

تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در تناوب با چغندر قند

عبدالله جوانمرد^۱، بهزاد نظری^۲، علی جلیلیان^۳، شهریار دشتی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۳۰

۱-دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

۳-عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه

۴-استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: A.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

برای بررسی تأثیر ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم رقم بهار، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و ۴ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت اجرا شد. تیمارها عبارت بودند از مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی NPK (T₁)، مصرف ۵۰ درصد NPK به علاوه ۳ تن در هکتار ورمی کمپوست (T₂)، مصرف ۵۰ درصد NPK به علاوه ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست (T₃)، مصرف ۵۰ درصد NPK به علاوه ۷ تن در هکتار ورمی کمپوست (T₄)، مصرف ۱۰۰ درصد NPK (T₅)، مصرف ۳ تن ورمی کمپوست (T₆)، مصرف ۵ تن ورمی کمپوست (T₇)، مصرف ۷ تن ورمی کمپوست (T₈)، مصرف ۳ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۳ تن ورمی کمپوست (T₉)، مصرف ۵ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۵ تن ورمی کمپوست (T₁₀) و مصرف ۷ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۷ تن ورمی کمپوست (T₁₁). کمترین میزان pH (۷/۷۰) با مصرف ۷ تن ورمی کمپوست حاصل شد که نسبت به تیمارهای شیمیایی ۵/۳۹ درصد کاهش یافت. همچنین کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری (۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، بیشترین درصد کربن آلی (۱/۸۴) و تخلخل کل (۵۷/۱۷ درصد) به تیمار ۷ تن ورمی کمپوست تعلق داشت. نیتروژن کل خاک با کاربرد ۷ تن ورمی کمپوست نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به ترتیب ۸۰/۴۵ و ۷۲/۵۲ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که کاربرد ۷ تن ورمی کمپوست (T₈) و بعد از آن مصرف ۷ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۷ تن ورمی کمپوست (T₁₁) و مصرف ۵۰ درصد NPK به علاوه ۷ تن در هکتار ورمی کمپوست (T₄) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثرتر از سایر تیمارها به ویژه تیمارهای شیمیایی بود. همچنین بالاترین عملکرد دانه گندم با کاربرد تیمار ۱۱ (۷ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۷ تن ورمی کمپوست) و بعد از آن با تیمار ۱۰ (مصرف ۵ تن ورمی کمپوست به علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۵ تن ورمی کمپوست) حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، عناصر کم مصرف، کربن آلی، نیتروژن

Effect of Different Levels of Vermicompost and Chemical Fertilizer applications on Some Physicochemical Characteristics of Soil and wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Bahar) yield in Rotation with Sugar Beet

A Javanmard^{1*}, B Nazari², A Jalilian³, Sh Dashti⁴

Received: 4 May 2015 Accepted: 20 August 2016

1, 2, 4- Assoc. Prof., M.Sc student and Assist. Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agric., Univ. of Maragheh, Iran

3-Academic Member of Kermanshah Agriculture and Natural Resources Research Center, Iran

*Corresponding Author, Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

In order to study the effects of vermicompost and chemical fertilizers on soil physicochemical characteristics and wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Bahar) yield, a field experiment based on randomized complete block design (RCBD) with 11 treatments and 4 replications was conducted in Mahidasht Agricultural Research Station during growing season of 2013. Treatments included, T₁: application of 50% NPK chemical fertilizer, T₂: application of 50% NPK plus 3 tons ha⁻¹ of vermicompost, T₃: application of 50% NPK plus 5 tons ha⁻¹ of vermicompost, T₄: application of 50% NPK plus 7 tons ha⁻¹ of vermicompost, T₅: application of 100% NPK, T₆: application of 3 tons ha⁻¹ vermicompost, T₇: application of 5 tons ha⁻¹ vermicompost, T₈: application of 7 tons ha⁻¹ vermicompost, T₉: application of 3 tons ha⁻¹ vermicompost plus crop fertilizer requirement minus equivalent amount of chemical fertilizers in 3 tons vermicompost, T₁₀: application of 5 tons ha⁻¹ vermicompost plus crop fertilizer requirement minus equivalent amount of chemical fertilizers in 5 tons vermicompost, T₁₁: application of 7 tons ha⁻¹ vermicompost plus crop fertilizer requirement minus equivalent amount of chemical fertilizers in 7 tons vermicompost. The lowest value of pH (7.7) was achieved by application of 7 tons vermicompost (T₈) which decreased 5.39% compared to chemical fertilizer treatments. Also, the lowest bulk density (1.25 g cm⁻³), the greatest organic carbon percent (1.84) and the highest total porosity (57.16%) belonged to the application of 7 tons ha⁻¹ vermicompost. Soil total nitrogen by application of 7 tons vermicompost was 80.45 and 72.52 percent higher than 50% and 100% NPK treatments, respectively. Results showed that application of 7 tons ha⁻¹ vermicompost (T₈) followed by T₁₁ and T₄ treatments showed the highest effect on soil physicochemical properties compared to other treatments especially chemical treatments. Also, the highest wheat yield was achieved by application of 7 tons ha⁻¹ vermicompost plus crop fertilizer requirement minus equivalent amount of chemical fertilizers in 7 tons vermicompost (T₁₁) and followed by application of 5 tons ha⁻¹ vermicompost plus crop fertilizer requirement minus equivalent amount of chemical fertilizers in 5 tons vermicompost (T₁₀).

Keywords: Micronutrients, Nitrogen, Porosity, Soil bulk density, Soil organic carbon

مقدمه

لحاظ ماده آلی فقیر بوده، لذا برای بهبود حاصلخیزی این خاکها، افزودن مواد آلی به آنها ضروری است (احمدآبادی و قاجارسپانلو ۱۳۹۱). امروزه با توجه به

خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک که بیش از ۸۰ درصد زمینهای کشاورزی را در بر میگیرند از

۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار در ۴ تکرار به عمق ۱۵ سانتی‌متری اولیه خاک افزوده شده و نمونه‌برداری ۳ ماه پس از افزودن، نشان‌دهنده افزایش در تخلخل کل و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک بود. با افزودن ۸/۴ تن مواد کمپوستی نه تنها ساختار خاک‌های ریزبافت بهبود پیدا کرده، بلکه در خاک‌های درشت‌بافت نیز باعث ایجاد ساختمان و بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی آن شد (واها با ۲۰۰۷). راپنگی (۱۹۹۳) با نمونه‌برداری از خاکی که با ۲۰ تن کمپوست در هکتار به مدت ۲۲ سال تیمار شده بوده، مشاهده کرد که تا پایان دوره، قابلیت استفاده نیتروژن بالا بوده و اثرات معنی‌دار نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب تا سومین، پنجمین و دومین کشت در محصول مشاهده شده است. احمدآبادی و قاجارسپانلو (۱۳۹۱) با کاربرد کمپوست، ورمی‌کمپوست و لجن فاضلاب در خاک (هر کدام در دو سطح ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) افزایش معنی‌دار درصد تخلخل، رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی و همچنین کاهش جرم مخصوص ظاهری و حقیقی در مقایسه با تیمار شاهد را گزارش کردند. کاسیا و همکاران (۲۰۰۲) نیز با به کارگیری تیمارهای کمپوست، کود شیمیایی و کود دامی، گزارش کردند که اضافه کردن این اصلاح‌کننده‌ها به خاک، به ترتیب باعث افزایش ۴۷، ۳۲ و ۴۲ درصدی تخلخل کل نسبت به شاهد شد. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۱) نتیجه گرفتند کود دامی به منظور افزایش تخلخل و بهبود ساختمان در کوتاه مدت و ورمی‌کمپوست می‌تواند به منظور اهداف بلندمدت مورد استفاده قرار گیرند. تجادا و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست حاصل از منابع حیوانی در مقایسه با سایر منابع، معمولاً حاوی مقادیر بیشتری عناصر معدنی است و اکثر این عناصر قابل جذب توسط گیاهان هستند. از ورمی‌کمپوست می‌توان به عنوان درمانگر زیستی در خاک‌های اسیدی استفاده کرد، به دلیل اینکه pH ورمی‌کمپوست خنثی و تا حدودی نزدیک به قلیایی است و می‌تواند آلومینیوم ناپایدار را مهار کند (یانگ و

اهمیت کشاورزی پایدار به عنوان مجموعه‌ای از تفکرات و روش‌ها برای رفع نیاز فعلی و حفظ منابع جهت تأمین نیاز نسل بعدی، استفاده از کودهای آلی به عنوان یکی از ارکان اصلی کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد (تجادا و همکاران ۲۰۰۹). عمده‌ترین منابع تأمین مواد آلی در خاک‌ها عبارتند از فضولات دامی، بقایای گیاهی، کمپوست زباله و ورمی‌کمپوست که بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند (فتح العلوم و اصغری ۱۳۹۳). ورمی‌کمپوست، یک ترکیب آلی است که از لحاظ میکروبیولوژیکی فعال و غنی از مواد مغذی است که نتیجه تعامل بین گرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها بر اثر تجزیه مواد آلی است، ثابت شده است که این مواد، موادی پیت مانند و همگن، با نسبت C:N پایین، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب بالا هستند و بسیاری از مواد مغذی موجود در فرم قابل جذب توسط گیاهان را در خود دارا می‌باشند (یانگ و همکاران ۲۰۱۵). ورمی‌کمپوست دارای ویژگی‌های بسیاری مانند تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب، قدرت جذب و نگهداری زیاد رطوبت، سطح جذب زیاد برای آب و مواد غذایی است و استفاده از آن در کشاورزی پایدار برای بهبود وضعیت تخلخل خاک و در نتیجه فراهمی بیشتر عناصر غذایی بسیار مفید است. همچنین در مقایسه با مواد مادری‌شان، دارای املاح کمتر، ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر و محتوای اسید هیومیک زیادتر می‌باشند (فرناندزبایو و همکاران ۲۰۰۹). ورمی‌کمپوست بر خواص شیمیایی خاک مانند هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH و همچنین بر خواص فیزیکی خاک نیز تأثیر می‌گذارد (یانگ و همکاران ۲۰۱۵). تجادا و گونزالز (۲۰۰۸) بهبود وضعیت فیزیکی خاک را بر اثر کاربرد ورمی‌کمپوست و کود دامی گزارش کرده‌اند و بیشترین تأثیر را به ورمی‌کمپوست نسبت دادند. در مطالعه آذر می و همکاران (۲۰۰۸) میزان تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست شامل ۰،

درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۵ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۷ میلی‌متر در ۲۰ کیلومتری جنوب غرب کرمانشاه اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک مرکب از محل اجرای آزمایش (جدول ۱) و ورمی‌کمپوست (جدول ۲) تهیه و نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در آن‌ها اقدام گردید. براساس تجزیه خاک، توصیه کودی شامل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در زراعت چغندر قند بود (ملکوتی و غیبی ۱۳۷۹).

همکاران (۲۰۱۵). با توجه به اهمیت استفاده از کودهای آلی و به‌ویژه ورمی‌کمپوست و نقش آن در کشاورزی پایدار و در راستای شناسایی روش‌های کاهش مصرف کودهای شیمیایی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات باقیمانده ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی بر روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در تناوب با چغندر قند اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت با طول جغرافیایی ۴۶

جدول ۱- نتیجه آزمون خاک قبل از اجرای آزمایش.

کلاس بافت خاک	سیلت (%)	شن (%)	رس (%)	pH	نیترژن (%)	کربن آلی (%)	فسفر	پتاسیم	منگنز	آهن	روی	مس	قابل جذب (mg kg ⁻¹)	
													رسی سیلتی	۱/۱۴
	۵۰	۱۰	۴۰	۸/۱۱	۰/۰۸۴	۰/۸۴	۴/۶	۳۳۰	۷/۷۶	۷/۴۶	۱/۲۰	۱/۱۴		

جدول ۲- نتایج تجزیه کود ورمی‌کمپوست.

نیترژن (%)	کربن آلی (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	پتاسیم	فسفر	آهن	منگنز	روی	مس	کل (mg kg ⁻¹)	
										۰/۹۴	۱۴/۷۶
۰/۹۴	۱۴/۷۶	۷/۹	۲/۶۵	۱۳۳۰۰	۷۹۰۰	۲۱۴۱/۵	۳۹۶	۱۸۰	۱۱/۵		

جدول ۳- نتایج تجزیه آب آبیاری.

ماده آلی (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)	نیترژن کل	فسفر کل	پتاسیم	آهن	روی	سدیم	(mg L ⁻¹)	
									۰/۰۷ <th>۷/۲۵ </th>	۷/۲۵
۰/۰۷	۷/۲۵	۰/۳۰۵	۷/۵	۰/۰۹	۷/۲۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۵/۲۵		

کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و در ۴ تکرار اجرا شد. تیمارها عبارت بودند از T1: مصرف ۵۰ درصد نیاز کودی محصول (۱۰۰، ۱۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم)، T2: مصرف ۵۰ درصد نیاز کودی (۱۰۰، ۱۷۵ و ۵۰

۲۰ روز قبل از کاشت چغندر قند ورمی‌کمپوست، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم براساس نوع تیمار قبل از کشت با خاک مخلوط شدند. اوره هم در طول فصل رشد چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) به صورت سرک مصرف شد. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های

کرت‌هایی به مساحت ۲۴ متر مربع کشت گردید. قبل از کشت گندم، نمونه خاک از هر کدام از تیمارها در ۴ تکرار تهیه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر و قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک و pH در عصاره اشباع تعیین گردید (هس ۱۹۷۱). جرم مخصوص ظاهری به روش نمونه‌برداری دست نخورده (بلک و هارتگ ۱۹۸۶a) با تهیه نمونه‌های خاک و توزین پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس، جرم مخصوص حقیقی به روش آزمایشگاهی با استفاده از روش پیکنومتر (بلک و هارتگ ۱۹۸۶b)، تخلخل از طریق انجام محاسبه (دانلیسون و ساترلند ۱۹۸۶) با توجه به مقادیر به‌دست آمده از جرم مخصوص حقیقی و ظاهری، درصد نیتروژن با روش کج‌دال (برمنر و مالونسی ۱۹۹۶)، فسفر قابل جذب با روش اولسن، پتاسیم قابل جذب با روش فلیم‌فتمتری، کربن آلی به روش والکی (نلسون و سامرس ۱۹۸۲)، تعیین pH در گل اشباع با دستگاه pH متر (ویستر ۱۹۹۰) و غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در خاک و کودها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (لیندزی و نورول ۱۹۷۸). پس از نرمال بودن داده‌های آزمایش، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C و برای مقایسه میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن از آزمون LSD استفاده شد. جهت مقایسه‌های اورتوگونال تیمارها را به چهار گروه شیمیایی (تیمارهای ۱ و ۵)، تلفیقی با ۵۰ درصد کود شیمیایی (تیمارهای ۲، ۳ و ۴)، آلی (تیمارهای ۶، ۷ و ۸) و تلفیقی ۱۰۰ درصد کود شیمیایی منهای معادل عناصر موجود در ورمی‌کمپوست (تیمارهای ۹، ۱۰ و ۱۱) دسته‌بندی شدند.

کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم) به‌علاوه ۳ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T3: مصرف ۵۰ درصد نیاز کودی (۱۰۰، ۱۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم) به‌علاوه ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T4: مصرف ۵۰ درصد نیاز کودی (۱۰۰، ۱۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم) به‌علاوه ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T5: مصرف کل نیاز کودی محصول (۲۰۰، ۳۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم)، T6: مصرف ۳ تن ورمی‌کمپوست، T7: مصرف ۵ تن ورمی‌کمپوست، T8: مصرف ۷ تن ورمی‌کمپوست، T9: مصرف ۳ تن ورمی‌کمپوست به‌علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۳ تن ورمی‌کمپوست (مصرف ۲۹۰، ۱۴۸/۵ و ۱۶/۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم)، T10: مصرف ۵ تن ورمی‌کمپوست به‌علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۵ تن ورمی‌کمپوست (مصرف ۲۴۸ و ۱۱۴/۵ اوره و سوپرفسفات تریپل) و T11: مصرف ۷ تن ورمی‌کمپوست به‌علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کود شیمیایی موجود در ۷ تن ورمی‌کمپوست (۲۰۷ و ۷۹/۸ کیلوگرم در هکتار اوره سوپرفسفات تریپل). بعد از کوددهی، بذر چغندر قند رقم ایرانی اکباتان در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۸ متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر در ۶ ردیف و فواصل بین بوته‌ای ۲۰ سانتی‌متری کاشته شد. فواصل بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب ۶۰ سانتی‌متر و ۱/۵ متر لحاظ شد. آبیاری مزرعه به‌صورت بارانی در طول فصل رشد صورت پذیرفت. نتایج تجزیه آب آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. بعد از برداشت چغندر قند در محل اعمال هر تیمار، گندم رقم بهار (*Triticum aestivum* L. cv. Bahar) با فواصل بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر در

نتایج و بحث

نیترژن خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از لحاظ نیترژن خاک در سطح احتمال ۱ درصد است. بین گروه شیمیایی (T_1+T_5) با گروه تلفیقی به‌علاوه ۵۰ درصد NPK $(T_2+T_3+T_4)$ ، (T_1+T_5) با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، T_1 با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_5 با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ تفاوت معنی‌دار ولی بین گروه‌های $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_6+T_7+T_8)$ و $(T_9+T_{10}+T_{11})$ با $(T_6+T_7+T_8)$ تفاوت معنی‌دار نبود. با کاربرد تیمار ۸ بیشترین میزان نیترژن خاک حاصل شد و بعد از آن تیمار ۱۱ و ۴ قرار داشتند. کمترین مقدار نیترژن کل نیز به مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد کل نیاز کودی مربوط بود. تیمارهای ۱۰، ۷ و ۳ در حد وسط واقع شدند. میزان افزایش نیترژن با کاربرد ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به‌ترتیب $۸۰/۴۵$ و $۷۲/۵۲$ درصد بود (جدول ۵). در تیمارهای تلفیقی با افزایش میزان کود آلی ورمی‌کمپوست و کاهش مقادیر کودهای شیمیایی، نیترژن کل افزایش معنی‌داری پیدا کرده است. افزایش نیترژن در خاک‌های تغذیه شده به‌صورت ارگانیکی به وجود مقادیر زیاد کربن و نیترژن کل در ورمی‌کمپوست مربوط می‌باشد که منبع بزرگی برای معدنی شدن نیترژن است (آرانکن و همکاران ۲۰۰۶). همچنین به دلیل وجود همبستگی مثبت بین کربن آلی و نیترژن کل خاک، افزایش نیترژن کل در تیمار ارگانیکی قابل توجیه می‌باشد (آنجلو و همکاران ۲۰۱۳). افزایش تحریک تثبیت نیترژن با مصرف کودهای آلی می‌تواند دلیل دیگر افزایش نیترژن در تیمارهای ارگانیکی و تلفیقی باشد. با توجه به این‌که چغندر قند جزء گیاهان پرمصرف از لحاظ نیاز آبی می‌باشد و با توجه به این‌که نیترژن در کودهای شیمیایی به‌صورت معدنی است و در محیطی مناسب در معرض فرایند نیترات‌سازی قرار می‌گیرد و همراه آب

آبیاری به عمق پایین‌تر خاک انتقال می‌یابد، در صورتی که این واکنش در تیمار ارگانیکی آهسته‌تر است. بنابراین آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از ورمی‌کمپوست، کاهش آبشویی و تصعید کمتر نیترژن در افزایش نیترژن تیمارهای تلفیقی و ارگانیکی مؤثر است. همچنین بهبود کربن آلی خاک و عناصر NPK را می‌توان به ترشح اسیدهای آلی از ورمی‌کمپوست نسبت داد (آداک و همکاران ۲۰۱۴). زیرا ورمی‌کمپوست سرشار از انواع میکروارگانیسم‌هایی است که تعدادی اسیدهای آلی از جمله اسید اگزالیک را آزاد کرده و منجر به حالیت عناصر به‌ویژه پتاسیم و فسفر می‌شوند. همچنین افزایش نیترژن خاک می‌تواند به دلیل فعالیت بیشتر اسید فسفاتاز و پروتئاز خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست باشد (آداک و همکاران ۲۰۱۴).

pH خاک

نتایج جدول ۴ بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ pH می‌باشد. مقایسه‌های مستقل نشان داد بین گروه شیمیایی (T_1+T_5) با $(T_2+T_3+T_4)$ ، (T_1+T_5) با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، T_1 با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_5 با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ تفاوت معنی‌دار ولی بین گروه $(T_9+T_{10}+T_{11})$ با $(T_6+T_7+T_8)$ و $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_6+T_7+T_8)$ تفاوت معنی‌دار نبود. کمترین میزان pH کاربرد ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (T_8) حاصل شد که با تیمار ۴ (مصرف ۵۰ درصد NPK+۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان کاهش pH در تیمار مذکور نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به‌ترتیب $۵/۳۸$ و $۵/۴۰$ درصد بود. بیشترین pH هم مربوط به مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی بود (جدول ۵). تیمارهای ۲، ۶ و ۹ در یک گروه آماری و در رتبه دوم و تیمارهای ۳، ۷ و ۱۰ هم در رتبه سوم قرار گرفتند. با افزایش مصرف ورمی‌کمپوست و کاهش مقادیر کودهای شیمیایی، pH خاک کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. دلیل کاهش pH خاک

گروه آلی ($T_6+T_7+T_8$) تفاوت معنی‌دار نبود. بیشترین میزان فسفر به تیمارهای ۸، ۱۱ و ۴ تعلق داشت. میزان افزایش فسفر در این تیمارها نسبت به تیمارهای شیمیایی ۱ و ۵، به ترتیب ۱۷۱/۲۱ و ۱۶۶/۲۱ درصد بود. کمترین میزان فسفر هم به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد مصرف NPK مربوط بود (جدول ۵). تیمار ۱۰ در رتبه دوم از لحاظ افزایش فسفر خاک قرار گرفت. با توجه به جدول ۵ می‌توان بیان کرد با افزایش ورمی کمپوست و کاهش مقادیر کودهای شیمیایی، میزان فسفر خاک افزایش پیدا کرده است. این نتیجه را می‌توان به وجود فسفر بالا در ورمی کمپوست نسبت داد. همچنین دلیل دیگر را می‌توان همبستگی مثبت و معنی‌دار بین درصد کربن آلی و فسفر دانست (میرزایی تالارپشتی ۱۳۸۸). کاهش اسیدیته در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست هم می‌تواند منجر به افزایش فسفر قابل تبادل خاک شود. مخلوط ورمی کمپوست با خاک می‌تواند به بازیافت عناصر غذایی کمک کند، ورود مداوم فسفر به خاک احتمالاً به خاطر رهاسازی تدریجی از ورمی کمپوست و آزادسازی فسفر به‌طور عمده مربوط به میکروارگانیزم‌های خاک است (آرانکن و همکاران ۲۰۰۶). سینگ و همکاران (۲۰۱۳) عبور مواد آلی از روده کرم‌ها را به‌عنوان عامل تبدیل شدن فسفر به فرم‌های قابل جذب برای گیاهان مطرح کرده‌اند. افزایش فعالیت فسفاتاز و تجزیه فیزیکی مواد منجر به معدنی شدن عمده آن‌ها می‌شود. افزایش NaHCO_3 - فسفر استخراجی در اثر استفاده از ورمی کمپوست می‌تواند به رهاسازی اسید هیومیک در خلال تجزیه مواد آلی مربوط باشد که در نهایت می‌تواند به تبدیل فسفات غیر قابل دسترس به فرم در دسترس منجر شود (سینگ و همکاران ۲۰۱۳).

کربن آلی

کربن آلی خاک نیز تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۴). بین گروه شیمیایی (T_1+T_5) با ($T_2+T_3+T_4$)، ($T_9+T_{10}+T_{11}$) با (T_1+T_5)، ($T_2+T_3+T_4$) با T_5 و ($T_6+T_7+T_8$) با ($T_2+T_3+T_4$) تفاوت معنی‌دار ولی بین ($T_9+T_{10}+T_{11}$) با

بعد از اضافه کردن ورمی کمپوست می‌تواند به تجزیه مواد آلی موجود در این کودها مربوط باشد که منجر به تولید اسیدکربنیک، یون آمونیوم و اسیدهای آلی در طی متابولیسم میکروبی می‌شود (تجادا و همکاران ۲۰۰۹). همچنین تولید اسیدهای آلی (آمینواسید، گلايسین، سیستئین و اسید هیومیک) در طی معدنی شدن مواد آلی توسط هتروتروف‌ها و نیتریفیکاسیون توسط اتوتروف‌ها دلیل کاهش pH می‌باشد (آنجلووا و همکاران ۲۰۱۳). آداک و همکاران (۲۰۱۴) دلیل افزایش اولیه pH و قلیایی شدن خاک را به آزاد شدن یون نیترات از ماده آلی نسبت دادند. خاصیت بافری مواد هیومیک اسید حاصل از ورمی کمپوست در ادامه منجر به کاهش مجدد pH و بازگشت خاک به حالت تعادل خواهد شد. مانیوانان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاهش اندک در pH خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست ممکن است به دلیل اثرات اسیدی شدن اسیدهای آلی تولید شده در خلال تجزیه ترکیبات مواد آلی و یا آبشویی نمک‌ها باشد، تفاوت‌ها در تغییرات pH ممکن است وابسته به نوع ورمی کمپوست‌ها یا خصوصیات خاک باشد. فرناندزبایو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند اضافه کردن ورمی کمپوست به خاک‌های اسیدی، pH را افزایش داده و اگر به خاک‌های قلیایی اضافه شود pH را کاهش می‌دهد، این نتایج نشان می‌دهد ورمی کمپوست pH را به سمت خنثی شدن هدایت می‌کند. این موضوع در خاک‌های ایران که اکثراً pH بالاتر دارند می‌تواند یکی از مزایای استفاده از ورمی کمپوست باشد.

فسفر قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ فسفر است. بین گروه شیمیایی (T_1+T_5) با ($T_2+T_3+T_4$)، (T_1+T_5) با ($T_9+T_{10}+T_{11}$)، ($T_2+T_3+T_4$) با ($T_9+T_{10}+T_{11}$)، ($T_2+T_3+T_4$) با T_5 و ($T_6+T_7+T_8$) با ($T_2+T_3+T_4$) تفاوت معنی‌دار ولی بین ($T_9+T_{10}+T_{11}$) با

$(T_6+T_7+T_8)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، $(T_6+T_7+T_8)$ با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_1 با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_5 با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بیشترین کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۲۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) با کاربرد تیمار ۸ حاصل شد که نسبت به تیمارهای ۱ و ۵، به ترتیب ۹/۶۳ و ۸/۲۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۷). دلیل این کاهش، محتوای بالای کربن آلی ورمی‌کمپوست مورد استفاده می‌باشد (جدول ۲). به علت جرم مخصوص کمتر مواد آلی نسبت به خاک اولیه، انتظار می‌رفت جرم مخصوص مخلوط خاک و کود آلی کمتر از جرم مخصوص ظاهری خاک محل آزمایش باشد، حتی اگر تأثیر بخصوصی بر ساختمان خاک نداشته باشد. بخشی از کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک ناشی از افزایش پایداری خاکدانه‌ها (فتح‌العلمی و اصغری ۱۳۹۳) و در نتیجه بهبود ساختمان خاک (در نتیجه دانه‌بندی بهتر و افزایش درصد منافذ) با کاربرد کود آلی می‌باشد (میرزایی تالارپشتی و همکاران ۱۳۸۸). بعد از تیمار ۸، تیمارهای ۴، ۱۱ و ۱۰ بیشترین تأثیر را بر کاهش جرم مخصوص ظاهری داشتند. تیمارهای ۱ و ۵ از این لحاظ در رتبه آخر قرار گرفتند و به عبارتی دیگر کود شیمیایی NPK تأثیری بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نداشت. زیرا کاربرد کودهای شیمیایی موجب فشردگی خاک، انتشار ذرات رس و ضعف زمین‌های زراعی شده، در حالی که کودهای آلی موجب اسفنجی شدن، افزایش درصد خلل و فرج (به دلیل افزایش فعالیت و جمعیت میکروبی خاک)، افزایش سهم ذرات آلی نسبت به معدنی در فاز جامد و در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شوند (مانیوانان و همکاران ۲۰۰۹). به دلیل همبستگی منفی و معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری با کربن آلی خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری با کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست قابل توجیه است. تجادا و گونزالو (۲۰۰۸) با کاربرد ورمی‌کمپوست، کود دامی و کود شیمیایی، کاهش جرم مخصوص ظاهری را گزارش

$(T_6+T_7+T_8)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، $(T_6+T_7+T_8)$ با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_1 با $(T_2+T_3+T_4)$ و T_5 با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ تفاوت معنی‌دار ولی تفاوت بین تیمارهای تلفیقی $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ معنی‌دار نبود. با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست، کربن آلی در تیمارهای مصرف ورمی‌کمپوست به تنهایی و کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی NPK به طور معنی‌داری نسبت به شاهد (تیمارهای ۱ و ۵) افزایش یافت (جدول ۵). بالاترین میزان کربن آلی خاک (۱/۸۴ درصد) به تیمار مصرف ۷ تن ورمی‌کمپوست در هکتار مربوط بود و بعد از آن تیمارهای ۴ و ۱۱ قرار گرفتند. میزان افزایش کربن آلی خاک با مصرف ۷ تن ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار شاهد ۱۱۰/۳۸ درصد بود. با توجه به درصد بالای کربن آلی در ورمی‌کمپوست مورد استفاده همچنان که انتظار می‌رفت، بکارگیری آن در خاک باعث افزایش کربن آلی خاک گردید. مشاهده شد با کاربرد به تنهایی ورمی‌کمپوست نسبت به کاربرد تلفیقی و کود شیمیایی، کربن آلی خاک افزایش بیشتری پیدا کرده است. دلیل این امر به فعالیت آنزیمی بیشتر (دی‌هیدروژناز، فسفاتاز، اوره‌از، بتا-گلوکوسیداز، آریل‌سولفاتاز) و میکروارگانسیم‌های فعال‌تر خاک نسبت داده می‌شود (آداک و همکاران ۲۰۱۴). تغلیظ بیشتر نمک در محلول خاک از طریق کاهش تعداد کلنی‌های باکتری، قارچ و همچنین کرم‌های خاکی دلیل کاهش میزان ماده آلی خاک با کاربرد کودهای شیمیایی می‌باشد (سینگ و همکاران ۲۰۱۳). فورتونا و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند ترکیبات ورمی‌کمپوست، کربن آلی خاک را تا ۴۵ گرم بر کیلوگرم افزایش و بدین‌گونه سبب بهبود پایداری ساختار خاک و به ویژه خاکدانه‌های درشت شد.

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) بیان‌گر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از لحاظ جرم مخصوص ظاهری می‌باشد. بین گروه شیمیایی (T_1+T_5) با $(T_2+T_3+T_4)$ ، (T_1+T_5) با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ، $(T_2+T_3+T_4)$ با $(T_9+T_{10}+T_{11})$ ،

خصوصیات فیزیکی خاک، افزایش توسعه ریشه در نتیجه کربن آلی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، حاصل‌خیزی بالای خاک و تعادل عناصر غذایی حاصل شد.

کردند و بیشترین اثر را به تیمار تلفیقی ورمی کمپوست و کود شیمیایی نسبت دادند، آن‌ها همچنین بیان کردند که کود شیمیایی به‌تنهایی تأثیر چندانی در کاهش جرم مخصوص ظاهری ندارد. زمانی که ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی با هم مصرف شدند، بهبود

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسات گروهی پارامترهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و کربن آلی خاک.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
کربن آلی	فسفر	pH	نیتروژن		
۰/۰۵۸**	۱/۱۸**	۰/۰۴**	۰/۰۰۰۲۴**	۳	تکرار
۰/۴۱**	۳۵/۶۳**	۰/۰۸**	۰/۰۰۲**	۱۰	تیمار
۱/۲۷**	۱۵۳/۲**	۰/۳۵**	۰/۰۰۷**	۱	T ₁ +T ₅ vs T ₂ +T ₃ +T ₄
۱/۳۷**	۲۰۳/۶**	۰/۳۷**	۰/۰۰۸**	۱	T ₁ +T ₅ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁
۰/۰۰۲ ^{ns}	۴/۴۶**	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۱	T ₂ +T ₃ +T ₄ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁
۰/۱۱**	۱/۷۰*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۳ ^{ns}	۱	T ₂ +T ₃ +T ₄ vs T ₆ +T ₇ +T ₈
۰/۰۸**	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۱	T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁ vs T ₆ +T ₇ +T ₈
۰/۸۵**	۹۷/۳۸**	۰/۲۱**	۰/۰۰۵**	۱	T ₁ vs T ₂ +T ₃ +T ₄
۰/۷۹**	۱۲۵/۴۸**	۰/۲۳**	۰/۰۰۵**	۱	T ₅ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁
۰/۰۰۴	۰/۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۰۲	۳۰	خطای آزمایش
۴/۹۵	۴/۸۷	۱/۷۳	۴/۴۳		ضریب تغییرات (درصد)

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه.

تیمار	نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	pH	کربن آلی (%)
T1	۰/۰۸ e	۴/۸۹ e	۸/۱۳۸ a	۰/۸۵ g
T2	۰/۱۰ d	۸/۵۶ d	۷/۹۷ b	۱/۱۲ f
T3	۰/۱۲ c	۱۰/۳۶ c	۷/۸۷ c	۱/۳۵ d
T4	۰/۱۴ b	۱۲/۸۴ a	۷/۷۶ de	۱/۶۹ b
T5	۰/۰۹ e	۴/۹۸ e	۸/۱۴ a	۰/۸۹ g
T6	۰/۱۱ d	۹/۲۳ d	۷/۹۵ b	۱/۲۳ e
T7	۰/۱۳ c	۱۰/۸۶ c	۷/۸۰ cd	۱/۵۲ c
T8	۰/۱۶ a	۱۳/۲۷ a	۷/۷۰ e	۱/۸۴ a
T9	۰/۱۱ d	۹/۱۸ d	۷/۹۷ b	۱/۱۴ ef
T10	۰/۱۳ c	۱۱/۷۲ b	۷/۸۲ cd	۱/۴۳ d
T11	۰/۱۴ b	۱۳/۷۰۷ a	۷/۸۰ c	۱/۶۵۷ b

حروف لاتین مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD است.

شیمیایی (T₁+T₅) با (T₂+T₃+T₄)، (T₁+T₅) با (T₉+T₁₀+T₁₁)، T₅ با (T₂+T₃+T₄) و T₅ با (T₉+T₁₀+T₁₁) تفاوت معنی‌دار ولی تفاوت بین تیمارهای تلفیقی

تخلخل کل خاک

تخلخل کل خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر

تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۶). بین گروه

کاربرد ورمی کمپوست، افزایش تخلخل قابل توجه است (جدول ۷). از طرفی کودهای آلی به علت کاهش بیشتر جرم مخصوص ظاهری نسبت به جرم مخصوص حقیقی در خاک باعث افزایش تخلخل خواهند شد (فتح‌العلومی و اصغری ۱۳۹۳). باساک و همکاران (۲۰۱۳) افزایش تخلخل خاک را به افزایش تعداد منافذی با اندازه ۳۰-۵۰ و ۵۰۰-۵۰۰ میلی‌میکرون و کاهش منافذ با اندازه بالای ۵۰۰ میلی‌میکرون بر اثر کاربرد کود آلی نسبت دادند. افزایش منافذ درون خاکدانه‌ای (منافذ مزو و میکرو) در مقایسه با منافذ بین خاکدانه‌ای (منافذ ماکرو) ناشی از افزایش ماده آلی در خاک به دلیل کود آلی منجر به افزایش تخلخل خواهد شد. زیرا جرم مواد آلی پنج برابر سبک‌تر از مواد معدنی خاک است و مقدار اندکی از مواد آلی تأثیر شدیدی روی فضای منافذ خاک دارد (فتح‌العلومی و اصغری ۱۳۹۳). مشابه با نتایج حاصل از این پژوهش هیدالگو و همکاران (۲۰۰۶) افزایش تخلخل خاک را با به کارگیری ورمی کمپوست در خاک گزارش کردند آن‌ها همچنین اثر کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی را در میزان تخلخل خاک نسبت به شاهد، فاقد اختلاف معنی‌دار اعلام کردند.

($T_2+T_3+T_4$) با ($T_6+T_7+T_8$)، ($T_9+T_{10}+T_{11}$) با ($T_6+T_7+T_8$) و ($T_2+T_3+T_4$) با ($T_9+T_{10}+T_{11}$) معنی‌دار نبود (جدول ۶). تخلخل کل با کاربرد ۷ تن ورمی کمپوست (T_8)، ۵۰ درصد کود شیمیایی NPK به‌علاوه ۷ تن ورمی کمپوست (T_4) و کل نیاز کودی منهای عناصر موجود در ۷ تن ورمی کمپوست (T_{11}) به‌ترتیب ۲۴/۳۳، ۲۱/۵۹ و ۲۰/۶۳ درصد نسبت به تیمارهای شیمیایی (T_5 و T_1) افزایش یافت (جدول ۷). تیمارهای تلفیقی ۱۰ و ۳ با تیمار آلی ۷ در یک گروه آماری و در رتبه سوم واقع شدند. در بین تیمارهای ارگانیکی و تلفیقی، کمترین میزان تخلخل کل به تیمارهای ۲، ۶ و ۱۰ تعلق داشت. با این وجود میزان تخلخل خاک با کاربرد این تیمارها نسبت به تیمارهای شیمیایی ۹/۸۱ درصد افزایش پیدا کرد. افزایش تخلخل با کاربرد ورمی کمپوست مربوط به اسفنجی شدن خاک و افزایش درصد خلل و فرج، تجمع خاکدانه‌ها در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید پلی‌ساکاریدها است، که به عنوان سیمان میان ذرات خاک عمل کرده و یا احتمالاً به سبب میسیلیوم‌های قارچی باشد (یانگ و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به همبستگی منفی تخلخل با جرم مخصوص ظاهری خاک و با توجه به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در نتیجه افزایش ماده آلی با

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک.

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
تخلخل کل	جرم مخصوص ظاهری		
۱۷/۷۲**	۰/۰۰۱**	۳	تکرار
۵۳/۹۶**	۰/۰۰۷**	۱۰	تیمار
۲۱۵/۹**	۰/۰۳**	۱	T_1+T_5 vs $T_2+T_3+T_4$
۲۴۸/۶**	۰/۰۵**	۱	T_1+T_5 vs $T_9+T_{10}+T_{11}$
۱/۴۳ ^{ns}	۰/۰۰۱**	۱	$T_2+T_3+T_4$ vs $T_9+T_{10}+T_{11}$
۳/۶ ^{ns}	۰/۰۰۱**	۱	$T_2+T_3+T_4$ vs $T_6+T_7+T_8$
۰/۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۱*	۱	$T_9+T_{10}+T_{11}$ vs $T_6+T_7+T_8$
۱۴۶/۹۶**	۰/۰۲**	۱	T_1 vs $T_2+T_3+T_4$
۱۴۳/۰۷**	۰/۰۲**	۱	T_5 vs $T_9+T_{10}+T_{11}$
۱/۱۶	۰/۰۰۰۰۳	۳۰	خطای آزمایش
۲/۰۸	۱/۰۱		ضریب تغییرات (درصد)

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

عناصر منگنز، آهن و روی قابل جذب خاک

بین تیمارهای آزمایش از لحاظ عناصر کم‌مصرف تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۸). بین همه گروه‌های تیماری به استثنای (T₉+T₁₀+T₁₁) با (T₆+T₇+T₈) تفاوت معنی‌داری از لحاظ روی مشاهده شد (جدول ۸). بالاترین غلظت روی (۵/۸۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با کاربرد ۷ تن ورمی کمپوست حاصل شد و کمترین میزان آن هم در تیمارهای مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد NPK مشاهده شد.

با استفاده از تیمار آلی ۷ تن ورمی کمپوست نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، غلظت روی به ترتیب ۴۳۴/۰۹ و ۴۰۸/۶۵ درصد افزایش یافت. تیمارهای تلفیقی ۱۱ و ۴ در رتبه دوم واقع شدند. همچنین تیمارهای تلفیقی ۳، ۱۰ و تیمار آلی ۷ در یک گروه آماری و در رتبه سوم قرار گرفتند. از لحاظ منگنز نیز تفاوت بین گروه‌های تیماری روندی شبیه به روی داشت (جدول ۹).

جدول ۷- میانگین تیمارهای مورد مطالعه از لحاظ جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک.

تیمار	جرم مخصوص ظاهری (g cm ⁻³)	تخلخل کل (%)
T1	۱/۴۱۱ a	۴۵/۶۸ f
T2	۱/۳۳۲ b	۵۰/۱۲ e
T3	۱/۳۱۴ bc	۵۲/۰۲ cd
T4	۱/۲۹۲ cd	۵۵/۹۰ ab
T5	۱/۳۹۰ a	۴۶/۲۷ f
T6	۱/۳۱۷ bc	۵۰/۵۰ de
T7	۱/۳۰۶ c	۵۲/۷۳ c
T8	۱/۲۷۵ d	۵۷/۱۶ a
T9	۱/۳۰۹ bc	۵۰/۸۵ de
T10	۱/۲۹۵ cd	۵۳/۱۰ c
T11	۱/۲۹۲ cd	۵۵/۴۶ ab

حروف لاتین مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD است.

میزان منگنز خاک با کاربرد تیمارهای تلفیقی و ارگانیکی نسبت به تیمارهای شیمیایی روند افزایشی نشان داد. حداکثر میزان منگنز با کاربرد ۷ تن در هکتار ورمی کمپوست حاصل شد و بعد از آن تیمار تلفیقی ۱۱ قرار داشت. تیمارهای تلفیقی ۴، ۷ و ۱۰ هم در یک گروه آماری و در رتبه سوم واقع شدند. در بین تیمارهای تلفیقی و آلی کمترین میزان غلظت منگنز به تیمارهای ۲ و ۶ مربوط بود ولی با این وجود نسبت به تیمارهای شیمیایی برتر بودند. از لحاظ آهن بین همه گروه‌های تیماری به استثنای (T₉+T₁₀+T₁₁) با (T₆+T₇+T₈) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۸). آهن هم روندی شبیه منگنز داشت به طوری که در تیمار آلی ۷ تن

ورمی کمپوست حداکثر آهن (۱۶/۱۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد که نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی ۱۱۷/۰۴ و ۱۱۵/۷۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۹). بعد از آن تیمارهای تلفیقی ۱۱ و ۴ قرار گرفتند. به طور کلی با افزایش کاربرد ورمی کمپوست میزان عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز افزایش معنی‌داری پیدا کرده‌اند. این افزایش از آنجایی دارای اهمیت است که ۳۷ درصد خاک‌های ایران کمبود آهن، ۴۰ درصد کمبود روی و ۲۵ درصد دچار کمبود منگنز قابل جذب هستند (بالایی و همکاران ۱۳۸۰). یکی از دلایل کمبود عناصر کم‌مصرف به کاربرد بالای کود شیمیایی NPK نسبت داده می‌شود

خاک تیمار شده با مواد آلی است. با مصرف ورمی‌کمپوست و کاهش pH در طولانی‌مدت افزایش عناصر کم‌مصرف قابل انتظار است (جعفرزاده و همکاران ۱۳۹۱). زیرا براساس نظریه بمب زمان، ریزمغذی‌ها در خاک‌های تیمار شده با مواد آلی با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای گیاه افزایش می‌یابد، اسیدی شدن خاک به دنبال تجزیه مواد آلی و اکسایش گوگرد دلیل این امر می‌باشد (تجادا و همکاران ۲۰۰۹).

(چاکمک ۲۰۰۲). بنابراین کاربرد ورمی‌کمپوست در تلفیق با کود شیمیایی آن هم به صورت بهینه یک استراتژی مهم جهت افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در خاک‌های آهکی با pH بالا و ماده آلی پایین می‌باشد. افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در خاک را می‌توان به زیاد بودن محتوای این عناصر در ورمی‌کمپوست نسبت داد (یانگ و همکاران ۲۰۱۵). به علاوه بیشتر شدن غلظت منگنز، شکل‌های تبادلی، آلی و متصل به ترکیبات غیربلوری آهن مسبب زیاد شدن غلظت این عنصر در

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی هدایت الکتریکی، منگنز، آهن، روی خاک و عملکرد گندم.

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	منگنز	آهن	روی	عملکرد دانه گندم
تکرار	۳	۱۱/۰۶**	۰/۲۸*	۰/۵۲*	۲۲۵۳۱۳/۶*
تیمار	۱۰	۳۴/۱۱**	۷/۴۶**	۹/۶۷**	۵۷۶۹۲۷۴/۸**
T ₁ +T ₅ vs T ₂ +T ₃ +T ₄	۱	۲۱/۸۷**	۱۱۸/۰۰۸**	۲۷/۶۲**	۱۹۸۷۲۵۶/۷**
T ₁ +T ₅ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁	۱	۲۷/۳۰**	۱۴۲/۰۰۶**	۳۷/۰۳**	۳۲۵۳۸۰۲۲/۳**
T ₂ +T ₃ +T ₄ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁	۱	۰/۳۷*	۱/۳۸ ^{ns}	۰/۸۵*	۲۳۰۵۳۵۲۰/۱**
T ₂ +T ₃ +T ₄ vs T ₆ +T ₇ +T ₈	۱	۰/۹۴**	۱۱/۰۱**	۲/۲۱**	۱۹۲۶۹۳/۷ ^{ns}
T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁ vs T ₆ +T ₇ +T ₈	۱	۰/۱۳ ^{ns}	۴/۵۸**	۰/۳۱ ^{ns}	۲۷۴۶۱۵۵۲/۳**
T ₁ vs T ₂ +T ₃ +T ₄	۱	۱۴/۶۵**	۷۴/۴۲**	۱۷/۶۶**	۴۹۹۲۳۰۰**
T ₅ vs T ₉ +T ₁₀ +T ₁₁	۱	۱۶/۰۰۸**	۸۸/۰۲**	۲۲/۶۸**	۱۱۴۹۰۰۳۶/۲**
خطای آزمایش	۳۰	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۱۷	۷۰۳۴۶/۳
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۱۳	۲/۷۵	۱۲/۵۴	۶/۱۸

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۹- میانگین تیمارها از لحاظ عناصر کم‌مصرف روی، منگنز، آهن و عملکرد دانه گندم.

تیمار	روی	منگنز	آهن	عملکرد دانه گندم
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		(kg ha ⁻¹)
T1	۱/۱ e	۷/۵۰ f	۷/۴۴ f	۲۶۳۴ i
T2	۲/۲۵ d	۸/۷۸ e	۱۰/۳۲ e	۳۰۰۴ gh
T3	۳/۵۴ c	۹/۶۳ d	۱۲/۳۶ d	۳۸۶۴ fg
T4	۴/۷۷ b	۱۰/۷۳ c	۱۴/۶۰ bc	۴۴۰۵ d
T5	۱/۱۵ e	۷/۶۵ f	۷/۴۹ f	۳۹۲۸ ef
T6	۲/۷۱ d	۸/۷۱ e	۱۱/۲۰ e	۳۲۱۷ h
T7	۳/۸۱ c	۹/۸۸ d	۱۳/۹۸ c	۳۷۳۳ fg
T8	۵/۸۷ a	۱۱/۷۵ a	۱۶/۱۶ a	۴۲۸۶ de
T9	۲/۷۶ d	۸/۸۵ e	۱۰/۶۹ e	۴۹۹۵ c
T10	۳/۷۰ c	۹/۸۷ d	۱۲/۸۳ d	۵۸۴۹ b
T11	۵/۲۴ b	۱۱/۱۸ b	۱۵/۲۰ b	۶۸۰۹ a

حروف لاتین مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD است.

عملکرد دانه گندم

تجزیه واریانس تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از لحاظ عملکرد دانه گندم را نشان می‌دهد (جدول ۸). بالاترین عملکرد دانه گندم به T_{11} و بعد از آن به T_{10} و کمترین میزان هم به تیمار T_1 تعلق داشت (جدول ۹). افزایش عملکرد در تیمار تلفیقی T_{11} نسبت به تیمار T_5 ، ۷۳/۳۴ درصد بود. ورمی کمپوست به دلیل وجود قارچ، باکتری، مخمر و اکتینومیست‌ها فعالیت میکروبی داشته که این ریزموجودات می‌توانند علاوه بر بهبود جذب عناصر غذایی از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها، اتیلن و اسید آبسزیک تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد گیاه داشته باشند. همچنین افزایش عملکرد در سیستم تلفیقی را می‌توان به فراهمی بیشتر عناصر غذایی بویژه نیتروژن در طول فصل به دلیل آزادسازی تدریجی از کود آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک (جدول ۷) نسبت داد. همچنین اضافه نمودن نیتروژن معدنی به گیاه در شرایط حساس رشد مانند ورود به فاز زایشی به عنوان عامل برتری تیمار تلفیقی در نظر گرفته می‌شود (دون و همکاران ۲۰۱۵). از آنجایی که عملکرد دانه ارتباط مستقیمی با ذخیره مواد فتوسنتزی در بافت‌های رویشی گیاه و انتقال مجدد آن به دانه‌ها دارد. با توجه به مناسب‌تر بودن فتوسنتز در طول فصل رشد در سیستم تلفیقی و ذخیره آن در بافت‌های گیاه، این عامل از دلایل افزایش عملکرد در سیستم تلفیقی محسوب می‌شود. کاهش عملکرد در سیستم آلی را نیز می‌توان به افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک به واسطه افزایش کربن خاک و افزایش نسبت کربن به نیتروژن و در نتیجه مصرف نیتروژن معدنی موجود و آزادسازی آهسته نیتروژن نسبت داد. کمتر بودن عملکرد در سیستم شیمیایی نیز به آبخویی نیتروژن

معدنی و کافی نبودن عناصر غذایی نسبت داده می‌شود (دون و همکاران ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با کاربرد ۷ تن در هکتار ورمی کمپوست به‌تنهایی و بعد از آن با کاربرد تیمارهای ۱۱ (مصرف ۷ تن ورمی کمپوست به‌علاوه نیاز کودی محصول منهای مقدار معادل کودشیمیایی موجود در ۷ تن ورمی کمپوست) و ۴ (مصرف ۵۰ درصد NPK به‌علاوه ۷ تن در هکتار ورمی کمپوست) بهبود پیدا کرد. به‌طوری که بیشینه نیتروژن، فسفر، عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز با مصرف ۷ تن ورمی کمپوست حاصل شد. همچنین کمترین pH و جرم مخصوص ظاهری و بیشترین تخلخل کل خاک هم به تیمار مذکور تعلق داشت. بالاترین عملکرد دانه گندم هم با کاربرد تیمار ۱۱ (مصرف ۷ تن ورمی کمپوست+ ۱۰۰ درصد کود شیمیایی منهای عناصر غذایی موجود در ۷ تن ورمی کمپوست) در نتیجه بهبود خواص فیزیکی خاک (کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل کل)، افزایش فسفر قابل جذب، نیتروژن و سایر عناصر کم‌مصرف حاصل شد. با توجه به اثرات سوء مصرف کودهای شیمیایی، جایگزینی ورمی کمپوست با بخشی از کودهای شیمیایی می‌تواند مفید و کاربردی باشد. لازم به ذکر است در کوتاه‌مدت کاربرد ورمی کمپوست همراه با کود شیمیایی نتایج بهتری نسبت به مصرف ورمی کمپوست به‌تنهایی دارد. ولی از دیدگاه آگرواکولوژیکی دستیابی به عملکردهای بالا هدف نهایی نیست، بلکه ثبات و پایداری خاک بایستی مدنظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

- احمدآبادی ز و قاجارسپانلو م، ۱۳۹۱. تأثیر کاربرد کودهای آلی روی برخی خواص فیزیکی خاک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۲، صفحه‌های ۹۹ تا ۱۱۶.
- بلالی م، ملکوتی م، ضیائی‌ان ع، خوگر ز، فرج نیا، کلهر م، لطف‌الهی م، گلچین ا، مجیدی ع، قادری ج و کاظمی طلاچی م، ۱۳۸۰. مقایسه روش‌های مختلف کاربرد عناصر کم‌مصرف بر عملکرد کمی و کیفی گندم آبی در استان‌های مختلف کشور. مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۵، شماره ۲، صفحه‌های ۱۵۳-۱۴۰.
- جعفرزاده ع، شیخاوندی ط، منتخبی کلجایی، نیشابوری مر و اصغری ش، ۱۳۹۱. تأثیر کاربرد کود گاوی پوسیده و ورمی‌کمپوست برخواص میکرومرفولوژیک در یک خاک لوم شنی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۴، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۵.
- فتح‌العلومی س و اصغری ش، ۱۳۹۳. اثرات لجن فاضلاب شهری اردبیل بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک درشت بافت زیر کشت گندم. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحه‌های ۱۸۳ تا ۱۶۹.
- ملکوتی م و غیبی من، ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- میرزایی تالارپشتی ر، کامبوزیا ج، صباحی ح و دامغانی ع، ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه فرنگی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۷، شماره ۱، صفحه‌های ۲۵۷ تا ۲۶۷.
- Adak T, Singha A, Kumar K, Shukla SK, Singh A and Kumar Singh V, 2014. Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2: 394-406.
- Angelova VR, Akova VI, Artinova NS and Ivanov KI, 2013. The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19: 958-971.
- Arancon NQ, Edwards CA and Bierman P, 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology* 97: 831-840.
- Azarmi R, Torabi M and Didar R, 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato field. *African Journal of Biothechnology* 7: 2397-2401.
- Basak BB, Biwas DR and Sharmistha P, 2013. Soil biochemical properties and quality as affected by organic manures and mineral fertilizers in soil under maize-wheat rotation. *Agrochimica* 57: 49-66.
- Blake GR and Hartge KH, 1986a. Bulk density. Pp. 363-375. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Blake GR and Hartge KH, 1986b. Particle density. Pp. 377-381. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Bremmer JM and Mulvaney CS, 1982. Total nitrogen. Pp. 599-622. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (ed.). *Method of Soil Analysis. Part II. Aragon Monogr*, 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Cakmack I, 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247: 3-24.
- Danielson RE and Sutherland PL, 1986. Porosity. Pp. 443-461. In: Klute A (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd. Agronomy Monograph*. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Doan TT, Henry-des-Tureaux T, Rumpel C, Janeau JL and Jouquet P, 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment* 514: 147-154.
- Fernández-Bayo JD, Nogales R and Romero E, 2009. Assessment of three vermicomposts as organic amendments used to enhance diuron sorption in soils with low organic carbon content. *European Journal of Soil Science* 60: 935-944.
- Fortuna A, Harwood R, Kizilkaya K and Paul EA, 2003. Optimizing nutrient availability and potential carbon sequestration in an agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 1005-1013.
- Hesse PR. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray, London.
- Hidalgo PR, Matta FB and Harkess RL, 2006. Physical and chemical properties of substrates containing earthworm castings and effects on marigold growth. *HortScience* 41 (6):1474-1476.
- Lindsay WL and Norvell WA, 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America, Proceedings* 42: 421-428.
- Manivannan S, Balamurugan M, Parthasarathi K, Gunasekaran G and Ranganathan LS, 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity- beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Environmental Biology* 30: 275-281.

- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-579. In: Page AL (Ed). Method of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Methods, Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Roppongi K, 1993. Residual effects of rice straw compost after continuous application to upland alluvial soil. Japanese Soil Science and Plant Nutrition 64: 417-422.
- Singh S, Singh R, Soni SK, Singh SP, Chauhan UK and Kalra A, 2013. Vermicompost from biodegraded distillation waste improves soil properties and essential oil yield of *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. Applied Soil Ecology 70: 48– 56.
- Tejada M, García-Martínez AM and Parrado J, 2009. Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. Catena 77: 238–247.
- Wahaba MM, 2007. Influence of compost on morphological and chemical properties of sandy soils. Egyptian Journal of Applied Siences Research 3: 1490-1493.
- Westerm RL, 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madison Wisconsin, USA.
- Yanga L, Zhaoa F, Changa Q, Li T and Li F, 2015. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. Agricultural Water Management 160: 98-105.