

تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست بر استحکام گرانول با استفاده از روش سطح پاسخ

یوسف قاسمی^{*۱} - محمد حسین کیانمهر^۲ - مجید محسنی منفرد^۳ - بهزاد آزادگان^۴ - جعفر مساح^۵

*^۱ - نویسنده مسوول: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران (usefghasemi@alumni.ut.ac.ir)

۲ - استاد گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران

۳ - گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران

۴ - دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران

۵ - دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱ تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۳

چکیده

امروزه از کود کمپوست به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی که خساراتی را برای سلامتی انسان‌ها و همچنین برای زمین‌های کشاورزی به بار می‌آورد، یاد می‌شود. مشکلاتی مانند: حمل و نقل (حجم زیاد)، رطوبت زیاد، توزیع کود در مزرعه، گرد و غبار و انبارداری، در ارائه این کود به مزرعه وجود دارد. پلت و گرانول، راه حل فشرده سازی برای حل مشکلات مطرح شده پیشنهاد می‌گردد. تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست بر روی درصد گرانول مفید تولید شده با استفاده از دستگاه استوانه دوار در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای گرانول کردن تأثیر چهار پارامتر، سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پرشدگی استوانه دوار از مواد اولیه و غلظت چسباننده بر مقاومت به شکست گرانول‌های تولیدی مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سه عامل، زمان فرآیند گرانول کردن، درصد پرشدگی و درصد ملاس (نسبت ملاس به آب) بر مقاومت به شکست گرانول‌ها و همچنین اثر متقابل سرعت چرخش استوانه و زمان گرانول کردن بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها اثر معنی دار دارند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد ملاس، زمان گرانول کردن و درصد پرشدگی استوانه مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: سطح پاسخ، درصد پرشدگی، گرانولاتور دوار، گرانول کردن.

مقدمه

کودهای شیمیایی شوند، کودهای کمپوست کامل (کودی که تقریباً تمام ترکیبات را همراه با کود شیمیایی به طور متعادل دارا است) می‌باشد. این نوع کودها برای ارائه به کشاورز، مشکلاتی مانند حمل و نقل (حجم زیاد)، رطوبت، مشکل توزیع کود در مزرعه، گرد و غبار و انبارداری به همراه دارد. راه حلی که برای این مشکل وجود دارد، فشرده سازی کود می‌باشد.

با توجه به خسارات کودهای شیمیایی خصوصاً کود اوره که باعث صدمه زدن به محیط زیست و افزایش نیترات آب‌های زیرزمینی و روند افزایشی بیماری‌های گوارشی در شمال کشور، شده است (شاه نظری، ۱۳۷۴) لزوم جایگزینی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی احساس می‌شود. کودهایی که می‌توانند جایگزین

قاسمی و همکاران: تاثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست...

گلوبا^۵ (۲۰۰۳) تاثیر رطوبت و اندازه قطرات مایع بر روی رشد گرانول در طول گرانول کردن پودر دولومیت با ترکیب اندازه مشخص را مورد بررسی قرار داد. در طی این تحقیق، تاثیر اندازه قطرات مایع و توزیع اندازه ذرات مواد اولیه بر روی روند رشد گرانول در طول در امگرانولاتور، مورد بررسی قرار گرفت. واکر و همکاران در سال ۱۹۹۷ برای گرانول کردن کود کمپوست از استوانه دوار استفاده شد در این روش از ماده چسباننده آمونیوم نترات و آمونیوم فسفات، برای اتصال بین ذرات اولیه کود استفاده کردند.

روش سطح پاسخ^۶ مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که برای آنالیز و مدل‌سازی پاسخ‌های یک فرآیند استفاده می‌شود که در نهایت هدف آن بهینه سازی فرآیند است. این روش در واقع یک روش تکمیلی برای روش‌های طراحی آماری اولیه می‌باشد که فاکتورهای انتخاب شده از مراحل قبل با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. با فرض این که تابع y به سه متغیر x_1 ، x_2 و x_3 وابسته باشد، در این صورت می‌توان نوشت $y=f(x_1, x_2, x_3)$ که x_1 ، x_2 و x_3 متغیرهای مستقل و y پاسخ تابع نامیده می‌شود. سطح پاسخ عبارت است از سطحی که با رسم $y=f(x_1, x_2, x_3)$ به دست می‌آید. یکی از مزایای روش سطح پاسخ کاهش تعداد آزمایش‌ها است. در مواردی که تعداد متغیرهای یک فرآیند زیاد هستند و امکان استفاده از طرح فاکتوری موجود ندارد، می‌توان توسط روش سطح پاسخ بیشتر این اطلاعات از پاسخ‌ها را با کمترین تعداد آزمایش به دست آورد. روش‌های مرکب مرکزی^۷، باکس-بنکن^۸ و دهلرت^۹ سه روش اصلی طراحی سطح پاسخ می‌باشند. باکس بنکن^{۱۰} طراحی‌های تجربی برای روش سطح پاسخ می‌باشند که توسط جورج باکس و دونالد بنکن ابداع شد (باکس و بنکن، ۱۹۶۰).

فشرده سازی و افزایش جرم حجمی با دو روش پلت کردن و گرانول کردن انجام می‌گیرد، ولی به دلایلی مانند: استفاده از ماشین‌آلات موجود برای توزیع کود در مزرعه (ماشین‌آلات موجود برای توزیع کود در مزرعه برای مواد گرانول همانند کود شیمیایی طراحی و ساخته شده است) و استفاده کود کمپوست برای مزارع آبی و دیم ایجاب می‌کند که کود به صورت گرانول باشد. برای ارائه بهتر کود به مزرعه با توزیع اندازه مطلوب گرانول، نیاز به پیدا کردن شرایط بهینه فرآیند گرانول کردن، است (قاسمی و همکاران^۱، ۲۰۱۳).

گرانولاتور دوار در میان دستگاه‌های گرانول ساز، ساده‌ترین نوع گرانول اتور است. اولین ماشین تجاری با استفاده از این تکنولوژی، در سال ۱۹۳۰ میلادی برای کامپوزیت‌های سنگ آهن در آمریکا استفاده شده است. یکدیگر از کاربردهای اولیه این فن‌آورد رصنعت کود است، که اولین بار در سال ۱۹۳۵ با استفاده از این روش، کود سوپرفسفات را تبدیل به گرانول کردند. در سال ۱۹۶۰ گریدلر سیستمی را طراحی کرد که در آن ذرات معلق در استوانه دوار رابه صورت گرانول تبدیل می‌کرد (پیچ^۲، ۱۹۹۱).

گرانول کردن، پروسه‌ای برای ساخت اندازه مورد نظر از پودر اولیه و تقریباً کروی می‌باشد که به دو روش گرانول کردن خشک یا مرطوب وجود دارد (سلمان و همکاران^۳، ۲۰۰۷). در گرانول کردن به روش مرطوب یک بستری از مواد اولیه به حرکت در می‌آید که هم‌زمان عمل مخلوط و فشردن را در کنار فاز مایع انجام می‌دهد. این حرکت باعث برخورد ذرات و اتصال آن‌ها به یکدیگر می‌شود و ایجاد هسته می‌کنند و توسط لایه بندی ذرات روی هسته باعث رشد و تشکیل گرانول می‌شود (واکر^۴، ۲۰۰۷).

5- Gluba
6- Response-Surface Methods
7- Central Composite
8- Box- Behnken
9- Dohlert
10 - Box and Behnken

1- Ghasemi *et al.*
2- Pietsch
3- Salman *et al.*
4- Walker

که متغیر X_1 در یک محدوده خاص، متغیر X_2 دقیقاً برابر عدد مشخص و متغیر X_3 در بیشینه خود باشد. هدف از انجام این تحقیق تعیین پارامترهای موثر بر مقاومت به شکست گرانول کردن است. ملاک‌هایی که برای گرانول کردن نیاز است عبارتند از: ساختار ساده دستگاه گرانول ساز، هزینه پایین تولید گرانول، تولید بالا در واحد زمان، کارهای مشابه قبلی در زمینه گرانول کردن کود آلی و عدم تغییر در ساختار شیمیایی کود که روش گرانول کردن با استوانه دوار^۲ انتخاب گردید که جزء گرانول‌کردن مرطوب می‌باشد. پارامترهای که بر مقاومت بر شکست گرانول‌های تولیدی در روش استوانه دوار تأثیر می‌گذارد؛ سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پرشدگی استوانه دوار از مواد اولیه و غلظت چسباننده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کود کمپوست کامل از یکی از شرکت‌های تولید کننده در تهران تهیه گردید و ترکیب اجزای آن شامل: ۷۰ درصد بقایای گیاهی، کود گاوی و کود مرغی، ۲۵ درصد کود ورمی کمپوست، ۴ درصد اسیدهای آمینه، فولیک و هیومیک و کودهای شیمیایی کامل کننده کود و یک درصد محلول که جداگانه به کود اسپری می‌گردد، می‌باشد. برای انتخاب نوع چسباننده ملاک‌هایی مانند در دسترس بودن و فراوانی چسباننده، هزینه پایین تهیه چسباننده، ارگانیک بودن، سازگاری چسباننده با محیط زیست و عدم آلودگی کود به مواد چسباننده مضر در نظر گرفته شد. مهم‌ترین ویژگی که یک چسباننده باید داشته است، ایجاد پیوند قوی بین ذرات کود و تشکیل شدن گرانول از ذرات کود می‌باشد. به همین دلیل ملاس چغندر قند به عنوان چسباننده برای گرانول کردن انتخاب گردید که هم به عنوان یک پسماند کارخانه‌جات قند و شکر می‌باشد و هم باعث ایجاد پل جامد^۳ بین ذرات عمل می‌کند

تعداد کل آزمایش‌های مورد نیاز در یک طرح باکس بنکن جهت تحلیل یک فرآیند برابر است با:

$$n = zk(k-1) + z_0 \quad (1)$$

که در آن k برابر است با تعداد متغیرهای مستقل، و C_0 تعداد تکرار در نقطه مرکزی است. معمولاً در روش باکس بنکن متغیر پاسخ (y) توسط معادله زیر مدل می‌شود.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

که در آن $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{ij}, \beta_{ii}$ به ترتیب پارامترهای متغیرها، تعداد متغیرها، ثابت مدل، ضرایب متغیرها، ضریب پارامتر در جهد و ضریب تقابل پارامترها است (میرز و مونتگومری^۱، ۱۹۹۵).

در تحلیل یک فرآیند غالباً با یک مشخصه کیفی مواجه نیستیم و معمولاً به دنبال بهینه‌سازی چند هدف می‌باشیم. اهداف نیز غالباً با یکدیگر در تناقض هستند و رابطه عکس دارند. یکی از روش‌های حل مسائل چند هدف تلفیق سطوح پاسخ‌ها یا همان روش گرافیکی است. میرز و مونتگومری روشی چند پاسخی معرفی کردند و آن را رضایتمندی نامیدند. این روش تابع هدفی می‌سازد که تابع رضایتمندی، D ، نام دارد و ب‌یان کننده محدوده رضایتمندی برای هر پاسخ است (d_i). محدوده رضایتمندی از صفر تا یک تغییر می‌کند که عدد یک بیانگر حداکثر رضایت‌مندی است (میرز و مونتگومری، ۱۹۹۵).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

که n نماینده تعداد پاسخ است. اگر هر کدام از پاسخ‌های متغیره‌های مستقل خارج از محدوده رضایتمندی قرار گیرند، تابع صفر می‌شود. در بهینه سازی بر اساس تابع رضایت‌مندی، برای هر متغیر و هر پاسخ می‌توان هدفی تعیین نمود. به طور مثال تیمارهایی مطلوب ما است که در آن پاسخ y_1 در مقدار بیشینه خود و پاسخ y_2 در مقدار کمینه خود باشد، با این شرط

2- Drum granulation

3- Solid bridge

1- Myerse and Montgomery

قاسمی و همکاران: تاثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست...

(نالادوری و موری^۱، ۲۰۱۰).

استفاده از نرم افزار مربوطه داخل کامپیوتر ذخیره می شوند. منحنی شکست به دست آمده رسم شده و نقطه‌ی سقوط منحنی تعیین شد. بیشترین نیرو قبل از گسیختگی نمونه به عنوان مقاومت به شکست گرانول در نظر گرفته شد که برحسب کیلوگرم بیان شده است. این کار برای ۵ گرانول در هر آزمایش انجام شد؛ و متوسط مقاومت به شکست ۵ گرانول گزارش شد.

برای طراحی آزمایش‌ها از روش سطح پاسخ^۴ استفاده گردید. در این روش ۲۹ آزمایش طراحی و انجام شد. تیمارها به روش کاملاً تصادفی باکس بنکن با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design Expert 6.0.8 برای بدست آوردن سطوح پاسخ استفاده شد.

محدوده آزمایش برای سرعت چرخش استوانه ۴۰ الی ۶۰ دور بر دقیقه، زمان گرانول کردن ۱۵ الی ۲۰ دقیقه، درصد پرشدگی ۵ الی ۱۰ درصد از حجم استوانه و میزان چسباننده (ملاس) به آب ۴۰ الی ۶۰ درصد، با استفاده از تست‌های اولیه، به دست آمد (جدول ۱).



شکل ۱- دستگاه استوانه دوار و اجزای باز شده دستگاه استوانه دوار (قنبری و همکاران، ۱۳۸۷).

برای گرانول کردن کود کمپوست کامل به روش گرانول کردن دوار از دستگاه استوانه دوار (شکل ۱) استفاده شد. این دستگاه شامل ۳ استوانه با قطرهای داخلی ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی متر می باشد که بر اساس کارهای قبلی که در این زمینه انجام شد، از استوانه‌ای با قطر خارجی ۳۰۰ میلی متر برای گرانول کردن استفاده گردید. جنس استوانه‌ها از پلی اتیلن بوده و در دهانه ورود محصول به استوانه طلق شفاف قرار داده شده تا مشاهده درون استوانه در حین دوران راحت باشد و برای اسپری کردن مایع چسباننده به مواد داخل استوانه از مرکز طلق به شعاع سه سانتیمتر بریده شد. دیواره داخلی جهت گرانول شدن مواد، از ورق استیل زنگ نزن استفاده شد. (آندرژ و همکاران^۲، ۲۰۰۶).

استحکام گرانول‌ها یکی از مهم‌ترین فاکتورهای برای تعیین خواص گرانول است که باید برای گرانول‌های تولیدی به دست آید. گرانول‌ها باید حداقل استحکام مورد نیاز برای طی کردن پروسه بسته بندی، حمل و نگهداری را دارا باشد. گرانول‌هایی که از استحکام پایینی برخوردار باشند خرد شده و متلاشی می شوند که از ویژگی‌های منفی برای گرانول می باشد. برای انجام این آزمایش از دستگاه پرس پنوماتیکی واقع در کارگاه ماشین‌های کشاورزی پردیس ابوریحان استفاده شد (شکل ۲).

اجزای پرس پنوماتیکی عبارتند از: ۱- فشارسنج ۲- رگلاتور ۳- شیرتنظیم سرعت ۴- شیرکنترل ۵- شیرتنظیم سرعت بازوی خروجی ۶- میز دستگاه ۷- لودسل ۸- پراب ۹- سیلندر پنوماتیکی.

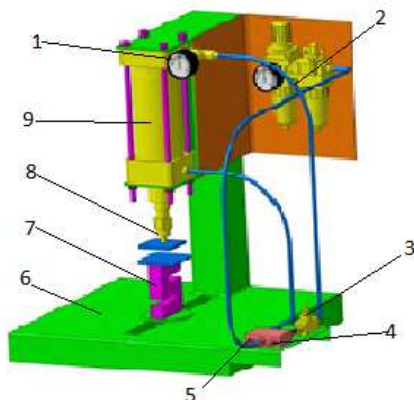
برای تعیین مقاومت فشاری، یک گرانول بین دو صفحه موازی مسطح قرار گرفته و یک بار افزایشی با نرخ ثابت تا لحظه‌ی شکستن یا ترک برداشتن نمونه بر آن اعمال شد. هم‌زمان داده‌ها توسط داده خوان^۳ و با

1- Nalladurai and Morey

2- Andrzej *et al.*

3- Data logger

4- Response-Surface Methods



شکل ۲- نمای شماتیک و اجزای پرس پنوماتیکی.

جدول ۱- متغیرهای مستقل در فرآیند گرانول کردن.

متغیر	نماد	سطوح کد بندی شده متغیر
سرعت استوانه (rpm)	X_1	۱ - ۰ - ۱
زمان گرانول کردن (min)	X_2	۶۰ ۵۰ ۴۰
درصد پرشدگی استوانه	X_3	۲۰ ۱۷/۵ ۱۵
درصد ملاس در آب	X_4	۱۰ ۷/۵ ۵
		۶۰ ۵۰ ۴۰

نتایج و بحث

معادله (۴) رابطه بین مقاومت به شکست گرانول و متغیرهای مستقل را به صورت حقیقی نمایش می‌دهد که توسط روش سطح پاسخ، با استفاده از نرم افزار Design Expert 6.0.8 به دست آمد.

$$F = -10/35034 + 0/88667 X_1 + 0/74107 X_2 - 0/25333 X_3 + 0/09700 X_4 - 7/96000 E - 003 X_1 X_2 + 2/04000 E - 003 X_1 X_3 + 8/100 E - 004 X_1 X_4 - 2/8800 E - 003 X_2 X_3 - 4/3600 E - 003 X_2 X_4 + 5/12000 E - 003 X_3 X_4 \quad (4)$$

که در این رابطه X_1 , X_2 , X_3 و X_4 به ترتیب سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پرشدگی استوانه دوار از مواد اولیه و درصد ملاس می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس جهت بررسی اثر سرعت استوانه دوار، زمان فرآیند گرانول کردن، درصد پرشدگی و درصد ملاس بر مقاومت به شکست

گرانول‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. مقدار بالای R^2 نشان دهنده این است که معادله درجه دوم (۴) به خوبی رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند. نتایج حاصل از آنالیز واریانس در جدول (۲) نشان می‌دهد سه عامل، زمان فرآیند گرانول کردن، درصد پرشدگی و درصد ملاس بر مقاومت به شکست گرانول‌ها و همچنین اثر متقابل سرعت چرخش استوانه و زمان گرانول کردن بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها اثر معنی دار دارد و با توجه به نتایج، بیشترین تاثیر را درصد ملاس استوانه دوار و زمان فرآیند گرانول کردن بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها دارد و همچنین درصد پرشدگی کمترین تاثیر را داراست. در شکل ۳ مقادیر حقیقی مقاومت به شکست گرانول را در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده نمایش می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با ضریب تبیین ۹۷٪ معنی دار است.

۴/۵ کیلوگرم افزایش می‌یابد که این افزایش به اندازه ۲ کیلوگرم برای افزایش ۲۰ درصد غلظت ملاس می‌باشد که بیشترین تاثیر را بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها داراست.

در طی تحقیقی که بر روی اثرات پارامترهای گرانول کردن روی استحکام گرانول انجام شد، مشخص شد که با افزایش غلظت چسباننده، مقاومت به شکست گرانول‌های تولیدی افزایش می‌یابد (واکر و همکاران، ۲۰۰۳). در شکل ۷ اثر متقابل زمان گرانول کردن (دقیقه) و سرعت چرخش استوانه (دور بر دقیقه) بر مقاومت به شکست گرانول را نشان می‌دهد. دو متغیر درصد ملاس و درصد پرشدگی استوانه دوار در کد صفر خود قرار دارند یعنی درصد ملاس ۵۰ درصد و درصد پرشدگی ۷/۵ درصد از حجم استوانه، در طول فرآیند ثابت ماند. همان‌طور که از شکل ۷ الف مشخص است حداقل مقاومت به شکست گرانول‌ها در سرعت چرخش استوانه ۴۰ دور بر دقیقه و در زمان گرانول کردن ۱۵ دقیقه به دست آمد که برابر با ۳/۰۴ کیلوگرم می‌باشد و حداکثر مقاومت به شکست گرانول‌ها در سرعت چرخش استوانه ۴۰ دور بر دقیقه و در زمان گرانول کردن ۲۰ دقیقه به دست آمد که برابر با ۳/۹۵ کیلوگرم می‌باشد. تاثیر زمان گرانول کردن بیشتر از سرعت چرخش استوانه بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها است. همچنین در شکل ۷ ب نشان می‌دهد که در زمان تقریباً ۱۷ دقیقه و ۲۰ ثانیه تاثیر سرعت چرخش استوانه دوار بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها تغییر می‌کند و نشان می‌دهد در سرعت‌های پایین‌تر تاثیر زمان گرانول کردن بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد.

افزایش می‌یابد که این افزایش به اندازه ۰/۵۲ کیلوگرم برای افزایش ۵ دقیقه زمان گرانول کردن، می‌باشد. نتایج محققان نشان می‌دهد که با افزایش زمان گرانول کردن، متوسط اندازه گرانول‌ها افزایش می‌یابد (قاسمی و همکاران، ۲۰۱۳) همچنین واکر و همکاران (۱۹۹۷) تحقیقی بر روی مقاومت به شکست گرانول تولید شده از کود (نیترژن، فسفات و پتاسیم) انجام دادند و دریافتند با افزایش اندازه گرانول‌ها مقدار نیروی مورد نیاز برای شکست گرانول، افزایش می‌یابد.

شکل ۴ تاثیر زمان گرانول کردن (دقیقه) بر مقاومت به شکست گرانول‌ها را نشان می‌دهد که با افزایش زمان گرانول کردن، مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد، همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است با افزایش زمان گرانول کردن از ۱۵ دقیقه به ۲۰ دقیقه، مقاومت به شکست گرانول‌ها از ۳/۲۹ کیلوگرم به ۳/۸۱ کیلوگرم شکل ۵ درصد پرشدگی استوانه (درصد) بر مقاومت به شکست گرانول‌ها را نشان می‌دهد که با افزایش درصد پرشدگی استوانه، مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد در بررسی اثر این پارامتر با افزایش درصد پرشدگی استوانه از ۵ درصد حجم استوانه به ۱۰ درصد از حجم استوانه، مقاومت به شکست گرانول‌ها از ۲/۴ کیلوگرم به ۳/۷ کیلوگرم افزایش می‌یابد که این افزایش به اندازه ۱/۳ کیلوگرم برای افزایش ۵ درصد از حجم استوانه دوار می‌باشد.

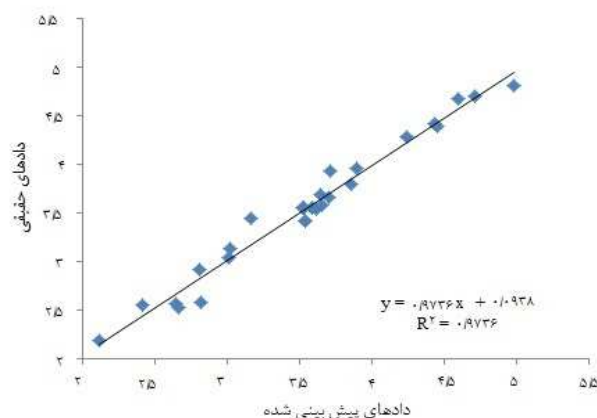
در شکل ۶ اثر درصد ملاس (نسبت ملاس به محلول آب و ملاس) بر مقاومت به شکست گرانول‌ها را نشان می‌دهد که با افزایش درصد ملاس، مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد.

با افزایش درصد ملاس از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد ملاس، مقاومت به شکست گرانول‌ها از ۲/۵ کیلوگرم به

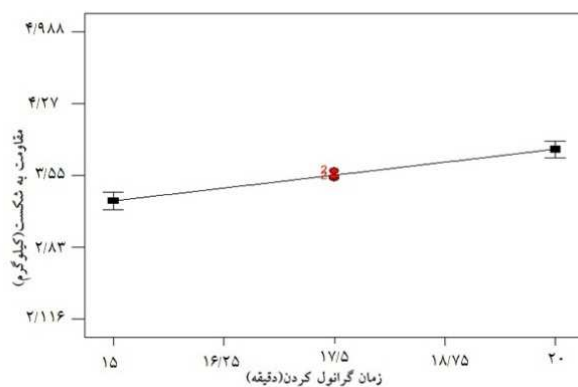
مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۳۷ شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳
 جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس اثر چهار عامل مستقل بر مقاومت به شکست گرانول‌ها.

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob> F
مدل	۱۳/۲۶۹۴	۱۰	۱/۳۲۶۹۴	۶۶/۳۶۰۱۷۰۳۳	**<۰/۰۰۰۱
سرعت استوانه (X ₁)	۰/۰۳۲۰۳۳۳۳۳	۱	۰/۰۳۲۰۳۳۳۳۳	۱/۶۰۱۹۸۴۶۰۸	۰/۲۲۱۸
زمان (X ₂)	۰/۸۰۲۹۰۱۳۳۳	۱	۰/۸۰۲۹۰۱۳۳۳	۴۰/۱۵۳۰۳۵۷۴	**<۰/۰۰۰۱
درصد پرشدگی (X ₃)	۰/۲۲۰۸۶۵۳۳۳	۱	۰/۲۲۰۸۶۵۳۳۳	۱۱/۰۴۵۴۵۸۸۳	**۰/۰۰۳۸
درصد ملاس (X ₄)	۱۱/۹۰۴۱۹۲	۱	۱۱/۹۰۴۱۹۲	۵۹۵/۳۲۷۷۵۳۲	**<۰/۰۰۰۱
X ₁ X ₂	۰/۱۵۸۴۰۴	۱	۰/۱۵۸۴۰۴	۷/۹۲۱۷۷۲۲۱۴	*۰/۰۱۱۵
X ₁ X ₃	۰/۰۱۰۴۰۴	۱	۰/۰۱۰۴۰۴	۰/۵۲۰۳۰۳۲۶۳	۰/۴۸
X ₁ X ₄	۰/۰۲۶۲۴۴	۱	۰/۰۲۶۲۴۴	۱/۳۱۲۴۶۰۴۸۱	۰/۲۶۷
X ₂ X ₃	۰/۰۰۱۲۹۶	۱	۰/۰۰۱۲۹۶	۰/۰۶۴۸۱۲۸۶۳	۰/۸۰۱۹
X ₂ X ₄	۰/۰۴۷۵۲۴	۱	۰/۰۴۷۵۲۴	۲/۳۷۶۶۷۱۶۹۲	۰/۱۴۰۶
X ₃ X ₄	۰/۰۶۵۵۳۶	۱	۰/۰۶۵۵۳۶	۳/۲۷۷۴۵۰۴۶۷	۰/۰۸۷
باقیمانده	۰/۳۵۹۹۲۸۵۵۲	۱۸	۰/۰۱۹۹۹۶۰۳۱		
ضریب تبیین	۰/۹۷۳۵۹۱۶۱۵				
ضریب تغییرات	۳/۹۷۹۲۰۷۷۴۳				

**معنی‌دار در سطح یک درصد، *معنی‌دار در سطح پنج درصد

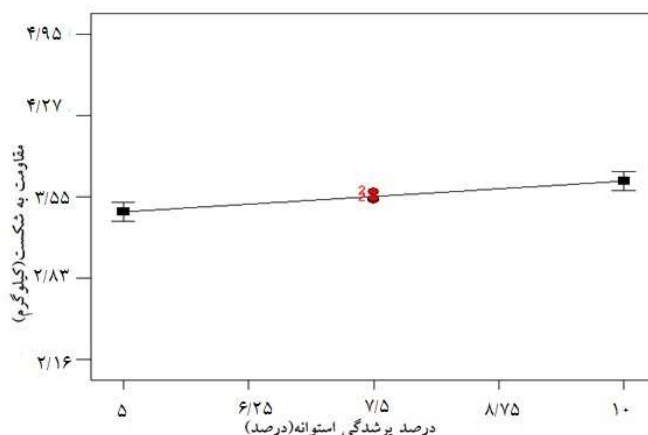


شکل ۳- مقادیر حقیقی مقاومت به شکست گرانول در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده



شکل ۴- اثر زمان گرانول کردن (دقیقه) بر مقاومت به شکست گرانول (سه متغیر دیگر در کد صفر خود قرار دارند).

قاسمی و همکاران: تاثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست...



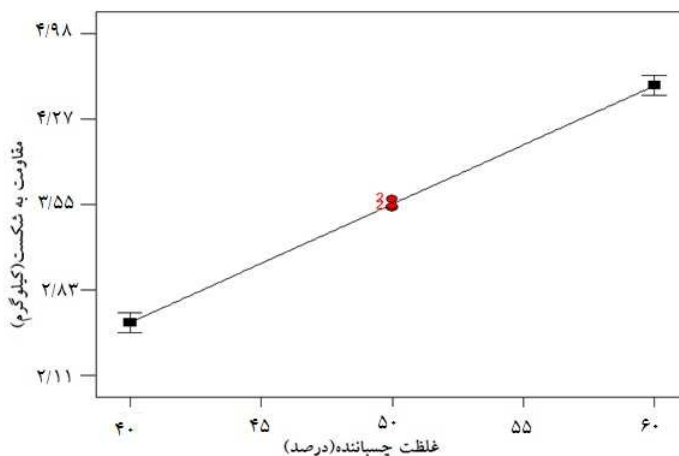
شکل ۵- اثر درصد پرشدگی استوانه (درصد) بر مقاومت به شکست گرانول (سه متغیر دیگر در کد صفر خود قرار دارند).

بهینه سازی

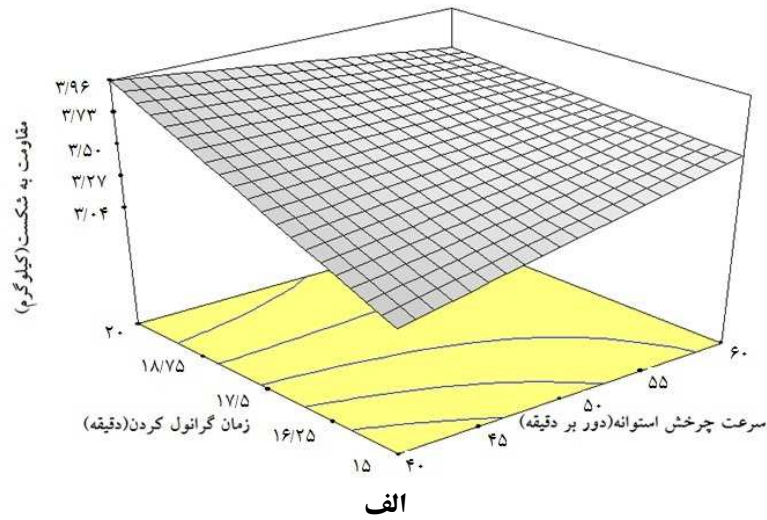
نظر گرفته شد. برای اینکه حداقل مقدار ملاس استفاده شود، مقدار ملاس در حالت کمینه در نظر گرفته شد. پس از تعیین مقادیر مطلوب، تیمارهایی که بتواند ما را به این اهداف برساند توسط روش سطح پاسخ پیشنهاد شد. در جدول (۳) فهرستی از شرایط بهینه دستگاه نمایش داده شده است. در سرعت چرخش ۴۰/۳۸ دور بر دقیقه، زمان گرانول کردن ۱۵ دقیقه، درصد پرشدگی ۱۰ درصد از حجم استوانه و درصد چسباننده ۴۰/۹۷ درصد، مناسب ترین پاسخ در شرایط آزمایشگاهی را می دهد در نتیجه، پاسخ مقاومت به شکست گرانول ۲/۱۱ کیلوگرم پیش بینی می شود که با شاخص رضایت مندی ۰/۹۲۴ به اهداف نزدیک است.

هدف از روش سطح پاسخ یافتن مقادیر مناسب هر یک از متغیرها، به منظور رسیدن به مطلوب ترین پاسخها است. این مقادیر ممکن است بیشینه، کمینه یا در محدوده خاصی قرار گیرد. در این قسمت سعی بر این است که فرآیند گرانول کردن کود کمپوست کامل توسط روش سطح پاسخ بهینه سازی گردد. در مرحله اول اهداف مورد نظر برای هر پاسخ و همچنین برای هر متغیر مشخص شد.

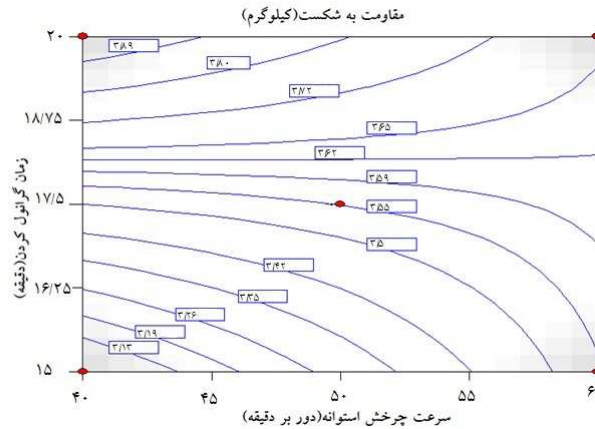
برای کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه، سرعت چرخش استوانه را در مقدار کمینه و همچنین زمان گرانول کردن در مقدار کمینه و همچنین در صد پرشدگی در مقدار بیشینه به عنوان هدف بهینه سازی در



شکل ۶- اثر درصد ملاس بر مقاومت به شکست گرانول (سه متغیر دیگر در کد صفر خود قرار دارند).



الف



ب

شکل ۲- اثر متقابل زمان گرانول کردن (دقیقه) و سرعت چرخش استوانه (دور بر دقیقه) بر مقاومت به شکست گرانول (دو متغیر دیگر در کد صفر خود قرار دارند).

جدول ۳- شرایط بهینه فرآیند گرانول کردن کمپوست کامل و پاسخ‌های متناظر

شماره آزمایش	سرعت چرخش استوانه (دور بر دقیقه)	زمان (دقیقه)	درصد پرشدگی	درصد چسباننده	مقاومت به شکست (kg)	شاخص رضایتمندی
۱	۴۰/۳۸	۱۵	۱۰	۴۰/۹۷	۲/۱۱۶۰	۰/۹۲۴
۲	۴۰	۱۵	۹/۹۷	۴۱/۰۵	۲/۱۱۶	۰/۹۲۴
۳	۴۰/۴۳	۱۵/۰۲	۹/۹۹	۴۰/۹۳	۲/۱۱۶۰	۰/۹۲۲
۴	۴۰	۱۵	۹/۸۳	۴۱/۰۴	۲/۱۱۶۰	۰/۹۱۶
۵	۴۰	۱۵/۱۴	۹/۹۳	۴۰/۹۶	۲/۱۳۶۴	۰/۹۱۳
۶	۴۲/۸۴	۱۵/۰۶	۹/۸۷	۴۰/۴	۲/۱۱۶۰	۰/۹۰۳
۷	۴۰	۱۵/۰۱	۱۰	۴۴/۰۵	۲/۴۶۲۸	۰/۹۰۱
۸	۵۲/۴۴	۱۵/۴۲	۹/۳۶	۴۱/۵۳	۲/۴۹۵۵	۰/۷۵۱
۹	۵۱/۳	۱۵	۱۰	۵۱/۶۴	۳/۶۹۱۲	۰/۷۲۶
۱۰	۵۵/۹۶	۱۵/۵۹	۷/۷۹	۴۱/۳۸	۲/۵۱۳۶	۰/۵۹۶

نتیجه گیری

می‌یابد؛ همچنین با افزایش درصد پرشدگی استوانه، مقاومت گرانول‌ها به شکست بیشتر می‌شود. با افزایش درصد ملاس، مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد و در سرعت‌های پایین‌تر تاثیر زمان گرانول کردن بر روی مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش می‌یابد.

برای گرانول کردن تاثیر چهار پارامتر، سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پر شدگی استوانه دوار از مواد اولیه و غلظت چسباننده بر مقاومت به شکست گرانول‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان گرانول کردن، مقاومت به شکست گرانول‌ها افزایش

منابع

1. شاه نظری، ر. ۱۳۷۴. بررسی وضعیت نیترات آبهای زیر زمینی شالیزارهای گیلان و مازندران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
2. قنبری، ص.، مساح، ج. و خزایی، ج. ۱۳۸۷. بررسی پارامترهای موثر بر حرکت و زاویه استقرار مواد دانه‌ای در استوانه‌های دوار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
3. Andrzej, H., Tadeusz, G., Anderzej, O., Estera, G., and Michal, B. 2006. The effect of wetting parameters on mechanical strength of granulated material. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 40: 237-245.
4. Box, G.E.P., and Behnken, D.W. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 50: 455-475.
5. Ghasemi, Y., Kianmehr, M.H., Mirzabe, A.H., and Aboali, B. 2013. The Effect of rotational speed of the drum on physical properties of granulated compost fertilizer. *Journal of Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49 (2):743-755.
6. Gluba, T. 2003. The effect of wetting liquid droplet size on the growth of agglomerates during wet drum granulation. *Powder Technology*, 130 (1-3): 219-224.
7. Myers, R.H., and Montgomery, D.C. 1995. *Response Surface Methodology*. John Wiley & Sons, New York.
8. Nalladurai, K., and Morey, R.V. 2010. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 101: 1082-1090.
9. Pietsch, W. 1991. *Size Enlargement by Agglomeration*, John Wiley & Sons, New York, 302 p.
10. Salman, A.D., Hounslow, M.J., and Seville, J.P.K. 2007. *Granulation*. Elsevier, Amsterdam, 222 p.
11. Walker, G.M. 2007. *Drum Granulation Processes*. School of Chemistry and Chemical Engineering, Queen's University Belfast, Belfast BT9 5AG, Northern Ireland, UK, 11: 219-254.

12. Walker, G.M., Magee, T.R.A., Holland, C.R., Ahmad, M.N., and Moffatt, N.A. 1997. Compression testing of granular NPK fertilizers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 48: 231–234.
13. Walker, G.M., Moursy, H.E.M.N., Holland, C.R., and Ahmad, M.N. 2003. Effect of process parameters on the crush strength of granular fertilizer. *Powder Technology*, 132: 81–84.