ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

طرح ماشین جمع آوری سیب زمینی بخش دوم:
بهینه‌سازی هد و الحاق مکانیزم جداکننده سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی

مینا صالحی[۱]، رضا علیمردانی[۲]، علی رجبی‌پور[۲]
۱ و ۲ – به ترتیب دانش‌آموخته، دانشیار گروه مهندسی ماشین‌ها کشاورزی دانشگاه تهران دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

چکیده:

سیب‌زمینی از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه و تأمین امنیت غذایی مردم جهان دارد. ویژگی‌های زراعی و تغذیه‌ای سیب‌زمینی باعث شده است این محصول بتواند مقام چهارم را از نظر میزان تولید در جهان بعد از برنج، گندم و ذرت به خود اختصاص دهد. با توجه به سطح زیر کشت سیب‌زمینی در کشور ما (پنج میلیون و ۲۴۰ هزار تن سیب‌زمینی در سال ۲۰۰۷) و تناژ بالای سیب‌زمینی در هکتار، نیاز به نیروی انسانی زیاد در صورت عدم مکانیزاسیون گریز ناپذیر است. عموماً در فصل برداشت کشاورزان با کمبود نیرو و هزینه بالای کارگری مواجه هستند. ماشین‌های موجود خارجی به دلایلی از جمله سنگلاخی و کلوخی بودن بافت خاک‌های کشور، بالا بودن هزینهٔ اولیه خرید دستگاه، پیچیده و پرهزینه بودن تعمیر ونگهداری آن‌ها و نیز توان بالای مورد نیاز این دستگاه‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. به همین دلایل برداشت در کشور به صورت دستی انجام می‌گیرد. در این تحقیق به بهینه‌سازی و ارتقای دستگاه بومی جمع‌آوری سیب‌زمینی که در سال ۸۷ توسط عادلخانی در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران ساخته شده، پرداخته شده است که نگهداری و کار با آن آسان بوده و حداکثر بازدهی و حداقل قیمت و هزینه را دربرداشته و متناسب با شرایط سنگلاخی و بافت کلوخی خاک‌های ایران می‌باشد. مکانیزم تسمهٔ آج‌دار برای جداکردن سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی به دستگاه ساخته شده اضافه شد که در آن با استفاده از تفاوت در چگالی، ضریب اصطکاک و شکل ظاهری بین سنگ و کلوخ و سیب‌زمینی، عمل جدایش مواد زائد انجام می‌گیرد. هم‌چنین با جایگزینی مکانیزم نقالهٔ بردارنده به جای مکانیزم چرخ و فلکی در قسمت هد دستگاه عمل جمع‌آوری سیب‌زمینی کامل‌تر و آسیب‌دیدگی سیب‌زمینی‌ها کمتر شد.

کلمات کلیدی: سیب‌زمینی، بهینه‌سازی، تسمهٔ آج‌دار، نقالهٔ بردارنده

۱. مقدمه

کاشت، داشت و برداشت سیب‌زمینی از همان اوایل شروع به کشت در زمان‌های گذشته به صورت دستی انجام می‌گرفته است. این شیوه هنوز هم در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران به دلیل سطح زیر کشت کم نیروی کارگری ارزان، نبود تکنولوژی مناسب و عدم آگاهی کشاورزان از کیفیت و فرهنگ مکانیزاسیون، وجود دارد [۱]. یکی از مراحل تولید سیب‌زمینی که نیاز به نیروی کاری زیاد و انجام به موقع عملیات دارد، مرحله برداشت محصول است. با وجود اینکه، کوتاهی در هر یک از عملیات تولید از جمله کاشت و داشت باعث افت عملکرد و کاهش درآمد می‌شود، اما قصور در عملیات برداشت موجب بیشترین خسارت خواهد شد. از طرفی برداشت با دست زمان‌بر بوده و نیاز به نیروی کاری بسیار

زیادی دارد. میزان کار می‌تواند در اثر تکامل ماشین‌های برداشت در مقایسه با روش‌های برداشت با دست تا یک هشتم کاهش یابد و این کاهش حتی در مواردی به یک دوازدهم هم می‌رسد [۲].

با توجه به این که برداشت بدون استفاده از ماشین و با کمک نیروی کارگر مستلزم صرف وقت و هزینهٔ زیاد است، طراحی و ساخت دستگاه جمع‌آوری سیب‌زمینی که متناسب با شرایط ایران باشد، گامی مؤثر در جهت مکانیزاسیون این محصول و حرکت به سمت خودکفایی کشور خواهد بود. بنابراین در این تحقیق به بهینه‌سازی هد و طراحی و الحاق مکانیزم جداکننده سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی در ماشینی پرداخته شد که سازگار با فناوری و دانش فنی و توان مالی کشاورزان بوده، نگهداری و کار با آن آسان باشد، امکان ساخت و تولید آن در کشور وجود داشته باشد، حداکثر بازدهی و حداقل قیمت و هزینه را دربرداشته باشد، ظرفیت مزرعه‌ای بالا داشته باشد، تناسب لازم با ماشین‌های کاشت و برداشت (ماشین‌هایی که سیب‌زمینی را از زیر خاک درمی‌آورند) داشته باشد، به کمترین نیروی انسانی نیازمند باشد و در نهایت با انواع تراکتورهای موجود قابل استفاده باشد.

در این بخش بررسی منابع در مورد دو بخش عمده که در این تحقیق به آن پرداخته شده است، انجام می‌گیرد؛ که شامل هد بردارندهٔ محصول در دستگاه‌های سیب‌زمینی جمع‌کن و مکانیزم‌های جداکردن سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی می‌باشد.

۱-۱ هد جمع‌آوری محصول: دستگاه‌های جمع‌آوری سیب‌زمینی، محصول را از روی سطح زمین جمع‌آوری می‌کنند. برای انجام این کار این دستگاه‌ها نیاز به مکانیزمی برای جمع‌آوری محصول از روی زمین دارند. عادلخانی در سال ۸۷ پنج طرح برای این مکانیزم پیشنهاد کرد [۳].

در طرح اول تیغه به کمک پروانه غده‌ها را از روی زمین جمع می‌کند. طرح دوم تا حدودی مشابه طرح اول است با این تفاوت که در آن به‌جای پروانه، از تسمه نقاله استفاده شده است. در طرح سوم سیستم پروانه بطور کامل حذف شده و تیغه به تنهایی عمل جمع‌آوری غده‌ها را انجام می‌دهد. در طرح چهارم که ترکیبی از طرح‌های بالاست از یک نقاله و یک پروانه و یک سینی سورت یا مخزن استفاده می‌شود. در طرح پنجم از یک‌سری انگشتی برای جمع‌آوری سیب‌زمینی از روی زمین استفاده شده است.

۱-۲ مکانیزم جداکننده سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی: جدا کردن غده‌های سیب‌زمینی از مخلوط سنگ و کلوخ به این جهت یک مسأله است که هم سنگ و هم کلوخ دارای یک رشته مشخصات یکسان فیزیکی همانند سیب‌زمینی می‌باشند. تجهیزاتی که برای جدا کردن سنگ و کلوخ استفاده می‌شود ممکن است براساس یکی از موارد زیر عمل کنند:

۱- بازتاب تشعشات نور ۲- نوسان‌های صوتی ۳- قابلیت نفوذ اشعه گاما ٤- روش فتوالکتریک ٥- روش نسبی ٦- جداکردن از طریق کم شدن وزن در مایع ۷- جدا کردن براساس تفاوت مشخصات فیزیکی. اما مکانیزم‌هایی که تاکنون عملاً مورد استفاده قرار گرفته‌اند بیشتر از تفاوت‌هایی استفاده می‌کنند که در مشخصات فیزیکی توده برداشت شده از زمین وجود دارد مانند وزن مخصوص، مقاومت در اثر حجم زیاد و وزن کم، سختی، وزن و ... [۲].

در طراحی یک جداکننده سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی بایستی موارد زیر را مورد نظر قرار داد:

۱- بالاترین درصد جداسازی

۲- وارد نشدن خسارت‌های ظاهری به سیب‌زمینی از قبیل ساییدگی، ضرب‌دیدگی یا کبودی، ترک‌خوردگی، برش، سوراخ‌شدگی، ترک‌های باز شده، کنده شدن پوست و پارگی

۳- کمترین تعداد کارگر مورد نیاز [٤].

۲. مواد و روش‌ها

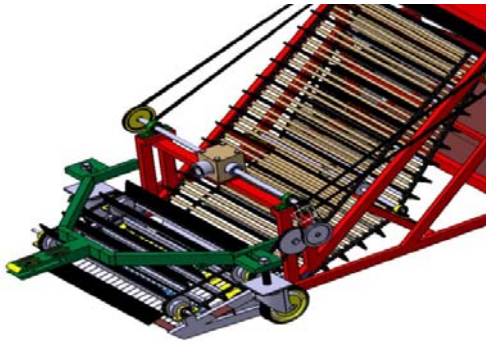
در این تحقیق به دو دسته تغییر کلی در جهت بهینه شدن دستگاه جمع‌آوری و تخلیه سیب‌زمینی ساخته شده، پرداخته می‌شود:

۱. هد جمع‌آوری محصول: که مکانیزم قبلی آن به کلی تعویض شد.

۲. ساخت و نصب مکانیزم جداسازی سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی

۲-۱ هد جمع‌آوری محصول

طرح‌های چهارم و پنجم که در بخش پیشینهٔ تحقیق به آن‌ها اشاره شد در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران بر روی دستگاه جمع‌آوری و تخلیه سیب‌زمینی (عادلخانی، ۱۳۸۷) آزمایش شد و نتایجی مشابه با پیش‌بینی‌های انجام شده به دست آمد. از جمله معایب این دو طرح، کوتاه بودن مسیر هدایت توسط چرخ و فلک که باعث انتقال ناقص می‌گردد و هم‌چنین طرح پنجم باعث آسیب‌زدن به سیب‌زمینی می‌گردد. بعد از بررسی‌های انجام شده طرح دوم با اندکی تغییرات و ساده‌سازی انتخاب شد (شکل ۱) که در آن نقاله هد در طول تیغه قرار گرفته و از ابتدای تیغه توده ورودی را تحویل گرفته و در انتها این توده را با کمی پاک‌سازی (عبور از روی شیارهای تیغه) تحویل نقاله بالابر می‌دهد. از ویژگی‌های مثبت این طرح می‌توان به انتقال بهتر، تعداد ضربات کمتر روی سیب‌زمینی و همین‌طور آسیب‌دیدگی کمترسیب‌زمینی (به دلیل فاصله کمتر پره‌ها و نیز برخورد تقریباً افقی پره‌ها با سیب‌زمینی در ابتدای مسیر) و نیز کمتر شدن توده خاک انتقال یافته به نقاله بالابر اشاره کرد. نتایج حاصل از تست مزرعه‌ای هد که در بخش بعد به آن اشاره می‌شود هم مؤید این موضوع می‌باشد.



شکل۱: شکل شماتیک نقاله هد و نقاله بالابر

هد شامل دو بخش است که توأماً باعث انتقال سیب‌زمینی به نقالهٔ بالابر دستگاه می‌شود: الف. تیغه؛ ب. نقاله. نقاله سیب‌زمینی‌ها را به روی تیغه هدایت می‌کند تا به نقالهٔ بالابر دستگاه برساند.

محاسبات طراحی انجام شده همگی حاکی از لحاظ ضریب اطمینان کافی برای ساخت قسمت‌های مختلف هد است که به اختصار در زیر توضیح داده شده است[۱]:

۲-۱-۱ محاسبات مربوط به تعداد پره‌ها

در مورد تعداد پره‌های هد چند ویژگی باید لحاظ شود از جمله:

[۱] . در اینجا از آوردن محاسبات مربوط به خمش تسمه‌های لاستیکی هد و نیز ماکزیمم تغییر مکان (خیز) در نبشی‌های هد به علت ناچیز بودن؛ و نیز بیان محاسبات مربوط به محور و یاتاقان‌ها صرفنظر می‌شود.

۱- نباید فاصله پره‌ها از هم زیاد باشد که حجم زیاد سیب‌زمینی برای یک پره بیش‌باری ایجاد کند.

۲- فاصله بین هر پره باید از ابعاد سیب‌زمینی بزرگ بیشتر باشد تا سیب‌زمینی بین دو پره قرار نگیرد.

بنابراین طراحی هد باید بر مبنای سیب‌زمینی‌های بزرگ باشد. اگر فرض شود یک سیب‌زمینی بزرگ دارای طول ۲۰ سانتی‌متر و عرض ۱۰ سانتی‌متر باشد[۲و۳]، چون سیب‌زمینی هنگام ورود به هد جمع‌آوری دستگاه همراه با غلتیدن وارد می‌شود لذا قطر کوچک‌تر سیب‌زمینی در طول هد قرار می‌گیرد. بنابراین باید فاصله هر پره هد بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر باشد. از طرفی هم نباید فاصله بین پره‌ها به دلیلی که بیان شد زیاد باشد بنابراین همان فاصله ۱۰ سانتی‌متر اندازه پایه در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به زنجیری که برای نصب پره‌های هد در نظر گرفته شده است، فاصله سوراخ‌های روی صفحات کناری زنجیر که می‌توان پره‌ها را روی آن نصب کرد ۳۷/٤ میلی‌متر است. اگر در هر سه سوراخ یک پره نصب شود، فاصله هر پره ۱۱۲/۲ میلی‌متر خواهد شد که با توجه به توضیحات بالا مطلوب است. حال حجم ورودی سیب‌زمینی به هد دستگاه را محاسبه کرده تا اطمینان حاصل شود که هد دستگاه دچار بیش‌باری نخواهد شد:

عملکرد سیب‌زمینی در ایران در سال ۲۰۰۷ توسط سازمان خواروبار جهانی ۲۵ تن در هکتار گزارش شده است [۷]. لذا در هر متر مربع ۲/۵ کیلوگرم سیب‌زمینی وجود خواهد داشت:

$$x = \frac{25000kg \times 1m^2}{10000m^2} = 2.5 \quad kg$$

با توجه به این‌که عرض کار دستگاه یک متر است، در واحد طول نیز ۲/۵ کیلوگرم سیب‌زمینی وجود خواهد داشت؛ اگر سرعت پیشروی دستگاه یک متر بر ثانیه فرض شود:

$$2.5kg/m \times 1m/s = 2.5 \quad Kg/s$$

یعنی در هر ثانیه ۲/۵ کیلوگرم سیب‌زمینی توسط دستگاه جمع‌آوری می‌شود. متوسط جرم سیب‌زمینی رقم اگریا ۱۷۳ گرم است [۸]، بنابراین به طور متوسط ١٤ عدد سیب‌زمینی در هر ثانیه وارد دستگاه می‌شود، که با احتساب ۳۰٪ سنگ و کلوخ، چهار عدد هم سنگ و کلوخ وجود خواهد داشت.

$$\frac{2.5 \times 10^3 g}{173g} = 14.4 \approx 14$$

با توجه به توضیحات قسمت ۳-۱-۳ سرعت حرکت نقاله هد ۱/۲۷ متر بر ثانیه است، بنابراین تقریباً ۱۱ عدد پره به‌ازای ۱۸ عدد سیب‌زمینی و سنگ و کلوخ وجود خواهد داشت که نشان می‌دهد سهم هر پره به طور تقریب دو عدد سیب‌زمینی یا سنگ و کلوخ ($\frac{۱۸}{۱۱} = ۱/۶۴ \approx ۲$) خواهد شد.

$$\frac{1.27m/s \times 1000mm}{112.2mm} = 11.32 \approx 11$$

---

[۲] . ماکزیمم قطر بزرگ (Major Diameter) سیب‌زمینی رقم اگریا ۱۵۸ میلی‌متر و ماکزیمم قطر متوسط (Intermediate Diameter) آن ۸۱ میلی‌متر است [۸].

[۳] . کشت در ایران اغلب با گونه اگریا (Agria) انجام می‌شود که ۳۸٪ سطح زیر کشت ایران را به خود اختصاص داده است [۵].

با توجه به این‌که طول پره یک متر و قطر بزرگ یک سیب‌زمینی متوسط، تقریباً ۸ سانتی‌متر است؛ بنابراین با احتساب ۲۰٪ فضای خالی یک پره می‌تواند ۱۰ عدد سیب‌زمینی یا سنگ و کلوخ را در خود جای دهد که این نشان‌دهنده بالا بودن ظرفیت انتقال سیب‌زمینی توسط هد می‌باشد.

با توجه به محاسبات فوق‌الذکر در یک ثانیه که دستگاه یک متر را می‌پیماید همهٔ ۱۱ پرهٔ موجود درگیر خواهند شد. اگر حداکثر ظرفیت یک پره یعنی ۱۰ عدد سیب‌زمینی یا سنگ و کلوخ استفاده شود ۱۹/۰۳ کیلوگرم ماده در یک متر جمع‌آوری خواهد شد (جرم سنگ و کلوخ معادل جرم سیب‌زمینی در نظر گرفته شد). اگر ۳۰ درصد محصول را سنگ و کلوخ و ناخالصی فرض کرد، ۱۳/۳ کیلوگرم سیب‌زمینی جمع‌آوری خواهد شد:

$$11 \times 10 = 110$$

$$110 \times .173 = 19.03kg$$

$$0.7 \times 19.03 = 13.3kg$$

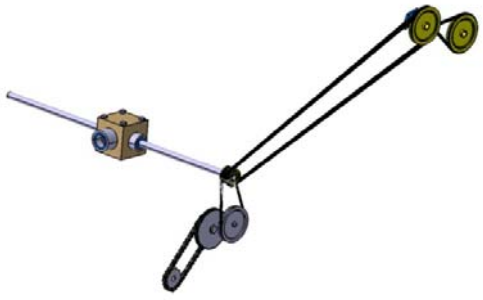
$$13.3kg \times 10000m^2 = 133000kg/ha = 133ton/ha$$

بنابراین این دستگاه تا عملکرد ۱۳۳ تن در هکتار را جوابگو خواهد بود و در بیشتر از این عملکرد دچار بیش‌باری خواهد شد.

۲-۱-۲ سیستم انتقال توان

در این دستگاه توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن نقالهٔ هد، نقالهٔ بالابر و هم چنین نقالهٔ شیب‌دار مکانیزم جداکننده، از محور توان‌دهی تراکتور تأمین می‌شود. جهت انتقال توان به قسمت‌های مختلف دستگاه از یک جعبه دنده یک‌به‌یک استفاده شده است که مسیر انتقال توان را ۹۰ درجه تغییر می‌دهد. اگر سرعت پیشروی تراکتور را یک متر بر ثانیه در نظر بگیریم، و با توجه به اینکه زاویهٔ تیغه و نقاله با افق ۱۰ درجه است و سرعت حرکت پره‌ها نسبت به مسیر حرکت باید حداقل ۱/۲۵ برابر سرعت پیشروی باشد، سرعت حرکت پره‌ها ۱/۲۷ متر بر ثانیه به دست می‌آید که معادل ۲۶۹/۵۰ دور در دقیقه است. برای انتقال توان متناسب با این سرعت از زنجیر وچرخ‌زنجیرهای متناسب استفاده شده است.

توان خروجی از محور خروجی گیربکس توسط پولی و تسمه منتقل می‌شود که استفاده از تسمه در این قسمت به این دلیل است که در صورت اعمال بار زیاد در هد (بیش باری) تسمه لغزش داشته و از صدمه دیدن قسمت‌های متحرک هد جلوگیری کند. به دلیل آن‌که جهت چرخش نقالهٔ هد در جهت حرکت چرخ‌های تراکتور است، جهت دوران محور گیربکس باید عوض شود و لذا از دوچرخ‌دنده درگیر نیز استفاده شده است.



شکل ۲: نمای کامل مکانیزم انتقال توان

مکانیزم نقاله بالابر به همراه انتقال توان مربوط به آن توسط عادلخانی طراحی و ساخته شده و فقط سرعت آن که در کارکرد هد تأثیر دارد مورد بررسی مجدد قرار می‌گیرد (سرعت نقالهٔ بالابر باید ۱/۲۵ برابر نقالهٔ هد دستگاه باشد)؛ بنابراین قطر پولی سر محور نقاله باید به نحوی انتخاب شود که نقاله بالابر از هماهنگی لازم با هد دستگاه برخوردار باشد.

۲-۲ مکانیزم جداکنندهٔ سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی

مکانیزمی که در این دستگاه مورد استفاده قرار گرفته است نقاله شیب‌دار با تسمه آج‌دار است، که براساس تفاوت خواص فیزیکی از جمله شکل، ضریب اصطکاک و چگالی، بین سیب‌زمینی و سنگ و کلوخ، عمل جدایش را انجام می‌دهد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی تسمه آج‌دار نصب شده روی نمونهٔ آزمایشگاهی مکانیزم تسمه‌نقاله شیب‌دار (شکل ۳)، (مصلی‌نژاد، ۱۳۸۵) سرعت و زاویه مناسب برای نقاله جداکن به‌دست آمد و براساس آن مکانیزم جداکن که شامل دو بخش عمده است برای دستگاه ساخته شد:

۱. محفظه‌ای که سیب‌زمینی‌ها را با شرایط مطلوب روی تسمه‌نقاله جداکننده می‌رساند.
۲. تسمه‌نقاله جداکننده سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی که جهت حرکت آن به سمت بالا است و سیب‌زمینی‌ها را از پایین و سنگ‌ها و کلوخ‌ها را از بالا انتقال می‌دهد.

شکل ۳: نمونه آزمایشگاهی مکانیزم جداکنندهٔ سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی(نوع تسمه‌نقاله‌ای)

۲-۲-۱ محفظه

محفظه بر روی نقالهٔ جداکننده نصب شده است و وظیفهٔ هدایت سیب‌زمینی از نقالهٔ بالابر به نقالهٔ جداکننده را به عهده دارد. در واقع برای آنکه سیب‌زمینی‌ها با شرایط مطلوب روی تسمه‌نقاله جداکننده ریخته شوند محفظه‌ای که در شکل ٤ نشان داده شده است طراحی و ساخته شد. این شرایط مطلوب عبارتند از:

۱. حداقل سرعت اولیه مواد هنگام سقوط روی تسمه نقاله، برای به حداقل رساندن تأثیر گذاری سرعت اولیه در جدایش
۲. ارتفاع سقوط سیب‌زمینی ۹ سانتی‌متر از سطح تسمه (حداقل ارتفاع برای عبور بزرگترین سیب‌زمینی)[٤]
۳. مکان سقوط روی تسمه ٤٥ سانتی‌متر از بالای نقاله (تقریباً وسط تسمه‌نقاله)

۲-۲-۲ تسمه‌نقاله

نقالهٔ جداکننده که در انتهای دستگاه نصب شده است، مخلوط سیب‌زمینی و سنگ و کلوخ را از محفظه تحویل گرفته، سنگ و کلوخ را به مزرعه یا یک مخزن سنگ و کلوخ برمی‌گرداند و سیب‌زمینی را به قسمت کیسه‌کن تحویل می‌دهد. باید

[٤] . ماکزیمم قطر متوسط برای رقم اگریا ۸۱ میلی‌متر است [۸].

توجه داشت که ارتفاع انتهایی نقالهٔ جداکننده به حدی باشد که قسمت کیسه‌کن بتواند عمل کیسه کردن را به نحو صحیح انجام دهد. زاویهٔ نصب نقالهٔ جداکننده نیز باید با توجه به شرایط مزرعه قابل تغییر باشد.

شکل ٤ : مکانیزم جداکننده تسمه‌نقاله‌ای

توان مورد نیاز مکانیزم جداکننده از تسمه‌نقاله بالابر فراهم می‌شود و جهت دوران تسمه‌نقاله جداکننده درست عکس دوران بالابر است، به همین دلیل باید به‌نحوی جهت دوران را معکوس نمود. برای این کار می‌توان از دو چرخ‌دنده درگیر استفاده کرد. هم‌چنین می‌توان از انتقال توان تسمه‌ای به صورت ضربدری (تسمهٔ متقاطع) استفاده نمود. البته روش اول منطقی‌تر به نظر می‌رسد ولی برای استفاده از چرخ دنده به دلیل فاصله زیاد دو محور باید دو چرخ دنده بزرگ انتخاب شود که در این دستگاه به منظور سادگی از مکانیزم انتقال توان تسمه‌ای استفاده شد. قطر پولی‌ها با در نظر گرفتن سرعت مطلوب ۱۰۰ دور در دقیقه(که در بخش چهار از نتایج تحلیل‌ها حاصل شده است) محاسبه و نصب گردیده است.

۲-۲-۳ روش آزمون

ابتدا تسمه مورد نظر روی نمونه آزمایشگاهی نصب شد. برای انجام آزمون‌های مورد نظر ابتدا بایستی مخلوطی از سیب‌زمینی و سنگ کلوخ تهیه شده و پس از راه اندازی دستگاه، این مخلوط را روی تسمه‌نقاله ریخته و میزان جدایش سیب‌زمینی از سنگ و کلوخ اندازه‌گیری کرد. با این روش سیب‌زمینی به علت شکل منظم، چگالی و ضریب اصطکاک کمتر، بر روی تسمه غلتیده و به طرف پایین حرکت کرده، در حالی که سنگ و کلوخ به دلیل شکل نامنظم، چگالی و ضریب اصطکاک بیشتر، بر روی تسمه باقی مانده و به طرف بالا حرکت می‌کند. با بررسی روش‌های مشابه و انجام آزمایش‌های اولیه پنج دور ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۰۰ دور در دقیقه و سه زاویه ۱۲، ۱۵ و ۱۷ درجه مناسب تشخیص داده شد. در این آزمایش‌ها از سیب‌زمینی رقم اگریا استفاده شده، سنگ و کلوخ نیز از زمین کشاورزی مجاور گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران جمع‌آوری گردید.

با فرض اینکه ۳۰ درصد محصول سنگ و کلوخ باشد ١٤ عدد سیب‌زمینی و چهار عدد سنگ و کلوخ در اندازه‌ها و اشکال مختلف و به صورت تصادفی انتخاب شده و توسط سینی روی دستگاه ریخته می‌شود که با توجه به دستگاه اصلی محل تغذیه در فاصله نه سانتی‌متری از سطح تسمه و ٤٥ سانتی‌متری از بالای نقاله می‌باشد. برای دوران استوانه از یک موتور که به محور استوانه کوپل شده و برای تغییر دور از اینورتور استفاده شده است. هم‌چنین تنظیم شیب به وسیلهٔ جرثقیل به همراه پیچ‌های تثبیت شیب، انجام؛ و برای اندازه‌گیری زاویه تسمه، که نسبت به سطح افق اهمیت دارد، از یک زاویه‌سنج استفاده می‌شود.

به عنوان مقیاس اندازه‌گیری برای تعیین کیفیت کار قسمت‌های جداکننده، عموماً از عدد شاخص دقت در جداکردن استفاده می‌شود. این عدد، نسبت رقمی یا وزنی سنگ و کلوخ و نیز سیب‌زمینی جدا شده را به جمع مقدار این قسمت‌ها در توده جدا شده نشان می‌دهد [۲]:

$$\eta = 1 - \frac{Z_n + K_n}{Z_c + K_c} \times 100 = \frac{Z_d + K_d}{Z_c + K_c} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن: Z_c = جمع مقدار سیب‌زمینی (K_c سنگ و کلوخ) در توده برداشته شده از زمین

Z_n = مقدار سیب‌زمینی (K_n سنگ و کلوخ) که به وسیله قسمت جداکننده به طور صحیح هدایت نمی‌شود.

Z_d = مقدار سیب‌زمینی (K_d سنگ و کلوخ) که بدون نقص جدا شده است.

اساساً اندازه η با درصد بیان می‌شود چون این عدد شاخص برای تخمین تعداد کارگر برای تکمیل کار جدا کردن لازم می‌باشد [۲].

برای تشریح دقیق کار یک جداکننده، علاوه بر عدد شاخص دقت در جداکردن، می‌توان از اعدادی استفاده نمود که دقت جدا کردن را به طور جداگانه برای سیب‌زمینی (η_z)، و نیز برای سنگ و کلوخ (η_k) نشان می‌دهند [۲].

$$\eta_z = \frac{Z_d}{Z_c} \times 100 \qquad (۲)$$

$$\eta_k = \frac{K_d}{K_c} \times 100 \qquad (۳)$$

η_z= دقت جدایش سیب‌زمینی به درصد ، η_k= دقت جدایش سنگ و کلوخ به درصد، Z_c = جمع مقدار سیب‌زمینی (K_c سنگ و کلوخ) در توده برداشته شده از زمین ، Z_d= مقدار سیب‌زمینی (K_d سنگ و کلوخ) که بدون نقص جدا شده است.

۳. نتایج و بحث:

۳-۱ نتایج حاصل از آزمایش مخلوط سیب‌زمینی و سنگ و کلوخ

داده‌ها براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با استفاده از نرم افزار SPSS۱۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌های اولیه، آزمون‌های اصلی در پنج سطح سرعت و سه سطح زاویه و پنج تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت و زاویه برای دقت جداسازی سیب‌زمینی در جدول ۱ و برای دقت جدایش کل در جدول ۲ براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. در مورد درصد جداسازی سنگ و کلوخ (به دلیل معنی‌دار نشدن اثر متقابل[۵])، مقایسه دانکن برای اثرات مستقل سرعت و زاویه (جداول ۳ و ٤) انجام گرفت؛ از آنجا که در این مکانیزم سیب‌زمینی‌ها به پایین دستگاه می‌غلتند لذا هر چه زاویه بیشتر باشد برای سیب‌زمینی‌ها مناسب‌تر است؛ و به عکس چون سنگ‌ها و کلوخ‌ها رو به بالا می‌روند هر چه شیب دستگاه کمتر باشد بهتر است چون کمتر به پایین سقوط می‌کنند. اما در مورد سرعت عکس این امر اتفاق می‌افتد یعنی هر چه دور تسمه‌نقاله کمتر باشد برای سیب‌زمینی‌ها شرایط بهتری را فراهم می‌کند چون حرکت تسمه رو به

[۵] . از آوردن جداول تجزیه واریانس صرفنظر شده است.

بـالاست لذا سرعت نسبـی سیب‌زمـینی‌ها در این حالت کمتر از حالتی است که تسمه با سرعت بالا حرکت می‌کند؛ اما به عکس هـر چه سرعت تسمه نقاله بیشتـر باشد سنـگ‌ها و کلـوخ‌ها بیشتر به بـالای تسـمه مـی‌رسـند (ایـن امـر در جداول مقایسه میانگین به وضوح به چشم می‌خورد).

باتوجه به مجموع تحلیل‌ها و جداول مقایسه میانگین، بهتـرین تیمار ۱۰۰-۱۲ می‌باشد که البته این نتایج در آزمون آزمایشگاهی به‌دست آمد و در آزمون مزرعه‌ای با توجه به تغییر برخی از عوامل (ارتعاشات حرکت دستگاه و ...) ممکن است در این تیمارها تغییراتی حاصل شود.

جدول ۱: مقایسه میانگین درصد جدایش سیب‌زمینی حاصل از ترکیب عامل سرعت و زاویه یا اثر متقابل سرعت و زاویه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ ٪

تیمار	تکرار	کلاس			
		۱	۲	۳	٤
۲۰۰-۱۲	۵	۵۲			
۱۸۰-۱۲	۵	٦۲			
۱۵۰-۱۲	۵	٦٦			
۲۰۰-۱۵	۵		۸۰		
۱۸۰-۱۵	۵		۸۲	۸۲	
۱۸۰-۱۷	۵		۹۲	۹۲	۹۲
۱۲۰-۱۲	۵		۹٤	۹٤	۹٤
۲۰۰-۱۷	۵		۹٤	۹٤	۹٤
۱۰۰-۱۲	۵			۹٦	۹٦
۱۵۰-۱۵	۵			۹٦	۹٦
۱۵۰-۱۷	۵			۹٦	۹٦
۱۰۰-۱۷	۵				۹۸
۱۲۰-۱۵	۵				۹۸
۱۲۰-۱۷	۵				۹۸
۱۰۰-۱۵	۵				۱۰۰

جدول ۲: مقایسه میانگین درصد جداسازی کل حاصل از اثر متقابل سرعت و زاویه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ ٪

تیمار	تکرار	کلاس			
		۱	۲	۳	٤
۲۰۰-۱۲	۵	٦۱/٤۳			
۱۸۰-۱۲	۵	۷۰/۰۰	۷۰/۰۰		
۱۵۰-۱۲	۵		۷۲/۸٦	۷۲/۸٦	
۲۰۰-۱۵	۵			۸۱/٤۳	۸۱/٤۳
۱۲۰-۱۷	۵			۸۱/٤۳	۸۱/٤۳
۱۸۰-۱۵	۵			۸۱/٤۳	۸۱/٤۳
۱۸۰-۱۷	۵			۸۲/۸٦	۸۲/۸٦
۱۵۰-۱۷	۵			۸۲/۸٦	۸۲/۸٦
۱۰۰-۱۷	۵			۸٤/۲۸	۸٤/۲۸

۱۷–۲۰۰	۵			۸٤/۲۸	۸٤/۲۸
۱۲–۱۲۰	۵				۸۵/۷۱
۱۵–۱۰۰	۵				۸۵/۷۱
۱۲–۱۰۰	۵				۸۸/۵۷
۱۵–۱۲۰	۵				۹۰/۰۰
۱۵–۱۵۰	۵				۹۱/٤۳

جدول ۳: مقایسه میانگین درصد جدایش سنگ و کلوخ در سطوح مختلف سرعت براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪

سرعت(rpm)	کلاس		
	۱	۲	۳
۱۰۰	۵٦/٦۷		
۱۲۰	۵۸/۳۳	۵۸/۳۳	
۱۵۰		۷۳/۳۳	۷۳/۳۳
۱۸۰			۷٦/٦۷
۲۰۰			۷٦/٦۷

جدول ٤: مقایسه میانگین درصد جدایش سنگ و کلوخ در سطوح مختلف زاویه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪

زاویه(درجه)	کلاس	
	۱	۲
۱۷	۵۲/۰۰	
۱۵		۷۳/۰۰
۱۲		۸۰/۰۰

۳-۲ هد جمع‌آوری محصول

هد جمع‌آوری محصول باید دارای شرایطی باشد که از آن جمله می‌توان به ویژگی‌های زیر اشاره کرد:

۱. هد باید حداکثر سیب‌زمینی‌ها را با کمترین آسیب‌دیدگی از سطح خاک جمع‌آوری کند.

۲. هد باید دارای مکانیزم تغییر زاویه بوده تا براساس شرایط مزرعه، زاویه هد تغییر کند؛ زیرا تیغه باید روی سطح خاک و زیر غده‌ها حرکت کند و حتی‌الامکان کمترین میزان خاک را بالا ببرد.

۳. هد باید در مسیر انتقال سیب‌زمینی، خاک را از سیب‌زمینی جدا کرده، به زمین برگرداند و کمترین خاک را به تسمه بالابر انتقال دهد.

٤. هد باید در شرایط بیش‌باری متوقف شده تا از آسیب‌رسیدن به قسمت‌های مختلف دستگاه جلوگیری شود. در آزمون مزرعه‌ای هد، این موارد مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای آزمون عملکرد دستگاه، ابتدا دستگاه از طریق گاردان به پی‌تی‌او تراکتور متصل شد و به مدت حدود یک ساعت دستگاه بدون وقفه و به صورت درجا با دور ٥٤٠ دور در دقیقه کار کرد تا از کار دستگاه و عملکرد قسمت‌های متحرک آن اطمینان حاصل شود. نتایج این آزمون استاتیکی کاملاً رضایت‌بخش بود و مشکلی برای هیچ کدام از قسمت‌های دستگاه پیش نیامد.

پس از چند مرحله آزمون هد و برطرف ساختن مشکلات به وجود آمده، ارزیابی نهایی هد در زمین محوطه گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، با شبیه‌سازی نسبی شرایط مزرعه سیب‌زمینی انجام شد؛ به این ترتیب که جوی و پشته‌هایی درست شد (در ادامه از نواقص این کار توضیح داده خواهد شد) و سیب‌زمینی بر روی پشته‌ها ریخته شد.

برای ارزیابی عملکرد دستگاه و به صورت خاص هد جمع‌آوری محصول، فاکتور زاویه تیغه، دور پی‌تی‌او و سرعت پیشروی مؤثر شناخته شدند. شایان ذکر است داده‌برداری دقیق و تحلیل آماری از نحوه کار دستگاه، به دلیل نبودن شرایط مساعد آزمون، انجام نشد، ولی فاکتورهای زاویه تیغه، سرعت پیشروی و دور پی‌تی‌او و نیز تلفات و صدمات محصول به صورت مشاهده‌ای مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گشت:

۱. از آن‌جا که جوی و پشته‌های ایجاد شده ارتفاع لازم را همانند شرایط واقعی نداشتند با کم کردن ارتفاع چرخ جلو شرایطی فراهم شد که تیغه کمترین فاصله را با سطح زمین داشته باشد، تا تیغه قادر به نفوذ زیر سیب‌زمینی‌ها بوده و از روی غده‌ها عبور نکند.

۲. با انجام آزمون‌ها مشخص شد که زاویه تیغه باید به گونه‌ای باشد که روی سطح خاک و زیر غده‌ها حرکت کند و حداقل توان ممکن را مصرف نماید به نحوی که هم غده‌ها را تحویل نقاله بالابر دهد؛ و هم کاملاً به زیر محصول نفوذ کند و تمام سیب‌زمینی‌ها را جمع‌آوری نماید؛ و هم دچار بیش‌باری نشود. به این ترتیب زاویه مناسب بین ۱۰ تا ۱۳ درجه خواهد بود که این بازه زاویه با توجه به شرایط زمین تعریف شده است.

با توجه به زاویه اصطکاک استاتیکی سیب‌زمینی که ۳۵ درجه است [۳]، زاویه مناسب به‌دست آمده برای تیغه نشان‌دهنده این است که غده‌ها بعد از بالا آمدن روی تیغه به پایین نمی‌لغزند. تیغه نیز به دلیل اینکه در طول مسیر حرکت پره قرار دارد و به‌صورت شیاردار می‌باشد تا حد قابل‌قبولی خاک را از سنگ، کلوخ و سیب زمینی جدا می‌کند.

۳. با انجام آزمون‌ها مشخص شد که سرعت پیشروی باید در حدود یک متر بر ثانیه باشد. اگر سرعت پیشروی زیاد باشد ممکن است در اثر ورود حجم زیاد محصول هد دچار بیش‌باری شود و کم کردن سرعت نیز از ظرفیت جمع آوری دستگاه می‌کاهد.

٤. با انجام آزمون‌ها مشخص شد که محدوده مناسب دور پی‌تی‌او ٥٤٠ دور در دقیقه است. هر چه دور بالاتر می‌رود تلفات و صدمات محصول بیشتر خواهد شد. در دور پایین نیز تمام محصول جمع‌آوری نخواهد شد.

منابع:

۱. موسی‌زاده، ح. (۱۳۸٤). طراحی و روش ساخت ماشین برداشت کامل سیب‌زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. دانشکده مهندسی بیوسیستم. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی.

۲. تابش، ف. (۱۳۵۹). شناخت علمی و نظری ماشین‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. عادلخانی، ع. (۱۳۸۷). ارائه طرح و ساخت مکانیزم دستگاه جمع‌آوری و تخلیه سیب‌زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. دانشکده مهندسی بیوسیستم. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی.

٤. مصلی‌نژاد، ح. (۱۳۸۵). بررسی پارامترهای مؤثر بر جداسازی سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. دانشکده مهندسی بیوسیستم. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی.

۵. اولین خبرگزاری صنایع غذایی ایران. ۱۳۸۵/۰۷/۱۲. (www.Iranfoodnews.ir)

6. Mohsenin, N. (1986). Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach science publishers Inc.

7. www.FAO.com (Food and Agricultural Organization).

8. Tabatabaeefar, A. (2002). Size and shape of potato tubers. International Agrophysics. 16: 301-305.

Abstract

Potato is one of the tumor products that play an important role as food and providing food safety for world's population and beside rice, wheat and corn has an important role in preparing human needs in calorie and proteins. In regard to potato planting in our country (5240 thousand tons in 2007), and potato high yield per hectare, in a non-mechanized condition, one must use human labors. Generally in harvest season, farmers encounter with lack of labors and face a high labor cost too. Imported or and reversed engineering designed machines can't be used because of high percent of stones and clods in our soil, initial purchased cost, difficult and expensive maintenance and high required power. For these reasons, the harvest process of potato in Iran is not mechanized. The objective of this research was to optimize and develop a local potato collecting machine developed by adelkhani in 2008 which is easy to work with low cost of purchase suitable for our condition. On this system, a lugged strap mechanism was designed based of laboratory tests (differences in density and coefficient of friction and shape) and added to machine for separation of clods and stones. Also potato pick up conveyor mechanism was replaced by a chain reel mechanism for better picking up process and less damage to the potatoes.