

# مطالعه سرعت هوادهی و سینتیکهای واکنش در فرایند کمپوست سازی برخی از زائادات کشاورزی

فاطمه نجات زاده باراندوزی<sup>۱</sup>، فتح الله غلامی بروجنی<sup>۲</sup>

دانشجوی دکتری مهندسی کشاورزی (باغبانی)- مربی و عضو هیئت علمی گروه باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی خوی<sup>۱</sup>

Fnejatzadeh@yahoo.com

دانشجوی دکتری بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران<sup>۲</sup>

fgholami@razi.tums.ac.ir

## چکیده:

هدف از انجام این مطالعه تعیین سرعت هوادهی و سینتیکهای واکنش آن در کمپوست هوازی برخی از زائادات کشاورزی می باشد. برای این منظور مواد با مخلوط چمن و زائادات گوجه فرنگی، سیب زمینی و همچنین بادمجان برای انجام مطالعه به کار رفته اند. در این مطالعه به منظور ایجاد سرعت های هوادهی مختلف از چهار راکتور با هوادهی مکانیکی و یک راکتور با هوادهی طبیعی استفاده شده است. میزان تغییرات غلظت دی اکسید کربن و دما در سه نقطه از راکتور پایش شده است. میزان رطوبت، pH و میزان مواد آلی به صورت روزانه پایش شد. متغیرهای کنترل کننده فرایند (CO<sub>2</sub>، دما، pH و میزان رطوبت) به عنوان عوامل مداخله کننده در فرایند و تجزیه مواد آلی به عنوان پارامتر بررسی راندمان فرایند بکار گرفته شده اند. در این مطالعه از هفت مدل سینتیکی مختلف به منظور مدلسازی سرعت تجزیه مواد آلی مورد بررسی قرار گرفته است که بر اساس نتایج بدست آمده چهار مدل سینتیکی از این مدلها در این مطالعه کاربرد دارند. این مدلها با آنالیزهای آماری خطای مربعات میانگین ریشه ها (RMSE)، chi-square ( $\lambda^2$ ) و کارآمدی مدلسازی modeling efficiency (EF) آنالیز شدند. بر اساس آنالیزهای آماری این مدلها، بهترین مدل انتخاب شده مدل زیر بوده است:

$$K_T = \frac{a}{T - (C \cdot b)} \cdot \exp \left( \left[ (T \cdot c) - \left( d \cdot \frac{M_c}{T} \right) \right] \right)$$

که در این مدل  $K_T$  سرعت تجزیه (gVS/gVS day)،  $T$  دمای فرایند ( $^{\circ}C$ )،  $M_c$  میزان رطوبت روزانه (%Wb)،  $C$  میزان روزانه دی اکسید کربن در راکتور (/.) و  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  ثابت های واکنش می باشند. بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، حداکثر تجزیه مواد آلی و میران دما در نسبت هوادهی ۰/۴۱ هوا در دقیقه به ازای هر کیلوگرم مواد آلی بدست آمده است. بنابراین، این مقدار هوا در فرایند کمپوست این زائادات کشاورزی میتواند مورد استفاده قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** کمپوست، سینتیک ها، میزان هوادهی، زائادات کشاورزی

## ۱- مقدمه:

مقدار زائدات تولیدی جهان روز به روز به موازات افزایش جمعیت رو به افزایش است. زائدات آلی مواد زائد جامد نقش مهمی در آلودگی محیط زیست دارند. فرایندهای دفن در زمین (Landfilling)، سوزاندن، پیرولیز، بیوگاز و کمپوست کردن از جمله روشهای دفع مواد زائد آلی می باشند. روشهای کمپوست و بیوگاز باعث کاهش خطرات زیست محیطی شده و همچنین باعث تولید محصولات اقتصادی از زائدات می شوند. کمپوست یک فرایند بیوشیمیایی تجزیه مواد آلی به مواد سالم، غیر مضر و سازگار با محیط زیست می باشد. فرایند کمپوست را می توان به عنوان یک فرایند تجزیه هوازی میکروبی کنترل شده اطلاق نمود که مواد آلی را تثبیت نموده که این مواد می توانند برای بهبود خاک و یا فرتیلازر مورد استفاده قرار گیرند (Buchanan and Gillessman, 1991; Garcia et al., 1992; Schlegel, 1992; Negro et al., 1999).

فاکتورهای موثر در فرایند کمپوست سازی شامل پارامترهای محیطی (دما، رطوبت، pH و هوادهی) و پارامترهای مرتبط با سوبسترا (نسبت کربن به نیتروژن، اندازه ذرات و میزان نوترینت ها) می باشند (Diaz et al., 2002). کمپوست هوازی تجزیه مواد آلی در حضور اکسیژن می باشد. (Liang et al., 2003) محصول اصلی تولیدی متابولیسم میکروبی عبارتند از: دی اکسید کربن، آب و حرارت می باشد. (Bari and Koenig, 2001) با توجه به اینکه این فرایند هوازی می باشد، وجود اکسیژن در این فرایند ضروری می باشد. روشهای اصلی هوادهی که منجر به اکسیژن رسانی به توده کمپوست می شوند عبارتند از: هم زدن فیزیکی توده، هوادهی طبیعی، و هوادهی مکانیکی در راکتورهای تولید کمپوست هوادهی با استفاده از بلوئر انجام می شود. هوادهی به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در تولید کمپوست هوازی مطرح است (Diaz et al., 2002). در این فرایند مشکل اصلی میزان هوادهی مورد نیاز در راکتور می باشد. در صورتیکه میزان هوادهی زیاد باشد، انرژی مورد نیاز راکتور افزایش می یابد و به دنبال آن دمای توده کاهش می یابد و در صورتیکه هوادهی ناکافی باشد فرایند به سمت بی هوازی شدن می رود (Brodie et al., 2000). برای ایجاد شرایط هوازی حداقل غلظت اکسیژن موجود در توده بایستی ۵ درصد باشد. (Haung, 1993). نسبت های هوادهی متفاوتی در مطالعات انجام شده گزارش شده است به عنوان مثال  $0.34-1.1 \text{ air/min kg}_{\text{om}}$  (Wiley and Pierce (1955)،  $0.5-1.16 \text{ air/min kg}_{\text{om}}$  (pos, 1991)،  $0.9 \text{ air/min kg}_{\text{om}}$  (Keener et al., 2001) و  $0.69 \text{ air/min kg}_{\text{om}}$  (Vining, 2002).

اگرچه مطالعات زیادی به منظور تعیین میزان هوادهی برای تجزیه مواد زائد انجام شده است ولی هیچ نتیجه آزمایشگاهی مناسبی حاصل نشده است. در این مطالعه، اثرمیزان هوادهی روی کمپوست شدن برخی از زائدات کشاورزی و نسبت هوای مورد نیاز تعیین می گردد. سرعت تجزیه روزانه با اصلاح مدل های سینتیکی و استفاده از مقادیر اندیکاتورهای مناسب قابل اندازه گیری می باشد. بنابر این فرایند کمپوست سازی قابل شبیه سازی می باشد و همچنین محصولات نهایی در طراحی و مدیریت فرایند کمپوست سازی قابل پیش بینی می باشند. این مدلها با استفاده از روشهای مختلف آماری آنالیز شدند.

اگرچه این مطالعات نمی توانند شرایط واقعی را در کمپوست سازی به طور کامل شبیه سازی کنند ولی برای درک اثر پارامترهای مختلف بطور جداگانه در این فرایند مفید باشند.

## ۲- مواد و روشها

### - مواد کمپوست

در این مطالعه مواد کمپوست شامل چمن (۵۴٪)، زائدات گوجه فرنگی (۱۰/۶٪)، زائدات بادمجان (۱۵/۴٪) و زائدات فلفل (۲۰٪) مورد استفاده قرار گرفته است که ویژگیهای کامل این راندها در جدول شماره ۱ آورده شده است.

pH و هدایت الکتریکی بعد از حل کردن مواد در آب با نسبت ۱/۱۰ (حجم/وزن) اندازه گیری شد. نیتروژن کجداال با استفاده از روش (Hesse ۱۹۷۱) اندازه گیری شد. عناصر معدنی (% N)، (% P)، (% K)، (% C)، C/N، Fe (ppm)، Mg (ppm)، Zn (ppm)، Mn (ppm)، Cu (ppm)، Ca (ppm)، EC (milimhos/cm)، pH، (% MC)، (% OM) (٪) بعد از معدنی شدن با استفاده از اتمیک ایزریشن (APHA, 1995) اندازه گیری شدند. مقدار فسفر با روش رنگ سنجی اندازه گیری شد.

جدول شماره ۱: ویژگی‌های شیمیایی مواد زائد مورد آزمایش

مخلوط مواد	چمن	فلفل	بادمجان	گوجه فرنگی
N (%)	۲/۷۳	۱/۹۵	۱/۵۵	۱/۹
P (%)	۰/۴	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۸
K (%)	۲/۹۸	۲/۵۸	۲/۵۷	۴/۱۱
C (%)	۴۵/۶۷	۴۹/۱۱	۴۸/۴۴	۴۷/۱۶
C/N	۱۱/۸۳	۲۵/۱۸	۳۱/۲۵	۲۴/۸
Fe (ppm)	۸۹۶	۱۷۶	۱۵۴	۱۰۵
Mg (ppm)	۰/۵۶	۰/۷۵	۰/۴۴	۰/۹
Zn (ppm)	۳۹	۳۹	۲۸	۸۱
Mn (ppm)	۱۵۶	۳۸	۳۵	۷۰
Cu (ppm)	۴۷/۵	۲۲/۴	۴۱	۶۳
Ca (ppm)	۱/۶۷	۱/۵۱	۱/۴۷	۲/۱۳
EC (milimhos/cm)	۰/۹۸	۳/۹۸	۲/۷۳	۰/۳۸
pH	۶/۳۴	۵/۵۷	۵/۹۶	۷/۶۲
MC (%)	۷۳/۴	۷۰/۴	۷۷/۳	۸۴/۹
OM (%)	۸۲/۲۱	۸۸/۴	۸۷/۲	۸۴/۹

: مقدار رطوبت Mc OM : مواد آلی

#### – راکتورهای تولید کمیوست

هوادهی با استفاده از بلوتر انجام شد و راکتور شاهد با روش طبیعی هوادهی شد. دوره های هوادهی در طول یک ساعت ۱۵ دقیقه انجام شد که با استفاده از تایمر تنظیم شد. در حین انجام فرایند کمیوست سازی هیچ گونه آبی به توده اضافه نشده است. چهار الگوی هوادهی در راکتورها مورد آزمایش قرار گرفت که این الگوها در جدول شماره ۲ آورده شده اند.

جدول شماره ۲: سرعت هوادهی در راکتورهای مختلف

شماره راکتور	سرعت هوادهی
۱	۰/۱ air min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> <sub>om</sub>
۲	۰/۲ air min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> <sub>om</sub>
۳	۰/۴ air min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> <sub>om</sub>
۴	۰/۸ air min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> <sub>om</sub>
شاهد	هوادهی طبیعی

راکتورهای ساخته شده از جنس آهن گالوانیزه بودند و با استفاده از پشم شیشه به ضخامت ۱۰ میلیمتر عایق کاری شدند. این راکتورها در حجم ۶۰ لیتر (۲۰\*۶۰\*۵۰) بودند که هر راکتور به سه بخش تقسیم شده است.

#### – طرح آزمایشات

فرایند کمیوست سازی به مدت ۲۱ روز انجام شده است و پارامترهای مورد مطالعه در طول فرایند اندازه گیری شدند. دمای حاصل از متابولیسم میکروبی ایجاد شده مهمترین فاکتور مورد مطالعه بود که با استفاده از دماسنج نصب شده در وسط هر راکتور هر ۳۰ دقیقه یکبار ثبت می شد. دی اکسید کربن تولیدی توسط یک دستگاه آنالایزر CO<sub>2</sub> هر یک ساعت یکبار اندازه گیری و ثبت می شد. مواد آلی، pH و رطوبت توده بصورت روزانه پایش می شدند. میزان رطوبت به عنوان یک فاکتور مهم در فرایند کمیوست می باشد که موجب حل شدن نوترینت های مورد نیاز میکروارگانیسم ها می شود و با استفاده از روش خشک کردن در دمای ۱۰۵ °C به صورت روزانه اندازه گیری می شد. مواد آلی موجود در توده کمیوست با سوزاندن در آون در دمای ۵۵۰ °C به مدت ۴ ساعت اندازه گیری شد. نرخ تجزیه مواد آلی با محاسبه میزان جامدات فرار در ابتدا و انتهای فرایند و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Diaz et al., 2002):

$$K = \frac{[OM_m(\%) - OM_p(\%)]}{OM_m(\%)[100 - OM_p(\%)]} \quad (1)$$

در این معادله:

OM<sub>m</sub>: میزان مواد آلی در ابتدای فرایند

OM<sub>p</sub>: مواد آلی در انتهای فرایند

### - مطالعه سینتیک فرایند کمپوست سازی

به منظور تعیین قابلیت تجزیه بیولوژیکی زائدات و تولید کود مفید لازم است سینتیک فرایند با استفاده از داده های بدست آمده از آزمایشات در شرایط کنترل شده مورد مطالعه قرار گیرد. تجزیه مواد آلی در طول زمان از نوع واکنش درجه اول است که بصورت معادله زیر قابل بیان می باشد (Hamoda et al., 1998):

$$\frac{d(OM)}{dt} = -K_T \cdot OM \quad (2)$$

که در این معادله OM کیفیت و قابلیت تجزیه بیولوژیکی جامدات فرار را در هر زمان از فرایند تولید کمپوست برحسب کیلوگرم، t زمان برحسب روز و K<sub>T</sub> ثابت واکنش می باشد.

در این مطالعه از هفت مدل سینتیک برای مدل سازی سرعت تجزیه مواد آلی مورد استفاده قرار گرفته شده است. این مدلها در جدول شماره ۳ آورده شده است. مدلهای ۱ و ۴ توسط Haung و Ekinci ارائه شدند و مدل ۲ اصلاح شده مدل Haung می باشد که با تغییرات دمایی بدست آمده استو مدلهای ۳، ۵، ۶ و ۷ در این مطالعه بدست آمدند. مدل ۵ عملکرد دما و رطوبت مواد و CO<sub>2</sub> تولیدی در فرایند کمپوست را نشان میدهد و مدل ۷ اثر دما و میزان هوادهی توده کمپوست را نشان می دهد.

جدول شماره ۳: مدلهای بکار برده شده در مطالعه

شماره مدل	مدل سینتیک	منبع
۱	$K_T = K_{20} \cdot a^{(T-20)}$	Haung (1993)
۲	$K_T = K_{23} \cdot a^{(T-23)}$	
۳	$K_T = a \cdot \exp \left( \left[ (b \cdot T) + \left( c \cdot \frac{M_c}{T} \right) \right] \right)$	
۴	$K_T = a \cdot \exp \left( b \cdot \left[ \left( \frac{M_i - c}{d} \right) + \left( \frac{T - f}{g} \right) \right] \right)$	Ekinci et al. (2001)
۵	$K_T = \frac{a}{T - (C \cdot b)} \cdot \exp \left( \left[ (T \cdot c) - \left( d \cdot \frac{M_c}{T} \right) \right] \right)$	
۶	$K_T = a \cdot b^c \cdot \exp \left( \left[ (c \cdot T) - \left( d \cdot \frac{M_c}{T} \right) \right] \right)$	
۷	$K_T = e^{(V_h - a)} \cdot K_{23} \cdot b^{(T-23)}$	

آنالیز مدلهای سینتیک با آنالیزهای آماری خطای مربعات میانگین ریشه ها (RMSE)، chi-square ( $\lambda^2$ ) و کارآمدی مدلسازی modeling efficiency (EF) آنالیز شدند. این آنالیزهای آماری با استفاده از معادلات زیر انجام شدند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{pre,i} - K_{exr,i})^2}{N}} \quad (3)$$

$$(4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (K_{pre,i} - K_{exr,i})^2}{N - n}$$

$$(5)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (K_{pre,i} - K_{exr,mean})^2 - \sum_{i=1}^N (K_{pre,i} - K_{exr,i})^2}{\sum_{i=1}^n (K_{pre,i} - K_{exr,mean})^2}$$

در این معادلات:

K<sub>exp</sub>: سرعت تجزیه آزمایشگاهی مواد (g om/g om day)

K<sub>exp, mean</sub>: میانگین سرعت تجزیه آزمایشگاهی مواد (g om/g om day)

$K_{pre}$ : میزان تجزیه پیش بینی شده آزمایشگاهی مواد (g om/g om day)

N: تعداد آزمایشات

n: تعداد ثابت های واکنش

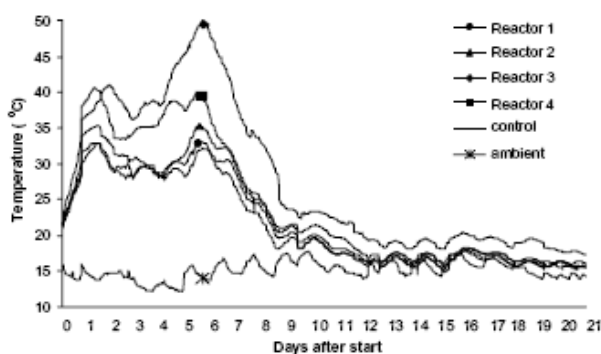
در آنالیز آماری (RMSE) مقدار محاسبه شده نشان دهنده انحراف بین مقادیر محاسبه شده و آزمایش می باشد و هرچه به صفر نزدیکتر باشد انحراف کمتری وجود دارد.

$\chi^2$  نشان دهنده میانگین مربعات انحراف معیار بین مقادیر محاسبه شده و آزمایش شده می باشد. و برای انطباق مدل های سینتیکی بکار برده شده است. هرچه این مقدار کمتر باشد با مدل مطابقت بیشتری دارد.

EF نیز برای آنالیز میزان کارآمدی مدل را نشان میدهد و حداکثر مقدار آن ۱ می باشد و هرچه مقادیر به ۱ نزدیکتر شود میزان انطباق مدل بیشتر است.

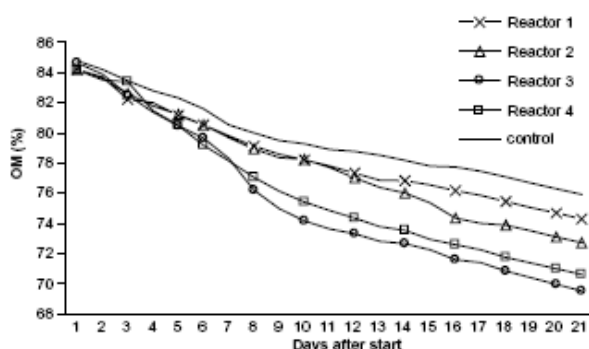
### ۳- بحث و نتیجه گیری

تغییرات دمایی تمامی راکتورها در سرعت های هوادهی مختلف در نمودار شماره ۱ آورده شده است. نشان میدهد در فرایند کمپوست سازی در راکتور سوم بعد از ۶ روز دمای توده کمپوست به  $50^{\circ}\text{C}$  می رسد در راکتور چهارم بعد از سه روز به  $42^{\circ}\text{C}$  می رسد نتایج تغییرات دما در طی فرایند در نمودار شماره ۱ آورده شده است. راکتور اول و دوم دمای کمتری نسبت به سایر راکتورها داشتند و راکتور شاهد دارای کمترین دما نسبت با چهار راکتور هوادهی شده داشت. بعد از گذشت حدود ۱۲ روز دمای تمامی راکتورها اختلاف معنی داری به هم ندارند و به دمای ثابت می رسد.



نمودار شماره ۱: تغییرات دمایی در راکتورها در طی فرایند کمپوست سازی

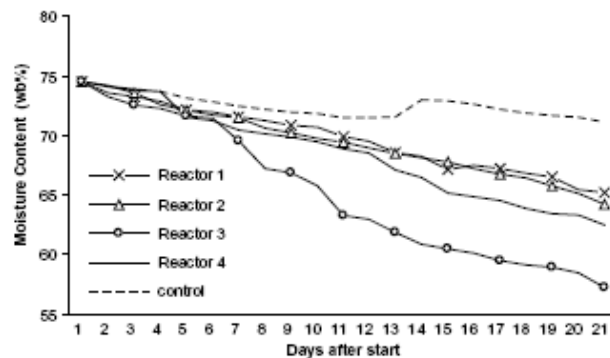
تفاوت معنی داری بین مقادیر pH و N در کمپوست حاصله از راکتورهای مختلف دیده نشده است ولی تفاوت معنی داری بین MC ، OM و  $OM_{loss}$  وجود داشته است. گرادیان کاهش OM مرتبط با  $OM_{loss}$  می باشد که ارتباط زیادی با میزان تنفس باکتریایی دارد. نتایج در نمودار شماره ۲ نشان میدهد در تمامی راکتورها مواد آلی در طول دوره واکنش کاهش یافته است. مقادیر OM کاهش یافته در راکتورها بعد از ۲۱ روز به ترتیب  $49/6$  ،  $51/07$  ،  $58/11$  ،  $55/9$  و  $42/3$  برای راکتورهای ۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ و شاهد محاسبه شده است. حداکثر کاهش میزان مواد آلی و در نتیجه حداکثر قابلیت کاهش مواد آلی و در نتیجه قابلیت تجزیه بیولوژیکی در راکتور ۳ و ۴ دیده شده است.



نمودار شماره ۲: تغییرات مواد آلی کمپوست در راکتورها در طی فرایند کمپوست سازی

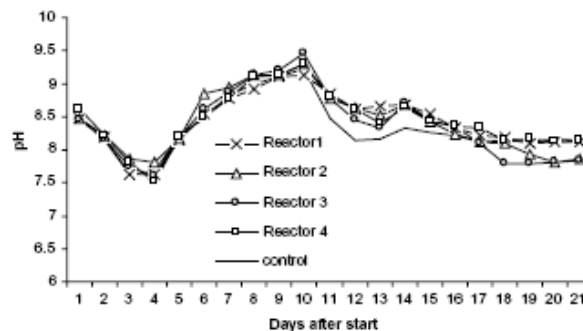
میزان رطوبت در تمامی راکتورها در طول دوره کمپوست سازی کاهش می یابد. مکانیسم اصلی کاهش رطوبت در راکتورها در اثر تبخیر ایجاد شده می باشد و کاهش دائمی مقدار رطوبت در توده کمپوست نشان دهنده تجزیه مواد آلی کمپوست می باشد (Miller and

(Finstein. 1985). متوسط رطوبت مواد در توده کمپوست در ابتدای واکنش ۷۵٪ بوده است. حداکثر کاهش رطوبت در راکتور سوم دیده شده است و حداقل کاهش رطوبت در راکتور شاهد دیده شده است. این نتایج در نمودار شماره ۳ آورده شده است.



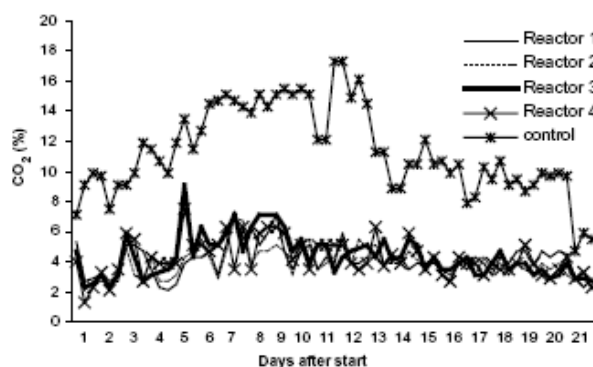
نمودار شماره ۳: تغییرات رطوبت کمپوست در راکتورها در طی فرایند کمپوست سازی

تغییرات pH در کمپوست نشان میدهد ابتدا از ۸/۵ به ۷/۵ کاهش می یابد و سپس تا ۹/۵ افزایش می یابد و در انتهای فرایند به ۸-۸/۵ می رسد که الگوی عمومی فرایند کمپوست سازی می باشد. این تغییرات در تمامی راکتورها مشابه بوده است شکل ۴.



نمودار شماره ۴: تغییرات pH کمپوست در راکتورها در طی فرایند کمپوست سازی

CO<sub>2</sub> تولیدی در فرایند کمپوست سازی ناشی از معدنی شدن مواد آلی می باشد. مقدار گاز کربنیک تولیدی در تمامی راکتورها در طول فرایند افزایش یافته است. مقدار CO<sub>2</sub> در راکتور شاهد بیشتر از سایر راکتورها بوده است به این دلیل که هوادهی کافی صورت نگرفته است و شرایط بی هوازی در راکتور افتاده است. این نتایج در نمودار شماره ۵ آورده شده است.



نمودار شماره ۵: تغییرات گاز کربنیک تولیدی در راکتورها در طی فرایند کمپوست سازی

نتایج آنالیز آماری مدل‌های سینتیکی در جدول شماره ۴ آورده شده است. آنالیز آماری نشان می دهد حداقل مقدار RMDE و حداکثر مقدار EF در مدل ۵ دیده شده است. همچنین مقدار  $\chi^2$  در مدل ۷ کمتر از سایر مدلها بوده است. با توجه به آنالیزهای آماری مدل ۷ در تمامی سرعت های هوادهی کاربردی تر می باشد. و بهترین مدل، مدل شماره ۵ می باشد که در زیر آورده شده است:

$$K_T = \frac{a}{T - (Cb)} \cdot \exp\left[\left((T.c) - \left(d \cdot \frac{M_c}{T}\right)\right)\right] \quad (6)$$

جدول شماره ۴: نتایج آنالیز آماری مدل‌های سینتیکی واکنش

مدل	a	b	C	d	f	g	RMSE	$\chi^2$	EF
$K_T = K_{20} \cdot a^{(T-20)}$	۱/۰۴۶۸۹	-	-	-	-	-	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۷۹
$K_T = K_{23} \cdot a^{(T-23)}$	۱/۰۷۸۱۲	-	-	-	-	-	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۷۶
$K_T = a \cdot \exp\left[\left((b.T) + \left(c \cdot \frac{M_c}{T}\right)\right)\right]$	۰/۰۰۰۰۱۱۹	۰/۱۲۴۷	۱/۲۰۳	-	-	-	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۸۷
$K_T = a \cdot \exp\left[b \cdot \left[\left(\frac{M_c - c}{d}\right) + \left(\frac{T - f}{g}\right)\right]\right]$	۰/۰۹۶۸۸	-۰/۴۹۹۷	۴۵/۸۸۹	۲۰/۸۷	۶۰/۹۲	۱۷/۶	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۸۲
$K_T = \frac{a}{T - (Cb)} \cdot \exp\left[\left((T.c) - \left(d \cdot \frac{M_c}{T}\right)\right)\right]$	۰/۰۱۲۰۶	-۶/۸۹۸۸	۰/۱۶۰۶	-۱/۳۱	-	-	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۸۹
$K_T = a \cdot b^c \cdot \exp\left[\left((c.T) - \left(d \cdot \frac{M_c}{T}\right)\right)\right]$	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۹۵۸۴	۰/۲۱۷۶	-۲/۲۳	-	-	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۷۳
$K_T = e^{(V_h - a)} \cdot K_{23} \cdot b^{(T-23)}$	-۰/۲۶۱۶	-۰/۰۵۱۹۹	-	-	-	-	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۷۴

در این مطالعه هوادهی در راکتورهای اول و دوم ناکافی صورت گرفته است و مواد کمپوست دمای پایینی دارند. ولی در راکتور سوم به دلیل اینکه سرعت تجزیه مواد زیاد تر می باشد و در نتیجه دمای توده بالاتر می باشد. بنابراین نسبت هوا به مواد آلی مناسب برای تهیه کمپوست کردن زائدات کشاورزی ۰/۴۱ (هوا در دقیقه به ازای هر کیلوگرم مواد آلی) می باشد. نتایج آنالیز آماری مورد استفاده برای ارزیابی مدل‌های سینتیکی نشان داد بیشترین مقادیر EF و کمترین مقادیر RMSE مربوط به مدل شماره ۵ می باشد بنابراین این مدل به عنوان بهترین مدل سینتیکی انتخاب شده است.

- APHA (American Public Health Association), 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, APHA, Washington, DC.
- Aydin, G.A., Kocasoy, G., 2002. Investigation of appropriate initial composition and aeration method for co-composting of yard waste and market wastes. *Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries*, vol. 2, Istanbul, Turkey, pp. 1277–1284.
- Bari, Q.H., Koenig, A., 2001. Effect of air recirculation and reuse on composting of organic solid waste. *Resources Conservation and Recycling* 33, 93–111.
- Bernal, M.P., Paredes, C., Monedero, M.A.S., Cegarra, J., 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63, 91–99.
- Brodie, H.L., Carr, L.E., Condon, P., 2000. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production. *Compost Science and Utilization* 8, 178–189.
- Buchanan, M., Gillesman, S.R., 1991. How compost fertilization affects soil nitrogen and crop yield. *Biocycle* 32, 72–76.
- Diaz, M.J., Madejon, E., Lopez, F., Lopez, R., Cabrera, F., 2002. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. *Process Biochemistry* 37, 1143–1150.
- Ekinci, K., Keener, H.M., Michael, F.C., Elwell, D.L., 2001. Effects of temperature and initial moisture content on the composting rate of short paper fiber and broiler litter, ASAE Annual Meeting, California.
- Garcia, C., Hernandez, T., Costa, F., 1992. Composted vs. uncomposted organics. *Biocycle* 33, 70–72.
- Golueke, C.G., 1973. *Composting—A Study of the Process and its Principles*. Rodale Press, Emmaus, PA.
- Hamoda, M.F., Qdais, H.A.A., Newham, J., 1998. Evaluation of municipal solid waste composting. *Resources, Conservation and Recycling* 23, 209–223.
- Haug, R.T., 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Hesse, P.R., 1971. *Textbook of Soil Chemical Analysis*. John Murray, London, UK.
- Keener, H.M., Elwell, D.L., Ekinci, K., Hoitink, H.A.J., 2001. Composting and value-added utilization of manure from a highrise swine finishing facility. *Compost Science and Utilization* 9 (4), 312–321.
- Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W., 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology* 86, 131–137.
- McCartney, D., Tingley, J., 1998. Development of a rapid moisture content method for compost materials. *Compost Science and Utilization* 6, 14–25.
- Miller, F.C., Finstein, M.S., 1985. Materials balance in the composting of wastewater sludge as affected by process control. *J. Wat. Pollut. Contr. Fed.* 57, 122–127.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., Kubota, H., 1993. Effects of pH control on composting garbage. *Waste Management and Research* 11, 117–125.
- Negro, M.J., Solano, P.C., Carrasco, J., 1999. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology* 67, 89–92.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L., Sarsavadia, P.N., 1999. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering* 39, 211–216.
- Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A., 2002. Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresource Technology* 85, 1–8.
- Pos, J., 1991. *Composting—theoretical applications, municipal and commercial composting workshop*, University of Guelph.
- Rynk, R., Kamp, M., Willson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay, D., Murpy, D.W., Hoitink, H.A.J., Brinton, W.F., 1992. *On-Farm Composting Handbook*, NRAES-54, Cooperative Extension Service, North Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY, USA.
- SAS, 1995. *SAS System for Windows Release 6.11*. SAS Institute, Cary, NC.
- Schlegel, A.J., 1992. Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by gain sorghum. *Journal of Production Agriculture* 5, 153–157.
- Tchobanogolus, G., Theisen, H., Vigil, S., 1984. *Gestion Integral de Residvos Scilidos*. McGraw-Hill, Madrid.
- Vining, M.A., 2002. *Bench-Scale Compost Reactors System and The Self Heating Capabilities*. Master of Science thesis, Texas A&M University Department of Civil and Environmental Engineering.
- Wiley, J.S., Pierce, G.W., 1955. A preliminary study of high rate composting. In: *Proc. Am. Soc. Civil Engineering*, paper no: 846.81, pp. 1–28.
- Wilson, G.B., Dalmat, D., 1986. Measuring compost stability. *Biocycle* 27, 34–37.
- Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H. I., 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of seedless sultana grapes. *Energy* 26, 457–465.