

## طراحی، ساخت و شبیه‌سازی عملکرد ماشین نوین کودپاش هلیسی کود دامی

جلیل تقی‌زاده طامه<sup>۱</sup>، علی جعفری<sup>۲\*</sup>، حسین موسی‌زاده<sup>۳</sup>، نازیلا طربی<sup>۴</sup>

۱ و ۴. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۱)

### چکیده

کود دامی علاوه بر نداشتن مشکلات زیست محیطی کودهای شیمیایی، موجب کاهش تراکم خاک، افزایش تخلخل خاک، افزایش سرعت نفوذ آب و بهبود کیفیت خاک می‌شود. استفاده بهینه از مزایای کود دامی در گرو روش پخش آن در سطح مزرعه است. بدین منظور در این پژوهش به طراحی، ساخت و بررسی عملکرد ماشین کودپاش هلیسی پرداخته شد که قادر به پخش کود دامی در رطوبت‌های مختلف و با حداکثر عرض پاشش است. در کف مخزن ماشین دو هلیس قرار دارد و در وسط محور هلیس‌ها، چنگک‌هایی تعبیه شده است که کود را به واحد پاشش انتقال می‌دهد. واحد پاشش شامل دو درام مارپیچی است که در دو طرف مخزن قرار دارد. چرخش درام‌ها موجب پخش کود در سطح مزرعه می‌شود. تاثیر سرعت و جرم ذرات کود بر عرض پاشش ماشین مورد بررسی قرار گرفت. توان دورانی ماشین شامل توان هلیس و درام‌های پاشش بود که در سرعت‌های مختلف دورانی و در سه نوع کود با ضرایب اصطکاک داخلی متفاوت محاسبه شد. حجم مخزن این ماشین ۶ متر مکعب و عرض پاشش آن ۱۴ متر محاسبه شد و نرخ پاشش کود در بازه ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۷۳ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش ضریب اصطکاک داخلی کود و سرعت دورانی، توان دورانی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار توان دورانی و کششی ماشین به ترتیب برابر ۳۴/۲ و ۱۸/۴۵ اسب‌بخار تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: مقاله پیچی (هلیس)، کود دامی، عرض پاشش، شبیه‌سازی عملکرد

### مقدمه

امروزه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی باعث ایجاد مشکلات فراوان زیست‌محیطی شده است. کودهای شیمیایی به صورت عناصر سنگین در خاک و سیستم‌های گیاهی ذخیره شده و گیاهان با جذب کردن این مواد باعث ورود آن‌ها به زنجیره غذایی انسان می‌شوند. از دیگر پیامدهای مصرف کودهای شیمیایی می‌توان به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی (Savci, 2012)، کاهش تولید محصولات کشاورزی و اسیدی شدن خاک‌ها اشاره کرد (Adeleye et al., 2010). این در حالی است که مصرف کودهای دامی معایب استفاده از کودهای شیمیایی را نداشته و علاوه بر افزایش منابع آلی و بهبود چرخه تغذیه گیاه نقش موثری در افزایش تولید محصولات کشاورزی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی دارد (Li & Liu, 2006). همچنین استفاده از کودهای دامی موجب کاهش تراکم خاک، افزایش تخلخل خاک، افزایش سرعت نفوذ آب و هدایت هیدرویکی اشباع شده که این عوامل

در بهبود کیفیت خاک نقش مهمی دارند (Fares et al., 2008; Uzoma et al., 2011). استفاده بهینه از مزایای کود دامی در گرو روش صحیح پخش آن در سطح مزرعه بوده و پخش کود یکی از مراحل مهم در کشاورزی و تولید محصول می‌باشد. روش‌های نامناسب در پخش کود موجب کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شود (Duhovnik et al., 2004). ماشین‌های مختلفی به منظور پخش کود جامد حیوانی در سطح مزرعه وجود دارند که از ابتدایی‌ترین آن‌ها می‌توان به ماشین ساخته شده توسط راس در سال ۱۹۰۵ اشاره کرد (Ross, 1905). با گذشت زمان این ماشین‌ها توسعه یافته و قابلیت‌های جدیدی به آن‌ها اضافه شده است. جدول (۱) خلاصه‌ای از تاریخچه روند توسعه ماشین‌های کودپاش دامی از سال ۱۹۱۱ تا به امروز را نشان می‌دهد.

از دیگر انواع پخش‌کننده کود دامی ماشینی است که توسط Popa et al. (2009) طراحی و ساخته شد. حجم مخزن ماشین برابر ۴/۵ متر مکعب بود و در انتهای مخزن آن ۴ محور مجهز به پره‌های هلیسی برای پخش کود وجود داشت. همچنین Lague et al. (2005) به مطالعه در مورد دو نوع سیستم انتقال

کود و دو نوع پخش کننده برای ماشین های کودپاش پرداختند. سیستم های انتقال کود شامل دو نوع زنجیرنقاله ای و هلیسی بود و همچنین پخش کن های کود در دو نوع تسمه نقاله ای و هلیسی با عرض پاشش سه متر مورد بررسی قرار گرفتند. فاکتورهای مورد ارزیابی آن ها شامل یکنواختی پاشش در دو راستای طولی و عرضی، انرژی مخصوص و نرخ تخلیه بود. نتایج نشان داد که استفاده از هلیس برای انتقال کود دارای عملکرد بهتری نسبت به نوع زنجیر نقاله می باشد.

اکثر ماشین های کودپاش موجود عمل پخش کود را به صورت ریزشی (بدون پرتاب کردن) انجام می دهند و به همین

دلیل عرض پاشش نسبتا کمی دارند و قابلیت پخش کود با درجه رطوبت بالا در آن ها وجود ندارد. همچنین به علت کوچک بودن حجم مخزن نیاز به بارگیری بیشتری داشته و ازدیاد رفت و آمد ماشین در سطح مزرعه را موجب می شوند که باعث تخریب ساختمان خاک و افزایش مصرف انرژی می شود. بنابراین هدف از این پژوهش طراحی و ساخت ماشینی است که بتواند کار پخش کود دامی با رطوبت های مختلف 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.

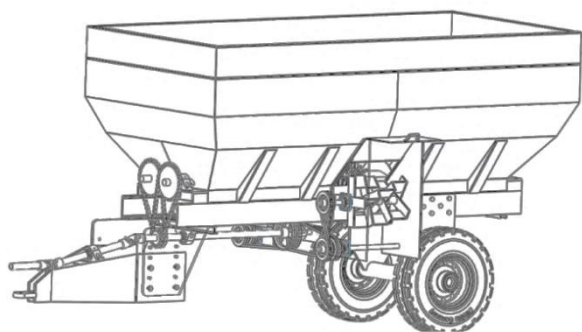
جدول ۱- خلاصه تاریخچه ماشین های کودپاش کود دامی

منبع تامین توان	نحوه انتقال کود	شیوه پخش کود	قابلیت های جدید	مرجع
چرخ دستگاه	انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله	خرد کردن و ریزش کود با دو خردکننده	خردکن با لبه کنگره ای	(Whitely & Whitely, 1911)
چرخ دستگاه	انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله	ریزش از کنار دستگاه به وسیله نقاله	نقاله ریزش از کنار	(Johnson, 1940)
محور تریلی	انتقال کود به انتهای دستگاه با بلند کردن مخزن	ریزش از انتهای دستگاه با نقاله زاویه دار	زنجیرنقاله زاویه دار	(County, 1971)
محور تراکتور	PTO انتقال کود به انتهای دستگاه با هلیس	ریزش از انتهای دستگاه پرتاب کننده های عمودی	پرتاب کننده های عمودی	(Meyer & Meyer, 1996)
محور تراکتور	PTO انتقال کود به انتهای دستگاه با نقاله	ریزش کود از انتهای دستگاه با هلیس	خردکن هلیسی با لبه کنگره ای	(Peeters et al., 2011)

## مواد و روش ها

### طراحی و ساخت ماشین کودپاش

طراحی ماشین مورد نظر بر اساس بیشترین مقدار عرض پاشش انجام شد. این ماشین به صورت کشیدنی بوده و توان خود را از تراکتور دریافت می کند. قسمت های اصلی ماشین شامل مخزن، دو عدد نقاله پیچی (هلیس) در کف مخزن، واحد پاشش، سیستم انتقال توان و دیگر اجزا می باشد (شکل ۱). مکانیزم ماشین به گونه ای است که در ابتدا کود داخل مخزن با استفاده از هلیس به وسط مخزن انتقال پیدا می کند. در وسط مخزن و بر روی شفت هلیس چنگک هایی قرار دارند که کود را به سمت دریچه های خروجی که در دو طرف ماشین قرار دارد هدایت می کنند و در آنجا درام های پاشش با استفاده از نیروی گریز از مرکز کود را در سطح مزرعه پخش می کنند. از مزایای این نوع سیستم انتقال و پاشش کود می توان به پایین بودن هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری، سادگی سیستم و همچنین قابلیت پخش کود با رطوبت های مختلف اشاره کرد.



شکل ۱- ماشین کودپاش هلیسی کود دامی

### مخزن

در طراحی مخزن توجه به دو نکته ضروری است، اول اینکه مخزن ماشین نباید به اندازه ای بزرگ باشد که فشار وارده بر خاک باعث ایجاد لایه سخت در خاک شود و دوم اینکه مخزن ماشین نباید کوچکتر از حدی باشد که برای عمل پاشش نیاز به بارگیری بیش از حد دستگاه باشد، زیرا این امر موجب اتلاف زمان و هزینه، افزایش تردد ماشین و فشردگی خاک می شود. بنابراین حجم مخزن بر اساس میزان مصرف کود در هکتار و

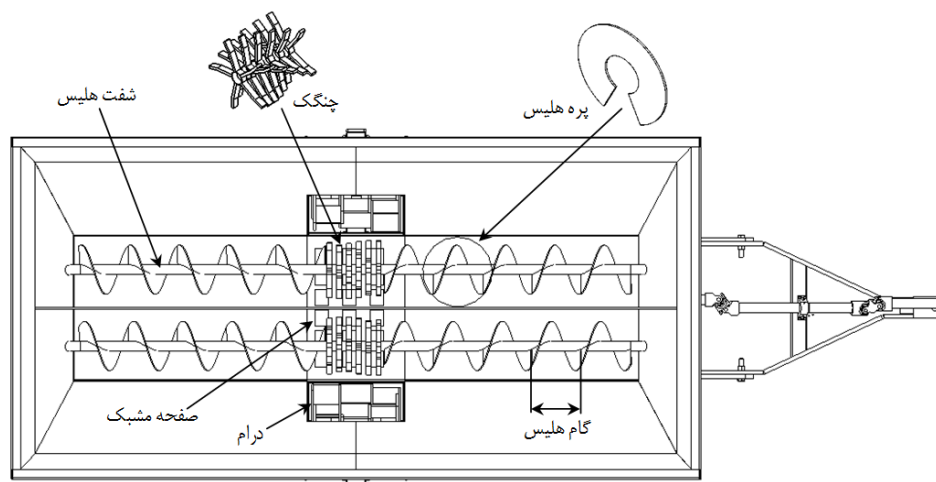
که کود را به وسط ماشین منتقل می‌کنند. در وسط شفت هلیس چنگک‌هایی وجود دارد که با چرخش هلیس دوران کرده و جریان کود را به دریچه‌های خروجی هدایت می‌کند (شکل ۲). ظرفیت انتقال و توان مورد نیاز هلیس به پارامترهای مختلفی از جمله قطر پره هلیس، قطر شفت، گام هلیس، سرعت دورانی و خواص فیزیکی کود بستگی دارد. به منظور طراحی هلیس عرض پاشش ماشین برابر ۱۴ متر در نظر گرفته شد. همچنین سرعت حرکت تراکتور و نرخ پاشش کود به ترتیب برابر ۸ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت و ۲۰ تا ۶۰ تن بر هکتار بود که با توجه به عرض پاشش ماشین، نرخ پاشش کود (دبی هلیس) در بازه ۰/۲۲ تا ۰/۷۳ مترمکعب بر ثانیه تعیین شد. سپس پارامترهای هلیس از قبیل قطر پره، قطر شفت و طول گام بر اساس رابطه (۱) طراحی شد (Srivastava et al., 2006).

(رابطه ۱) 
$$Q_t = \frac{\pi}{4} (d_{sf}^2 - d_{ss}^2) l_p n$$
 که در آن  $Q_t$  دبی هلیس ( $m^3/s$ )،  $d_{sf}$  قطر پره هلیس (m)،  $d_{ss}$  قطر شفت هلیس (m)،  $l_p$  گام هلیس (m) و  $n$  سرعت دورانی هلیس (rps) می‌باشد. لازم به ذکر است که در عمل هلیس به طور کامل پر نمی‌شود و برای تصحیح دبی آن ضریب ۰/۷ در نظر گرفته شد. همچنین بهترین عملکرد هلیس زمانی است که طول پیچ آن بین ۰/۹ تا ۱/۵ برابر قطر پره باشد (Srivastava et al., 2006).

سرعت حرکت تراکتور در مزرعه طراحی شد. میزان مصرف کود بر اساس نوع خاک و محصول در بازه ۲۰ تا ۶۰ تن در هکتار در است (Mansouri-Rad, 2009) و سرعت حرکت تراکتور برای عملیات پخش کود در بازه ۸ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت قرار دارد (ASAE Standards, 2000) که بر اساس آن حجم مخزن برابر ۶ متر مکعب طراحی شد. 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. بدین منظور ضریب اصطکاک کود و سطح ورقه فولاد بر اساس رطوبت کود در بازه ۱/۰۱۲ تا ۱/۷۳۱ در نظر گرفته شد (Sadin et al., 2009). شیب دیواره مخزن برابر ۴۵ درجه تعیین شد که این مقدار بیشتر از ضریب اصطکاک کود با سطح فلزی بوده و بدین ترتیب از چسبیدن کود به دیواره مخزن جلوگیری می‌شود. در کف مخزن ماشین دو عدد صفحه مشبک (مش‌بندی شده) وجود دارد که نسبت به یکدیگر دارای حرکت خطی در راستای طولی هستند. تعبیه این صفحات در کف مخزن اجازه پخش کود در زیر مخزن را می‌دهد (شکل ۲).

#### نقاله پیچی (هلیس)

هلیس از یک شفت تشکیل شده که بر روی آن پره‌هایی وجود دارد و با چرخش شفت هلیس، کود در راستای پره‌ها حرکت می‌کند. در ماشین مورد نظر از دو هلیس دوطرفه استفاده شد



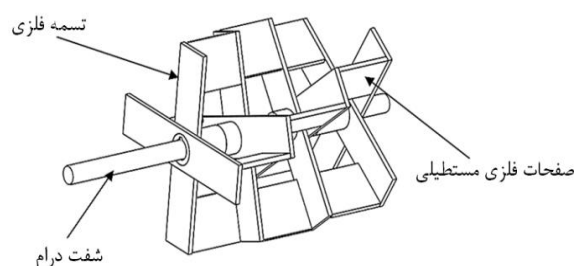
شکل ۲- نمای بالای ماشین کودپاش هلیسی و اجزای تشکیل‌دهنده آن

مستطیلی تشکیل شده است. صفحات مستطیلی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر بر روی یک واحد قرار گرفته‌اند و واحدها به صورت مارپیچ بر روی شفت مونتاژ می‌شوند (شکل ۳). چرخش درام حول محور خود باعث برخورد صفحات مستطیلی به جریان کود خروجی شده و با استفاده از نیروی گریز از مرکز

#### واحد پاشش

واحد پاشش ماشین شامل دو درام است که در دو طرف مخزن ماشین قرار دارد. اجزای تشکیل‌دهنده این درام‌ها شامل شفت، تسمه‌های فلزی و صفحات مستطیلی می‌باشد. هر درام شامل سه واحد بوده و هر واحد از دو تسمه فلزی و چهار صفحه

این صفحات عملیات پخش کود در سطح مزرعه انجام می‌شود.



شکل ۳- درام پاشش و اجزای آن

نیاز<sup>۲</sup> PTO بوده که با استفاده از تراکتور تامین می‌گردد. سیستم انتقال توان به گونه‌ای است که در ابتدا توان با استفاده از مکانیزم گاردان از محور PTO تراکتور به شفت اصلی ماشین منتقل می‌گردد و در آنجا به دو قسمت توان هلیس و توان درام تقسیم می‌شود. برای انتقال توان به هلیس از سیستم زنجیر و چرخ زنجیر استفاده شد که برای سرعت‌های پایین و گشتاورهای زیاد مناسب است. از مزیت‌های این نوع سیستم می‌توان به ثابت بودن نسبت سرعت، عدم وجود لغزش و خزش و همچنین عمر طولانی اشاره کرد (Richard & Keith, 2011). به دلیل سرعت نسبتاً بالای درام‌های پاشش و گشتاور کم آن‌ها از سیستم تسمه و پولی برای انتقال توان استفاده شد. استفاده از تسمه‌های V شکل و پولی باعث جذب بارهای ضربه‌ای شده و در صورت بیش‌باری، تسمه و پولی بر روی یکدیگر سر خورده و بدین ترتیب از آسیب‌رسیدن به سیستم انتقال توان جلوگیری می‌شود (Richard & Keith, 2011).

توان کششی ماشین به پارامترهایی از قبیل مقاومت غلتشی ماشین، وزن ماشین و عدد حرکت پذیری چرخ در مزرعه بستگی دارد و با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Goering, 1992).

$$P_{db} = w \left( \frac{1.2}{C_n} + 0.04 \right) \cdot V \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن  $P_{db}$  توان مورد نیاز کشش ماشین (kW)،  $V$  سرعت حرکت تراکتور (m/s) و  $w$  وزن کل ماشین (kN) می‌باشد.  $C_n$  عدد حرکت‌پذیری بوده و با استفاده از رابطه (۷) تعیین می‌شود (ASAE Standards, 2000).

$$C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{w} \left( \frac{1 + \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \frac{b}{d}} \right) \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن  $CI$  شاخص مخروطی خاک،  $b$  عرض چرخ،  $d$  قطر چرخ،  $\delta$  خوابیدگی چرخ و  $h$  ارتفاع مقطع چرخ می‌باشد.

توان PTO ماشین شامل توان‌های هلیس و درام پاشش می‌باشد. توان هلیس به خواص فیزیکی کود و پارامترهای طراحی هلیس بستگی دارد و با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شد (Srivastava et al., 2006).

$$P_h = 3.54 Q_a \rho_b g \left( 2\pi n \sqrt{\frac{l_p}{g}} \right)^{0.14} \left( \frac{d_{sf}}{l_p} \right)^{-10.12} \left( \frac{l_i}{l_p} \right)^{0.11} f_{\theta} \mu^{2.05}$$

توان لازم برای چرخش آزاد هلیس نیز به عواملی از قبیل اینرسی آن در راستای چرخش و سرعت دورانی آن بستگی دارد که با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد.

## شبیه‌سازی عملکرد ماشین

### شبیه‌سازی 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 در نظر گرفته شد و مسیر حرکت آن‌ها در بازه سرعت دورانی درام شبیه‌سازی شد. ذرات کود پس از پرتاب شدن از روی صفحات کودپران تحت تاثیر انرژی جنبشی درام پاشش، 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 (۲) محاسبه شد (Srivastava et al., 2006).

$$h = \frac{\ln(C h_0 t + 1)}{c} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن  $h$  مسافت افقی طی شده توسط ذرات کود (m) و  $h_0$  سرعت اولیه ذرات (m/s) می‌باشد. پارامتر  $t$  زمان سقوط ذرات کود بوده و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد. همچنین ضریب  $C$  مربوط به مقاومت و چگالی هوا، چگالی ذره و قطر موثر ذره می‌باشد که با استفاده از رابطه (۵) تعیین می‌شود (Srivastava et al., 2006).

$$t = \frac{\ln(\text{Arg} + \sqrt{\text{Arg}^2 - 1})}{2C \sqrt{g/C}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\text{Arg} = 2e^{2CZ} - 1 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$C = \frac{0.75 C_D \rho_a}{\rho_b d_p} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن  $C_D$  ضریب بادبردگی،  $\rho_a$  چگالی هوا ( $\text{kg/m}^3$ ),  $Z$  ارتفاع درام‌های پاشش از سطح زمین (m)،  $\rho_b$  چگالی کود ( $\text{kg/m}^3$ ) و  $d_p$  قطر موثر ذرات کود (m) می‌باشد.

### سیستم انتقال توان ماشین

توان ماشین کودپاش شامل توان کششی ماشین و توان مورد

<sup>2</sup> Power take-off

کود ( $\text{kg/s}$ ) می‌باشد.

انتقال توان به درام‌های پاشش با استفاده از سیستم تسمه و پولی انجام شد. در ابتدا توان از شفت اصلی ماشین به شفت‌های ثانویه که در دو طرف ماشین و زیر درام‌های پاشش قرار دارند انتقال داده می‌شود. در اثر این انتقال نسبت سرعت دورانی افزایش می‌یابد و پس از آن توان به درام‌های پاشش منتقل می‌شود. به منظور معکوس کردن جهت چرخش درام راست از سیستم تسمه و پولی ضربدری استفاده شد (شکل ۴). نوع و تعداد تسمه نیز بر اساس توان و سرعت دورانی درام و با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شد.

$$N = \frac{P_b \cdot f_1 \cdot f_2}{P_{rate}} \quad (\text{رابطه } 12)$$

که در آن  $P_b$  توان طراحی ( $\text{kW}$ )،  $P_{rate}$  توان انتقالی تسمه ( $\text{kW}$ )،  $f_1$  ضریب زاویه درگیری تسمه (قوس تماس) و  $f_2$  ضریب سرویس است. زاویه درگیری تسمه به قطر موثر پولی‌ها بستگی داشته که با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد. در رانش‌های ضربدری زاویه درگیری تسمه برای هر دو پولی برابر است (Richard & Keith, 2011).

$$\theta_{D,d} = \pi \pm 2 \sin^{-1} \frac{D-d}{2C_p} \quad (\text{رابطه } 13)$$

طول تسمه‌ها برای رانش باز و ضربدری به ترتیب با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه شد [۱۹].

$$L_{op} = \sqrt{4C^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (\text{رابطه } 14)$$

$$L_{sc} = \sqrt{4C^2 - (D+d)^2} + \frac{1}{2}(D+d)\theta_{sr} \quad (\text{رابطه } 15)$$

که در آن  $D$  و  $d$  قطر پولی‌های کوچک و بزرگ ( $\text{mm}$ )،  $\theta_D$  و  $\theta_d$  زاویه درگیری پولی‌های کوچک و بزرگ ( $\text{rad}$ )،  $C$  فاصله بین مراکز شفت‌های پولی ( $\text{mm}$ )،  $L_{op}$  طول تسمه برای رانش باز ( $\text{mm}$ ) و  $L_{sc}$  طول تسمه ضربدری ( $\text{mm}$ ) است.

$$P_i = \frac{I\omega^2}{2t} \quad (\text{رابطه } 9)$$

که در آن  $I$  طول تغذیه هلیس ( $\text{m}$ )،  $I_p$  طول گام هلیس ( $\text{m}$ )،  $Q_a$  ظرفیت حجمی واقعی ( $\text{m}^3/\text{s}$ )،  $\rho_b$  چگالی ظاهری کود ( $\text{kg/m}^3$ )،  $d_{sf}$  قطر خارجی هلیس ( $\text{m}$ )،  $f(\theta)$  ضریب زاویه هلیس با سطح افق،  $\mu$  ضریب اصطکاک داخلی کود،  $P_h$  توان لازم برای انتقال مواد ( $\text{W}$ )،  $P_i$  توان لازم برای چرخش آزاد هلیس ( $\text{W}$ ) و  $\omega$  سرعت زاویه‌ای ( $\text{rad/s}$ ) می‌باشد.  $I$  ممان اینرسی درام‌های پاشش بوده که با استفاده از نرم‌افزار سالی‌دورک محاسبه شد.

انتقال توان به هلیس با استفاده از سیستم زنجیر و چرخ زنجیر انجام شد. انتخاب شماره زنجیر بر اساس توان طراحی و سرعت دورانی هلیس انجام شد که در این سیستم از زنجیر شماره ۱۰۰ برای انتقال توان استفاده شد (ANSI Standard, 1975). همچنین طول بر واحد زنجیر نیز با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه گردید.

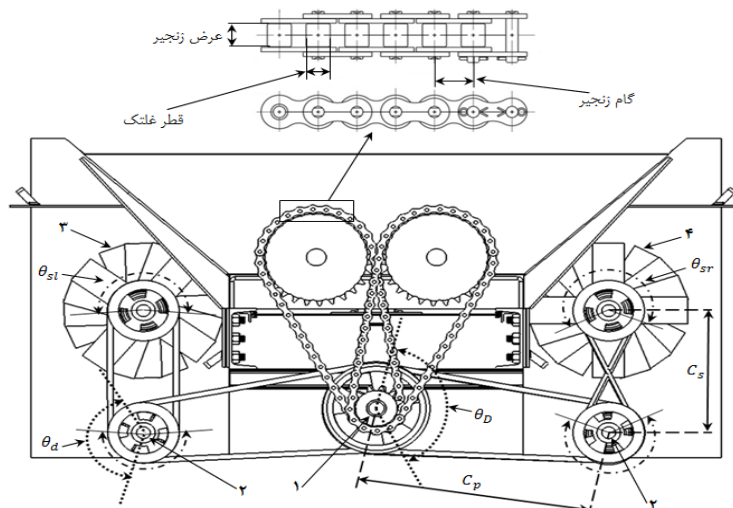
$$\frac{L_c}{P_c} = \frac{2C_c}{P_c} + \frac{N_{1c} + N_{2c}}{2} + \frac{(N_{2c} - N_{1c})^2}{4\pi^2 C_c / P_c} \quad (\text{رابطه } 10)$$

که در آن  $L_c$  طول زنجیر ( $\text{mm}$ )،  $P_c$  گام زنجیر ( $\text{mm}$ )،  $C_c$  فاصله مراکز شفت‌های زنجیر ( $\text{mm}$ ) و  $N_{1c}$  و  $N_{2c}$  به ترتیب تعداد دندانه‌های چرخ زنجیر کوچک و بزرگ می‌باشند.

توان مورد نیاز درام‌های پاشش به دو قسمت توان لازم برای چرخش آزاد درام و توان لازم برای پخش کود تقسیم می‌شود. توان چرخش آزاد درام به ممان اینرسی درام در راستای چرخش بستگی دارد و با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد. توان لازم برای پخش کود نیز با استفاده از رابطه (۱۱) تعیین شد.

$$P_s = \frac{1}{2} \dot{m} (V^2 - V_0^2) \quad (\text{رابطه } 11)$$

که در آن  $V$  سرعت چرخش درام ( $\text{m/s}$ )،  $V_0$  سرعت اولیه درام ( $\text{m/s}$ )،  $P_s$  توان لازم برای پخش کود ( $\text{W}$ ) و  $\dot{m}$  دبی پخش



شکل ۴- سیستم انتقال توان ماشین کودپاش هلیسی و اجزای آن، (۱) شفت اصلی، (۲) شفت ثانویه، (۳) درام چپ، (۴) درام راست

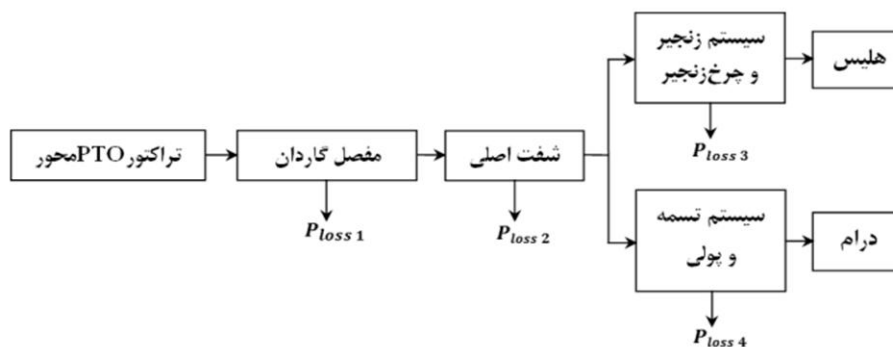
هلیس، سرعت حرکت تراکتور و میزان مصرف کود بر هکتار را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت حرکت تراکتور و افزایش نرخ پاشش کود، بایستی سرعت دورانی هلیس افزایش یابد تا مصرف مورد نیاز کود تامین شود.

شعاع درام‌های واحد پاشش برابر ۲۰۰ میلیمتر به دست آمد. نتایج بررسی تاثیر جرم ذرات کود و سرعت چرخشی درام بر روی عرض پاشش ماشین نشان داد که با افزایش جرم ذرات کود در رطوبت معین، قطر موثر ذرات در مقابل جریان هوا افزایش پیدا می‌کند. افزایش قطر ذرات باعث افزایش نیروی مقاومت هوا و کاهش عرض پاشش ماشین می‌شود (شکل ۷). همچنین با افزایش سرعت دورانی درام‌های پاشش، ذرات به نقاط دورتری پرتاب شده و افزایش عرض پاشش ماشین را موجب می‌شوند. نتایج نشان داد که در سرعت ۸۱۰ دور بر دقیقه عرض پاشش ماشین حدود ۱۴ متر است.

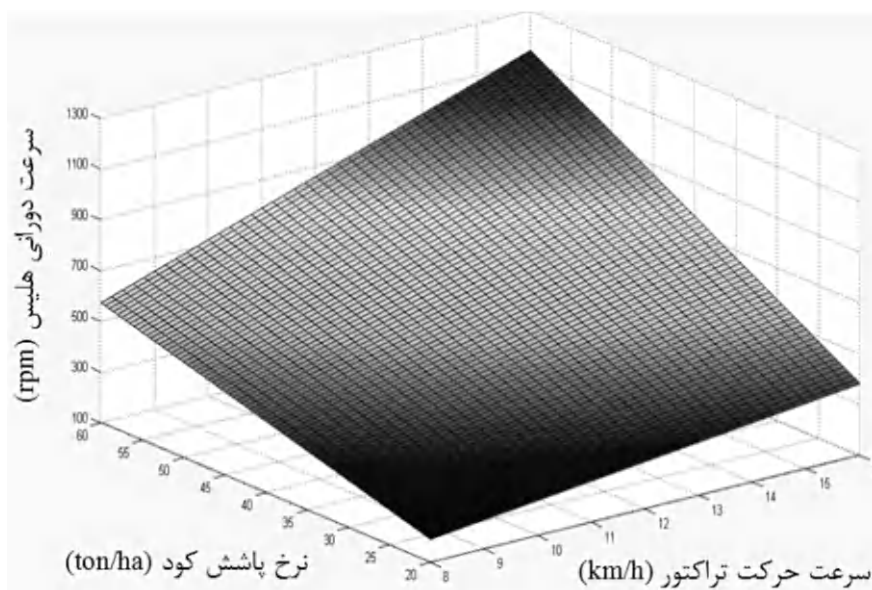
در سیستم انتقال توان از محور PTO تراکتور تا درام‌های پاشش و هلیس‌های انتقال کود افت توان‌هایی وجود دارد. این افت توان‌ها ناشی از اینرسی قطعات دوار مانند شفت، پولی و چرخ‌زنجیر و همچنین اصطکاک اجزای سیستم بوده و برای طراحی دقیق سیستم انتقال توان بایستی آن‌ها را لحاظ نمود. شکل (۵) دیاگرام افت توان در سیستم انتقال توان ماشین را نشان می‌دهد. برای محاسبه افت توان از رابطه (۹) استفاده شد.

### نتایج و بحث

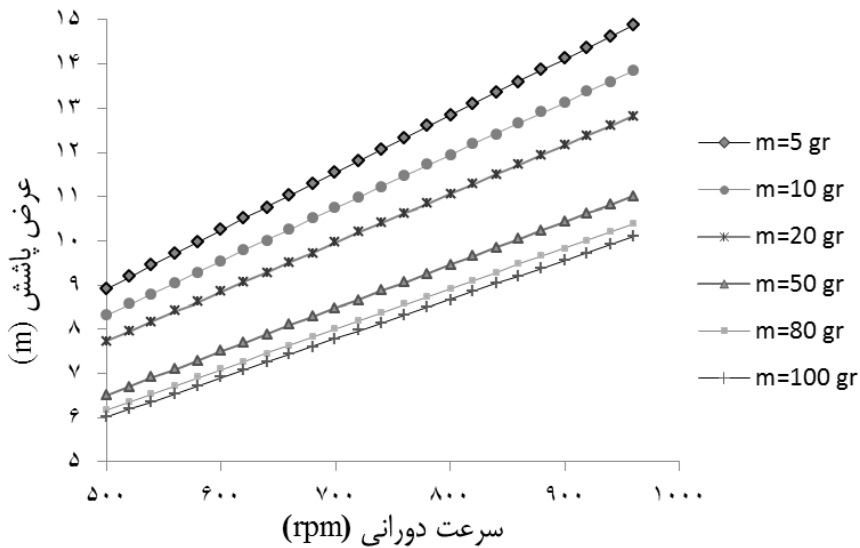
ظرفیت مخزن ماشین بر اساس میزان مصرف کود در هکتار و سرعت حرکت تراکتور در مزرعه برابر ۶ متر مکعب طراحی شد. به منظور تامین دبی مورد نیاز پاشش ابعاد هندسی هلیس شامل قطر پره، قطر شفت و گام هلیس به ترتیب برابر ۲۵۰، ۶۰ و ۲۵۰ میلیمتر محاسبه شد. شکل (۶) رابطه بین سرعت دورانی



شکل ۵- دیاگرام افت توان در ماشین کودپاش هلیسی



شکل ۶- تاثیر سرعت تراکتور و نرخ پاشش کود بر سرعت دورانی هلیس

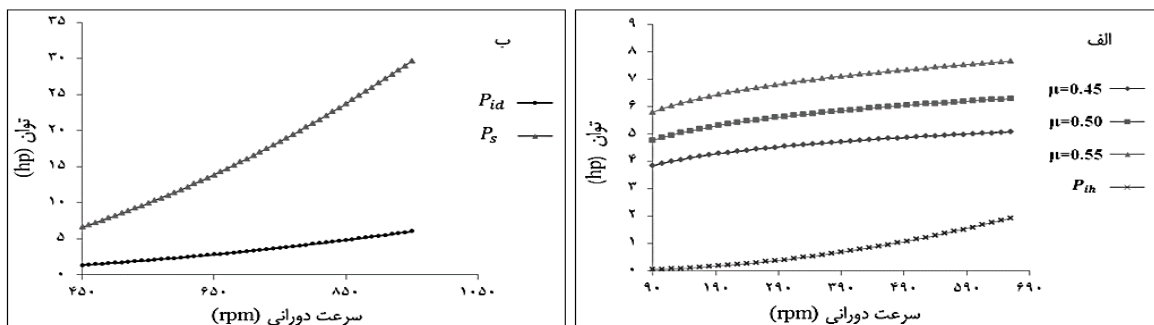


شکل ۷- تاثیر سرعت و جرم ذرات کود بر عرض پاشش ماشین

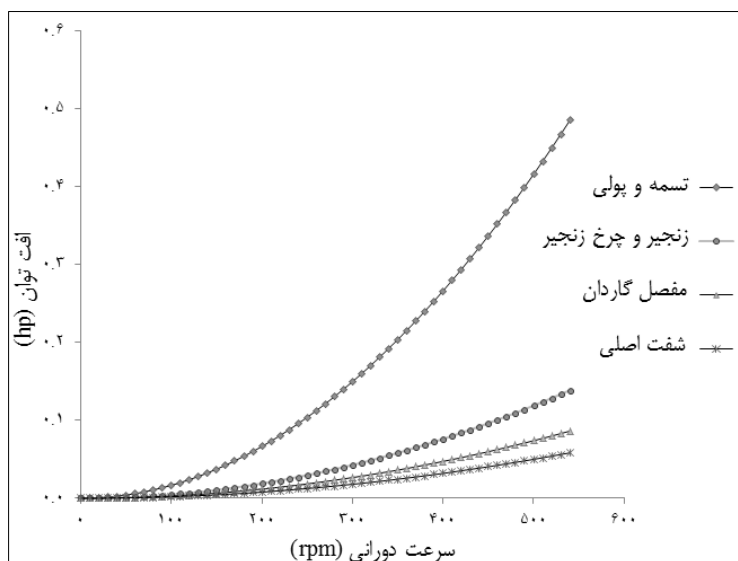
افت توان در سیستم انتقال توان ماشین در بازه سرعت PTO تراکتور (صفر تا ۵۴۰ دور بر دقیقه) محاسبه شد. بیشترین مقدار افت توان در سیستم تسمه و پولی بود که علت آن اینرسی نسبتاً بالای این سیستم و همین‌طور سرعت دورانی بالای آن است. کمترین مقدار افت توان نیز در شفت اصلی بود. شکل (۹) رابطه بین سرعت و افت توان را در سیستم انتقال توان نشان می‌دهد.

توان دورانی مورد نیاز ماشین بر اساس سرعت دورانی PTO محاسبه شد و رابطه بین آن‌ها از نوع نمایی بود (شکل ۱۰- الف). بیشترین مقدار این توان در سرعت ۵۴۰ دور بر دقیقه PTO برابر ۳۴/۲ اسب بخار بدست آمد. همچنین توان کششی ماشین در سرعت پیشروی ۸ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت و در خاک‌های مختلف محاسبه شد. رابطه بین سرعت حرکت تراکتور و توان کششی ماشین از نوع خطی بوده و با افزایش سرعت، توان کششی ماشین افزایش یافت (شکل ۱۰- ب).

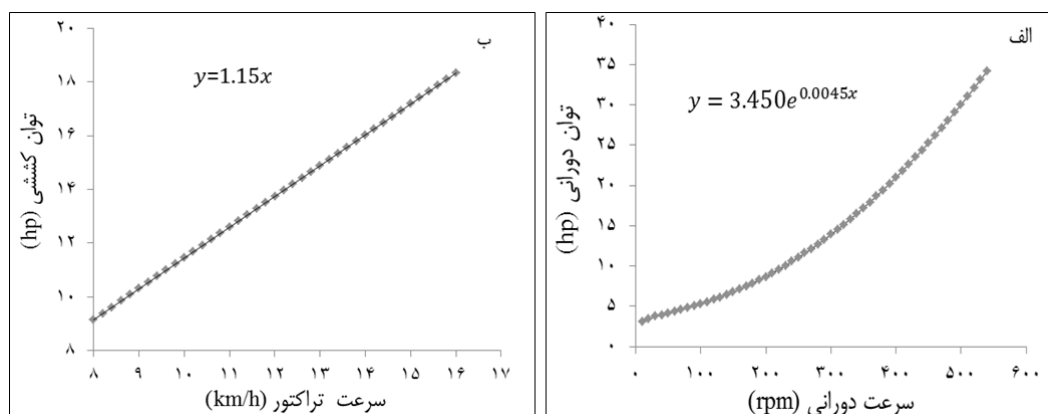
توان PTO ماشین شامل توان دورانی هلیس و درام‌های پاشش می‌باشد. توان مورد نیاز هلیس در بازه سرعت ۹۰ تا ۶۶۰ دور بر دقیقه محاسبه شد و ضریب اصطکاک داخلی کود نیز در سه سطح ۰/۴۵، ۰/۵۰ و ۰/۵۵ در نظر گرفته شد. همچنین توان مورد نیاز برای چرخش آزاد هلیس نیز در این بازه محاسبه شد (شکل ۸- الف). طبق نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش ضریب اصطکاک داخلی کود توان دورانی هلیس افزایش می‌یابد. همچنین رابطه بین سرعت دورانی و توان مصرفی هلیس از نوع نمایی می‌باشد. بیشترین مقدار توان نیز در سرعت ۶۶۰ دور بر دقیقه و ضریب اصطکاک ۰/۵۵ به دست آمد که مقدار آن برابر ۸/۸ اسب بخار بود. توان مورد نیاز درام‌های پاشش شامل توان لازم برای چرخش بدون بار درام و توان لازم برای پرتاب کود می‌باشد که در بازه سرعت ۴۵۰ تا ۹۵۰ دور بر دقیقه محاسبه شد (شکل ۸- ب). نتایج نشان داد که افزایش سرعت دورانی درام‌های پاشش موجب افزایش توان مصرفی آن‌ها می‌شود. همچنین به دلیل سرعت نسبتاً بالای درام‌های پاشش نسبت به هلیس، توان چرخش آزاد آن بیشتر است.



شکل ۸- الف) رابطه بین سرعت دورانی هلیس و توان مورد نیاز، ب) رابطه بین سرعت دورانی درام و توان مورد نیاز



شکل ۹- رابطه بین افت توان در سیستم انتقال توان ماشین کودپاش هلیسی و سرعت دورانی محور PTO تراکتور



شکل ۱۰- الف) توان دورانی مورد نیاز ماشین در سرعت دورانی مختلف PTO تراکتور، ب) توان کششی ماشین در سرعت‌های مختلف تراکتور

### نتیجه‌گیری

محاسبه شد. بیشترین مقدار توان کششی ماشین در بازه سرعت ۸ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت برابر ۱۸/۴۵ اسب بخار بود. نتایج به دست آمده برای توان‌های کششی و دورانی ماشین نشان داد که برای تامین توان آن می‌توان از تراکتورهای مرسوم در کشور مانند مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ استفاده کرد.

### سپاسگزاری

این پژوهش به سفارش شرکت مهرگان ماشین ایرانیان و با حمایت‌های مالی این شرکت و همچنین همکاری معاونت علمی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی طرح پژوهشی- کاربردی به شماره (۵۰۱-۰۱-۹۲) اجرا شد که بدین‌وسیله از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

در این پژوهش طراحی و ساخت ماشین کودپاش دوطرفه هلیسی ارائه شد که توانایی پخش کود با رطوبت‌های مختلف را دارد. حجم مخزن آن ۶ متر مکعب بود و میزان نرخ پاشش کود توسط ماشین در بازه ۰/۲۲ تا ۰/۷۳ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شد. برای جلوگیری از چسبیدن کود به دیواره مخزن، شیب دیواره آن ۴۵ درجه در نظر گرفته شد. واحد انتقال کود از دو هلیس تشکیل شده که در کف مخزن قرار دارند و کود را به وسط ماشین انتقال می‌دهند. واحد پاشش ماشین از دو درام مارپیچی تشکیل شده که کود را از دو طرف مخزن در سطح مزرعه پخش می‌نماید. نتایج نشان داد که در سرعت ۸۱۰ دور بر دقیقه درام‌های پاشش، عرض پاشش ماشین حدود ۱۴ متر است. بیشترین مقدار توان مورد نیاز PTO برابر ۳۴/۲ اسب بخار

### REFERENCES

Adeleye, E. O., Ayeni, L. S. and Ojeniyi, S. O. (2010). Effect of Poultry Manure on Soil Physico-Chemical Properties, Leaf Nutrient Contents and

Yield of Yam (*Dioscorea Rotundata*) on Alfisol in Southwestern Nigeria. *Journal of American Science*, 6(10), 871-878.



- ANSI Standards, Transmission Roller Chains and Sprocket Teeth.(1975). ANSI, B29.1.
- ASAE Standards, Agricultural Machinery Management Data. (2000). Joseph, MI: ASAE, D497. 4.
- County, V. F. W. (1971).U.S. Patent No. 3,602,404. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 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*, 48(5), 1389-1404.
- Fares, A., Abbas, F., Ahmad, A., Deenik, J. L. and Safeeq, M. (2008). Response of Selected Soil Physical and Hydrologic Properties to Manure Amendment Rates, Levels, and Types. *Soil Science*, 173(8), 522-533.
- Goering, C. E. (1992). Engine and tractor power (3rd ed.). American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- Johnson, R. A. (1940). U.S. Patent No. 2,202,858. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Lague, C., Landry, H., and Roberge, M. (2005). Engineering of land application systems for livestock manure: A Review. *Canadian Biosystems Engineering*, 47 (6).
- Li, S. T. and Liu, R. L. (2006). Establishment and Evaluation for Maximum Permissible Concentrations of Heavy Metals in Biosolid Wastes as Organic Manure. *Journal of Agro-Environment Science*, 25, 777-782.
- Mansouri-Rad, D. (2009). Farm Machinery and Tractors. (15th ed.). Bu-Ali Sina University. (Chapter 19). (In Farsi)
- Meyer, D. A., and Meyer, L. (1996). U.S. Patent No. 5,501,404. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Peeters, K. J., Wilke, G. L., and Landon, G. L. (2011).U.S. Patent No. 7,871,024. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Popa, L., Pirna, I., Nedelcu, A., and Ciuperca, R. (2009). Spreading Machine of 5 Tons Capacity, MG-5. *Research Journal of Agricultural Science*, 41(2), 489-493.
- Richard, G. B., and Keith, J. B. (2011). Shigley's mechanical engineering design. Tata McGraw-Hill Education. (Chapter 17)
- Ross, E. P. (1905). U.S. Patent No. 787,401. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Sadin, A., Aghkhani, M. H., and Abbaspourfard, M. H. (2009). Design of manure gathering machine. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(1), 194-202. (In Farsi)
- Savci, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia*, 1, 287-292.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., and Rohrbach, R. P. (2006). Engineering principles of agricultural machines. (2nd ed.). American society of agricultural engineers.
- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. (2011). Effect of Cow Manure Biochar on Maize Productivity Under Sandy Soil Condition. *Soil use and management*, 27(2), 205-212.
- Whitely, W. N., and Whitely Jr, W. N. (1911). U.S. Patent No. 982,330. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.