ارزیابی تأثیر تلقیح کرم خاکی *Eisenia foetida* و کاربرد مواد آلی مختلف بر برخی شاخص‌های کیفیت بیولوژیک خاک در شرایط گلخانه‌ای

میرحسن رسولی‌صدقیانی[1*] و سارا اجلالی[1]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲۴)
DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.75

چکیده

کرم‌های‌خاکی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک محسوب می‌شوند. به منظور بررسی تأثیر فعالیت کرم‌های خاکی *Eisenia foetida* بر برخی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک، آزمایشی در شرایط گلخانه‌ای با افزودن مواد آلی مختلف شامل کمپوست ضایعات هرس درختان (PWC)، کاه و کلش گندم (WS)، بقایای گیاهان عرقی (HEW)، بقایای هرس درختان (PW) و با کشت گیاه ذرت، برای بررسی خواص منطقه ریزوسفر خاک انجام گردید. در پایان دوره رشد، برخی خصوصیات بیولوژیک خاک شامل تنفس پایه (BR)، تنفس برانگیخته (SIR)، کربن بیومس میکروبی (MBC) و جمعیت میکروبی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاه و کلش گندم، در مقایسه با سایر بقایای آلی، بیشترین تأثیر را بر BR و SIR داشت، به‌طوری که میزان این شاخص‌ها را به‌ترتیب ۲ و ۲/۴ برابر، در مقایسه با تیمار بدون مواد آلی، افزایش داد. همچنین، در تیمار کمپوست ضایعات هرس، مقدار کربن بیومس میکروبی در خاک ریزوسفر نسبت به غیر ریزوسفر ۵۹/۲ درصد افزایش نشان داد. جمعیت میکروبی نیز در تیمارهای PWC، HEW، PW و WS به ترتیب ۱/۵، ۲/۶، ۲/۷ و ۱/۹ برابر بیشتر از تیمار بدون مواد آلی بود. چنین استنباط می‌گردد که کاربرد مواد آلی، در شرایط حضور کرم‌های خاکی، نسبت به شرایط عدم حضور کرم خاکی، منجر به بهبود بیشتر خواص بیولوژیک خاک می‌گردد.

کلمات کلیدی: کرم خاکی، ضایعات آلی، خواص بیولوژیک، کیفیت خاک، جمعیت میکروبی

مقدمه

کرم‌های خاکی به‌طور مستقیم (از طریق شبکه غذایی) و یا به‌طور غیرمستقیم (از طریق ساختمان خاک) بر چرخه عناصر غذایی و دینامیک مواد آلی و در نتیجه حاصلخیزی خاک تأثیر می‌گذارند (۲۹). حضور کرم‌های خاکی با تأثیر بر خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، زندگی و فعالیت ریزجانداران فعال و همچنین فعالیت آنزیم‌های خاک (۲۲ و ۲۴)، منجر به تغییر کیفیت خاک می‌گردند. کیفیت خاک به‌صورت توانایی دائم خاک در انجام وظایف خود به عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل اکوسیستم و تحت بهره‌برداری‌های متفاوت، به‌طوری که علاوه بر حفظ تولید بیولوژیک، کیفیت آب و هوا را بهبود بخشیده و تأمین‌کننده سلامت انسان، گیاه و حیوان باشد، تعریف می‌شود (۸). کیفیت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مورد بررسی در ارزیابی مدیریت خاک و پایداری قلمرو زیستی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

به حساب می‌آید (۱۸). از جمله شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک که مورد ارزیابی قرار می‌گیرند می‌توان به تنفس خاک (معدنی شدن کربن)، میزان کربن و نیتروژن زیتوده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های خاک، شاخص قابلیت دسترسی به کربن و جمعیت کرم‌های خاکی اشاره کرد (۳، ۱۷ و ۱۸). این شاخص‌ها بسیار پویا بوده و جزو شاخص‌های بسیار حساس کیفیت خاک محسوب می‌شوند و پاسخ قطعی نسبت به تغییرات مدیریت اراضی در کوتاه‌مدت نشان می‌دهند (۳ و ۳۵). کرم‌های خاکی در حین فعالیت در خاک، بسیاری از ریزجانداران خاک را بلعیده و باعث تحریک فعالیت میکروبی و افزایش تنفس خاک می‌شوند. مطالعات نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی را به همراه دارد (۷). در باره تأثیر کرم‌های خاکی بر میزان بیومس میکروبی نیز نتایج متناقضی وجود دارد، به‌طوری که پاشاناسی و همکاران (۳۴) در نتایج آزمایش‌های گلخانه‌ای نشان دادند که کرم‌های‌خاکی بیومس میکروبی را افزایش می‌دهند. در حالی که روز- جرز و همکاران (۳۷) گزارش نمودند که کرم‌های خاکی ۱۱ هفته پس از انکوباسیون، باعث کاهش بیومس میکروبی می‌شوند. کربن بیومس میکروبی زیاد در خاک تلقیح شده با کرم خاکی، در تیمار شاهد (بدون ماده آلی) و مقادیر کم آن در تیمار با مواد آلی مشاهده شده است. کرم‌های خاکی در خاک شاهد که هیچ ماده آلی به آن افزوده نشده فعالیت کمتری داشته و اندک سوبسترای آلی موجود در این خاک هنوز پس از گذشت ۱۵۰ روز از شروع آزمایش به مراحل نهایی تجزیه نرسیده است. همچنین، در تیماری که بیشترین منابع سهل‌الوصول کربن و انرژی در دسترس بوده (با مواد آلی)، کرم‌های خاکی پس از گذشت ۱۵۰ روز از شروع آزمایش، به جهت کاهش سوبسترا و نزدیک شدن به مراحل نهایی تجزیه مواد آلی کمترین تأثیر را بر جمعیت میکروبی در این تیمار داشتند، که شاید دلیل آن تغذیه از میکروب‌ها توسط کرم‌های خاکی باشد (۶). اثرهای مفید فعالیت کرم خاکی بر رشد گیاهان، به خصوص گیاهان مرتعی (۲۰ و ۴۲)، و در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی (۲۰ و ۲۱) مورد تأیید عمومی است. فعالیت کرم خاکی می‌تواند رشد محصول را از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و اختلاط مطلوب آن، افزایش دهد. مطالعات نشان دادند که بیومس گیاهی در حضور کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۳۸). برخی اسیدهای آلی که از بدن کرم‌ها دفع می‌شوند و در مواد دفعی کرم‌ها موجودند، به عنوان مواد محرک رشد گیاه عمل کرده، به طوری که نتایج مثبتی در درصد جوانه‌زنی بذر، ریشه‌دار شدن و استحکام نسوج گیاهان کاشته شده دارند (۲۷). در حدود ۷۲٪ وزن خشک کرم‌ها را پروتئین تشکیل می‌دهد و نشان داده شده که بدن یک کرم خاکی مرده می‌تواند عملکردی به اندازه ۱۰ میلی‌گرم نیتروژن به فرم نیتراتی داشته باشد (۲۳ و ۴۴). بعضی از آثار کرم‌های خاکی به زمان زیادی نیاز دارند تا تأثیر آن‌ها بر رشد گیاه قابل مشاهده باشد. به‌عنوان مثال، تأثیر کرم‌های خاکی بر چرخه مواد آلی خاک وابسته به زمان می‌باشد. فرایند هضم توسط کرم‌های خاکی منجر به افزایش قابل ملاحظه میزان معدنی شدن در طول عبور خاک از روده کرم می‌شود. در روده کرم‌های خاکی، میگروارگانیسم‌ها به‌دلیل اضافه شدن آب، موکوس و نیز تجزیه مواد آلی خاک به مواد قابل جذب، شرایط مطلوبی برای فعالیت خود دارند. لذا عناصر غذایی را برای گیاهان قابل دسترس می‌نمایند (۱۰ و ۳۱). این تأثیرات کوتاه‌مدت منجر به رهاسازی مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی در طول چندین هفته شده و بدین ترتیب بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (۳۲). کرم‌های خاکی با ترشح مواد هومیک از طریق تأثیرگذاری بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، تسریع چرخه عناصر غذایی، تجزیه مواد آلی و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک منجر به بهبود رشد گیاهان و افزایش عملکرد آن‌ها می‌شوند (۱۵، ۴۰ و ۴۱). کرم‌های خاکی به واسطه کارکرد بیولوژیک خود، با عمل در ناحیه توسعه ریشه، باعث بهبود جریان گردش آب، هوا و جذب عناصر غذایی می‌شوند. کرم‌های خاکی می‌توانند یکی از نیروهای محرکه برای ادامه‌ی فعالیت میکروبی خاک و در نتیجه افزایش کیفیت بیولوژیک و شیمیایی خاک باشند (۱۳ و ۳۶). بنابراین، شناخت عوامل مؤثر بر رشد و پویایی جمعیت کرم‌های خاکی و بهره‌گیری صحیح از ظرفیت

آن‌ها در بهبود شرایط محیط رشد گیاه، می‌تواند منجر بـه افـزایش حاصلخیزی خاک و بهبود کیفیت و سلامت خاک شود. هـدف از این مطالعه، بررسی تأثیر فعالیت کرم‌های خـاکی *Eisenia foetida* در خاک‌های ریزوسفری و غیر ریزوسفری تیمار شده با مواد آلـی مختلف، بر برخی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصـادفی سـه فاکتوری، با ۲۰ تیمار و ۳ تکرار انجام گردید. فاکتور اول شـامل حضور (EW+) یا عدم حضور (EW-) کرم خاکی، فـاکتور دوم کاربرد انواع مختلف مواد آلی شـامل بـدون مـواد آلـی (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)، بقایای گیاهان عرقی (HEW)، بقایای هرس درختـان سـیب و انگـور (PW) و کاه و کلش گندم (WS) و فاکتور سـوم حضـور (P+) یـا عـدم حضور (P-) گیاه ذرت بود. ایـن تحقیـق در گلخانـه تحقیقـاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. نمونه‌ی خـاک بـه دو بخش تقسیم شـد: یـک بخـش بـرای انجـام آزمـایش‌هـای شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری و بخش دوم از الک ۵ میلـی‌متـری عبور داده شد و پس از مخلوط کردن تمام خاک‌های الک شده، ۴ کیلـوگرم خـاک و نـیم کیلـوگرم ماسـه بـادی در هـر گلـدان (گلدان‌های پلاستیکی با قطر۲۰ و ارتفـاع ۱۸/۵ سـانتی‌متـر) بـا ترازوی دقیق توزین و به گلدان‌ها اضافه شـد. مـواد آلـی مـورد آزمایش کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور، بقایای گیاهـان عرقی، هرس درختان سیب و انگور و کاه وکلش گندم در هوای معمولی خشک و سپس با آسیاب پودر شدند. پـس از آن، بقایـا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس معادل ۱/۵ درصـد کربن آلی از هر کدام از مواد آلی محاسبه و به خاک‌ها اضـافه و مخلوط گردید. گلدان‌ها به‌مدت دو هفته تا حد ظرفیت زراعـی آبیاری گردیدنـد. سـپس، ۳۰ عـدد کـرم کمپوسـت بـا بیـومس یکسان (۰/۱±۸ گرم) از نوع اپی‌ژئیک (*Eisenia foetida*) به هر گلدان تلقیح گردید. پس از اعمال تیمارها، بذرهای ذرت (رقـم Single Cross- 704) با محلـول‌هـای هیپوکلریـت سـدیم ۵٪ و اتانول ۱۰٪ ضدعفونی شده و پس از شست‌وشو با آب مقطر، ۸ بذر با فواصل منظم در گلدان‌های مورد نظر کشت گردید. پـس از جوانه زدن بذرها، ۴ بوته نگه داشته شدند. به‌منظـور بررسـی خصوصیات خاک منطقه غیر ریزوسفر و اطمینان از عـدم تـأثیر فعالیت ریشه گیاه، در یک‌سری گلدان‌های دیگر مواد آلی مـورد استفاده در همان مقادیر افزوده شد. اما گیـاهی در آن‌هـا کشـت نگردید و از آن‌ها برای تهیه نمونه‌های غیر ریزوسـفری اسـتفاده گردیـد. در پایـان دوره پـس از ۱۴۰ روز، نمونـه‌هـای خـاک ریزوسفری از خاک منطقه اطـراف ریشـه گیـاه ذرت مطـابق بـا روش چن و همکاران (۱۴) تهیه شد. بدین ترتیب که گیاهان در رطوبت ظرفیت زراعی خاک همراه با سیستم ریشـه‌ای کامـل از گلدان درآمده و روی کاغذهای بزرگ قرار گرفته و چندین بـار به آرامی تکان داده و سپس خاک‌های چسبیده به سطح ریشه‌ها، به‌ویژه تارهای کشنده، به‌وسیله قلم‌مو (Paint brush) جمع‌آوری و طبق تعریف تحت عنوان خاک ریزوسفری در نظر گرفته شـد (۱ و ۳۹). خاک نمونه‌برداری شـده بـه آزمایشـگاه منتقـل و در یخچال نگه‌داری شد. نمونه غیرریزوسفری از خاک گلدان‌هـای کشت نشده (بدون گیـاه) تهیـه و بـه آزمایشـگاه منتقـل گردیـد (۴۵). برخی خصوصیات بیولوژیک کیفیت خاک شـامل تـنفس میکروبی پایه به روش اندرسون (۹)، تنفس برانگیخته بـه روش الف و نانپیری (۸)، کربن زیتـوده میکروبـی بـه روش تـدخین-استخراج (۲۵) و جمعیت میکروبی به روش شـمارش کلنـی در محـیط کشـت آگـار مغـذی (Nutrient Agar) انـدازه‌گیـری گردیدنـد (۲۸ و ۴۶). تجزیـه و تحلیـل آمـاری شـامل تجزیـه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقایسه میانگین‌هـا با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ و با نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با نـرم‌افـزار Excel انجـام گرفت.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات خاک و بقایای آلی مورد استفاده به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشـان داده شـده اسـت. خـاک مـورد اسـتفاده از

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

شن	سیلت	رس	OC	$CaCO_3$	N	بافت‌خاک	pH	EC
			(٪)					(dS/m)
۲۰/۶۲	۴۷/۸۱	۳۱/۵۶	۰/۹	۱۵/۵	۰/۱	لوم رسی	۷/۵۹	۰/۹۲

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی بقایای آلی مورد استفاده

بقایای آلی	C (٪)	N (٪)	C/N
کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)	۲۷/۱۶	۳/۸	۷/۱۴
ضایعات عرقیات گیاهی (HEW)	۴۶/۲۱	۲/۲	۲۱
هرس درختان سیب و انگور (PW)	۵۲/۲۹	۱/۳۵	۳۸/۷
کاه و کلش گندم (WS)	۵۸/۳۷	۰/۸	۷۲/۹

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر کرم خاکی، ماده آلی گیاه و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های میکروبی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	BR	SIR	جمعیت میکروبی	MBC
		($mgCO_2$-C/kg.day)			(mg/kg)
کرم خاکی (EW)	۱	۱۰/۵۷**	۷/۴۳**	۰/۳۰۱^{ns}	۱۶۴/۵۵***
مواد آلی (OM)	۴	۴۹/۰۵***	۲۶/۲۶ ***	۹/۱۴ ***	۶۸/۸۸ ***
گیاه (P)	۱	۱۲۷۵/۷۵***	۱۸/۱۸ ***	۶ /۵۰۱ **	۲۴۷/۴۶***
EW×OM	۴	۲۶/۱۵ ***	۹/۶۴ ***	۰/۲۴^{ns}	۲/۳۹^{ns}
EW×P	۱	۷/۶۶ **	۷/۴۳ **	۰/۵۵^{ns}	۴/۰۹*
OM×P	۴	۳۲/۹۶ ***	۶/۱۴ ***	۱/۷۲^{ns}	۶۹/۴۳ ***
EW×OM×P	۴	۱۲/۳۸ ***	۱۱/۰۲ ***	۱/۱۴^{ns}	۴/۶۷ **
ضریب تغییرات (٪)		۵۳/۹	۴۸/۰۳	۲۶/۷۳	۵۴/۳۳

***، **، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند. BR تنفس پایه، SIR تنفس برانگیخته با سوبسترا و MBC کربن بیومس میکروبی است.

خاک‌های منطقه نازلو بود که زیر کشت غلات، یونجه و باغ‌های میوه قرار دارد. این خاک از نوع آهکی، غیرشور، با بافت لوم رسی و طبقه‌بندی آن از نوع Typic Haploxerept بود. سنگین بودن بافت خاک سبب حفظ مقادیر نسبتاً بالای مواد آلی در آن شده است (۲۶) (جدول ۱).

تجزیه اولیه بقایای آلی مورد استفاده در آزمایش دامنه وسیعی از نسبت کربن به نیتروژن را در مواد آلی نشان داد. به‌طوری که از نسبت ۷/۱۴ در کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور تا ۷۲/۹ در کاه و کلش گندم متغیر بود. همچنین، نسبت C/N در ضایعات خام هرس سیب و انگور (کمپوست نشده) نسبت به کمپوست آن‌ها ۵/۴ برابر بیشتر بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر گیاه، کرم خاکی و مواد آلی بر خصوصیات بیولوژیک خاک در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر کرم خاکی، حضور گیاه و مواد آلی و همچنین اثرهای متقابل تیمارها بر میزان تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن بیومس میکروبی معنی‌دار گردید ($P\leq$۰/۰۰۱). در ارتباط با جمعیت میکروبی نیز نتایج نشانگر معنی‌دار بودن اثر مواد آلی ($P\leq$۰/۰۰۱) و گیاه بر مقدار این شاخص بود. اثر متقابل (مواد

جدول ۴. اثر متقابل کرم خاکی و مواد آلی بر شاخص‌های میکروبی خاک

کرم خاکی	ماده آلی	BR	SIR
		(mg CO2-C/kg.day)	
+EW	Cont	۶۱/۶۴d	۷۳ /۳۳g
	PWC	۹۷/۴۵b	۱۳۳ /۴۶cde
	HEW	۸۹/۲۰bc	۱۵۵ /۴۶abc
	PW	۱۲۰/۰۵a	۱۴۹ /۶۰abc
	WS	۱۲۹/۲۲a	۱۸۱ /۸۶a
-EW	Cont	۷۶/۴۷cd	۱۰۰/۰۳efg
	PWC	۹۸/۵۹b	۱۱۱ /۴۶def
	HEW	۸۹/۵۹bc	۹۳ /۸۶fg
	PW	۷۹/۲۶c	۱۷۰ /۱۳ab
	WS	۱۱۴/۱۷a	۱۴۳ /۷۳bcd

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) ندارند. شاهد (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)، عرقیات گیاهی (HEW)، هرس سیب و انگور (PW)، کاه و کلش گندم (WS)، حضور کرم خاکی (EW+)، بدون حضور کرم خاکی (EW-)، BR (تنفس پایه) و SIR (تنفس برانگیخته با سوبسترا) است.

آلی×گیاه) و (کرم خاکی× گیاه× مواد آلی) بر تمام شاخص‌ها، بجز جمعیت میکروبی، معنی‌دار بود.

تلقیح کرم خاکی در خاک ریزوسفری، در مقایسه با شرایط عدم حضور آن، منجر به افزایش ۸ درصدی در میزان تنفس پایه گردید. تنفس برانگیخته نیز به مقدار ۱۲٪ افزایش یافت (جدول ۴). اثر متقابل کرم خاکی و مواد آلی مختلف نیز منجر به افزایش معنی‌دار تنفس پایه و تنفس برانگیخته شد، به‌طوری که بیشترین افزایش مربوط به تیمار EW.WS+ بود (جدول ۴). زیاد بودن میزان تنفس پایه و برانگیخته در تیمار کاه و کلش گندم (EW.WS+) می‌تواند ناشی از وجود ترکیبات قابل تجزیه و کربن آلی بیشتر در این تیمار در مقایسه با سایر مواد آلی باشد. نتایج متمایزی در باره نقش کرم‌های خاکی بر معدنی شدن کربن خاک ارائه شده است. به عنوان نمونه، طی یک آزمایش گلخانه‌ای در حضور گیاه چاودار و کرم خاکی نشان داده شد که در شرایط تلقیح کرم خاکی، حتی بدون افزودن گیاه چاودار، تنفس خاک به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۳۴). کرم‌های خاکی در حین فعالیت در خاک بسیاری از ریز جانداران را می‌بلعند و این خود سبب تحریک فعالیت میکروبی خاک و نیز جوان‌تر و فعال‌تر شدن جمعیت میکروبی می‌شود و افزایش تنفس پایه و تنفس برانگیخته را به دنبال دارد. موسوی و رئیسی (۶) نیز نشان دادند که تلقیح کرم‌های خاکی، تنفس میکروبی را نسبت به خاک بدون کرم خاکی تا ۳۰٪ افزایش می‌دهد. استفاده از مواد آلی، همراه با تلقیح کرم خاکی، دلیل دیگر افزایش میزان تنفس در خاک می‌باشد. چرا که مواد آلی منبع تغذیه کرم‌های خاکی بوده و منجر به افزایش رشد و فعالیت آن‌ها می‌شوند. البته علاوه بر مقدار مواد آلی، کیفیت بقایای آلی اضافه شده به خاک نیز جزو متغیرهای مهم برای فراوانی و فعالیت کرم‌های خاکی می‌باشد (۴۲). این موجودات، مواد آلی با کیفیت مطلوب (با درصد لیگنین و سلولز اندک و C/N کم) را برای تغذیه خود ترجیح می‌دهند (۲۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل مواد آلی و گیاه نشان‌دهنده افزایش ۷۷/۲ درصدی تنفس پایه در تیمار P.WS+ در مقایسه با تیمار شاهد (P.Cont+) بود (جدول ۵). همچنین، افزودن مواد آلی به خاک، به همراه حضور گیاه (اثر

جدول ۵. اثر متقابل مواد آلی و گیاه بر شاخص‌های بیولوژیک خاک

گیاه	ماده آلی	BR	SIR	MBC
		(mg CO_2-C/kg.day)		(mg/kg)
+P	Cont	۱۰۵/۸۵d	۱۲۳ /۲۰c	۲۱۴۹/۷۸c
	PWC	۱۲۲/۷۰c	۱۲۰ /۲۶c	۴۳۱۷/۱۸a
	HEW	۱۲۷/۴۶c	۱۳۴ /۹۳ab	۲۲۴۴c
	PW	۱۴۹/۴۵b	۱۷۳ /۰۶a	۲۶۵۵/۹۵b
	WS	۱۸۷/۶۶a	۱۶۴ /۲۶ab	۱۵۱۸/۲۹ef
-P	Cont	۳۲/۲۶g	۵۰ /۱۶d	۱۳۸۶/۶۹ef
	PWC	۷۳/۳۳e	۱۲۴ /۶۶c	۱۷۶۰de
	HEW	۵۱/۳۳f	۱۱۴ /۴۰c	۱۳۲۰f
	PW	۴۹/۸۶f	۱۴۶ /۶۶abc	۱۷۲۴/۹۵de
	WS	۵۵/۷۳f	۱۶۱ /۳۳ab	۲۰۵۵/۶۳cd

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) ندارند. شاهد (Cont)، کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور (PWC)، عرقیات گیاهی (HEW)، هرس سیب و انگور (PW)، کاه و کلش گندم (WS)، حضور گیاه (+P)، بدون حضور گیاه (-P)، BR (تنفس پایه)، SIR (تنفس برانگیخته با سوبسترا) و MBC (کربن بیومس میکروبی) است.

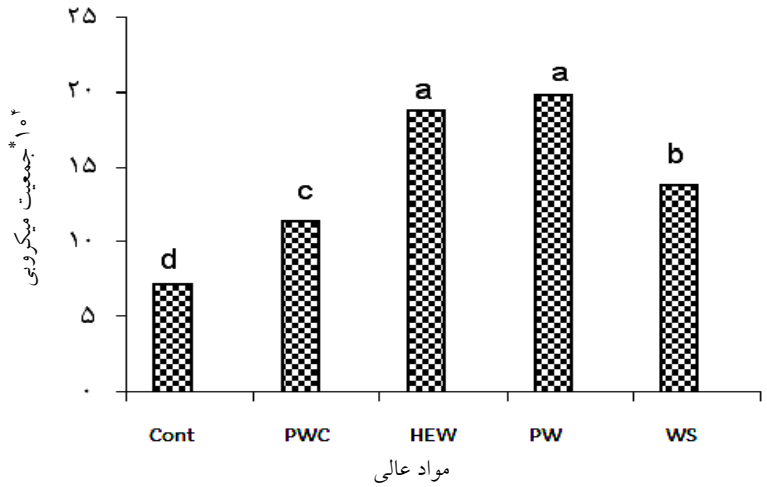
ریزوسفری)، تأثیر معنی‌داری نسبت به شرایط بدون مواد آلی (Cont) و گیاه، بر تنفس برانگیخته خاک داشت (جدول ۵). بیشترین مقدار تنفس برانگیخته نیز مربوط به تیمار P.PW+ بود که در مقایسه با تیمار شاهد (P.Cont+) ۳۳٪ افزایش نشان داد. در شرایط بدون کاربرد مواد آلی، تأثیر ریزوسفر (حضور گیاه) منجر به افزایش ۲/۴۵ برابر تنفس برانگیخته و ۳/۲۸ برابر تنفس پایه نسبت به ناحیه غیر ریزوسفری گردید. اضافه شدن بقایای گیاهی به خاک، میزان تنفس میکروبی را که نمایانگر فعالیت تنفسی ریزجانداران خاک و در نتیجه تجزیه مواد آلی اضافه شده به خاک می‌باشد، افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، مواد آلی به عنوان سوبسترای حاوی مقادیر قابل توجه کربن و انرژی عمل کرده و توسط جمعیت میکروبی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). به‌علاوه، ریشه‌ها که مهم‌ترین منبع تولیدکننده‌ی کربن برای میکروب‌های خاک، به ویژه هتروتروف‌ها، می‌باشند از طریق افزایش ترشحات ریشه‌ای موجب افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش تنفس خاک می‌شوند. چرا که آزاد شدن ترکیبات آلی از ریشه عامل مهمی در فراهم کردن کربن در محیط ریزوسفر محسوب می‌گردد (۱۹). ریزوسفر تأثیر چشمگیری بر میزان کربن بیومس میکروبی داشت. بیشترین کربن بیومس میکروبی نیز مربوط به تیمار P.PWC+ بود که در مقایسه با شرایط بدون گیاه، ۲/۴۵ برابر افزایش نشان داد (جدول ۵). افزودن مواد آلی به خاک، که به عنوان منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران هستند، و نیز حضور گیاه همراه با ترشحات ریشه‌ای (اثر ریزوسفری) از جمله عواملی هستند که در تشدید فعالیت‌های زیستی خاک و در نتیجه افزایش بیومس میکروبی خاک نقش به‌سزایی دارند. البته نوع بقایای آلی (کیفیت شیمیایی) نیز از عوامل تأثیرگذار در تشدید فعالیت‌های زیستی محسوب می‌شود. چرا که سرعت تجزیه بقایای آلی به ترکیب شیمیایی مواد آلی و همچنین شرایط محیطی خاک بستگی دارد (۱۲). لذا علت افزایش بیومس میکروبی در تیمار P.PWC+ نسبت به سایر تیمارها می‌تواند ناشی از C/N کم و نیز کمپوست بودن این تیمار باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل کرم خاکی و گیاه حاکی از آن است که تیمار P.+EW+ دارای بیشترین تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کربن بیومس میکروبی می‌باشد. همچنین، تلقیح کرم‌های خاکی (EW+) کربن بیومس میکروبی را نسبت به

جدول ۶. اثر متقابل کرم خاکی و گیاه بر شاخص‌های میکروبی

کرم خاکی	گیاه	BR	SIR	MBC
		(mg CO_2-C/kg.day)		(mg/kg)
+EW	+P	۱۴۵/۹۴a	۱۴۳/۱۴a	۲۹۰۱/۲۶a
	-P	۵۳/۰۹b	۱۳۴ /۳۴b	۲۰۹۳/۰۴b
-EW	+P	۱۳۱/ ۳۲a	۱۴۳/۱۴a	۲۲۵۲/۸۱a
	-P	۵۱/۹۲b	۱۰۴ /۵۴b	۱۲۰۵/۸۶b

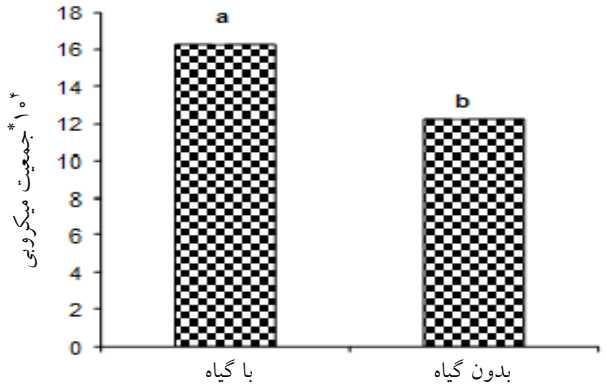
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) ندارند. با کرم خاکی (+EW)، بدون کرم خاکی (-EW)، با گیاه (+P) و بدون گیاه (-P)، BR (تنفس پایه)، SIR (تنفس برانگیخته با سوبسترا) و MBC (کربن بیومس میکروبی) است.



شکل ۱. تأثیر تیمارهای مختلف مواد آلی بر جمعیت میکروبی خاک حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ در بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن می‌باشند. Cont (شاهد)، PWC (کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور)، HEW (عرقیات گیاهی)، PW (هرس سیب و انگور) و WS (کاه و کلش گندم) است.

خاک بدون تلقیح (EW-) ۴۴٪ افزایش داده است (جدول ۶). مطالعات نشان دادند که در حضور کرم‌های خاکی، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک به طور متوسط ۳ تا ۱۹ برابر افزایش می‌یابد. بنابراین، حضور کرم‌های‌خاکی از طریق افزایش بیومس ریشه گیاه و تراوشات ریشه‌ای و در نتیجه تحریک فعالیت میکروبی در خاک ریزوسفری، باعث افزایش تنفس پایه می‌شود (۱۱). نتایج متناقضی در باره اثر کرم خاکی بر میزان بیومس میکروبی وجود دارد. برخی مطالعات نشان‌دهنده افزایش و برخی بیانگر کاهش کربن بیومس میکروبی خاک می‌باشند (۳۳ و ۳۷). موسوی و رئیسی (۶) نشان دادند که کرم‌های خاکی پس از گذشت ۱۵۰ روز از شروع آزمایش، به جهت کاهش سوبسترا و نزدیک شدن به مراحل نهایی تجزیه مواد آلی، کمترین تأثیر را بر جمعیت میکروبی خاک داشتند، که شاید دلیل آن مصرف میکروب‌ها توسط کرم‌های‌خاکی باشد. افزایش بیومس میکروبی می‌تواند ناشی از فرایندهایی باشد که در دستگاه گوارش کرم خاکی (روده) صورت می‌گیرد (۱۶).

نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن مواد آلی به خاک منجر به افزایش معنی‌دار جمعیت میکروبی در مقایسه با شرایط شاهد (بدون ماده آلی) شده است. جمعیت میکروبی در تیمارهای PWC، HEW، PW و WS به ترتیب ۱/۵، ۲/۶، ۲/۷ و ۱/۹ برابر تیمار بدون مواد آلی (Cont) بود (شکل ۱). همچنین، جمعیت میکروبی در منطقه ریزوسفر نسبت به منطقه غیر



ریزوسفر حدود ۳۲٪ افزایش نشان داد (شکل ۲). فعالیت ریشه‌ای گیاه و ترشحات ریشه‌ای می‌واند دلیل این افزایش باشد. چرا که تحریک جمعیت میکروارگانیسم‌ها در نزدیکی ریشه‌ها توسط محققین زیادی گزارش شده است. ترشحات ریشه‌ای از جمله اسیدهای آلی و آمینه در ریزوسفر به عنوان منابع سهل‌الوصول کربن و انرژی برای میکروب‌ها بوده و سبب افزایش فعالیت و جمعیت میکروبی نسبت به مناطق دورتر از ریشه می‌گردد (۲، ۱۹ و ۳۰).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که میزان تنفس پایه و تنفس برانگیخته در خاک تلقیح شده با کرم خاکی، در مقایسه با شرایط بدون کرم خاکی، افزایش می‌یابد. همچنین، مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در تیمارهایی که کاه و کلش گندم (+EW.WS) دریافت کرده بودند، در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود. تأثیر کرم‌های خاکی با حضور گیاه (خاک ریزوسفری)، در مقایسه با شرایط عدم حضور آن (غیر ریزوسفر)، تشدید گردید.

منابع مورد استفاده

۱. رسولی صدقیانی، م. ح. و ا. سپهر. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کودهای دامی در معدنی شدن نیتروژن و خصوصیات ریزوسفری گیاهان ذرت و آفتابگردان. نشریه آب و خاک ۲۵: ۳۲۷-۳۳۷.

۲. ریاحی، م. ۱۳۸۸. اثرات چرا بر فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک در برخی مراتع مرجع استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

۳. شمسی محمودآبادی، س. و ف. خرمالی. ۱۳۹۰. میکروموفولوژی تحول خاک در کاربری‌های مختلف در اراضی لسی منطقه آق‌سو، استان گلستان. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۵۵: ۱۱۱-۱۲۴.

۴. صالح راستین، ن. ۱۳۷۷. کودهای بیولوژیک. علوم آب و خاک ۱: ۱۲-۳۶.

۵. لکزیان، ا. و ن. یزدان پناه. ۱۳۸۶. مطالعه سرعت تجزیه بقایای گیاهی گندم، یونجه و گوجه‌فرنگی در شرایط آزمایشگاهی. علوم و صنایع کشاورزی ۲۱: ۳-۹.

۶. موسوی، ف. و ف. رئیسی. ۱۳۸۸. نقش مواد آلی در حفظ و ازدیاد جمعیت کرم خاکی *Lumbricus terrestris* L. در خاک‌های خشک و نیمه خشک ایران. چهارمین همایش منطقه‌ای ایده‌های نو در کشاورزی.

۷. نعمتی، ف. و ف. رئیسی. ۱۳۸۸. اثر برخی کودهای آلی بر فعالیت یک نوع کرم خاکی آنسیک در یک خاک آهکی با بافت لومی. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان.

8. Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
9. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. PP. 831-871. *In:* Page, A.L. and R.H. Mille (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, ASA and SSA, Madison, WI.
10. Barois, I. and P. Lavelle. 1986. Changes in respiration rate and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex coretlzrurus* (Glossoscolecidz, Oligochæta). Soil Bio. Biochem. 18: 539-541.

11. Binet, F., L. Fayolle and M. Pussard. 1998. Significance of earthworms in simulating soil microbial activity. Biol. Fert. Soils 27: 79-84.
12. Bossuyt, H., K. Dene, J. Six, S.D. Frey, R. Merckx and K. Paustian. 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. Appl. Soil Ecol. 16: 195-208.
13. Caravaca, F. and A. Roldan. 2003. Effect of *Eisenia foetida* earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. Biol. Fert. Soils 38: 45-51.
14. Chen, Y.M., M.K. Wang, S.Y. Zhuang and P.N. Chiang. 2006. Chemical and physical properties of rhizosphere and bulk soils of three tea plants cultivated in Ultisols. Geoderma 136: 378-387.
15. Clapperton, M.J., N.O. Lee, F. Binet and R.L. Conner. 2001. Earthworm indirectly reduce the effects of take-all (*Gaeumannomyces graminist* var. tritici) on soft white spring wheat (*Triricum aestivum* cv Fielder). Soil Biol. Biochem. 33: 1531-1538.
16. Devliegher, W. and W. Verstraete. 1997. The effect of *Lumbricus terrestris* on soil in relation to plant growth: Effects of nutrient-enrichment processes (NEP) and gut-associated processes (GAP). Soil Biol. Biochem. 29: 341-346.
17. Dick, R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. PP. 107-124. *In:* Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publication 35, SSSA and ASA, Madison, WI.
18. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. PP. 3-21. *In:* Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publication 35, SSSA and ASA, Madison, WI.
19. Day, G.M. 1950. Influence of earthworms on soil micro-organisms. Soil Sci. 69: 175-184.
20. Edwards, C.A. and J.E. Bater. 1992. The use of earthworms in environmental management. Soil Biol. Biochem. 24: 1683-1689.
21. Edwards, C.A. and J.P. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. 3rd edition, Chapman and Hall, London.
22. Edwards, C.A. 2004. Earthworm Ecology. 3rd edition, CRC Press, Boca Raton, FL., 441 p.
23. Gerard, B.M. 1960. The biology of certain British earthworms in relation to environmental conditions. PhD Thesis, University of London.
24. Haynes, R.J. and P.M. Fraser. 1998. A comparison of aggregate stability and biological activity in earthworm casts and uningested soil as affected by amendment with wheat or lucerne straw. Soil Sci. 49: 629-636.
25. Jenkinson, D.S. and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover. PP. 415-471. *In:* Paul, E.A. and J.N. Ladd (Eds.), Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY.
26. Kalbitz, K., D. Schwesig, J. Rethemeyer and E. Matzner. 2005. Stabilization of dissolved organic matter by sorption to the mineral soil. Soil Biol. Biochem. 37: 1319-1331.
27. Kale, R.D. 1998. Earthworm Cinderella of Organic Farming. Prism Books, Ltd., 70 p.
28. Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. Can. J. Soil Sci. 63: 671-678.
29. Ladd, J.N., R.C. Foster and J.O. Skjemstad. 1993. Soil structure: Carbon and nitrogen metabolism. Geoderma 56: 401-434.
30. Landi, L., F. Valori, J. Ascher, G. Renella, L. Falchini and P. Nannipieri. 2006. Root exudate effects on the bacterial communities, CO_2 evolution, nitrogen transformations and ATP content of rhizosphere and bulk soils. Soil Biol. Biochem. 38: 509-516.
31. Lavelle, P., G. Melendez, B. Pashanasi and R. Schaefer. 1992. Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworm *Poiztosco excoielzruius* (Glossoscolecidae). Biol. Fert. Soils 14: 49-53.
32. Martin, A., J. Cortez, I. Barois and P. Lavelle. 1987. Les mucus intestinaux de ver de terre, moteur de leurs interactions avec la microflore. Rev. Ecol. Biol. Sol. 24: 549-558.
33. Martin, A., A. Mariotti, J. Balesdent and P. Lavelle. 1992. Soil organic matter assimilation of a geophagous tropical earthworm based on 13C measurements. Ecol. 73: 118-128.
34. Pashanasi, B., G. Melendez, L. Szott and P. Lavelle. 1992. Effect of inoculation with the endogeic earth-worm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on N availability, soil microbial biomass and the growth of three tropical fruit tree seedlings in a pot experiment. Soil Biol. Biochem. 24: 1655-1659.
35. Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in central Iran. Agric. Ecosyst. Environ. 121: 309-318.
36. Ross, D.J. and A. Cairns. 1982. Effect of earthworms and ryegrass on respiratory and enzyme activities of soil. Soil Biol. Biochem. 14: 583-587.
37. Ruz-Jerez, B.E., P.R. Ball and R.W. Tillman. 1992. Laboratory assessment of nutrient release from a pasture soil

receiving grass or clover residues, in the presence or absence of *Lumbricus rubellus* or *Eisenia fetida*. Soil Biol. Biochem. 24: 1529-1534.
38. Scheu, S. 2004. Effect of earthworms on plant growth: Patterns and perspectives. Pedobiol. 47: 846-865.
39. Shen, J., Z. Rengel, C. Tang and F. Zhang. 2003. Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylate in soil grown *Lupinus albus*. J. Soil Sci. Plant Nutr. 248: 199-206.
40. Stockdill, S.M.J. 1959. Earthworms improve pasture growth. New Zealand J. Agric. Res. 98: 227-233.
41. Stockdill, S.M.J. and G.G. Cossens. 1966. The role of earthworms in pasture production and moisture conservation. Proceeding of the New Zealand Grassland Association, pp. 168-183.
42. Stockdill, S.M.J. 1982. Effects of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures. Pedobiol. 24: 29-35.
43. Suthar, S. 2008. Earthworm communities a bio-indicator of arable land management practices: A case study in semi-arid region of India. Ecol. Indic. 9: 588-594.
44. Suthar, S. 2007. Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm *Perionyx excavatus* (Perrier) during recycling of some agriculture wastes. Bioresour. Technol. 98(8): 1608-1614.
45. Turpault, M.P., G.R. Gobran and P. Bonnaud. 2007. Temporal variations of rhizosphere and bulk soil chemistry in a Douglas fir stand. Geoderma 137: 490-496.
46. Wollum, A.G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. PP. 781-801. *In:* Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, ASA and SSSA, Madison, WI.