تأثیر اصلاح‌کننده‌های ترکیبی بر بهسازی شاخص‌های شوری، سدیمی و بیولوژیکی یک خاک شور- سدیمی

ندا پیری[۱]، سالار رضاپور[۲*]، محسن برین[۳]، فرخ اسدزاده[۴]، حسین عسگرزاده[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸)

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر اصلاح کننده های آلی (ورمی‌کمپوست و بیوچار) و شیمیایی (گچ و گوگرد عنصری) و تلفیق ورمی‌کمپوست و تیمارهای شیمیایی بر شاخص‌های شور، سدیمی و بیولوژیکی یک خاک شور- سدیمی انجام شد. این پژوهش بصورت فاکتوریل دو فاکتوره (با و بدون تلقیح میکروبی) بر پایه طرح کاملا 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 پس از فرآیند شستشو به مدت ۱۵۰ روز تحت کشت گندم قرار گرفتند. بعد از برداشت بوته های گندم، مهمترین ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی همه خاک ها تعیین شدند. نتایج نشان داد اثر هرکدام از فاکتورهای اصلی تیمارهای شیمیایی و آلی شامل تلقیح میکروبی و بدون تلقیح میکروبی به طور معنی داری (به ترتیب در سطح پنج و یک درصد) مقدار pH، EC و ESP را کاهش دادند اما اثرات متقابل فاکتور ها تأثیر معنی داری در کاهش آنها نداشتند. برای هر دو فاکتور، نقش تیمارهای ترکیبی در بهبود شاخص‌های فوق به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای منفرد بود. اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد بر اغلب شاخص های بیولوژیکی شامل تنفس پایه (یک افزایش ۱۱ تا ۱۰۵ درصدی)، تنفس برانگیخته (یک افزایش ۱۰ تا ۲۳ درصدی) و کربن زیست توده میکروبی (یک افزایش ۸ تا ۱۳۰ درصدی) خاک معنی‌دار شده بود اما اثرات متقابل فاکتورها تنها کربن زیست توده میکروبی را به طور معنی‌داری ($p< 0.05$) تحت تأثیر قرار داده بود. در بین تمام تیمارهای هر دو فاکتور، تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و گچ بیشترین تأثیر گذاری را بر هر سه شاخص بیولوژیکی خاک (یک افزایش ۲۳ تا ۱۳۰ درصدی) داشتند. این نشان می‌دهد که این تیمار احتمالا از طریق بهبود مناسب‌تر شرایط شیمیایی خاک نسبت به سایر تیمارها (مانند کاهش شوری و pH خاک) و همچنین مهیا کردن سوبسترا با ذخیره کربن تجزیه‌پذیرتر شرایط اکوسیستم خاک را برای تکثیر و بهبود فعالیت‌های میکرواورگانیسم‌ها مهیاتر کرده است.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم خاک، بهساز آلی، شاخص‌های بیولوژیکی، خاک شور- سدیمی، کربن خاک

پیری ن.، رضاپور س.، اسدزاده ف.، برین م. ۱۴۰۳. تأثیر اصلاح‌کننده‌های ترکیبی بر بهسازی شاخص‌های شوری، سدیمی و بیولوژیکی یک خاک شور- سدیمی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره۱. صفحه: ۹۶-۱۰۷.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)
۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۴- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۵ -دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
* پست الکترونیک: s.rezapour@urmia.ac.ir

مقدمه

باتوجه به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به تولید و مصرف مواد غذایی و پوشاک و محدود بودن اراضی زراعی جهان، قطعا در آینده نزدیک استفاده از اراضی با شرایط خاص مثل خاک‌های شور-سدیمی نیز مورد توجه و استفاده برای تولید مواد غذایی مردم، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. خاک‌های شور و سدیمی ایران در بخش‌های قابل توجهی از اراضی زراعی آبی، دیمزار و اراضی مرتعی وجود دارند و از لحاظ توزیع جغرافیایی عمدتا در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و اراضی حاشیه دریاچه ارومیه قرار دارند. بدلیل 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 ۱۰۶ × ۲۵/۵ هکتار از کل مساحت ایران (حدود ۱۵ درصد از کل مساحت ایران) را خاک‌های شور و سدیمی با درجه شوری و سدیمی کم تا متوسط پوشش داده‌اند در حالی که اراضی با درجه شوری سدیمی بالا حدود ۱۰۶ × ۸/۵ هکتار یعنی حدود ۵ درصد 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 عمدتا از تیپ شور– سدیمی هستند همانطوری که برای اکثر اراضی حاشیه دریاچه ارومیه گزارش شده است (رضاپور و همکاران ۲۰۱۷، رضاپور و کلشی‌پور ۲۰۱۸).

خاک‌هایی که از نظر pH کمتر از ۸/۵، EC بزرگتر از ۴، SAR بالای ۱۳ و ESP بالای ۱۵ هستند را خاک‌های شور-سدیمی گویند و اکثر خاک‌های شور-سدیمی ایران را تشکیل می‌دهند.

در راستای چالش‌های مرتبط با اصلاح خاک‌های شور-سدیمی تحقیقات زیادی در گذشته انجام شده است که بیشتر این تحقیقات در راستای استفاده از اصلاح کننده‌ها بصورت ترکیبات منفرد انجام شده است و کمتر به استفاده ترکیبی از این مواد توجه شده است به عنوان مثال : Tejada *et al.* (2006)طی یک تحقیق پنج ساله میدانی تأثیر کمپوست تهیه شده از بقایای پنبه و کود مرغی را بر روی یک خاک لوم رسی شور ($EC= 9.1\ dSm^{-1}$) در مناطق خشک اسپانیا مورد تحقیق و بررسی قرار دادند. آنها این ترکیبات آلی را در دامنه ۵ تا ۱۰ تن در هکتار به خاک فوق اضافه کردند و به این نتایج دست یافتند که وزن مخصوص ظاهری و پایداری ساختمان خاک در اثر استعمال تیمارهای اصلاحی به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد بهبود یافته است و همچنین کمپوست پنبه در بهبود خصوصیاتی که در بالا ذکر شد نسبت به کود مرغی به‌دلیل بالا بودن اسید هیومیک تأثیر بسزایی داشت. در تایید این نتایج Whalen *et al.* (2003) اعتقاد دارد که پایداری ساختمان خاک به طور مستقیم و معنی داری با غلظت اسید هیومیک همبستگی مثبت دارد و تأثیر مستقیمی در تشکیل کمپلکس‌های رس-مواد آلی دارد .

Xiao *et al.* (2020) تأثیر بیوچار حاصل از سالیکس را بر خصوصیات فیزیکی خاک‌های نمکی یک مزرعه تحت کشت متناوب گندم و ذرت طی دوره¬های زمانی ۲۲، ۲۳۸، ۳۲۱ و ۳۸۲ روزه در چین بررسی کردند. کرت آزمایشی شامل شاهد و سه سطح ۱، ۲ و ۴ گرم در کیلوگرم بیوچار بودند. نتایج پایانی نشان داد استعمال بیوچار و عملیات زراعی (شخم و آبیاری) سبب بهبود وزن مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی، پایداری ساختمان خاک، تهویه و نفوذپذیری خاک شده است. به طوری که وزن مخصوص ظاهری خاک از ۱/۴۸ گرم در سانتی مترمکعب (تیمار شاهد) به ۱/۱۴ گرم در سانتی مترمکعب کاهش یافته و هدایت هیدرولیکی خاک نیز از ۰/۰۰۰۰۰۵ سانتی متر در ثانیه (تیمار شاهد) به ۰/۰۰۰۰۲۵ سانتی متر در ثانیه افزایش یافته بود .

علیرغم سابقه طولانی اصلاح خاک های شور و سدیمی در ایران و جهان، تاکنون اثر ترکیبی بهسازهای شیمیایی و آلی دردسترس و ارزان قیمت کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است. بنابراین با در نظر گرفتن رویکردهای گذشته هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر ترکیبی از بهسازهای شیمیایی، آلی و بیولوژیکی بر شاخص های شوری (EC)، سدیمی (SAR، ESP و سدیم تبادلی) و بیولوژیکی (تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن زیست توده میکروبی) بود.

مواد و روش‌ها

به منظور اجرای این آزمایش یک خاک شور- سدیم 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 برداشته شد. در ادامه خاک مورد

پژوهش ابتدا هوا خشک و سپس بعد از عبور از غربال ۲ میلی‌متری برای تعیین pH، EC، SAR، ESP و شاخص های بیولوژیکی قرار گرفت.

تیمارهای آلی (بیوچار و ورمی‌کمپوست) با سطح سه درصد وزنی به خاک اضافه و مخلوط شدند و مقدارگچ پودری (۱/۵ گرم در کیلوگرم) و گوگرد عنصر (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 ۱ محاسبه و تخمین زده شد (Sparks, 2003).

$$AR = \langle \frac{ESP_i - ESP_f}{100} \rangle \times CEC \qquad (۱)$$

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.

در ادامه آزمایش تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد C، تیمار گچ G، تیمار گوگرد عنصری S، تیمار بیوچارB ، تیمار ورمی‌کمپوست VC، تیمار گوگرد عنصری و ورمی‌کمپوست S+VC و تیمار گچ همراه با ورمی‌کمپوست 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. در مرحله انکوباسیون و در طی فرآیند تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خاک، سدیم از مکانهای تبادلی خاک خارج و وارد بخش محلول می شود که برای جلوگیری از اثرات نامطلوب این سدیم‌ها و خروج کامل آنها از خاک فرآیند شستشو و بدست آوردن ضریب شستشو از طریق سلیندرهای شستشو انجام شد. استفاده از ستون‌های ابشویی در شرایط آزمایشگاهی به دلیل اینکه امکان کنترل آبشویی در آن‌ها آسان است و می‌توان در آن‌ها اثرات پدیده‌های جانبی در فرآیند آبشویی را حذف نمود، روشی بسیار مناسبی برای مطالعات در خصوص راندمان آبشویی و اصلاح خاک‌های سدیمی است.

بعد از مرحله ی انکوباسیون و شستشو تیمارهای آزمایشی به گلدان‌های پنج کیلویی انتقال یافتند و پس از تنظیم رطوبت خاک هر گلدان در ظرفیت مزرعه اقدام به کشت گندم شد. در این مرحله درون هر گلدان بیست دانه بذر گندم بهاره کشت شد و بعد از دو هفته زمان کشت سپری شد و از بین بذرهای سبز شده ۵ بذر نگه‌داری شد و در مجموع بعد از سپری شدن ۱۵۰ روز از کشت و نگه‌داری، نمونه‌های گیاهی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند و همچنین از هر گلدان نیز نمونه‌های خاک برداشته شد و آنها نیز به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آزمایشگاه خاک‌ها تحت آزمایشات مختلف توسط روش های استاندارد قرار گرفتند (Sparks, 2020). شاخص‌های بیولوژیکی شامل تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن زیست توده میکروبی نیز در تمام نمونه‌های خاک تعیین شدند (Anderson, 1982; Jenkinson & Ladd, 1981; Nakamoto & Wakahara, 2004).

آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل دو فاکتوره (فاکتور با تلقیح میکروبی و فاکتور بدون تلقیح میکروبی) بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گردید. لازم به ذکر است ویژگی‌های بیولوژیکی نیز به شرح زیر تعیین شدند. برای تلقیح میکروبی از باکتری *Pseudomonas fluorescens* تهیه شده از بانک میکروبی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه استفاده شد. برای تلقیح بذرهای گندم از روش غوطه‌ور کردن و شیک کردن بذرها به مدت ۲ ساعت در مایه تلقیح با جمعیت میکروبی $۱۰^{۸}$ ($CFU\ ml^{-1}$) استفاده شد. بذور پس از شیک از صافی عبور داده و سپس در سایه خشک گردیدند و همان روز کشت شدند در تیمارهای بدون تلقیح برای یکسان شدن شرایط، بذور به همان روش فوق اما در محیط مایع استریل بذرمال شدند.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام و رسم نمودارهای مربوطه در محیط نرم افزاری اکسل تهیه و تنظیم شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد مطالعه

خاک مورد مطالعه دارای بافت متوسط، خصوصیات آهکی (کربنات کلسیم معادل بیش از ۵٪) و شدیداً

قلیایی(pH>۸/۵) بود (جدول۱) و از لحاظ کربن آلی و ازت کل در کلاس کم [(۱٪> کربن آلی> ۰/۸٪) و (۰/۱۵٪> ازت کل> ۰/۰۵٪)] قرار داشت. به طور مشابه ای ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر قابل جذب آن نیز کلاس کم [(۱۲> CEC> ۶) و (۸> P> ۰)] را نشان دادند (Hazelton & Murphy, 2007). بنابراین این خاک از نظر شاخص‌های اصلی کیفیت خاک از کیفیت پایینی برخودار بود؛ که با نتایج پژوهش‌های گذشته تشابه دارد (Rezapour *et al*., 2017 Rezapour & Kalashypour, 2019;).

جدول ۱- ویژگی‌های اولیه خاک مورد مطالعه

Table 1. General properties of the studied soil

parameters	Value
Sand (%)	60
Silt (%)	20
Clay (%)	20
Texture	Loam
N (%)	0.05
SAR	18.1
pH	9.2
EC	10.4
OM (%)	0.86

تأثیر تیمارهای اصلاحی بر شاخص‌های شور و سدیمی خاک

pH خاک

در جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف برای pH، EC، SAR، ESP، و سدیم تبادلی نشان داده شده است. همانطورکه ملاحظه می‌شود به استثناء تیمار بیوجار (B) سایر تیمارهای هر دو فاکتور با تلقیح میکروبی و بدون تلقیح میکروبی به طور معنی‌داری pH خاک را نسبت به تیمار شاهد در دامنه ۰/۸۳ تا ۱/۴۵ واحد (فاکتور با تلقیح میکروبی) و ۰/۶۵ تا ۱/۴۲ واحد (فاکتور بدون تلقیح میکروبی) کاهش دادند اما اثرات متقابل فاکتور تأثیر معنی داری بر آن نداشته است. این داده‌ها نشان می‌دهد که کلیه تیمارها از طریق کاهش این شاخص باعث بهبود کیفیت خاک شده‌اند به علت اینکه pH یک شاخص بسیار مهم و حیاتی در کنترل کیفیت و باردهی و فعالیت‌های زیستی خاک است (Brady & Weil, 2016). در هر دو فاکتور موثرین تیمار در کاهش pH تیمار گچ + ورمی کمپوست بوده است و در بین تیمارهای منفرد تیمار ورمی کمپوست تأثیر بهتری در کاهش pH داشت که در تایید بعضی مطالعات گذشته است (Wong *et al*. 2010; Rezapour, 2014).

EC (شوری خاک)

شوری خاک یکی از مهمترین عوامل تخریب کننده کیفیت خاک است که تأثیر مستقیمی، بر عملکرد گیاهان زراعی از طریق فشار اسمزی و اثرات ویژه یونی دارد (Brady & Weil, 2016). در هر دو فاکتور مواد اصلاحی شامل تلقیح میکروبی و بدون تلقیح میکروبی همه تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری EC خاک را نسبت به تیمار شاهد کاهش داده بودند و همه‌ی تیمارهای هردو فاکتور این شاخص را به محدوده‌ی یک تا سه دسی‌زی‌منس بر متر کاهش داده بودند که دامنه قابل قبول برای فعالیت اکثر گونه‌های گیاهی و فعالیت‌های میکروبی است (Brady & Weil, 2016). در هر دو فاکتور موثرترین تیمار کاهش EC، تیمار گچ+ ورمی کمپوست بود که شوری خاک را در دامنه ۱۷۰-۱۹۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده بود و در بین تیمارهای منفرد خاک تیمار گچ تأثیر بیشتری در کاهش EC خاک داشت (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که تأثیر گچ و گوگردعنصری که در تحقیقات گذشته نیز تأثیر مثبت آن‌ها در کاهش EC گزارش شده است(Rezapour, 2014; Kim *et al*. 2017; Sappor *et al*. 2017) توسط ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری کاهش این شاخص را تحت تأثیر قرار داده‌اند. در تایید این نتایج Rezapour (2014)، Jesus *et al*. (2018) و Sundha *et al*. (2020) نشان دادند که اثرات متقابل ترکیبات شیمیایی و آلی

به‌طور معنی‌داری EC خاک را کاهش داده و تأثیر ترکیب این تیمارها در کاهش EC به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از تأثیر منفرد هر کدام از ترکیبات فوق بود.

جدول۲ - نتایج آنالیز واریانس برای pH، EC، SAR، سدیم تبادلی و ESP

Table 2. Results of analysis of variance for pH, EC, SAR, exchangeable Na and ESP

Source of variation	df	Mean square				
		ESP	Exchangeable Na	SAR	EC	pH
bacteria	1	0.29**	0.028*	0.034*	0.36*	0.12*
Chemical and organic modifiers	6	67.65**	0.59**	56.6**	9.65**	1.5**
Bacteria* chemical and organic modifiers	6	0.59ns	0.003ns	0.68**	0.047**	0.01 ns
Error	26	0.32	0.01	0.14	0.55	0.024

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ۰/۱، یک و پنج درصد، ns: غیرمعنی‌دار

**, *: are significant at P <0.0001, 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, ns is non-significant.
ESP: Exchangeable sodium percentage, SAR: Sodium Adsorption Ratio, EC: Electrical conductivity, pH: Potential of Hydrogen

نسبت جذب سدیم(SAR)

نسبت جذب سدیم یکی از مهمترین شاخص‌های خاک مخصوصاً خاک‌های شور و سدیمی است که می تواند به شدت ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، حاصلخیزی و زیستی خاک را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد (Brady & Weil; 2016). براساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) فاکتورهای اصلاح کننده شیمیایی و آلی بدون تلقیح میکروبی و اثرات متقابل دو فاکتور به‌طور معنی‌داری (در سطح یک درصد) مقدار SAR خاک را تحت تأثیر قرار داده بود؛ اما فاکتور اصلی اصلاح کننده شیمیایی و آلی شامل تلقیح باکتری تأثیر معنی‌داری بر این شاخص نگذاشته بود. در بین تیمارهای منفرد هر دو فاکتور بیشترین کاهش SAR مربوط به تیمار گچ و گوگرد بودند و تیمار بیوچار کمترین تأثیر را در کاهش این شاخص نشان داد. این یافته‌ها به این مفهوم است که نتیجه استعمال تیمارهای شیمیایی منفرد منجر به افزایش مستقیم کلسیم و منیزیم محلول و انحلال کلسیم بومی خاک و سپس جایگزینی آن‌ها با سدیم تبادلی شده که در پی آن سبب کاهش SAR خاک نسبت به تیمار شاهد شده است و در تطابق با یافته‌های Rezapour (2014) و Sundha *at al.* (2020) است. برای هر دو فاکتور آزمایشی تیمارهای ترکیبی (G+VC و S+VC) به‌طور معنی‌داری تأثیر بیشتری در کاهش SAR نسبت به تیمارهای منفرد نشان دادند (جدول ۳). چنین روندی نشان می‌دهد که ورمی‌کمپوست احتمالا از طریق بهبود شرایط شیمیایی خاک مخصوصا از طریق کاهش pH باعث افزایش انحلال کلسیم و منیزیم بومی خاک شده و در نتیجه تأثیر گچ و گوگرد عنصری را در کاهش SAR به‌طور معنی‌داری ترغیب کرده است. تأثیر اثرات متقابل و مثبت ترکیبات آلی و شیمیایی در کاهش SAR خاک توسط محققان دیگر مانند Temiz & Cayci (2018) از ترکیه ; Jesus *et al.* (2018) از پرتغال و Sundha *et al.* (2020) از هند نیز ملاحظه شده است.

سدیم تبادلی و درصد سدیم تبادلی (ESP)

سدیم تبادلی و ESP همانند SAR از شاخص‌های مهم خاک های سدیمی هستند که هرگونه افزایش در آن‌ها تأثیر منفی بر تمام خواص کیفی خاک ایجاد می‌کند. همانطوریکه در جدول ۲ ملاحظه می‌شود اثر هرکدام از فاکتورهای اصلی تیمارهای شیمیایی و آلی شامل تلقیح میکروبی و بدون تلقیح میکروبی بر سدیم تبادلی خاک به ترتیب در سطح پنج درصد و یک درصد معنی‌دار شده است؛ اما اثرات متقابل آن‌ها بر این شاخص معنی‌دار نشده است. برای ESP؛ اثر اصلی فاکتور تیمارهای شیمیایی و آلی بدون تلقیح میکروبی و اثرات متقابل دو فاکتور در سطح یک درصد بر این شاخص معنی‌دار شده بود؛ اما اثر اصلی فاکتور با تلقیح میکروبی تأثیر معنی‌داری بر آن ایجاد نکرده بود. برای هر دو فاکتور همه تیمارهای آزمایشی مقدار سدیم تبادلی و ESP را به‌طور معنی‌داری

نسبت به تیمار شاهد کاهش داده بودند و این کاهش برای هر دوی این شاخص‌ها در توالی G+VC> S+VC> VC> G>S>B بود. این توالی یکسان برای این دو شاخص نشان می‌دهد که تغییرات سدیم تبادلی و درصد آن به موازات آن انجام شده است که رابطه مثبت و معنی‌دار مابین آن‌ها ($ESP = 10.01\ Na_{exchangeable} - 2.5$; $R = 0.92$; $P< 0.001$) موید این تفسیر است. تأثیرهمه‌ی تیمارها در کاهش ESP در هر فاکتور به گونه‌ای بود که توانسته بودند؛ مقدار این شاخص را به زیر محدوده قابل قبول (۱۵ درصد) کاهش دهند که دستاوردی بسیار مهم برای بهبود کیفیت خاک مورد مطالعه است. به‌علت اینکه ESP بالاتر از دامنه می‌تواند صدمات زیادی را به ویژگی‌های خاک مخصوصا ویژگی‌های فیزیکی(مانند دیسپرس شدن ذرات رس؛ ایجاد سله و سفت و سخت‌شدن سطح خاک و ایجاد ساختمان نامناسب) وارد کند (Brady & Weil, 2016). کاهش معنی‌دار ESP و سدیم تبادلی در تیمارهای مختلف می‌تواند ناشی از این فرآیند باشد که تیمارهای فوق از طریق اضافه کردن مستقیم کلسیم و منیزیوم به خاک (مانند گچ، کمپوست و بیوچار)، یا از طریق انحلال کلسیم و منیزیوم بومی خاک (مانند گوگرد عنصری) و یا از ترکیبی از اضافه کردن مستقیم این یون‌ها و افزایش انحلال‌پذیری آن‌ها (مانند تیمارهای ترکیبی) ضمن افزایش مقدار کاتیون‌های فوق باعث بهبود و توسعه جایگزینی این یون‌ها با سدیم تبادلی شده و در نتیجه سدیم تبادلی و ESP را کاهش دادند (FAO, 2000; Qadir *et al.*, 2000). همانند EC و SAR خاک؛ دامنه کاهش سدیم تبادلی و ESP در کلیه تیمارهای فاکتور شامل تلقیح میکروبی بیشتر از فاکتور بدون تلقیح میکروبی بود اگرچه اختلافات آن‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). این نتایج بیانگر این است که میکروارگانیسم‌ها فرآیند تأثیرگذاری تیمارهای شیمیایی و آلی را در کاهش شاخص‌های شوری و سدیمی خاک بهبود بخشیده‌اند. نتایج مطالعات گذشته نیز نشان داده‌اند (Cong *et al*. 2017; Liu *et al*. 2019; Liu *et al*., 2021) که میکرواوگانیسم‌ها از طریق تولید اسیدهای آلی و ترشحات میکروبی (مانند سیدروفورها) می‌توانند ضمن کاهش pH خاک باعث افزایش انحلال‌پذیری ترکیبات حاوی کلسیم و منیزیوم شده و همچنین اثربخشی اصلاح کننده‌های شیمیایی و آلی را نیز در بهبود یون‌های فوق تسریع کرده‌اند.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر فاکتور اصلی آزمایشی بر SAR ، ESP و سدیم تبادلی

Table 3. Mean comparison of the main experimental factor on SAR, ESP and exchangeable sodium

	Na exc ($cmol.kg^{-1}$)		ESP (%)		SAR	
Treat	In	Non-I	In	Non-I	In	Non-I
C	1.73 [a]	1.72 [a]	15.02 [a]	15.49 [a]	12.97 [a]	13.46 [a]
G	0.8 [a]	0.84 [a]	6.16 [b]	6.63 [a]	5.09 [a]	5.42 [a]
S	0.8 [a]	0.95 [a]	6.63 [b]	7.2 [a]	5.37 [a]	5.45 [a]
VC	0.87 [a]	0.94 [a]	5.76 [b]	7.77 [a]	6.16 [a]	6.26 [a]
B	0.98 [a]	1.09 [a]	7.33 [b]	8.3 [a]	5.89 [a]	6.56 [a]
G+VC	0.85 [a]	0.86 [a]	5.33 [b]	5.5 [a]	4.53 [a]	4.6 [a]
S+VC	0.91 [a]	0.95 [a]	6.036 [b]	6.35 [a]	5.05 [a]	5.2 [a]

Non-I: فاکتور بدون تلقیح میکروبی In: فاکتور با تلقیح میکروبی

برای هر شاخص، در هر ردیف حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.

Non-I: factor without microbial inoculation; In: factor with microbial inoculation.

For each index, different letters in each row indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

C: Control; G: Gypsum; S:Sulfur; VC: Vermicompost; B: Biochar; G+VC: Gypsum+ vermicompost; S+VC: sulfur+vermicompost

جدول۴- مقایسه میانگین اثر فاکتور اصلی آزمایشی بر PH و EC

Table 4. Mean comparison of the main experimental factor on pH and EC

	EC(ds.m^{-1})		pH	
Treat	In	Non-I	In	Non-I
B	5.28 [a]	5.83 [a]	9.35 [a]	9.35 [a]
C	2.06 [a]	2.26 [a]	8.06 [a]	8.16 [a]
S	2.7 [a]	2.8 [a]	8.04 [a]	8.23 [a]
VC	2.13 [a]	2.36 [a]	8.1 [a]	8.3 [a]
BC	2.83 [a]	2.93 [a]	8.52 [a]	8.68 [a]
C+VC	1.94 [a]	1.98 [a]	7.9 [a]	7.93 [a]
S+VC	1.96 [a]	2.02 [a]	7.96 [a]	8.03 [a]

Non-I: فاکتور بدون تلقیح میکروبی In: فاکتور با تلقیح میکروبی

برای هر شاخص، در هر ردیف حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.

Non-I: factor without microbial inoculation; In: factor with microbial inoculation.

For each index, different letters in each row indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

C: Control; G: Gypsum; S:Sulfur; VC: Vermicompost; B: Biochar; G+VC: Gypsum+ vermicompost; S+VC: sulfur+vermicompost

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های بیولوژیکی خاک

در این تحقیق تأثیر تیمارهای مختلف شیمیایی و آلی هر دو فاکتور اصلی بر تنفس پایه خاک (BR)، تنفس برانگیخته (SIR) و کربن زیست توده میکروبی خاک (MBC) مورد بررسی قرار گرفت. همانطوریکه جدول ۵ نشان می‌دهد اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد بر هر سه شاخص معنی‌دار شده است؛ اما اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر آن BR و SIR ایجاد نکرده است و تنها کربن زیست توده میکروبی به طور معنی‌داری در سطح پنج درصد تحت تأثیر اثرات متقابل فاکتورها قرار گرفته است.

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس شاخص های بیولوژیکی خاک (BR، SIR و MBC)

Table 5. Results of analysis of variance of soil biological indicators (BR, SIR, and MBC)

Source of variation	df	Mean square		
		MBC	SIR	BR
bacteria	1	0.002**	0.072**	91737.814**
Chemical and organic modifiers	6	0.011**	0.008**	332567.394**
Bacteria* chemical and organic modifiers	6	0.01 ns	0.01^{ns}	2536.374*
Error	26	0.001	0.001	80.7

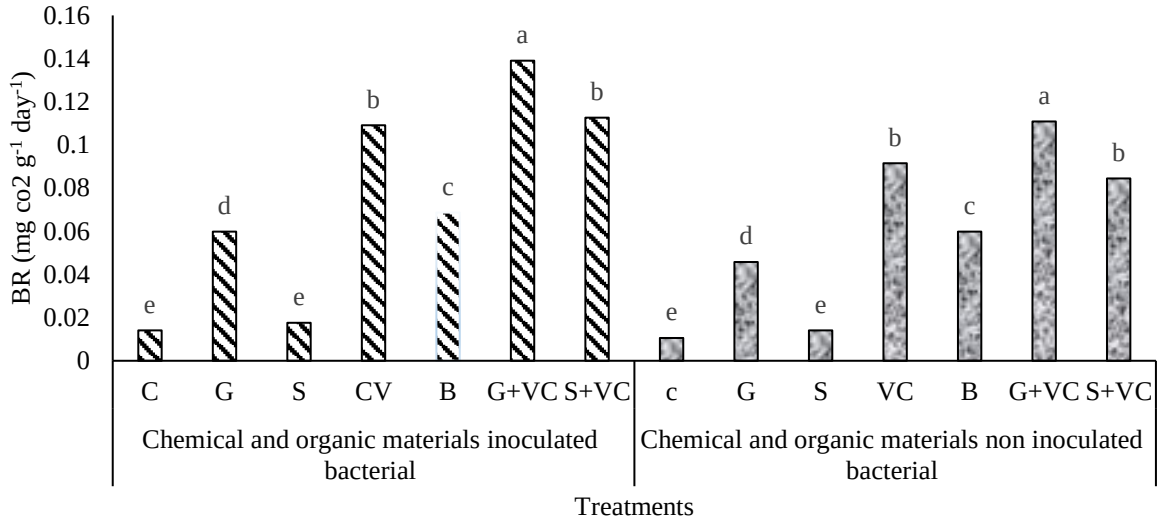
** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ۰/۱، یک و پنج درصد، ns: غیرمعنی‌دار

**, *: are significant at P <0.0001, 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, ns is non-significant.

تنفس پایه خاک (BR)

به استثناء تیمار گوگرد عنصری کلیه تیمارهای منفرد هر دو فاکتور مقدار تنفس میکروبی خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده بودند و بیشترین مقدار BR در تیمار ورمی‌کمپوست و بعد از آن در تیمار بیوچار مشاهده شد (شکل ۱). علت اختلاف معنی‌دار مابین تیمار ورمی‌کمپوست و بیوجار می‌تواند مربوط به مواد سهل‌التجزیه بیشتر در ورمی‌کمپوست و مقاوم بودن بیشتر بیوچار در برابر تجزیه و تخریب باشد. اغلب تحقیقات گذشته نشان دادن که ترکیبات آلی غنی از کربوهیدارت‌ها با سرعت زیاد فعالیت‌های میکروبی مانند تنفس میکروبی را افزایش می‌دهند؛ درحالی که بقایای گیاهی غنی از لیگنین مانند بیوجار با سرعت کم تجزیه می‌شوند(Leojrande & Vitti; 2018). در بین تمام تیمارهای هر دو فاکتور بیشترین مقدار BR مربوط به تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و گچ بود؛ که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها این شاخص را افزایش داده بود. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و گچ احتمالا از طریق بهبود مناسب‌تر شرایط شیمیایی خاک نسبت به سایر تیمارها (مانند کاهش شوری و PH خاک) و همچنین مهیا کردن سوبسترا با ذخیره کربن تجزیه‌پذیرتر اکوسیستم خاک را برای تکثیر فعالیت‌های میکرواورگانیسم‌ها مناسب کرده و درنتیجه

موجب افزایش تنفس پایه میکروبی شده است. Wong *et al*. (2010) طی بررسی تأثیر گچ و موادآلی بر مقدار BR در خاک‌های شور-سدیمی بیشترین و کمترین تنفس پایه میکروبی را به‌ترتیب در تیمارهای حاوی موادآلی و بدون موادآلی گزارش کرده‌اند. Tripathi *et al*. (2006) مشاهده کرده‌اند که شوری باعث کاهش معنی‌دار تنفس پایه میکروبی می‌شود درحالیکه عواملی مانند فراهمی سوبسترا اثر قابل توجهی بر افزایش BR خاک‌های شور دارند و از کاهش مقدار BR در اثر شوری جلوگیری می‌کنند.

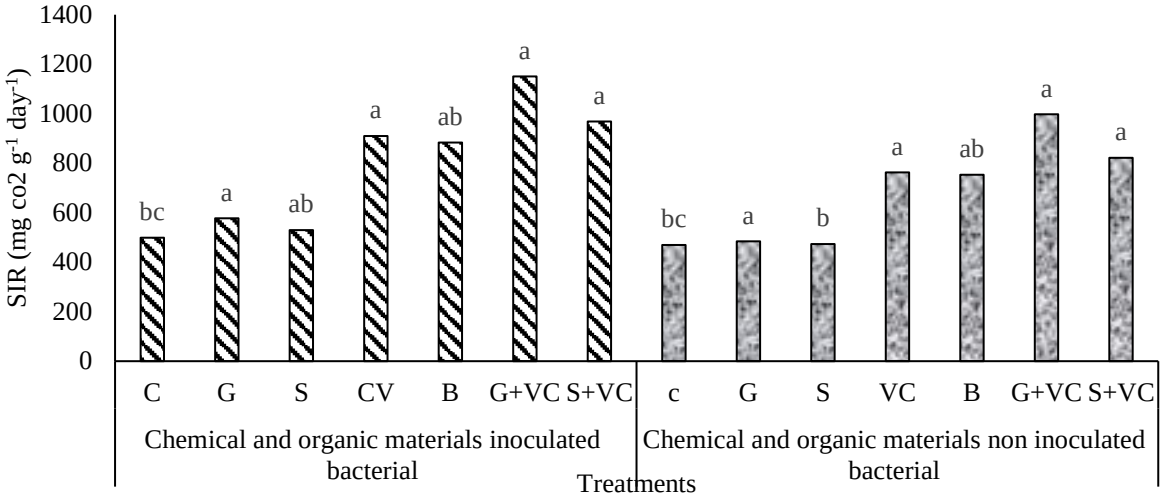


شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر تنفس پایه میکروبی (BR) خاک برای فاکتورهای شامل تلقیح باکتری و بدون تلقیح باکتری. برای هر فاکتور حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.

Figure 2. Effect of different amendments treatments on soil respiration (BR) for factors including bacterial inoculation and non-bacterial inoculation. For each factor, different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$).

تنفس میکروبی برانگیخته

تنفس میکروبی برانگیخته نیز مانند تنفس پایه میکروبی به‌طور قابل توجهی در برابر تأثیر تیمارهای مختلف هر دو فاکتور تحت تأثیر قرار گرفته است. به استثناء تیمار بیوچار و گوگردعنصری سایر تیمارها به طور معنی‌داری SIR را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده‌اند و این افزایش در توالی G+VC> S+VC> VC>G> B> S اتفاق افتاده بود (جدول۴ و شکل ۲). توالی فوق نشان می‌دهد که همانند BR تیمار G+VC بیشترین تأثیر را در افزایش SIR داشته است که احتمالا در این تیمار ورمی‌کمپوست به طور مستقیم و از طریق مهیا کردن سوبسترای تجزیه‌پذیر برای میکرواورگانیسم‌ها و گچ به‌طور غیرمستقیم و از طریق بهبود شرایط شیمیایی خاک سبب تحریک فعالیت میکروبی و به طبع آن مقدار مقدار SIR را افزایش داده‌اند (Rezapour *et al*. 2017). بعضی محققان(Manshadi, 2012) ملاحظه کرده‌اند وقتی ترکیبات آلی سریع‌التجزیه مانند کودهای آلی به خاک اضافه می‌شوند زمان لازم برای معدنی شدن آن‌ها و فراهم شدن عناصر تغذیه‌ای کاهش می‌یابد و در نتیجه آن رشد ریشه گیاهان و جمعیت میکروبی خاک افزایش یافته و درنهایت نیز مقدار تنفس پایه میکروبی و تنفس میکروبی برانگیخته افزایش می‌یابد.

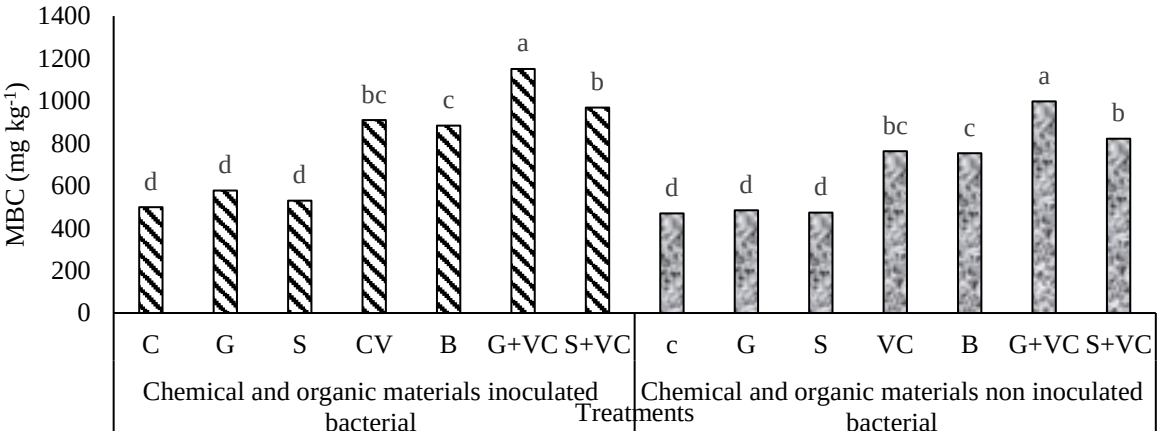


شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر تنفس میکروبی بر انگیخته (SIR) خاک برای فاکتورهای شامل تلقیح باکتری و بدون تلقیح باکتری. برای هر فاکتور حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.

Figure 2. Effect of different amendments treatments on soil substrate induced respiration (SIR) for factors including bacterial inoculation and non-bacterial inoculation. For each factor, different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$).

کربن زیست توده میکروبی

زیست توده میکروبی از دیگر شاخص‌های بیولوژیکی در این مطالعه است که به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تیمارهای مختلف هر دو فاکتور آزمایشی قرار گرفته است؛ اگرچه فاکتور با تلقیح میکروبی تأثیر بیشتری براین شاخص ایجاد کرده است. همه‌ی تیمارهای هر دو فاکتور آزمایشی مقدار MBC را نسبت به تیمار شاهد در دامنه ۱۰ تا ۱۳۱ درصد (فاکتور با تلقیح باکتری) و ۸ تا ۱۱۲ درصد (فاکتور بدون تلقیح باکتری) افزایش داده‌اند؛ با این وجود همانند سایر شاخص های بیولوژیکی مورد مطالعه تأثیر تیمار گچ و گوگرد عنصری بر این شاخص از لحاظ آماری معنی‌دار نشده است. در هر دو فاکتور با تلقیح و بدون تلقیح باکتری تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست و گچ به ترتیب با یک میانگین افزایش بیش از ۱۳۰ و ۱۱۰ درصدی به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها تأثیر بیشتری بر افزایش MBC ایجاد کرده بود و بعد از آن به ترتیب تیمار ترکیبی گوگرد و ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست، بیوچار، گچ و گوگرد قرار گرفته‌اند که مشابه روند مشاهده شده برای BR و SIR است.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف اصلاحی بر زیست توده میکروبی (MBC) خاک برای فاکتورهای شامل تلقیح باکتری و بدون تلقیح باکتری. برای هر فاکتور حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) می‌باشد.

Figure 3. Effect of different amendments treatments on soil l microbial biomass carbon (MBC) for factors including bacterial inoculation and non-bacterial inoculation. For each factor, different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$).

در کل مقایسه تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر شاخص‌های بیولوژیکی مورد تحقیق نشان داد که تلقیح میکروبی تیمارهای مختلف شیمیایی و آلی نسبت به فاکتور بدون تلقیح میکروبی باعث افزایش معنی‌دار مقدار BR، SIR و

MBC در همه تیمارها شده است (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که تلقیح میکروبی احتمالا به‌صورت مستقیم با افزایش جمعیت میکروبی خاک در هر دو تیمار شیمیایی و آلی و به شکل غیرمستقیم از طریق افزایش تجزیه ترکیبات آلی تیمارهای شامل ورمی‌کمپوست و بیوچار سبب افزایش شاخص‌های بیولوژیکی مورد مطالعه شده است که یک تغییر مثبت در کیفیت خاک است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی فاکتور آزمایشی برای صفاتSIR ، BR، MBC

Table 4. Mean comparison of the main experimental factor on BR, SIR and MBC

	MBC(mg.kg-1)		SIR($mgCO_2g^{-1}day^{-1}$)		BR ($mgCO_2g^{-1}day^{-1}$)	
Treat	Non-I	In	Non-I	In	Non-I	In
C	469.56[a]	498.91[a]	0.461[b]	0.500[a]	0.003[b]	0.014[a]
G	484.28[a]	577.38[a]	0.485[b]	0.549[a]	0.005[b]	0.060[a]
S	473.33[a]	529.65[a]	0.460[b]	0.535[a]	0.005[b]	0.018[a]
VC	879.73[b]	909.79[a]	0.509[b]	0.594[a]	0.007[b]	0.109[a]
B	789.95[a]	883.43[a]	0.485[b]	0.566[a]	0.003[b]	0.069[a]
G+VC	997.7[b]	1150.5[a]	0.532[b]	0.624[a]	0.005[b]	0.139[a]
S+VC	821.74[b]	968.48[a]	0.499[b]	0.594[a]	0.033[b]	0.113[a]

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آنالیز واریانس داده های حاصل از این تحقیق نشان داد که تمام تیمارهای آزمایشی هر دو فاکتور شامل تلقیح میکروبی و بدون تلقیح میکروبی به طور معنی داری سبب کاهش pH، EC و ESP خاک شدند اما اثرات متقابل فاکتورها تأثیر معنی داری بر کاهش شاخص های فوق نشان ندادند. اغلب تیمار های آزمایشی هر دو فاکتور تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن زیست توده میکروبی خاک نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری ($p< 0.01$) افزایش داده بودند و در بیشتر تیمارها تأثیر فاکتور تلقیح میکروبی در بهبود شاخص های بیولوژیکی به طور معنی داری بیشتر از تأثیر فاکتور بدون تلقیح میکروبی بود. برای هر دو فاکتور، تأثیر گذاری تیمارهای ترکیبی مخصوصاً تیمار ورمی‌کمپوست و گچ بر کاهش pH، EC و ESP و افزایش تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن زیست توده میکروبی خاک به طور معنی داری بیشتر از تیمارهای منفرد بود. بنابراین تیمار تلفیقی فوق می تواند بعنوان یک تیمار موثر، کاربردی و ارزان قیمت برای اصلاح و بهسازی خاک های شور و سدیمی مورد استفاده قرار گیرد.

References

Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. *In*: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 831-871.

Brady N.C., and Weil R.R. 2016. The Nature and Properties of Soils. 15th Ed Pearson Prentice Hall, New Jersey and Ohio.

Cong P., Ouyang Z., Hou R. and Han D. 2017. Effects of application of microbial fertilizer on aggregation and aggregate-associated carbon in saline soils. *Soil and Tillage Research*, *168*:.33-41.

FAO A. 2005. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. *FAO Land and Plant Nutrition Management Service Rome*.

Jenkinson D.S., and Ladd J.N., 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *Soil biochemistry*, *5*: 415-471.

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.

Kim Y.J., Choo B.K., and 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.

Leogrande R., and Vitti C. 2019. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, *33*(1): 1-21.

Liu D., Ding Z., Ali E.F., Kheir A.M., Eissa M.A., and Ibrahim O.H. 2021. Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions. *Scientific Reports*, *11*(1): 8739.

Liu M., Wang C., Wang F., and Xie Y. 2019. Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Applied soil ecology*, *142*: 147-154.

Manshadi,H. 2012. Effect of applying sewage sludge and chemical fertilizer enriched sewage sludge on the amount of organic carbon, enzymatic respiration and activity of soil under basil plant culturing. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, *26*(3): 554-562.

Nakamoto T., and Wakahara S. 2004. Development of substrate induced respiration (SIR) method combined with selective inhibition for estimating fungal and bacterial biomass in humic andosols. *Plant production science*, *7*(1): 70-76.

Qadir M., Ghafoor, A., and Murtaza G. 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation & Development*, *11*(6): 501-521.

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*: 1501-1514.

Rezapour S., Kalashypour E., and 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*: 301-313.

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.

Sappor D.K., Osei B.A., and Ahmed M.R. 2017. Reclaiming sodium affected soil: the potential of organic amendments.

Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., and Loeppert R.H. eds. 2020. *Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical Methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons.

Tejada M., Garcia C., Gonzalez J.L., and 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.

Tripathi S., Kumari, S., Chakraborty A., Gupta A., Chakrabarti K., and Bandyapadhyay B.K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and fertility of soils*, 42: 273-277.

Whalen J.K., Hu Q., and Liu, A. 2003. Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, *67*(6): 1842-1847.

Wong V.N., Greene R.S.B., Dalal R.C., and Murphy B.W. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil use and management*, *26*(1): .2-11.

Xiao L., Yuan G., Feng L., Bi D., Wei, J., Shen G., and Liu Z. 2020. Coupled effects of biochar use and farming practice on physical properties of a salt-affected soil with wheat–maize rotation. *Journal of Soils and Sediments*, *20*: 3053-3061.

Effect of Combined Amendments on Improving Salinity, Sodicity, and Biological Indices of A Saline-Sodic Soil

Neda Piri[1], Salar Rezapour*[2], Mohsen Barin[3], Farrokh Asadzadeh[4], Hossein Asgarzadeh[5]

(Received: January, 2022 Accepted: April, 2023)

Abstract

The present study was conducted to investigate the impact of organic (vermicompost and biochar) and chemical (gypsum and elemental sulfur) amendments and combination of vermicompost and chemical treatments on salinity, sodicity, and biological characteristics of a saline-sodic soil. This study was performed as factorial with two factors (with and without microbial inoculation) based on a completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. After mixing with different treatments, soil samples were kept in the field capacity for 120 days, and wheat was cultured for 150 days following leaching soil samples. The most important chemical and biological properties of all soils were determined after harvesting the wheat plants. The results showed that the effect of each of the main factors of chemical and organic treatments including microbial inoculation and without microbial inoculation significantly (at the level of 5, and 1%, respectively) decreased the pH, EC, and ESP, the interactions of the factors did not have a significant impact on reducing them. For both factors, the role of combined treatments in improving the above indices was significantly greater than individual treatments. The main effect of experimental factors significantly affected ($p < 0.01$) most biological indicators including basal respiration, substrate induced respiration, and soil microbial biomass carbon. However, the interactions of the factors significantly affected only microbial biomass carbon ($p < 0.05$). Among all the treatments of both factors, the combined treatment of vermicompost and gypsum had the greatest effect on all three soil biological indices. This suggests that this treatment may have improved the soil ecosystem to increase and improve the activities of microorganisms by better improving soil chemical conditions than other treatments (such as reducing soil salinity and pH), and providing a substrate with more degradable carbon storage.

Keywords: Soil ecosystem, Organic improvement, Biological indicators, Saline-sodic soil, Soil carbon.

Piri N., Rezapour S., 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.

1-Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.
2-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.
3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.
5- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.
* Corresponding Author Email: s.rezapour@urmia.ac.ir