوگرد با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت و کمترین مقدار EC در تیمار ضایعات انگور (۶/۲۸ dSm⁻¹) مشاهده شد و با EC در تیمارهای



ضایعات انگور+گچ و ضایعات انگور+گوگرد و شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت. در آخرین زهاب خارج شده از تیمارها نیز بیشترین مقدار EC در تیمار گوگرد ($3/30 \text{ dSm}^{-1}$) مشاهده شد که بجز تیمارهای گوگرد+ورمی کمپوست، گوگرد+ضایعات انگور و ضایعات انگور+گچ با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین مقدار EC در تیمارهای شاهد ($1/17 \text{ dSm}^{-1}$)، بجز تیمارهای ورمی کمپوست، ضایعات انگور و ورمی کمپوست+گچ با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) داشت. مقادیر بیشتر EC در زهاب تیمارهای حاوی گوگرد در مقایسه با سایر تیمارها می‌تواند به دلیل خروج کاتیون‌ها از جمله یون سدیم از مکان‌های تبدلی و یون کلسیم و منیزیم حاصل از انحلال آهک بومی خاک توسط اسید سولفوریک حاصل از تیمار گوگرد باشد. نتایج به دست آمده با نتایج Chaganti و همکاران (2015) مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین EC، pH و SAR در اولین و آخرین زهاب خارج شده از خاک‌های تیمار شده و شاهد

شاهد (Control)، گچ (G)، گوگرد (S)، ضایعات انگور (Gw)، ورمی کمپوست (Vc)

میانگین‌ها با حرف بزرگ و کوچک و با حداقل یک حرف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ($p < 0.05$) به ترتیب در زهاب ماه اول و آخر می‌باشند و میله‌های روی ستون‌ها بیانگر خطای استاندارد میانگین (SE) می‌باشند.

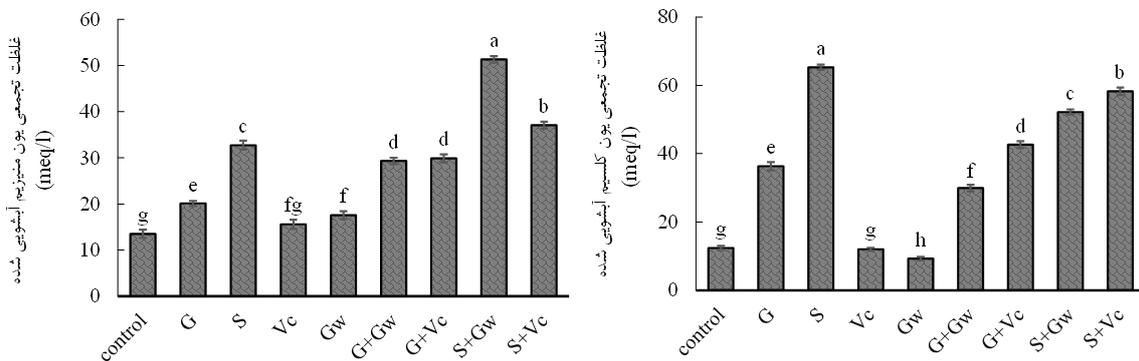
بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) بیشترین مقدار SAR در زهاب ماه اول، در تیمار گچ+ورمی کمپوست ($1/2 \text{ meq/l}$) داشت و کمترین مقدار SAR نیز در تیمار گوگرد+ورمی کمپوست ($17/26 \text{ meq/l}$)^{1/2} مشاهده شد و بجز مقدار SAR در تیمار گوگرد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان داد. در زهاب ماه آخر بیشترین مقدار SAR در تیمار گچ ($14/95 \text{ meq/l}$)^{1/2} مشاهده شد که با SAR در تیمارهای گچ و گچ+ضایعات انگور اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) نداشت (شکل ۱) و کمترین مقدار نیز در تیمار ضایعات انگور ($7/01 \text{ meq/l}$)^{1/2} مشاهده شد که بجز تیمارهای گوگرد، گوگرد+ورمی کمپوست و گچ+ورمی کمپوست با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۱). با توجه به شکل (۱)، SAR نیز همانند EC در زهاب ماه چهارم نسبت به ماه اول در خاک‌های شاهد و تیمار شده کاهش یافته است که نشان دهنده



کاهش غلظت یون سدیم نسبت به یون کلسیم و منیزیم آبشویی شده می‌باشد. صادق‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز در بررسی اثر اصلاح کننده‌های آلی در یک خاک شور و سدیمی نتیجه مشابهی را گزارش نمودند.

غلظت تجمعی کاتیون‌های آبشویی شده

در شکل (۲) غلظت تجمعی یون‌های کلسیم و منیزیم آبشویی شده در مدت زمان چهار ماه آبشویی در خاک‌های تیمار شده و شاهد آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمارها بر غلظت تجمعی یون‌های کلسیم و منیزیم آبشویی شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴).



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت تجمعی یون‌های کلسیم و منیزیم آبشویی شده در مدت زمان ۴ ماه

شاهد (Control)، گچ (G)، گوگرد (S)، ضایعات انگور (Gw)، ورمی کمپوست (Vc)

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ($p < 0.05$) می‌باشند و میله‌های روی ستون‌ها بیانگر خطای استاندارد میانگین (SE) می‌باشند.

بیشترین غلظت تجمعی کلسیم آبشویی شده در تیمار ساده معدنی گوگرد ($65/3 \text{ meq l}^{-1}$) مشاهده شد و مقدار آبشویی شده از این تیمار، اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) با سایر تیمارها داشت (شکل ۲). کمترین مقدار کلسیم آبشویی شده نیز در تیمار ساده آلی ضایعات انگور ($9/3 \text{ meq l}^{-1}$) مشاهده شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان داد. Abdel Fattah (2012) و تیرانداز و همکاران (۱۳۹۷) نیز کمترین کلسیم آبشویی شده را در تیمارهای آلی گزارش نمودند.

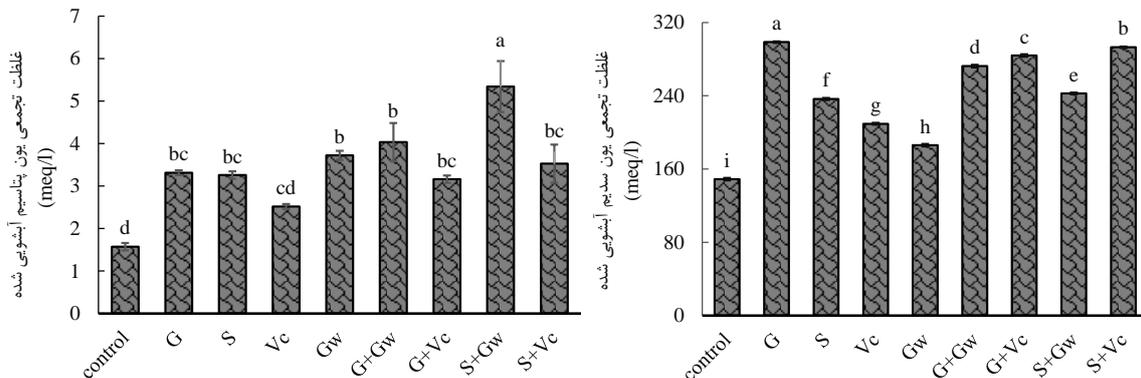
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت تجمعی یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم پس از آبشویی

غلظت تجمعی				منابع تغییرات
Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	درجه آزادی
میانگین مربعات				
۸۰۱۸/۲۷**	۳/۱۲**	۴۴۴/۴۶**	۱۳۲۶/۱۹**	۸ تیمار
۴/۰۸	۰/۳۸	۲/۰۲	۲/۲۳	۱۸ خطا
۰/۸۳	۱۹/۲۳	۵/۱۸	۴/۲۲	ضریب تغییرات (/)



** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

بیشترین غلظت تجمعی منیزیم آبشویی شده در تیمار تلفیقی گوگرد+ضایعات انگور ($51/3 \text{ meq l}^{-1}$) که اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) با سایر تیمارها داشت مشاهده شد. از طرفی کمترین غلظت تجمعی منیزیم آبشویی شده در خاک شاهد ($13/5 \text{ l}^{-1}$) مشاهده شد که با سایر تیمارها بجز تیمار ساده آلی ورمی کمپوست ($15/6 \text{ meq l}^{-1}$) اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) داشت. بین غلظت تجمعی منیزیم آبشویی شده از تیمارهای ساده آلی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. به طور کلی بیشترین کلسیم تجمعی آبشویی شده در تیمارهای ساده معدنی و بیشترین منیزیم آبشویی شده در تیمارهای ساده و تلفیقی گوگرد با ترکیبات آلی مشاهده شد. دلیل تأثیر تیمارهای معدنی بر خروج یون کلسیم و منیزیم، می‌تواند کاهش اسیدیته در محیط خاک و در ادامه آن افزایش حلالیت کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و دولومیت و خروج کلسیم و منیزیم از محیط خاک توسط فرآیند آبشویی باشد (Gerado et al., 2007; رضایپور و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمارها بر غلظت تجمعی یون‌های سدیم و پتاسیم آبشویی شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت یون سدیم و پتاسیم تجمعی آبشویی شده در مدت زمان ۴ ماه

شاهد (Control)، گچ (G)، گوگرد (S)، ضایعات انگور (Gw)، ورمی کمپوست (VC).

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ($p < 0/05$) می‌باشند و میله‌های روی ستون‌ها بیانگر خطای استاندارد میانگین (SE) می‌باشند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار سدیم تجمعی آبشویی شده در تیمار ساده معدنی گچ ($298/6 \text{ meq l}^{-1}$) مشاهده شد و اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) با سایر تیمارها دارد (شکل ۳). دلیل این امر احتمالاً توانایی گچ در افزودن یون کلسیم به محلول خاک و جایگزینی با یون سدیم موجود در مکان‌های تبادلی با یون کلسیم است (Abdel-fattah., 2012). کمترین مقدار سدیم تجمعی آبشویی شده نیز در خاک شاهد مشاهده شد و مقدار آن با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) دارد. نتایج نشان می‌دهند تیمارهای آلی و معدنی به صورت ساده و تلفیقی با تأثیر بر روی غلظت کلسیم محلول خاک موجب تبادل یون سدیم موجود در مکان‌های تبادلی با کلسیم شده‌اند.

بیشترین مقدار پتاسیم تجمعی آبشویی شده در تیمار تلفیقی گوگرد+ ورمی کمپوست ($5/3 \text{ meq l}^{-1}$) مشاهده شد و نتایج مقایسه میانگین نشان داد، اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) با سایر تیمارها دارد (شکل ۳). کمترین مقدار پتاسیم تجمعی



آبشویی شده نیز در خاک شاهد مشاهده شد و مقدار آن با سایر تیمارها بجز تیمار ساده ورمی کمپوست ($2/5 \text{ meq l}^{-1}$) اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) داشت. پتاسیم از جمله عناصر پرمصرف و مورد نیاز گیاهان می‌باشد، با توجه به نتایج به دست آمده تیمارهای آلی و معدنی به صورت ساده و ترکیبی موجب افزایش آبشویی یون پتاسیم از خاک مورد مطالعه شده‌اند و اثر تیمارهای آلی ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارها کمتر است.

مقادیر pH، EC و SAR در خاک‌های آبشویی شده

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تیمارها بر مقدار pH، EC و SAR در خاک‌های آبشویی شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. در مقایسه با مقادیر pH، EC و SAR در خاک اولیه که به ترتیب برابر با $8/3$ ، $8/4 \text{ dSm}^{-1}$ و $(\text{meq l}^{-1})^{1/2}$ است (جدول ۱) پس از چهار مرحله آبشویی، میزان pH (به جزء تیمارهای ساده آلی)، EC و SAR در خاک‌های آبشویی شده نسبت به خاک اولیه کاهش یافت (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر pH، EC و SAR در خاک‌های شاهد و تیمار شده پس از آبشویی

منابع تغییرات			درجه آزادی	تیمار
SAR	EC	pH		
میانگین مربعات				
۶۵/۷۵**	۹/۱۸**	۰/۵۰۶**	۸	تیمار
۳/۶۷	۰/۵۲	۰/۰۵۱	۱۸	خطا
۱۳/۸	۱۴/۷۴	۲/۷۷		ضریب تغییرات (%)

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

بیشترین مقدار pH در تیمار ساده ورمی کمپوست و ضایعات انگور مشاهده شد و بین pH در این دو تیمار با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) مشاهده شد. کمترین مقدار pH در تیمار گوگرد+ورمی کمپوست مشاهده شد و pH در این تیمار با سایر تیمارها، بجز تیمارهای گچ+ورمی کمپوست و گوگرد، اختلاف معنی‌داری ($p < 0/05$) داشت. بین pH سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۶). دلیل کاهش pH در خاک‌های تیمار شده پس از آبشویی می‌تواند ناشی از تولید اسید سولفوریک حاصل از اکسیداسیون گوگرد، انحلال منابع بومی کلسیم در خاک و همچنین انحلال گچ اضافه شده به خاک و تأمین کلسیم مازاد جهت تبادل با سدیم در مکان‌های تبدلی و خروج آن از خاک باشد (Qadir et al., 2003)؛ رضایور و همکاران، ۱۴۰۰).

در پایان آبشویی مقدار EC کاهش و در تیمارهای ساده آلی و خاک شاهد به کمتر از حد آستانه شوری (4 dSm^{-1}) رسید. دلیل کاهش میزان EC در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده می‌تواند ناشی از آبشویی کاتیون‌ها و آنیون‌ها از محیط خاک باشد. محققینی نظیر Jesus و همکاران (2020) نیز تأثیر مثبت تیمارهای معدنی و آلی در کاهش EC خاک شور و سدیمی را گزارش نموده‌اند. کمترین مقدار EC در خاک شاهد و دو تیمار ساده ورمی کمپوست و ضایعات انگور مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد، مقدار EC در این تیمارها اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها دارد ($p < 0/05$). بین EC سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۶).

پس از فرآیند آبشویی، SAR نیز در تمام خاک‌های آبشویی شده نسبت به خاک اولیه کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان SAR به ترتیب در تیمار ورمی کمپوست با مقدار $(\text{meq l}^{-1})^{1/2}$ ۲۱/۴۶ و گچ+ضایعات انگور با مقدار $(\text{meq l}^{-1})^{1/2}$ ۷/۶۶ مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد، مقدار SAR در تیمار ساده ورمی کمپوست اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) با



سایر تیمارها دارد. مقدار SAR در تیمار گچ+ضایعات انگور با سایر تیمارها بجز تیمارهای گچ+ورمی کمپوست و گوگرد+ضایعات انگور اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان داد. بین SAR در خاک شاهد، تیمارهای گچ، ضایعات انگور و همچنین بین SAR در تیمارهای گوگرد، گوگرد+ضایعات انگور و گوگرد+ورمی کمپوست اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۶). از دلایل کاهش SAR در محیط خاک، افزایش یون کلسیم و منیزیم و جایگزینی آن با یون سدیم در خاک، در نتیجه افزایش نسبت یون کلسیم و منیزیم به یون سدیم پس از آبشویی خاک می‌باشد. در کل کاتیون‌های تک ظرفیتی نظیر سدیم و در رقابت با کاتیون‌های دو ظرفیتی به راحتی از مکان‌های تبادل خارج و آبشویی می‌شوند (رضاپور و همکاران، ۱۴۰۱).

با توجه به مقادیر پارامترهای pH، EC و SAR (جدول ۶) آبشویی خاک تیمار شده با تیمارهای ساده آلی، سبب تبدیل شده خاک شور و سدیمی مورد بررسی، به یک خاک سدیمی شد. تیمارهای گچ+ضایعات انگور، گوگرد+ضایعات انگور، گچ+ورمی کمپوست و گوگرد+ورمی کمپوست موجب تبدیل شدن خاک مورد مطالعه به خاک شور شدند. در بین تیمارهای تلفیقی استفاده شده تیمارهای تلفیقی گچ + ضایعات انگور و همچنین گوگرد + ضایعات انگور، با در نظر گرفتن مقدار نهایی EC خاک‌ها (به ترتیب برابر با $5/6$ و $5/4$ dSm⁻¹) و همچنین مقادیر pH (به ترتیب برابر با $8/1$ و $8/1$) و SAR (به ترتیب برابر با $(7/66)$ و $(10/68)$ meq l⁻¹)^{1/2} بهترین تأثیر را در اصلاح خاک شور و سدیمی مورد مطالعه داشتند.

جدول ۶- مقایسه میانگین مقادیر pH، EC و SAR در خاک‌های شاهد و تیمار شده پس از آبشویی

تیمار	pH*	EC* dSm ⁻¹	SAR (meq l ⁻¹) ^{1/2}
Control	$8/2 \pm 0/18^a$	$3/2 \pm 0/03^b$	$17/65 \pm 0/57^b$
G	$8/1 \pm 0/06^{bc}$	$6/1 \pm 0/68^a$	$16/38 \pm 0/98^b$
S	$7/9 \pm 0/20^{bcd}$	$6/4 \pm 0/11^a$	$13/03 \pm 0/62^c$
VC	$8/9 \pm 0/03^a$	$2/4 \pm 0/43^b$	$21/46 \pm 1/52^a$
Gw	$8/7 \pm 0/03^a$	$2/4 \pm 0/30^b$	$17/43 \pm 2/33^b$
G+VC	$7/8 \pm 0/23^{cd}$	$6/6 \pm 0/59^a$	$8/11 \pm 0/15^d$
G+Gw	$8/1 \pm 0/02^{bc}$	$5/6 \pm 0/56^a$	$7/66 \pm 0/83^d$
S+VC	$7/6 \pm 0/12^{d}$	$6/2 \pm 0/03^a$	$12/67 \pm 0/18^c$
S+Gw	$8/1 \pm 0/05^{bc}$	$5/4 \pm 0/41^a$	$10/68 \pm 0/94^{cd}$

شاهد (Control)، گچ (G)، گوگرد (S)، ضایعات انگور (Gw)، ورمی کمپوست (VC)

*اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع، میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد ندارند،

*: بیانگر خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.

نتیجه‌گیری:

نتایج نشان داد افزودن تیمار معدنی گوگرد به صورت ساده و تلفیقی موجب خروج کاتیون‌ها از خاک شده و مقدار کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم تجمعی آبشویی شده به ترتیب از تیمارهای گوگرد، گوگرد+ضایعات، گچ و تیمار گوگرد+ورمی کمپوست بیشتر از سایر تیمارها بوده و اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها نشان داد ($p < 0.05$). خروج بیشتر کاتیون‌ها از تیمارهای حاوی گوگرد می‌تواند به دلیل انحلال آهک بومی خاک توسط اسید سولفوریک حاصل از تیمار گوگرد باشد.



در بین تیمارهای تلفیقی استفاده شده تیمارهای تلفیقی گچ + ضایعات انگور و همچنین گوگرد + ضایعات انگور، با در نظر گرفتن مقدار نهایی EC، pH و SAR بهترین تأثیر را در اصلاح خاک شور و سدیمی مورد مطالعه داشتند. آبشویی خاک‌های تیمار شده با تیمارهای ساده آلی سبب سدیمی شدن خاک شد، بنابراین تیمار و آبشویی خاک با اصلاح کننده‌های ورمی کمپوست و ضایعات انگور بدون استفاده از تیمارهای معدنی گچ و گوگرد توصیه نمی‌شود. با توجه به فراوانی ضایعات انگور در منطقه مورد مطالعه و قیمت ارزان و فراهمی گچ و گوگرد، کاربرد تیمارهای ذکر شده و مطالعات میدانی توصیه می‌شود. شایان ذکر است، جهت عملیاتی نمودن و کاربردی نمودن نتایج این تحقیق در منطقه مطالعاتی، احداث زهکش‌های زیرزمینی لازم است.

فهرست منابع

- 1- تیرانداز، س.، رضوردی نژاد، و.، اسدزاده، ف.، احمدی، ح. (۱۳۹۷). بررسی آزمایشگاهی اصلاح یک خاک شور-سدیمی با استفاده از ستون های آبشویی. تحقیقات کاربردی خاک، ۶(۴)، ۱۲۱-۱۳۲.
- 2- دلایان، م.، ذبیحی، ف.، سربازرشید، س. (۱۴۰۰). بررسی آزمایشگاهی تأثیر اصلاح‌گرهای آلی بر فرایند آبشویی خاک های شور و سدیمی. حفاظت منابع آب و خاک (علمی-پژوهشی)، ۱۱(۲)، ۱۳-۳۱.
- 3- رضاپور، س.، برین، م.، اسدزاده، ف.، نوری، الف. (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر اصلاحات آلی و شیمیایی بر برخی از شاخص‌های شیمیایی خاک های شور-سدیم. تحقیقات کاربردی خاک، ۹(۳)، ۳۱-۴۲.
- 4- رضاپور، س.، پیری، ن.، برین، م.، اسدزاده، ف.، عسگرزاده، ح. (۱۴۰۱). تأثیر اصلاح‌کننده‌های ترکیبی بر بهسازی شاخص‌های شوری، سدیمی و بیولوژیکی یک خاک شور-سدیمی. تحقیقات کاربردی خاک، ۱۲(۱)، صفحات ۹۶ تا ۱۰۷.
- 5- صادق زاده، ف.، حسن تبارشویی، س.، بهمنیار، م.، جلیلی، ب. (۱۳۹۷). اصلاح خاک شور-سدیمی دارای بافت رسی به وسیله کربن آلی محلول. مجله الکترونیک مدیریت خاک و تولید پایدار، ۸(۱)، ۱۵۹-۱۷۴.

6- Abdel-Fattah, M.K., 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. J. Agric. Vet. Sci, 1(3), pp.30-38.

7- Al Juhaimi, F., Geçgel, Ü., Gülcü, M., Hamurcu, M., & Özcan, M. M. (2017). Bioactive properties, fatty acid composition and mineral contents of grape seed and oils. South African Journal of Enology and Viticulture, 38(1), 103-108.

8- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development. 39, 34.

9- Chaganti, V.N., Crohn, D.M. and Šimůnek, J., 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. Agricultural Water Management, 158, pp.255-265.

10- Gerardo, J., J, Farias-larios, J. Molina-0choa, S. Aguilar-Espinosa, M. Rocioand B. GonzalezRamirez. 2007. Salt leaching process in an alkaline soil treated with elemental sulphur under dry tropic conditions. World Journal of Agricultural Science3(3):356-362.

11- Jesus J.M., Danko A.S., Fiúza A., and Borges M.T. 2018. Comparison of vegetative bioremediation and chemical amendments for non-calcareous highly saline-sodic soil remediation. Water, Air, & Soil Pollution, 229: 1-10.

12- Kim, Y. J., Choo, B. K., & Cho, J. Y. (2017). Effect of gypsum and rice straw compost application on improvements of soil quality during desalination of reclaimed coastal tideland soils: Ten years of long-term experiments. Catena, 156, 131-138.

13- Mace, J.E. and C. Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. Soil Science Society of America Journal 65: 199-204.



- 14- Mahmoudinejad, F., Shekofteh, H., Shafiei, S., Zamani, J., Abbaszadeh Afshar, F., & Jalali, G. (2024). Laboratory evaluation the effect of some organic amendments as a remediation strategy for a saline-sodic soil. *Environmental Erosion Research Journal*, 14(1), 158-177.
- 15- Piri, N., Barin, M., Asadzadeh, F., & Asgarzadeh, H. (2024). Effect of Combined Amendments on Improving Salinity, Sodicity, and Biological Indices of A Saline-Sodic Soil. *Applied Soil Research*, 12(1), 96-107.
- 16- Qadir, M., Steffens, D., Yan, F. and Schubert, S., 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation & Development*, 14(3), pp.301-307.
- 17- Saghafi, F.; Ghaneie, M. J.; & Shirmardi, M., 2019. Investigation of the effect of date biochar on the chemical properties of saline soil. 4th International Congress of Developing Agriculture Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. University of Tabriz.
- 18- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loepfert, R. H. (2020). *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods (Vol. 14)*. John Wiley & Sons.
- 19- 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(6), 1413-1421.
20. Udo, E. J. (1978). Thermodynamics of potassium-calcium and magnesium-calcium exchange reactions on a kaolinitic soil clay. *Soil Science Society of America Journal*, 42(4), 556-560.
- 21- Wang, Y., Lin, Y., Chiu, P. C., Imhoff, P. T., & Guo, M. (2015). Phosphorus release behaviors of poultry litter biochar as a soil amendment. *Science of the total Environment*, 512, 454-463.
- 22- Zhang, P., Bing, X., Jiao, L., Xiao, H., Li, B., & Sun, H. (2022). Amelioration effects of coastal saline-alkali soil by ball-milled red phosphorus-loaded biochar. *Chemical Engineering Journal*, 431, 133904.

Effect of simple and combined application of organic and inorganic amendments on the quality of leachate and SAR in a saline-sodic soil

Vahedeh Ghahri, Mahboubeh Zarabi*, Zahra Varasteh Khanlari

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

(mzarabi@malayeru.ac.ir, zarrabi7@gmail.com)

Abstract

A factorial experiment was conducted in a completely randomized design to evaluate the effects of mineral (Gypsum (G), Elemental Sulfur (S)) and organic (Grape waste (Gw) and Vermicompost (VC)) amendments, applied individually and in combination, on the properties of a saline-sodic clay soil under leaching conditions in the laboratory. The study was carried out in 2024 at the Soil Science Laboratory of Malayer University. Untreated control soil and treated soils with 0.5% (w/w) of the amendments, each replicated three times, were leached with tap water at monthly intervals for four months. In the leachates, cumulative concentrations of cations were determined, while pH, EC, and SAR were measured in the first and final leaching events. Selected chemical properties were also analyzed in the leached soils. The results indicated significant effects of the treatments on leachate pH ($p < 0.05$), EC and SAR ($p < 0.01$) in the final month, as well as on cumulative leached cation concentrations ($p < 0.01$). The cumulative leaching of calcium, magnesium, sodium, and potassium differed significantly among S, S + GW, G, and S + VC treatments, respectively ($p < 0.05$). Application of sole organic amendments led to sodification of the soil, while combined treatments of G + GW, S + GW, G + VC, and S + VC transformed the soil into a saline soil. Based on the findings, further field-scale and complementary studies using combined mineral-organic amendments, along with the installation of subsurface drainage systems, are recommended for the soils of the studied region.



دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



توجه به گسترش پدیده‌های حدی،
هوش مصنوعی و جامع نگری در برنامه‌های ملی و محلی خاک



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

"مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب"



Key words: Leaching, Saline-sodic soil, Grape waste, Elemental sulfur, Gypsum.