

تعیین ضریب انتشار حرارتی کود گاوی با استفاده از روش بدست آمده از حل یک بعدی معادله فوریه (1D) (305)

محمد امین نبوی^۱، محمدحسین کیانمهر^۲، اکبر عرب محمدحسینی^۳، سیدرضا حسن بیگی^۴

چکیده

کود خشک برای استفاده در زمینهای کشاورزی و بستر دام کاربرد دارد. از جمله مواردی که برای ساخت یک خشک کن مناسب باید در نظر گرفت خواص حرارتی ماده شامل گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار حرارتی می باشد. در این تحقیق ضریب انتشار حرارتی کود گاو شیری با استفاده از حل یک بعدی معادله فوریه (1D) برای یک استوانه بدست آمد. آزمایشات با رطوبتهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۳٪ 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 $2/11 \times 10^{-7}$ تا $9/04 \times 10^{-8}$ (m²/s) بدست آمد. یک مدل سهمیگون با $R^2=0/991$ 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 از ۲۰ به ۴۰٪ مقدار α افزایش یافته و در رطوبتهای بالاتر از ۴۰٪ روند کاهشی نشان داد.

کلیدواژه: کود گاوی، ضریب انتشار حرارتی، معادله فوریه، سهمیگون

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، پست الکترونیک: ma_nayyeri@yahoo.com

۲- استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۳- استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۴- استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

۱- مقدمه

برای دستیابی به تولید بیشتر مواد لبنی و گوشت احداث دامپروریهای بزرگ صنعتی در حاشیه شهرها گسترش یافته است. دامپروریهای صنعتی با تولید و تجمع کود فراوان در اطراف دامپروری سلامت و بهداشت محیط زیست را به مخاطره انداخته اند. تولید انبوه و تجمع فضولات حیوانی به علت صنعتی شدن دامپروری از یک طرف، و کشف و استفاده وسیع از کودهای شیمیایی از طرف دیگر، بطور تدریجی باعث شده تا دفع این محصول فرعی دامپروری ها به یک مشکل تبدیل شود. اگر چه از مقتضیات تولید انبوه فرآورده های دام و طیور، تبدیل دامداریها یا مرغداریهای سنتی به صنعتی بوده است، ولی تولید انبوه کود یا فضولات حیوانی در داخل واحدهای بزرگ پرورش دام و طیور نیز جزء لاینفک چنین واحدهایی می باشد. این امر، علاوه بر، اقتصادی تر بودن مصرف کودهای شیمیایی در اراضی، موجب بی مصرف ماندن کودهای حیوانی (به دلیل هزینه زیاد حمل و نقل) و تجمع آن در اطراف مزارع بزرگ دامپروری یا مرغداری شده است، به طوری که نه تنها کود تولید شده قابل فروش نبوده، بلکه در اغلب موارد این واحدها مجبور به تحمل هزینه های گزاف برای معدوم نمودن آن بوده اند.

از نقطه نظر فیزیکی کود به صورت مخلوطی از آب و جامد دیده می شود. مواد جامد کود معرف مواد تجزیه شدنی و معلق درون کود می باشد. با بررسی های فیزیکی که بر روی کود انجام گرفته آنرا به چهار حالت: مایع^۱، دوغابی^۲، نیمه جامد^۳ و جامد^۴ تقسیم بندی کرده اند، که به صورت تابعی از مواد خشک، ویسکوزیته و خصوصیات رئولوژیکی کود می باشد (لندری، ۲۰۰۵). تفاوت بین طبقه بندی های انجام شده برای کود فقط به مواد جامد در برگیرنده آن بستگی ندارد، بلکه تحت تأثیر عواملی همچون رژیم غذایی دام، نوع و مقدار مواد مورد استفاده در بستر دام، میزان پس ماند آب و غذایی که برای دام استفاده می شود، می باشد. از لحاظ وزنی، تولید کود دامی جامد سه برابر مایع است و تقریباً نیمی از آن، تمام فسفر و $\frac{2}{5}$ پتاس موجود در کود دامی در قسمت جامد آن متمرکز می باشد. کود جامد دامی در واقع قسمتی از علوفه مورد مصرف حیوان می باشد که تحت تاثیر شیره دستگاه گوارش قرار گرفته ولی به صورت قابل جذب برای حیوان در نیامده است.

به دلیل نبود روشی سریع برای بازیافت کود تولیدی، گاوداری ها مجبور به دیو کردن آن می شوند. کود تازه تولید شده در گاوداری ها دارای رطوبتی بالای ۸۰ درصد است و به همین دلیل کود دیو شده محل مناسبی برای رشد عوامل بیماری زا برای دامها می باشد. علاوه بر این، کود دیو شده باعث انتشار آمونیاک، اکسید نیتروژن و بوی نامطبوع می شود [۴]. انتشار این مواد در طبیعت باعث بوجود آمدن آلودگی زیست محیطی خواهد شد [۷]. انجام یک مدیریت صحیح در گاوداریها و بازیافت سریع کود باعث کم شدن این مشکلات می شود. یکی از مشکلاتی که در بازیافت سریع کود وجود دارد رطوبت بالای کود تازه می باشد. یکی از روشهایی که برای بازیافت سریع کود گاو می توان استفاده کرد خشک کردن آن می باشد. کود خشک دارای آلودگی کمتری نسبت به کود تازه است. کود خشک را می توان بعنوان یک ماده آلی مفید در زمینهای کشاورزی بکار برد. همچنین می توان از آن بعنوان بستر در گاوداری ها استفاده کرد. یکی از روشهای قدیمی خشک کردن کود، استفاده از گرمای خورشید بوده است. از مزایای مهم این روش کم بودن هزینه مصرفی و انرژی مورد نیاز می باشد. اما این روش دارای مشکلاتی مانند ایجاد آلودگی محیطی، طولانی بودن زمان خشک شدن و پخش شدن کود می باشد. مشکلاتی از این قبیل ضرورت استفاده از تکنولوژی جدید را برای فرآیند خشک کردن کود بوجود آورده است. برای ساخت یک خشک کن مناسب جهت خشک کردن کود، دانستن خواص فیزیکی و حرارتی کود از قبیل چسبندگی، اصطکاک، ضریب هدایت حرارت، گرمای ویژه و ضریب انتشار حرارتی کود ضروری می باشد. روشهای گوناگونی برای اندازه گیری ضریب انتشار حرارتی وجود دارد. ویدنفلر و هوفر^۵ در سال ۲۰۰۴ یک روشی را برای اندازه گیری ضریب انتشار حرارتی مواد فیلر شبیه به مانتیت، سولفات باریوم و مس پیشنهاد کردند. یانگ و همکاران^۶ در سال ۲۰۰۲ ضریب انتشار حرارتی گل گاوزبان را تعیین کردند. 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 [۸].

1- liquid

2- slurry

3- semisolid

4- solid

5- Weidenfeller and Hofer.

6- Yang et al.

محاسبه ضریب انتشار حرارتی با استفاده از حل یک بعدی معادله فوریه روش قابل اطمینان و ثابت شده ای است که دارای خطای بسیار اندکی می باشد [۳].

هدف اصلی این تحقیق تعیین ضریب انتشار حرارتی کود در دماها و رطوبتهای مختلف با استفاده از روش بدست آمده از حل یک بعدی معادله فوریه برای استوانه نامحدود و تعیین یک معادله برای پیش بینی ضریب انتشار حرارتی کود می باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱ تهیه نمونه

کود تهیه شده از گاوداری، با هم مخلوط شد تا به صورت یکنواخت در آید، و سپس در دمای ۵ درجه سانتیگراد در یخچال نگهداری شد تا رطوبت آن یکنواخت شود. برای تعیین رطوبت اولیه در هر سطح رطوبت سه نمونه ۳۵۰ گرمی در نظر گرفته شد و طبق استاندارد، به مدت ۲۴ ساعت در دمای 2 ± 10.3 در آن نگاه اری شد [۹].

۲-۲ تئوری آزمایش

انتقال حرارت از طریق هدایت در داخل یک استوانه نامحدود را می توان با معادله فوریه در مختصات استوانه ای به صورت رابطه (۱) بیان کرد:

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

که T دما بر حسب درجه سانتیگراد، 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 (۱) صرفنظر کرد [۸]. 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 (۱) را می توان به صورت معادله (۲) نوشت:

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

باربر و لاراکی^۱ در سال ۲۰۰۳ معادله (۲) را به صورت معادله (۳) حل کردند:

$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\lambda_n^2 F_0) \frac{J_1(\lambda_1)}{\lambda_n J_0^2(\lambda_1) + J_1^2(\lambda_1)} J_0(\lambda_n r) \quad (3)$$

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^۲ از نوع اول، به ترتیب با مرتبه صفر و یک می باشند. λ_1 و λ_n ریشه های مثبت معادله بسل هستند.

زمانیکه ضریب انتقال حرارت خیلی بزرگ باشد، تنها جمله اول معادله (۳) تقریب خوبی برای حل معادله فوریه در مختصات استوانه ای می باشد [۲]. مقدار ریشه اول λ_1 برابر $2/4.05$ می باشد. بنابراین معادله (۱) به صورت رابطه (۴) بازنویسی می شود.

$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = k \exp(-\lambda_1^2 F_0) \quad (4)$$

که ثابت k برابر است با:

1- Bairi and Laraqi.
2- Bessel.

$$k = 2 \frac{1}{\lambda_n} \frac{J_1(\lambda_1)}{J_0^2(\lambda_1) + J_1^2(\lambda_1)} J_0(\lambda_n r) \quad (5)$$

بنابراین:

$$\theta = \frac{T_{ma} - T_e}{T_0 - T_e} = k \exp(-\lambda_1^2 \frac{\alpha t}{r^2}) \quad (6)$$

که r شعاع استوانه بر حسب متر می باشد.نمودار $Ln(\theta)$ در مقابل زمان یک خط مستقیم است. با اندازه گیری دقیق شیب منحنی، ضریب انتشار حرارتی با معادله

(7) محاسبه خواهد شد.

$$\alpha = \frac{F_0}{(t/r^2)} \quad (7)$$

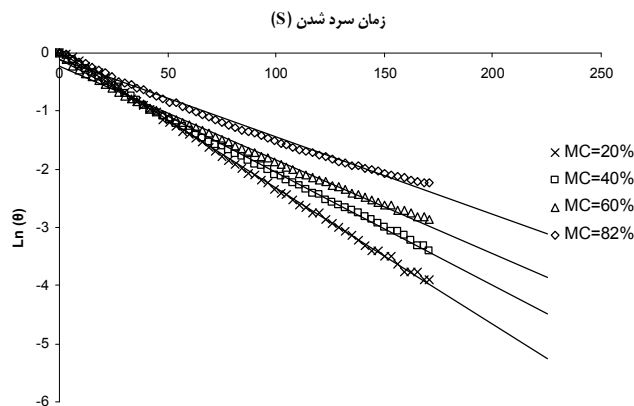
که t زمان سرد شدن نمونه کود بر حسب ثانیه می باشد.

۳-۲ شرح آزمایش

نمونه های کود 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 هم دما 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 گ دید. این مراحل آزمایشی برای چهار سطح رطوبتی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۲ درصد و در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد در سه تکرار انجام گرفت.

۳- نتایج

شکل (۱) نمودار $Ln(\theta)$ را در مقابل زمان سرد شدن نمونه های کود در دمای ۴۰°C و رطوبتهای مختلف نشان می دهد. همانطور که در شکل (۱) مشخص است یک رابطه خطی با شیب منفی بین $Ln(\theta)$ و زمان سرد شدن بر قرار می باشد. همچنین با افزایش سطح رطوبت مقدار شیب کاهش می یابد. رابطه بین زمان سرد شدن و $Ln(\theta)$ با استفاده از تحلیل رگرسیونی برای رطوبتها و دماهای مورد آزمایش بدست آمد. جدول (۱) پارامترهای رابطه خطی بین $Ln(\theta)$ و زمان سرد شدن و R^2 را برای نمونه های کود در رطوبتها و دماهای مورد آزمایش نشان می دهد. مقدار R^2 از ۰/۹۹۹۴ تا ۰/۹۹۰۱ و خطای استاندارد (e_s) بین ۰/۰۹۶۵۶ تا ۰/۱۲۱۵ می باشد. رابطه خطی بین لگاریتم دما و زمان سرد شدن نشان دهنده دقت بالای ضریب انتشار ارتی محاسبه شده است. همانطور که در جدول مشاهده می شود، در رطوبتهای ثابت با افزایش دما شیب خطوط (A) افزایش می یابد. همچنین در دمای ثابت با افزایش رطوبت از ۲۰٪ به ۴۰٪ شیب افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی دارد. ضریب انتشار حرارتی با استفاده از معادله (7) 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 $۲/۱۱ \times 10^{-7}$ تا $۹/۰۴ \times 10^{-8}$ (m^2/s) بدست آمد.



شکل (۱): لگاریتم بدون بعد دما $(Ln(\theta))$ در مقابل زمان سرد شدن کود در دمای 40°C در چهار سطح رطوبتی

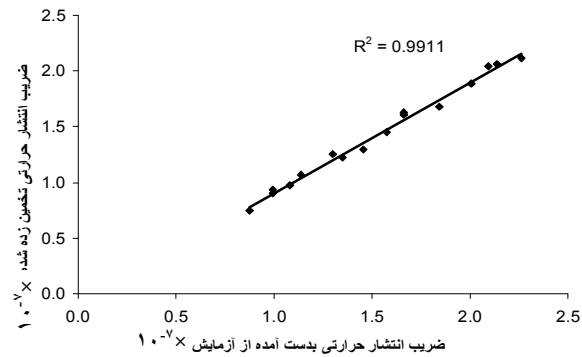
جدول (۱): ضرایب رابطه بین $Ln(\theta)$ و زمان سرد شدن $(Ln(\theta) = At + B)$ در دماها و رطوبتهای مورد مایش.

C(°)	رطوبت %	پارامترهای رابطه خطی		R^2	e_s
		A	B		
40	20	-0.1019	-0.10614	0.9917	0.5977
	40	-0.1113	-0.15968	0.9970	0.9656
	60	-0.1024	-0.22818	0.9901	0.8052
	82	-0.0897	-0.2039	0.9965	0.743
50	20	-0.1387	-0.19751	0.9973	0.6497
	40	-0.1495	-0.3698	0.9994	0.2481
	60	-0.1338	-0.33803	0.9902	0.1215
	82	-0.1169	-0.12271	0.9904	0.66
60	20	-0.1709	-0.13685	0.9922	0.8421
	40	-0.1894	-0.21973	0.9992	0.3315
	60	-0.1709	-0.26793	0.9972	0.7254
	82	-0.1621	-0.1406	0.997	0.6627
70	20	-0.2155	-0.23461	0.9924	0.7735
	40	-0.2324	-0.96352	0.9972	0.4612
	60	-0.2196	-0.32612	0.9957	0.7
	82	-0.2061	-0.16771	0.9913	0.7

معادله (۸) یک رابطه سهمگون بین α ، رطوبت و دما را در شرایط آزمایش نشان می دهد. با توجه به دقت بالای مدل $(R^2 = 0.991)$ بدست آمده می توان از آن برای تخمین α کود در شرایط آزمایش شده استفاده کرد.

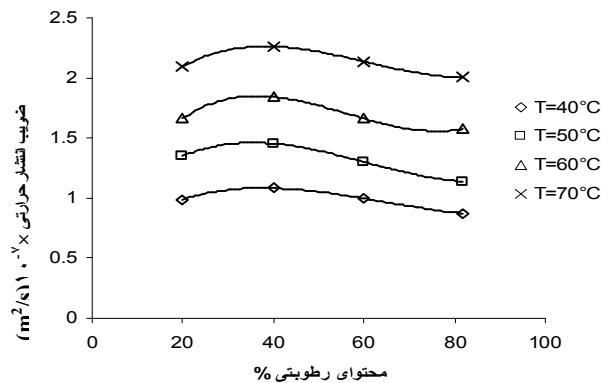
$$\alpha = 6.404 \cdot 10^{-10} T + 1.24 \cdot 10^{-9} MR + 2.865 \cdot 10^{-11} T^2 - 1.464 \cdot 10^{-11} MR^2 \quad (8)$$

مقادیر α حاصل از آزمایشات را در مقابل α بدست آمده از معادله (۸) در شکل (۲) نشان داده شده است. خطی با زاویه تقریباً 45° ($y = 0.999x - 8 \cdot 10^{-9}$) بر آنها فیت شده است که نشان دهنده دقت بالای مدل بدست آمده است.



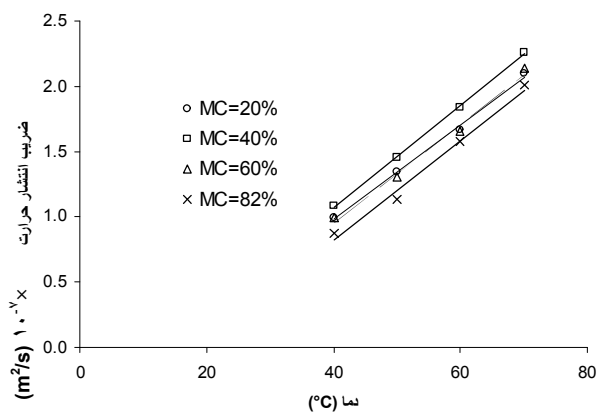
شکل (۲): مقایسه α حاصل از آزمایشات و α بدست آمده از مدل معادله (۸).

شکل (۳) تاثیر میزان رطوبت را بر α نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش رطوبت از ۲۰٪ به ۴۰٪، α یک روند افزایشی داشته و پس از آن در رطوبتهای بیشتر از ۴۰٪ کاهش می یابد. همچنین با افزایش مقدار دما از ۴۰ به ۷۰°C منحنی ها در سطوح بالا تری قرار می گیرند.



شکل (۳): تغییرات α با افزایش رطوبت در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C

شکل (۴) تاثیر افزایش دما را بر α در رطوبتهای مورد آزمایش نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است، با افزایش دما مقدار α به صورت خطی افزایش می یابد. همچنین خط مربوط به سطح رطوبتی ۴۰٪ از بقیه سطوح رطوبتی بالاتر قرار دارد که این با نتایج بدست آمده از شکل (۳) همخوانی دارد.



شکل (۴): تغییرات با افزایش دما در رطوبتهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۲ درصد.

۴- نتیجه گیری

ضریب انتشار حرارتی کود گاو شیری 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 ۲۰٪ به ۴۰٪ افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی نشان داد. مقدار α از $2/11 \times 10^{-7}$ تا $9/04 \times 10^{-8}$ (m^2/s) بدست آمد. یک مدل سهمیگون با $R^2=0/991$ برای تخمین α در شرایط آزمایش شده ارائه شد.



۵- منابع

- 1-Azoubel, P. M., Cipriani, D. C., El-Aouar, A. A., Antonio, G. C., &Murr, F. E. X. (2005). Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 413–417.
- 2- Bairi, A. & Laraqi, N. (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.
- 3- Bairi A; Laraqi, N; Garcí a de Mari´ a J M (2007).Determination of thermal diffusivity of foods using 1D Fourier cylindrical solution. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 669–675
- 4-Burton, C.H., (1997). Manure Management – Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Research Institute, Bedford, UK.
- 5-Dincer D; Dost, S. (1995). Thermal diffusivities of geometrical objects subjected to cooling, *Applied Energy*, 51, 111–118
- 6- Dincer, I. (1995). Cooling parameters and film conductances of spherical products cooled in airflow, *Applied Energy*, 50, 269–280
- 7-El-Ahraf, A., Willis, W.V., (1996). Management of Animal Waste: Environmental Health Problems and Technological Solutions. Praeger Publishers, Westport, USA.
- 8- Jain. D; Pathare. P.B; (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.
- 9- Landry. H, Laguë. C., Roberge. M. (2004). Physical and Rheological Properties of Manure Products. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 20(3): 277–288.



- 10- Magee, T. R. A. & Bransburg, T. (1995). Measurement of thermal diffusivity of potato, meat bread and wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 25, 223–232.
- 11- Markowski, M., Bialobrzewski, I., Cierach, M. & Paulo, M. (2004). Determination of thermal diffusivity of Lyoner type sausages during water bath cooking and cooling. *Journal of Food Engineering*, 65, 591–598.
- 12- Xu, Y., Shankland, T. J., Linhardt, S., Rubie, D. C., Langenhorst, F. & Klasinski, K. (2004). Thermal diffusivity and conductivity of olivine, wadsleyite and ringwoodite to 20 GPa and 1373 K. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 143–144, 321–336.
- 13- Weidenfeller, B; Hofer, M; Schilling, F. R. (2004). Thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity of particle filled polypropylene. *Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(4), 423–429
- 14- Yang, W; Sokhansanj, S; Tang, J; Winter, P. (2002). Determination of thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity of borage seeds. *Biosystems Engineering*, 82(2), 169–176

Determination of Thermal Diffusivity of Manure by a One-Dimensional (1D) Fourier Cylindrical Equation

Abstract

The drying dairy manure is usable for different purposes in agriculture and livestock. The heat properties of manure such as specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity are important factors for designing and building of a suitable dryer. In this research thermal diffusivity of manure was determined using a one-dimensional (1D) Fourier equation applied to a cylinder. Experiments were done at temperatures of 40, 50, 60 and 70°C and moisture contents of 20, 40, 60 and 82% w.b. The thermal diffusivity of manure was calculated by the slop of the logarithmic dimensionless temperature ($\ln(\theta)$) versus the cooling time. The values of thermal diffusivities of manure were found from 2.11×10^{-7} to 9.04×10^{-7} m²/s. A parabola model adequately described the relationship among the thermal diffusivity α , moisture content and temperature of manure, with coefficient of determination of 0.991. A linear trend was observed with increase of the thermal diffusivity of manure by increasing of temperature. At constant temperature, the of thermal diffusivity increased by increasing of moisture content from 20% to 40% (w.b.) and decreased at moisture contents above 40% (w.b).

Key words: Fourier equation; Manure; Parabola; Thermal diffusivity.