

اثر پارامترهای اکسترودر بر برخی خواص مکانیکی پلت کود کمپوست

فرهاد همایون فر^۱، محمد حسین کیانمهر^{۲*}، اکبر عرب محمدحسینی^۳، مهدی راعی^۴، کورش رضاپور^۵
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران و پژوهشگر، مرکز

تحقیقات سازمان اتکا رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم

۲. استاد، گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳. دانشیار، گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۴. معاون، طرح و برنامه شرکت هلدینگ مزارع نوین ایرانیان

۵. معاون، تولید شرکت هلدینگ مزارع نوین ایرانیان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۴/۲)

چکیده

تبدیل مواد آلی زایداتی و ضایعاتی به کمپوست روش مناسبی جهت تثبیت مواد آلی می‌باشد. یکی از عوامل محدود کننده استفاده مناسب کمپوست وزن مخصوص پایین این ماده می‌باشد که حمل و نقل، ذخیره و کاربرد این مواد را مشکل ساخته و افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارد. تکنولوژی فشرده‌سازی و تولید پلت روشی مناسب برای رفع مشکل کاربرد مواد پودری است. در این تحقیق، اثر اندازه ذرات کود کمپوست در دو سطح ۱ و ۲ میلی‌متر، اثر رطوبت اولیه کمپوست در سه سطح ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد بر پایه تر و اثر طول ورزدادن در دستگاه اکسترودر در سه سطح ۱، ۲ و ۳ متر بر برخی صفات مکانیکی پلت تولیدی شامل انرژی و نیروی شکست و چغرمگی مورد بررسی قرار گرفتند. پلت‌های حاصل با استفاده از دستگاه اکسترودر ورزدهنده تولید شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثر طول ورزدادن بر هر سه صفت نیروی شکست، انرژی شکست و چغرمگی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود و بیشترین مقدار این صفات با طول ورزدادن ۳ متر بدست آمد. در بررسی اثر متقابل رطوبت و طول ورزدادن بر میزان نیروی شکست پلت‌ها، بیشترین مقدار نیروی شکست (۵۵۶/۳۲N) مربوط به تیمار طول ورزدادن ۳ متر و رطوبت ۳۵ درصد بود. همچنین، بیشترین مقدار چغرمگی پلت‌ها (۱/۰۳ MJ m) به تیمار با اندازه ذرات یک میلی‌متر و طول ورزدادن ۳ متر مربوط می‌شد.

واژه‌های کلیدی: اکسترودر ورزدهنده، طول ورزدادن، فشرده‌سازی، پلت، کمپوست

مقدمه

(2007, *et al.*). بنابراین ضرورت تبدیل مواد زیست‌توده به پلت را می‌توان در موارد زیر جست‌وجو کرد: کاهش فضای موردنیاز برای حمل‌ونقل و نگهداری به علت خاصیت تراکم‌پذیری، عدم تولید گرد و غبار و آلودگی محیط، افزایش دقت در هنگام کار با کودپاش و کاهش مصرف کودهای آلی، قابلیت استفاده به همراه ماشین‌های کاشت و عدم نیاز به عملیات مستقل، مناسب برای حمل‌ونقل به مسافت‌های دور، امکان نگهداری پلت‌ها به مدت طولانی، افزودن مواد شیمیایی مؤثر همچون کودهای شیمیایی و ریزمغذی‌ها به پلت، مدیریت توزیع کود (کشاورزی دقیق)، جریان‌پذیری خوب در مقایسه با مواد پودری، امکان کنترل در آزادسازی مواد درون پلت.

فرم فشرده پلت با حداکثر چگالی مواد و به شکل استوانه است. برای تهیه پلت‌هایی با شرایط مناسب، آگاهی از شرایط

فرآیند کمپوست‌سازی در حال حاضر به عنوان یکی از روش‌های مدیریت پسماندها به منظور تثبیت زایدات^۱ و ضایعات آلی مثل کود دامی و ضایعات آلی شهری می‌باشد. مواد تثبیت‌شده در کمپوست، استفاده گسترده‌ای به عنوان اصلاح‌گر و بهبود دهنده ساختمان خاک، تامین‌کننده مواد معدنی مورد نیاز گیاهان و تسهیل رشد مجدد آنها در خاک‌های تحت کاشت مکرر را دارد (Basu, 2010). به منظور استفاده بهینه از این مواد می‌توان آنها را به پلت^۲ تبدیل کرد. تهیه پلت از راهکارهای مفید در جهت استفاده بهینه از کود کمپوست، کاهش هزینه حمل‌ونقل، نگهداری و افزایش صرفه اقتصادی در استفاده از کمپوست حاصل از زایدات کشاورزی و زباله‌های شهری است (Elfstrand

* نویسنده مسئول : Kianmehr@ut.ac.ir

1. Stabilized waste
2. Pellet

رطوبت، سرعت دوران دستگاه، هوادهی و دما پلت‌هایی به شکل کروی تولید شد و در ادامه اهمیت پارامترهای کاربردی برای کود مانند درصد مواد مغذی و خواص پراکندگی مواد مورد آزمایش قرار گرفتند. در این روش، با آن‌که پلت‌ها به راحتی انبار می‌شدند ولی در آزمون دوام، مقاومت کمتری از خود نشان دادند.

Filbakk *et al.*, (2010). اثر محتوای رطوبتی پوست درخت کاج اسکاتلندی بر پارامترهای کیفی پلت‌های تولیدشده از ترکیب چوب و پوست درخت کاج را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پلت‌های تولیدشده (ذرات با اندازه‌ی بزرگ‌تر)، دوام کمتری در مقایسه با پلت‌های تولیدشده از پوست خالص درخت کاج (ذرات با اندازه‌ی کوچک‌تر) داشتند. همچنین افزایش بخار به مواد خام بر بهبود دوام و کاهش گرد و غبار حاصل از پلت‌ها تأثیر معنی‌داری داشت.

Kaliyan and Morey (2009). اثر پارامترهایی چون اندازه‌ی ذرات، فشار اعمالی و مواد چسباننده‌ی طبیعی و مصنوعی را بر روی دوام پلت‌های تولید شده از سوئیت‌گرس را بررسی کردند و استفاده از مواد چسباننده و مواد با اندازه‌ی کوچک‌تر را جهت افزایش دوام پلت‌ها پیشنهاد کردند.

Keshvari *et al.* (2010). پارامترهای اکسترودر تک پیچ جهت تولید پلت کمپوست حاصل از زباله‌ی شهری را تعیین کرد. وی، اثر پارامترهای سرعت دوران پیچ، طول قالب، تعداد سوراخ قالب، طول پیچ اکسترودر، محتوای رطوبتی کود کمپوست در هنگام تولید و اندازه ذرات کود کمپوست بر خصوصیات پلت‌های تولیدی از جمله میزان دوام، استحکام و میزان جذب رطوبت از محیط بررسی کرد. نتایج نشان داد که پارامترهای سرعت پیچ، تعداد سوراخ قالب، طول پیچ، محتوای رطوبتی کود کمپوست و اندازه‌ی ذرات کمپوست بر میزان دوام و استحکام پلت‌ها اثر معنی‌داری داشتند در حالی که اثر طول قالب تنها بر استحکام پلت‌ها معنی‌دار شد. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل سرعت و چهار پارامتر طول قالب، تعداد سوراخ قالب، محتوای رطوبتی کمپوست و اندازه ذرات بر روی خصوصیات دوام و استحکام پلت‌ها معنی‌دار است.

در سال‌های گذشته در زمینه تأثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند پلت‌سازی تحقیقات زیادی انجام گرفته‌است اما تا به حال اثر عامل طول ورز دادن^۳ در اکسترودر ورزدهنده بر خواص پلت‌ها مورد بررسی قرار نگرفته‌است. هدف از اجرای این تحقیق،

عملکردی دستگاه اکسترودر ورزدهنده^۱ کمپوست حاصل از زایدات و زباله‌های شهری ضروری است.

فرآیند فشرده‌سازی (پلت‌کردن)، نتیجه اثر متقابل بین اجزاء مواد پلت‌شونده و نیروهای اعمالی است که به منظور افزایش چگالی توده‌ی مواد، انجام شده تا حجم آنها کاهش یابد و شکل خاصی برای تسهیل جابجایی و یا در پروسه‌های دیگر صنعتی، کشاورزی و دامپروری به خود بگیرد. به منظور محاسبات فرآیند فشرده‌سازی همچون توان و نیروی مورد نیاز جهت پلت‌سازی، دانستن خواص فیزیکی مواد و عوامل موثر در تجهیزات فشاری یا شکل‌گیری ضروری می‌باشد. تراکم‌پذیری (افزایش چگالی) و دوام (ماندگاری) پلت‌هایی که تحت فشار ساخته می‌شوند به عوامل متعددی بستگی دارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: ساختمان شیمیایی و ابعاد ذرات تشکیل دهنده مواد، دما، وزن حجمی اولیه، درصد رطوبت، سرعت پلت‌سازی، مقدار فشار وارده و مدت زمان اعمال آن می‌باشد. بنابراین شناخت خواص اساسی ذرات مواد، از قبیل اندازه‌ها، شکل‌ها، ترکیبات شیمیایی و جرم مخصوص توده و ذره برای بهینه‌سازی فرآیند پلت‌سازی ضروری می‌باشد (Mavaddati, 2009; Rezaeifar, 2009).

به منظور پلت‌سازی، روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شوند. دستگاه دای و رولر^۲ (قالب و غلتک) دوار و اکسترودر از جمله این دستگاه‌ها هستند.

ورز دادن عملی است که در آن با جابجایی و نیروی برشی، آب در سطح مواد پودری با نیروی کشش سطحی قرار می‌گیرد. در این عملیات، ابعاد، پراکنش و شکل مواد تاثیرگذار هستند. همچنین استفاده از حرارت و ایجاد خلا در مخلوط پودر و آب اثر مطلوبی بر عمل ورز دادن دارد. خواص فیزیکی و شیمیایی مواد جامد پودری به رطوبت موجود بستگی دارد. آب موجود ممکن است اثرات قابل توجهی بر دوام، جریان‌پذیری پودر، فشرده‌گی و سرعت انحلال داشته باشد (Morse, 1995). لازم به ذکر است واژه مخلوط کردن در این فرایند کاربردی ندارد. به این دلیل که مخلوط کردن برای دو ماده مختلف به کار می‌رود، در صورتیکه در عمل ورز دادن قرار دادن آب بر رویه بیرونی مواد مدنظر است.

در تحقیقی که توسط Roeper *et al.* (2005) در دانشگاه هامبورگ انجام شد، تکنولوژی ساده‌ای برای تولید پلت کود مرغی ارائه گردید. در این تحقیق با تنظیم پارامترهای درصد

$$M_{w.b.} \% = \frac{w_w}{w_t} \times 100\% \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه:

$$M_{w.b.} = \text{رطوبت کود بر مبنای تر (درصد)};$$

$$w_w = \text{وزن آب موجود در کود؛ (گرم)}$$

$$w_t = \text{وزن کل کود؛ (گرم)}$$

$$w_d = \text{وزن ماده خشک موجود در کود؛ (گرم)}$$

برای اندازه‌گیری جرم آب و نمونه کودهای مورد آزمایش از ترازوی دیجیتال مدل (Kern) ساخت آلمان (KERN and Sohn GmbH, Germany) با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. این ترازو قابلیت اندازه‌گیری تا حداکثر جرم ۶۰۰ گرم را داشت. برای اندازه‌گیری کود و سایر نمونه‌ها که جرم‌شان بیش از ۲۰۰ گرم بود و نیاز به دقت بالا نبود از ترازوی دیجیتال مدل (AND) ساخت آلمان با دقت یک گرم استفاده شد. از آنجایی که رطوبت اولیه کود کمپوست حدوداً ۴۵-۵۰ درصد بر پایه تر بود لذا برای رسیدن به رطوبت‌های مورد نظر (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد) کود کمپوست در هوای آزاد قرار داده شد تا به رطوبت مورد نظر برسد. در صورت از دست دادن بیش از حد رطوبت، با استفاده از روابط موجود، مقداری آب به کمپوست اضافه شد.

تولید پلت

تولید پلت‌های کود کمپوست توسط دستگاه اکسترودر ورزدهنده‌ای که در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ساخته شد، انجام گرفت (شکل ۱). قدرت الکتروموتور مورد استفاده ۱۱ کیلو وات و سرعت دورانی مارپیچ اکسترودر ۱۸۷ دور بر دقیقه بود و برای بهبود عمل ورز دادن مارپیچ دستگاه جز در قسمت ورودی دستگاه به صورت منقطع ساخته شد. منقطع بودن مارپیچ باعث می‌شود کمپوست مدت زمان بیشتری را درون دستگاه مانده و عمل اختلاط و ورز دادن به طور کامل‌تری صورت بپذیرد. همچنین با برخورد مواد به پیچ‌های نصب شده روی بدنه اکسترودر در حین انتقال توسط مارپیچ به قسمت جلوی دستگاه، مواد علاوه بر ورز دادن و مخلوط شدن، تکه‌های بزرگ کمپوست نیز خرد شده و به نوعی عمل آسیاب کردن نیز انجام می‌شود. قطر پولک‌های مورد استفاده ۱۳ سانتی‌متر و ضخامت آن‌ها ۸ میلی‌متر بود (شکل ۲). تولید پلت کود کمپوست در سه سطح رطوبتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد بر پایه تر و طول ورز دادن یک، دو و سه متر و دو سطح اندازه ذرات یک و دو میلی‌متر انجام شد (شکل ۳). از آنجایی که طول ورز دادن دستگاه اکسترودر ورزدهنده یک متر بود برای ورز دادن در دو سطح دو متر و سه متر مواد برای بار دوم و سوم به داخل مخزن تغذیه برگردانده شدند تا طول‌های

بررسی اثر طول ورز دادن کود کمپوست در دستگاه اکسترودر ورزدهنده بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی پلت تولیدی بود.

مواد و روش‌ها

تهیه کمپوست

مواد اولیه جهت تهیه پلت کود کمپوست شامل کود گاوی، ساقه و برگ درختان، چمن و سایر بقایای گیاهی بود. مواد مذکور در رآکتور^۱ ساخته شده توسط (Googoonani et al. 2012) با شرایط کاملاً کنترل شده، پوسیده شده و به کمپوست تبدیل شدند. خصوصیات کمپوست مذکور در جدول (۱) ارائه شده است. کمپوست مورد نظر با استفاده از دستگاه اندازه‌بند کمپوست ساخته شده در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران اندازه‌بندی گردید. غربال‌هایی که بر روی دستگاه ترومل نصب شده بودند دارای سوراخ‌هایی به اندازه یک و دو میلی‌متر بودند، به طوری که مش کوچک‌تر در قسمت ورودی دستگاه و مش بزرگ‌تر در قسمت انتهایی دستگاه نصب شده بودند. کمپوست مورد آزمایش با همان رطوبت طبیعی (تقریباً ۴۵-۵۰ درصد بر پایه تر) غربال گردید.

جدول ۱- خصوصیات کمپوست مورد استفاده در این تحقیق (Googoonani et al. 2013)

کمیت	مقدار	واحد
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	۱۲۵	meq/100 gr
هدایت الکتریکی (EC)	۱/۵۷	زیمنس بر متر (s/m)
اسیدفولیک	۹/۶	%
اسید هیومیک	۲	%
نیترژن برمبنای ماده خشک	۲/۳	%
pH	۷/۴	-
پتاسیم	۱/۶	%
مواد آلی	۰/۳۴	%
فسفر	۰/۵۴	%
سلولز، همی سلولز	۵۸/۰۲	%
لیگنین در نمونه خشک		
کربن آلی	%	۰/۱۵

رطوبت اولیه کود کمپوست

بعد از تعیین اندازه ذرات، برای تعیین محتوای رطوبت اولیه کود سه نمونه ۱۰۰ گرمی از هر مش، طبق استاندارد ASAE S358.2 در داخل آون با دمای $103 \pm 3^\circ \text{C}$ به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. محتوای رطوبت طبق رابطه (۱) بر پایه‌ی تر سنجیده شد (ASAE Standards, 1998 S269.4)

مقاومت فشاری

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه آزمون‌های بارگذاری مواد بیولوژیک، دستگاهی برای انجام آزمایش مناسب بود که توانایی ایجاد سرعت ثابت بارگذاری را داشته باشد. بدین منظور از دستگاه آزمون مکانیکی مواد بیولوژیک ساخته شده توسط Ghayiebi *et al.* (2009) در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان تهران استفاده شد (شکل ۴). این دستگاه قادر است خواص مکانیکی فشاری و کششی محصولات بیولوژیکی را تحت سرعت‌های بارگذاری متفاوت اندازه‌گیری کند. توان مورد نیاز این دستگاه، توسط الکتروگیربکس جریان متناوب تامین می‌شود. موتور آن دارای قدرت ۵/۰ hp بوده و دور آن ۹۰۰ rpm می‌باشد. سرعت خطی فک متحرک از حدود صفر تا ۵۰ میلی‌متر در دقیقه قابل تنظیم است. سرعت بارگذاری در این تحقیق با توجه به مطالعات پیشین ۲۰ میلی‌متر در دقیقه انتخاب گردید.

برای تعیین مقاومت فشاری، یک پلت با طول ۲۰ میلی‌متر و قطر ۸ میلی‌متر به صورت افقی (خوابیده) بین دو صفحه موازی مسطح قرار گرفته و یک بار افزایشی با نرخ ثابت (شرایط کنترل شده) تا لحظه‌ی شکستن یا ترک برداشتن نمونه بر آن اعمال شد. منحنی شکست بدست آمده رسم شده و نقطه‌ی سقوط منحنی تعیین گردید. بیشترین نیرو قبل از گسیختگی نمونه به عنوان نیروی شکست در نظر گرفته شد.



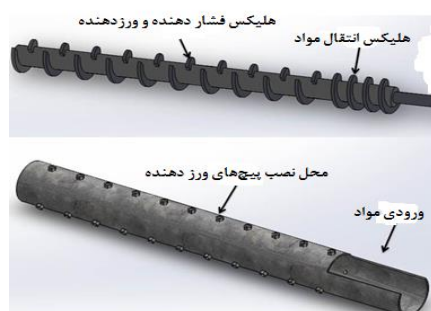
شکل ۴- دستگاه تست مواد بیولوژیک مورد استفاده جهت تعیین خواص مکانیکی محصولات بیولوژیکی (Ghayiebi *et al.*, 2009)

این دستگاه منحنی نیرو-جابجایی محصولات بیولوژیکی را تحت بارگذاری شبه استاتیک مشخص می‌کند و با استفاده از آن می‌توان خواص مکانیکی همچون تغییر شکل، نیروی شکست، چقرمگی و ... را به دست آورد. شماتیکی از دستگاه تست مواد بیولوژیک در شکل ۵ نشان داده شده است.

مورد نظر بدست آیند. تا حد امکان سعی شد تولید پلت‌ها به صورت مداوم و پیوسته انجام گیرد. بعد از تولید پلت توسط دستگاه، پلت‌ها را در دمای محیط خشک کرده و سپس تا اتمام مراحل آزمایش، درون کیسه‌های زیپ‌دار نگهداری شدند.



شکل ۱- نمونه‌ای از پلت‌های تولید شده توسط اکسترودر ورزدهنده



شکل ۲- سیلندر و مارپیچ دستگاه اکسترودر ورزدهنده



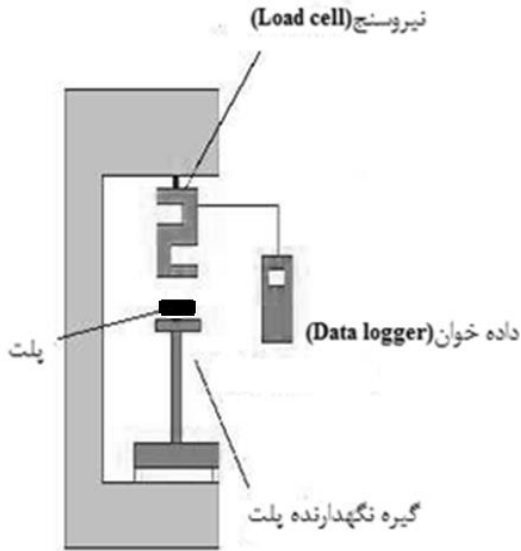
شکل ۳- دسته‌بندی پلت‌های تولید شده بر حسب شرایط مورد نظر

ارزیابی کیفیت مکانیکی پلت‌ها

خواص مکانیکی مورد بررسی پلت‌ها شامل مقاومت فشاری^۱، نیروی شکست^۲، انرژی شکست^۳، چقرمگی^۴ بودند. در ادامه روش اندازه‌گیری هر صفت تشریح می‌گردند.

1. Compression strength
2. Fracture force
3. Fracture energy
4. Toughness

آماري و رسم نمودارها توسط نرم افزارهاي Excel 2010 و SAS 9.0 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.



شکل ۵- شماتیک دستگاه تست مواد بیولوژیک

نتایج و بحث

در قسمت زیر تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین پارامترهای مربوط به نیروی شکست، انرژی شکست و چگرمگی پلت‌ها آورده شده است (جدول ۲).

در جدول ۳ به نتایج مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف با استفاده از آزمون دانکن پرداخته شده است. بیشترین مقدار انرژی شکست، نیروی شکست و چگرمگی مربوط به تیمارهای با طول ورز دادن ۳ متر و رطوبت ۴۵ درصد بودند. علاوه بر این، مقادیر این صفات برای ذرات ریزتر بیشتر بود.

نیرو و انرژی شکست پلت‌ها

نقطه تسلیم بیولوژیک، نقطه‌ای در منحنی نیرو-تغییر شکل است که در آن نیرو به طور لحظه‌ای افت کرده و سپس 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 معادله (رابطه ۲) به دست آمد. از آنجایی که سطح زیر نمودار برابر با انرژی مصرفی می‌باشد، لذا مقدار انرژی لازم برای شکست نمونه‌ها از طریق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$E_a = \frac{F_r \times D_r}{2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این رابطه:

انرژی جذب شده توسط نمونه‌ها (میلی ژول) و E_a

نیروی شکست (نیوتن) و F_r

تغییر شکل در نقطه شکست (متر) و D_r

چگرمگی

چگرمگی عبارت است از مقدار کاری که بر حجم جسم وارد می‌شود تا شکستگی حاصل شود. با توجه به این که سطح زیر منحنی معرف کار انجام شده برای شکست نمونه‌ها می‌باشد، لذا با توجه به تخمین حجم پلت‌ها توسط فرمول محاسباتی گفته شده در بخش‌های قبلی، می‌توان چگرمگی ظاهری برای پلت را به شکل زیر محاسبه کرد.

$$P = \frac{E_a}{V} \quad (\text{رابطه ۳})$$

چگرمگی (میلی ژول بر متر مکعب) P

V ، حجم نمونه (میلی متر مکعب).

لازم به ذکر است که آزمایش‌ها با استفاده از آزمایش

فاکتوریل بر مبنای طرح کامل تصادفی انجام شد و محاسبات

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سه صفت نیروی شکست، انرژی شکست و چگرمگی

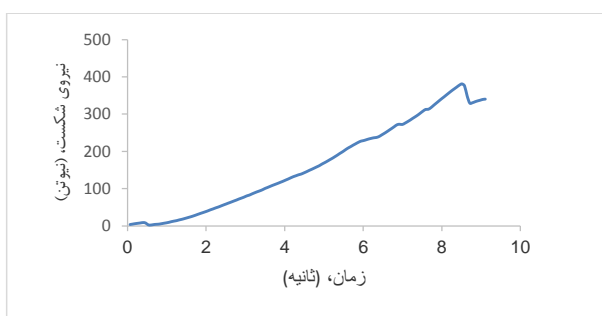
منابع تغییرات	درجه آزادی	نیروی شکست	انرژی شکست	چگرمگی
اندازه ذرات	۱	۱۲۳۸۸۴/۷۲۸۴**	۱۲۴۱۳۹/۳۴**	۰/۶۰۰۲۳۸*
محتوی رطوبتی	۲	۱۸۷۱۶/۵۴۳۵**	۲۲۵۹۹/۷۵**	۰/۰۷۷۰۹۲**
طول ورز دادن	۲	۹۱۷۰/۱۳۰۸۰**	۱۰۴۵۶/۳۳**	۰/۲۱۴۵۰۴**
طول ورز دادن × اندازه ذرات	۲	ns ۱۱۵۲۱/۵۱۴۸	** ۱۲۰۸۹/۱۲	** ۱/۱۸۸۰۲۳۲
طول ورز دادن × محتوی رطوبتی	۴	** ۲۲۹۴۴/۴۴۰۲	** ۲۳۰۴۴۷/۲۵	ns ۰/۰۴۳۳۵۲
محتوی رطوبتی × اندازه ذرات	۲	* ۸۷۸۳/۵۸۵۵	ns ۹۶۸۰	ns ۰/۰۶۰۸۷۲
طول ورز دادن × اندازه ذرات × محتوی رطوبتی	۴	** ۲۶۳۱۴/۳۲۵۷	** ۲۵۴۸۷/۲۵	** ۰/۵۰۶۰۰۲
خطا	۳۶	۵۰۵۸/۰۲۶۲	۷۰۸۶/۸۳۰۴	۰/۰۰۸۷۴۴
ضریب تغییرات (/.)	-	۱۸/۸۴۲۷۹	۲۰/۰۲۳۲	۱۳/۰۴

** معنی دار در سطح ۱٪، * معنی دار در سطح ۵٪ و ns غیر معنی دار

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف متغیرها با استفاده از آزمون دانکن

تیما	نیروی شکست (N)	انرژی شکست (mJ)	چگرمگی (MJ/m ³)
طول ورزدادن (m)	۱	۳۴۵/۲۷b	۰/۶۷۱۶b
	۲	۴۸۲/۱۸a	۰/۸۸۳۰ab
	۳	۵۰۸/۲۷a	۰/۹۹۹۷a
اندازه ذرات (mm)	۱	۳۲۵/۳۴a	۰/۴۶۴۸a
	۲	۲۴۴/۵۴b	۰/۳۰۸۶b
رطوبت (%)	۲۵	۳۷۳/۵۳b	۰/۴۸۵۰b
	۳۵	۳۸۶/۳۳b	۰/۵۰۱۹b
	۴۵	۴۱۴/۵۷a	۰/۶۹۸۵a

نشان داد که بخش اول منحنی نیرو-جابجایی پلت‌ها مانند دیگر مواد بیولوژیک بوده و در اغلب آنها می‌توان در بخش اولیه و در اطراف نقطه‌ی عطف، محدوده‌ای را به صورت خطی در نظر گرفت (شکل ۷).



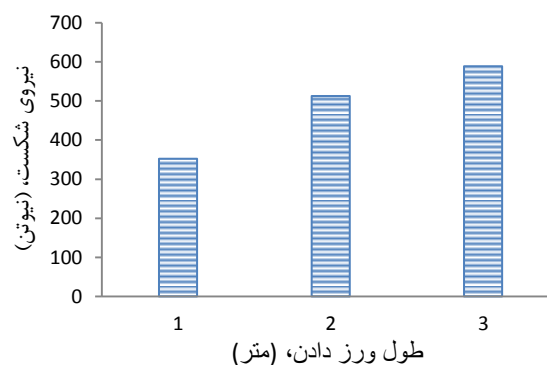
شکل ۷- نمونه‌ای از منحنی نیرو-جابجایی پلت در آزمایش استحکام

تأثیر متقابل طول ورزدادن و محتوای رطوبتی بر نیروی

شکست پلت‌ها

در شکل ۸ اثر متقابل طول ورزدادن در دستگاه اکسترودر و محتوای رطوبتی مواد پلت‌شونده بر نیروی شکست پلت‌ها آورده شده است. برای سهولت در امر ترسیم نمودارها فاکتور طول ورزدادن به صورت (یک متر=L1، دو متر=L2 و سه متر=L3) و فاکتور رطوبت به صورت (W25، W35 و W45) نام‌گذاری شدند. اثر متقابل تیمار رطوبت ۳۵ درصد و طول ورز دادن سه متر بیشترین نیروی شکست را در پی داشت. چرا که با عمل 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 ورز دادن مخلوط کردن آب با کمپوست، و قرار دادن ذرات آب در روی ذرات پودر مانند کمپوست به شکل آونگی است سپس با اضافه کردن آب بیشتر به حالت زنجیره‌ای و سپس کاپیلاری روی خواهد داد بدیهی است که نیروی بین

در شکل ۶ اثر طول ورزدادن بر نیروی شکست پلت کود کمپوست نشان شده است. همان‌طور که دیده می‌شود افزایش طول ورزدادن، اثر مستقیمی بر مقدار نیروی لازم برای شکست پلت‌ها داشت به طوری که با افزایش طول ورزدادن مقدار نیروی لازم نیز افزایش یافت. این افزایش به این دلیل است که، با افزایش طول مارپیچ (به عبارت دیگر همان بارل اکسترودر)، میزان تنش برشی ایجاد شده در درون اکسترودر زیاد می‌شود بنابراین، مواد داخل اکسترودر اختلاط بهتری پیدا می‌کند، که باعث افزایش یکنواختی بافت کمپوست می‌شود. به دلیل این یکنواختی بیشتر، در نتیجه ذرات بهتر به هم نزدیک شده و در هم قفل می‌شوند، که این باعث افزایش ماندگاری پلت‌ها می‌شود. هم چنین می‌توان گفت با افزایش طول پیچ (بارل)، زمان ماندن مواد در درون محفظه‌ی بارل اکسترودر زیاد می‌شود که این خود باعث افزایش میزان اختلاط کمپوست و در نتیجه افزایش میزان نیروی شکست و استحکام پلت‌ها می‌شود.

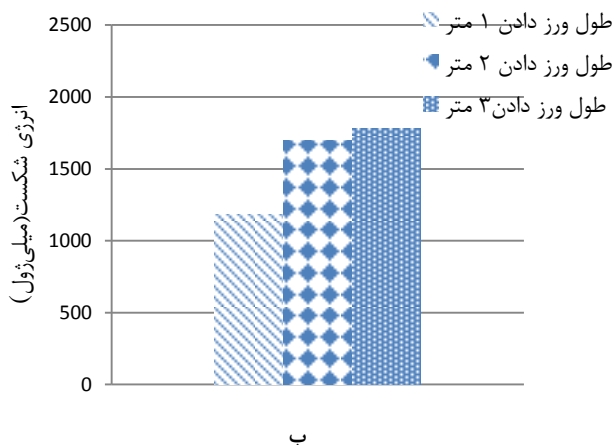


شکل ۶- بررسی اثر طول ورزدادن بر نیروی شکست پلت

نیروی شکست پلت‌ها

در تعیین رفتار پلت کمپوست تحت بارگذاری شبه استاتیک، بیشینه‌ی نیروی شکست پلت‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج اولیه

نشان می‌دهند، و با توجه به اینکه اثر طول ورزدادن بر روی انرژی شکست پلت‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود با افزایش طول ورزدادن از ۱ متر به ۲ متر میزان انرژی شکست پلت‌ها تقریباً ۳۰ درصد افزایش یافت. این افزایش به این دلیل است که، با افزایش طول مارپیچ (بارل اکسترودر)، خمیر کمپوست اختلاط بهتری پیدا می‌کند، که این امر خود باعث افزایش یکنواختی بافت خمیر کمپوست می‌شود. در نتیجه به دلیل یکنواختی بیشتر، ذرات کمپوست بیشتر به یکدیگر نزدیک شده و در هم قفل می‌شوند، که این امر باعث افزایش انرژی شکست می‌شود. در حالی که همان‌طور در جدول ۳ نیز آورده شده است با افزایش طول ورزدادن از ۲ به ۳ متر افزایش انرژی زیاد محسوس نمی‌باشد. اثر طول ورز دادن در رطوبت‌ها و اندازه ذرات نتایج مشابهی به دنبال داشت. در شکل ۹ اثر طول در رطوبت ۴۵ درصد و مش ریز بررسی شده است.

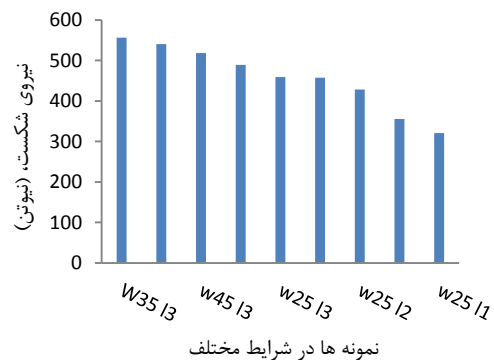


شکل ۹- بررسی اثر طول ورز دادن بر انرژی شکست رطوبت ۴۵ درصد و الف- اندازه ذرات ۱ میلی‌متر ب- اندازه ذرات ۲ میلی‌متر

می‌گردد. با توجه به این که سطح زیر منحنی معرف کار انجام شده برای شکست نمونه‌ها است و علاوه بر آن، همان‌طور که نشان داده شد با افزایش طول ورزدادن مقدار انرژی لازم برای شکست پلت‌ها افزایش یافت لذا با افزایش انرژی شکست در اثر افزایش طول می‌توان گفت که با افزایش طول ورزدادن چگرمگی نیز افزایش یافت (شکل ۱۰).

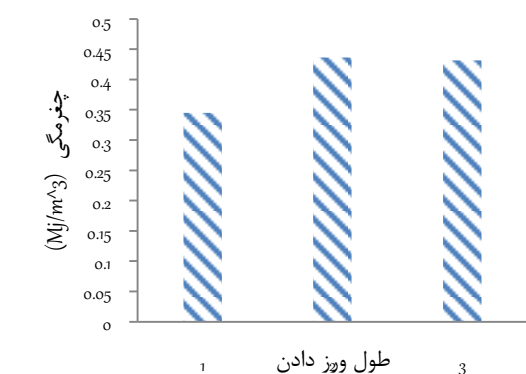
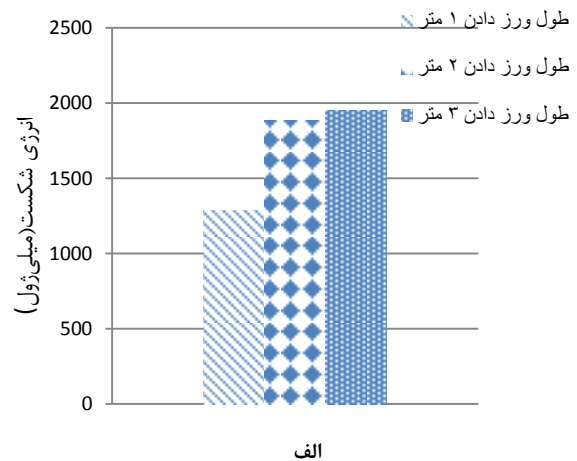
در کل می‌توان گفت که فاکتور طول ورزدادن باعث بهبود خواص مکانیکی پلت‌ها می‌گردد چرا که با افزایش طول ورز دادن عمل فشار و کشش در طول مرحله انتقال مواد به خوبی انجام می‌گیرد و مواد با پیچ‌هایی که در طول بدنه دستگاه اکسترودر نصب شده‌اند علاوه بر برش خوردن و ورز داده شدن خرد نیز می‌گردند. هم‌چنین با افزایش طول دستگاه خروجی پیچ به سرعت زیاد می‌شود و حساسیت خروجی پیچ نسبت به

مولکولی که ذرات را در این حالت (کاپیلاری) کنار هم قرار می‌دهد به مراتب بیشتر از سایر حالات است.



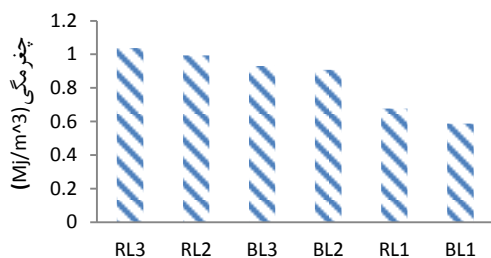
شکل ۸- اثر متقابل رطوبت و طول ورزدادن بر نیروی شکست پلت‌ها

تأثیر طول ورزدادن بر روی انرژی شکست پلت‌ها
در این قسمت اثر طول ورزدادن بر انرژی شکست پلت‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که شکل‌های ۹ الف و ب



شکل ۱۰- بررسی اثر طول ورزدادن بر چگرمگی پلت کود کمپوست

تأثیر طول ورزدادن بر چگرمگی پلت‌ها
همان‌طور که می‌دانیم، چگرمگی عبارت است از مقدار کار انجام گرفته در واحد حجم جسم است که منجر به شکستگی



شکل ۱۱- اثر متقابل طول ورزدادن و اندازه مش بر چگرمگی پلت کود کمپوست

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان به موارد زیر به عنوان نتایج این تحقیق اشاره کرد: بررسی اثر طول ورزدادن مهم‌ترین پارامتری است که در این تحقیق می‌توان به آن اشاره کرد چرا که این فاکتور بر روی بسیاری از خواص پلت‌های مورد آزمایش تأثیر به‌سزایی داشت. اثر افزایشی فاکتور طول ورزدادن بر کلیه خواص مکانیکی پلت‌ها مثبت ارزیابی گردید که این نرخ افزایشی در مرحله اول افزایش طول (از ۱ متر به ۲ متر) بسیار بیشتر از مرحله دوم (از ۲ متر به ۳ متر) بود.

بهترین رطوبت برای تولید پلت در این تحقیق رطوبت ۴۵ درصد به دست آمد اما نتایج اثر متقابل طول ورزدادن و رطوبت، نشان دادند که تیمار با طول ورزدادن ۳ متر و رطوبت ۳۵ درصد بهترین عملکرد را از لحاظ صفات مورد بررسی دارا بود، با در نظر گرفتن شرایطی از قبیل زمان خشک‌کردن، بازده تولید و خواصی از قبیل صافی سطح پلت، تولید پلت با رطوبت کمتر بسیار باصرفه‌تر خواهد بود چراکه با تغییر برخی از شرایط اولیه تولید پلت از قبیل تنظیم نرخ تغذیه می‌توان بسیاری از خواص اندازه‌گیری شده را بهبود بخشید. هم‌چنین مشاهده گردید که هرچه اندازه ذرات ریزتر و طول ورزدادن و رطوبت اولیه کود بیشتر باشد، دوام پلت بهتر خواهد بود.

REFERENCES

Aghadgani, F., M. H. Kianmehr, (2013). Design, construction and evaluation of rotating separation device for sizing of powdery biomass materials. M.Sc thesis. Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi

ASAE Standards. (1998). S269.4 Cubes, Pellets and Crumbles-Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture Content ASAE DEC96. Standard S358.2 Moisture Measurement-forages. ASAE, St. Joseph, MI.

Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Published by

Elfstrand, S., B. Bath and A. Martensson. (2007). Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient

تغییرات فشار با افزایش طول پیچ کاهش می‌یابد. البته، این عمل پایداری را بهبود می‌بخشد و افزایش خروجی پیچ باعث افزایش توان مصرفی پیچ می‌شود (Moni et al., 2006)

به منظور بررسی تفاوت بین سطوح گوناگون تیمارهای مربوط به اثر متقابل طول ورزدادن و اندازه ذرات، آزمون مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (جدول ۴). نتایج آزمون نشان می‌دهد که تیمار BL1 (اندازه ذرات ۲ mm و طول ورزدادن ۱ m) کمترین مقدار صفات مورد بررسی را دارد به طوری که میزان چگرمگی آن ۵۲ درصد کمتر از تیمار RL3 (اندازه ذرات ۱ mm و طول ورزدادن ۳ m) است.

پ

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین تأثیر متقابل اندازه ذرات و طول ورزدادن در سطوح با استفاده از آزمون دانکن

اندازه ذرات × طول ورزدادن	نیروی شکست (N)	انرژی شکست (mJ)	چگرمگی (MJ/m³)
RL3	۴۶۳/۵۹a	۱۰۹۸/۳۴a	۱/۱۴۶۸a
RL2	۴۸۹/۳۰b	۱۰۰۳/۸۹ab	۰/۹۹۸۶b
BL3	۳۸۴/۵۴b	۹۳۱/۳۰b	۰/۹۲۶۴b
BL2	۳۳۶/۶۶bc	۹۰۹/۱۹b	۰/۹۰۴۴b
RL1	۳۱۲/۱۲c	۶۹۵c	۰/۶۹۱۸c
BL1	۲۸۸/۴۲c	۶۳۴/۲۵c	۰/۶۰۱۴c

LI,2,3 طول ورزدادن، B اندازه ذرات ۲ میلی‌متر و R اندازه ذرات یک میلی‌متر

شکل ۱۱ نیز نشان دهنده‌ی این موضوع است که در کل با افزایش طول ورز دادن میزان چگرمگی پلت‌ها افزایش می‌یابد ولی این افزایش همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد در نمونه‌های با ابعاد کوچکتر بیشتر است.

حروف B, R به ترتیب بیانگر مش بزرگ و ریز و حروف L1, L2, L3 طول ورزدادن ۳، ۲ و ۱ متر هستند.

levels in leek. Appl. Soil Ecol., 36: 70–82.

Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-374988-8. Pp 364.

Filbakk, T., R. Jirjis, J. Nurmi and O. Høibø. (2010). The effect of bark content on quality parameters of scot pine (*Pinus Sylvestive L.*) pellets. Biomass and Bioenergy. 1-8

Ghaeibi, 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, In Farsi

Googoonani, E., (2012). Design and fabrication of the intelligent composting device. M.Sc thesis. Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi

Kaliyan, N. and R. V. Morey, (2009). Densification characteristics of corn stover and switchgrass. Transaction of ASABE, Vol. 52(3): 907-920

- Keshvari, S.N., M. H. Kianmehr, Arabhosseini, A. (2010). Determination of single screw extruder parameters to produce pellet by municipal waste compost. M.Sc thesis. Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi
- Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansanj, S., (2006). Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass Bioenergy* 30, 648-654.
- Mavaddati, S., (2009). Determination of physical properties of urban waste compost in order to provide pellets. M.Sc thesis, Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi.
- Mohseni, M., Abounajmi (2011). Determination of physical and chemical properties of compost. M.Sc thesis. Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi
- Morse, D. (1995). Environmental considerations of livestock producers *J. Anon. Sci.*, 73, 2733-2740.
- Rezaeifar, J., (2009). Investigation Parameters of Pellets from Cattle Manure for Extruder Design. M.Sc thesis, Collage of Abouraihan, University of Tehran, In Farsi.
- Roeper, Khan, H. Koerner, S. Stegmann, I. (2005). Low-Tech Options for Chicken Manure Treatment and Application Possibilities in Agriculture. Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.