

## بررسی اثر طول ورزدادن دستگاه اکسترودر ورزدهنده بر خواص پلت کود کمپوست

فرهاد همایون‌فر، محمدحسین کیانمهر\* و بهزاد آزادگان\*\*

\* نگارنده مسئول: گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. تلفن: ۰۲۱)۳۶۰۴۰۶۱۴،

پیم‌نگار: kianmehr@ut.ac.ir

\*\* به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم؛ استاد گروه فنی و مهندسی کشاورزی؛ و دانشیار گروه مهندسی

آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳۰

### چکیده

تبدیل پسماندهای مواد آلی به کمپوست روشی است مناسب برای تثبیت مواد آلی و بنابراین تقویت خاک‌های کشور با مواد آلی مناسب باید در اولویت قرار گیرد. یکی از عوامل محدود کننده استفاده مناسب از کمپوست، چگالی پایین این ماده است که حمل و نقل، ذخیره و کاربرد آن را مشکل کرده است. در این تحقیق به بررسی برخی از پارامترهای مؤثر در تولید پلت پرداخته شده است. پارامترهای مورد بررسی شامل اندازه ذرات در دو سطح ۱ و ۲ میلی‌متر، مقدار رطوبت در سه سطح ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد و طول ورز دادن در سه سطح ۱، ۲ و ۳ متر است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که چگالی پلت‌های تولید شده در هر دو اندازه ذرات با افزایش طول ورز دادن در تمام حالات افزایش می‌یابد. در بررسی اثر متقابل رطوبت و طول ورز دادن بر میزان نیروی شکست پلت‌ها، بیشترین مقدار نیروی شکست، ۵۵۶/۳۲N، مربوط به تیمار طول ورز دادن ۳ متر و رطوبت ۳۵ درصد است. همچنین، در بررسی اثر متقابل اندازه ذرات و طول ورز دادن، بیشترین مقدار چگرمگی ( $1/03 \text{ MJ/m}^3$ ) مربوط به تیمار مش ریز با اندازه ذرات یک میلی‌متر و طول ورز دادن ۳ متر دیده شده است.

### واژه‌های کلیدی

پلت، طول ورزدادن، کمپوست، مواد آلی، نیروی شکست

### مقدمه

جهان سوم به اندازه مصرف کشورهای توسعه یافته برسد، نیاز غذایی جهان به سه برابر افزایش می‌یابد و با توجه به این نکته که در برخی مناطق سطح زیر کشت محصولات زراعی به دلیل ساخت و ساز شهری کمتر نیز می‌شود، به این نتیجه می‌رسیم که در آینده تولید محصولات غذایی باید افزایش یابد و بازده آن نیز بیشتر شود (Keeney et al., 1997). با توجه به انحلال‌پذیری بالا، مصرف زیاد، واکنش‌های بیشتر با عناصر دیگر و آبشویی بیشتری که کودهای نیتروژن‌دار دارند امروزه حساسیت روی این کودها بیشتر از

منشأ فکری بحث امنیت غذایی<sup>۱</sup>، یکی از مهمترین مؤلفه‌های امنیت ملی، به بحران غذا در اوایل دهه ۱۹۷۰ در جهان برمی‌گردد. بر اساس تعریف‌های مختلف ارائه شده، امنیت غذایی به مفهوم دسترسی همه مردم در همه اوقات و همه زمان‌ها به غذای کافی برای داشتن یک زندگی سالم و پویاست (Ghasemi, 1994) پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۷۰ درصد تولید محصولات کشاورزی وابسته به کودها باشد. همچنین اگر مصرف غذای کشورهای

متراکم کردن به شکل استوانه‌های کوچک با قطر و طول مشخص درآورد که به این استوانه‌ها در صنعت فرآوری مواد، پلت گفته می‌شود.

تمبولورو (Tumuluru, 2014) اثر فاکتورهای متغیر روی چگالی و دوام پلت تولید شده از کلش ذرت، با استفاده از دای تخت در رطوبت بالا را ارزیابی کرد. فاکتورهای متغیر مورد استفاده شامل رطوبت بین ۲۸ تا ۳۸ درصد، سرعت دای بین ۴۰ تا ۶۰ دور در دقیقه و دمای پیش گرمایش بین ۳۰ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس بود. بهترین نتایج بررسی‌های او برای چگالی، ترکیب رطوبت ۳۰ تا ۳۳ درصد، سرعت دای بیشتر از ۵۰ دور در دقیقه و دمای بیشتر از ۹۰ درجه سلسیوس بود و همین‌طور برای دوام، ترکیب رطوبت ۳۰ تا ۳۴ درصد، سرعت دای بیشتر از ۵۰ دور در دقیقه و دمای بیشتر از ۷۰ درجه سلسیوس بود؛ پلت‌های تولید شده به مدت ۲ تا ۴ ساعت با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند.

مونز هرناندز و همکاران (Munoz-Hernandez et al., 2006) روش آزمایشگاهی ساده‌ای را برای بهینه‌سازی فرآیندهای فشرده‌سازی مکانیکی مواد ارائه کردند که در آن برای ارزیابی این روش از یک اکسترودر تک‌پیچ پشت تراکتوری استفاده شد. در تحقیق یاد شده، تأثیر عواملی چون مقدار رطوبت، میزان دما و طول قالب بر پارامترهایی چون فشار اکستروژن، چگالی پلت‌ها و مصرف انرژی ویژه بررسی شد.

ظفری و کیان‌مهر (Zafari & Kianmehr, 2014) عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی پلت کمپوست را بررسی و اثر چگالی و اتصال قوی ذرات را به همدیگر با آزمایش مقاومت شکست و دوام پلت تعیین کردند. نمونه‌ها متغیرهای مقدار رطوبت در سه سطح ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درصد، سرعت پیستون در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰

حساسیت روی سایر کودهای شیمیایی است (Bøckmanh & Olf, 1998) که نشان‌دهنده بازده بسیار پایین مصرف نیتروژن است. در سال‌های اخیر اکثر کشاورزان برای جبران خسارات ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و نیز برای جبران کاهش حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی، به سمت مصرف کودهای ارگانیک روی آورده‌اند که از فرآوری مواد آلی (مانند زباله‌های شهری، کودهای حیوانی، پسماندهای بخش کشاورزی و ...) به دست می‌آید. کمپوست عبارت است از بقایای گیاهی و حیوانی، زباله‌های شهری یا لجن فاضلاب که در شرایط کنترل شده در حرارت و رطوبت مناسب به وسیله باکتری‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها و سایر میکرو ارگانیسم‌های هوازی و بی‌هوازی تجزیه شوند به طوری که مواد سمی آنها از بین برود، مواد پودر شوند و فرم اولیه خود را از دست داده باشند. برای استفاده بهینه از کود کمپوست می‌توان آن را به پلت‌های<sup>۱</sup> کودی تبدیل کرد. تهیه پلت یکی از راه‌های مؤثر کاهش هزینه حمل و نقل و افزایش صرفه اقتصادی در استفاده از کمپوست است (Mavaddati, 2009).

در ایران، تحقیقی در باره فشرده کردن کمپوست نشده است. ولی تولید روزانه هزاران تن زباله و ضایعات در بخش خدمات شهری و کشاورزی در کشور پهناور ایران و امکان تبدیل آن به کمپوست، مطالعه روی فشرده‌سازی کمپوست را جهت کاهش هزینه حمل و نقل و جلوگیری از آلودگی محیط زیست، ضروری می‌سازد (Mavaddati, 2009). برای تهیه پلت‌هایی با شرایط مناسب، آگاهی از خواص کمپوست حاصل از پسماندهای کشاورزی ضروری خواهد بود. یکی از بهترین روش‌ها برای حل مشکل اول استفاده از فناوری شکل‌دهی و متراکم‌سازی کود کمپوست است. می‌توان کود را با

به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تا به حال اثر طول ورزدادن بر خواص پلت ارزیابی نشده است، از این رو هدف از این تحقیق بررسی اثر طول ورزدادن بر برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی پلت تولیدی کود کمپوست است.

### مواد و روش‌ها

#### تعیین اندازه ذرات

مواد اولیه این کمپوست شامل کود گاوی، شاخ و برگ درختان، چمن و سایر بقایای گیاهی است (جدول ۱) که در راکتور ساخته شده توسط گوگونانی (Googoonani, 2012) با شرایط کاملاً کنترل شده، پوسیده و به کمپوست تبدیل شد. برخی از خصوصیات کمپوست مذکور در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجایی که وجود ناخالصی در مواد ارگانیک و بالاجهت کمپوست مورد آزمایش امری اجتناب ناپذیر است و نیز با توجه به اینکه جداسازی ناخالصی‌ها، بنا به ماهیت و ترکیب پیچیده ماده اولیه ناممکن است، تمام آزمایش‌ها در شرایط یکسان و بدون جداسازی ناخالصی‌ها اجرا شد.

میلی‌متر بر ثانیه، طول قالب در سه سطح ۸، ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر و اندازه ذرات مواد در سه سطح ۰/۳، ۰/۹ و ۱/۵ میلی‌متر در قالب باز ارزیابی شدند. این دو محقق آزمایش‌ها خود را با روش پاسخ سطح طراحی کردند. کلیه پارامترهای مستقل بر دوام پلت معنی‌دار بودند در صورتی که سرعت‌های مختلف پیستون و طول قالب اثر معنی‌داری روی مقاومت شکست پلت نداشتند. در این تحقیق، روش عکاسی الکترونی برای شناسایی مکانیزم اتصال ذرات پلت کمپوست به کار گرفته شد.

رضایی فر (Rezaeifar, 2009) در تحقیقی با عنوان بررسی پارامترهای کود گاوی جهت طراحی اکسترودر، برای کاهش جرم مخصوص و اقتصادی شدن استفاده از کود گاوی، فرآیند پلت کردن این کود به روش‌های قالب بسته و قالب باز را بررسی کرد. همچنین، خواص فیزیکی و حرارتی کود شامل زاویه اصطکاک ایستایی، زاویه استقرار، گرمای ویژه، ضریب پخش حرارتی کود گاوی تعیین گردید. با توجه به نوع قالب (قالب باز) بهترین نتایج فشار متراکم‌سازی ۶۰ بار، دما ۴۰ درجه سلسیوس و مقدار رطوبت ۵۰ درصد بر مبنای تر است. بهترین رطوبت جهت انبارداری نیز ۲۰ درصد

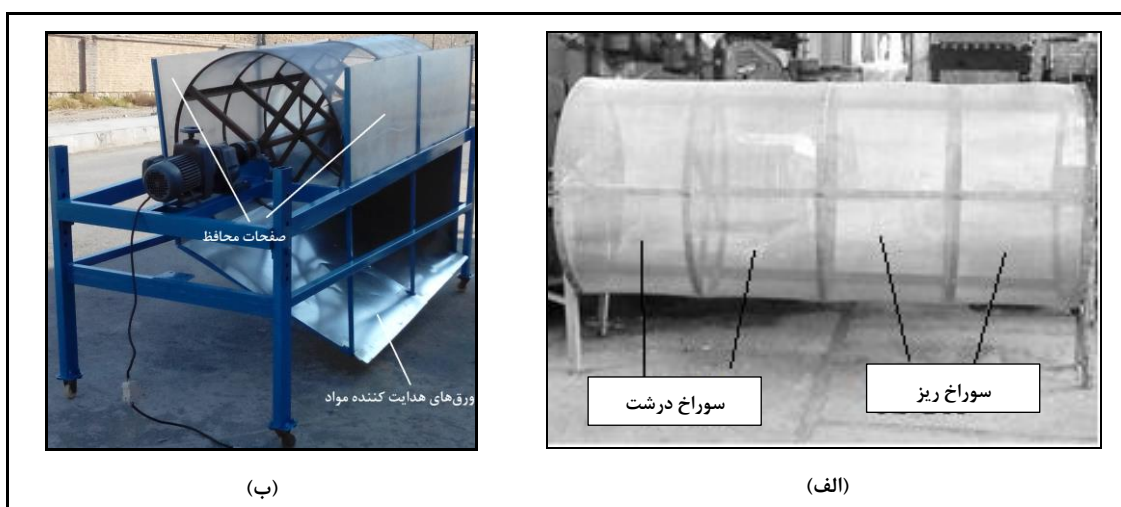
جدول ۱- نسبت وزنی مواد اولیه کود کمپوست (Googoonani, 2012)

نسبت وزنی	رطوبت اولیه (درصد)	نسبت کربن به نیتروژن	ماده
۸ قسمت	۸۰	۱۳:۱	کود تازه گاو شیری
۱۲ قسمت	۸۲	۱۵:۱	علوفه و چمن تازه چیده شده
۱۰ قسمت	۱۵	۴۷:۱	برگ خشک
۱/۵ قسمت	۴۰	۲۲۶:۱	چوب

جدول ۲- برخی از خصوصیات کمپوست استفاده شده (Googoonani, 2012)

مقدار	واحد	کمیت
۱۲۵	میلی اکی والانت در ۱۰۰ گرم	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)
۱/۵۷	زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی (EC)
۹/۶	درصد	اسیدفولیک
۲	درصد	اسید هیومیک
۲/۳	درصد	نیترژن برمبنای ماده خشک
۷/۴	-	pH
۱/۶	درصد	پتاسیم
۰/۳۴	درصد	مواد آلی
۰/۵۴	درصد	فسفر
۵۸/۰۲	درصد	سلولز، همی سلولز و لیگنین، در نمونه خشک
۰/۱۵	درصد	کربن آلی

اندازه ذرات با استفاده از دستگاه اندازه‌بند کمپوست که در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ساخته شده بود در دو سطح یک و دو میلی‌متر تعیین شد (شکل ۱) (Aghadgani, 2013).



شکل ۱- دستگاه اندازه‌بند با قابلیت اندازه‌گیری دو مش یک و دو میلی‌متر

### تعیین رطوبت کود کمپوست

مقدار رطوبت از رابطه ۱ بر پایه تر سنجیده شد (Anon, 1998).

$$M_{w.b.} \% = \frac{w_w}{w_t} \times 100\% = \frac{w_w}{w_w + w_d} \times 100\% \quad (1)$$

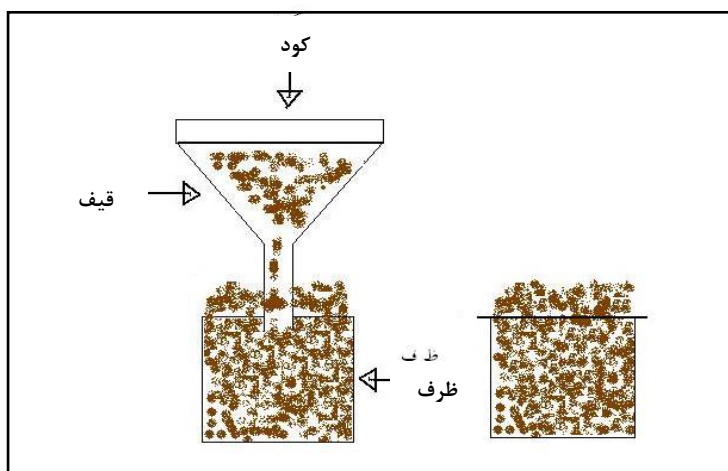
بعد از اندازه‌بندی ذرات، برای تعیین مقدار رطوبت اولیه کود، سه نمونه ۱۰۰ گرمی از هر مش طبق استاندارد ASAE S358.2 در آون ساخت شرکت آبی‌آسا با دمای  $103 \pm 3$  درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد.

تعیین شد (شکل ۲). برای تأمین جریان یکنواخت مواد و جلوگیری از انسداد قیف از یک سیم فولادی استفاده شد. سطح مواد ریخته شده در داخل ظرف با صفحه‌ای صاف شد و مواد اضافی حذف شدند. از رابطه ۲ مقدار وزن مخصوص ظاهری کود اندازه‌گیری شد. این آزمایش‌ها در سه تکرار اجرا شد.

$$\rho_b = \frac{M}{V} \quad (2)$$

که در آن،

$M$  = وزن کود (کیلوگرم)؛  $V$  = حجم ظرف (مترمکعب)؛ و  $\rho_b$  = چگالی ظاهری کود (کیلوگرم بر مترمکعب).



شکل ۲- نحوه اندازه‌گیری چگالی ظاهری کود (Rezaeifar, 2009)

که در آن،  $\varepsilon$  = تخلخل کود پودری (درصد)؛  $\rho_b$  = چگالی ظاهری کود (کیلوگرم بر مترمکعب) و  $\rho_t$  = وزن مخصوص واقعی کود (کیلوگرم بر مترمکعب).

بهترین روش برای محاسبه جرم مخصوص واقعی کود، استفاده از پیکنومتر است اما به دلیل قیمت بالا و دسترسی نداشتن به این دستگاه از دستگاه پرس هیدرولیکی ساخته

که در آن،

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

برای اندازه‌گیری جرم آب و نمونه کودهای مورد آزمایش از یک ترازوی دیجیتال مدل Kern ساخت آلمان (Kern and Sohn GmbH, Germany) با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد.

### چگالی ظاهری کود و تخلخل کود پودری

چگالی حجمی نمونه‌ها با عبور مواد از یک قیف که در بالا و مرکز یک ظرف استاندارد نیم لیتری قرار گرفته بود

وقتی ذرات به صورت توده غیر متراکم گرد هم در می‌آیند، بررسی تخلخل و ماهیت آن در فرآیند بعدی که متراکم شدن ذرات در کنار یکدیگر است، اهمیت دارد. درصد تخلخل کسری از فضا است که نه با ماده بلکه با هوا اشغال می‌شود. درصد تخلخل با استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\varepsilon = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \times 100 \quad (3)$$

در سه سطح رطوبتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد و طول ورز دادن یک، دو و سه متر تولید شدند (سطوح مورد نظر براین اساس انتخاب شد که در رطوبت‌های بالاتر یا پایین‌تر از این محدوده قابلیت پلت شدن وجود ندارد. همچنین ورزدادن در طول کمتر از یک متر، اندازه‌گیری دقیق صفات موردنظر با استفاده از ابزارها و امکانات آزمایشگاهی موجود میسر نیست و برای طول‌های بیشتر از سه متر نیز ساخت و اجرایی کردن پروژه در صورت جواب مثبت دادن بسیار هزینه‌بر و مشکل خواهد بود).

لازم است یادآوری شود که قبل از اجرای آزمایش‌ها رطوبت مورد نظر در سه سطح مذکور به کود کمپوست مورد آزمایش افزوده شد و این کود به مدت ۲۴ ساعت در کیسه‌های مخصوص نگهداری شد تا رطوبت در همه قسمت‌های کمپوست به‌طور یکنواخت پخش شود. در حین آزمایش و تولید پلت هیچ‌گونه آبی به ماده اولیه (کود کمپوست) اضافه نشد. از آنجایی که طول ورز دادن دستگاه یک متر بود برای یکسان بودن شرایط آزمایش و جلوگیری از بروز خطا در دور دوم و سوم ورز دادن، قالب دستگاه باز شد، مواد بیرون آمده از دستگاه بی‌آنکه فشرده شود به داخل دستگاه برگردانده شد (تقریباً حالت پودری). دلیل اتخاذ این روش در درجه اول جلوگیری از فشردگی مواد قبل از طول ورزدادن دو و سه متر (حفظ شرایط یکسان برای مقایسه سه حالت) و در درجه دوم جلوگیری از تغییرات احتمالی خواص فیزیکی و مکانیکی ماده در اثر از دست دادن رطوبت و تغییرات دمایی ناشی از فشرده شدن بود. شکل ۳ دستگاه اکسترودر را حین آزمایش نشان می‌دهد. گفتنی است که با توجه به ساختار دستگاه اکسترودر ساخته شده (طراحی ماردون به‌صورت برشی و وجود پیچ‌های ورزدهنده) اثری از گرم شدن دستگاه حین کار کردن دیده نمی‌شود.

شده در پردیس ابوریحان استفاده شد. برای اجرای این آزمایش، ابتدا مقداری از کود کمپوست با رطوبت مشخص در قالب و سنبه قرار داده شد و با استفاده از دستگاه پرس آنقدر به سنبه فشار وارد آمد تا در دو فشار متوالی تفاضل مقدار جرم مخصوص واقعی ( $\rho_{t1}$  و  $\rho_{t2}$ ) صفر شود؛ در این حالت، به‌عنوان وزن مخصوص واقعی ثبت گردید. طول پلت‌های تولید شده بعد از خشک شدن با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت  $0/01$  میلی‌متر در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد و حجم مخصوص ذرات از روابط ۴ و ۵ به‌دست آمد.

$$V_p = \frac{\pi}{4} d^2 L \quad (4)$$

$$\rho_t = \frac{m_p}{V_p} \quad (5)$$

که در آنها،

$V_p$  = حجم در حالت فشردگی کامل پلت (میلی‌متر مکعب)؛  $d$  = قطر سوراخ قالب (میلی‌متر)؛  $L$  = طول پلت در حالت فشردگی کامل (میلی‌متر)؛  $m_p$  = وزن پلت (گرم) و  $\rho_t$  = حجم مخصوص واقعی ذرات کود (گرم بر میلی‌متر مکعب).

#### تولید پلت با دستگاه اکسترودر ورزدهنده

یکی از اصلی‌ترین مراحل فرآوری مواد پودری شکل برای به دست آوردن خمیری همگن جهت اکسترود کردن، اختلاط کامل این مواد با یکدیگر است. در جهت ایجاد مخلوطی کاملاً یکنواخت، پس از اضافه کردن رطوبت به کود، ذرات آب در اثر ورز دادن روی بافت ذرات کود نفوذ می‌کنند و خمیری یکدست تشکیل می‌دهند (حالت کاپیلاری). بدین ترتیب برای تولید پلت‌ها از دستگاه مذکور استفاده گردید. پلت‌های کود کمپوست



شکل ۳- تولید پلت با استفاده از دستگاه اکسترودر ورزدهنده

پلت‌ها بعد از تشکیل و دسته‌بندی شدن (شکل ۴)، جهت خشک شدن در هوای آزاد قرار داده شدند. پس از آن، هر پلت با توجه به رطوبت، اندازه ذرات، طول ورز دادن و شماره تکرار، درون کیسه‌های زیپ‌دار که مشخصات پلت‌های به دست آمده روی آن نوشته شده بود قرار داده شدند تا مراحل بعدی آزمایش مانند محاسبه چگالی و انرژی شکست و ... روی آنها دنبال شود.



شکل ۴- نمونه‌هایی از پلت‌های تولید شده برای آزمایش

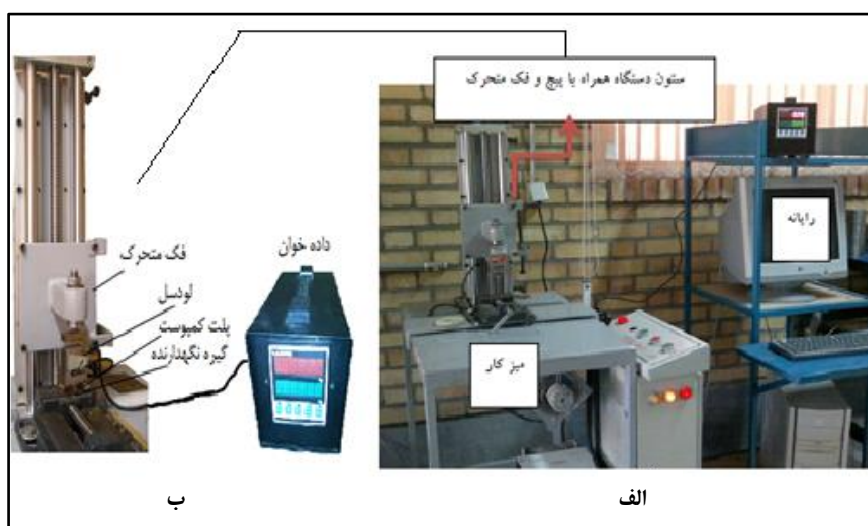
## ارزیابی کیفی پلت‌ها

### چگالی پلت‌ها

چگالی پلت‌ها با اندازه‌گیری طول (l) و قطر (d) آنها با کولیس دیجیتالی و توزین آنها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم محاسبه شد. چگالی پلت‌ها با تقسیم جرم پلت‌ها ( $m_p$ ) بر حجم ( $V_p$ ) (محاسبه شده از طول و قطر) آنها به دست آمد (رابطه ۴). چگالی پلت‌ها به عنوان میانگین پنج اندازه‌گیری گزارش شد.

## مقاومت فشاری

برای اجرای این آزمایش از دستگاه آزمایش کشش و فشار محصولات بیولوژیک استفاده شد (شکل ۵). برای یکسان بودن شرایط آزمایش در همه نمونه‌ها، قطر تمام نمونه‌ها ۸ میلی‌متر و طولشان ۲۰ میلی‌متر انتخاب گردید و نمونه‌ها به صورت افقی بین دو فک قرار داده شدند، سرعت اعمال نیرو به نمونه‌ها ثابت و برابر ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه (بارگذاری شبه استاتیک)، و در آزمایش‌ها ۳ تکرار در نظر گرفته شد.



شکل ۵- دستگاه آزمایش مواد بیولوژیکی (Ghaeibi, 2009)

نمونه‌ها با استفاده از سطح زیر نمودار محاسبه شد.

$$E_a = \frac{F_r \times D_r}{2} \quad (۴)$$

که در آن،

$F_r$  = نیروی شکست (نیوتن) و  $D_r$  = تغییر شکل در نقطه شکست (متر).

نقطه تسلیم بیولوژیک نقطه‌ای در منحنی نیرو- تغییر شکل است که در آن نیرو به طور لحظه‌ای افت می‌کند و پس از آن افزایش می‌یابد. این نقطه گسیختگی را در ماده بیان می‌کند. انرژی مصرفی برای شکست نمونه‌ها نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید. مقدار انرژی لازم برای شکست



### چگرمگی<sup>۱</sup>

چگرمگی مقدار کاری است که بر حجم واحد جسم وارد می شود تا شکستگی حاصل شود. با توجه به اینکه سطح زیر منحنی معرف کار وارد شده برای شکست نمونه‌هاست، از این رو با توجه به تخمین حجم پلت‌ها از طریق فرمول محاسباتی گفته شده در بخش‌های قبلی، می‌توان چگرمگی پلت‌ها را محاسبه کرد (رابطه ۷).

$$P = \frac{E_a}{V} \quad (7)$$

که در آن،

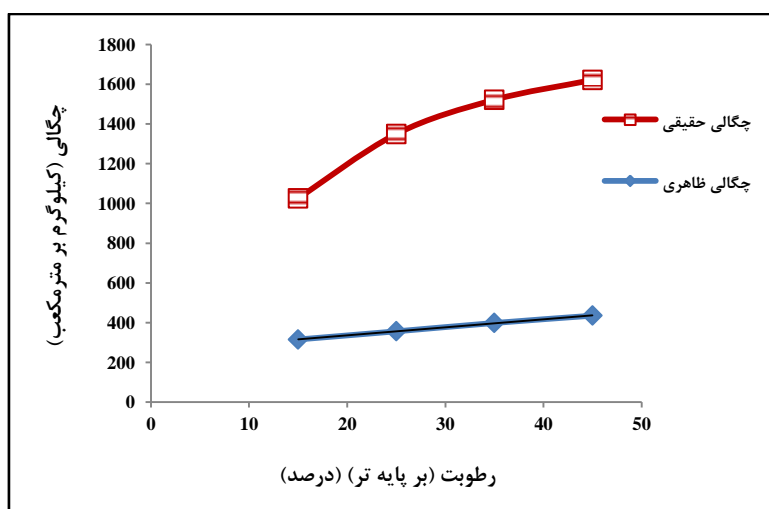
$E_a$  = انرژی جذب شده توسط نمونه‌ها (ژول)؛  $P$  = چگرمگی (ژول بر متر مکعب)؛ و  $V$  = حجم نمونه (متر مکعب).

برای محاسبات آماری و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SAS 9 استفاده شد.

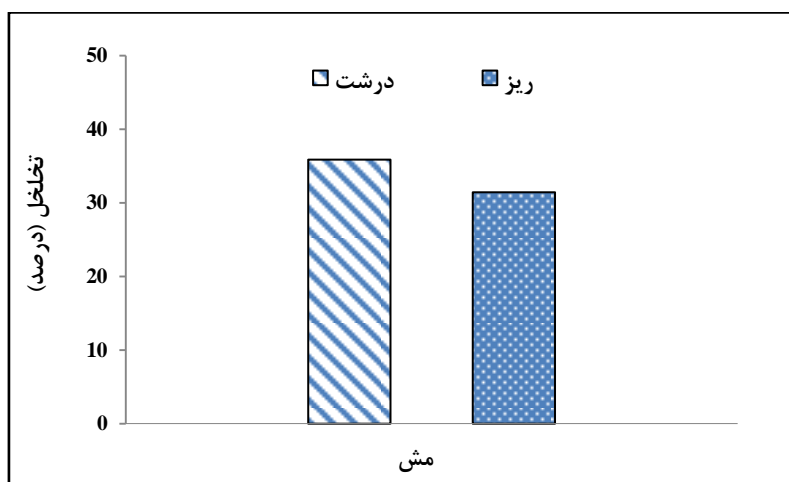
### نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها برای تعیین چگالی ظاهری و حقیقی کود کمپوست در شکل ۶ نشان داده

شده است. بر پایه این نتایج، مشخص شد که جرم مخصوص حقیقی ذرات کود با پرس کردن می‌تواند سه تا چهار برابر جرم مخصوص ظاهری کود باشد. یادآوری می‌شود که جرم مخصوص حقیقی در حالت خشک و در مقدار رطوبت ۷ تا ۱۰ درصد به‌دست آمده است که می‌توان رطوبت را اضافه کرد و جرم مخصوص حقیقی و ظاهری را در سایر درصدهای رطوبتی کود به‌دست آورد. همچنین تغییرات تخلخل کود پودری بر اساس مش در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس این شکل هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد، میزان تخلخل کمتر می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار تخلخل کود پودری با اندازه مش ۱۰ (۲ میلی‌متر) حدود ۳۶ درصد است که با کاهش اندازه ذرات، این مقدار تا حدود ۳۱ درصد کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده از تأثیر رطوبت بر چگالی و تخلخل با نتایج تحقیقات مک مولن و همکاران (McMullen et al., 2004) روی پلت کود مرغ، عالمی (Alami, 2008) روی پلت کود گاوی و مودتی (Mavaddati, 2009) روی کود کمپوست همخوانی دارد.



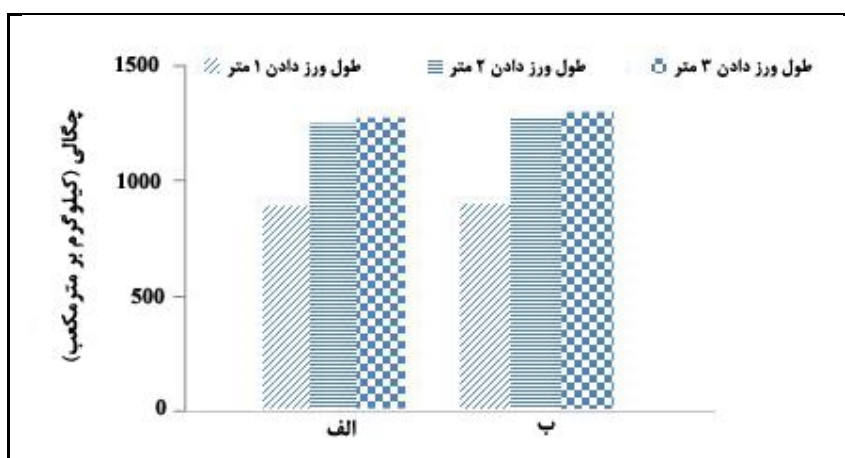
شکل ۶- مقایسه چگالی ظاهری و حقیقی کود کمپوست بر حسب مقدار رطوبت در مش یک میلی‌متر



شکل ۷- تغییرات تخلخل در کود بودری

بهتر به هم نزدیک و در هم قفل شوند، که این امر به افزایش چگالی پلت‌ها می‌انجامد. با افزایش این طول از دو متر به سه متر، افزایش چگالی چندان چشم‌گیر نخواهد شد. به دلیل شباهت نتایج به دست آمده، از آوردن همه نمودار خود داری شده است. گفتنی است که نتایج به دست آمده در مورد اثر طول ورز دادن بر چگالی پلت‌ها با نتایج حاصل از تحقیق کشوری و همکاران (Keshvari et al., 2010) همخوانی دارد که تأثیر افزایش طول ماردون دستگاه اکسترودر را در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر بر چگالی و دوام پلت‌ها ارزیابی کرده‌اند.

در این قسمت اثر طول ورز دادن بر چگالی پلت‌ها بررسی شده است. همان‌طور که نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد، طول ورز دادن اثر قابل توجهی بر چگالی پلت‌ها در هر سطح اندازه ذرات ۱ و ۲ میلی‌متر دارد به طوری که با افزایش طول ورز دادن از ۱ متر به ۲ متر چگالی پلت‌ها به شدت افزایش می‌یابد. این افزایش به این دلیل است که با افزایش طول مارپیچ (یعنی بارل اکسترودر)، خمیر کمپوست اختلاط بهتری پیدا می‌کند که این امر خود باعث یکنواخت‌تر شدن بافت خمیر کمپوست می‌شود. یکنواخت‌تر شدن خمیر موجب می‌شود تا ذرات کمپوست



شکل ۸- اثر طول ورز دادن بر چگالی پلت‌ها در:

الف) رطوبت ۲۵ درصد و مش ریز و ب) رطوبت ۳۵ درصد و مش درشت

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس میانگین مربعات تأثیر طول ورز دادن و اندازه ذرات کمپوست و مقدار رطوبت بر مقادیر نیروی شکست، انرژی شکست و چگرمگی پلت‌ها در سطح چگرمگی پلت‌های تولید شده در جدول ۳ آمده است. احتمال ۱ و ۵ درصد تأثیر معنی‌داری دارند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر فاکتورهای مورد آزمایش بر مقادیر نیروی شکست، انرژی شکست و چگرمگی پلت‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		نیروی شکست	انرژی شکست
اندازه ذرات	۱	۱۲۳۸۸۴/۷۲۸۴**	۱۲۴۱۳۹/۳۴**
مقدار رطوبت	۲	۱۸۷۱۶/۵۴۳۵**	۲۲۵۹۹/۷۵**
طول ورز دادن	۲	۹۱۷۰/۱۳۰۸۰**	۱۰۴۵۶/۳۳**
طول ورزدادن × اندازه ذرات	۲	۱۱۵۲۱/۵۱۴۸ <sup>ns</sup>	۱۲۰۸۹/۱۲**
طول ورزدادن × مقدار رطوبتی	۴	۲۲۹۴۴/۴۴۰۲**	۲۳۰۴۴۷/۲۵**
مقدار رطوبت × اندازه ذرات	۲	۸۷۸۳/۵۸۵۵*	۹۶۸۰ <sup>ns</sup>
طول ورزدادن × اندازه ذرات × مقدار رطوبت	۴	۲۶۳۱۴/۳۲۵۷**	۲۵۴۸۷/۲۵**
خطا	۳۶	۵۰۵۸/۰۲۶۲	۷۰۸۶/۸۳۰۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۸۴۲۷۹	۲۰/۰۲۱۴

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اثر معنی‌دار

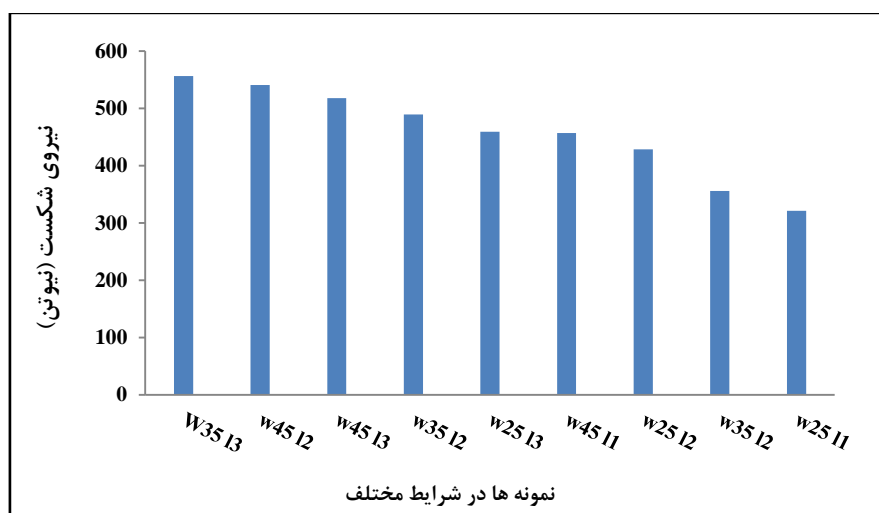
به صورت زنجیره‌ای بوده سپس حالت کاپیلاری روی خواهد داد. بدیهی است که نیروی بین مولکولی که ذرات را در این حالت (کاپیلاری) کنار هم قرار می‌دهد به مراتب بیشتر از سایر حالات است.

در شکل ۱۰، اثر متقابل تأثیرگذارترین فاکتورها بر انرژی شکست آورده شده است. برای سهولت در رسم نمودارها، فاکتور اندازه ذرات به صورت (مش درشت = B و مش ریز = S)، فاکتور طول ورز دادن به صورت (یک متر = L<sub>1</sub>، دو متر = L<sub>2</sub> و سه متر = L<sub>3</sub>) و فاکتور رطوبت به صورت (۲۵، ۳۵ و ۴۵) نام‌گذاری شده است. مشخص است که اثر متقابل تیمار مش ریز، رطوبت ۴۵ درصد و طول ورز دادن سه متر بیشترین انرژی شکست را به خود اختصاص داده است. دما در اکسترودر ثابت باقی نمی‌ماند و به تدریج با افزایش طول پیچ، افزایش

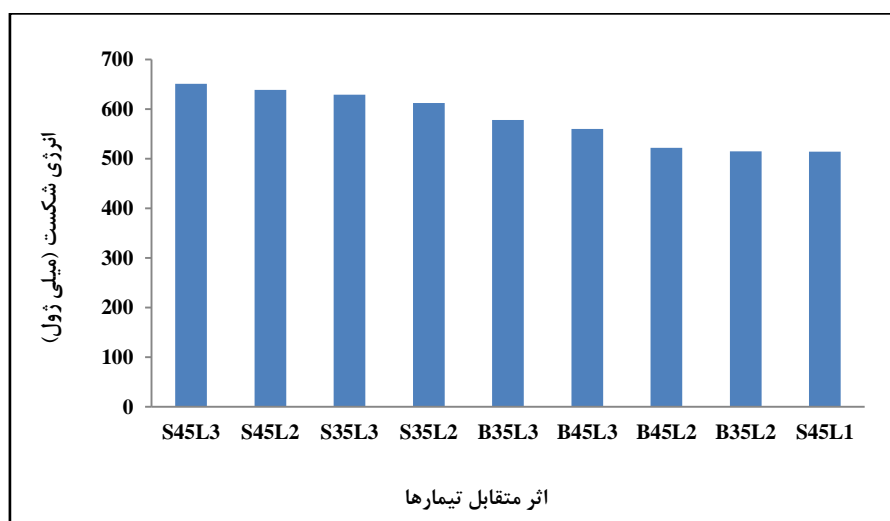
در شکل ۹، اثر متقابل طول ورزدادن در دستگاه اکسترودر و مقدار رطوبت مواد پلت‌شونده بر نیروی شکست پلت‌ها آورده شده است. برای سهولت در رسم نمودارها، فاکتور طول ورزدادن به صورت (یک متر = L<sub>1</sub>، دو متر = L<sub>2</sub> و سه متر = L<sub>3</sub>) و فاکتور رطوبت به صورت (w25، w35 و w45) نام‌گذاری شده است. اثر متقابل تیمار رطوبت ۳۵ درصد و طول ورز دادن سه متر بیشترین نیروی شکست را در پی دارد زیرا با ورز دادن سعی می‌شود آب در سطح جسم جذب شود (حالت کاپیلاری) که این حالت بیشترین مقاومت برشی را داراست، به عبارت دیگر، هدف از ورزدادن مخلوط کردن آب با کمپوست و قرار دادن ذرات آب روی ذرات پودرمانند کمپوست به شکل آونگی است. با اضافه کردن آب بیشتر به کمپوست مورد آزمایش، اتصال بین ذرات کمپوست و مولکول‌های آب

پروتئین‌ها و لیگنین می‌شود که اتصال ذرات به همدیگر را بهبود می‌بخشد. به همین دلیل به نظر می‌رسد که افزایش دما و در نتیجه کاهش رطوبت برای نمونه‌های با رطوبت بالاتر (۴۵ درصد) که باعث افت چند درصدی رطوبت محصول خروجی می‌گردد، می‌تواند باعث افزایش انرژی شکست پلت‌ها شود.

پیدا می‌کند. وجود اصطکاک داخلی و خارجی باعث تولید گرما و افزایش اتصال خود به خودی ذرات می‌شود و دما را نیز بالا می‌برد. به غیر از گرمای اصطکاکی ناشی از فشرده‌سازی، می‌توان حرارت را با پیش‌گرمایش زیست‌توده یا با گرم کردن قالب به فرآیند بالا برد. حرارت دادن باعث نرم شدن ترکیبات اصلی زیست‌توده مثل



شکل ۹- اثر متقابل رطوبت و طول ورز دادن بر نیروی شکست پلت‌ها



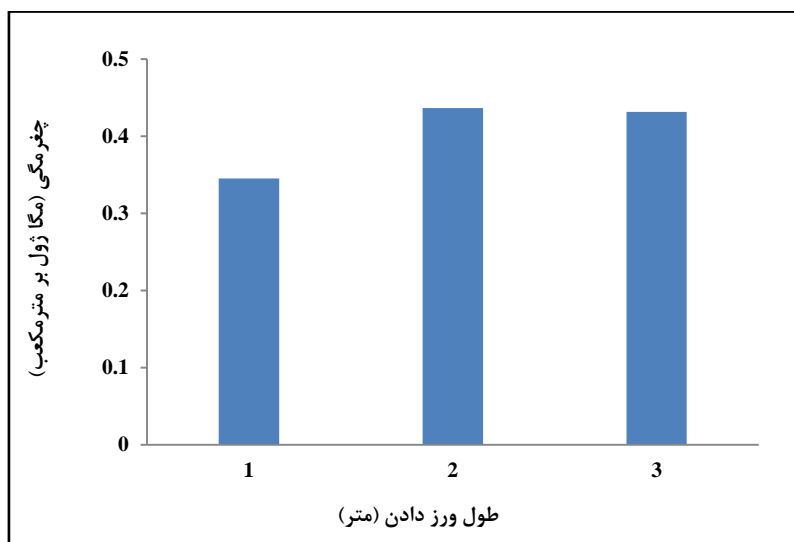
شکل ۱۰- بررسی اثر متقابل سه تیمار طول ورز دادن، رطوبت و اندازه ذرات در سطوح مختلف بر انرژی شکست

طول اکسترودر از یک متر به دو متر چگرمگی به اندازه یک دهم مگا ژول بر متر مکعب افزایش یافته است، در حالی که با افزایش طول از دو متر به سه متر

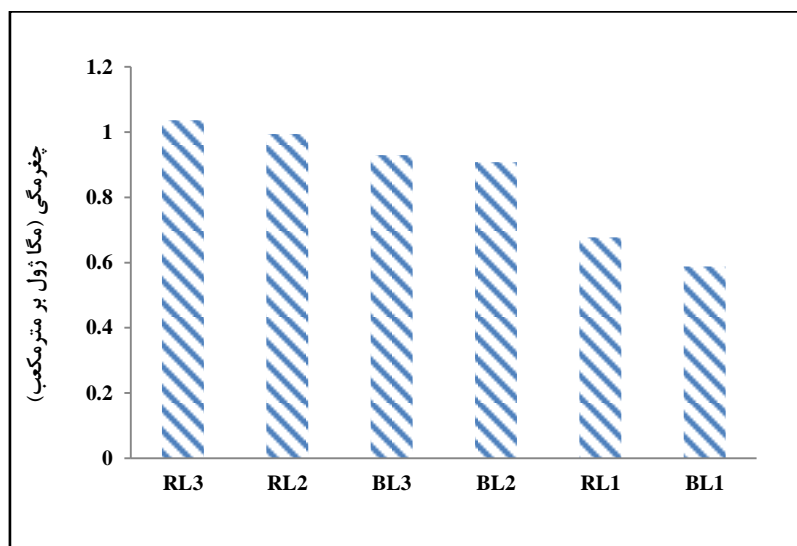
همان‌طور که در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است، افزایش طول ورز دادن باعث افزایش معنی‌دار چگرمگی پلت‌ها شده است به طوری که با افزایش

بررسی اثر طول ورزدادن دستگاه اکسترودر ورزدهنده...

تغییرات محسوسی در افزایش میزان چغرمگی مشاهده نمی‌شود. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در کل با افزایش طول ورز دادن، میزان چغرمگی پلت‌ها افزایش می‌یابد ولی این افزایش در نمونه‌های با ابعاد کوچک‌تر بیشتر است.



شکل ۱۱- بررسی اثر طول ورز دادن بر چغرمگی



شکل ۱۲- اثر متقابل طول ورزدادن و اندازه مش بر چغرمگی پلت کمپوست

- اثر معنی‌دار فاکتور طول ورزدادن در سطح ۱ درصد بر کلیه خواص مکانیکی پلت‌ها نشان می‌دهد که با افزایش طول ورزدادن می‌توان پلت‌هایی با خواص کیفی بهتر تولید

**نتیجه‌گیری**  
موارد زیر را به صورت کلی می‌توان از این تحقیق نتیجه گرفت:

میلی‌ژول) را به خود اختصاص داده است و تیمار S45L1 (اندازه ذرات ۱ میلی‌متر، رطوبت ۴۵ درصد و طول ورز دادن ۱ متر) کمترین مقدار شکست را (۵۱۴/۰۸ میلی‌ژول). دیگر اینکه، بهترین میزان رطوبت برای تولید پلت ۴۵ درصد است. اما با در نظر گرفتن پاره‌ای شرایط (مانند زمان خشک کردن، بازده تولید و خواصی از قبیل صافی سطح پلت)، تولید پلت با رطوبت کمتر بسیار باصرفه‌تر خواهد بود زیرا با تغییر برخی از شرایط اولی، تولید پلت مانند تنظیم سرعت تغذیه می‌توان بسیاری از خواص اندازه‌گیری شده را بهبود بخشید. همچنین مشاهده می‌شود که هرچه اندازه ذرات ریزتر و طول ورز دادن بیشتر باشد عملکرد محصول بهتر خواهد بود و چگالی پلت‌های تولید شده در هر دو سطح اندازه ذرات با افزایش طول ورز دادن به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد.

کرد به طوری که این میزان افزایش در مرحله اول افزایش طول ورز دادن (از ۱ متر به ۲ متر) بسیار بیشتر از مرحله دوم ورز دادن (از ۲ متر به ۳ متر) است. - با بررسی اثر متقابل رطوبت و طول ورز دادن، بیشترین مقدار نیروی شکست (۵۵۶/۳۲ نیوتن) به تیمار طول ورز دادن ۳ متر و رطوبت ۳۵ درصد، و کمترین مقدار آن (۳۲۱/۰۲ نیوتن) به تیمار طول ورز دادن ۱ متر و رطوبت ۲۵ درصد ارتباط دارد. هم‌چنین، با بررسی نتایج اثر طول ورز دادن بر چگرمگی پلت‌ها می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین مقدار چگرمگی به اثر طول ورز دادن ۲ متر مربوط است که مقدار آن برابر است با ۰/۴۳۶۶ مگاژول بر مترمکعب. هم‌چنین، با بررسی اثر متقابل طول ورز دادن، مقدار رطوبت و اندازه ذرات می‌توان پی برد که تیمار S45L3 (اندازه ذرات ۱ میلی‌متر، رطوبت ۴۵ درصد و طول ورز دادن ۳ متر)، بیشترین مقدار انرژی شکست (۶۵۰/۹۶

## مراجع

- Aghadgani, F. 2013. Design, construction and evaluation of rotating separation device for sizing of powdery biomass materials. M. Sc. Thesis. Collage of Abouraihan. University of Tehran. Pakdasht. Iran. (in Persian)
- Alami, H. 2008. Determining the mechanical properties of pellets made from manure and chemical fertilizers. Ph. D. Thesis. Department of Mechanics of Agriculture Machinery. Islamic Azad University. (in Persian)
- Anon. 1998. S269.4 cubes, pellets and crumbles-definitions and methods for determining density, durability and moisture content ASAE DEC96. ASAE Standards. Standard S358.2. Moisture Measurement-forages. ASAE, St. Joseph, MI.
- Bøckman, O. Ch. and Olf, H. 1998. Fertilizers, agronomy and N<sub>2</sub>O. Nutr. Cycl. Agroecosys. 52(2-3): 165-170.
- Ghaiebi, S. 2009. Determination of the physical and mechanical properties of fruit, apricots core and brain of Persia. M. Sc. Thesis. Collage of Abouraihan. University of Tehran. Pakdasht. Iran. (in Persian)
- Ghasemi, H. 1994. Definitions and theoretical foundations of food security. Planning and Agricultural Economics Research Institute. Iran. (in Persian)
- Googoonani, E. 2012. Design and fabrication of the intelligent composting device. M. Sc. Thesis. Collage of Abouraihan. University of Tehran. Pakdasht. Iran. (in Persian)
- Keeney, S., Giroux, C. and Kleckner, N. 1997. Meiosis-specific DNA double-strand breaks are catalyzed by Spo11, a member of a widely conserved protein family. Cell. 88, 375-384.

- Keshvari, S. N., Kianmehr, M. H., and Arabhosseini, A. 2010. Determination of single screw extruder parameters to produce pellet by municipal waste compost. M.Sc. Thesis College of Abouraihan, University of Tehran. (in Persian)
- Mavaddati, S. 2009. Determination of physical properties of urban waste compost in order to provide pellets. M. Sc. Thesis. College of Abouraihan. University of Tehran. Pakdasht. Iran. (in Persian)
- 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, Canada.
- Munoz-Hernandez, G. J., Domínguez-Domínguez, J. and Alvarado-Mancilla, O. 2006. An easy laboratory method for optimizing the parameters for the mechanical densification process: an evaluation with an extruder. International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Manuscript PM 06 015. Vol. VIII.
- Rezaeifar, J. 2009. Investigation Parameters of Pellets from Cattle Manure for Extruder Design. M. Sc. Thesis. College of Abouraihan. University of Tehran. Pakdasht. Iran. (in Persian)
- Tumuluru, J. Sh. 2014. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. Biosys. Eng. 119, 44-57.
- Zafari A. and Kianmehr, M. H. 2014. Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost. Environ. Tech. 35(4): 478-486.

## **Effect of Length of Kneading Screws on the Properties of the Composted Pellet**

**F. Homayoonfar, M. H. Kianmehr\* and B. Azadegan**

\* Corresponding Author: Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: [kianmehr@ut.ac.ir](mailto:kianmehr@ut.ac.ir)

Received: 19 January 2016, Accepted: 20 December 2016

Composting livestock manure and municipal solid waste is an appropriate method for waste management in order to stabilize organic wastes. The low specific mass of compost causes problems in transportation and storage activities and increases the costs. In this study some parameters affecting the pellets production was investigated. Parameters considered were: particle size (1 and 2 millimeter), pellet moisture content (25, 35 and 45 percent) and kneading length (1, 2 and 3 meter). Results showed that the specific density of pellets produced under both levels of particle size, increased with increasing the Length of kneading at all levels. Interaction effect of moisture content and kneading length on the rate of fractured pellets showed that, the maximum amount of force was (556.32N) which belonged to treatment with (moisture content of 35% and length of kneading of 3 m). Also the interaction effect of particle density and length of kneading showed that maximum toughness value was (1.03 MJ/m<sup>3</sup>) which belonged to particle density of 1mm and kneading length 3 m.

**Keywords:** Compost, Fracture Force, Kneading Length, Pellet