مقایسه توانایی دو گونه کرم خاکی *Eisenia fetida* و *Dendrobaena veneta* در تولید ورمی کمپوست

- **مجتبی یحیی‌آبادی*:** بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، صندوق‌پستی: **199-81785**

تاریخ دریافت: آذر 1395 تاریخ پذیرش: اسفند 1395

چکیده

مقایسه دو گونه کرم خاکی *Eisenia fetida* و *Dendrobaena veneta* در تولید ورمی کمپوست از دو ماده آلی کمپوست زباله شهری و کود گاو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون T نشان داد اختلاف در افزایش نیتروژن در هر دو بستر توسط دو گونه کرم معنی‌دار نبوده است. فسفر کل در محصول نهایی ورمی کمپوست در هر دو بستر افزایش داشته است ($p<0/05$)، اما اختلاف فعالیت دو گونه کرم خاکی در افزایش فسفر در ورمی کمپوست کود گاو از نظر آماری معنی‌دار نبوده و در ورمی کمپوست زباله شهری معنی‌دار بوده ($p<0/05$) و از این‌رو، گونه *آیزنیا فتیدا* عملکرد بهتری از خود نشان داده است. در بستر کود گاو اختلاف آماری معنی‌داری در میانگین بیش‌ترین تعداد کرم در دو گونه، وجود ندارد همچنین اختلاف دو گونه کرم خاکی از نظر میانگین تعداد کوکون برای هر کرم در روز نیز معنی‌دار است ($p<0/05$). مقایسه صفات زیستی دو گونه کرم خاکی در بستر کمپوست زباله نشان می‌دهد با وجودی که اختلاف دو گونه از نظر میانگین کلی تعداد کوکون، میانگین تعداد کوکون برای هر کرم و میانگین تعداد کوکون برای هر کرم در روز، معنی‌دار است ($p<0/05$) و *E. fetida* عملکرد بهتری از خود نشان داده است، با این‌حال دو گونه از نظر میانگین بیش‌ترین تعداد کرم، اختلاف معنی‌داری ندارند. در مجموع کرم‌های *E. fetida* سرعت رشد بیش‌تری دارند و چرخه تکثیر آن‌ها کوتاه‌تر است. نتایج نشان داد کرم‌های خاکی *D. veneta* شباهت زیستی زیادی با *E. fetida* دارد و قابلیت مناسب این گونه باعث می‌شود تا بتوان از این کرم خاکی نیز در فرآیند تولید ورمی کمپوست استفاده نمود.

کلمات کلیدی: کرم‌های خاکی، اپی‌جییک، کود گاو، کمپوست زباله

مقدمه

مدیریت پسماندهای آلی با هدف تأمین کودهای سازگار با محیط زیست و در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، مورد توجه بسیاری از محققین علوم کشاورزی و محیط زیست قرار گرفته است. در فرآیند تولید ورمی کمپوست (Vermicomposting)، مواد آلی با ساختار پیچیده و غنی از انرژی، با استفاده از کرم‌های خاکی به یک ماده هوموسی شکل و پایدار تبدیل می‌شود (Benitez و همکاران، 2000). این فرآیند، پتانسیل تبدیل بقایای آلی مانند لجن فاضلاب، بقایای گیاهی، پسماندهای کشاورزی، خانگی، صنایع غذایی و فضولات حیوانات را دارد (یحیی‌آبادی، 1391). در واقع تولید ورمی‌کمپوست، نوعی اکسیداسیون زیستی و تثبیت موادآلی با مشارکت کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌شود. اگرچه میکروارگانیسم‌ها مسول تجزیه بیوشیمیایی موادآلی هستند، با این‌حال کرم‌های خاکی محرک‌های اصلی این فرآیند به‌حساب می‌آیند و در تأمین شرایط لازم برای فعالیت‌های زیستی نقش بسیار مهمی دارند (Ayra و همکاران، 2002). بیش از 3500 گونه کرم خاکی در جهان شناسایی شده‌اند و تخمین زده می‌شود که بررسی‌های بیش‌تر، این رقم را باز هم افزایش دهند. فراوانی نسبی و ترکیب جمعیتی جانوران بومی خاک به‌طورکلی بستگی به خاک، آب و هوا، پوشش گیاهی، نوع کاربری خاک و

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: yahyabadi@gmail.com

همچنین هجوم گونه‌های غیربومی دارد (Hale و همکاران، 2000). انتخاب و گسترش برخی از گونه‌های خاص کرم‌های خاکی (به‌منظور تولید ورمی‌کمپوست)، موجب کاهش تنوع زیستی گونه‌های بومی در زیستگاه‌های خود شده و نقش مثبت آن‌ها را کم‌رنگ می‌کنند. از نظر زیستگاه اکولوژیک، کرم‌هاي خاکي را به سه دسته عمده Epigeic، Endogeic و Anecic تقسیم‌بندي مي‌کنند (Lee، 1985). کرم‌هاي Epigeic، عمدتاً از توده‌هاي کمپوست، لاشبرگ‌هاي سطحي و کودهاي دامي و بقاياي گياهي و حيواني تازه فاسد شده تغذيه مي‌کنند. از کرم‌های خاکی این گروه اپی‌جییک، می‌توان به گونه‌های *Eisenia fetida* و *Lumbricus rubellus* اشاره کرد. کرم‌هاي خاکی گروه Endogeic، انواعي هستند که در قسمت‌هاي عمقي خاك زندگي مي‌کنند و از خاك تغذيه کرده و عناصر غذايي را از مواد آلي تجزيه شده تأمين مي‌کنند. در این گروه می‌توان به گونه‌هاي *A. rosea* و *A. caliginosa* اشاره کرد. کرم‌هاي خاکی گروه Anecic، از کرم‌هاي حفار هستند و در شب براي تغذيه بقاياي تازه فاسد شده به سطح مي‌آيند يعني از سطح تا عمق خاك رفت و آمد مي‌کنند. از این گروه می‌توان به گونه *A. longa* اشاره کرد. کرم‌هاي خاکي گروه اپي جئيك از مواد آلي و کودهاي دامي تغذيه مي‌کنند و با بلع مواد آلي و دفع آن‌ها از طريق سيستم گوارش خود موجب توليد کودي مي‌گردند که از نظر عناصر غذايي غني بوده و از دانه‌بندي مناسبي نيز برخوردار مي‌باشند (Bowman، 1992). بسياري از گونه‌هاي کرم‌هاي خاکي براي توليد ورمي‌کمپوست استفاده شده‌اند، ولي کرم‌هاي گروه اپي‌جئيك، به‌دليل مقاومت به تغيير شرايط محيطي و سرعت زياد تغذيه و تکثير، در واحدهاي بزرگ تجاري پرورش داده مي‌شوند (Baker و Kilpin، 1992). برخی از این گونه‌ها مانند *Eisenia fetida* بسیار شناخته شده هستند و در بازیافت پسماندهای آلی از آن‌ها استفاده می‌شود (Loh و همکاران، 2005). هريك از گونه‌هاي کرم‌هاي خاکي به‌خاطر خصوصياتي از قبيل اختلاف در سازگاري با شرايط دمايي گوناگون، اختلاف در توانايي تبديل مواد آلي به ورمي‌کمپوست، تفاوت در نحوه پرورش و برداشت و پاره‌اي از صفات ديگر از ساير گونه‌ها متمايز هستند. Edwards و همکاران (1988) معتقدند که هريك از گونه‌هاي کرم‌هاي اپي‌جئيك از نظر قدرت توليدمثل، شرايط دمايي و تبديل موادآلي به ورمي‌کمپوست با هم‌متفاوت مي‌باشند. در استراليا، مهم‌ترين گونة مورد استفاده براي توليد ورمي‌کمپوست، گونة *Eisenia fetida* است که به‌دليل سرعت رشد و تکثير و پتانسيل کافي براي مصرف انواع مواد آلي زايد، بيش از ساير گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در کشور هند، توليد ورمي‌کمپوست، بيش‌تر با استفاده از گونه‌هاي محلي از گونه *Metaphire posthuma* و گونة *Amynthas Morrisi* انجام‌گرفته‌است (Edwards و Bohlen، 1996). گونه *Eisenia andri* نيز در بعضي از کشورهاي آسياي ميانه براي تهيه ورمي کمپوست مورد استفاده قرار مي‌گيرد. يکي از معيارهاي مهم گونه‌هاي برتر کرم‌ها، سرعت تکثير آن‌هاست. سرعت تکثير کرم‌هاي کمپوستي بسيار زياد است و تکثير از طريق جنسي و تخم‌گذاري صورت مي‌گيرد. هاشمي‌مجد (1382)، در برخي از مناطق شمالي ايران اقدام به شناسايي گونه‌هاي *Eisenia fetida* کرده و توان اين گونه در توليد ورمي‌کمپوست را مورد ارزيابي قرار داد. اکثر کرم‌هاي کمپوستي جمع‌آوري شده در تحقيق وي، متعلق به گونه *Eisenia fetida*بودند. کرم‌هاي فوق براي توليد ورمي‌کمپوست از کود دامي، بقاياي گياهي و باگاس نيشکر قابليت خوبي داشته و در بستر کشت، هر کرم در هفته يك تا دو کوکون توليد کرده و در هر کوکون دو الي هفت عدد نوزاد کرم وجود داشت. در آزمايشی (Kladivko و Mackey، 1985) از کرم‌هاي خاکي اپي‌جئيك براي سرعت بخشيدن به تجزيه بقاياي ذرت در زمين استفاده کردند و گزارش کردند که در عدم وجود اين کرم‌ها، سرعت تجزيه به يک پنجم کاهش مي‌يابد. Carica و همکاران (1995)، معتقدند ميزان فعاليت آنزيمي در کرم‌هاي خاکي اپي‌جئيك بيش‌تر از کرم‌هاي اندوجئيك است. کرم‌هاي خاکي اپي‌جئيك به‌دليل قابليت تکثير زياد، سيستم آنزيمي قوي در تجزيه ضايعات کشاورزي و زباله‌هاي شهري و لجن فاضلاب، علاوه بر توليد کودهاي آلي با ارزش، خود نيز به‌خاطر دارا بودن درصد بالايي از پروتئين و ويتامين، منبع غذايي مهمي براي تغذيه طيور و آبزيان مي‌باشند. در سال‌های اخیر در ایران، کرم‌های خاکی عمدتاً به‌منظور تولید ورمی‌کمپوست استفاده شده و برای این کار از کرم‌های *آیزنیا فتیدا* استفاده می‌شود. از این‌رو لازم است به تنوع در کرم‌های مورد استفاده در فرآیند تولید ورمی‌کمپوست اهمیت داد و در انتخاب گونه‌های کرم‌های خاکی برای تولید کود، دقت لازم به‌عمل آید تا به مرور زمان مسائل و مشکلات جدیدی در اکوسیستم‌های طبیعی و زیستگاه‌های موجودات خاک ایجاد نشود. یحیی‌آبادی (1394)، در برخی نقاط استان اصفهان اقدام به شناسایی برخی گونه‌های کرم‌های اپی‌جییک نمود. در تحقیق فوق، گونه‌های *Eisenia fetida* و *D. veneta* در اکثر نقاط نمونه‌برداری بیش‌ترین جمعیت را داشتند. هدف مهم در این تحقیق نیز، مقایسه دو گونه از کرم‌های خاکی اپی‌جییک *Eisenia fetida* و *D. veneta* در فرآیند تولید ورمی‌کمپوست با استفاده از دو نوع بستر متفاوت خواهد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های 94-1392 و در استان اصفهان به اجرا درآمد. به‌منظور شناسایی و انتخاب کرم‌های مورد نظر، اقدام به نمونه برداری به روش دستی از کرم‌های خاکی موجود در خاک‌های سطحی و لاشبرگ‌های باغات، فضاهای سبز شهری، محل تجمع کودهای حیوانی در مزارع، کنار رودخانه‌ها و برکه‌ها شد. کرم‌ها و بخشی از محیط بستر آن‌ها به گلخانه واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان منتقل گردیدند. از هر محل نمونه‌برداری تعداد بیست عدد کرم بالغ (حاوی کمربند جنسی) به‌صورت تصادفی انتخاب و در مخلوط الکل و استون تثبیت شدند و با استفاده از باینوکولار، برخی از مشخصات مورفولوژیک آن‌ها ثبت گردید تا در شناسایی گونه کرم مورداستفاده قرار گیرد. به‌منظور مقایسه‌خصوصیات‌زیستی کرم خاکی گونه *E. fetida* و گونه *D. veneta*، در این تحقیق از دو ماده آلی که عمدتاً در روستاها (کود گاوی) و شهرها (کمپوست زباله) به‌مقدار بیش‌تری وجود دارد، به‌عنوان بستر و ماده غذایی برای کرم‌ها استفاده شد. برخی از مشخصات شیمیایی این کودها (کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و نسبت C/N) نیز قبل از قرارگیری در فرآیند تولید ورمی‌کمپوست، اندازه‌گیری شدند و در پایان دوره آزمایش نیز مشخصات فوق در ورمی‌کمپوست حاصله تعیین شدند (جدول1). برای

استفاده از این مواد به‌عنوان بستر و ماده غذایی کرم‌ها، ابتدا آن‌ها خشک و سپس به قطعات ریز تبدیل شدند. مواد فوق در گلدان‌های با حجم دو لیتر ریخته و رطوبت آن‌ها به‌میزان70-60 درصد وزنی تنظیم شد.

گلدان‌های حاوی کود به‌مدت یک هفته نگه‌داری شدند تا از نظر دمایی و شرایط فیزیکی و بیولوژیکی آماده پذیرش کرم‌ها شوند. پس از این مدت، از هر گونه کرم بالغ، بیست عدد انتخاب و توزین (با وزن تقریبی 10±200 میلی‌گرم) و در گلدان‌ها تلقیح شدند. گلدان‌ها در محل تاریک و در شرایط دمایی 28-25 درجه نگه‌داری شدند. از ابتدای آزمایش، هر پانزده روز یک‌بار (تا 135 روز)، صفاتی مانند وزن زنده کرم‌ها (بیوماس)، نرخ رشد کرم‌ها، تعداد کرم‌ها و تعداد کوکون تولید شده در بسترها اندازه‌گیری شدند (Suthar، 2007). از آزمون T جفت شده برای نشان دادن وجود اختلاف معنی‌دار ($p<0/05$) بین خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست تولید شده توسط دو گونه کرم خاکی و هم‌چنین بین خصوصیات تکثیر دو گونه کرم، استفاده شد. برای این کار، از نرم‌افزار آماری Minitab 16 استفاده گردید. از فرمول زیر برای محاسبه نرخ رشد کرم‌ها استفاده شد (Suthar، 2007):

$$R= (N_2-N_1)/T$$

که در آن R نرخ رشد کرم (روز/کرم/میلی‌گرم)، N_2: وزن نهایی کرم (میلی‌گرم)، N_1: وزن اولیه کرم (میلی‌گرم) و T: زمان طی شده (روز)

نتایج

خصوصیات شیمیایی بسترهای مختلف برای تهیه ورمی‌کمپوست در جدول 1 آمده است. نتایج بیانگر آن است که کرم‌ها توانسته‌اند در ورمی‌کمپوست حاصله، تغییرات مهمی در ماهیت شیمیایی کود گاو و کمپوست زباله ایجاد کنند. در این فرآیند، کرم‌های خاکی ضمن ایجاد شرایط هوازی در بقایای آلی، بخشی از مواد آلی را به وزن زنده خود و بخشی را به مواد ترشحی تبدیل کرده و باقی‌مانده را از دستگاه گوارش خود دفع کرده‌اند که مواد ورمی‌کمپوست را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق نشان داده شد که pH مواد اولیه پس از فرآیند توسط کرم‌ها، کاهش یافته است. تغییر کاهش pH در کود گاو به حدود 5/3 درصد برای گونه *E. fetida* تا 15 درصد برای گونه *D. veneta* می‌رسد و در کمپوست زباله به 9/9 درصد برای گونه *D. veneta* و 5/8 درصد برای گونه *E. fetida* می‌رسد. جدول 2 نشان می‌دهد که اختلاف دو گونه در کاهش کربن آلی در کود گاو معنی‌دار و در کمپوست زباله غیر معنی‌دار است ($p<0/05$). نسبت C/N در محصول نهایی ورمی کمپوست یکی دیگر از خصوصیات اندازه‌گیری شده بود. همان‌گونه که انتظار می‌رفت نسبت فوق در هر دو بستر کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش در ورمی‌کمپوست کود گاو و توسط کرم‌های گونه *D. veneta* (61/4 %) و گونه *E. fetida* (56%) مشاهده شد. آزمون T نیز نشان داد که کارایی کرم‌های گونه *D. veneta* در کاهش نسبت C/N در مقایسه با کرم‌های گونه *آیزنیا فتیدا* معنی‌دار بوده است ($p<0/05$).

جدول 1: خصوصیات شیمیایی بسترهای مختلف در ابتدا و انتهای دوره آزمایش (انحراف معیار ±میانگین)

خصوصیات	کود گاو			کمپوست زباله		
	ابتدای دوره	انتهای دوره *E. fetida*	انتهای دوره *D. veneta*	ابتدای دوره	انتهای دوره *E. fetida*	انتهای دوره *D. veneta*
نیتروژن کل %	0/88 ± 0/02	1/74 ± 0/02	1/72 ± 0/03	0/72 ± 0/07	0/92 ± 0/06	0/91 ± 0/06
فسفر کل %	0/63 ± 0/04	0/96 ± 0/03	0/94 ± 0/06	0/45 ± 0/04	0/68 ± 0/07	0/82 ± 0/03
پتاسیم %	0/72 ± 0/03	0/91 ± 0/12	0/97 ± 0/08	0/67 ± 0/06	0/75 ± 0/09	0/81 ± 0/09
کربن آلی %	30/54 ± 0/04	26/53 ± 0/06	23/03 ± 0/09	38/27 ± 0/22	31/17 ± 0/12	31/23 ± 0/05
مواد آلی %	52/65 ± 0/38	45/73 ± 0/33	39/87 ± 0/38	65/97 ± 0/42	53/70 ± 0/27	53/74 ± 0/28
C/N	0/29 ±70/34	15/24 ± 0/21	13/38 ± 0/23	46/67 ± 0/19	32/46 ± 0/16	33/58 ± 0/17
pH	8/26 ± 0/07	7/82 ± 0/05	7/02 ± 0/04	7/91 ± 0/04	7/45 ± 0/05	7/12 ± 0/03

جدول2: مقایسه خصوصیات ورمی‌کمپوست تولید شده توسط دو گونه کرم با استفاده از آزمون T (انحراف معیار ± میانگین)

خصوصیات	کود گاو			کمپوست زباله		
	I. fetida	*D. veneta*	آزمون T	*I. fetida*	*D. veneta*	آزمون T
نیتروژن کل %	1/74 ± 0/02	1/72 ± 0/03	p= 0/184	0/92 ± 0/06	0/91 ± 0/06	p= 0/428
فسفر کل %	0/96 ± 0/03	0/94 ± 0/06	p=0/086	0/68 ± 0/07	0/82 ± 0/03	p= 0/001
پتاسیم %	0/91 ± 0/12	0/97 ± 0/08	p= 0/043	0/75 ± 0/09	0/81 ± 0/09	p= 0/047
کربن آلی %	26/53 ± 0/06	23/03 ± 0/09	p= 0/026	31/17 ± 0/12	31/23 ± 0/05	p= 0/105
مواد آلی %	45/73 ± 0/33	39/87 ± 0/38	p= 0/025	53/73 ± 0/27	53/70 ± 0/28	p= 0/548
C/N	15/24 ± 0/21	13/38 ± 0/23	p= 0/021	32/46 ± 0/16	33/58 ± 0/17	p= 0/003
pH	7/82 ± 0/05	7/02 ± 0/04	p= 0/004	7/45 ± 0/05	7/12 ± 0/03	p= 0/001

یکی دیگر از اهداف اجرای این تحقیق، بررسی تغییرات رشد دو گونه مورد نظر و تعیین خصوصیات زیستی آن‌ها بود. نتایج به‌دست آمده در جداول 3 و 4 نشان داده شده است. کرم‌های خاکی تلقیح شده‌به بستر، در طول زمان انجام تحقیق، نرخ رشد و تکثیر معنی‌داری از خود نشان دادند به‌نحوی که برای گونه *E. fetida* این افزایش نرخ رشد در نمونه‌برداری روز 75 به حداکثر خود رسید اما برای گونه *D. veneta* در روز 105 به بیش‌ترین میزان رسید و پس از آن

کاهش یافت. کرم‌های گونه *آیزنیا فتیدا* در بستر کود گاو، در روز 75 به بیش‌ترین وزن زنده خود رسیدند (5/32±1125 میلی‌گرم) و در زمان‌های بعدی کاهش یافتند. با این حال بیش‌ترین نرخ رشد برای هر کرم در روز، به 12/89 میلی‌گرم رسید (شصتمین روز). از طرفی میانگین تعداد کرم گونه *آیزنیا فتیدا* از 20 در ابتدای شروع آزمایش به بیش‌ترین تعداد خود (53) در روز نودم رسید اما در پایان دوره آزمایش تعداد آن‌ها به43 رسید. میانگین بیش‌ترین تعداد کوکون‌های شمارش شده در بستر در روز 105 مشاهده شد که بالغ بر 28 عدد بود. استفاده از بستر کمپوست زباله برای بررسی فاکتورهای رشد کرم *E. fetida* باعث تغییراتی در اندازه‌گیری‌های فوق گردید به‌نحوی که بیش‌ترین وزن زنده کرم این گونه در روز 90 به‌میزان 1214 میلی‌گرم گزارش شد. به‌همین ترتیب بیش‌ترین نرخ رشد وزنی برای هر کرم در روز به عدد 11/23 میلی‌گرم رسید که نسبت به بستر کود گاو اندکی کاهش یافت. این میزان نرخ رشد در پایان روز 135 به 3/02 تنزل کرده بود. میانگین بیش‌ترین تعداد کرم در این بستر در روز 90 و به تعداد 58 مشاهده شد و سرانجام میانگین بیش‌ترین تعداد کوکون‌های گونه *آیزنیا فتیدا* شمارش شده در بستر کمپوست زباله در روز 105 مشاهده شد که بالغ بر 29 عدد بود. در مقام مقایسه دو بستر، نتایج نشان می‌دهند که از نظر وزن زنده کرم، بستر کود گاو بهتر از کمپوست زباله عمل کرده است زیرا بیش‌ترین وزن زنده گونه *آیزنیا فتیدا* در کود گاو مشاهده شد.

نتایج بررسی تغییرات رشد کرم خاکی گونه *D. veneta* در دو بستر مورد مطالعه، در جدول 4 آمده است. گونه ساکن در کود گاو در روز 105 به بیش‌ترین وزن زنده خود رسید (2±1224/16میلی‌گرم) و پس از آن کاهش یافت. با این وجود، بیش‌ترین نرخ رشد این گونه برای هر کرم در روز به 9/1±57/09 میلی‌گرم رسید (صدوپنجمین روز). از طرفی میانگین تعداد کرم گونه *D. veneta* از 20 در ابتدای شروع آزمایش به بیش‌ترین تعداد خود(51) در روز 105 رسید اما در پایان دوره آزمایش تعداد آن‌ها به 36 تنزل یافت. میانگین بیش-ترین تعداد کوکون‌های شمارش شده در بستر در روز 105 مشاهده شد که بالغ بر 28 عدد بود. استفاده از بستر کمپوست زباله برای بررسی فاکتورهای رشد کرم *D. veneta* باعث تفاوت‌هایی در صفات زیستی گردید به‌نحوی که بیش‌ترین وزن زنده کرم این گونه، در روز 120 به میزان 1235 میلی‌گرم گزارش شد. به‌همین ترتیب بیش‌ترین نرخ رشد وزنی برای هر کرم در روز به عدد 8/54 میلی‌گرم رسید که نسبت به بسترکود گاو کاهش یافت. این‌میزان‌نرخ‌رشد در آخرین اندازه‌گیری به 5/34 تنزل کرده بود. میانگین بیش‌ترین تعداد کرم در این بستر در روز صدوبیستم و به تعداد 54/12 مشاهده شد و سرانجام میانگین بیش‌ترین تعداد کوکون‌های گونه *دندروبنا ونتا* شمارش شده در بستر کمپوست زباله در روز 120 مشاهده شد که بالغ بر 29 عدد بود.

جدول 3: تغییرات رشد کرم *E. fetida* در بسترهای مختلف (انحراف معیار ± میانگین)

روز	کود گاو				کمپوست زباله			
	وزن زنده کرم میلی‌گرم	نرخ رشد رو/کرم/میلی‌گرم ز	میانگین تعداد کرم‌ها	میانگین تعداد کوکون	وزن زنده میلی‌گرم	نرخ رشد رو/کرم/میلی‌گرم ز	میانگین تعداد کرم‌ها	میانگین تعداد کوکون
0	0±208/02	0	2/0±00/040	0	0±210/05	0	2/0±00/020	0
15	±315 1/28	6/0±85/11	1/0±34/048	0/0±34/14	0±295/07	5/0±72/04	1/0±06/088	0/0±09/05
30	0±422/31	7/0±04/11	1/0±22/068	6/0±12/08	1±382/23	5/0±69/07	1/1±21/319	6/0±23/06
45	2±725/45	11/0±21/08	2/1±45/244	9/1±22/02	2±565/97	8/1±02/23	2/1±32/068	8/0±00/05
60	3±996/02	12/0±89/12	3/1±16/072	1/1±05/096	2±823/84	10/0±30/12	3/2±65/441	1/1±64/219
75	5±112/325	12/0±46/14	4/2±56/097	2/1±00/081	5±100/019	10/0±45/14	5/2±36/753	2/1±02/324
90	1±980/78	8/0±53/09	5/2±12/013	2/0±21/945	4±121/224	11/1±23/60	5/1±14/488	2/2±33/488
105	2±852/02	6/1±24/21	5/1±84/670	2/2±00/218	4±100/063	7/0±69/08	5/1±24/092	2/1±19/629
120	0±820/84	5/0±09/08	4/0±26/146	2/1±25/482	3±785/72	4/1±78/01	3/0±19/078	1/1±08/018
135	1±715/05	4/1±06/06	4/1±12/073	1/0±69/647	2±605/88	3/0±02/09	3/1±12/129	1/1±89/024

جدول 4: تغییرات رشد کرم *D.veneta* در بسترهای مختلف (انحراف معیار ± میانگین)

روز	کود گاو	کمپوست زباله

	وزن زنده میلی‌گرم	نرخ رشد رو/کرم/میلی‌گرم ز	میانگین تعداد کرم‌ها	میانگین تعداد کوکون	وزن زنده میلی‌گرم	نرخ رشد رو/کرم/میلی‌گرم ز	میانگین تعداد کرم‌ها	میانگین تعداد کوکون
0	1±214/01	0	2/0±00/07 0	0	0±212/04	0	2/0±00/01 0	0
15	0±320/23	7/0±08/13	1/0±06/12 9	0/0±21/06	0±286/10	5/0±23/24	2/0±00/06 0	0/0±08/01
30	0±402/08	6/0±23/11	1/0±45/08 9	5/0±24/27	1±376/30	5/0±56/09	1/1±58/02 9	4/0±61/05
45	1±585/88	8/1±19/22	2/1±89/61 1	4/0±86/05	1±498/08	6/1±31/04	1/0±02/34 9	4/0±53/11
60	1±722/24	8/0±46/08	2/1±03/05 7	7/1±77/01	2±724/48	8/0±49/06	2/0±44/27 1	6/0±38/08
75	3±885/06	8/0±94/26	3/0±58/06 2	1/1±31/16 1	1±820/32	8/2±12/30	2/3±87/14 9	9/2±12/12
90	5±934/14	8/2±1/41	4/0±11/22 1	1/3±21/42 5	0±892/56	7/1±52/21	3/3±28/08 6	1/1±89/18 2
10 5	2±122/16 4	9/1±57/09	5/2±31/06 1	2/0±08/23 8	4±984/88	7/0±32/42	4/2±08/56 9	2/2±78/25 1
12 0	0±121/92 0	8/1±2/57	4/1±49/60 7	2/2±00/06 1	2±123/32 5	8/0±54/05	5/1±12/10 4	2/0±06/64 9
13 5	1±912/02	5/0±16/05	3/0±22/14 6	1/2±48/14 6	0±936/16	5/0±34/18	3/0±94/85 8	1/0±62/68 9

مقایسه برخی از مهم‌ترین صفات زیستی تکثیر دو گونه کرم خاکی با استفاده از آزمون جفت شده T، در جدول 5 نمایش داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند در بستر کود گاو، اختلاف آماری معنی‌داری در میانگین بیش‌ترین تعداد کرم در دو گونه، وجود ندارد با این‌حال، میانگین تعداد کوکون گونه *آیزنیا فتیدا* (145/88) بیش از تعداد کوکون گونه *دندروبنا ونتا* (111/16) می‌باشد. این اختلاف، بسیار معنی‌دار (p=0/002) است و نشان می‌دهد که تفریغ کرم‌های نوزاد از کوکون‌ها در گونه *دندروبنا ونتا* موفق‌تر بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که میانگین تعداد کوکون به‌ازای هر کرم در گونه *آیزنیا فتیدا* بیش از گونه رقیب بوده است.

همچنین در بستر کود گاو، اختلاف دو گونه کرم خاکی از نظر میانگین تعداد کوکون برای هر کرم در روز نیز معنی‌دار است. مقایسه صفات‌زیستی‌دوگونه کرم خاکی در بستر کمپوست زباله نشان می‌دهد با وجودی که اختلاف دو گونه از نظر میانگین کلی تعداد کوکون، میانگین تعداد کوکون برای هر کرم و میانگین تعداد کوکون برای هر کرم در روز، معنی‌دار است (p≤0/05) و گونه *E. fetida* عملکرد بهتری از خود نشان داده است، با این‌حال دو گونه از نظر میانگین بیش‌ترین تعداد کرم، اختلاف معنی‌داری ندارند (p=0/146).

جدول5: مقایسه خصوصیات تکثیر دو گونه کرم با استفاده از آزمون T (انحراف معیار ± میانگین)

خصوصیات زیستی	کود گاو		کمپوست زباله		
	E. fetida	*D. veneta*	آزمون T	*E. fetida*	*D. veneta*	آزمون T
میانگین بیش‌ترین تعداد کرم‌ها	53/2±12/01	51/2±31/06	p=0/686	58/1±14/48	54/1±12/10	p=0/146
میانگین جمع کوکون‌ها	145/3±88/24	111/4±16/52	p=0 /002	154/3±47/88	108/4±07/12	p= 0/011
میانگین تعداد کوکون (تعداد/کرم)	7/1±35/25	5/0±46/08	p= 0/022	7/0±75/08	5/0±36/06	p= 0/035
میانگین تعداد کوکون (تعداد/کرم/روز)	1/0±09/02	0/0±81/02	p= 0/012	1/0±16/04	0/0±81/02	p= 0/018

بحث

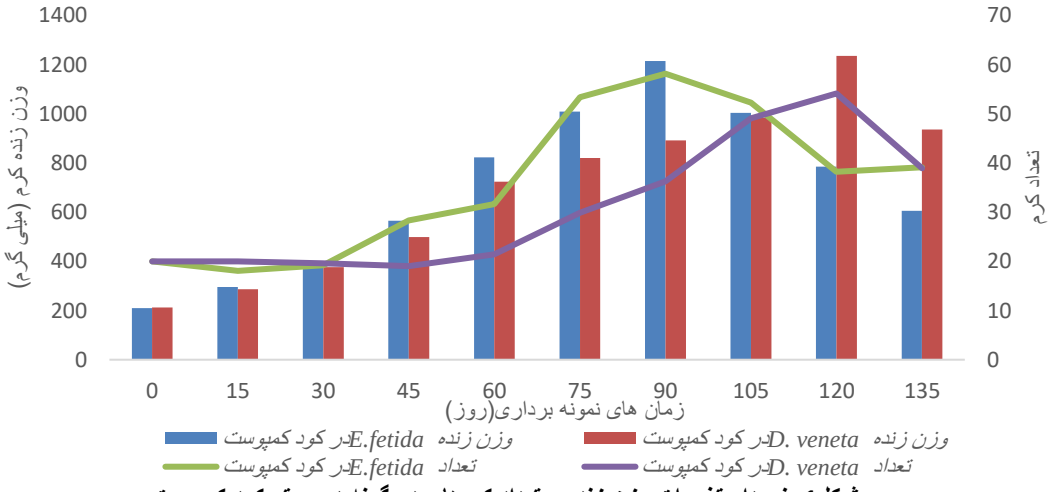
براساس آزمون T، دو گونه کرم مورد آزمایش، در کاهش pH بستر کود گاو و کمپوست زباله اختلاف معنی‌دار داشته‌اند (p<0/05) به‌نحوی که گونه *D. veneta* توانایی بیش‌تری در کاهش pH بسترها داشته است (جدول2). این تغییر pH عمدتاً به‌دلیل تولید دی اکسید کربن و اسیدهای آلی در زمان تجزیه است (Haimi و Huhta، 1986). با این‌حال، نتایج تحقیق Ndegwa و همکاران (2000) نشان داد که کاهش pH بر اثر معدنی شدن نیتروژن و ارتو فسفات‌ها و تبدیلات زیستی مواد آلی رخ داده است. بنابراین تفاوت در pH ورمی‌کمپوست حاصله از دو گونه کرم خاکی مورد آزمایش می‌تواند بر اثر تفاوت کارایی معدنی کردن عناصر در دو گونه کرم باشد. کربن آلی نیز در این فرآیند کاهش یافته به‌طوری‌که در ورمی‌کمپوست کود گاو، این کاهش به 24/6 درصد برای گونه *D. veneta* و 13/1 درصد برای گونه *E. fetida* رسیده و در ورمی کمپوست زباله به‌حدود 18/5% برای هر دو گونه به‌دست آمد. هدررفت کربن آلی در طول زمان فرآیند تولید ورمی‌کمپوست، عمدتاً بر اثر تنفس میکروبی و خروج CO_2 و یا بر اثر معدنی شدن مواد آلی رخ می‌دهد(Kaushik

و Garg، 2005). از طرفی، نیتروژن کل از ابتدا تا انتهای آزمایش افزایش یافته است. میزان افزایش نیتروژن در کود گاو به 97/7 و 95/4 درصد به‌ترتیب برای گونه *E. fetida* و گونه *D. veneta* بوده و این افزایش در کمپوست زباله به 27/7 و 26%/4 به‌ترتیب برای گونه *E. fetida* و گونه *D. veneta* محاسبه شد. نتایج آزمون T بیانگر آن است که اختلاف در افزایش نیتروژن در هر دو بستر توسط دو گونه کرم معنی‌دار نبوده است ($p<0/05$). افزایش نیتروژن در ورمی‌کمپوست تولید شده نسبت به مواداولیه، به این دلیل اتفاق می‌افتد که کرم‌های خاکی موجب تسهیل در معدنی شدن نیتروژن مواد زائد شهری و کشاورزی می‌شوند. همچنین عقیده بر این است که کرم‌ها، سطح نیتروژن را در ورمی‌کمپوست، با ترشح مایعات دفعی، موکوس، آنزیم‌ها و حتی از طریق تجزیه بافت مرده کرم‌های خاکی در بستر، افزایش می‌دهند (Suthar، 2007). بخشی از نتایج تحقیق نشان داد که فسفر کل در محصول نهایی ورمی‌کمپوست در هر دو بستر افزایش داشته است، این افزایش در کود گاو 52/3 درصد توسط *E. fetida* و 49/2 درصد توسط *D. veneta* اتفاق افتاده است. در بستر کمپوست زباله، افزایش فسفر کل به‌میزان 51/1 درصد از فعالیت کرم *E. fetida* حاصل شده است و به‌مقدار 82/2% ناشی از بازیافت مواد توسط کرم *D. veneta* بوده است و این نشان می‌دهد که اختلاف فعالیت دو گونه کرم خاکی در افزایش فسفر در ورمی‌کمپوست کود گاو از نظر آماری معنی‌دار نبوده اما در ورمی‌کمپوست زباله شهری معنی‌دار بوده و از این‌رو گونه *آیزنیا فتیدا* عملکرد بهتری از خود نشان داده است (جدول 2).

افزایش سطح فسفر در ورمی‌کمپوست تولیدشده‌را نیز به معدنی شدن فسفر آلی در این فرآیند ربط می‌دهند. Lee (1992)، پیشنهاد کرد که عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم خاکی موجب می‌شود تا فسفر به شکل قابل جذب گیاه تبدیل شود. فسفر آزاد شده به شکل فسفر قابل جذب، تا حدی به‌خاطر وجود آنزیم فسفاتاز در دستگاه گوارش‌کرم‌و بخشی‌نیز ممکن است به‌دلیل حضور میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات در مواد دفعی کرم‌ها باشد. Le Bayon و Binet (2006)، نتیجه گرفتند که این تأثیر کرم‌های خاکی بر تبدیل و تغییرات بیوشیمیایی فسفر در خاک، بستگی به ارتباط نزدیک بین خصوصیات منبع فسفر آلی و نوع حرکت کرم در خاک دارد. میزان پتاسیم نیز در فرایند تبدیل مواد به ورمی‌کمپوست، افزایش داشته است. این افزایش پتاسیم در ورمی‌کمپوست کود گاو برای کرم‌های گونه *E. fetida* و *D. veneta* به‌ترتیب برابر 26/4 و 34/7 درصد مشاهده شد درحالی‌که این افزایش در ورمی‌کمپوست زباله برای کرم‌های گونه *E. fetida* و *D. veneta* به‌ترتیب برابر 12/9 و 20/9 درصد بوده است. با وجود افزایش در میزان پتاسیم، عملکرد دو گونه کرم در این خصوص در هر دو بستر مشابه بوده و اختلاف معنی‌دار نداشته‌اند ($p<0/05$). برخی مطالعات دیگر نیز به افزایش سطح پتاسیم در ورمی‌کمپوست اشاره می‌کنند (Manna و همکاران، 2003).

نسبت C/N مواد اولیه می‌تواند میزان معدنی شدن و تثبیت مواد آلی را در طول فرآیند تولید ورمی‌کمپوست نشان دهد. هدررفت کربن به شکل CO_2 از طریق تنفس میکروبی و همزمان افزودن نیتروژن توسط کرم‌ها به شکل موکوس و ترشحات نیتروژنی، موجب کاهش نسبت C/N در محصول نهایی شده‌اند (Suthar، 2007).

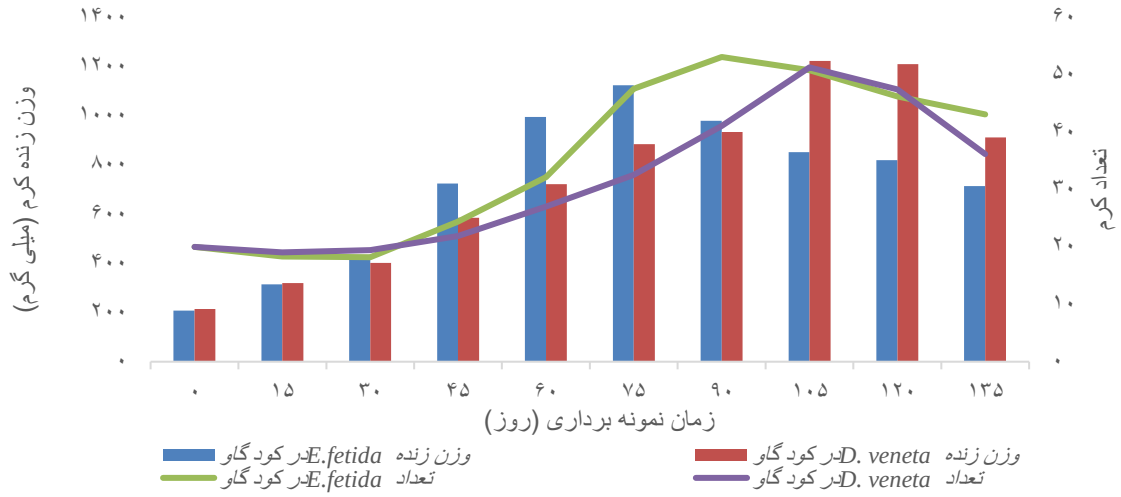
روند تغییرات وزن زنده و تعداد کرم‌های دو گونه کرم خاکی در بستر کود کمپوست در شکل 1 و روند تغییرات در بستر کود گاو در شکل 2 نشان داده شده است. در بستر کمپوست، تعداد کرم‌های گونه *E. fetida* در روز 90 به حداکثر خود رسید اما کرم‌های گونه *D. veneta* در روز 120 به بیش‌ترین تعداد رسیدند. در بسترکود گاو نیز (شکل 5)، تعداد کرم‌های گونه *E. fetida* در روز 90 به حداکثر خود رسید اما کرم‌های گونه *D. veneta* در روز 105 به بیش‌ترین تعداد رسیدند این نتایج نشان می‌دهد که کرم‌های گونه *E. fetida* سرعت رشد بیش‌تری دارند و چرخه تکثیر آن‌ها کوتاه‌تر است. کاهش وزن زنده و تعداد کرم‌ها در بستر پس از این زمان، امری طبیعی و ناشی از کم شدن مواد غذایی قابل استفاده در بستر آن‌هاست.



شکل1: نمودار تغییرات وزن زنده و تعداد کرم‌های دو گونه در بستر کود کمپوست

Neuhauser و همکاران (1988) نیز روند مشابهی برای کاهش وزن کرم‌ها در بستر لجن فاضلاب مشاهده کردند. Edwards و همکاران (1998)، الگوی رشد گونه *P. excavatus* در بستر کود گاوی را بررسی کردند و نرخ رشد این گونه را بین 1/6 تا 7/6 اعلام کردند. اختلاف نتایج محققین در مورد بیش‌ترین وزن کرم‌ها و یا نرخ رشد آن‌ها ممکن است در اثر تفاوت در کیفیت مواد اولیه بستر و یا شرایط متغیر محیطی باشد. به‌همین ترتیب می‌توان تفاوت نرخ رشد دو گونه *E. fetida* و *D. veneta* را به الگوی رشد ویژه هر گونه و یا سلیقه تغذیه‌ای کرم‌های خاکی هر دو گونه نسبت داد. همچنین تغییر صفات اندازه‌گیری شده گونه‌ها در بسترهای کمپوست زباله و کود گاو، می‌تواند به‌دلیل تفاوت طبیعی و شیمیایی مواد موجود در این بسترها باشد. در مجموع نتایج نشان داد کرم‌های خاکی گونه *D. veneta* شباهت زیستی زیادی با گونه *E. fetida* دارند با این‌حال، اکثر تولید کنندگان ورمی‌کمپوست و یا فروشندگان کرم‌های تولیدکننده ورمی کمپوست، به‌دلیل آشنا نبودن به گونه‌های کرم خاکی اپی‌جییک، فقط تمایل زیادی به استفاده از کرم‌های *E. fetida* دارند و گاهاً دیده می‌شود که برخی حتی مبادرت به واردات این کرم‌ها از خارج از کشور کرده و هزینه زیادی نیز متحمل می‌شوند.

از سویی دیگر، اقدام به تکثیر فقط یک گونه کرم خاکی و عدم توجه به سایر گونه‌ها، موجب خواهد شد که تنوع زیستی کرم‌های خاکی در خاک‌های کشور کاهش یابد و گونه وارداتی ممکن است در آینده به یک گونه مهاجم تبدیل شود، بنابراین می‌توان اقدام به تکثیر از کرم‌های گونه *D. veneta* که تفاوت زیادی نیز از نظر خصوصیات زیستی با گونه *E. fetida* ندارد، کرد و از این کرم‌ها نیز در تولید ورمی‌کمپوست استفاده‌نمود. این مهم، با ترویج هرچه بیش‌تر اطلاعات و آگاهی‌ها درخصوص کرم‌های‌خاکی گونه‌های مختلف به انجام خواهد رسید.



شکل2: نمودار تغییرات وزن زنده و تعداد کرم‌های دو گونه در بستر کود گاو

تشکر و قدردانی

از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور به‌لحاظ فراهم نمودن اعتبار پژوهشی این تحقیق و از همکاری آقایان دکتر تدین‌نژاد و دکتر دهقانی در اجرای این تحقیق، تشکر کرده و همچنین از همکاری و مساعدت مسولین و کارکنان آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان در فراهم آوردن امکانات و شرایط این تحقیق سپاسگزاری می‌شود. از داوران محترم مقاله نیز به‌خاطر قبول زحمت داوری و ارایه پیشنهادات مفید، قدردانی می‌گردد.

منابع

1. **هاشمی‌مجد، ك.، 1382**. شناسايي گونهٔ *Eisenia fetida* برخي از مناطق شمالي ايران. مجله علوم و فنون كشاورزي و منابع طبيعي. سال 7، شماره 4، صفحات 61 تا 70.
2. **یحیی‌آبادی، م.، 1391.** کرم‌ها زباله‌هایم را می‌خورند. نشر نصوح. 175 صفحه.
3. **یحیی‌آبادی، م.، 1394.** بررسی تنوع کرم‌های خاکی اپی‌جئیک در استان اصفهان. فصلنامه محیط زیست جانوری. دوره 9، شماره 1، صفحات 133 تا 142.
4. **Aira, M.; Monroy, F.; Dominguez, J. and Mato, S., 2002.** How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. Eur. J. Soil Boi. Vol.38, pp: 7-10.
5. **Baker, G. and Kilpin, G., 1992.** CSIRO Double Helix Science club, Earthworm Identifier. CSIRO Publication, East Melbourne, 210 p.
6. **Benitez, E.; Nogales, R.; Masciandro, G. and Ceccanti, B., 2000.** Isolation by isoelectric focusing of humic–urease complexes from earthworm (*Eisenia fetida*) processed sewage sludges. Biol. Fert. Soils. Vol. 31, pp: 489-493.
7. **Birundha, M.; John, J.; Paul, A. and Mariappan, P., 2013.** Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* in different organic wastes. Int.J.Cur.Microbio.Ap.Sci. Vol. 2, pp: 28-35.
8. **Bowman, H., 1992.** A defined medium for the study of growth and reproduction of earthworm *Eisenia fetida*. J. Biol. Fertil Soils. Vol. 10, No. 4, pp: 285-289.
9. **Carica, C.; Ceccanti, B. and Masciandro, G., 1995.** Phosphatase and beta glucosidase in humic substances from animal waste. Bio. Technology, Vol. 53, No. 1, pp: 79-87.
10. **Edwards, C.A.; Dominguez, J. and Neuhauser, E.F., 1998.** Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management. Biol. Fert. Soils. Vol. 27, pp: 155-161.
11. **Edwards, C.A. and Bohlen, J.P., 1996.** Biology and Ecology of earthworms. Chapman & Hall, London. 436 p.
12. **Edwards, C.A. and Neuhauser, E.F., 1988.** Earthworms in waste and environmental management. Academic publishing, Nether Lands. 391 P.

13. **Garg, V.K. and Kaushik, P., 2005.** Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by epigeic earthworm *Eisenia fetida*. Bioresource Tech. Vol. 96, pp: 1063-1071.
14. **Hale, C.M.; Frelich, L.E. and Reich, P.B., 2000.** Impact of invading European earthworms on understory plant communities in previously worm-free hard wood forest of Minnesota. Abstract of the Ecological Society of America. Vol. 85, pp: 112.
15. **Haimi, J. and Huhta, V., 1986.** Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting. Biol. Fert. Soils. Vol. 2, pp: 23-27.
16. **Lee, K.E., 1992.** Some trends opportunities in earthworm research or: Darwin's children. The future of our discipline. Soil Biol. Biochem. Vol. 24, pp: 1765-1771.
17. **Lee, K.E.; 1985.** Earthworms. Their Ecology and relationships with soils and Land use. Academic press, Sydney. 411 P.
18. **Le Bayon, R.C. and Binet, F., 2006.** Earthworm changes the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. Soil Biol. Biochem. Vol. 38, pp: 235-246.
19. **Loh, T.C.; Lee, Y.C.; Liang, J.B. and Tan, D., 2005.** Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction preference. Biores. Tech. Vol. 96, No. 1, pp: 111-114.
20. **Mackey, D. and Kladivko, E.J., 1985.** Earthworms and rate of breakdown of soybean and maize residues in soil. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 17, No. 6, pp: 851-857.
21. **Manna, M.C.; Jha, S.; Ghosh, P.K. and Acharya, C.L., 2003.** Comparative efficiency of three epigeic earthworms under different deciduous forest litters decomposition. Bioresource Tech. Vol. 88, pp: 197-206.
22. **Ndegwa, P.M.; Thompson, S.A. and Das, K.C., 2000.** Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Tech. Vol. 71, No. 1, pp: 5-12.
23. **Neuhauser, E.F.; Loehr, R.C. and Makecki, M.R., 1988.** The potential of earthworms for managing sewage sludge. In: Edwards, C.A., Neuhauser, E.F., Earthworm in waste and environmental management. SPB Academic Publishing. pp: 9-20.
24. **Suthar, S., 2007.** Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials. Bioresource Tech. Vol. 98, No. 6, pp: 1231-1237.