

طراحی، ساخت و تحلیل ماشین کودپاش سانتریفوژ کود دامی  
جلیل تقی زاده طامه<sup>۱</sup>، علی جعفری<sup>۲\*</sup>، حسین موسی زاده<sup>۳</sup>، نازیلا طربی<sup>۱</sup> و فائقه اصائلو<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۳

### چکیده

امروزه استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی موجب تخریب ساختمان خاک و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. یکی از روش‌های بهبود کیفیت خاک و حذف آلاینده‌های ناشی از بکارگیری کود شیمیایی، استفاده از کودهای حیوانی است که مصرف آن نقش موثری در توسعه کشاورزی پایدار دارد. از مشکلات مهم در استفاده از کودهای حیوانی نحوه‌ی پخش آن‌ها در سطح مزرعه است. بدین منظور در این پژوهش به طراحی و ساخت ماشین کودپاش سانتریفوژ کود دامی پرداخته شد. این ماشین به صورت کشیدنی بوده و توان خود را از تراکتور دریافت می‌کند. حجم مخزن این ماشین برابر ۶ متر مکعب طراحی شد و عرض پاشش آن به بیش از ۹ متر می‌رسد. توان مورد نیاز برای کشیدن و محور PTO آن به ترتیب برابر ۸/۱ و ۵۲/۷۷ اسب بخار محاسبه شد که برای تامین این مقدار توان می‌توان از تراکتورهای مرسوم در کشور استفاده کرد. در تحلیل سیستم اکسل ماشین از نرم افزار CATIA v5 استفاده شد. پس از مدل‌سازی اکسل و مشخص کردن جنس قطعات آن، مجموعه بارگذاری شده و به روش المان محدود تحلیل شد. مقدار تنش بیشینه به وجود آمده تحت شرایط بارگذاری، ۱۳۹ مگاپاسکال و ضریب اطمینان برابر ۱/۸ محاسبه شد.

**واژه‌های کلیدی:** کودپاش سانتریفوژ، کود دامی، عرض پاشش، اکسل، روش المان محدود

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهید چمران

\*نویسنده مسئول: ایمیل: jafarya@ut.ac.ir

## مقدمه

کود دامی ساخته شد که نسبت به ماشین‌های قبلی کامل‌تر بوده و قابلیت‌های جدیدی به آن‌ها افزوده شده است. جدول (۱) خلاصه‌ای از تاریخچه ماشین‌های کودپاش از سال ۱۹۰۵ تا به امروز را نشان می‌دهد.

از دیگر انواع پخش‌کننده کود دامی ماشینی است که توسط پوپا و همکاران در سال ۲۰۰۹ طراحی و ساخته شد. حجم مخزن این ماشین برابر ۴/۵ متر مکعب بود و در انتهای مخزن آن ۴ محور مجهز به پره‌های هلیسی برای پخش کود وجود داشت که دارای شیب ۱۵ درجه نسبت به حالت عمود بودند (Popa et al., 2009). لانگ و تین (۱۹۹۴) نیز به توسعه کودپاش دامی بر روی تریلی پرداختند که سرعت حرکت آن بین ۳/۶ تا ۱۴/۴ کیلومتر بر ساعت بود. طول این ماشین حدود ۴ متر و شعاع چرخش آن به ۲/۷ متر می‌رسید که نسبت به نمونه‌های صنعتی کودپاش کوچکتر بوده و در مزارع کوچک از آن استفاده می‌شد (Long and Tien, 1994).

اکثر ماشین‌های کودپاش موجود عمل پخش کود را به صورت ریزشی انجام می‌دهند و به همین دلیل عرض پاشش نسبتاً کمی دارند. همچنین به علت کوچک بودن حجم مخزن نیاز به بارگیری بیشتری داشته و ازدیاد رفت و آمد ماشین در سطح مزرعه را موجب می‌شوند که باعث تخریب ساختمان خاک و افزایش مصرف انرژی می‌شود. بنابراین هدف از این پژوهش طراحی و ساخت ماشینی است که بتواند کار پخش کود دامی را در عرض وسیعی از سطح مزرعه و با استفاده از نیروی گریز از مرکز انجام دهد، به علاوه دارای حجم مخزن بزرگ بوده و همچنین یکنواختی پاشش را در دو راستای طولی و عرضی داشته باشد.

در کشاورزی پایدار برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها از روش‌های غیرشیمیایی مانند تناوب زراعی، کودسبز، مبارزه بیولوژیک، کودهای حیوانی و کمپوست استفاده می‌شود (Hossein-zadeh and Ghorbani, 2011). افزایش مصرف کودهای شیمیایی نه تنها باعث افزایش هزینه می‌شود، بلکه موجب آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (Parris and Reille, 1999). مصرف کودهای حیوانی در فعالیتهای کشاورزی جایگاه خاصی دارد، به نحوی که امروزه نیز می‌تواند نقش مؤثر خود را در کشاورزی پایدار ایفا کند و جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشد (Omidi et al., 2009).

استفاده از کودهای حیوانی موجب ازدیاد فعالیت میکروارگانیسم‌ها، پیشگیری از سله‌بستن خاک، افزایش ذخیره آب و اکسیژن در خاک و بهبود ساختمان آن شده (Graham and Vance, 2000) و افزایش کمی و کیفی محصول را به دنبال خواهد داشت (Sharpley et al., 2004). با توجه به مزایای زیاد کود حیوانی مسئله قابل اهمیت نحوه پخش این کود در سطح مزرعه می‌باشد و در واقع پخش کردن کود یک مرحله مهم از آماده‌سازی زمین برای تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (Duhovnik et al., 2004).

ماشین‌های مختلفی به منظور پخش کردن کود دامی در سطح مزرعه وجود دارد که از ابتدایی‌ترین آن‌ها می‌توان به ماشین ساخته شده در سال ۱۹۰۵ اشاره کرد. با گذشت زمان ماشین‌های متعددی برای پخش

جدول ۱- خلاصه‌ای از روند توسعه ماشین‌های کودپاش کود دامی

Table 1- A summary of history of manure spreaders machine

| ردیف | مخترع                 | منبع تامین توان             | نحوه انتقال کود                                 | شیوه پخش کود                                   | قابلیت‌های جدید             |
|------|-----------------------|-----------------------------|---|--|-----------------------------|
| 1    | (Ross,1905)           | چرخ دستگاه                  | انتقال کود به انتهای دستگاه با استفاده از نقاله | ریزش کود با استفاده از خرد کننده               | -                           |
| 2    | (Whitely, 1911)       | چرخ دستگاه                  | انتقال کود به انتهای دستگاه با استفاده از نقاله | خرد کردن و ریزش کود با دو خردکننده             | خردکن با لبه کنگره‌ای       |
| 3    | (Swanson, 1934)       | موتور                       | انتقال کود به انتهای دستگاه به وسیله تسمه نقاله | استفاده از دو خردکن و ریزش با هلیس             | خردکن هلیسی                 |
| 4    | (Hendricks, 1937)     | محور پی تی او               | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | استفاده از خرد کن و چنگک دورانی برای ریزش کود  | چنگک دورانی                 |
| 5    | (Johnson, 1940)       | چرخ دستگاه                  | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | ریزش از کنار دستگاه به وسیله نقاله             | نقاله ریزش از کنار          |
| 6    | (Schmied, 1946)       | چرخ دستگاه یا محور پی تی او | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | ریزش از انتهای دستگاه به وسیله هلیس            | مکانیزم قابل تنظیم تغذیه    |
| 7    | (Best,1955)           | محور پی تی او یا چرخ دستگاه | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | ریزش از انتهای دستگاه با دو خردکننده           | مکانیزم قابل تنظیم تغذیه    |
| 8    | (Lepp, 1965)          | محور پی تی او               | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | پاشش از انتهای دستگاه با یک خردکن پارویی       | خردکن پارویی                |
| 9    | (فرانک، ۱۹۷۱)         | محور گاردان تریلی           | انتقال کود با بلند کردن مخزن                    | ریزش از انتهای دستگاه با نقاله زاویه‌دار       | زنجیر نقاله‌ای زاویه‌دار    |
| 10   | (Steinberg, 1986)     | محور پی تی او               | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | ریزش از انتهای دستگاه با خردکننده              | درب کشویی هیدرولیکی         |
| 11   | (Meyer, 1996)         | محور پی تی او               | انتقال کود به انتهای دستگاه با هلیس             | ریزش از انتهای دستگاه با پرتاب کننده‌های عمودی | پرتاب کننده‌های عمودی       |
| 12   | (Landon et al., 2011) | محور پی تی او               | انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله            | ریزش کود از انتهای دستگاه با هلیس              | خردکن هلیسی با لبه کنگره‌ای |

## مواد و روش‌ها

### طراحی و ساخت ماشین

شده که در دو طرف ماشین قرار دارند و بر خلاف یکدیگر می‌چرخند. بر روی این صفحات تعدادی پره وجود دارد که جریان کود به این پرها برخورد کرده و با استفاده از نیروی گریز از مرکز صفحات کودپران، عملیات پخش کود در سطح مزرعه انجام می‌شود (شکل ۱). ماشین کودپاش از قسمت‌های متفاوتی از جمله مخزن کود، سیستم اتصال مالبند تراکتور، زنجیرنقاله انتقال، صفحه تقسیم‌کننده، واحد پاشش و سیستم انتقال توان تشکیل شده و برای طراحی آن از نرم‌افزار CATIAv5 استفاده شد.

طراحی ماشین مورد نظر بر اساس بیشترین مقدار عرض پاشش انجام شد. این ماشین از نوع کششی بوده و توان مورد نیاز خود را از تراکتور دریافت می‌کند. مکانیزم ماشین به گونه‌ای است که در ابتدا کود داخل مخزن توسط واحد انتقال، به انتهای مخزن و به قسمت دریچه خروجی رانده شده و از آنجا بر روی صفحه تقسیم‌کننده می‌ریزد. سیستم انتقال کود متشکل از یک واحد زنجیرنقاله می‌باشد که در کف مخزن ماشین قرار دارد. کود پس از عبور از صفحه تقسیم‌کننده به واحد پاشش می‌رسد. این واحد از دو صفحه کودپران تشکیل



شکل ۱- ماشین کودپاش سانتریفوژ کود دامی  
Fig 1- centrifugal manure spreader machine

### صفحه تقسیم کننده

وجود دارد که انتقال کود به واحد پاشش را ممکن می‌سازند (شکل ۲). از عوامل مهم در طراحی این صفحه شیب مناسب و شکل فضای خالی صفحه می‌باشد. برای تعیین شیب صفحه تقسیم‌کننده نیاز به ضریب اصطکاک کود با صفحه فلزی بوده و این مقدار

صفحه تقسیم‌کننده کود همان‌طور که از نام آن مشخص است وظیفه تقسیم کود خروجی از مخزن به دو قسمت مساوی و انتقال آن به واحد پاشش را بر عهده دارد. این صفحه به حالت شیب‌دار از دو طرف بوده و بر روی سطوح آن قسمت‌های بریده شده‌ای

صفحه نیم‌دایره بوده که قطر آن بر اساس میزان شیب و محل قرارگیری صفحات کودپران تعیین می‌شود.

در بازه‌ی ۱/۰۱۲ تا ۱/۷۳۱ در نظر گرفته شد (سادین و همکاران، ۱۳۸۸). قسمت‌های بریده شده در دو طرف



شکل ۲- صفحه تقسیم‌کننده کود

Fig 2- Manure divider plate

حدی باشد که برای عمل پاشش نیاز به دفعات بارگیری بیش از حد دستگاه باشد، زیرا این امر موجب اتلاف زمان و هزینه می‌شود. از نکات مورد اهمیت در طراحی مخزن شیب دیواره مخزن است که بر اساس ضریب اصطکاک بین کود و دیواره و اصطکاک بین ذرات کود تعیین می‌شود تا به این تربیت مانع از چسبیدن کود به دیواره مخزن گردد. برای انتقال کود از مخزن به صفحه تقسیم‌کننده از زنجیرنقاله استفاده شد که در کف مخزن قرار دارد و با حرکت خود کود را به سمت دریچه‌ی خروجی هدایت می‌کند. سرعت دورانی زنجیرنقاله بر اساس میزان پاشش کود در سطح مزرعه و همچنین سرعت حرکت تراکتور تعیین می‌شود.

سیستم انتقال توان

#### واحد پاشش

واحد پاشش شامل دو صفحه کودپران دوار است که زیر صفحه تقسیم‌کننده قرار دارد. این صفحات به صورت دایره‌ای بوده و موازی سطح زمین می‌باشند و حول محور خود حرکت دورانی انجام می‌دهند. با چرخش این صفحات در خلاف جهت یکدیگر پره‌های روی آن‌ها به جریان خروجی کود برخورد کرده و باعث پخش آن در سطح مزرعه می‌شوند. توان چرخشی این صفحات به وسیله محور PTO تراکتور تامین می‌شود.

#### مخزن و زنجیرنقاله

در طراحی مخزن توجه به دو نکته ضروری است، اول اینکه مخزن ماشین نباید به اندازه‌ای بزرگ باشد که فشار وارده بر خاک باعث ایجاد لایه سخت در خاک شود و دوم اینکه مخزن ماشین نباید کوچکتر از

به آن از میل‌گاردان و گیربکس استفاده شد. جهت چرخش صفحات کودپران موازی سطح زمین می‌باشد و انتقال توان به این صفحات را گیربکس‌های حلزونی انجام می‌دهند که بر اساس توان انتقالی و سرعت دورانی طراحی شدند (DIN 780-1) (شکل ۳).

در ابتدا توان از محور PTO به جعبه دنده اصلی منتقل می‌شود که وظیفه این انتقال را شفت مرکزی ماشین بر عهده دارد. درون جعبه دنده توان به سه قسمت تقسیم می‌شود که شامل توان‌های زنجیرنقاله و صفحات کودپران می‌باشد. توان زنجیرنقاله به وسیله ی چرخ ستاره‌ای شکل تامین می‌شود که برای انتقال توان



شکل ۳- سیستم انتقال توان: ۱) گیربکس زنجیرنقاله، ۲) میل‌گاردان، ۳) گیربکس حلزونی صفحه کودپران

Fig 3- Power transmission system: 1) Gearbox of chain conveyor, 2) Cardan, 3) Gearbox of spreader plate

$$h = \frac{\ln(ch_0 t + 1)}{c} \quad (1)$$

$$t = \frac{\ln(\text{Arg} + \sqrt{\text{Arg}^2 - 1})}{2C\sqrt{g/C}} \quad (2)$$

$$\text{Arg} = 2e^{2CZ} - 1 \quad (3)$$

$$C = \frac{0.75C_D \rho_a}{\rho_p d_p} \quad (4)$$

که در آن  $h$  مسافت افقی طی شده توسط ذرات (m)،  
 $\dot{h}_0$  سرعت اولیه ذرات ( $\text{m.s}^{-1}$ )،  $t$  زمان سقوط ذره (s)

#### تحلیل و مدل‌سازی

#### تعیین عرض پاشش ماشین

به منظور تعیین عرض پاشش ماشین، ذرات کود دامی به صورت کروی و با شش جرم ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ گرمی (ASAE S269.4 DEC01) در نظر گرفته شد و مسیر حرکت آن‌ها در بازه سرعت معین توسط نرم‌افزار Excel شبیه‌سازی شد. ذرات کود پس از پرتاب شدن از روی صفحات کودپران تحت تاثیر انرژی جنبشی، نیروی وزن و مقاومت هوا قرار گرفته و مسیری را تا برخورد با سطح زمین طی می‌کنند که این مسافت بر اساس ابعاد صفحات کودپران و سرعت چرخشی آن‌ها، ارتفاع صفحات از سطح زمین، مقاومت و چگالی هوا و همچنین چگالی کود توسط رابطه (۱) محاسبه شد (Srivastava et al., 2005).

استفاده از روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود.

$$P_i = 0.5 \frac{I\omega^2}{t} \quad (8)$$

$$P_s = \frac{1}{2} \dot{m}(V^2 - V_0^2) \quad (9)$$

$\dot{m}$ ، ( $\text{rad.s}^{-1}$ ) که در آن  $\omega$  سرعت زاویه‌ای صفحات سرعت پرتاب ذرات  $V$ ، ( $\text{kg.s}^{-1}$ ) دبی خروجی کود ( $\text{m.s}^{-1}$ ) سرعت اولیه آن‌ها  $V_0$  و ( $\text{m.s}^{-1}$ ) ممان اینرسی صفحات کودپران در  $I$  می‌باشد. همچنین و با استفاده از نرم‌افزار ( $\text{kg.m}^2$ ) راستای پاشش بوده تعیین می‌گردد. CATIAv5

سرعت دورانی زنجیر نقاله براساس نرخ پاشش کود در هکتار و همچنین سرعت حرکت تراکتور محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن این سرعت، نرخ پاشش کود بر اساس نوع خاک و محصول در بازه ۲۰ تا ۶۰ تن در هکتار در نظر گرفته شد (Mansuori rad, 2008). همچنین سرعت حرکت تراکتور در گستره ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت انتخاب و بر اساس این دو فاکتور سرعت دورانی زنجیر نقاله تعیین گردید. توان چرخشی زنجیر نقاله نیز با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$P_{ch} = F_f \cdot V_{ch} \quad (10)$$

$$F_f = \mu_s \cdot A \cdot h \cdot \rho_f \cdot g \quad (11)$$

که در آن  $P_{ch}$  توان زنجیر نقاله (KW)،  $F_f$  نیروی اصطکاک کود (KN)،  $V_{ch}$  سرعت خطی زنجیر نقاله ( $\text{m.s}^{-1}$ )،  $\rho_f$  چگالی کود ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) و  $\mu_s$  ضریب اصطکاک کود با فلز می‌باشد.

$C_D$  ضریب بادبردگی،  $\rho_a$  چگالی هوا ( $\text{kg.m}^{-3}$ )،  $Z$  ارتفاع صفحات کودپران از زمین (m)،  $\rho_b$  چگالی کود ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) و  $d_p$  قطر موثر ذرات (m) می‌باشد.

توان ماشین

برای محاسبه توان کششی ماشین، وزن ماشین به همراه مخزن پر از کود در نظر گرفته شد و چگالی کود بر اساس میزان تازگی و رطوبت در بازه ۱۰۳۳ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد (Sadin et al., 2009). سرعت حرکت تراکتور نیز در بازه ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت فرض شده و بر اساس آن مقدار توان کششی ماشین محاسبه شد (رابطه ۵). برای بدست آوردن مقاومت غلتشی چرخ‌های ماشین از روابط (۶) و (۷) استفاده می‌شود.

$$P_{db} = F_{db} \cdot V \quad (5)$$

$$R_{tot} = w \left( \frac{1.2}{c_n} + 0.04 \right) \quad (6)$$

$$C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{w} \quad (7)$$

که در آن  $P_{db}$  توان مورد نیاز کشش ماشین (KW)،  $F_{db}$  نیروی کشش (KN)،  $V$  سرعت حرکت تراکتور ( $\text{m.s}^{-1}$ )،  $w$  وزن کل ماشین (KN)،  $R_{tot}$  مقاومت غلتشی کل ماشین (KN)،  $C_n$  عدد حرکت‌پذیری چرخ،  $CI$  شاخص مخروطی خاک،  $b$  عرض چرخ (m) و  $d$  قطر چرخ (m) می‌باشد.

توان مورد نیاز واحد پاشش شامل دو قسمت توان لازم برای چرخش آزاد صفحات کودپران و توان لازم برای پرتاب کود و غلبه بر اصطکاک می‌باشد که به ترتیب با



تحلیل و ارزیابی اکسل ماشین

اکسل ماشین وظیفه انتقال وزن ماشین به چرخ‌ها را بر عهده دارد و شامل شفت، لوله، ورق اتصال به شاسی، قطعه متصل کننده چرخ‌ها و توپی چرخ می‌باشد (شکل ۴-الف). در هر طرف ماشین دو چرخ وجود دارد که به واسطه قطعه رابط به یکدیگر متصل شده‌اند. وزن کل مجموعه به وسیله ورق اتصال شاسی به محور چرخ‌ها منتقل می‌شود. به منظور تحلیل سیستم اکسل ماشین در ابتدا مدل‌سازی این سیستم به وسیله نرم‌افزار CATIAv5 صورت پذیرفت (شکل ۴-ب) و مدل المان‌بندی شد. تعداد المان‌ها و گره‌های این مدل به ترتیب برابر ۱۴۲۶۴ و ۴۸۰۳ عدد می‌باشد. جنس قطعات اکسل از فولاد ST37 انتخاب شد (جدول ۲). پس از مدل‌سازی اکسل و اعمال جنس قطعات آن، مدل وارد محیط تحلیل نرم‌افزار

CATIAv5 شد. محل تکیه‌گاه این سیستم در قسمت اتصال توپی چرخ‌ها بوده و بنابراین مدل در این قسمت‌ها مقید شد و وزن کل مجموعه به صورت بردارهای نیرو در محل مورد نظر اعمال شد (شکل ۴-ج). سرانجام سیستم به روش المان محدود مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. مقدار تنش المان‌های اکسل بر اساس معیار فون-میز (رابطه ۱۲) محاسبه شد و ضریب اطمینان مدل از تقسیم تنش تسلیم به تنش بیشینه بدست آمد.

$$\sigma_{v-m} = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (12)$$

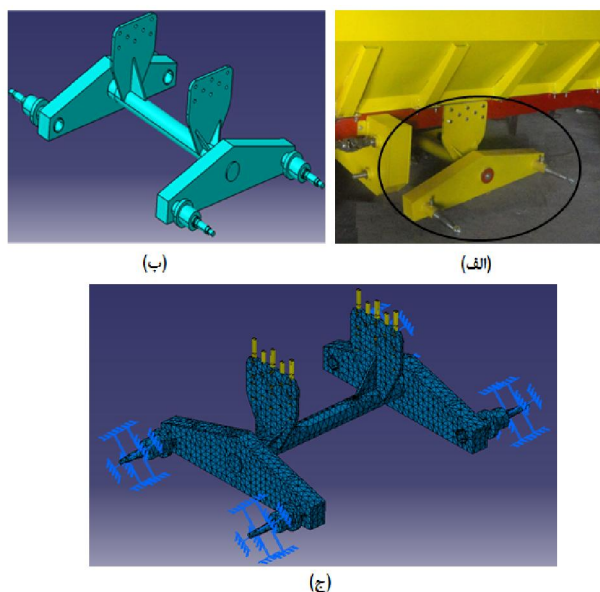
که در آن  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  تنش در راستای محورهای مختصات و  $\sigma_{v-m}$  تنش فون-میز می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات فولاد ST37 بر اساس استاندارد DIN 17100

Table 2- Properties of steel ST37 based on DIN 17100

| مشخصات | مدول الاستیسیته<br>(N.m <sup>-2</sup> ) | نسبت پواسون | چگالی<br>(kg.m <sup>-3</sup> ) | ضریب هدایت حرارتی<br>(1. <sup>-9</sup> k) | تنش تسلیم<br>(N.m <sup>-2</sup> ) |
|--------|---|-------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| مقدار  | 2*10 <sup>11</sup>                      | 0.266       | 7860                           | 1.17*10 <sup>-5</sup>                     | 2.5*10 <sup>8</sup>               |



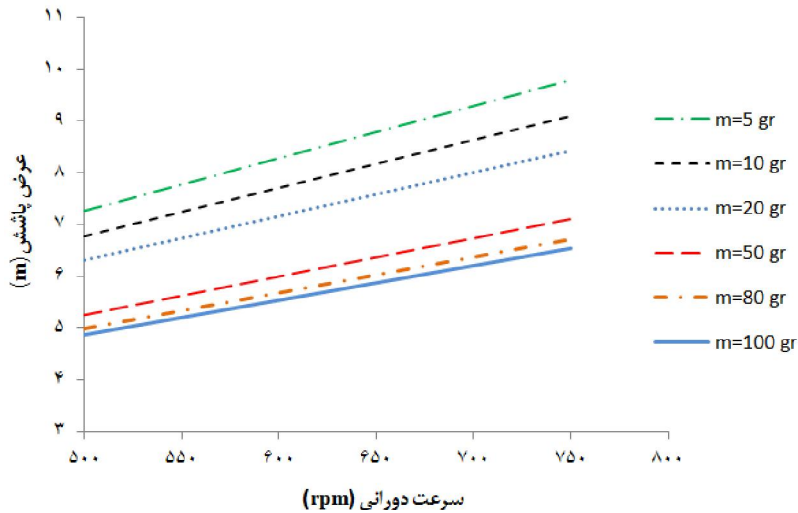


شکل ۴- الف) اکسل ماشین کودپاش، ب) مدل شبیه‌سازی شده، ج) تحلیل اکسل به روش المان محدود  
 Fig 4- a) Machine axle, b) Simulated model, c) Analyzing axle by finite element method

#### نتایج و بحث

شعاع آن‌ها برابر ۳۱۰ میلی‌متر تعیین شد. نمودار عرض پاشش ماشین برای سرعت دورانی متفاوت صفحات کودپران در بازه ۵۰۰ تا ۷۵۰ دور بر دقیقه و ۶ جرم متفاوت کود پیش‌بینی شد (شکل ۵). نتایج نشان داد که در این بازه سرعت، عرض پاشش ماشین به بیش از ۹ متر می‌رسد که در مقایسه با ماشین‌های موجود حدود ۳ تا ۴ متر بیشتر است. مقدار عرض پاشش برای کودپاش ساخته شده توسط پوپا و همکاران برابر ۶ متر (Popa et al., 2009) و برای ماشین ساخته شده توسط لانگ و همکاران برابر ۵ متر بود (Long et al., 1994).

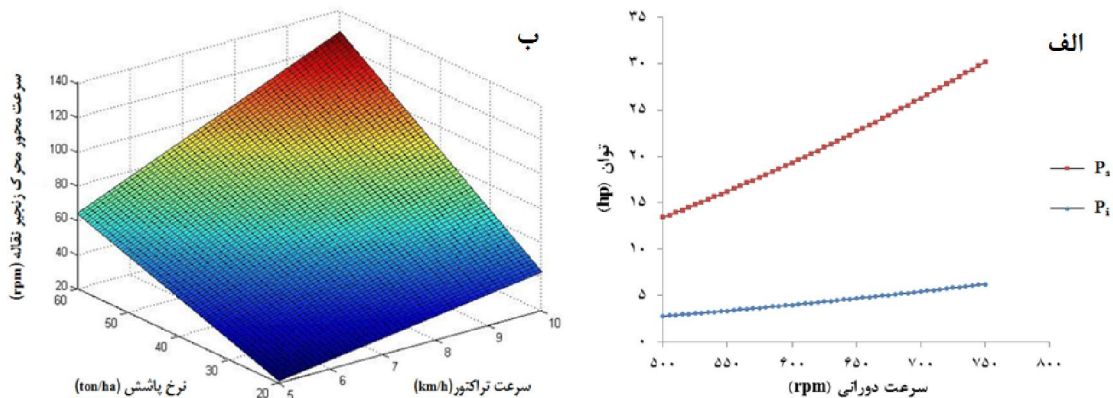
ظرفیت مخزن ماشین بر اساس میزان پاشش کود در هکتار و سرعت حرکت تراکتور در مزرعه برابر ۶ متر مکعب طراحی شد. این در حالی است که حجم مخزن ماشین ساخته شده توسط پوپا و همکاران برابر ۴/۵ متر مکعب بود (Popa et al., 2009). لانگ و همکاران (۱۹۹۴) نیز مخزنی برابر ۴ متر مکعب را برای ماشین کودپاش خود طراحی کردند (Long et al., 1994). شیب دیواره مخزن نیز بر اساس ضریب اصطکاک کود با فولاد ST37، حجم مخزن و همچنین شکل هندسی آن برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شد. صفحات کودپران به صورت چهارپره‌ای طراحی شده و



شکل ۵- تاثیر سرعت و جرم ذرات کود بر عرض پاشش ماشین  
 Fig 5- Effect of speed and mass of manure on the spreader width of machine

غلبه بر اصطکاک می شود. سرعت دورانی زنجیرنقاله در سرعت های مختلف تراکتور و همچنین نرخ های متفاوت پاشش کود محاسبه شد (شکل ۶-ب). نتایج نشان داد که با افزایش سرعت حرکت تراکتور دبی مورد نیاز کود افزایش یافته و به تبع آن بایستی سرعت دورانی زنجیرنقاله را نیز افزایش داد.

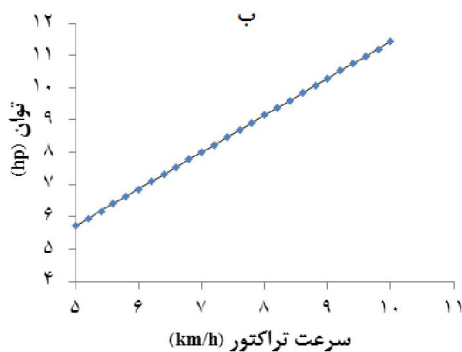
با توجه به اینکه در بازه سرعت ۵۰۰ تا ۷۵۰ دور بر دقیقه عرض پاشش مورد نیاز تامین می شود، بنابراین توان واحد پاشش نیز در این بازه سرعت محاسبه شد (شکل ۶-الف). نتایج حاکی از این بود که توان چرخش آزاد صفحات کودپران سهم کمتری را به خود اختصاص داده و بیشتر توان صرف پرتاب ذرات کود و



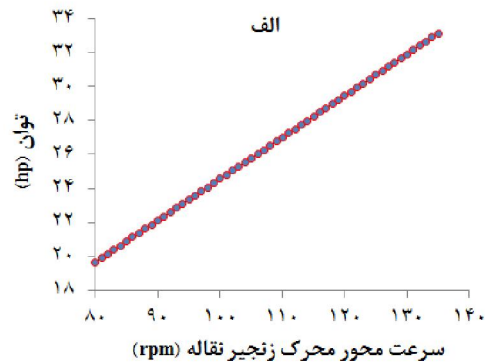
شکل ۶-الف) رابطه بین سرعت دورانی صفحات کودپران و توان مورد نیاز PTO، ب) تاثیر سرعت تراکتور و نرخ پاشش کود بر سرعت دورانی محور محرک زنجیرنقاله

Fig 6- a) Relation between rotational speed of spreader plate and consumed power, b) Effect of tractor speed and flow rate of manure on rotational speed of drive axle of chain conveyor

سرعت ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت که سرعت معمول کار در مزرعه است، تعیین شد (شکل ۸-ب). با توجه به نتایج به دست آمده برای توان کششی ماشین می توان از تراکتورهای مرسوم در کشور مانند مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ برای تامین توان ماشین استفاده کرد.

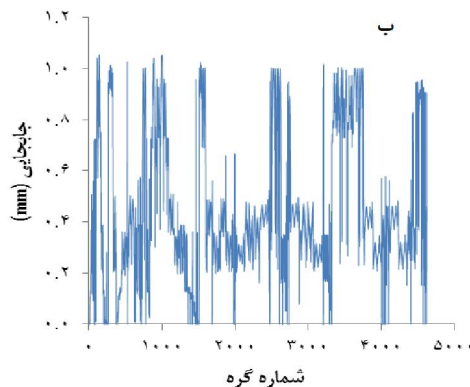


توان مورد نیاز برای دوران محور محرک زنجیر نقاله در بازه سرعت ۸۰ تا ۱۳۵ دور بر دقیقه محاسبه شد (شکل ۸-الف). نتایج نشان داد که رابطه بین سرعت دورانی زنجیر نقاله و توان محور محرک آن خطی می باشد. همچنین توان کششی ماشین در بازه

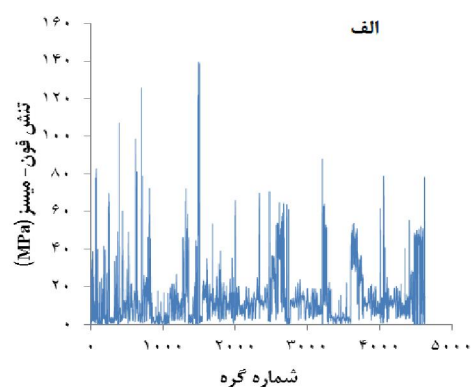


شکل ۸- الف) تاثیر سرعت بر توان محور محرک زنجیر نقاله، ب) توان کششی ماشین در سرعت های مختلف  
**Fig 8- a) Effect of speed on drive axle power of chain conveyor, b) Tensional power of machine at different speeds**

الف). مقدار جابجایی برای المان های اکسل نیز به روش المان محدود محاسبه شده (شکل ۹-ب) و بیشترین مقدار جابجایی برابر ۱/۸ میلیمتر بدست آمد.



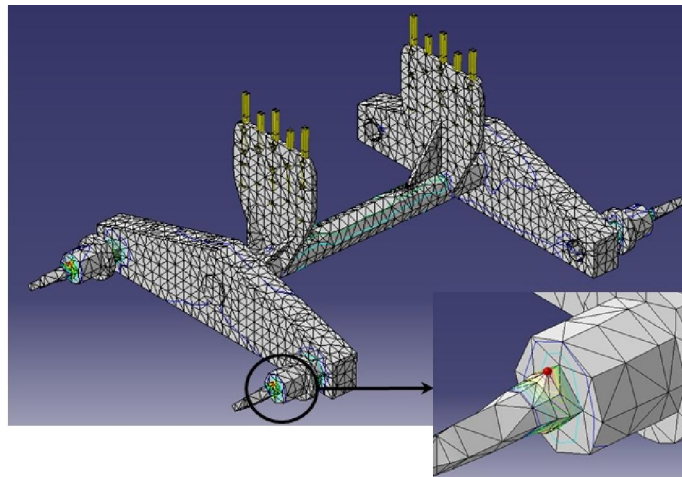
پس از تحلیل سیستم اکسل ماشین به روش المان محدود مقدار تنش به وجود آمده در المان های آن بر اساس معیار فون-میسز محاسبه شد (شکل ۹-الف)



شکل ۹- الف) مقدار تنش حداکثر المان های اکسل بر اساس معیار فون-میسز، ب) مقدار جابجایی المان های اکسل  
**Fig 9- a) Maximum stress of axle element based on von-misses method, b) Displacement of axle element**

دست آمد (شکل ۱۰). با توجه به مقدار حداکثر تنش به دست آمده و تنش تسلیم فولاد ST37، ضریب اطمینان اکسل ماشین برابر با ۱/۸ محاسبه شد.

بیشترین مقدار تنش بر اساس معیار فون-میسز مربوط به گره شماره ۱۴۹۸ در محل اتصال شفت اکسل به تویی چرخ بوده و مقدار آن برابر ۱۳۹ مگاپاسکال به



شکل ۱۰- نتایج حاصل از تحلیل اکسل ماشین و محل بیشترین مقدار تنش

Fig 10- Results of machine axle analyze and maximum stress

#### نتیجه گیری

ماشین مورد نظر از نوع کششی طراحی شده و توان خود را از تراکتور دریافت می کند. واحد پاشش ماشین شامل دو صفحه کودپران دوار بوده که با سرعت ۶۸۰ دور بر دقیقه دوران کرده و کود را با عرض پاشش ۹ متر در سطح مزرعه پخش می کنند. ظرفیت مخزن ماشین بر اساس سرعت حرکت تراکتور و نرخ پاشش برابر ۶ متر مکعب طراحی شد و شیب دیواره آن ۴۰ درجه در نظر گرفته شد. سرعت محور محرک زنجیرنقاله برای تامین دبی مورد نیاز کود برابر ۹۳ دور بر دقیقه محاسبه شد. اکسل ماشین به روش المان محدود مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. مقدار حداکثر تنش به وجود آمده در اکسل بر اساس معیار فون-میسز برابر ۱۳۹ مگاپاسکال و ضریب اطمینان آن ۱/۸ بدست آمد. توان مورد نیاز برای دوران زنجیرنقاله و صفحات کودپران در سرعت های ذکر شده به ترتیب برابر ۲۲/۸۳ و ۲۹/۹۴ اسب بخار محاسبه شد. همچنین در سرعت خطی ۷ کیلومتر بر ساعت توان کششی ماشین برابر ۸/۱ اسب بخار تعیین شد. با توجه به

مقادیر محاسبه شده توان، برای بکارگیری این ماشین می توان از تراکتورهای موجود در کشور مانند مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ استفاده کرد.

#### سپاسگزاری

این پژوهش به سفارش شرکت مهرگان ماشین ایرانیان و حمایت معاونت علمی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد که بدین وسیله از همکاری ایشان تقدیر و تشکر می گردد.

#### منابع

۱. امیدي ح. نقدی بادی ح. ع. گلزاد ع. ترابی ح. و فتوکیان م. ح. ۱۳۸۸. تأثیر کود شیمیایی و زیستی نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی زعفران. فصلنامه گیاهان دارویی. ۸ (۲): ۹۸-۱۰۹.
۲. حسینزاده م. و قربانی م. ۱۳۹۰. بررسی اقتصادی رفتار کشاورزان در استفاده از کودهای حیوانی در سطح مزرعه در شهرستان اسفراین. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۳).

- manure spreader on a truck. Bulletin of Taichung district agricultural improvement station. 42: 41-52.
15. Meyer, D. A. and Meyer L. 1996. U.S. Patent No. 5,501,404. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  16. Parris, K., and Reille, L. 1999. Measuring the environmental impacts of agriculture use and management of nutrients. The international fertilizer society congress, Proceedings (442).
  17. Popa, L., Pirna, I., Nedelcu, A., and Ciuperca, R. 2009. Manure spreading machine of 5 tons capacity, MG-5. In Research Journal of Agricultural Science. 41(2): 489-493.
  18. Ross, E. P. 1905. U.S. Patent No. 787,401. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  19. Schmied, W. F. 1946. U.S. Patent No. 2,407,104. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  20. Sharpley, A. N., McDowell, R. W., and Kleinman, P. J. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. Soil science society of America journal, 68(6): 2048-2057.
  21. Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., and Buckmaster, D. R. 2005. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2nd Editions.
  22. Steinberg, R. G. 1986. U.S. Patent No. 4,585,266. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  23. Swanson, S. S. 1934. U.S. Patent No. 1,945,125. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  24. Whitely, W. N. 1911. U.S. Patent No. 982,330. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  25. Frank, R. V. (1971). U.S. Patent No. 3,602,404. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  ۳. سادین ا. آق‌خانی م. عباسپورفرد م. ۱۳۸۸. طراحی دستگاه جمع‌آوری کود دامی. مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶(۱).
  ۴. منصوری راد د. ۱۳۸۷. تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه بو علی سینا. ۸۵۵ص.
  5. ASAE, Standards, Agricultural Machinery Management Data. 2000. Joseph, MI: ASAE, S269.4 DEC01
  6. Best, A. M. 1955. U.S. Patent No. 2,699,337. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
  7. County, V. F. W. 1971. U.S. Patent No. 3,602,404. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  8. Duhovnik, J., Benedicic, J., and Bernik, R. 2004. Analysis and design parameters for inclined rotors used for manure dispersal on broadcast spreaders for solid manure. Transactions of the ASAE, 47(5): 1389-1404.
  9. Graham, P. H., and Vance, C. P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. Field Crops Research, 65(2): 93-106.
  10. Hendricks, S. B. and Markel, J. M. 1937. U.S. Patent No. 2,094,572. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  11. Johnson, R. A. 1940. U.S. Patent No. 2,202,858. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  12. Landon, G. L., Peeters, K. J., and Wilke, G. L. 2011. U.S. Patent No. 7,871,024. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  13. Lepp, J. H. 1965. U.S. Patent No. 3,175,830. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
  14. Long, G. W., and Tien, Y. S. 1994. The development and testing of

## **Design, construction and Analysis of centrifugal manure distributor machine**

Galil Taghi Zade Tame<sup>1</sup>, Ali Jafai<sup>\*2</sup>, Hosein Mousa Zade<sup>3</sup>, Nazila Tarbi<sup>1</sup> and Faeghe Asanloo<sup>4</sup>

Received: 17 July 2012  
Accept: 13 October 2012

### **Abstract**

Today, the increasing use of chemical fertilizers has caused the destruction of soil structure and water pollution. In order to improve soil quality some methods such as crop rotation, biological control, application of green fertilizers and manure can be used. Adding animal manure to the soil increases the organic matter of soil, absorbable phosphorus, nitrate and other nutrients that are needed by plants. One of the main problems regarding usage of animal manure is its distribution method on the field. Therefore, the purpose of this research is to design and construct a centrifugal manure distributor machine. This machine is drawn and supplied by tractor and consisted of different parts including hopper, chain conveyor, distribution unit, divider plate and axle. The volume of hopper is 6 m<sup>3</sup> and the distribution width is designed for 9m and more. The drawbar power requirement and PTO power requirement of this machine are calculated 8.1 and 52.77hp respectively and it can be supplied by conventional tractors like MF-285 or MF-399. CATIAv5 software is used for analysis of the axle system of machine. After modeling and defining the material of axle system, it is analyzed by finite element method. The maximum stress and safety factor are determined to be 139MPa and 1.8, respectively.

**Keywords:** Centrifugal distributor, Distribution width, Axle, Finite element method, Manure

