

## مقایسه خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و درجه رسیدگی ورمی کمپوست بدست آمده از کود گاوی تیمار شده با ملاس چغندر قند، تهویه و خاک

• آتنا میربلوک (نویسنده مسئول)

دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

• امیر لکزبان

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

• غلامحسین حق نیا

استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: تیر ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱۱۳۵۶۱۷

Email: alakzian@yahoo.com

### چکیده

استفاده از کرم های خاکی برای تبدیل ضایعات آلی و فضولات دامی به عنوان یک راه حل مناسب مورد توجه محققین و برنامه ریزان شهری و حافظین محیط زیست قرار گرفته است. هضم ضایعات آلی در لوله گوارش کرم های خاکی تغییرات شیمیایی و فیزیکی قابل توجهی را در ورمی کمپوست حاصله بوجود می آورد. در این مطالعه تاثیر عواملی نظیر ملاس چغندر قند، تهویه و خاک بر روی تغییرات شیمیایی، فیزیکی و شاخص های رسیدگی ورمی کمپوست بدست آمده از کود گاوی در نه تیمار مختلف در قالب یک طرح کاملا تصادفی در یک دوره ۱۰۰ روزه بررسی شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که کربن آلی کل (TOC) در همه تیمارهای آزمایش با گذشت زمان کاهش و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل افزایش یافت. همچنین افزایش معنی داری در غلظت نیترات، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در همه تیمارها در پایان دوره ۱۰۰ روزه مشاهده شد. اما میزان آمونیوم در انتهای دوره کاهش قابل توجهی یافت. در نتیجه فعالیت کرم های خاکی pH مواد اولیه کاهش و EC آن افزایش یافت. چگالی ظاهری و حقیقی در بین همه تیمارها افزایش و به دنبال آنها درصد منافذ کل کاهش پیدا کرد. در میان شاخص های بلوغ ورمی کمپوست میزان کربن محلول در آب (WSC)، نسبت  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ ، نسبت C/N و مجموع لیگنین و سلولز (ADF) در پایان دوره به طور معنی داری کاهش یافت.

کلمات کلیدی: *Eisenia fetida*، درجه رسیدگی ورمی کمپوست، ملاس چغندر قند، خاک، تهویه

Agronomy Journal (Pajouhesh &amp; Sazandegi) No 93 pp: 25-33

**Comparison of chemical, physical characteristics and maturity of produced vermicompost from cow manure treated with sugar beet molasses, aeration and soil**

By: A. Mirbolook, Msc Student in Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding Author; Tel: +989151135617) A. Lakzian, Assistant Professor, GH. Haghnia, Professor of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad.

It has been considered by environmental researchers and municipal managers, that earthworms can be used to convert organic waste and animal excreta to vermicompost. Organic matters change markedly in the earthworm's digestion system. In this study, the effect of sugar beet molasses, aeration, and soil on chemical-physical properties and maturity of vermicompost was investigated. This experiment was carried out using nine different treatments with three replications in a completely randomized design. The results showed that total organic carbon (TOC) decreased but total nitrogen, phosphorus and potassium increased during 100 days of incubation. In addition, nitrate concentration and available phosphorus and potassium increased in all treatments at the end of 100 days incubation. The amount of ammonium decreased noticeably. Electrical conductivity (EC) of all treatments increased but their acidity decreased. Bulk and particle density increased but total porosity of all treatments decreased significantly. Water soluble carbon (WSC), ADF (Lignin + Cellulose),  $\text{NH}_4:\text{NO}_3$  and C:N (maturity indices) decreased in all treatments.

**Key words:** *Eisenia fetida*, Sugar beet molasses, Aeration, Soil, Maturity, Vermicompost

این ها بر اثر رابطه متقابل بین میکروارگانیزم ها با کرم های خاکی به وجود می آیند (۳، ۱۴، ۲۷). نکته مهمی که در استفاده از ورمی کمپوست باید مورد توجه قرار گیرد ارزیابی پایداری و شاخص های رسیدگی ورمی کمپوست است. تغییرات زیستی و شیمیایی که در طول فرایند تولید ورمی کمپوست اتفاق می افتد، منجر به رسیدگی آن می شود (۲۱). شاخص های زیادی برای بررسی رسیدگی کمپوست و ورمی کمپوست وجود دارد. چا نیاساک و همکاران (۱۹۸۲) نسبت کربن آلی به نیتروژن (C/N) را در عصاره کمپوست بدست آمده از ضایعات شهری اندازه گیری کرده و عدد ۵/۶ بدست آمده را به عنوان یک شاخص برای رسیدگی این نوع کمپوست معرفی کردند. ولی بعدها مشخص شد که یک پارامتر به تنهایی نمی تواند بیانگر رسیدگی کمپوست باشد (۱۰). علاوه بر شاخص C/N، میزان کربن محلول در آب (WSC)، نسبت آمونیوم به نیترات و میزان سلولوز و همی سلولوز محصول نهایی از مهم ترین فاکتورهای رسیدگی کمپوست محسوب می شوند (۲۳، ۲۵). قطعاً تغییر فعالیت و رشد و نمو کرم های خاکی نیز روی رسیدگی ورمی کمپوست تاثیر گذار است اما تا کنون روی این موضوع گزارشی ارائه نشده است که عواملی نظیر غنی سازی بستر کرم خاکی، بهبود شرایط تهویه و هضم مواد آلی چه تغییراتی را در پروسه رسیدگی ورمی کمپوست ایجاد می کنند. به همین منظور در این مطالعه تاثیر عواملی مثل ملاس چغندر قند، تهویه و خاک روی تغییرات شیمیایی، فیزیکی و درجه رسیدگی ورمی کمپوست حاصله از کود گاوی در یک دوره ۱۰۰ روزه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

**مواد و روش ها**

کود گاوی از یک گاوداری واقع در کیلومتر ۵ جاده کلات مشهد تهیه و به منظور خروج آمونیاک دو مرتبه با آب شهری شسته شده و سپس به آزمایشگاه منتقل گردید. کرم های خاکی گونه *Eisenia fetida* از موسسه

**مقدمه**

در صنعت پرورش حیوانات اهلی بویژه گاوداری های صنعتی حجم عظیمی از ضایعات آلی تولید می شود که با بهره گیری مفید از این ضایعات آلی می توان امکان بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی و حفظ حاصلخیزی خاک را فراهم کرد (۲، ۶). امروزه از کرم های خاکی برای تبدیل این ضایعات استفاده می کنند (۱۱) زیرا کرم های خاکی ضمن مصرف مواد آلی بخش وسیعی از مواد آلی را به شکل ماده آلی سیاه رنگ (Cast) دفع می کنند که به کمپوست حاصله از فعالیت های کرم خاکی ورمی کمپوست می گویند (۲۴). به دلیل تغییرات شیمیایی و فیزیکی و تغییر میکروفلورای مواد دفعی ورمی کمپوست از ویژگی های منحصر به فردی برای رشد گیاه برخوردار است (۱، ۲۸). شاید بتوان گفت از مهم ترین مزایای مواد دفعی کرم های خاکی در مقایسه با کمپوست معمولی، فراهمی بیشتر عناصر غذایی برای گیاه می باشد که این عمل با افزایش شدت معدنی شدن مواد آلی در لوله گوارش کرم های خاکی رخ می دهد. افزایش فرایند معدنی شدن به دلیل نقش های تحریک کننده کرم های خاکی در فرایندهای تجزیه و تبدیل مواد بوده و در نهایت ورمی کمپوست بدست آمده ترکیبی پایدار و یکنواخت است و آلودگی های کمتری نسبت به مواد اولیه دارد (۲۹). ورمی کمپوست به عنوان یک ماده اصلاح کننده خاک ها مطرح است و خصوصاً به عنوان یک ماده قابل استفاده در محیط های کشت گلدانی استفاده می شود. کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش جوانه زنی، رشد، تولید بیشتر دانه و در کل افزایش عملکرد محصولات زراعی می شود. افزایش در رشد گیاه بعد از کاربرد ورمی کمپوست به دلیل ایجاد تغییرات مفیدی در بستر رشد گیاه است. این تغییرات شامل تغییر در ساختمان خاک، قابلیت دسترسی آب، افزایش قابلیت دسترسی عناصر کم مصرف و پر مصرف، تحریک فعالیت های میکروبی، افزایش فعالیت های آنزیمی و تولید هورمون های محرک رشد است که همه

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که میزان pH در همه تیمارها به مرور زمان به طور معنی داری کم شده و به طرف شرایط اسیدی تغییر کرد (جدول ۱). به نظر می رسد که کاهش pH در محصول نهایی به دلیل تولید CO<sub>2</sub> و اسیدهای آلی توسط میکرو ارگانیسم ها و کرم های خاکی باشد. از دیگر دلایل کاهش pH که توسط Gunadi در سال ۲۰۰۲ عنوان شده تبدیل بیولوژیکی مواد آلی به انواع مواد حد واسط و معدنی شدن شدید نیتروژن به نترات، نیتريت و فسفر به ارتو فسفات می باشد (Lee و Loh (۲۰۰۵)). در بررسی تغییرات pH ورمی کمپوست کود گاوی و بزى تغییر pH را از حالت خنثی تا قلیایی به طرف شرایط اسیدی معرفی کردند (۲۴) که البته این نتایج توسط Ndegwa و Gary نیز بدست آمد (۲۸، ۱۶). افزایش تدریجی EC در تمامی تیمارها نیز مشاهده شد. به نظر می رسد که آزادی یون های قابل دسترس حاصل از تجزیه مواد آلی در طی فرایندهای هضم و دفع کرم های خاکی می تواند دلیلی بر افزایش EC در تیمارها باشد (جدول ۱).

کربن آلی کل (TOC) به طور معنی داری با گذشت زمان در همه تیمارها نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۲). کربن به دلیل تنفس کرم های خاکی و میکروارگانیسم های موجود در بستر به صورت CO<sub>2</sub> متصاعد شده و از میزان آن کاسته می شود. کاهش کربن در تیمارهای مختلف بین ۲۳ تا ۳۶ درصد بود. تیمار شاهد کمترین میزان کاهش در کربن (۱۹/۸ درصد) و ماکزیمم کاهش کربن هم در تیمار CWSAM با ۳۶ درصد مشاهده شد. به نظر می رسد به دلیل جمعیت و فعالیت بیشتر کرم های خاکی در اثر شرایط تغذیه ای مناسب در این تیمار میزان کربن آلی کاهش قابل توجهی پیدا کرده است. محققین دیگر نیز کاهش ۲۰ تا ۴۰ درصدی کربن را در طول فرایند تولید ورمی کمپوست از انواع مختلف ضایعات گزارش کردند (۱۶، ۱۳). نتایج حاصل از آزمایش Bhardwaj و Tripathi (۲۰۰۴) نیز نشان داد که میزان کربن در تیمار شاهد (بدون حضور کرم های خاکی) کمترین کاهش را داشته است (۳۷).

مقدار نیتروژن کل (TN) بر خلاف کربن آلی در تیمارهای مختلف آزمایش با گذشت زمان افزایش پیدا کرد. مقدار نیتروژن کل در گستره ای بین ۳/۵ تا ۹ گرم در کیلوگرم متغیر بود که این مقادیر به ترتیب متعلق به تیمار شاهد و تیمار CWSAM بود (جدول ۲). به نظر می رسد که یکی از دلایل مهم افزایش نیتروژن کاهش میزان کربن کل باشد که بدلیل فعالیت کرم های خاکی و تجزیه مواد آلی حاصل می شود. وجود ملاس چغندر قند جمعیت و بیومس کرم های خاکی را افزایش می دهد که بیشترین مقدار افزایش نیتروژن هم در تیمارهای CWSAM و CWSM مشاهده شد. ترشح مواد نیتروژن دار، هورمون های محرک رشد و آنزیم های ترشحی توسط کرم های خاکی نیز از عوامل موثر در افزایش نیتروژن عنوان شده است (۳۵). Hartenstein (۱۹۸۱) گزارش کرد که کاهش pH فاکتور مهمی در حفظ نیتروژن است چراکه این عنصر در pH های قلیایی به صورت گاز آمونیاک تبخیر می شود (۱۹). اما به نظر می رسد مهم ترین دلیل افزایش نیتروژن ورمی کمپوست، معدنی شدن مواد آلی باشد. برای بررسی این امر، تغییرات میزان نترات و آمونیوم در کلیه تیمارها در طول مدت آزمایش در چهار نوبت اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که میزان نترات در همه تیمارها با گذشت زمان افزایش و میزان آمونیوم کاهش می یابد. افزایش در میزان نترات بین ۳۱۰ تا ۶۱۰ میلی گرم در کیلوگرم

تحقیقات آب و خاک تهران تهیه و به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی مشهد منتقل شد. آزمایش با نه تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

- ۱- ۱۰۰ درصد کود گاوی (C)،
- ۲- ۱۰۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی (CW)،
- ۳- ۹۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد خاک (CWS)،
- ۴- ۱۰۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + تهویه (CWA)،
- ۵- ۹۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد ملاس چغندر قند (CWM)،
- ۶- ۹۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد خاک + تهویه (CWSA)،
- ۷- ۸۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد خاک + ۱۰ درصد ملاس چغندر قند (CWSM)،
- ۸- ۹۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد ملاس چغندر قند + تهویه (CWAM)،

۹- ۸۰ درصد کود گاوی + کرم خاکی + ۱۰ درصد خاک + ۱۰ درصد ملاس چغندر قند + تهویه (CWSAM). پس از تهیه تیمارها تعداد ۲۰ عدد کرم بالغ با مجموع وزن ۸/۵ گرم به هر گلدان دو کیلوگرمی از تیمارهای فوق اضافه شدند. همه گلدان ها در یک اتاق تاریک در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت نگهداری آب به مدت ۱۰۰ روز نگهداری شد. برای اعمال تیمار هوادهی روزانه در دو نوبت (نیم ساعت) از یک کمپرسور استفاده شد.

در پایان هر دوره زمانی (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز بعد از اینکوباسیون) نمونه ای یکنواخت از کود داخل گلدان ها برداشته و تجزیه های شیمیایی و فیزیکی بر روی نمونه های هوا خشک انجام شد. درصد کربن آلی کل با متد Walkley و Black (۱۹۳۴) و کربن محلول در آب (WSC) بعد از عصاره گیری با آب مقطر با دستگاه TOC متر اندازه گیری شدند (۳۸). میزان نیتروژن کل بعد از هضم نمونه ها با اسید سولفوریک غلیظ با دستگاه کج لیدال اندازه گیری شد (۷). نترات بعد از عصاره گیری با سولفات مس با دستگاه یون متر مدل METROHM ۷۸۱ و آمونیوم بعد از عصاره گیری با کلرید پتاسیم با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل WPA-S2000 اندازه گیری شد (۲۲). pH و EC در همه نمونه ها با استفاده از آب مقطر در نسبت ۱:۱۰ (وزنی) اندازه گیری شد که برای این منظور همه نمونه ها به صورت مکانیکی به مدت ۳۰ دقیقه شیک و از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ عبور داده شدند و به منظور تعیین فسفر و پتاسیم کل، نمونه ها با مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ هضم شده و به ترتیب با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل WPA-S2000 در طول موج ۶۳۰ نانومتر و دستگاه فلیم فوتومتر مدل JENWAY PFP7 اندازه گیری شدند. فسفر قابل دسترس با متد Olsen (۱۹۵۴) و پتاسیم قابل دسترس با متد Simard (۱۹۹۳) تعیین شدند (۳۰، ۳۶). میزان لیگنین و سلولز با استفاده از متد Rowland (۱۹۹۴) تعیین شدند (۳۲). در بین پارامترهای فیزیکی وزن مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه مدرج، وزن مخصوص حقیقی به کمک پیکنومتر و درصد کل منافذ با فرمول Inbar (۱۹۹۳) تعیین شدند (۲۰). نتایج حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار MINTAB بر مبنای طرح کاملاً تصادفی مورد آنالیز قرار گرفت. میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن و مقایسات متعامد در سطح معنی داری ۰/۰۵ با استفاده از نرم افزار MSTATC مقایسه شدند.

منافذ می شود که این امر منجر به تغییر توزیع فاصله منافذ در توده کود شده که نتیجه آن کاهش میزان منافذ دارای هوا و افزایش میزان نگهداری آب در ورمی کمپوست است. در بین شاخص های رسیدگی و پایداری ورمی کمپوست نسبت C/N، نسبت WSC،  $NH_4/NO_3$  و ADF (مجموع لیگنین و سلولز) مورد ارزیابی قرار گرفتند. کربن محلول در آب (WSC) یکی از شاخص های ارزیابی رسیدگی کمپوست می باشد. معمولاً زمانی که کربن محلول در آب کمتر از ۰/۵ باشد کمپوست رسیده تلقی می شود (۱۵،۵). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که مقدار کربن محلول در آب در همه تیمارهای آزمایشی با گذشت زمان تغییر می کند ولی میزان کاهش در تیمارهای مختلف متفاوت بود. تیمار شاهد با ۰/۱۴ درصد و تیمار CWSAM با ۰/۲۴ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش را نشان دادند. سرعت کاهش کربن محلول در آب تا هفته هشتم بسیار شدید بود و سپس تا پایان آزمایش میزان کاهش کربن محلول در آب از سرعت کمتری برخوردار بود. میزان کربن محلول در آب در پایان دوره ۱۰۰ روزه در همه تیمارها کمتر از ۰/۴۲ بود. نسبت C/N یکی از مهم ترین شاخص های مورد استفاده برای رسیدگی ضایعات آلی است که توسط بسیاری از محققین مورد استفاده قرار می گیرد. در همه تیمارهای آزمایشی با گذشت زمان نسبت کربن به نیتروژن کاهش پیدا کرد. C/N نهایی در گستره ای بین ۱۶/۹۴ تا ۲۹/۷۵ به ترتیب در تیمارهای CWSAM و شاهد مشاهده شد. شکل ۱ تغییرات نسبت کربن به نیتروژن را در تیمارهای مختلف آزمایشی در زمان های صفر و ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز پس از آزمایش نشان می دهد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که حضور کرم خاکی در کاهش C/N بسیار تاثیر گذار بود اما تیمار تهویه و ملاس چغندر قند تاثیر کمتری بر روی C/N داشتند. کاهش نسبت C/N معمولاً با خروج  $CO_2$  و افزایش نیتروژن بر اثر تولید مواد موکوسی و دفع مواد نیتروژنی در همه تیمارها مشاهده شد که این نتیجه خارج از انتظار نبود. طبق نظر Senesi و همکاران (۱۹۸۹) کاهش نسبت C/N به کمتر از ۲۰ نشان دهنده افزایش درجه پایداری و رسیدگی کمپوست است (۳۴). در آزمایشی که توسط Levi- Minzi و همکاران (۱۹۸۶) برای تولید کمپوست از ضایعات خانگی انجام شد، گزارش شد که نسبت C/N بعد از گذشت سه ماه شروع به کاهش می کند، اما در این آزمایش کاهش C/N بعد از گذشت ۳۰ روز از زمان شروع آزمایش در همه تیمارها مشاهده شد. دلیل این امر شاید سرعت تجزیه بیشتر و افزایش شدت معدنی شدن مواد آلی در حضور کرم های خاکی باشد (۲۳). مشاهدات مشابهی نیز بوسیله Bansal و همکاران (۲۰۰۰) در این زمینه گزارش شده است (۲). نسبت بین فرم های معدنی نیتروژن نیز به عنوان یک معیار برای ارزیابی رسیدگی ورمی کمپوست مطرح است. در ارزیابی پایداری کمپوست یا ورمی کمپوست از نسبت  $NH_4/NO_3$  استفاده می شود که معمولاً این نسبت در پایان فرایند کمپوست شدن کاهش می یابد. Bernal و همکاران (۱۹۹۸) با مطالعه روی بیشتر ضایعات آلی عدد ۰/۱۶ را به عنوان حد شاخص رسیدگی کمپوست برای نسبت  $NH_4/NO_3$  معرفی کرده اند (۵). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در تیمارهای آزمایشی در همه موارد نسبت  $NH_4/NO_3$  پس از گذشت ۶۰ روز به کمتر از این حد مجاز رسیده است. هر چه نسبت  $NH_4/NO_3$  کمتر باشد یعنی فرایند نیتریفیکاسیون خیلی خوب در حال انجام است. شکل ۲ تغییرات نسبت

در بین تیمارها متغیر بود که بیشترین آن در تیمار CWSM و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. آمونیوم نیز در تیمار CWSAM بیشترین کاهش و در تیمار شاهد کمترین کاهش را نشان داد. Edwards و Atiyeh (۲۰۰۱) در مطالعه ای که بر روی ورمی کمپوست حاصل از کودهای خوک انجام دادند به نتایج مشابهی دست یافتند. و گزارش کردند که بیشتر نیتروژن معدنی در ورمی کمپوست در فرم نیترات بود در حالی که در شاهد بیشتر به فرم آمونیوم مشاهده شد (۱). از طرفی کاهش در میزان آمونیوم شاید یا به دلیل تبدیل شدن آن به نیترات باشد و یا به دلیل کم شدن pH، که منجر به از دست رفتن بیشتر آمونیوم به صورت گاز آمونیاک می شود (۴). با توجه به این نتایج به نظر می رسد که در فرایند تولید ورمی کمپوست عناصر غذایی به فرمهای قابل جذب برای گیاه تبدیل می شوند که در مورد نیتروژن فرم نیترات، شکل غالب این عنصر می باشد. تغییرات میزان فسفر و پتاسیم تیمارهای مختلف در شروع و پایان آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس به طور معنی داری در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافته است. فسفر قابل دسترس بین ۰/۷ تا ۳/۱ گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار CWM در پایان ۱۰۰ روز افزایش یافت. Mansell (۱۹۸۱) در آزمایشی روی تبدیل بقایای گیاهی به ورمی کمپوست مشاهده کرد که مقدار فسفر قابل دسترس بعد از هضم بوسیله کرم های خاکی به طور معنی داری افزایش یافته است (۲۶). همچنین Martein Satchell (۱۹۴۸) افزایش ۲۵ درصدی فسفر را در ضایعات صنعت کاغذ بعد از مصرف آنها توسط کرم های خاکی مشاهده کردند. دلیل آنها برای افزایش در فسفر به طور مستقیم به آنزیم های لوله گوارش کرم های خاکی و به طور غیر مستقیم بوسیله تحریک میکروفلورا معرفی شد (۳۳). از طرفی افزایش فسفر در طول فرایند تولید ورمی کمپوست می تواند به دلیل معدنی شدن و متحرک شدن فسفر براثر باکتری ها و فعالیت های آنزیمی از جمله آنزیم فسفاتاز در لوله گوارش کرم های خاکی نیز باشد (۱۲). با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش در پایان ۱۰۰ روز بیشتر فسفر کل به فرم های قابل دسترس تبدیل شده است که این میزان از ۳۷ درصد در تیمار شاهد تا ۶۱ درصد در تیمار CWM متغیر بود. پتاسیم قابل دسترس نیز در ورمی کمپوست حاصله به طور معنی داری در همه تیمارها افزایش یافت. در همه تیمارها بین ۵۸ تا ۸۸ درصد از پتاسیم کل به فرم های قابل دسترس تبدیل شده است. چگالی ظاهری در طول دوره تولید ورمی کمپوست در همه تیمارها به طور معنی داری با گذشت زمان افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می رسد که خرد شدن مواد در لوله گوارش کرم های خاکی در طی عمل هضم منجر به این افزایش شده است. الویرا و سامپدرو (۱۹۹۸) پس از بررسی تغییرات فیزیکی ورمی کمپوست، گزارش کردند که درصد ذرات کمتر از ۵ میلیمتر را مشاهده کرده که ۷۳ تا ۹۰ درصد کل ذرات را تشکیل می دادند. آنها گزارش کردند که یک واکنش مکانیکی در روده کرم های خاکی نسبت سطح به حجم ذرات را افزایش می دهد که این امر سبب افزایش چگالی می شود (۱۳). نتایج این تحقیق نشان داد که چگالی حقیقی بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۴ گرم بر سانتی متر مکعب افزایش یافت (جدول ۴) ولی میزان این افزایش کمتر از چگالی ظاهری بود. دلیل تغییرات چگالی حقیقی تغییر ماهیت مواد اولیه و تبدیل آنها به ورمی کمپوست با چگالی بیشتر می باشد. افزایش در چگالی ظاهری منجر به کاهش تدریجی میزان

چهار نوبت در تمامی تیمارهای آزمایش اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که میزان ADF با گذشت زمان کاهش پیدا کرد. شدت کاهش یا در واقع شدت میزان تجزیه در تیمارهای دارای ملاس چغندر قند بیشترین و در تیمارهای دارای خاک کمترین مقدار بود. کمترین کاهش با میزان ۱۹ درصد در تیمار CWS و بیشترین کاهش با مقدار ۵۱ درصد در تیمار CWAM مشاهده شد. Ramos و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه تبدیل ضایعات کاه و کلش گندم به کمپوست به نتایج مشابهی دست یافتند (۳۱). شکل ۳ تغییرات ADF را در تیمارهای مختلف آزمایش در فواصل زمانی ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز نشان می دهد.

$NH_4^+/NO_3^-$  را در زمان های مختلف نشان می دهد. لیگنین و سلولوز از شاخص های مهم ارزیابی رسیدگی ورمی کمپوست و کمپوست می باشد. میزان تجزیه این مواد در طول فرایند تولید ورمی کمپوست دارای اهمیت است. لیگنین شامل ترکیبات آروماتیک بوده که مقاومت بیشتری نسبت به تجزیه دارد و سلولوز شامل قندها، پرتئین ها و پلی ساکاریدها می باشد که به سهولت تجزیه می شوند (۸). میکروارگانیسم ها و کرم های خاکی موجود در بستر با کمک آنزیم های ویژه ای فرایند تجزیه این مواد را انجام می دهند. مجموع لیگنین و سلولوز با پارامتر جداگانه ای تحت عنوان ADF (ADF) Acid Detergent F bre تعریف می شود. مقادیر ADF در

جدول ۱- تغییرات میزان pH و EC در تیمارهای مختلف درمواد اولیه (IM) و محصول نهایی (FP)

تیمارها	pH		EC	
	IM	FP	IM	FP
C	۸/۰۹ a	۷/۷۳ b	۱/۰۶ a	۲/۵ b
CW	۸/۱ a	۷/۶۸ b	۱/۰۶ a	۳/۱ b
CWS	۷/۸۴ a	۷/۴۳ b	۱/۰۸ a	۲/۹۸ b
CWA	۸/۰۸ a	۷/۴ b	۱/۰۶ a	۳/۳ b
CWM	۸/۱ a	۷/۴۱ b	۲/۴۵ a	۴/۸۶ b
CWSA	۷/۸۳ a	۷/۲۱ b	۱/۰۸ a	۲/۸۲ b
CWSM	۷/۸۸ a	۷/۳۳ b	۲/۰۴ a	۵/۲ b
CWAM	۸/۰۸ a	۷/۲۲ b	۲/۵ a	۵/۳۲ b
CWSAM	۷/۸۸ a	۷/۲۴ b	۲/۰۱ a	۵/۲۸ b

جدول ۲- تغییرات میزان عناصر در تیمارهای مختلف درمواد اولیه (IM) و محصول نهایی (FP)

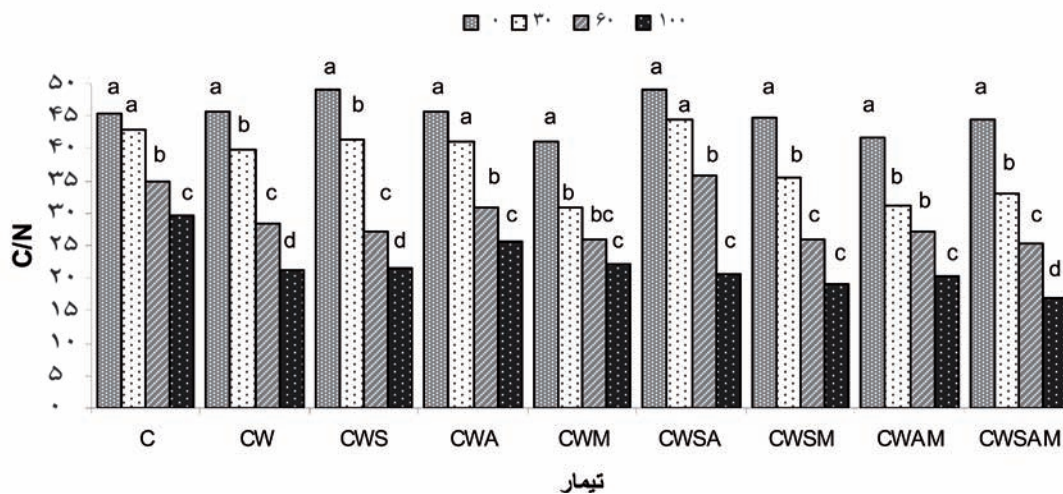
تیمارها	TOC (gr/kg)		TN (gr/kg)		$NO_3^-$ (mg/kg)		$NH_4^+$ (mg/kg)	
	IM	FP	IM	FP	IM	FP	IM	FP
C	۵۸۰/۲۳ a	۴۹۵/۳ b	۱۲/۷۷ a	۱۵/۶۴ b	۱۹۰ a	۵۲۰ b	۶۰/۲۶ a	۳۹/۶۵ b
CW	۵۸۰/۳۵ a	۴۴۱/۵ b	۱۲/۶۷ a	۲۰/۶۳ b	۱۹۰ a	۶۴۰ b	۶۰/۳۶ a	۳۵/۷۹ b
CWS	۵۷۳/۵ a	۴۰۵/۵ b	۱۱/۷ a	۱۸/۷۳ b	۲۸۰ a	۶۱۰ b	۶۱/۲۷ a	۳۲/۶۸ b
CWA	۵۷۹/۵۶ a	۴۱۰/۲ b	۱۲/۶۷ a	۱۶/۱ b	۱۹۰ a	۶۰۳ b	۶۰/۰۶ a	۲۹/۵ b
CWM	۵۸۵/۲ a	۴۰۲/۱ b	۱۴/۳ a	۱۸/۰۲ b	۳۵۰ a	۷۸۵ b	۶۴/۴۳ a	۳۲/۱ b
CWSA	۵۷۳/۵ a	۳۷۰/۱۲ b	۱۱/۷ a	۱۷/۸۱ b	۲۸۰ a	۸۰۵ b	۶۱/۲۸ a	۲۱ b
CWSM	۵۸۲/۳۵ a	۴۰۵/۲ b	۱۳ a	۲۱/۲۳ b	۲۹۰ a	۹۰۰ b	۶۹/۱۴ a	۳۷/۵ b
CWAM	۵۸۵/۸ a	۴۲۰/۲ b	۱۴/۱۱ a	۲۰/۷۵ b	۳۵۰ a	۸۴۱ b	۶۴/۶۴ a	۳۰ b
CWSAM	۵۸۱/۹۵ a	۳۷۰ b	۱۳/۱۱ a	۲۱/۸۴ b	۲۹۰ a	۸۲۵ b	۶۹/۳۶ a	۲۵/۳ b

جدول ۳- تغییرات میزان فسفر و پتاسیم کل و قابل دسترس در تیمارهای مختلف درمواد اولیه (IM) و محصول نهایی (FP)

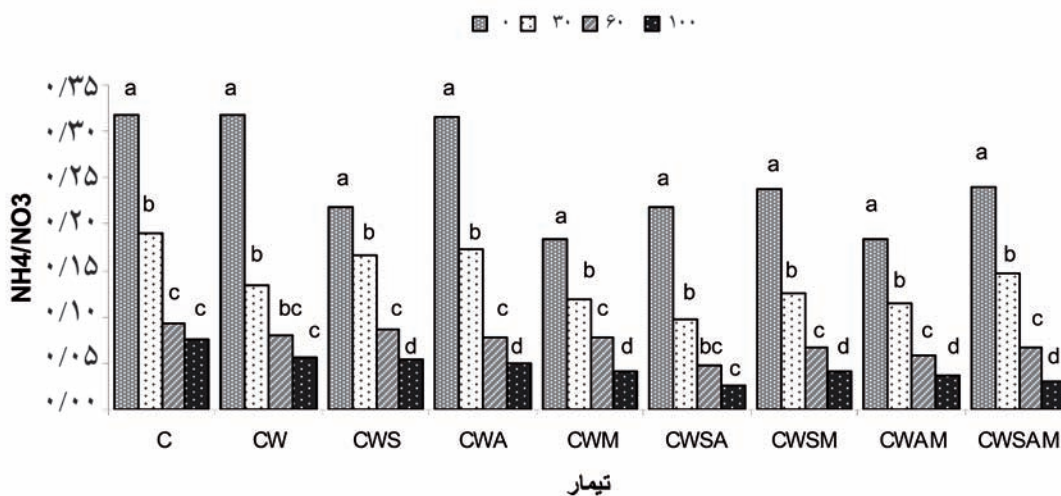
K <sup>+</sup> (gr/kg)		TK (gr/kg)		PO <sub>4</sub> <sup>-f</sup> (gr/kg)		TP (gr/kg)		تیمارها
FP	IM	FP	IM	FP	IM	FP	IM	
۱/۷ b	۱/۱۷ a	۲/۷۳ b	۱/۴۹ a	۳/۲ b	۲/۵ a	۸ b	۶/۶۲ a	C
۲/۹ b	۱/۱۷ a	۳/۹۷ b	۱/۴۹ a	۳/۹ b	۲/۵ a	۱۰ b	۶/۶۲ a	CW
۲/۸۸ b	۱/۲۳ a	۳/۶۸ b	۱/۴۷ a	۳/۷ b	۲/۷ a	۹/۵ b	۷/۵۵ a	CWS
۴/۲۵ b	۱/۱۷ a	۵/۲۹ b	۱/۴۹ a	۳/۴ b	۲/۵ a	۸/۹ b	۶/۶۲ a	CWA
۷/۷۲ b	۴/۵۴ a	۹/۳۷ b	۵/۴ a	۵/۵ b	۲/۴ a	۱۱/۱۵ b	۵/۶۳ a	CWM
۱/۹۳ b	۱/۲۲ a	۲/۸۶ b	۱/۴۸ a	۴/۳ b	۲/۷ a	۹/۱ b	۷/۵۵ a	CWSA
۶/۲۶ b	۲/۵۸ a	۷/۵۹ b	۳/۰۳ a	۳/۹ b	۱/۸ a	۷/۵ b	۴/۳۴ a	CWSM
۹/۲۴ b	۴/۵۲ a	۱۰/۴۸ b	۵/۲۴ a	۴/۹ b	۲/۴ a	۱۰/۰۳ b	۵/۶۳ a	CWAM
۳/۸۷ b	۲/۶۱ a	۵/۸۲ b	۳ a	۴/۱ b	۱/۸ a	۹/۴۲ b	۴/۳۴ a	CWSAM

جدول ۴- تغییر ویژگی های فیزیکی تیمارهای مختلف آزمایش درطول دوره تولید ورمی کمپوست

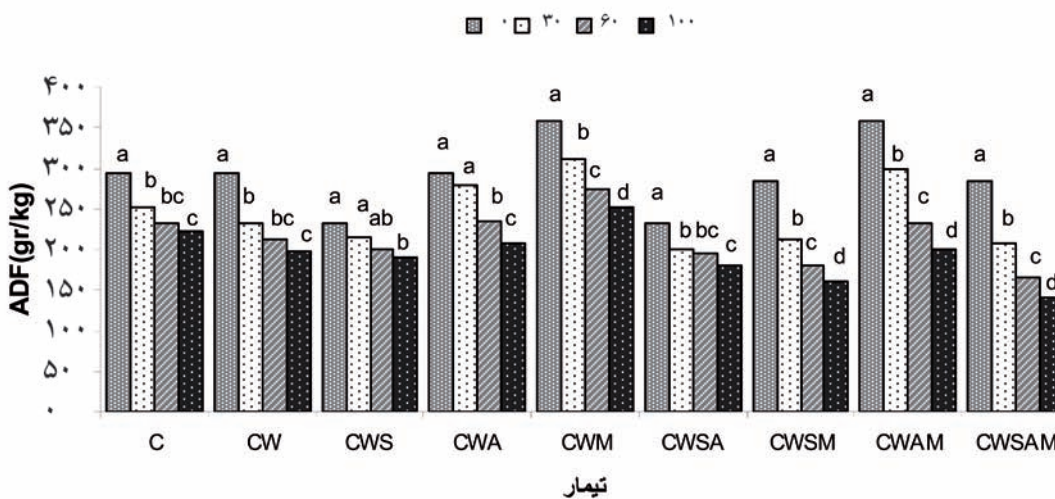
TK (gr/kg)				PO <sub>4</sub> <sup>-f</sup> (gr/kg)				TP (gr/kg)				تیمارها
۱۰۰	۶۰	۳۰	۰	۱۰۰	۶۰	۳۰	۰	۱۰۰	۶۰	۳۰	۰	
۷۴/۲۱ a	۷۷/۷۸ b	۷۹/۱۹ b	۸۲/۵۶ c	۱/۹ a	۱/۸ b	۱/۷۳ b	۱/۷۲ b	۰/۴۹ a	۰/۴ b	۰/۳۶ b	۰/۳ c	C
۷۳/۰۲ a	۷۶/۹۲ b	۷۹/۲۱ c	۸۱/۷۶ c	۱/۸۹ a	۱/۸۲ ab	۱/۷۸ ab	۱/۷ b	۰/۵۱ a	۰/۴۲ b	۰/۳۷ b	۰/۳۱ c	CW
۷۲/۸۶ a	۷۶/۲۲ b	۷۸/۵۷ b	۸۱/۱۱ c	۱/۹۹ a	۱/۸۵ b	۱/۸۲ b	۱/۸ b	۰/۵۴ a	۰/۴۴ b	۰/۳۹ b	۰/۳۴ b	CWS
۷۳/۸۲ a	۷۸/۲۱ b	۸۰/۵۷ b	۸۱/۴۰	۱/۹۱ a	۱/۷۹ b	۱/۷۵ b	۱/۷۲ b	۰/۵ a	۰/۳۹ b	۰/۳۴ b	۰/۳۲ b	CWA
۶۸/۶۴ a	۷۶/۸۸ b	۷۸/۳۵ bc	۷۹/۰۰۶	۲/۲ a	۱/۹۹ ab	۱/۹۴ ab	۱/۹۱ b	۰/۶۹ a	۰/۴۶ b	۰/۴۲ b	۰/۴ b	CWM
۷۱/۲۱ a	۷۸/۴۲ b	۸۰/۶۵ bc	۸۱/۰۱۱	۱/۹۸ a	۱/۸۹	۱/۸۶ b	۱/۸ b	۰/۵۷ a	۰/۴۱ b	۰/۳۶ b	۰/۳۴ b	CWSA
۶۶/۳۶ a	۷۳/۳۳ b	۷۵/۳۸ c	۷۵/۰۳۸	۲/۲ a	۲/۱ b	۱/۹۹ b	۱/۹۵ b	۰/۷۴ a	۰/۵۶ b	۰/۴۹ c	۰/۴۸ c	CWSM
۶۶/۵۰ a	۷۵/۷۶ b	۷۸/۷۹ c	۷۹/۰۳۸	۲ a	۱/۹۸ a	۱/۹۵ ab	۱/۹۴ b	۰/۶۷ a	۰/۴۸ b	۰/۴۱ c	۰/۴ c	CWAM
۶۳/۶۴ a	۷۱/۰۰ b	۷۴/۲۴ c	۷۵/۰۵۱	۲/۲ a	۲ b	۱/۹۸ b	۱/۹۶ b	۰/۸ a	۰/۵۸ b	۰/۵۱ c	۰/۴۸ c	CWSAM



شکل ۱- تغییرات C/N در تیمارهای مختلف آزمایش در فواصل زمانی ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز



شکل ۲- تغییرات  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  در تیمارهای مختلف آزمایش در فواصل زمانی ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز



شکل ۳- تغییرات ADF در تیمارهای مختلف آزمایش در فواصل زمانی ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ روز

Vermicomposting of sludge from paper mill and dairy industrial with *Eisenia andrei*: Apilot-Scale study. *Biores Technol.*63: 205-211.

14- Gallardo-Lara. F. and Nogales. R. (1987) Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. *Biolog. Wast.*19: 35-62.

15- Garcia. C., Hernandez. T. and Costa. F. (1991) Changes in carbon fraction during composting and maturation of arganic wastes. *Environ. Manage.*15: 433-439.

16- Garg. V.k. and Kaushik. P. (2005) Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Biores. Technol.*96: 1063-1071.

17- Goyal. S., Dhull. S.k. and Kapoor K.K. (2005) chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Biores. Technol.*96: 1584-1591.

18- Gunadi. B., Blount. C. and Edward. C.A. (2002) The growth and fecundity of *Eisenia fetida* in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiol.*46: 15-23.

19- Hartenstein. R. (1981) Production of earthworms as a potentially economic source of protein. *Biotechnol. Bioengg.*23: 1797-1811.

20- Inbar. Y., Hadar. Y. and Chen. Y. (1993) Recicling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.*22: 857-863.

21- Kale. R.D., Bano. K. (1986) *Field trials with vermicompost [Vee comp. E.83 USA] an organic fertilizer*. In: Dash, M.C, Senapati, B.K., Mishra, P.C.(Eds.), Proc. Natl. Sem. Org. Waste utilize. Vermicompost. Part B: Verms and vermicomposting. Fire Star Printing Press, Burla, India. pp.151-156.

22- Keeney. D.R. and Nelson. D.W. (1982) *Nitrogen-inorganic forms*. In: page AL, miller RH, Kenney DR (eds). Methods of soil analysis, part2. Chemical and microbiology properties, 2nd edn. ASA, SSSA, Madison, Wis., pp.648-649.

23- Levi-Minzi. R., Riffaldi. R. and Saviozzi. A. (1986) Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard manure. *Agric. Wastes.*16: 225-236.

24- Loh. T.C., Lee. Y.C., Liang. J.B. and Tan. D. (2005) Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia fetida* and their growth and reproduction performance. *Biores Technol.*96: 111-114.

25- Maboeta. M.S. and Rensberg V.L. (2003) Vermicomposting of industrially produced woodchips and sewage sludge utilizing *Eisenia fetida*. *Ecotoxi. Environ. Safety.*56: 265-270.

26- Mansell. G.P., Syers. J.K. and Gregg. P.E.H. (1981) Plant availability of phosphorous in dead herbage ingested by surface-casting earthworms. *Soil Biol. Biochem.*13: 163-167.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و آزمایشگاه خاک شناسی دانشکده کشاورزی که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند سپاسگزاری می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1- Atiyeh. R.M., Edwards. C.A., Subler. S. and Metzger. J.D. (2001) Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.*78: 11-20.

2- Bansal. S. and Kapoor. K.K. (2000) Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia fetida*. *Biores. Technol.*73: 95-98.

3- Beeson Jr., R.C. (1996) Composted yard waste as a component of container substrate. *J. Environ. Hort.*14: 115-121.

4- Benito. M., Masaguer. A., Moliner. A., Arrigo. N. and palma. R. (2003) Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and Maturity of pruning wastes compost. *Boil. Fertil. Soil.*37: 184-189.

5- Bernal. M.P., Paredes. C., Sanehez. M.A. and Cegarra J. (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Biores. Technol.*63: 91-99.

6- Bhardwaj. K.K.R. (1995) *Recycling of crop residues oilcakes and other plant products in agriculture*. In: Tandon, H.L.S. (Ed.), Recycling of crop, Animal, Human nad Industrial Wastes in Agriculture. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, pp.9-30.

7- Bremner. J.M. and Mu Lvaney. R.G. (1982) Nitrogen total. In: Page, A.L., Miller. R.H., Keeny. D.R. (Eds), Method of soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison. pp.575-624.

8- Brown. A. (1985) Review of lignin in biomass. *J. Appl. Biochem.* 7: 371-387.

9- Buckerfield. J.C. and Doube. B.M. (1991) Effects of tillage, crop rotation and stubble management on earthworms. *S. Aust. Dept Agric. Tech. Pub.* Pp.52-53.

10- Callahan. C.A. (1988) *Earthworms as ecoloxicological assessment tools, in Earthworms in waste and Environmental Management*, SPB Acacl. Publ. The Hague. The nether lands, pp.295-30.

11- Dminguez. J., Edwards. C.A. and Webster. M. (2000) Vermicomposting of sewage sludge: Effect of *Pedobiol.*44: 24-32.

12- Edwards. C.A. and Lofty. J.R. (1975) *The influence of cultivation on soil animal populations, in progress in soil zoology*, Academia publishing House, Prague, pp. 408.

13- Elvira. C., Sampedro. L., Benitez. E. and Nogales. R. (1998)



