ارزیابی تأثیر اصلاح کننده‌های آلی و شیمیایی بر بعضی شاخص‌های شیمیایی خاک‌های شور-سدیمی

سالار رضاپور[۱*]، محسن برین [۲]، فرخ اسدزاده[۳]، امین نوری[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹)

چکیده

در این پژوهش تأثیر بهسازهای آلی (ورمی‌کمپوست و بیوچار) و شیمیایی (گچ و گوگرد عنصری) و تلفیق ورمی‌کمپوست و تیمارهای شیمیایی بر امکان اصلاح یک خاک شور- سدیمی بررسی شد. این پژوهش بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در شرایط گلخانه انجام شد. نمونه‌های خاک پس از اختلاط با تیمارهای مختلف به مدت ۱۲۰ روز در رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری و سپس برخی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی و تغذیه‌ای خاک تعیین شدند. نتایج نشان داد که ورمی-کمپوست باعث کاهش معنی‌دار pH خاک نسبت به تیمار شاهد شده است و تلفیق این تیمار با گوگرد عنصری با کاهش ۰/۷۵ تا ۰/۹۵ واحدی در pH خاک مؤثرترین تیمار در بهبود این شاخص بود. همه تیمارها با افزایش غلظت املاح محلول (مانند یون‌های کلسیم و منیزیم) و جایگزینی برخی از این یون‌ها با سدیم تبادلی خاک موجب افزایش قابل توجه هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. در بین تیمارها، تیمار ورمی کمپوست و گچ با افزایش ۲/۸ تا ۳/۸ دسی زیمنس بر متر EC و ۸/۶ تا ۹/۳ واحدی در SAR نسبت به شاهد بیشترین تأثیر را بر این دو ویژگی خاک داشتند. در حالی که آزادسازی مستقیم عناصر غذایی از تیمارهای آلی و بهبود شرایط شیمیایی خاک توسط تیمارهای ترکیبی و شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار شکل قابل دسترس فسفر، آهن و روی شده بود، تیمارهای منفرد شیمیایی تأثیر بسیار ناچیزی بر افزایش این عناصر داشتند. در مجموع کاربرد ترکیبی تیمارهای شیمیایی و آلی (ورمی کمپوست) به‌طور مؤثرتری نسبت به تیمارهای منفرد باعث بهبود شرایط نامطلوب شیمیایی خاک شور- سدیمی و افزایش حاصلخیزی آن شده است.

واژه‌های کلیدی: خاک شور-سدیمی، ورمی کمپوست، بیوچار، گچ، بهسازی خاک

رضاپور س، برین م، ، اسدزاده ف، نوری ا . ۱۴۰۰. ارزیابی تأثیر اصلاح کننده‌های آلی و شیمیایی بر بعضی شاخص‌های شیمیایی خاک‌های شور-سدیمی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۳. صفحه: ۳۱-۴۲.

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- استادیار مرکز تحقیقات و ترویج کشاورزی هرمیستون ، دانشگاه ایالتی اورگان امریکا

*پست الکترونیک: s.rezapour@urmia.ac.ir

مقدمه

پژوهش‌های چند دهه اخیر و پیش‌بینی‌های آینده نشان می‌دهد که نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی و فیبر برای جمعیت در حال افزایش جهان منجر به استفاده زراعی از اراضی مسئله‌دار به ویژه خاک‌های شور- سدیمی خواهد شد. این موضوع در کشورهای در حال توسعه با نرخ رشد جمعیت بالا و مناطق خشک و نیمه خشک جهان (مانند ایران) که بخش زیادی از اراضی آن‌ها شور و سدیمی هستند از اهمیت بیشتری برخوردار است. این خاک‌ها در بیش از ۱۰۰ کشور گسترش دارند و حدود $۱۰^{۹}$ هکتار از سطح زمین (حدود ۱۰ درصد کل سطح زمین) را پوشش می‌دهند که از این مساحت حدود ۳۸ درصد را خاک‌های شور و ۶۲ درصد را خاک سدیمی و شور- سدیمی هستند (FAO,2000; Rezapour *et al*., 2017). بخشی از شور و سدیمی بودن این خاک‌ها مربوط به ویژگی‌های ذاتی خاک بوده و در اثر فرآیندهای خاکساختی وارد خاک می‌شوند که تحت عنوان شوری و سدیمی اولیه شناخته می‌شود. بخشی نیز از فعالیت‌های مدیریتی انسان سبب می‌شود که تحت عنوان شوری و سدیمی ثانویه خوانده می شود (Wong *et al*., 2010; Rezapour & Kalashypour, 2019). وسعت اراضی متأثر از شوری و سدیمی ثانویه ناشی از اعمال روش‌های مدیریتی نادرست هر ساله در حال افزایش بوده و خسارات اقتصادی قابل توجهی نیز در پی دارد. در این خاک‌ها وجود املاح مازاد و سدیم تبادلی ضمن آسیب به ساختار فیزیکی خاک، ویژگی‌های شیمیایی خاک را نیز تحت تأثیر قرار داده و باعث اختلال در رشد و عملکرد گیاهان و کاهش قابلیت اقتصادی تولید در این اراضی می‌گردد. با این وجود استفاده از اراضی شور- سدیمی امری اجتناب‌ناپذیر برای عبور از چالش امنیت غذایی در دهه‌های آتی خواهد بود و در این راستا پژوهش‌های گسترده‌ای برای مقابله با چالش‌های تولید زراعی در این خاک‌ها انجام شده است و همچنان ادامه دارد (Kim *et al*., 2017).

خاک‌های شور و سدیمی ایران در بخش‌های قابل توجهی از اراضی زراعی آبی، دیمزار و اراضی مرتعی وجود دارند و از لحاظ توزیع جغرافیایی عمدتاً در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و اراضی حاشیه دریاچه ارومیه قرار دارند. به دلیل تنوع آمار و داده‌های ارائه شده توسط سازمان‌های مختلف و همچنین تغییرات مساحت این اراضی در طول زمان، آمار دقیقی از وسعت آن‌ها در کشور وجود ندارد. با این وجود براساس نقشه‌ی خاک‌های ایران، حدود $۱۰^{۶} \times ۲۵/۵$ هکتار (حدود ۱۵ درصد) از کل مساحت ایران را خاک‌های شور و سدیمی با درجه شوری/ سدیمی کم تا متوسط پوشش داده‌اند در حالی که اراضی با درجه شوری/ سدیمی بالا حدود $۱۰^{۶} \times ۸/۵$ هکتار یعنی حدود ۵ درصد مساحت کل ایران را تشکیل می‌دهد (FAO,2000). در مجموع این داده‌ها نشان می‌دهند که حدود ۲۰ درصد از مساحت کل ایران را خاک‌های شور و سدیمی تشکیل می‌دهند و عمدتاً از تیپ شور– سدیمی هستند همان طوری که برای بیشتر اراضی حاشیه دریاچه ارومیه گزارش شده است (Rezapour *al*., 2017; Rezapour & Kalashypour, 2019). خاک‌های شور– سدیمی حاوی دامنه‌ی بالایی از املاح محلول (EC بالای ۴ دسی زیمنس بر متر) و سدیم تبادلی (ESP بیش از ۱۵ درصد) هستند که مجموعه این ویژگی‌ها شرایط بسیار نامساعدی از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و زیستی و تغذیه‌ای برای خاک ایجاد می‌کند، به طوری که قابلیت تولیدات کشاورزی این خاک‌ها را مختل می‌کند.

گستردگی وسیع جغرافیایی خاک‌های شور - سدیمی در اقلیم خشک و نیمه خشک ایران از یک سو و افزایش روزافزون نیاز غذایی به موازات رشد جمعیت از سوی دیگر، نیاز به استفاده پایدار از این اراضی برای تامین امنیت غذایی کشور را اجتناب‌ناپذیر نموده است (Chávez-García & Siebe, 2019). غلظت بالای نمک و در نتیجه تنش اسمزی وارده بر گیاهان در کنار سمیت یون‌های مختلف مانند سدیم، کلراید و بور از عوامل اصلی محدود کننده رشد گیاهان در این خاک‌ها هستند. به علاوه، ویژگی‌های نامطلوب فیزیکی ناشی از افزایش سدیم تبادلی در این خاک‌ها، نظیر کاهش تهویه و نفوذپذیری نسبت به آب و هوا، مشکلات آن‌ها را دو چندان می‌نماید (Dahlawi *et al*., 2018). مجموعه این مشکلات سبب شده تا در شرایط کنونی این خاک‌ها قابلیت استفاده

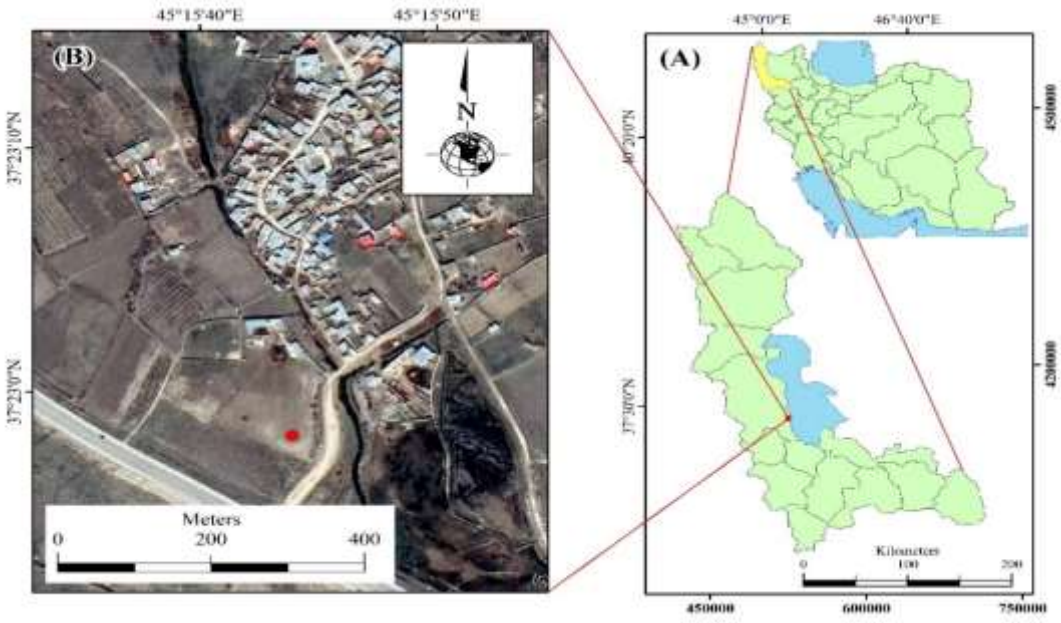
چندانی برای تولیدات زراعی نداشته باشند. در واقع مطابق سامانه‌های طبقه‌بندی این خاک‌ها، خاک‌های معمولی هستند که تحت شرایط خاص قرار گرفته‌اند و چنانچه این شرایط خاص (شوری و قلیاییت) مرتفع گردد، مجدداً تبدیل به خاک‌های معمولی خواهند شد که پتانسیل تولید گیاهان مختلف زراعی را دارند. با توجه به وسعت، گسترش و اهمیت این خاک‌ها برای کشاورزی، تاکنون تلاش‌های زیادی برای اصلاح و بهسازی این خاک‌ها صورت گرفته است که مبنای این روش‌ها بر پایه شستشو و استفاده از مواد اصلاح‌کننده مانند گچ، اسید سولفوریک و یا مواد آلی بوده است (Singh *et al.*, 2016). بنابراین به علت اهمیت و گسترش زیاد این اراضی در سطح دنیا و ایران لزوم انجام پژوهش‌های جامع در رابطه با روش‌های اصلاح و بهسازی این خاک‌ها با استفاده از روش‌های مقرون به صرفه و کاربرد تکنیک‌های متنوع امری اجتناب‌ناپذیر است. با وجود اینکه روش‌های اصلاحی در این خاک‌ها نتیجه نسبتاً مطلوبی در پی داشته‌اند، کارایی هر یک از روش اصلاحی به طور عمده تحت تاثیر شرایط جغرافیایی، اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک هر منطقه است که این عوامل به نوبه خود بر پیچیدگی و چالش اصلاح خاک‌های شور- سدیمی می‌افزاید. ضمن آنکه با وجود بررسی جنبه‌های مختلف اصلاح این‌گونه خاک‌ها با استفاده از بهسازهای مجزا، تاکنون اثر ترکیبی بهسازهای شیمیایی و آلی دردسترس و ارزان قیمت کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است.

با در نظر گرفتن رویکردهای گذشته هدف اصلی این پژوهش در این جهت بوده است تا ترکیبی از مواد فوق-الذکر در خاک اعمال و سپس تأثیر آن‌ها بر بعضی ویژگی-های شیمیایی خاک (pH، EC، SAR، عناصر فسفر، آهن و روی قابل جذب) مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

برای انجام این پژوهش یک نمونه خاک شور- سدیمی آهکی از منطقه جبل کندی واقع در محدوده ۲۰ کیلومتری جنوب شرق ارومیه با موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه و ۰/۰۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه و ۵۸/۲ ثانیه عرض شمالی برداشت شد (شکل ۱). در عملیات میدانی یک خاکرخ حفر، تشریح و رده‌بندی شد و سپس حدود ۳۰۰ کیلوگرم از این خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری برای مراحل بعدی پژوهش به آزمایشگاه منتقل شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

Figure. Location of the sampled area

تجزیه خاک

خاک مورد پژوهش ابتدا هوا خشک و سپس بعد از عبور از غربال ۲ میلی‌متری برای تعیین بافت، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، کربن آلی (OC)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، کلسیم، منیزیم و سدیم محلول، سدیم تبادلی، فسفر قابل جذب (عصاره گیری شده توسط بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال)، آهن و روی قابل جذب (عصاره گیری شده توسط DTPA) توسط روش‌های استاندارد مورد آنالیز قرار گرفت (Sparks et al., 2020). همچنین مقدار نسبت جذبی سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادلی (ESP) توسط رابطه-های ۱ و ۲ زیر تعیین شدند.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{Ca^2 + Mg^2}} \quad (1)$$

$$ESP = \frac{Na}{CEC} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه ۱، سدیم، کلسیم و منیزیم محلول بر حسب میلی اکی والان بر لیتر هستند و در رابطه ۲ اجزا سدیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) برحسب سانتی مول بار بر کیلوگرم یا میلی اکی والان بر ۱۰۰ گرم خاک هستند (Sparks *et al*., 1996).

تیمارهای اصلاحی

دو نوع تیمار اصلاحی قابل دسترس و ارزن قیمت شامل تیمارهای آلی و شیمیایی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند که تیمارهای آلی شامل بیوچار و ورمی کمپوست و تیمارهای شیمیایی نیز شامل گچ ($CaSO_4{\cdot}2H_2O$) و گوگرد عنصری (شامل ۹۰ درصد گوگرد و ۱۰ درصد بنتونایت) بودند. بیوچار مورد استفاده ناشی از ضایعات هرس درختان سیب بود و طی فرآیند پیرولیز تهیه شد و ورمی کمپوست نیز از گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه تهیه شد. در جدول یک برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار و ورمی‌کمپوست مورد استفاده گزارش شده است. تیمارهای آلی (بیوچار و ورمی کمپوست) با سطح سه درصد وزنی به خاک اضافه و مخلوط شدند و مقدارگچ پودری (۱/۵ گرم در کیلوگرم) و گوگرد عنصری (۰/۳ گرم در کیلوگرم) بر حسب نیاز گچی برای کاهش ESP خاک به دامنه ۸ درصد محاسبه و با خاک مخلوط شدند. نیاز مواد اصلاحی شیمیایی توسط معادله ۳ محاسبه و تخمین زده شد (Sparks, 2003).

$$AR = \langle \frac{ESP_i - ESP_f}{100} \rangle \times CEC \quad (3)$$

در این معادله AR مقدار ماده اصلاحی شیمیایی بر حسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک، ESP_i و ESP_f به ترتیب درصد سدیم تبادلی اولیه و نهایی خاک (بعد از اصلاح خاک) و CEC ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر حسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک است. مقدار مواد اصلاحیه محاسبه شده با استفاده از اکی والان گرم وزنی گچ و گوگرد به واحد وزنی تبدیل شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی اصلی بیوچار و ورمی کمپوست

Table 1. The main chemical properties of vermicompost and biochar

Treatment	pH	EC	OC	N	P	K
	-	dS m^{-1}		%		
Biochar	8.2	0.79	65	0.68	0.28	0.41
Vermicompost	7.9	1.6	25	2.03	0.56	0.4

EC; Electrical Conductivity, OC; Organic Carbon

انکوباسیون

در این مرحله تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد (C)، تیمار گچ (G)، تیمار گوگرد عنصری (S)، تیمار بیوچار (B)، تیمار ورمی‌کمپوست (VC)، تیمار گوگرد عنصری و ورمی‌کمپوست (S+VC) و تیمار گچ همراه با ورمی-کمپوست (G+VC) در سه تکرار به خاک مورد آزمایش اضافه شدند. سپس مقدار ۳ کیلوگرم از هر مخلوط خاک و تیمارهای مربوطه به گلدان‌های پلاستیکی ۵ کیلوگرم منتقل و به مدت ۴ ماه تحت شرایط کنترل شده محیطی در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه خوابانیده شدند. در طی این مرحله مقدار رطوبت هر گلدان با توزین و آبیاری مداوم در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از پایان مدت زمان انکوباسیون مقداری از خاک هر گلدان برداشت و ویژگی‌های شیمیایی و بعضی عناصر غذایی خاک‌ها با روش‌های استاندارد (همانطوری که در بخش تجزیه خاک اشاره شده) تعیین شدند.

این پژوهش بر پایه طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها نیز به وسیله آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه 16 و رسم نمودارهای مربوطه در محیط نرم افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

همان‌طوری‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود خاک مورد مطالعه پژوهش آهکی (کربنات کلسیم معادل بیش از ۲٪) و شدیداً قلیایی (pH>۸/۵) است. از لحاظ کربن آلی و ازت کل این خاک در کلاس کم [(۱٪> کربن آلی> ۰/۸٪) و (۰/۱۵٪> ازت کل> ۰/۰۵٪)] قرار داشت و به‌طور مشابه‌ای ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر قابل جذب آن نیز کلاس کم [(۱۲> CEC> ۶) و (۸> P> ۰)] نشان داد (Hazelton & Murphy, 2007). بنابراین این خاک از نظر شاخص های اصلی حاصلخیزی خاک از کیفیت پایینی برخودار است که با نتایج پژوهش‌های گذشته مشابه است (Rezapour *et al*., 2017 Rezapour & Kalashypour, 2019;). از نظر رده‌بندی این خاک براساس سامانه‌های رده‌بندی جامع آمریکایی (۲۰۱۴) و جهانی (۲۰۱۵) به‌ترتیب در تحت گروه سدیک کلسی زرپت[1] و کلسیک سالونتز[2] قرار گرفت. همچنین براساس کلاس‌بندی خاک‌های متأثر از املاح و نمک شامل کلاس شور- سدیمی است (Brady & Weil, 2016).

جدول ۲- ویژگی‌های اصلی خاک مورد پژوهش

Table 2. The main characteristics of the study soil

Soil property	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	pH	EC (dSm^{-1})	OC (%)
	60	20	20	Loam	9.2	10.4	0.86
Soil property	CCE (%)	CEC ($cmol\ kg^{-1}$)	SAR	ESP (%)	P ($mgkg^{-1}$)★	Fe ($mgkg^{-1}$)★	Zn ($mgkg^{-1}$)★
	15.3	11.8	18.1	20.2	5.7	1.1	0.56

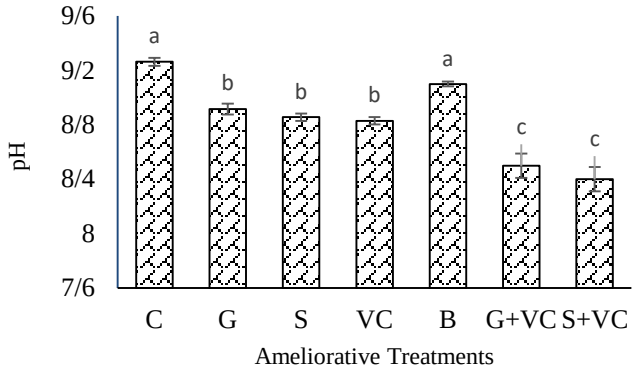
★Available fraction

EC; Electrical Conductivity, OC; Organic Carbon, CCE; Calcium Carbonate Equivalent, CEC; Cation Exchange Capacity, SAR; Sodium Adsorption Ratio, ESP; Exchangeable Sodium Percentage

pH خاک

مطابق با شکل ۲ به استثنای تیمار B سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری pH خاک را کاهش دادند. بنابراین کلیه تیمارها از طریق کاهش این شاخص باعث بهبود کیفیت خاک شدند چراکه pH یک شاخص بسیار مهم و حیاتی در کنترل کیفیت و باردهی خاک است. در خاک‌های قلیایی و آهکی هر گونه کاهش در مقدار این پارامتر به‌عنوان یک تغییر مثبت در کیفیت خاک محسوب می‌شود (Brady & Weil, 2016). در بین تیمارهای منفرد تاثیر تیمار VC به‌طور معنی‌داری از تیمار B در کاهش pH بیشتر بود درحالی‌که تاثیر تیمارهای G و S تقریباً مشابه بود (شکل ۲). دلیل تاثیر ناچیز تاثیر تیمار B بر کاهش pH ممکن است ناشی از ماهیت قلیایی و pH بالای خود بیوچار (جدول ۱) باشد که در مطالعات گذشته نیز به آن اشاره شده است (Sappor *et al*., 2017). بعضی مطالعات نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار با pH قلیایی به خاک‌های قلیایی (به ویژه در زمان‌های اولیه پس از تجزیه آن) از طریق بهم‌زدن تعادل عناصر می‌تواند حتی موجب افزایش pH خاک شود (Griffin et *at al*., 2017). بیشترین کاهش pH در تیمارهای ترکیبی شامل G+VC و S+VC مشاهده شد. در این تیمارها به‌ترتیب یک میانگین ۰/۸۶ و ۰/۸۵ واحدی در pH نسبت به تیمار شاهد اتفاق افتاده بود که در تأیید تحقیق انجام شده توسط رضاپور (۲۰۱۴) است. این تحقیق نشان داد که ترکیب گوگرد عنصری و کود دامی پوسیده در تیمارهای مختلف توانسته است pH یک خاک شور- سدیمی را در دامنه ۰/۱ تا ۰/۹ واحد کاهش دهد. در کل نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تاثیر گچ و گوگرد عنصری که برای مدت زمان طولانی برای کاهش pH توصیه شدند (Brady & Weil, 2016)، توسط ورمی کمپوست به‌طور معنی‌داری ترغیب و تشویق شده است که علت احتمالی آن تولید بیشتر یون پروتون و اسیدهای آلی در محلول خاک توسط این تیمارها است (Wong et al., 2010; Rezapour *et al*., 2017).

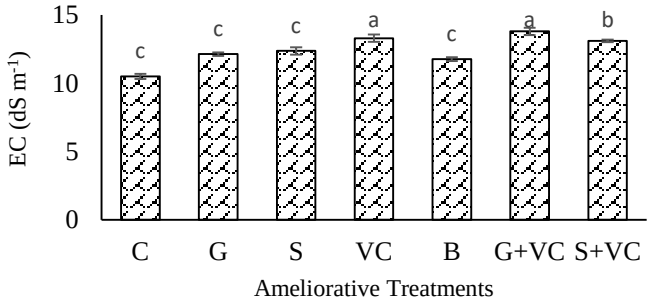
1. Sodic Calcixerepts
2. Calcic Solonetz



شکل ۲- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر pH خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.
Figure 2. Effect of different ameliorative treatments on soil pH. Different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$).

هدایت‌الکتریکی خاک (EC)

همه تیمارهای مختلف اصلاحی مورد استفاده، مقدار EC خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند اگرچه در ۵۰ درصد تیمارها این افزایش معنی‌دار نشده است (شکل ۳). شکل۳ نشان داد که میانگین افزایش EC به تبعیت از استعمال تیمارهای منفرد به خاک در توالی VC> S> G> B افزایش یافته بود و تاثیر تیمار VC بر افزایش EC نسبت به سایر تیمارهای منفرد به طور معنی‌داری بیشتر بود. افزایش بیشتر EC خاک به دنبال مصرف ورمی-کمپوست ممکن است ناشی از EC بالای خود این تیمار از یک طرف (جدول ۱) و افزایش انحلال ترکیبات معدنی بعلت افزایش فشار دی اکسید کربن یا اسیدهای آلی ناشی از تجزیه ورمی‌کمپوست از طرف دیگر باشد (Sekhon & Bajwa, 1993; Rezapour, 2014). بر خلاف تیمار VC، تیمار B تاثیر بسیار ناچیزی بر افزایش EC داشته است که این تاثیر می‌تواند ناشی (الف) EC کمتر خود بیوچار (تقریبا نصف EC ورمی‌کمپوست (جدول ۱) و (ب) مقدار نسبتاً بالای سطح ویژه بیوچار باشد که می‌تواند شرایط مساعدی را برای جذب ترکیبات یونی بازی ایجاد کند و در پی آن از افزایش EC ممانت کند (Ippdito *et al.*, 2014). عدم تاثیرپذیری EC خاک‌های شور و سدیمی توسط بیوچار در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (Sappor *et al.*, 2017; Dahlawi *et al.*, 2018). در مقایسه با تیمارهای منفرد، تیمارهای ترکیبی مخصوصاً تیمار G+VC تاثیر بیشتری در افزایش EC خاک داشتند (شکل ۳). این تیمار میانگین EC را از ۱۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار شاهد به ۱۳/۸ دسی زیمنس بر متر افزایش داده است که مشابه نتایج یافته شده در تحقیقات گذشته است. به‌عنوان مثال رضاپور (Rezapour, 2014) و شولتز و همکاران (Schultz *et al.*, 2017) مشاهده کردند که استعمال تیمارهای ترکیبی کود دامی و گوگرد عنصری و بیوچار و گچ به خاک‌های شور-سدیمی و سدیمی به‌طور معنی‌داری EC خاک را افزایش داده است در حالی‌که تیمار بیوچار به‌تنهایی تغییری قابل توجهی در این شاخص ایجاد نکرده بود.

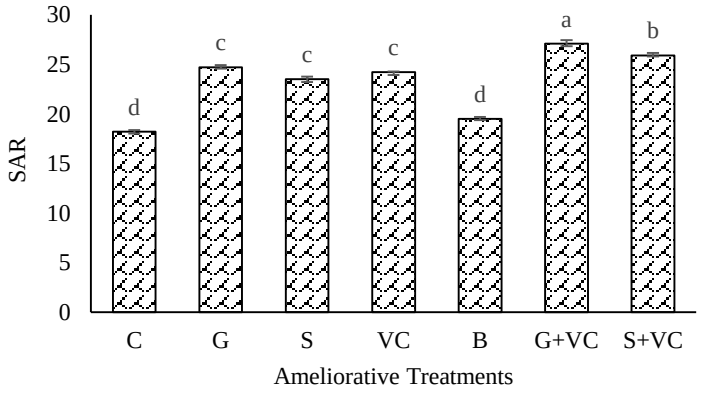


شکل ۳- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر EC خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p< 0.05$) می‌باشد.
Figure 3. Effect of different ameliorative treatments on soil EC. Different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$).

نسبت جذبی سدیم محلول خاک (SAR)

در شکل ۴ ملاحظه می‌شود که اکثر تیمارهای بهساز نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری SAR را افزایش دادند که گویای کارایی مناسب و تاثیر موفقیت‌آمیز آن‌ها برای کاهش سدیم خاک است. در بین تیمارهای منفرد بیشترین افزایش مربوط به تیمار G و VC (به‌ترتیب یک افزایش ۴۹ و ۴۲ درصدی نسبت به شاهد) بود و تیمار B حداقل افزایش (یک افزایش ۷ درصدی نسبت به شاهد) را نشان داد. تیمارهای گچ و ورمی‌کمپوست منابع غنی از کلسیم و منیزیم هستند (Brady & Weil, 2016; Mahmud *et al*., 2018) اما حاوی سدیم قابل ملاحظه‌ای نیستند. البته ورمی کمپوست از طریق افزایش گاز دی اکسید کربن هوای خاک و سپس افزایش حلالیت کربنات کلسیم بومی خاک نیز می‌تواند به بهبود و افزایش کلسیم محلول خاک را کمک کند. بنابراین با استعمال این تیمارهای فوق، سدیم تبادلی توسط کلسیم و منیزیم به بخش محلول هدایت شده و سبب افزایش SAR شدند. در تایید این نتایج شولتز و همکاران (Schultz *et al*., 2017) نشان دادند که استعمال تیمار مستقل بیوچار تاثیر جزئی در افزایش کلسیم و SAR یک خاک سدیمی داشته است اما تیمار گچ به‌طور معنی‌داری باعث افزایش این دو ویژگی خاک شده است.

همانند pH و EC، تاثیر تیمارهای ترکیبی به‌طور معنی-داری (شکل ۴) بیشتر از تیمارهای مستقل SAR خاک را افزایش داده است که بیانگر موثرتر بودن تیمارهای ترکیبی بر نسبت جذبی سدیم و احتمالاً درصد سدیم تبادلی خاک است. البته در این تحقیق دامنه افزایش SAR (همانند EC) خاک مورد تحقیق پس از اختلاط آن با تیمارهای آلی و ترکیبی کمتر از مقادیر گزارش شده آن‌ها در اکثر تحقیقات گذشته است (Ippdito *et al*., 2014; Rezapour, 2014; Dahlawi *et al*., 2018). از دلایل اصلی چنین رفتاری می‌توان به ویژگی‌های شیمیایی بهسازهای آلی مورد استفاده در این مطالعه از جمله سطح ویژه و CEC نسبتاً بالای آن‌ها اشاره کرد که احتمالاً با جذب ترکیبات یونی بازی (کلسیم، منیزیم و سدیم) دامنه افزایش SAR را تعدیل کردند. همچنین ذکر این نکته ضروریست که اگرچه تیمارهای بهساز مختلف مورد استفاده EC و SAR را افزایش دادند و از این طریق می‌توانند باعث کاهش کیفیت خاک شوند اما با انجام فرآیند آبشویی و یا در نظر گرفتن ضریب آبشویی در حین تحقیق می‌توان با این مشکل مقابله و املاح اضافی را از خاک خارج نمود.



شکل ۴- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر SAR خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p< 0.05$) می‌باشد.

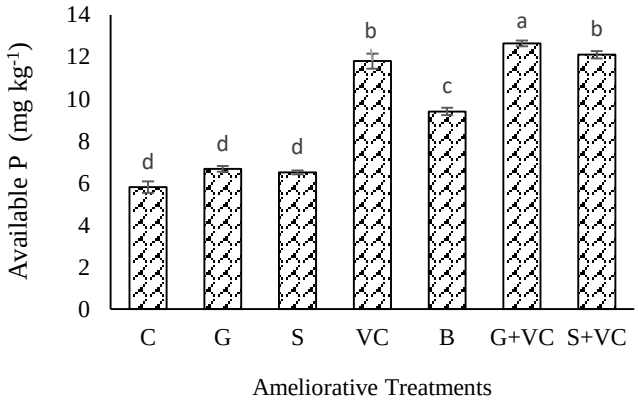
Figure 4. Effect of different ameliorative treatments on soil SAR. Different letters show statistically significant differences ($p <0.05$).

فسفر قابل دسترس خاک

با وجود اینکه همه تیمارهای بهساز باعث افزایش فسفر قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۵) اما نقش تیمارهای منفرد آلی (ورمی‌کمپوست و بیوچار) و تیمارهای ترکیبی با اختلاف معنی‌داری در این افزایش بسیار چشمگیرتر بودند. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، تیمارهای منفرد معدنی (گچ و گوگرد عنصری) تاثیر ناچیز و غیرمعنی‌داری در افزایش فسفر

قابل دسترس خاک داشتند اما در مقابل تیمارهای منفرد آلی به‌طور معنی‌داری (در دامنه ۶۲ تا ۱۰۳ درصد) فسفر قابل دسترس افزایش دادند. با توجه به مقدار نسبتاً بالای فسفر تیمارهای آلی (جدول ۱) به نظر می‌رسد افزایش فسفر قابل دسترس توسط این تیمارها عمدتاً ناشی از اثرات مستقیم آن‌ها در طی فرآیند تجزیه است همچنان که در تحقیقات گذشته نیز به آن اشاره شده است (Rezapour, 2014; Qayym *et al*., 2017). البته بعضی محققان (Griffin *et al*., 2018; Dahlawi et al., 2018) عقیده دارند که ترکیبات آلی به‌طور غیر مستقیم و از طریق کمک به انحلال کربنات کلسیم خاک می‌توانند آزادسازی فسفر پیوند یافته با کربنات‌های خاک را تحریک کنند.

در مقایسه با تیمارهای مستقل آلی، تیمارهای ترکیبی مخصوصاً تیمار G+VC پس از اختلاط با خاک مقدار بیشتری فسفر قابل دسترس ایجاد کردند (شکل ۵). این نشان می‌دهد که تیمارهای ترکیبی احتمالاً از طریق مجموعه‌ای از اثرات مستقیم (آزاد شدن فسفر موجود در خود تیمار) و غیر مستقیم (بهبود ویژگی‌های خاک) در بهبود فسفر قابل دسترس خاک موثر بودند. در کل از آنجایی که در خاک های شور و سدیمی و آهکی کمبود فسفر قابل دسترس یکی از مشکلات اصلی تغذیه‌ای می باشد (Brady & Weil, 2016) بنابراین با افزایش تیمارهای این تحقیق (مخصوصاً تیمارهای آلی و ترکیبی) به این خاک‌ها می‌توان به رفع این مشکل کمک کرد.



شکل ۵- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر فسفر قابل دسترس خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p< 0.05$) می‌باشد.

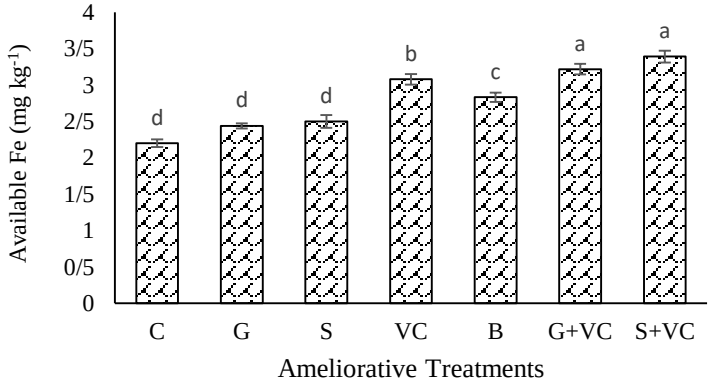
Figure 5. Effect of different ameliorative treatments on soil available P. Different letters show statistically significant differences ($p <0.05$).

آهن و روی قابل دسترس

کمبود شکل قابل دسترس عناصر کم مصرف مخصوصاً آهن و روی (همانند فسفر) در اغلب خاک‌های شور و سدیمی یکی از مشکلات تغذیه‌ای اساسی این خاک‌ها است. در این تحقیق اغلب تیمارهای اصلاحی یک تاثیر مثبت و معنی‌دار در افزایش عناصر آهن و روی ایجاد کردند و مقدار آن‌ها را در دامنه ۱۱ تا ۵۵ درصد (آهن) و ۱۴ تا ۵۹ درصد (روی) نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۶ و ۷). این نتایج مشابه یافته‌های گزارش‌شده توسط وانگ و همکاران (Wong *et al*., 2008) و رضاپور (Rezapour, 2014) است.

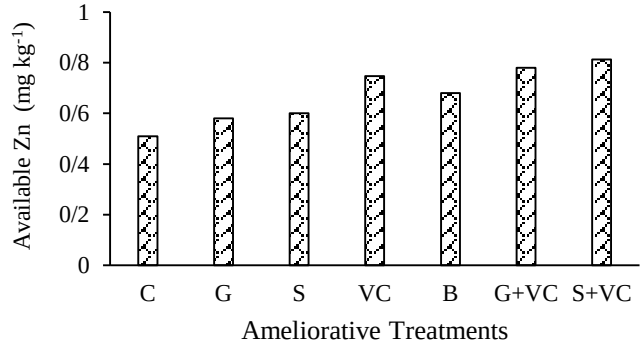
در تیمارهای منفرد، تیمار ورمی‌کمپوست و بیوچار به‌طور معنی‌داری مقدار این دو عنصر را افزایش دادند (۲۹ تا ۴۰ درصد آهن و ۳۳ تا ۴۷ درصد روی) درحالی‌که تیمارهای شیمیایی (گچ و گوگود عنصری) تاثیر ناچیز و غیر معنی-داری داشتند. تاثیر موثر تیمارهای آلی در این افزایش ممکن است بخشی مربوط به آزاد شدن آهن و روی ناشی از این تیمارها در حین تجزیه و معدنی‌شدن آن‌ها باشد (Sappor *et al*., 2017; Mahmud *et al*., 2018) و بخشی نیز ناشی از تشکیل کمپلکس‌های فراهم این عناصر تحت حضور تیمار آلی و آهن و روی غیر قابل دسترس بومی خاک باشد (Rezapour *et al*., 2017; Dahlawi et al., 2018). تیمارهای ترکیبی بیشترین تاثیر را در افزایش آهن و روی قابل دسترس خاک داشتند، اگرچه بین این دو تیمار ترکیبی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در تاثیر آن‌ها بر افزایش آهن و روی قابل دسترس مشاهده نشد.

دلیل این مشاهده احتمالاً ترکیبی از اثرات مستقیم ورمی‌کمپوست در افزایش آهن و روی به خاک و بهبود شرایط عمومی خاک شور- سدیمی برای تسهیل حلالیت شکل‌های غیر قابل دسترس این دو عنصر توسط مخلوط ورمی کمپوست به همراه گچ و گوگرد عنصری بوده است. در انطباق با این نتایج، بعضی محققان (Brady & Weil, 2016; Sahab *et al.*, 2020) نشان دادند که تلفیق تیمارهای معدنی (مانند گوگرد عنصری) و تیمارهای آلی (مانند کود دامی و بقایایی گیاهی) با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک (مانند بهبود ساختار خاک و کاهش pH) و کاهش غلظت یون های کربنات و بی‌کربنات باعث افزایش حلالیت عناصر کم مصرف خاک و جلوگیری از تشکیل کمپلکس‌های غیر محلول آن‌ها می شوند.



شکل ۶- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر آهن قابل دسترس خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی دار آماری ($p< 0.05$) می‌باشد.

Figure 6. Effect of different ameliorative treatments on soil available Fe. Different letters show statistically significant differences ($p <0.05$).



شکل ۷- تاثیر تیمارهای مختلف اصلاحی برروی قابل دسترس خاک. حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی دار آماری ($p< 0.05$) می‌باشد.

Figure 7. Effect of different ameliorative treatments on soil available Zn. Different letters show statistically significant differences ($p <0.05$).

نتیجه گیری کلی

داده‌ها و نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تیمارهای مستقل بهسازهای آلی و شیمیایی سبب کاهش pH خاک و افزایش EC و SAR یک خاک شور- سدیمی شدند و کاربرد همزمان ورمی کمپوست با تیمارهای شیمیایی (گچ و گوگرد عنصری) تاثیر بیشتری بر پارامترهای فوق داشتند. کاربرد منفرد تیمارهای ورمی کمپوست و بیوچار سبب افزایش معنی‌داری در فسفر قابل دسترس خاک نسبت به تیمار شاهد شدند و استعمال همزمان ورمی کمپوست با تیمارهای شیمیایی باعث تشدید اثرات آن بر فسفر قابل دسترس خاک شدند. چنین نتایجی در مورد فسفر قابل دسترس برای آهن و روی قابل دسترس خاک

نیز مشاهده شد. بخش عمده افزایش فسفر، آهن و روی قابل دسترس خاک ناشی از آزاد سازی مستقیم این عناصر از تیمارهای آلی می‌باشد و تیمارهای شیمیایی نیز احتمالاً به کمک ورمی‌کمپوست با بهبود بعضی شرایط عمومی خاک شور- سدیمی به افزایش انحلال این عناصر از بخش بومی خاک کمک کردند. مقایسه تیمارهای آلی (ورمی‌کمپوست و بیوچار) مورد استفاده در این تحقیق بیانگر اثرپذیری بیشتر ورمی‌کمپوست برای اصلاح اولیه خاک شور- سدیمی بود و تلفیق آن با گچ و گوگرد عنصری نیز اثر بخشی بیشتری نسبت به سایر تیمارها در بهسازی عمومی و شرایط تغذیه ای این خاک داشت. با این وجود در آینده با انجام عملیات آبشویی و کشت گیاهان مقاوم به شرایط خاص خاک‌های شور- سدیمی و در پی آن اندازه‌گیری مجدد ویژگی‌های خاک درجه تاثیر پذیری این تیمارها مشخص‌تر می‌شود.

تشکر و قدردانی

این پروژه (شناسه ملی ۱۴۰۰۲۷۸۶۸۵۱) با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های بین المللی وازت علوم تحقیقات و فناوری انجام شده است.

References

Brady NC., and Weil RR. 2016. The nature and properties of soils. Upper Saddle, NJ: Prentice-Hall, Inc. pp. 1089.

Chávez-García E., and Siebe C. 2019. Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 189:176-88.

Dahlawi S., Naeem A., Rengel Z., and Naidu R. .2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625:320-35.

Griffin DE., Wang D., Parikh SJ., and Scow KM. 2017. Short-lived effects of walnut shell biochar on soils and crop yields in a long-term field experiment. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2; 236:21-9.

FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Country Specific Salinity Issues—Iran. Rome, Italy. pp. 51.

Hazelton PA., and Murphy BW. 2007. Interpretation of soil test results (what do all the numbers mean?). CSIRO publishing 150 Oxford Street (PO Box 1139) Collingwood VIC 3066, Australia. pp. 151.

Ippolito JA., Stromberger ME., Lentz RD., and Dungan RS. 2014. Hardwood biochar influences calcareous soil physicochemical and microbiological status. J Environ Qual 43:681–689.

IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106, p.192.

Kim YJ., Choo BK., and Cho JY. 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*, 156:131-8.

Mahmud M., Abdullah R., and Yaacob JS. 2018. Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (Ananas comosus var. MD2) under field conditions. *Agronomy*, 8(9):183.

Qayyum MF., Liaquat F., Rehman RA., Gul M., Hye MZ., Rizwan M., and Rehaman MZ. 2017. Effects of co-composting of farm manure and biochar on plant growth and carbonmineralization in an alkaline soil. *Environmental Science* and *Pollution Research* 24:26060–26068.

Rezapour S. 2014. Effect of sulfur and composted manure on SO4-S, P and micronutrient availability in a calcareous saline–sodic soil. *Chemistry and Ecology*, 30(2): 147-155.

Rezapour S., Kalashypour E., Asadzadeh F. 2017 Assessment of the quality of salt-affected soils after irrigation and cultivation in semi-arid condition. *International Journal of Environmental Research*, 11(3):.301-313.

Rezapour S., and Kalashypour E. 2019. Effects of irrigation and cultivation on the chemical indices of saline–sodic soils in a calcareous environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3):1501-1514.

Sahab S., Suhani I., Srivastava V., Chauhan PS., Singh RP., and Prasad V. 2020. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: current status and management strategies. *Science of The Total Environment*, 17:144-164.

Sappor DK, Osei BA, Ahmed MR (2017) Reclaiming sodium affected soil: The potential of organic amendments. International Journal of Plant & Soil Science.16(2):1-1.

Sekhon BS., and Bajwa MS. 1993. Effect of organic matter and gypsum in controlling soil sodicity in rice-wheat-maize system irrigated with sodic waters. *Agricultural water management*, 1;24(1):15-25.

Singh K., Pandey VC., Singh B., Patra DD., and Singh RP. 2016. Effect of fly ash on crop yield and physico-chemical, microbial and enzyme activities of sodic soils. *Environmental Engineering and Management Journal*, 1;15(11).

Soil Survey Staff 2014. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. pp. 353.

Sparks DL. 2003. Environmental soil chemistry: An overview. Environmental soil chemistry, 2nd edn. Academic Press, New York. pp. 368.

Sparks DL., Page AL., Helmke PA., and Loeppert RH. 2020. Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods. John Wiley & Sons. pp. 1424.

Wong VN., Greene RS., Dalal RC., and Murphy BW. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management*, 26(1):2-11.

Assessment of the Impact of Organic and Chemical Amendments on some Chemical Indicators of Saline-Sodic Soils

Salar Rezapour[1*], Mohsen Barin[2], Farrokh Asadzadeh[3], Amin Nouri[4]

(Received: April 2021 Accepted: july 2021)

Abstract

In the current study, the effect of organic (vermicompost and biochar) and chemical (gypsum and elemental sulfur) amendments and combination of vermicompost and chemical treatments on the possibility of improving a saline-sodic soil was investigated. The experiment was conducted using a completely randomized design with three replications in a greenhouse condition. After mixing with different treatments, soil samples were kept in the field capacity for 120 days and then some of the most important chemical and nutritional properties of the soils were determined. The results showed that vermicompost caused a significant decrease in soil pH compared to the control treatment and its combination with elemental sulfur was the most effective treatment in improving pH (a drop of 0.75 to 0.95 unit in soil pH). All treatments significantly increased soil EC and SAR compared to the control treatment by increasing the concentration of soluble salts (such as Ca^{+2} and Mg^{+2}) and replacing some of these ions with soil exchangeable Na. Among the treatments, vermicompost and gypsum had the greatest impact on EC and SAR by an increase of 2.8 to 3.8 dS m^{-1} in EC and 8.6 to 9.3 units in SAR. While available P, Fe, and Zn significantly increased by the direct release of nutrients from organic compounds and the improvement of soil chemical conditions following using the combination of organic (vermicompost) and chemical treatments, the individual chemical treatments had little effect on the improvement of elements. Overall, the combined application of chemical and organic treatments (vermicompost) more effectively than individual treatments has improved the unfavorable chemical conditions of saline-sodic soil and increased its fertility.

Keywords: Saline-sodic soil, Vermicompost, Biochar, Gypsum, Soil remediation

Rezapour S., Barin M., Asadzadeh F. and Nouri A. 2021. Assessment of the impact of organic and chemical amendments on some chemical indicators of saline-sodic soils. *Applied Soil Research*. 9(3):31-42.

1. Associate Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Urmia University
4. Assistance Prof. of Hermiston Agricultural Research and Extension Center, Oregon State University, Hermiston, USA
*Corresponding Author Email: s.rezapour@urmia.ac.ir