

مقاله پژوهشی

توسعه یک سامانه برش محصول در ماشین برداشت سبزیجات برگی

مهدی منصوری^۱، اکبر عرب حسینی^{۲*}، محمد حسین کیان‌مهر^۳ و سید رضا حسن بیگی^۴

چکیده

ماشین برداشت گیاهان برگی با هدف بهبود بازده، کاهش آسیب محصول، کاهش نیروی انسانی و کاهش آلودگی استفاده می‌شود. در این تحقیق سامانه برش دستگاه برداشت گیاهان برگی طراحی و ساخته شد و روی سه گیاه شاهی، اسفناج و ریحان آزمایش صورت گرفت. این دستگاه شامل یک تیغه ارّه نواری است که روی دو پولی قرار می‌گیرد. پولی‌ها توسط یک نیروی محرکه به چرخش در می‌آیند. برای اتصال پولی محرک به موتور از کوپلینگ و برای جلوگیری از انحراف زاویه‌ای محور از دو یاتاقان ساچمه‌ای UCP206 استفاده شد. اتصال پولی متحرک به قاب نیز توسط یک محور و یک یاتاقان صورت گرفت که وظیفه تنظیم کشش تیغه ارّه را بر عهده دارد. کشش تیغه توسط پیچ و مهره تنظیم می‌شود. این مجموعه روی یک قاب فلزی U شکل معکوس قرار دارند و این قاب به شاسی اصلی دستگاه متصل است. چرخ‌های حامل توسط سازوکار تنظیم ارتفاع به شاسی اصلی متصل شده‌اند. برای تعیین عملکرد دستگاه، آزمایش‌ها در سه سطح سرعت خطی تیغه ۳/۷، ۵ و ۶/۳ متر بر ثانیه و سه سطح سرعت پیشروی ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت انجام شد. طراحی آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 2018 انجام شد و با روش آماری آزمایش مرکب مرکزی برای هر یک از سه گیاه، ۱۳ آزمایش طرح شد. با توجه به نتایج به دست آمده، بهینه سرعت خطی تیغه ۶/۳ متر بر ثانیه و بهترین بازه برای سرعت پیش روی، ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت به دست آمد. هم چنین از نظر کیفیت سطوح برش، ساقه‌های بریده شده توسط این دستگاه بدون لهیدگی بودند و کم‌ترین آسیب را به گیاه وارد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارّه نواری، ماشین برداشت، برش پیوسته، گیاهان برگی

ارجاع: منصوری م. عرب حسینی ا. کیان مهر م. ح. و حسن بیگی س. ر. ۱۴۰۲. توسعه یک سامانه برش محصول در ماشین برداشت سبزیجات برگی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۸: ۳۷-۴۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14072.616>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران.
۲- دانشیار گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران.
۳- استاد گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران.
۴- استاد گروه فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: ahosseini@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳

مقدمه

سبزیجات به خاطر وجود مواد معدنی، ویتامین‌ها، فیبر، سروتونین، پروتئین فراوان، منیزیم و هم‌چنین کم‌کالری بودن، برای سلامتی انسان بسیار پراهمیت هستند و در سبذ غذایی انسان‌ها جایگاه ویژه‌ای دارند. در این میان سبزیجات برگی از مهم‌ترین سبزیجات به حساب می‌آیند. این گیاهان معمولاً برگ و قسمتی از ساقه آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاریخچه کشت گیاهان طولانی است چون کشاورزی از نیازهای بسیار مهم بشر به حساب می‌آید. در این میان منابع انسانی هم نقش مهمی در تولیدات کشاورزی دارند و از طرفی هزینه منابع انسانی به خاطر افزایش مساحت زیرکشت و کمبود کارگر زیاد می‌شود (Olowojola *et al.*, 2011). از جمله این گیاهان می‌توان به نعناع، نعناع فلفلی، انواع اسفناج، رزماری، تربچه آبی، جعفری و گیاهان برگی کوتاه سالادی اشاره کرد.

طبق اطلاعات استخراج شده از آمارنامه کشاورزی ایران در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹، سطح زیرکشت محصولات زراعی در ایران حدود ۱۲/۱۹۲ میلیون هکتار و سطح زیرکشت مربوط به سبزیجات حدود ۴/۶ درصد بوده است. میزان تولید سبزیجات حدوداً برابر با ۲۰/۹ میلیون تن است. هرچند که آمار تفکیک شده‌ای از سطح زیرکشت محصولات مانند گیاهان برگی و خصوصاً سه محصول اسفناج، ریحان و شاهی که گیاهان مورد نظر در این پژوهش هستند در دسترس نیست، ولی در دسته‌بندی باغبانی نیز این آمارنامه در بخش مجموع سبزی و صیفی گلخانه‌ای کل کشور به سطح زیرکشت نزدیک به ۱۳ هزار هکتار و میزان تولید حدود سه میلیون تن در این سال زراعی اشاره شده است (بی‌نام، ۱۴۰۰).

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در زنجیره تولید فرآورده‌های گیاهی، دستگاه‌های برداشت هستند. این دستگاه‌ها وظایف بریدن، انتقال، تمیزکردن، دسته‌بندی و بسته‌بندی کردن را بر عهده دارند. در دستگاه‌های برداشت برای برش ساقه محصول از سامانه‌های مختلفی استفاده می‌شود که اساس کار آنها بر دو اصل ضربه‌زدن و قیچی‌کردن استوار است. سازوکارهای ضربه‌ای با واردکردن ضربه با سرعت بالای یک لبه برنده و تیز به گیاه باعث برش ساقه گیاه شده و در سازوکارهای قیچی با قرار دادن گیاه میان دو لبه تیز که حداقل یکی از آن‌ها متحرک است، ساقه را

بریده و از گیاه جدا می‌کنند. بر این اساس دروگرهای موجود به دو دسته دوار و شانه‌ای تقسیم می‌شوند. در دروگرهای شانه‌ای نیروی برشی از طریق دو جسم برنده که در خلاف جهت یکدیگر حرکت می‌کنند، بر ساقه‌ها وارد می‌شود و می‌توان آن را به برش دستی با قیچی تشبیه کرد و در دروگرهای دوار، نیروی ضربه‌ای به وسیله برخورد یک تیغه با سرعت زیاد به ساقه گیاه شکل می‌گیرد که این همان اتفاقی است که در هنگام برداشت دستی با داس نیز می‌افتد (Mansouri Rad, 1993).

برش به مجزا کردن بخشی از یک ماده به دو قسمت و در محل از قبل تعیین شده، بدون خردشدن، له‌شدن و تکه‌شدن می‌گویند. فرایند برش در گیاهانی که دارای بافت سلولی هستند بسیار پیچیده است. این فرایند هنوز با جزئیات شناخته نشده ولی چندین فرضیه وجود دارد. انواع مختلفی از رفتار مواد در فرایند برش از اولین لحظه برخورد تیغه تا هنگامی که ماده کاملاً به دو قسمت مجزا تقسیم شده، مشاهده شده است. دانستن انواع مختلف برش به طراح کمک می‌کند تا از فرایندی استفاده نماید که بیش‌ترین تأثیر و کم‌ترین نیرو و انرژی را مصرف می‌کند (Persson, 1987).

علاوه بر تفاوت در سطح انرژی و نیروی استفاده شده در روش‌های مختلف برش، آسیب‌های متفاوتی نیز در صورت عدم شناخت تنش‌های وارد شده به محصولات مختلف، پدید می‌آید. برخی از روش‌های برش، سبب برش در فاصله قابل توجهی از محل برش مطلوب می‌شوند و برای کاهش این خطا باید برش متناسب با مواد مورد نظر انتخاب شوند. فرایند برش در اکثر مواقع زمانی شروع می‌شود که تیغه برش، اولین برخورد را با ساقه دارد. در ادامه حرکت تیغه، تنش و نیروی تماسی افزایش یافته و الگوی تنش در داخل ماده یا ساقه گیاه شکل می‌گیرد تا زمانی که شرایط شکست فراهم شود و تا زمانی که بخش مورد نظر کاملاً از هم جدا نشود این فرایند ادامه دارد.

از عوامل تأثیرگذار در برش مؤثر می‌توان به نوع و شرایط مواد برش، زاویه تیغه، شعاع لبه تیغه، پیکربندی لبه تیغه، نوع ضد تیغه، اندازه و نقطه اتکای گیرنده یا نیروی نگهدارنده، سرعت تیغه، زاویه و ضخامت ماده تحت برش اشاره کرد (Persson, 1987). سرعت پیشروی یکی از عوامل بسیار مهم در بهبود عملکرد دستگاه است، چون هرچه سرعت پیشروی بیش‌تر باشد میزان برداشت بر

در بیش‌تر منابع علمی حرکت عمده سامانه‌های برش با سازوکار رفت و برگشتی عمدتاً به صورت لنگ و لغزنده هستند که قسمت لنگ به وسیله یک میله اتصال به قسمت لغزنده متصل شده و وظیفه انتقال نیرو و تبدیل حرکت دورانی به حرکت خطی را برعهده دارد (Yang et al., 2018).

ساخت دستگاه برای برداشت گیاهان برگی دارای سختی و پیچیدگی‌های فراوانی است. از معایب دستگاه‌هایی که توسط تراکتور به‌کار گرفته می‌شوند و یا دستگاه‌هایی که به صورت خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به هزینه زیاد تعمیر و نگهداری، آسیب زدن زیاد به گیاه به هنگام برداشت، نیاز به قدرت زیاد موتور و همچنین گران بودن آن اشاره کرد. بنابراین نیاز به ساخت دستگاه‌های برداشت که این مشکلات را نداشته باشد محسوس است. لذا هدف از پژوهش حاضر آن است که یک سامانه برش مناسب برای دستگاه برداشت سبزیجات برگی طراحی و ساخته شود و با توجه به نوع برش که از تیغه ارّه نواری با برش پیوسته استفاده می‌شود، انتظار می‌رود در زمان برداشت گیاهان برگی، برش ساقه بدون آسیب و با کم‌ترین کوبیدگی و پارگی در ساقه گیاه باشد. همچنین نیاز به نیروی انسانی در زمان برداشت کاهش یافته و امکان برداشت گیاهان مختلف و در ارتفاع‌های متفاوت فراهم شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بخشی از یک پروژه اصلی مربوط به ساخت دستگاه برداشت گیاهان برگی است که دو بخش کلی سامانه برش و سامانه انتقال و جمع‌آوری محصول را شامل می‌شود. این دو بخش در نهایت به یکدیگر متصل شده و یک ماشین برداشت سبزیجات برگی را تشکیل می‌دهند. نمونه اولیه دستگاه با طول ۲۰۰۰ میلی‌متر و عرض کار ۵۰۰ میلی‌متر طراحی شد. این بخش مربوط به سامانه برش گیاهان برگی است. در سازوکار دستگاه برداشت گیاهان برگی مورد بحث در این پژوهش از سازوکار ارّه نواری و دو پولی استفاده شد. بر اساس طرح اولیه، سامانه برش شامل یک تیغه ارّه نواری است که بر روی دو پولی قرار داده شد. یکی از این پولی‌ها نقش محرک و دیگری نقش متحرک را دارند و تیغه را به صورت پیوسته به حرکت درمی‌آورند و فرآیند برش را

حسب ساعت نیز بالا می‌رود و از لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود و از طرف دیگر اگر سرعت پیشروی از حالت بهینه بالاتر برود ممکن است میزان ریزش محصول بیش‌تر شود و در نتیجه موجب کاهش بازده شود. همچنین به‌دست آوردن سرعت بهینه پیشروی و سرعت بهینه خطی تیغه برش از آن جهت مورد اهمیت است که اگر خیلی پایین باشد گیاه بریده نمی‌شود و یا له شده و آسیب می‌بیند و از بازار پسندی آن کم می‌شود و اگر خیلی زیاد باشد مصرف انرژی را افزایش داده و بهینه بودن مصرف انرژی را تحت الشعاع قرار می‌دهد و یا حتی ممکن است گیاه را به یک سمت پرتاب کند و میزان برداشت و بازده محصول افت کند.

در تحقیقی، یک ماشین برداشت پیوسته اسفناج طراحی شد. این ماشین شامل سازوکار نگه‌دارنده، گیر انداختن گیاه و برش بود. مراحل عملکرد این دستگاه به ترتیب شامل حرکت رو به جلو، نگه داشتن گیاه به وسیله سازوکاری در بین دو بازو، برش محصول و انتقال محصول بریده شده با استفاده از یک نوار انتقال به سبد جمع‌آوری بود. مزیت این دستگاه ساختار فشرده، عملکرد کامل و تطبیق پذیری قوی آن است. نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که میزان موفقیت این دستگاه ۹۵ درصد و میزان آسیب‌رسانی آن ۵ درصد است. این دستگاه با متغیرهای عملیاتی و زراعی مانند سرعت تیغه، سرعت پیشروی و ارتفاع گیاه، مورد آزمایش قرار گرفت. با کاهش سرعت پیشروی، ظرفیت مزرعه‌ای افزایش یافت و میزان بهره‌وری به ۹۲ درصد رسید (Song et al., 2018).

در تحقیقی دیگر، ماشین برداشت آمارانتوس طراحی و ساخته شد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. اجزاء اصلی دستگاه شامل واحد برداشت (سازوکار دروگر رفت و برگشتی)، سازوکار لنگ و لغزنده، چرخ و فلک، محفظه ذخیره و شاسی بود. بعد از عمل برش، گیاهان بریده شده بر روی نقاله با زاویه مناسب قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که کارایی بهینه این دستگاه در سرعت پیشروی ۳/۲۷ کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی قسمت لنگ تیغه ۴۴۷ دور بر دقیقه به دست آمد. ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۲۷ هکتار بر ساعت و ضریب بهره‌وری ۹۲ درصد بود. عملکرد این دستگاه با این شرایط برابر با کار تعداد ۳۰ الی ۴۰ کارگر در روز برای برداشت کاملاً دستی است (Olowojola et al., 2011).

همچنین با احتساب شعاع پولی‌ها و قرار دادن عامل‌ها در معادله (۱) طول تیغه تعیین شد. ابتدا قطر پولی با توجه به ارتفاع بوته‌ها، و سپس طول تیغه بر اساس عرض کار دستگاه و قطر پولی‌ها تعیین شد. فاصله لبه پائین تیغه تا زمین، ارتفاع برش را مشخص می‌کند و ارتفاع لبه بالایی تیغه بیشینه ارتفاع بوته برای به کارگیری این نوع دستگاه را مشخص می‌کند چون اگر ارتفاع بوته بیش از لبه بالایی باشد، برش گیاه در دو ارتفاع انجام می‌شود. جنس و نوع تیغه با مشورت متخصصین صنعتی انتخاب شد.

$$L = (R_1\pi) + (R_2\pi) + (2C) \quad (1)$$

که در این معادله L طول تیغه، R_1 و R_2 شعاع پولی‌ها و C فاصله مرکز تا مرکز پولی‌ها است.

با توجه به شکل کلی دستگاه و به منظور کاهش خطای احتمالی در فرآیند ساخت، از دو پولی استفاده شد (شکل ۲). دو عامل قطر و عرض پولی در طراحی و انتخاب پولی مهم است، زیرا قطر پولی در تعیین ارتفاع برش نقش مؤثری دارد. با افزایش قطر پولی‌ها فاصله بالا و پایین تیغه نیز افزایش می‌یابد و لذا محدوده ارتفاع برش نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه ارتفاع گیاه شاهی حدود ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع گیاه ریحان بین ۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع گیاه اسفناج بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است، بنابراین ارتفاع برش از میانگین ارتفاع بلندترین گیاه که ریحان است انتخاب و ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در نتیجه قطر پولی‌ها نیز ۳۰ سانتی‌متر تعیین گردید تا برخوردی میان محصول و لبه بالایی تیغه پیش نیاید.

عامل دیگر، عرض پولی‌ها است که باید متناسب با عرض تیغه انتخاب شود تا تیغه کاملاً در داخل قسمت تورفتگی پولی‌ها جای گیرد و حرکت عرضی احتمالی تیغه که منجر به از بین رفتن تعادل پولی‌ها می‌شود جلوگیری کند (شکل ۳). با توجه به عرض تیغه که ۱۵ میلی‌متر است و فضای مورد نیاز برای جلوگیری از برخورد تیغه با لبه‌های برآمده پولی‌ها که ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد، پهنای تورفتگی پولی ۲۰ میلی‌متر تعیین شد. مشخصات ااره نواری بکار رفته در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به محاسبات انجام شده و همچنین انتخاب محور ۳۰ میلی‌متر، قطر داخلی مورد نیاز برای یاتاقان‌ها نیز ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در طراحی دماغه برداشت به دو نوع بیرینگ UCT و UCP با قطر ۳۰ میلی‌متر نیاز بود.

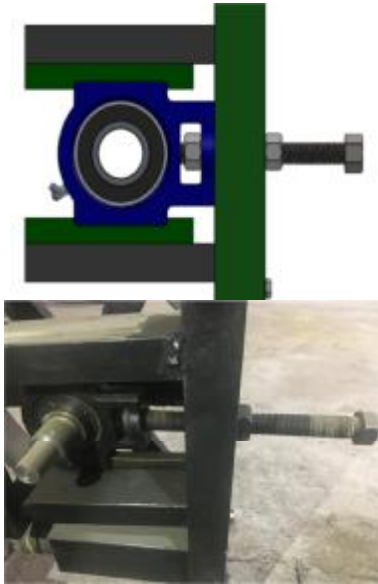
شکل می‌دهند (شکل ۱). در پولی متحرک یک سازوکار تنظیم کشش طراحی شد تا نیروی مورد نیاز برای اصطکاک بین تیغه و پولی‌ها را تضمین کند. تیغه دستگاه مورد بررسی در این پژوهش از نوع اَره نواری است و ضد تیغه‌ای وجود ندارد. عدم وجود ضد تیغه به این مفهوم است که سامانه برش از نوع برش آزاد است. گیاه پس از بریده شدن بلافاصله بر روی تسمه نقاله قرار می‌گیرد تا به محفظه‌ای که برای جمع‌آوری محصول در نظر گرفته شده انتقال یابد. وزن کلی سامانه برش و شاسی دستگاه حدوداً ۲۰۵ کیلوگرم برآورد شد که با توجه به نوع مواد مصرفی و توزین یا محاسبه، وزن هر قسمت به دست آمد.



شکل ۱- طرح اولیه کل دستگاه و سامانه برش در ماشین برداشت سبزیجات برگی

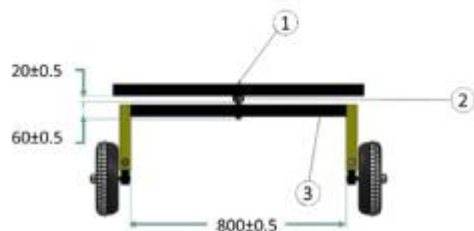
برای دستیابی به کارایی و اطمینان بیش‌تر، طراحی ماشین بر این اساس صورت گرفت که الف) دستگاه با کم‌ترین کوبیدگی و پارگی در ساقه و برگ، محصول را برداشت کند. ب) نیاز به کارگر را کاهش دهد. ج) دستگاه در مقایسه با نیروی انسانی، مقدار زیادتری از محصول را برداشت کند. د) دستگاه کاربری آسان داشته باشد تا کاربر بتواند به راحتی با آن کار کند. ه) میزان تماس انسان با محصول برداشت‌شده تا حد زیادی کاهش یابد تا از انتقال آلودگی‌ها جلوگیری شود. طراحی این دستگاه و رسم نقشه‌ها در نرم‌افزار Solidworks نسخه ۲۰۱۷ انجام شد.

برای این دستگاه از تیغه اَره نواری استفاده شد که معمولاً در صنعت برای برش چوب و فلزات و نان و گوشت و سایر مواد غذایی کاربرد زیادی دارد. این تیغه‌ها حالت فنری دارند و بین دو پولی، بسته به نوع برش و فاصله مورد نیاز قرار می‌گیرند. برای محاسبه طول تیغه، ابتدا جایگاه پولی‌ها تعیین و سپس فاصله مرکز دو پولی محاسبه شد.



شکل ۴- طرح سازوکار تنظیم کشش تیغه (نمای جانبی و تصویر واقعی)

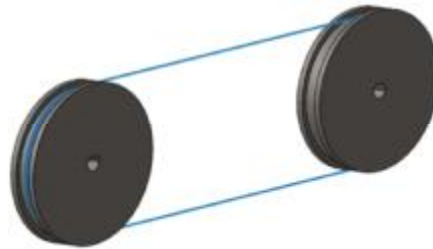
برای فرمان‌پذیری دستگاه از یک محور دو پله از جنس فولاد غیر آلیاژی S235JR (استاندارد DIN EN 10025) با دو قطر ۴۰ میلی‌متر و ۲۰ میلی‌متر (استاندارد DIN EN 1013-1) استفاده شد (شکل ۵). برای تأمین حرکت چرخشی در سازوکار، این محور در قسمت وسط و عقب شاسی و زیر آن متصل شد. همچنین یک سوراخ به اندازه قطر کوچک، در وسط یک پروفیل به طول ۸۰۰ میلی‌متر و با سطح مقطع ۴۰×۶۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر ایجاد شد، که بخش پایین محور در آن قرار می‌گرفت. تکیه‌گاه محور چرخ‌ها نیز به دو انتهای پروفیل پایین جوش داده شدند. حال دو میله خم‌کاری شده به پروفیل پایینی متصل شدند که کاربر بتواند مسیر حرکت دستگاه را کنترل نماید.



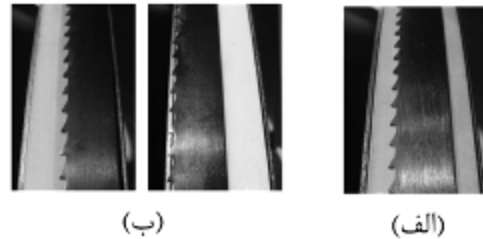
شکل ۵- سازوکار فرمان‌گیری دستگاه، (۱) شاسی دستگاه، (۲) محور فرمان‌گیری و (۳) شاسی چرخ‌ها

جدول ۱- مشخصات تیغه اره به کار رفته در سامانه برش

مشخصات تیغه	نوع یا اندازه
ضخامت	۱ میلی‌متر
گام	۲۰ میلی‌متر
عرض	۱۵ میلی‌متر
برآمدگی دندانه	۲/۵ میلی‌متر
طول تیغه	۲۶۲۰ میلی‌متر



شکل ۲- طرح پولی‌ها و تیغه طراحی شده در سامانه برش ماشین برداشت سبزیجات برگی



شکل ۳- محل و نحوه قرارگیری تیغه روی پولی الف) صحیح و ب) غلط

اره نواری ابتدا باید در حالت بدون بار و آزاد بر روی پولی‌ها قرار گرفته و سپس به آرامی فاصله دو مرکز پولی‌ها را زیاد کرد و تیغه را تحت کشش قرار داد. اگر این فاصله کم باشد، نیروی کشش نیز کم می‌شود و نیروی اصطکاک کافی برای به حرکت درآمدن تیغه به وجود نمی‌آید و اگر این فاصله خیلی زیاد شود و بار کششی بر روی تیغه زیاد شود باعث کاهش طول عمر تیغه و پاره شدن زودهنگام آن می‌شود. لذا سازوکاری طراحی و ساخته شد تا بتوان فاصله دو مرکز پولی را تغییر داد و کشش مناسب در تیغه را تنظیم کرد. اجزای این سازوکار در شکل ۴ نشان داده شده است.

چرخ‌ها و شاسی طراحی شده است امکان تنظیم ارتفاع را فراهم می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- سامانه کوپلینگ و تنظیم ارتفاع برش

شاسی دستگاه از دو قوطی آهنی با مقطع مستطیل تشکیل شده است که در جلوی آن یک قاب آهنی به شکل ناودانی قرار دارد که وظیفه نگهداری موتور و سامانه انتقال نیروی پولی‌ها را بر عهده دارد. چرخ‌ها و سازوکار تنظیم ارتفاع نیز به شاسی جوش داده شده‌اند. در شکل ۷ نمای کلی دستگاه نمایش داده شده است.



شکل ۷- نمای سامانه انتقال، کوپلینگ و تنظیم ارتفاع برش در ماشین برداشت سبزیجات برگی

در شکل ۸ سطح مقطع برش خورده در گیاه اسفناج نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود سطح مقطع برش خورده کاملاً دایره‌ای است و نشانه‌ای از لهیدگی در ساقه دیده نمی‌شود و کاملاً به صورت منظم برش انجام شده است. دستگاه ساخته شده توانست یکی از اهداف این پژوهش مبنی بر این است که آسیب بسیار اندک به گیاهان را مرتفع کند. با توجه به اینکه موتور الکتریکی با یک محور و دو یاتاقان و یک کوپلینگ به پولی محرک متصل شده است، برای تنظیم کشش مناسب تیغه از یک یاتاقان UCT206 استفاده شد، که با یک پیچ و دو مهره که یکی به شاسی و دیگری به داخل یاتاقان متصل شدند، کشش تیغه را

عامل‌های مورد ارزیابی شامل سرعت پیشروی در سه سطح، برابر با ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت و سرعت خطی تیغه در سه سطح، ۳/۷، ۵ و ۶/۳ متر بر ثانیه انتخاب شدند. برای به‌دست آوردن طرح آزمایش و تعیین تعداد آزمایش‌های مورد نیاز و چگونگی آن‌ها به روش طرح مرکب مرکزی، در نرم‌افزار Minitab 2018 تعداد آزمایش‌ها ۱۳ آزمایش و طبق جدول ۲ به‌دست آمد.

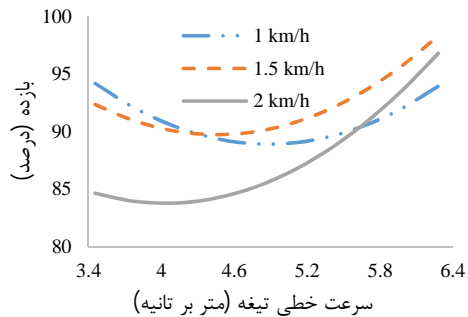
جدول ۲- طرح آزمایش به‌دست آمده از روش طرح مرکب

شماره آزمایش	مرکزی	
	سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)	سرعت خطی تیغه (متر بر ثانیه)
۱	۲	۳/۷
۲	۱/۵	۵
۳	۲	۶/۳
۴	۱	۳/۷
۵	۱/۵	۳/۷
۶	۱/۵	۵
۷	۱/۵	۵
۸	۱/۵	۵
۹	۱	۶/۳
۱۰	۱/۵	۶/۳
۱۱	۱	۵
۱۲	۱/۵	۵
۱۳	۲	۵

دستگاه ساخته شده در این تحقیق نمونه اولیه‌ای از نمونه صنعتی آن است و برای انجام آزمایش و بررسی شرایط مناسب کارکرد این دستگاه و رفع موانع احتمالی و عیب‌یابی این نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا به همین دلیل آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نیز به صورت آزمایشگاهی است.

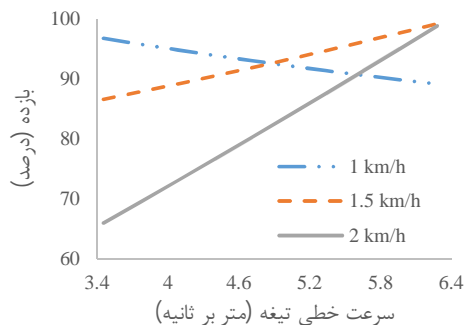
نتایج و بحث

سازوکارها در ماشین برداشت سبزیجات برگی مورد بحث در این پژوهش متناسب با شرایط موجود در زمان ساخت، امکانات و مواد در دسترس طراحی و ساخته شد. در نمونه آزمایشگاهی این دستگاه یک موتور الکتریکی سه فاز با توان ۱۸۰ وات، به روش کوپلینگ به پولی محرک متصل شده است که وظیفه تأمین نیروی حرکتی تیغه برش را برعهده دارد. این دستگاه قابلیت برداشت در ارتفاع‌های متفاوت را دارا است. سازوکار تغییر ارتفاع که در بین



شکل ۹- بازده دستگاه برای برداشت محصول اسفناج

در شکل ۱۰ نتایج مربوط به بازده دستگاه در سرعت‌های پیشروی دستگاه و سرعت خطی تیغه سامانه برش برای محصول ریحان نشان داده شده است. با افزایش سرعت خطی تیغه بازده کار برای سرعت پیشروی ۱ کیلومتر بر ساعت کاهش و برای سرعت‌های پیشروی ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که در سرعت پیشروی بیش‌تر نیروی اعمالی از طرف ساقه‌های بریده نشده بر برش ساقه‌ها تأثیرگذار باشد. بیش‌ترین بازدهی در سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت خطی تیغه ۶/۳ متر بر ثانیه به دست آمد.



شکل ۱۰- بازده دستگاه برای برداشت محصول ریحان

برای محصول شاهی تقریباً با افزایش سرعت پیشروی دستگاه و سرعت خطی تیغه سامانه برش بازده کار نیز افزایش یافت (شکل ۱۱). روند افزایش بازده برای هر سه سرعت پیشروی تقریباً مشابه بود، ولی تفاوت بازده بین سرعت ۱ و ۱/۵ کیلومتر بر ساعت به مراتب بیش‌تر از اختلاف بازده بین سرعت ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت بود. بیش‌ترین بازده دستگاه برای گیاه شاهی در سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و سرعت خطی تیغه ۶/۳ متر بر ثانیه حاصل شد.

فراهم می‌کنند. این دستگاه با استفاده از سازوکار تنظیم ارتفاع قابلیت بالا و پایین شدن کلی دستگاه را فراهم می‌کند که برای برش گیاهان در ابعاد و ارتفاع‌های متفاوت کاربرد دارد. با توجه به قطر پولی‌ها که ۳۰ سانتی‌متر است و ارتفاع برش ساقه (حدوداً ۳ تا ۵ سانتی‌متر)، ارتفاع گیاهی که می‌خواهد برداشت شود نباید بیش‌تر از ۳۵ سانتی‌متر باشد، تا دستگاه بتواند به درستی گیاه را برداشت کند. در فرآیند برداشت، گیاه پس از انجام برش، با پیشروی دستگاه و فشار اعمالی از طرف گیاهان برداشت نشده در جلوی دستگاه، تحویل تسمه نقاله داده و به سمت محفظه جمع‌آوری منتقل شده و در جعبه‌های تعبیه شده در انتهای دستگاه قرار می‌گیرد.

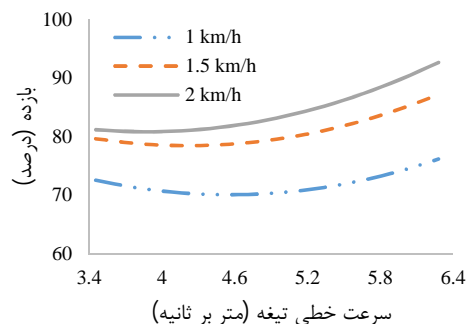


شکل ۸- مقطع برش خورده در گیاه اسفناج

بعد از انجام آزمایشات بازده دستگاه برای سه محصول گیاه اسفناج، گیاه ریحان و گیاه شاهی محاسبه شد. آزمایش‌ها در سطوح مختلف سرعت پیشروی دستگاه و سرعت دورانی پولی‌ها که همان سرعت خطی تیغه است به دست آمد. با توجه به معلوم بودن قطر پولی، سرعت دورانی پولی قابل تبدیل به سرعت خطی تیغه نیز است. مبنای کار برای تعیین بازده مقدار محصول بریده نشده، له شده و از دسترس خارج شده محاسبه شد.

نتایج مربوط به بازده دستگاه برای محصول اسفناج در شکل ۹ نمایش داده شده است. بازده، در هر سه سطح سرعت پیشروی با افزایش سرعت خطی تیغه ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. برای این محصول بهترین بازده مربوط به سرعت ۱/۵ کیلومتر بر ساعت به دست آمد. در سرعت پیشروی دو کیلومتر بر ساعت با افزایش سرعت خطی تیغه، بازده تیغه افزایش پیدا کرد و به میزان قابل قبولی رسید.

- Song, Y., Zou, L., Liu, X., & Yuan, J. (2018). Design and Experimental Study of the Spinach Continuous Harvester. Paper presented at the *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*.
- Yang, Z., Pan, X., Wang, Y., & Tang, W. (2015). Kinematics and dynamics analysis of the main motion system of reciprocating machine tools. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 394(3): 032067.



شکل ۱۱- بازده دستگاه برای برداشت محصول شاهی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک سامانه برش دستگاه برداشت گیاهان برگی از نوع تیغه ارّه نواری ساخته شد. با توجه به نتایج حاصل در این تحقیق و با در نظر گرفتن بازده، دستگاه دارای عملکرد برش مناسب بود. در میان گیاهان انتخابی، اسفناج کم‌ترین سطح معناداری را داشت و ریحان و شاهی در آزمایشات دارای سطح معناداری بیش‌تری بودند. دلیل بازده بیش‌تر دستگاه برای گیاه اسفناج می‌تواند ترد بودن ساقه‌ها باشد و می‌توان نتیجه گرفت دستگاه برای گیاهان تردتر بازده بیش‌تری دارد. در مجموع آزمایشات بر روی سه گیاه و از میان متغیرهای آزمایش در این پژوهش، سرعت خطی تیغه بیش‌ترین تأثیر را در بازده دستگاه نشان داد. بهترین بازده دستگاه در سرعت خطی تیغه ۶/۳ متر بر ثانیه و سرعت پیشروی ۱/۵ الی ۲ کیلومتر بر ساعت به‌دست آمد.

منابع

- Anonymous, (Agricultural statistics). (2021). Ministry of Agricultural, Vice President of Planning and Economic Information and *Communication Technology Center*. Data of the Agri-Year (2019-2020). Part 1 (In Persian).
- Manssori Rad, D., (1973). Tractors and Agricultural Machinery. (Part 2). *Bou-Ali Sina University Publisher*. Hamadan. Iran. (In Persian).
- Olowojola, C., Faleye, T., & Agbetoye, L. (2011). Development and performance evaluation of a leafy vegetable harvester. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1(7): 227-233.
- Persson, S. (1987). Mechanics of cutting plant material: *American society of agricultural engineers*, 288 p.