مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۳/ شماره ٤/سال ۱۳۹۱/ص ۸۸-۷۵

تعیین رطوبت بهینه کمپوست جهت تولید پلت کودی با استفاده از اکسترودر

هیمن امیری، محمدحسین کیانمهر*، اکبر عرب‌حسینی و نبی‌اله کشوری**

* نگارنده مسئول، نشانی: تهران، پاکدشت، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، ص. پ. ۳۹۹۵۵/۱۵۹؛ تلفکس: ۳۶۰۴۰۶۱۴(۰۲۱)، پیام‌نگار: kianmehr@ut.ac.ir

** به‌ترتیب: دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۷

چکیده

متراکم‌سازی و تهیهٔ پلت یکی از راه‌های مؤثر جهت استفادهٔ بهینه، کاهش هزینهٔ حمل و نقل، و افزایش صرفه اقتصادی در استفاده از کمپوست حاصل از زباله‌های شهری است. مقدار رطوبت کمپوست مهم‌ترین عامل فیزیکی برای هر نوع ماشین تولید پلت است. در این تحقیق مواد ابتدا با همزن ورزدهنده آماده و پس از آن جهت پلت کردن به اکسترودر تک‌پیچ منتقل شدند. آزمایش‌ها در سطوح رطوبتی ۳۵، ٤۵، و ۵۰ درصد اجرا و سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر در ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، و ۲۵۰ دور در دقیقه اجرا شد تا میزان رطوبت بهینه و تأثیر آن بر خصوصیات پلت‌های کمپوست تعیین شود. نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای رطوبت کمپوست و سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر و همچنین اثر متقابل آن‌ها، تأثیری معنی‌دار بر دوام پلت‌ها دارند به طوری‌که افزایش مقدار رطوبت از ۳۵ به ٤۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار دوام از ۳۵/۸٦ به ۷۸/۲۹ درصد می‌شود. در کلیهٔ سرعت‌های مارپیچ اکسترودر، با افزایش رطوبت از ۳۵ به ٤۵ درصد میزان دوام پلت‌ها به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. همچنین در همهٔ سرعت‌های پیچ اکسترودر، به جز ۱۵۰ دور در دقیقه، پلت‌های تولید شده با مقدار رطوبت ۳۵ درصد، نسبت به پلت‌های دارای ٤۵ درصد رطوبت، استحکام بالاتری از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی

اکسترودر، پلت، دوام، رطوبت، کمپوست

مقدمه

کمپوست‌سازی عبارت است از تجزیه کنترل شدهٔ مواد آلی در دما و رطوبت مناسب به کمک باکتری‌ها، قارچ‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های هوازی و یا بی‌هوازی. کمپوست درصد زیادی هوموس دارد که اصلاح‌کنندهٔ خاک است و باعث بهبود شرایط زندگی و عملکرد موجودات خاک می‌شود. نکتهٔ مهم این است که هوموس حاوی مقدار زیادی مواد نیتروژنی است که به تدریج در خاک آزاد می‌شود و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Anon, 2006).

یکی از مشکلات استفاده از کمپوست، چگالی پایین آن است که جابه‌جایی، ذخیره و کاربرد آن را در مزارع و باغ‌ها مشکل می‌سازد ضمن اینکه افزایش هزینه‌ها را نیز در پی خواهد داشت. متراکم‌سازی و تهیهٔ پلت، یکی از راه‌های مؤثر جهت استفادهٔ بهینه، کاهش هزینه حمل و نقل، و افزایش صرفه اقتصادی در استفاده از کمپوست حاصل از زباله‌های شهری است.

چنانچه خاک‌های کشاورزی دچار فقر مواد مغذی باشند، در خلال فرآیند متراکم‌سازی و تهیهٔ پلت می‌توان مواد شیمیایی مورد نیاز گیاه را با کود دامی یا گیاهی

Archive of SID

www.SID.ir

ترکیب کرد و با هم فشرد. به این طریق هم نیاز کودی گیاه مرتفع می‌شود و هم هزینه کوددهی کاهش می‌یابد (Adapa *et al.*, 2003).

پلت کردن یکی از روش‌های متداول و رایج جهت متراکم کردن مواد در صنایع شیمیایی، غذایی، دامپروری و شیلات است. اساساً پلت کردن، به منظور کاهش حجم مواد جهت سهولت حمل و نقل و ذخیره‌سازی راحت‌تر آن در مقایسه با مواد توده‌ای با حجم زیاد اولیه، است (Batacharya *et al.*, 1989; Erickson & Prior, 1990).

دو روش برای تبدیل کودهای آلی به پلت وجود دارد. یکی، روش پلت‌ساز دیسکی (روش قالب‌گیری خشک) و دیگری استفاده از اکسترودر (روش قالب‌گیری تر). اکسترودر به معنای دستگاهی است برای خارج کردن و فشار دادن مواد. ماشین‌های قالب‌گیری از نوع اکسترودر، استوانه‌ای دارند که مواد خام از طریق یک بخش مارپیچ به داخل آن رانده شده و در طول مارپیچ حمل و در اثر فشار و اصطکاک با دیوارهٔ اکسترودر و همچنین نیروهای برشی بین مارپیچ و دیواره، متراکم و مجبور به عبور از منفذ یا منافذ استوانه‌ای (قالب[1]) می‌شوند. مواد خارج شده، با کارد بریده می‌شوند و سرانجام پلت‌هایی به شکل استوانه و یا به شکل‌های متنوع میله‌ای، گلوله‌ای، نواری، مارپیچ یا پیوسته به دست می‌آید.

تراکم‌پذیری (افزایش چگالی) و دوام (ماندگاری) پلت‌هایی که تحت فشار ساخته می‌شوند به عوامل متعددی بستگی دارند که مهم‌ترین آن‌ها ساختمان شیمیایی و ابعاد ماده، دمای تبدیل، وزن حجمی اولیه، درصد رطوبت، سرعت پلت‌سازی، مقدار فشار وارده و مدت زمان اعمال آن است. بنابراین شناخت خواص اساسی متفاوت ذرات نمونه مواد از قبیل اندازه‌ها، شکل‌ها، ترکیبات شیمیایی، و جرم مخصوص توده و ذره برای بهینه‌سازی فرآیند متراکم‌سازی (پلت‌سازی) ضروری است.

همچنین، پارامترهای مذکور برای شناخت مکانیسم فشردن و طراحی ادوات فشار دهنده با انرژی کافی و تعیین تأثیر متغیرهای مختلف بر چگالی و دوام پلت‌ها بسیار مهم خواهد بود، به طوری‌که پلت‌ها باید به اندازه‌ای مناسب فشرده شوند که هم در مراحل حمل و نقل و ذخیره‌سازی دوام مناسب را داشته باشند و هم این‌که به راحتی در خاک تجزیه شوند.

خصوصیات رئولوژیکی مادهٔ خمیری فشرده شده به خصوصیات ماده و مقدار رطوبت خمیر تولیدی ورودی به اکسترودر بستگی دارد. خمیر برای بریده شدن به قطعات کوچک در دستگاه پلت‌ساز باید به اندازهٔ کافی ترد بوده و خاصیت پلاستیکی داشته باشد تا بتواند داخل استوانه اکسترودر جریان پیدا کند (Fielden & Newton, 1992). خمیر اگر خیلی خشک باشد، پلاستیسیتهٔ مادهٔ فشرده شده ناکافی خواهد بود و ماده نمی‌تواند شکل پلت به خود بگیرد. برای طراحی یک فرمولاسیون بهینه برای اکسترودر- پلت‌ساز، تعیین خصوصیات مکانیکی و رئولوژیکی ضروری است (Li *et al.*, 2000).

اولین مرحله جهت آماده‌سازی مواد، بعد از اندازه‌بندی ذرات، ورز دادن است. بدین‌صورت که با اضافه کردن رطوبت به کمپوست، ذرات آب در اثر ورز دادن[2] به داخل بافت کمپوست نفوذ می‌کنند و بدین‌ترتیب خمیر کمپوست تشکیل می‌شود. در واقع ورز دادن موجب رسیدن مواد به حالت ویسکوپلاستیک[3] می‌شود. ورز دادن به کمک راه‌کارهای انتقال گرما، برش، و پخش ذرات، در حالتی‌که ماده به صورت خشک یا آبکی باشد، انجام می‌پذیرد (Masuda *et al.*, 2007).

راه‌کار جذب آب عمدتاً تحت تأثیر ساختار متبلور (کریستالی) مواد جامد قرار می‌گیرد، علاوه بر تبلور، خصوصیات دیگر مانند انحلال‌پذیری در آب، تخلخل، و قابلیت تشکیل کریستال‌های هیدراته (آبدار) عوامل

1- Die
2- Kneading
3- Viscoplastic

Archive of SID
www.SID.ir

تعیین‌کننده در راه‌کار جذب آب در جامدات هستند.

جذب آب در جامدهای کریستالی غیرهیدراته به قطبیت سطح بستگی دارد و با سطح رویی متناسب است (Kontny & Zografi, 1995). مقدار رطوبت جذب شده در جامدات غیرمتبلور گاهی خیلی بیشتر از مقدار جذب شده از طریق سطوح کریستالی است. در جامدات کریستالی، آب ابتدا در سطح مواد جذب می‌شود. همان‌طور که مولکول‌های آب به سطح می‌چسبند، رطوبت در داخل مواد غیرمتبلور جابه‌جا می‌شود (Young & Nelson 1967). هرچه میل ترکیب شیمیایی مادهٔ جامد با آب بیشتر باشد، میزان رطوبتی که می‌تواند جذب شود نیز بیشتر خواهد بود. به محض نفوذ آب در موادی با ساختار غیرمتبلور، ماده همانند مواد پلاستیک عمل می‌کند (Froix & Goedde, 1976; Zografi, 1988).

مقدار رطوبت کمپوست مهم‌ترین عامل فیزیکی برای هر نوع ماشین تولید پلت است. این عامل بیشترین اثر را روی مقاومت و سرعت پلت‌سازی می‌گذارد. با کاهش مقدار رطوبت، سیالیت کمپوست کاهش و مقاومت اصطکاکی آن با عبور از قالب افزایش می‌یابد، بنابراین، با افزایش مقاومت پلت، ممکن است آسیب وارده به مارپیچ اکسترودر افزایش یابد. با افزایش مقاومت پلت‌ها، اگر میزان رطوبت تنها پنج درصد بیشتر یا کمتر از سطح بهینه باشد، عملکرد بین ۵ تا ۳۰ درصد افت می‌کند. در هر دو نوع ماشین (پلت‌ساز دیسکی و اکسترودر)، وقتی رطوبت پایین باشد، قالب تمایل به مسدود شدن دارد. بنابراین، آگاهی از مقدار رطوبت مناسب قبل از اجرای کار مهم است (Hara, 2001).

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر رطوبت کمپوست در هنگام تولید پلت، بر خصوصیات پلت‌های کمپوست تولیدی و همچنین پارامترهای رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر و اثر متقابل آن‌ها به منظور تعیین رطوبت بهینه کمپوست برای تولید پلت است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مادهٔ اولیه جهت آزمایش

رطوبت، ابعاد و وزن کود

کمپوست مورد استفاده در این تحقیق، از کارخانهٔ تولید کمپوست شهرستان کهریزک، واقع در جنوب شهر تهران، تهیه شد. برای تعیین مقدار رطوبت اولیه کود کمپوست، سه نمونه ۱۰۰ گرمی طبق استاندارد ASAE S358.2 در داخل آون با دمای ۱۰۳±۳°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد (Anon, 1998). با استفاده از رابطهٔ ۱ مقدار رطوبت نمونه بر پایهٔ تر تعیین می‌گردد.

$$M_{w.b.}\% = \frac{w_w}{w_t} \times 100\% = \frac{w_w}{w_w + w_d} \times 100\% \qquad (۱)$$

که در آن،

$M_{w.b.}$= رطوبت کود بر مبنای تر (درصد)؛ w_w= وزن آب موجود در کود؛ w_t= وزن کل کود؛ و w_d= وزن ماده خشک کود است.

ابعاد و پراکنش اندازهٔ ذرات کود کمپوست

اندازه، پراکنش، و شکل ذرات کمپوست نقش مهمی در پلت شدن و خواص بعد از آن دارند. بنابراین لازم است که اندازه و شکل ذرات کمپوست مشخص باشد تا بتوان در روش‌های مختلف پلت کردن، بهترین ابعاد ذرات را در تولید نهایی پلت انتخاب کرد. لذا با چهار غربال با مش‌های ۱۰، ۱۶، ۳۰، و۵۰ (اندازه استاندارد آمریکایی) مطابق استاندارد ASTM پراکنش ابعاد کود اندازه‌گیری شد. جهت غربال کردن، مش‌ها به ترتیب از مش با سوراخ بزرگ (مش ۱۰) به کوچک (مش ۵۰) روی هم قرار داده شدند و به‌طور طبیعی پراکنش ابعاد کود در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. با تکان دادن غربال‌ها مقدار کود باقیمانده روی مش ۱۰، ۳۰، و ۵۰ وزن گردید. با توجه به مشخص بودن ابعاد مش‌ها، ابعاد کود باقیمانده روی غربال‌ها مشخص می‌شود (Anon, 1995).

Archive of SID

www.SID.ir

تهیهٔ نمونه کود کمپوست با رطوبت مورد نظر

برای تهیهٔ نمونه‌هایی با میزان رطوبت مورد نظر برای هر آزمایش، میزان آب مورد نیاز طبق رابطهٔ ۲ محاسبه و با آب‌پاش به کود آب مقطر اضافه شد.

$$m_w = \frac{m_i (M_{wf} - M_{wi})}{1 - M_{wf}} \qquad (۲)$$

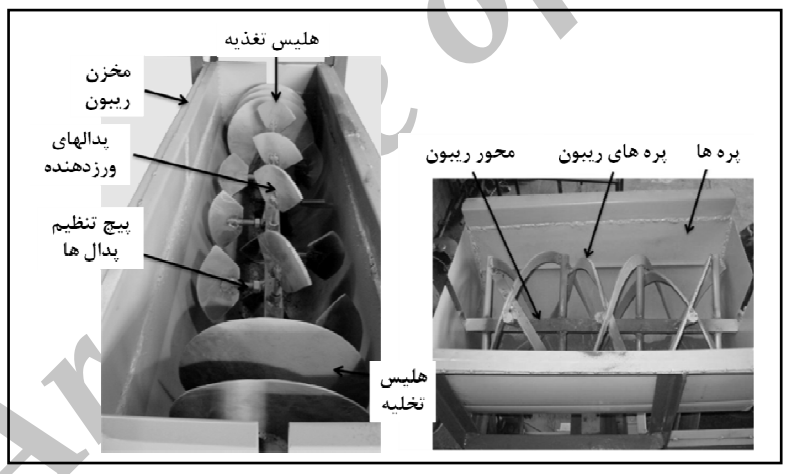
که در آن،

m_w= جرم آب اضافه شده؛ m_i= جرم اولیه کود خشک؛ M_{wi}= رطوبت اولیه کود بر مبنای خشک؛ و M_{wf}= رطوبت نهایی بر مبنای خشک است.

جهت رسیدن به حداکثر نفوذ رطوبت در داخل ذرات کود و تشکیل خمیری مناسب برای بیرون آوردن از قالب، مواد در داخل دستگاه همزن- ورزدهنده (ساخته شده جهت اجرای این تحقیق) ریخته شد. ابتدا همزمان با اضافه کردن آب، مواد توسط همزن ریبون (شکل ۱) به طور کامل هم زده شد و پس از آن به داخل قسمت ورزدهنده (شکل ۲) ریخته شد. مواد در این قسمت در اثر عمل پیچشی و برشی پدال‌های ورزدهنده به یک خمیر یکنواخت تبدیل گردید. برای تعیین مقدار واقعی رطوبت نمونه‌ها، سه نمونه ۱۰ گرمی از هر سطح رطوبتی در داخل آون با دمای ۳±۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد (Anon, 1998).

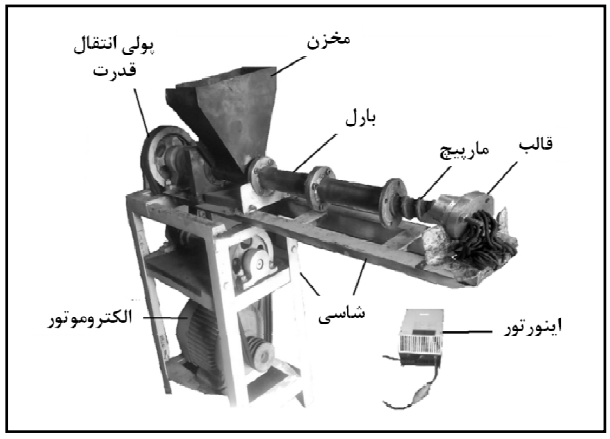
تولید پلت با اکسترودر

جهت پلت کردن مواد، از اکسترودر تک‌پیچ ساخته شده در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۱- همزن ریبون.

شکل ۲- ورزدهنده پدالی.



شکل ۳- اکسترودر تک‌پیچ.

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به آزمایش‌های مقدماتی، اندازه‌های متفاوت ذرات کود کمپوست به دست آمد که تنها از دو سطح کوچک‌تر از ۰/۳ میلی‌متر و ۰/۶-۰/۳ میلی‌متر، برای تولید پلت استفاده شد. سرعت‌های مختلف چرخش مارپیچ اکسترودر بر اساس مشخصات الکتروموتور و مشابه با تحقیقات روسنتراتر و همکاران (Rosentrater *et al.*, 2009)، برابر ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، و ۲۵۰ دور در دقیقه انتخاب شد. جهت رسیدن به چنین سرعت‌هایی، همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، دور الکتروموتور طی چند مرحله به کمک تسمه و پولی کاهش داده شد و در نهایت از اینورتور برای دستیابی به سرعت‌های دقیق استفاده شد.

پلت به این‌صورت تهیه شد که خمیر کمپوست با رطوبت مورد نظر و آماده شده از قبل (که با همزن ریبون و دستگاه ورزدهنده به صورت خمیر یکدست در آمده بود)، پس از ریخته شدن درون مخزن، با چرخش مارپیچ از مخزن (ناحیهٔ تغذیه) به سمت قالب انتقال می‌یابد. در مسیر انتقال مواد از مخزن به سمت قالب، به علت اصطکاک بین دیوارهٔ داخلی بارل و مواد و همچنین اصطکاک بین سطح خارجی پیچ و مواد، اختلاط به خوبی انجام می‌گیرد.

با چرخش پیچ و در پی آن عبور مواد از داخل بارل و به خاطر فشار تولید شده در ناحیهٔ قبل از قالب، مواد چاره‌ای جز عبور از روزنه‌های قالب ندارند. عبور مواد از روزنه‌های قالب باعث فشردگی مواد و تشکیل پلت‌هایی با شکل یکسان می‌شود. پلت‌های تولید شده جهت آزمون‌های استحکام و دوام به مدت حدود دو هفته در فضای باز، پهن و خشک شدند.

ارزیابی پلت‌های تولید شده

در این تحقیق، نتایج آزمون پلت‌های تولید شده با اکسترودر از نظر میزان نیروی لازم جهت شکستن (به عنوان شاخصی برای میزان استحکام پلت‌ها) و از نظر میزان دوام (به عنوان شاخص ماندگاری در مرحلهٔ حمل و نقل) مقایسه شدند.

دوام پلت‌ها

دوام (پایداری) پلت‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترها به حساب می‌آید و تعیین‌کننده این موضوع است که پلت بتواند بدون خرد شدن و ترک‌خوردگی، فشارهای ناشی از جابه‌جایی را تحمل کند (McMahon, 1984).

به منظور سنجش دوام پلت‌های تولید شده، از دستگاه اندازه‌گیری دوام طراحی شده در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان استفاده شد (شکل ۴). این دستگاه شامل یک محفظهٔ مکعب مستطیلی شکل از جنس استیل با ابعاد ۱۲۵×۳۰۰×۳۰۰ میلی‌متر است که یک صفحهٔ ضربه‌زن مستطیلی شکل با ابعاد ۵۰ ×۲۳۰ میلی‌متر روی قطر یکی از یال‌های مربع شکل (۳۰۰ در ۳۰۰ میلی‌متر) مکعب مستطیل و در فاصلهٔ مساوی از دو راس مربع و به صورت عمود بر یال، نصب شده است. این محفظه با یک محور که روی دو یاتاقان قرار داده داشته شده است، به یک الکتروگیربکس (۵ تا ۲۰۰ دور در دقیقه) متصل می‌شود (Anon, 1998).

برای اجرای آزمون دوام، رطوبت پلت‌های تشکیل شده باید کمتر از ۱۱ درصد و طول نمونه‌ها سه برابر قطر آن‌ها باشد؛ الکتروگیربکس باید با سرعت ۵۰ دور بر دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه محفظهٔ حاوی نمونه‌ها را بچرخاند (McMullen, *et al.*, 2004). برای سنجش دوام نمونه‌ها، ۵۰۰ گرم پلت درون محفظه دستگاه قرار داده شد؛ پس از گذاشتن سرپوش محفظه، محور آن به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۵۰rpm چرخانده شد.

با متوقف شدن الکتروگیربکس، پلت‌ها از محفظه بیرون آورده شدند. دوام پلت‌ها (Du) با استفاده از مقادیر جرم پلت‌های سالم باقیمانده (m_c) و جرم کل پلت‌های سالم اولیه (m_i) از رابطهٔ ۳ محاسبه شد. بالا بودن شاخص

Archive of SID

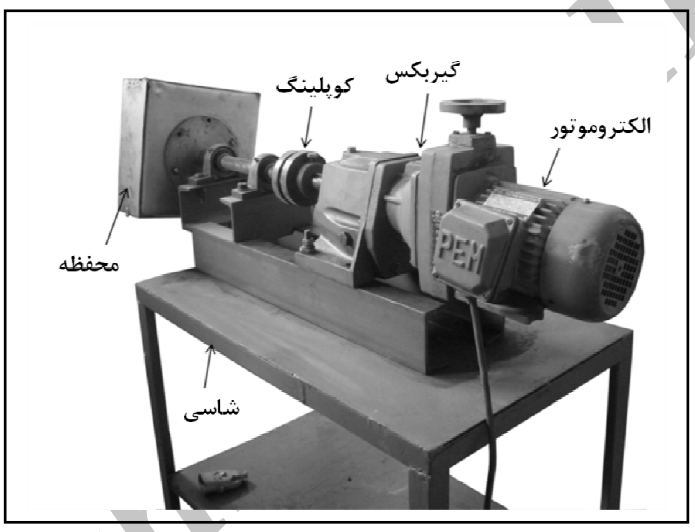
www.SID.ir

دوام به مفهوم پایداری بیشتر پلت‌ها است (Anon, 1998).

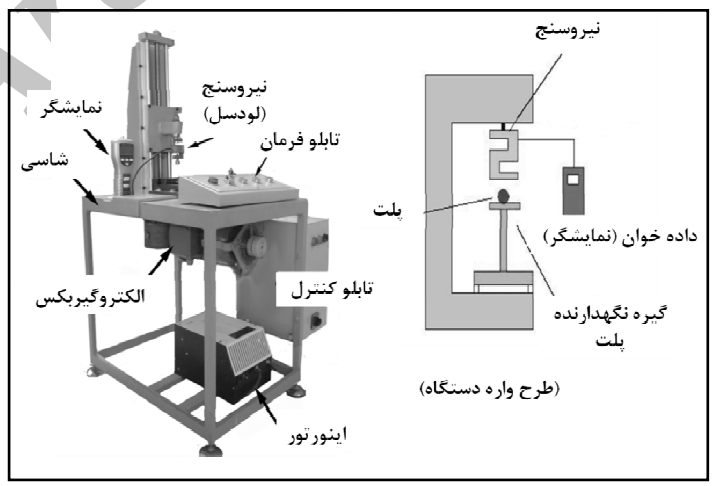
$$Du = \frac{m_c}{m_i} \qquad (۳)$$

سختی پلت‌ها

بعد از دوام پلت، یکی از پارامترهای مهم دیگر برای نگهداری پلت، سختی آن است. برای اندازه‌گیری سختی پلت کود کمپوست، از دستگاه آزمایش مواد بیولوژیک[1] (B.M.T) ساخته شده در گروه فنی کشاورزی ابوریحان دانشگاه تهران (Ghaebi, 2008)، استفاده شد (شکل ۵). این دستگاه قابلیت بارگذاری فشاری و کششی بر روی محصولات کشاورزی را دارد و با استفاده از آن می‌توان منحنی نیرو- جابه‌جائی محصولات کشاورزی را تحت بارگذاری شبه استاتیک[2] مشخص کرد و خواص مکانیکی همچون سختی، مدول الاستیک، تغییر شکل، نیروی شکست، انرژی شکست و ... را به دست آورد.



شکل ٤- دستگاه اندازه گیری دوام پلت.



شکل ۵- دستگاه آزمایش مواد بیولوژیک (Ghaebi, 2008).

1- Biological Material Test
2- Quasi-Static

www.SID.ir

جهت اجرای این آزمایش پنج پلت از هر نمونه استفاده شد. یادآوری می‌شود، پلتی که بیشترین دوام را داشت مورد آزمایش قرار گرفت. پلت با گیره نگه داشته شد و سپس نیروسنجی که به فک متحرک متصل بود با سرعت ۶ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت داده شد و پلت را فشرد تا اینکه پلت شکست. نیروسنج بیشینه نیرویی را که برای شکستن پلت لازم بود، ثبت کرد.

در این آزمایش، بیشینه نیروی لازم برای شکستن (گسستن) پلت‌ها، مبنای سختی(استحکام) پلت‌ها در نظر گرفته شد. انرژی کرنش برابر است با کار انجام شده توسط بار وارد شده بر عضو، که به تدریج افزایش می‌یابد. چگالی انرژی کرنش ماده بر حسب انرژی کرنش در واحد حجم آن ماده تعیین می‌شود که برابر است با سطح زیر منحنی تنش-کرنش آن ماده (Vahedian, 2003). با استفاده از نتایج آزمون سختی پلت‌ها, مقدار نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها محاسبه گردید.

آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی روی نمونه‌ها در سه سطح مقدار رطوبت ۳۵، ۴۵، و ۵۰ درصد بر مبنای تر و با سرعت چرخش مارپیچ در چهار سطح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، و ۲۵۰ دور در دقیقه اجرا شد. محاسبات آماری، تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای Excel و SAS انجام شد. مقادیر میانگین، ضریب تغییرات، کمینه و بیشینهٔ داده‌ها به کمک برنامه‌های آماری فوق تعیین گردید.

نتایج و بحث

تأثیر سرعت مارپیچ اکسترودر و رطوبت خمیر کمپوست بر دوام پلت‌ها

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر و مقدار رطوبت خمیر کمپوست (بر پایهٔ تر) روی دوام پلت‌های تولید شده، در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج در این جدول، تیمارهای سرعت چرخش مارپیچ و ترکیب سرعت مارپیچ و رطوبت خمیر کمپوست در سطح احتمال ۵ درصد و تیمار رطوبت خمیر کمپوست به تنهایی در سطح احتمال ۱ درصد بر دوام پلت‌های تولیدی، اثر معنی‌داری دارند.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت خمیر کمپوست بر دوام پلت

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات دوام
تکرار	۲	۲۴/۹۷^{ns}
سرعت	۳	۳۰۵/۱۳*
رطوبت	۱	۱۰۸۰۳/۴۰۲**
سرعت × رطوبت	۳	۳۸۸/۲۰*
خطا	۱۴	۷۰/۰۵۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۴/۶۶

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار

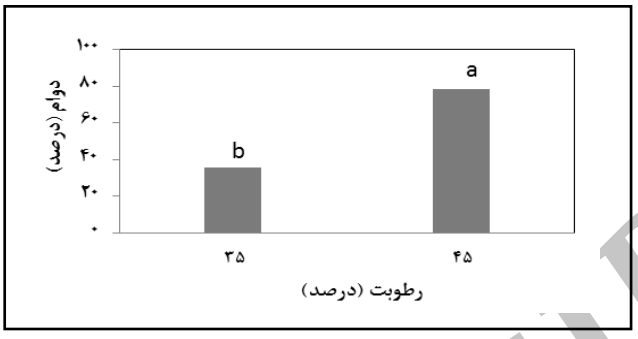
اثر مقدار رطوبت خمیر کمپوست در هنگام تولید پلت بر میزان دوام پلت در شکل ۶ نشان داده شده است. افزایش مقدار رطوبت از ۳۵ به ۴۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار دوام از ۳۵/۸۶ به ۷۸/۲۹ درصد می‌شود.

نتایج به دست آمده در این قسمت با نتایج حاصل از تحقیق روسنتراتر و همکاران (Rosentrater *et al*., 2009)

Archive of SID

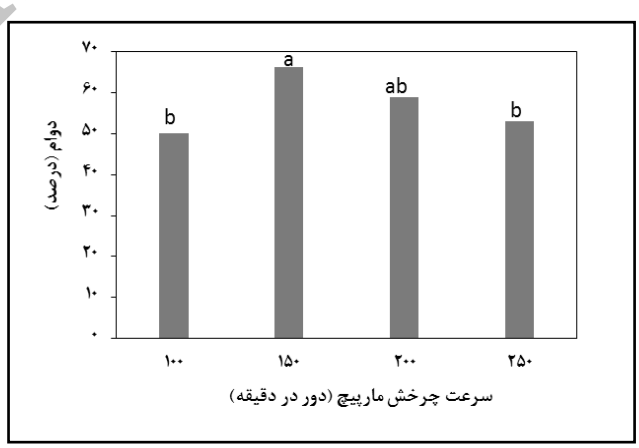
www.SID.ir

مطابقت نسبی دارد، این محققان بالاترین میزان دوام را در سرعت چرخش پیچ ۲۰۰ دور در دقیقه و مقدار رطوبت خمیر ۴۵ درصد گزارش کردند. هارا (Hara, 2001)، بهترین مقدار رطوبت کود را برای تشکیل پلت ۴۵ و برای انبارداری کمتر از ۲۰ درصد پیشنهاد کرد.



شکل ٦- اثر مقدار رطوبت خمیر کمپوست بر میانگین دوام پلت‌های تولید شده در سرعت‌های مختلف چرخش پیچ.

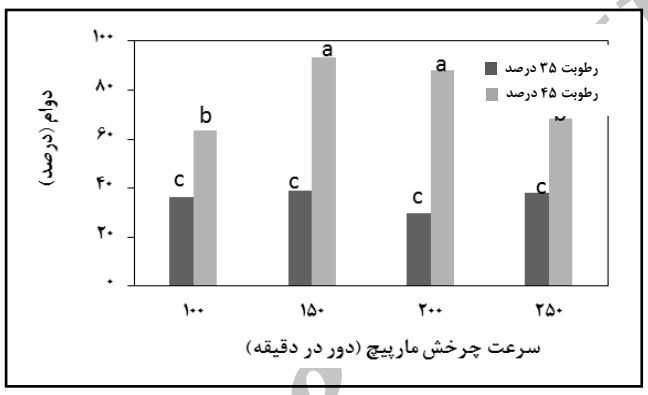
با توجه به شکل ۷، افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور بر دقیقه باعث افزایش معنی‌دار میزان دوام پلت‌ها از ۵۰ به ۶۶/۲۳ درصد می‌شود، در حالی‌که با افزایش سرعت از ۱۵۰ به ۲۰۰ و همچنین از ۲۰۰ به ۲۵۰ دور در دقیقه تغییر معنی‌داری بر میزان دوام مشاهده نمی‌شود. البته تفاوت معنی‌داری بین میزان دوام پلت‌های به دست آمده در سرعت‌های ۱۵۰ و ۲۵۰ دور در دقیقه وجود دارد. بر اساس نتایج حاصل از تحقیق روسنتراتر و همکاران (Rosentrater *et al.*, 2009)، بر روی پلت‌های خوراک آبزیان، با افزایش سرعت چرخش پیچ اکسترودر، فشار تولید شده در ناحیهٔ قالب اکسترودر افزایش می‌یابد. این افزایش فشار باعث فشردگی بیشتر ذرات و در نتیجه افزایش چگالی و استحکام پلت‌های تولیدی می‌شود. دلیل افزایش دوام پلت‌ها با افزایش سرعت از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور در دقیقه به احتمال فراوان افزایش فشار تولیدی در ناحیهٔ قالب به خاطر افزایش سرعت پیچ است. این‌که در سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه میزان دوام بیشترین است (شکل ۷)، ممکن است به این دلیل باشد که قالب مورد استفاده در این آزمایش با توجه به میزان دبی پیچ برای این سرعت طراحی و ساخته شده بود.



شکل ۷- اثر سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر بر دوام پلت‌های تولید شده با مقدار رطوبت متفاوت.

Archive of SID
www.SID.ir

اثر متقابل سرعت چرخش پیچ و مقدار رطوبت خمیر کمپوست، در شکل ۸ نشان داده شده است. در رطوبت ۳۵ درصد، افزایش سرعت چرخش پیچ تأثیری بر دوام پلت ندارد در حالی‌که در رطوبت ۴۵ درصد با افزایش سرعت پیچ از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور در دقیقه، دوام پلت افزایش معنی‌داری از ۶۳/۵۲ به ۹۳ درصد دارد. افزایش سرعت پیچ از ۱۵۰ به ۲۰۰ دور در دقیقه تأثیری بر دوام ندارد، ولی با افزایش سرعت پیچ از ۲۰۰ به ۲۵۰ دوام به شکل معنی‌دار کاهش می‌یابد (از ۸۸ به ۶۸ می‌رسد). از شکل ۷ پیداست که در تمامی سرعت‌های پیچ، کاهش رطوبت از ۴۵ به ۳۵ درصد باعث کاهش معنی‌دار دوام پلت می‌شود. بهترین دوام در سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه و رطوبت ۴۵ درصد به دست می‌آید که تفاوت معنی‌داری با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه ندارد. این نتیجه کاملاً مشابه نتایج حاصل از تحقیق روسنتراتر و همکاران است (Rosentrater *et al.*, 2009).



شکل ۸- اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و مقدار رطوبت خمیر کمپوست بر دوام پلت‌ها.

تأثیر سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت خمیر کمپوست در زمان تولید بر نیروی شکست پلت‌ها

میانگین مربعات تأثیر سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر و مقدار رطوبت خمیر کمپوست در هنگام تولید پلت بر نیروی شکستن پلت‌های تولید شده در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده فاکتورهای سرعت پیچ، مقدار رطوبت خمیر کمپوست، و سرعت در رطوبت، در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر نیروی شکست پلت‌ها دارد.

جدول ۲- نتایج تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سرعت و رطوبت بر مقدار نیروی شکستن

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات نیروی شکستن
تکرار	۳	۱۶۶/۵۷^{ns}
سرعت	۳	۳۶۹۳/۸۷**
رطوبت	۱	۱۵۰۷۱/۹۷**
سرعت × رطوبت	۳	۴۵۱۱/۹۲**
خطا	۲۱	۲۷۵/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۵۶

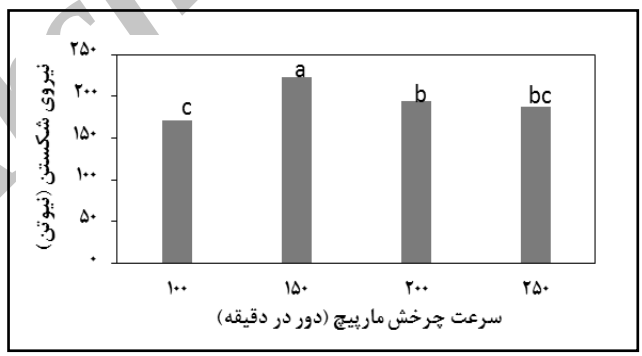
** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مقدار رطوبت خمیر کمپوست در هنگام تولید پلت از ۳۵ به ۴۵ درصد نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها به شکلی معنی‌دار از ۲۱۵/۸۵ به ۱۷۹/۱۷ نیوتن کاهش می‌یابد (شکل ۹).

شکل ۹- اثر مقدار رطوبت خمیر کمپوست بر نیروی لازم جهت شکستن پلت‌های تولید شده در سرعت‌های مختلف چرخش مارپیچ اکسترودر

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سرعت چرخش پیچ اکسترودر از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور در دقیقه، نیروی لازم جهت شکستن پلت‌های تولید شده با استفاده از خمیر کمپوست با مقادیر متفاوت رطوبت، افزایش معنی‌داری (از ۱۷۰/۷۵ به ۲۲۲/۴۲ نیوتن) دارد. در حالی که با افزایش سرعت پیچ از ۱۵۰ به ۲۰۰ دور در دقیقه، نیروی شکست کاهش معنی‌داری (از ۲۲۲/۴۲ به ۱۹۴/۴ نیوتن) دارد و افزایش سرعت پیچ از ۲۰۰ به ۲۵۰ اثر معنی‌داری بر نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها ندارد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تأثیر سرعت چرخش مارپیچ بر نیروی لازم جهت شکست پلت‌های تولید شده با مقادیر متفاوت رطوبت در خمیر کمپوست

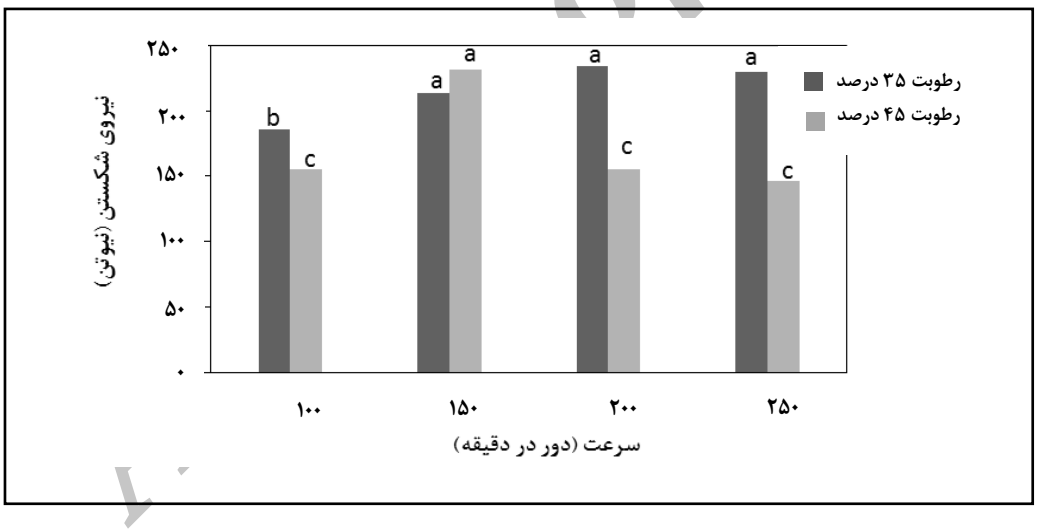
اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر و مقدار رطوبت خمیر کمپوست در هنگام تولید پلت در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، در سرعت‌های چرخش پیچ ۱۰۰، ۲۰۰، و ۲۵۰ دور در دقیقه، افزایش رطوبت باعث کاهش معنی‌دار نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها می‌شود به طوری‌که میزان نیرو در

www.SID.ir

سرعت‌های فوق با افزایش مقدار رطوبت کمپوست از ۳۵ به ۴۵ درصد، کاهش معنی‌داری از ۱۸۵/۸، ۲۳۳/۸، و ۲۲۹/۳ نیوتن به ترتیب به ۱۵۵/۶، ۱۵۵ و ۱۴۶/۵ نیوتن دارد.

در سرعت چرخش پیچ ۱۵۰ دور در دقیقه افزایش رطوبت اثر معنی‌داری بر میزان نیرو ندارد و بیشترین مقدار نیرو در سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه و رطوبت ۴۵ درصد به دست می‌آید که با نتایج حاصل از تحقیقات هارا و همچنین روسنتراتر و همکاران یکسان است (Rosentrater *et al*., 2009; Hara, 2001).

نتایج نشان می‌دهد که میزان نیروی لازم جهت شکستن پلت‌های کمپوست تولید شده با مقدار رطوبت ۴۵ درصد، با افزایش سرعت چرخش پیچ اکسترودر از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور در دقیقه افزایش بسیار معنی‌داری (از ۱۵۵/۶ به ۲۳۱/۵ نیوتن) دارد ولی با افزایش سرعت از ۱۵۰ به ۲۰۰ دور در دقیقه نیروی شکستن کاهش معنی‌داری (از ۲۳۱/۵ به ۱۵۵ نیوتن پیدا می‌کند، در حالی‌که افزایش سرعت پیچ از ۲۰۰ به ۲۵۰ دور در دقیقه تأثیر معنی‌داری بر نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها ندارد. همچنین نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که نیروی لازم جهت شکستن پلت‌های تولید شده از خمیر کمپوست با مقدار رطوبت ۳۵ درصد، با افزایش سرعت چرخش پیچ اکسترودر از ۱۰۰ به ۱۵۰ دور افزایش معنی‌داری (از ۱۸۵/۸ به ۲۱۳/۳) نیوتن دارد در حالی که افزایش سرعت پیچ از ۱۵۰ به ۲۵۰ دور اثر معنی‌داری بر نیرو ندارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و مقدار رطوبت خمیر کمپوست در هنگام تولید پلت بر نیروی لازم جهت شکستن پلت‌ها

نتیجه‌گیری

اثر رطوبت خمیر کمپوست و سرعت چرخش مارپیچ دستگاه اکسترودر مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد خمیر کمپوست دارای ۵۰ درصد رطوبت، قابلیت پلت شدن را ندارد و افزایش مقدار رطوبت خمیر کمپوست، از ۳۵ به ۴۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار دوام (از ۳۵/۸۶ به ۷۸/۲۹ درصد) می‌شود، و بهترین دوام برای پلت‌ها در رطوبت ۴۵ درصد و سرعت پیچ ۱۵۰ دور در دقیقه به دست می‌آید. همچنین در سرعت پیچ ۱۵۰ دور در دقیقه، افزایش مقدار رطوبت خمیر کمپوست، بر میزان

www.SID.ir

استحکام پلت‌ها تأثیری ندارد ولی در سرعت‌های دیگر، پلت‌های تولید شده با خمیر کمپوست با مقدار رطوبت ۳۵ درصد، استحکام بالاتری نسبت به پلت‌های تولید شده با خمیر دارای ۴۵ درصد رطوبت دارند.

مراجع

Adapa, P. K., Schoenau, G. J., Tabil, L. G., Sokhansanj, S. and Crerar, B. J. 2003. Pelleting of Fractionated Alfalfa Products. ASABE Paper No. 036069. American Society of Agricultural Engineers. Annual International Meeting. July. 27-30. Las Vegas. Nevada. USA.

Anon, 1995. ASTM E-11-70 (Part 41) and U.S. National Bureau of Standards Official Sieve Designations.

Anon. 1998. Pellets and Crumbles-Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture Content. ASAE Standards. S269.4 Cubes.

Anon. 2006. Animal Statistics. Ministry of Agriculture. Iran. (In Farsi)

Batacharya, S. C. Sett, S. and Shrestha, R. M. 1989. Division of Energy Technology. Energy Sources. In: State of the Art for Biomass Densification. Taylor and Francis Group. CRC press. New York.

Erickson S. and Prior, M. 1990. The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel. Food and Agricultural Organization (FAO). Environment and Energy. Rome. Italy.

Fielden, K.E. and Newton, J. M. 1992. Extrusion and Extruders. In: Swarbrick, J. and Boylan, J. C. (Eds.) Encyclopaedia of Pharmaceutical Technology. Marcel Dekker. New York.

Froix, M. F. and Goedde, A. O. 1976. The effect of temperature on the cellulose/water interaction from NMR relaxation times. Macromolecules. 9(3): 428-430.

Ghaebi, S. M. 2008. Determination of some physical and mechanical properties of Irainian apricot and its pit and kernel. M. Sc. Thesis. College of Abouraihan. University of Tehran. (in Farsi)

Hara, M. 2001. Fertilizer Pellets Made from Composted Livestock Manure. Food and Fertilizer Technology Center. Taiwan. Available at: http://www/agnet.org.

Kontny, M. J. and Zografi, G. 1995. Sorption of Water by Solids. In: Brittain, H. G. (ed.) Physical Characterization of Pharmaceutical Solids. Marcel Dekker Inc. New York.

Li, S. Z., Zhang, G. W., Li, Y. L. and Yang, Y. C. 2000. Discovery of granulite in the Mianxian–Lueyang suture zone, Mianxian area and its tectonic significance. Acta Petrol. Sin. 16(2): 220–226.

MacMahon, M. J. 1984. Additives for Physical Quality of Animal Feed. In: Beaven, D. A. (Ed.) Manufacturing of Animal Feed. Herts. England. Turret- Wheatland Ltd.

Masuda, H., Higashitani, K. and Yoshida, H. 2007. Handling and Operations, Process Instrumentation, and Working Hazards. CRC Press. USA.

McMullen, J., Fasina, O. O., Wood, C. W., Feng, Y. and Mills, G. 2004. Physical characteristics of pellets from poultry litter. ASAE/CSAE Meeting Presentation. Ottawa. Ontario. Canada.

Rosentrater, K. A., Muthukumarappan, K. and Kannadhason, S. 2009. Effect of ingrediants and extrusion parameters on properties of aquafeeds containing DDGS and corn starch. J. Aquacult. Feed Sci. Nutr. 1(2): 44-60.

Archive of SID

www.SID.ir

Vahedian, E. 2003. Strength of materials (Translation). University Sciences Press. (in Farsi)

Young, J. H. and Nelson, G. L. 1967. Research of Hysteresis Between Sorption and Desorption Isotherms of Wheat. American Society of Agricultural and Biological Engineers. USA.

Zografi, G. 1988. States of water associated with solids. Drug Dev. Ind. Pharm. 14, 1905-1926.

Archive of SID

www.SID.ir

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.13/No.4/2013/75-88*

Optimum Moisture Content of Compost for Fertilizer Pellets Produced Using an Extruding Device

H. Amiri, M. H. Kianmehr*, A. Arabhosseini and N. Keshvari

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, P. O. Box: 3391653755, Tehran, Iran. Tel: +98 (21) 360 40 614, E-Mail: kianmehr@ut.ac.ir
Received: 3 September 2011, Accepted: 16 June 2012

Agglomeration followed by pelleting is an efficient method to decrease transport costs and increase economic efficiency of composting municipal waste. The moisture content of compost is the most important parameter of the pellet making process for any type of manufacturing device. The experiments in this study were done at moisture contents of 35%, 45% and 50% at extruder shaft rotational speeds of 100, 150, 200 and 250 rpm. The materials were first processed using a mixer and kneading device then made into pellets using a single screw extruder. The durability of the pellets at different moisture contents were tested to determine the optimum moisture content and its effect on the properties of the pellets. The results showed that moisture content of the compost, rotational speed of extruder screw and the interaction of these parameters significantly affected the durability of the pellets. Durability increased from 35.86% to 78.29% as moisture content increased from 35% to 45% (w.b.). Durability was increased significantly at all rotational speeds as moisture content increased from 35% to 45% (w.b.). Increasing the moisture content produced no significant effect for the strength of the pellets at a rotational speed of 150 rpm. The strength was higher at 35% moisture content than for 45% moisture content.

Key words: Compost, Durability, Extruder, Moisture Content, Pellet

Archive of SID

www.SID.ir