



تعیین ضریب انتشار حرارتی کود ورمی کمپوست با استفاده از حل یک معادله فوریه

سید امیر ذکی^{۱*}، عزت اله عسکری اصلی^۲، محمد حسین کیانمهر^۳، جواد خزانی^۴

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استاد گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

۴- دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: Zaki_amir@yahoo.com

چکیده

یکی از بهترین روش‌های بازیافت، تولید ورمی کمپوست از زباله شهری است. جداسازی بهینه کرمها از مواد آلی بعد از اتمام فرآیند ورمی کمپوست‌سازی باعث افزایش نرخ تجزیه مواد زائد توسط کرمها می‌شود. وجود یک فناوری موثر برای جداسازی سریع کرمها از ورمی کمپوست باعث آسان شدن فرایند کمپوست‌سازی می‌گردد. جهت طراحی و ساخت دستگاهی برای القاء حرارت به بستر کود ورمی کمپوست به صورت کنترل شده که هم باعث جداسازی کرمها از بستر شده و هم آسیبی به کرم وارد نشود، داشتن پارامترهای حرارتی کود ورمی کمپوست ضروری می‌باشد. در این تحقیق ضریب انتشار حرارتی کود ورمی کمپوست با استفاده از حل یک معادله فوریه (D_1) برای یک استوانه بدست آمد. آزمایشات با سطوح محتوای رطوبتی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ (w.b) در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C انجام گرفت. شیب نمودار لگاریتم دما ($\ln\theta$) در مقابل زمان برای محاسبه ضریب انتشار حرارتی (α) استفاده شد. مقدار α از $1/3973 \times 10^{-7}$ تا $2/861 \times 10^{-7}$ (m^2/s) بدست آمد. یک مدل سهمیگون با $R^2=0/99$ برای تعیین رابطه بین ضریب انتشار حرارتی، رطوبت و دما بدست آمد. مقدار ضریب انتشار حرارتی با افزایش دما به صورت خطی افزایش یافت. در دمای ثابت، با افزایش رطوبت مقدار α روند کاهشی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: ورمی کمپوست، ضریب انتشار حرارتی، معادله فوریه.

۱- مقدمه

باتوجه به افزایش جمعیت، تولید انواع ضایعات کشاورزی و صنعتی در حال افزایش است. بنابراین مسئله از بین بردن ضایعات آلی برای حفظ سلامت انسان و محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. کود دامی یکی از پسماندهایی است که امروزه به اهمیت آن پی‌برده اند. این کود همواره در باغ‌ها و مزارع استفاده می‌شود، اما معایب بسیاری دارد. حاوی تخم علف هرزی است که در بدن دام و طیور هضم نشده، نمی‌تواند آب را درون خود نگه‌داری کند و در ضمن بوی نامطبوع هم دارد. بنابراین کودهای دام و طیور بایستی فرآوری شوند. تولید ورمی کمپوست راهی



است که می‌تواند این مشکلات را برطرف کند. ورمی کمپوست‌سازی به معنی استفاده از کرم به منظور تبدیل هر ماده زائد آلی به یک ماده بدون بو، دارای ساختار مناسب و غنی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد (فیلدسُن، ۱۹۸۸). مدفوع کرم یا همان ورمی کمپوست عاری از تخم علف هرز می‌باشد، چون با گرمایی که در بدن کرم به وجود می‌آید تخم علف هرز از بین می‌رود و کود حاصل به خاطر شرایط اسفنجی که دارد می‌تواند آب را در خود نگه دارد. ورمی کمپوست، کود آلی بیولوژیک است که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی و دفع این مواد از بدن کرم، حاصل می‌شود. فرآیند کمپوست با استفاده از کرم‌های خاکی، برای تهیه ورمی کمپوست، به عنوان یک فناوری آسان و یک فرآیند حامی طبیعت برای به دست آوردن کودهای آلی از مواد زائد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. جداسازی بهینه کرم‌ها از مواد آلی بعد از اتمام فرایند ورمی کمپوست-سازی می‌تواند باعث افزایش نرخ تجزیه مواد زائد توسط کرم‌ها شود. در واقع جداسازی موثر کرم‌های زنده، اجازه استفاده مجدد از آنها را داده و این عمل منجر به تولید گسترده ورمی کمپوست و کاهش هزینه تولید آن می‌گردد. وجود یک فناوری موثر برای جداسازی سریع کرم‌ها از ورمی کمپوست، امکان تسهیل فرآیند تولی کود کمپوست را فراهم می‌کند. روش توسعه یافته به منظور جدا کردن کرم‌ها از مواد آلی، همچنین می‌تواند در بکارگیری کرم‌ها در طرح‌های کشاورزی و یا حفظ اکوسیستم‌های حساس به کرم‌ها در برابر تهاجم آنها، استفاده گردد. تلفات کرم فاکتور بسیار مهمی در ورمی کمپوست‌سازی محسوب می‌شود. بنابراین از روشی برای جداسازی کرم‌ها باید استفاده کرد که دارای کمترین تلفات کرم باشد. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته روش‌های مکانیکی معمول به منظور جداسازی کرم از ورمی کمپوست دارای معایب عمده‌ای از جمله، عملکرد پایین، زحمت زیاد و صدمه زدن به کرم‌ها می‌باشند و مناسب ورمی کمپوست‌سازی تجاری نمی‌باشد (بییتز، ۱۹۹۹). از طرفی به نظر می‌رسد استفاده از حرارت کنترل شده و انتقال آن از قسمت زیرین توسط منبع حرارتی به بستر، باعث مهاجرت کلیه کرم‌ها به سطح دستگاه در مدت زمان کم و بدون آسیب رساندن به آنها می‌شود، بطوری‌که بعد از مدت زمان کم تجمع کرم‌های بالغ، نوزاد و البته لاروها را روی بستر سبب می‌گردد. همچنین یکی دیگر از امتیازات مهم روش حرارتی برای انتقال کرم‌ها، قابلیت ترکیب کردن این فرآیند با یک سیستم مکانیزه جداسازی (به عنوان مثال جداساز شانه‌ای انگشتی‌دار) و بنابراین مناسب بودن این روش در ورمی کمپوست‌سازی تجاری می‌باشد. جهت طراحی و ساخت دستگاهی برای انتقال حرارت به بستر کود ورمی کمپوست به صورت کنترل شده بطوریکه باعث مهاجرت کرم‌ها از توده کود شده و آسیبی به کرم وارد نشود، داشتن پارامترهای حرارتی کود ورمی کمپوست از قبیل گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار حرارتی ضروری می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق تعیین ضریب انتشار حرارتی کود ورمی کمپوست در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C و رطوبتهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد با استفاده از روش بدست آمده از حل یک معادله فوریه برای استوانه نامحدود و تعیین یک معادله برای پیش بینی ضریب انتشار حرارتی کود ورمی کمپوست می‌باشد. روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری ضریب انتشار حرارت مواد وجود دارد. روش‌های تعیین ضریب انتشار حرارت به دو دسته کلی روش



مستقیم و روش غیر مستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش غیر مستقیم با داشتن ضریب هدایت حرارت k ، گرمای ویژه C_p و جرم حجمی ماده از رابطه (۱) می‌توان ضریب انتشار حرارت را محاسبه کرد (محسنین، ۱۹۸۰).

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (1)$$

روش‌های مختلفی برای تعیین مستقیم ضریب انتشار حرارت مواد وجود دارد. یکی از روش‌های مستقیم تعیین ضریب انتشار حرارت مواد، استفاده از پراب^۱ است. در این روش از دو ترموکوپل که در فاصله I از یکدیگر قرار دارند و یکی از ترموکوپل‌ها در مرکز پراب می‌باشد، برای تعیین ضریب انتشار حرارت مواد استفاده می‌شود (نیکس و همکاران، ۱۹۶۷). جسم استوانه‌ای و داده‌های زمان-دما^۲ (روش دیکرسون^۳) یکی دیگر از روش‌های مستقیم تعیین ضریب انتشار حرارت مواد می‌باشد. در این روش تغییرات دمای ماده مورد نظر که در داخل یک استوانه قرار داده شده است، نسبت به زمان در طی یک انتقال حرارت گذرا ثبت می‌شود، سپس با تعیین شیب منحنی دما در مقابل زمان (A) ، قطر استوانه (R) ، دمای مرکز استوانه حاوی ماده مورد آزمایش (T_c) و دمای بدنه استوانه (T_s) با استفاده از رابطه (۲) می‌توان ضریب انتشار حرارت را محاسبه نمود (دیکرسون، ۱۹۶۵).

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_s - T_c)} \quad (2)$$

ایرتون و و پری^۴ (۱۸۷۸) با استفاده از قانون گرمایش و سرمایش فوری برای یک جسم کره‌ای ضریب انتشار حرارت را به طور مستقیم به دست آوردند. در این روش هم از شیب منحنی تغییرات دمای ماده در مقابل زمان در حالت انتقال ایرتون و پری (۱۸۷۸) با استفاده از قانون گرمایش و سرمایش فوری برای یک جسم کره‌ای ضریب انتشار حرارت را به طور مستقیم به دست آوردند. در این روش هم از شیب منحنی تغییرات دمای ماده در مقابل زمان در حالت انتقال حرارت گذرا استفاده حرارت گذرا استفاده شد (ایرتون و پری، ۱۸۷۸).

با وجود اینکه روشهای زیادی برای اندازه گیری ضریب انتشار حرارتی مواد وجود دارد، ولی هر کدام از این روشها نیازمند وسایل پیچیده و شرایط دشواری برای انجام آزمایش هستند (جین و پاتاره، ۲۰۰۷). محاسبه ضریب انتشار حرارتی با استفاده از حل یک معادله فوری روش قابل اطمینان و ثابت شده‌ای است که دارای خطای بسیار اندکی می باشد (بایری و همکاران، ۲۰۰۷). بایری و همکاران (۲۰۰۷) برای اولین بار از این روش جهت تعیین ضریب انتشار حرارت برخی از مایعات، گوشت و مواد کشاورزی استفاده کردند. جین و پاتاره (۲۰۰۷) نیز با استفاده از روش حل یک معادله فوری ضریب انتشار حرارت ماهی تازه را تعیین کردند. امین‌نیری و همکاران (۱۳۸۸) ضریب انتشار حرارتی کود دامی را با استفاده از همین روش بدست آوردند.

¹ Probe

² Cylindrical object and time-temperature data

³ Dickerson

⁴ Ayrton and Perry



۲- مواد و روشها

۲-۱- نحوه تهیه کود ورمی کمپوست

ورمی کمپوست تولیدی مورد استفاده در این مطالعه از واحد تولید ورمی کمپوست واقع در دانشکده کشاورزی شهریار از استان تهران-شهرستان صفادشت عمل آوری شد و مورد آزمایش قرار گرفت.

۲-۲- نحوه اندازه گیری رطوبت

برای تعیین محتوای رطوبت اولیه کود سه نمونه ۱۰۰ گرمی از کود طبق استاندارد ASAE S358.2 در داخل آون ساخت شرکت آبی آسا با دمای $103 \pm 3^\circ\text{C}$ به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. محتوای رطوبت طبق رابطه‌ی (۳) بر پایه‌ی تر سنجیده شد (استاندارد ASAE، ۱۹۹۸).

$$M_{wb} = \frac{W_w}{W_t} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \quad (3)$$

که در این روابط:

M_{wb} = رطوبت کود بر مبنای تر (%); W_w = جرم آب موجود در کود (gr); W_t = جرم کل کود (gr); W_d = جرم ماده خشک موجود در کود (gr) می‌باشند.

۲-۱- تهیه نمونه کود ورمی کمپوست با رطوبت مورد نظر

برای تهیه نمونه‌هایی با سطوح رطوبتی مورد نظر برای هر آزمایش، با آب‌پاش به کود آب مقطر اضافه گردید مقدار آب اضافه شده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$m_w = \frac{m_i (M_{wf} - M_{wi})}{1 - M_{wf}} \quad (4)$$

که در این رابطه:

m_w = جرم آب اضافه شده (gr); m_i = جرم اولیه کود تر (gr); M_{wi} = رطوبت اولیه کود بر مبنای تر (%); M_{wf} = رطوبت نهایی بر مبنای تر (%). می‌باشند.

پس از اضافه نمودن آب مقطر، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در کیسه‌های پلاستیکی در بسته، در یخچال با دمای پنج درجه سانتیگراد نگهداری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در نمونه‌ها توزیع شود.

۳- تئوری آزمایش

انتقال حرارت از طریق هدایت در داخل یک استوانه نا محدود را می‌توان با معادله فوریه در مختصات استوانه‌ای به صورت رابطه (۵) بیان کرد (جین و پاتاره، ۲۰۰۷):

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$



که T دما بر حسب درجه سانتیگراد، r شعاع استوانه بر حسب متر، x طول محور مرکزی استوانه بر حسب متر، α ضریب انتشار حرارتی (m^2/s) و t زمان بر حسب ثانیه می باشد. با توجه به اینکه گرادیان حرارتی در جهت محور مرکزی استوانه، نسبت به گرادیان حرارتی در جهت شعاع استوانه کم می باشد، می توان از جمله $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ در معادله (۵) صرف نظر کرد (جین و پاتاره، ۲۰۰۷).

چون نسبت طول استوانه به شعاع آن ده به یک در نظر گرفته شده است، بنابراین تبادل حرارت استوانه با محیط تنها منحصر به سطح جانبی آن شده و مسئله به صورت یک بعدی قابل حل می باشد. بنابراین معادله (۵) را می توان به صورت معادله (۶) نوشت (جین و پاتاره، ۲۰۰۷):

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (6)$$

بایری و لاراکی در سال (۲۰۰۳) معادله (۶) را به صورت معادله (۷) حل کردند:

$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\lambda_n^2 F_0) \frac{J_1(\lambda_1)}{\lambda_n J_0^2(\lambda_1) + J_1^2(\lambda_1)} J_0(\lambda_n r) \quad (7)$$

که θ دمای نسبی و بدون بعد، T_0 دمای اولیه نمونه کود بر حسب سانتیگراد، T_{ma} دمای مرکز نمونه در هر لحظه بر حسب سانتیگراد، T_e دمای اولیه منبع خنک بر حسب سانتیگراد، F_0 عدد بدون بعد فوریه، J_0 و J_1 توابع بسل از نوع اول، به ترتیب با مرتبه صفر و یک می باشند. λ_1 و λ_n ریشه های مثبت معادله مشخصه (۸) هستند (بایری و لاراکی، ۲۰۰۳).

$$\lambda_n J_1(\lambda_n) - Bi_c J_0(\lambda_n) = 0 \quad (8)$$

Bi_c عدد بدون بعد بایوت اصلاح شده است که از معادله (۹) محاسبه می شود (بایری و لاراکی، ۲۰۰۳):

$$Bi_c = \frac{hr}{\gamma} \quad (9)$$

که γ ضریب هدایت حرارت بر حسب ($W/m K$) می باشد.

F_0 عدد بدون بعد فوریه اصلاح شده است که توسط معادله (۱۰) محاسبه می شود (بایری و لاراکی، ۲۰۰۳):

$$F_0 = \frac{\alpha t}{r^2} \quad (10)$$

α ضریب پخش حرارت بر حسب m^2/s می باشد.

زمانیکه ضریب انتقال حرارت خیلی بزرگ باشد، تنها جمله اول معادله (۱۱) تقریب خوبی برای حل معادله فوریه در مختصات استوانه ای ارائه می دهد (بایری و لاراکی، ۲۰۰۷). مقدار ریشه اول λ_1 برابر $2/4.05$ می باشد. بنابراین معادله (۷) به صورت رابطه (۱۱) بازنویسی می شود.



$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = k \exp(-\lambda_1^2 F_0) \quad (11)$$

که ثابت k برابر است با:

$$k = 2 \frac{1}{\lambda_n} \frac{J_1(\lambda_1)}{J_0^2(\lambda_1) + J_1^2(\lambda_1)} J_0(\lambda_n r) \quad (12)$$

بنابراین:

$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = k \exp(-\lambda_1^2 \frac{\alpha t}{r^2}) \quad (13)$$

که F شعاع استوانه بر حسب متر می‌باشد.

نمودار $\ln(\theta)$ در مقابل زمان یک خط مستقیم است. با اندازه‌گیری دقیق شیب منحنی، ضریب انتشار حرارتی با استفاده از معادله (۱۴) محاسبه خواهد شد (بایری و لاراکی، ۲۰۰۷).

$$\alpha = \frac{F_0}{(t/r^2)} \quad (14)$$

که t زمان سرد شدن نمونه کود بر حسب ثانیه می‌باشد.

۴- شرح آزمایش

نمونه‌های کود ورمی کمپوست در داخل یک استوانه آلومینیمی با دیواره بسیار نازک با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر طول و قطر ۷/۵ میلی‌متر، قرار داده شد. استوانه به همراه نمونه در داخل آب با دمای معین قرار گرفت (برای آزمایش در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C دمای آب به ترتیب ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C در نظر گرفته شد) تا نمونه و استوانه با آب هم‌دما شوند، سپس استوانه حاوی نمونه در داخل یک منبع با دمای پایین (برای آزمایش در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C دمای منبع به ترتیب ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C در نظر گرفته شد) قرار داده شد و تغییرات دمای مرکز نمونه (T_{ma}) با استفاده از یک دیتالاگر (CHY502A, Taiwan) در کامپیوتر ثبت گردید. این مراحل آزمایشی برای پنج سطح رطوبتی (M) ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد در سه تکرار انجام گرفت.

۵- نتایج

جدول (۱) پارامترهای رابطه خطی بین $\ln(\theta)$ و زمان سرد شدن و R^2 را برای نمونه‌های کود در دماهای مورد آزمایش و رطوبتهای ۱۰ و ۲۰ درصد نشان می‌دهد. مقدار R^2 از ۰/۹۹۹۶ تا ۰/۹۹۲۴ و خطای استاندارد (e_s) بین ۰/۰۹۳۸۶ تا ۰/۰۱۸۲۱ می‌باشد. رابطه خطی بین لگاریتم دما و زمان سرد شدن نشان دهنده دقت بالای ضریب انتشار



حرارتی محاسبه شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، در سطوح محتوای رطوبتی ثابت با افزایش دما شیب خطوط ($|A|$) افزایش می‌یابد.

جدول (۱): ضرایب رابطه بین $\ln(\theta)$ و زمان سرد شدن در رطوبتهای ۱۰ و ۲۰ درصد و دماهای مورد آزمایش $(\ln(\theta)=At+B)$.

رطوبت %	دما °C	پارامترهای رابطه خطی		R^2	e_s
		A	B		
۱۰	۴۰	-۰/۰۱۷۲۰	-۰/۲۷۳۱	۰/۹۹۳۳	۰/۰۵۸۶۳
	۵۰	-۰/۰۲۱۲۴	-۰/۰۶۷۵	۰/۹۹۴۹	۰/۰۴۴۵۲
	۶۰	-۰/۰۲۴۲۸	۰/۰۵۰۳	۰/۹۹۷۳	۰/۰۷۱۴۶
	۷۰	-۰/۰۲۹۴۲	-۰/۲۵۸۱	۰/۹۹۲۴	۰/۰۸۵۰۹
۲۰	۴۰	-۰/۰۱۶۳۷	-۰/۰۸۸۵	۰/۹۹۴۶	۰/۰۵۶۹۸
	۵۰	-۰/۰۲۰۲۲	-۰/۰۴۰۷	۰/۹۹۹۴	۰/۰۲۷۳۰
	۶۰	-۰/۰۲۳۲۶	۰/۰۲۴۲	۰/۹۹۹۲	۰/۰۳۶۴۶
	۷۰	-۰/۰۲۸۲۴	۰/۰۲۴۰۰	۰/۹۹۸۱	۰/۰۵۵۷۵

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در رطوبتهای ثابت با افزایش دما شیب خطوط ($|A|$) افزایش می‌یابد. همچنین در دمای ثابت با افزایش رطوبت شیب ($|A|$) روند کاهشی دارد. ضریب انتشار حرارتی با استفاده از معادله (۱۴) و با توجه به مقدار شیب خطوط بدست آمده از رسم $\ln(\theta)$ در مقابل زمان سرد شدن و معلوم بودن شعاع استوانه استفاده شده در آزمایش محاسبه شد. مقدار α از $۲/۸۶۱ \times 10^{-7}$ تا $۱/۳۹۷۳ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ بدست آمد.

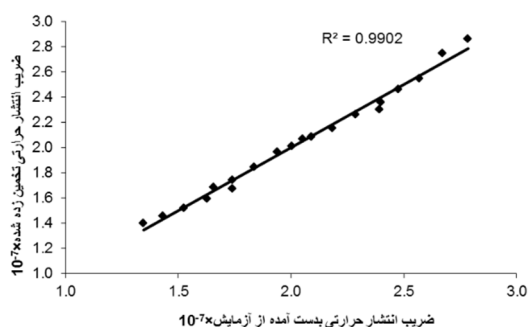
اعداد به دست آمده با نتایج حاصله از تحقیق بر روی مواد کشاورزی همخوانی دارد. بابت (۱۹۴۵) ضریب انتشار حرارت توده گندم را با استفاده از روش پراب در رطوبت ۹/۲٪، $۱/۱۵ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ گزارش کرد. وراتن و همکاران (۱۹۶۵) ضریب انتشار حرارت شلتوک را در محدوده $۰/۸۵۶ \times 10^{-7}$ تا $۳/۴۵ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ برای محدوده رطوبتی ۱۲ تا ۲۰٪ تعیین کردند. هوکوم و همکاران (۱۹۷۴) مقدار ضریب پخش حرارت کود گاوی را $۱/۶۲۵ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ محاسبه کردند. ایوبوچی و همکاران مقدار ضریب پخش حرارت کود گاوی مخلوط شده با خرده چوب را $۱/۱۸ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ گزارش کردند. امین نیری و همکاران (۱۳۸۸) ضریب انتشار حرارتی کود گاو شیری را در محدوده رطوبتی ۲۰٪ تا ۸۰٪ بین $۰/۹۰۴ \times 10^{-7}$ و $۲/۱۱ \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ تعیین کردند.

معادله (۱۵) یک رابطه سهمیگون بین α ، رطوبت (M) و دما (T) را در شرایط آزمایش نشان می‌دهد. با توجه به دقت بالای مدل ($R^2=۰/۹۹۰۲$) بدست آمده می‌توان از آن برای تخمین α کود در شرایط آزمایش شده استفاده کرد.

$$\alpha = 1.01 \times 10^{-7} + 1.37 \times 10^{-9} T + 1.92 \times 10^{-11} T^2 - 1.3 \times 10^{-9} M + 4.48 \times 10^{-12} M^2 \quad (15)$$

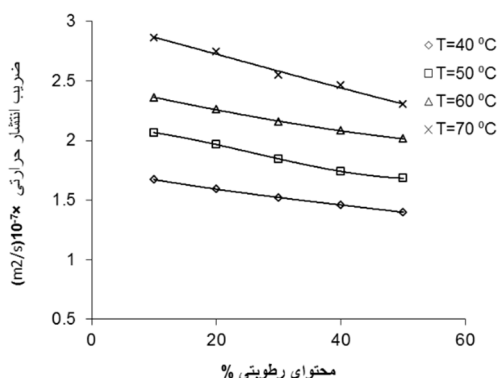


مقادیر α حاصل از آزمایشات را در مقابل α بدست آمده از معادله (۱۵) در شکل (۱) نشان داده شده است. خطی با زاویه تقریباً 45° ($y = 0.9999x + 4 \times 10^{-5}$) بر آنها برازش شده است که نشان دهنده دقت بالای مدل بدست آمده است.



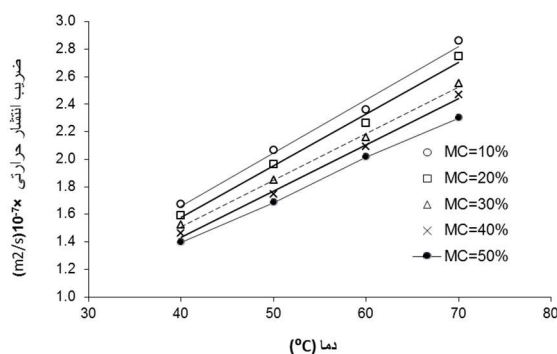
شکل ۱: مقایسه α حاصل از آزمایشات و α بدست آمده از مدل معادله (۱۵).

شکل (۲) تأثیر میزان رطوبت را بر α نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش محتوای رطوبتی توده ورمی کمپوست مقدار α روند کاهشی دارد. همچنین با افزایش مقدار دما از 40°C به 70°C نمودارها در سطوح بالاتری قرار می‌گیرند.



شکل ۲: تغییرات α با افزایش رطوبت در دماهای 40°C ، 50°C ، 60°C و 70°C

شکل (۳) تأثیر افزایش دما را بر α در رطوبتهای مورد آزمایش نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشخص است، با افزایش دما مقدار α به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین خط مربوط به سطح رطوبتی 10% از بقیه سطوح رطوبتی بالاتر قرار دارد که این با نتایج بدست آمده از شکل (۲) همخوانی دارد.



شکل ۳: تغییرات α با افزایش دما در رطوبتهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد.

۶- نتیجه گیری

ضریب انتشار حرارتی کود ورمی کمپوست با استفاده از حل یک بعدی معادله حرارتی فوریه برای یک استوانه بدست آمد. مقدار α با افزایش دما به صورت خطی افزایش یافت. همچنین α با افزایش رطوبت از ۱۰٪ به ۵۰٪ روند کاهشی نشان داد. مقدار α از $1/3973 \times 10^{-7}$ تا $2/861 \times 10^{-7}$ (m²/s) بدست آمد. یک مدل سهمیگون با $R^2=0/9902$ برای تخمین α در شرایط آزمایش شده ارائه شد.

۷- مراجع

۱. امین‌نیری، م. کیانمهر، م.ح. محمدحسینی ا.ع. و حسن‌بیگی س.ر. ۱۳۸۸. تعیین ضریب انتشار حرارت کود گاوی با استفاده از حل یک بعدی معادله فوریه. مجله علوم کشاورزی ایران.
2. ASAE Standards S269.4 Cubes, Pellets and Crumbles-Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture Content ASAE DEC96. Standard S358.2 Moisture Measurement-forages. ASAE, St. Joseph, MI., 1998.
3. Ayrton, W.R. & J. Perry. 1878. Experimental on the heat conductivity of stone based on fourier's "Theoric de la Chaleur." *Philosophical Magazine*, 5th Series, 5: 241-269.
4. Babbitt, J. D, 1945. The thermal properties of grain in bulk. *Can. J. of Res.*, F23: 388-401.
5. Bairi, A., N. Laraqi, & J.M.G.D, Maria. 2007. Determination of thermal diffusivity of foods using 1D Fourier cylindrical solution. *Journal of Food Engineering*, 78(2): 669-675.
6. Bairi, A. & N. Laraqi. 2003. Diagrams for fast transient conduction in sphere and long cylinder subject to sudden and violent thermal effects on its surface. *Applied Thermal Engineering*, 23(11): 1373-1390.
7. Beetz, A. 1999. Worms for Composting (Vermicomposting). ATTRA Livestock technical notes.
8. Dickerson, R.W. 1965. An apparatus for measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technology*, 19(5): 198-204.
9. Fieldson, R.S. 1988. The economic viability of earthworm culture on animal wastes, in *Earthworms in waste and environmental management*. C. Edwards, and Neuhauser, F., Editors. The Hague, 145-156.
10. Houkom, R.L., A.F. Butchbaker and G.H. Bruswitz, 1974. Effect of moisture content thermal diffusivity of boof manure. *Transactions of the ASAE*, 17: 973-977.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



11. Iwabuchi, K., T. Kimura. and L. Otten, 1999. Effect of volumetric water content on thermal properties of dairy cattle feces mixed with sawdust. *Bioresource Technology*, 70: 293-297.
12. Jain, D. & P.B. Pathare. 2007. Determination of thermal diffusivity of freshwater fish during ice storage by using a one-dimensional Fourier cylindrical equation. *Biosystems Engineering*, 96(3):407-412.
13. Mohsenin, N.N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York, NY: Gordon and Breach, Science Publishers, Inc.
14. Nix, G.H., G.W. Lowery., R.I. Vachon, & G.E. Tanger. 1967. Direct determination of thermal diffusivity and conductivity with a refined line-source technique. *Progress in Aeronautics and Astronautics: Thermo physics of Spacecraft and Planetary Bodies*, 20: 865-878. Academic Press, New York.
15. Wratten, F.T., W.D. Poole., J.L. Chesness., S. Bal. and V. Ramarao, 1969. Physical and thermal properties of rough rice. *Transactions of the ASAE*, 12(6): 801-803.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



Determination of Thermal Diffusivity of Vermicompost by One-Dimensional Fourier Solution

Abstract

One of the best ways for recycling is the Producing of vermicompost from municipal waste. Worms optimal separation of organic material after finishing process increases the rate of decomposition of waste by composting worms placed. There is an effective technology for the rapid isolation of composting worms from vermicompost makes it easy to process. To design and build a system for induction heating the substrate in a controlled vermicompost fertilizer which leads to separation worms from bed and does not get hurt, the thermal parameters manure vermicompost is the essential. In this research the thermal diffusivity of vermicompost was determined by one-dimensional Fourier solution. Experiments were done at 10, 20, 30, 40 and 50% (w.b) moisture contents levels and 40, 50, 60 and 70°C temperature levels. The thermal diffusivities of vermicompost were obtained from 1.3973×10^{-7} to 2.861×10^{-7} m²/s. A polynomial model adequately estimates the thermal diffusivity, α , agreeably to moisture content and temperature of vermicompost, with coefficient of determination of 0.9902. A linear trend was observed with increase of the thermal diffusivity of vermicompost by increasing of temperature. At a constant temperature, the thermal diffusivity increased by decreased of moisture content from 10% to 50% (w.b.).

Keywords: Vermicompost, Thermal Diffusivity, Fourier equation.