

## ساخت و ارزیابی یک نوع ماشین نیمه خودکار بردارنده توت‌فرنگی

هادی صمیمی اخیجهانی<sup>۱\*</sup> و فرهاد فاتحی<sup>۲</sup>

### چکیده

در این تحقیق یک دستگاه نیمه خودکار برداشت توت‌فرنگی ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این سامانه شخص بردارنده، روی دستگاه به حالت درازکش سوار شده با کندن توت‌فرنگی از بوته و قرار دادن آن بر روی سبد محصول، عمل برداشت را انجام می‌دهد. سامانه قابلیت تغییر سرعت پیشروی و ارتفاع برداشت را دارد. برای ارزیابی مزرعه‌ای، سرعت پیشروی سامانه در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۲ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع برداشت در سه سطح ۵۰، ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر، در سه تکرار بر درصد برداشت محصول، درصد تلفات و درصد آسیب به بوته بررسی شد. داده‌های آزمایش بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، دو عامل تلفات و آسیب بوته مورد بحث در درصد برداشت، معنادار شدند. همچنین اثر متقابل آن‌ها برای درصد برداشت و درصد تلفات در سطح یک درصد و برای آسیب به بوته در سطح ۵ درصد معنادار بود. با بهینه‌سازی صورت گرفته با استفاده از روش سطح پاسخ به کمک نرم‌افزار Design Expert، در محدوده‌های مورد آزمایش، بهترین ترکیب برای سامانه، سرعت پیشروی ۰/۸ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع قرارگیری ۶۰ سانتی‌متر به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** آسیب بوته، ارتفاع برداشت، سامانه نیمه‌خودکار، سرعت پیشروی.

ارجاع: صمیمی اخیجهانی ه. و فاتحی ف. ۱۴۰۱. ساخت و ارزیابی یک نوع ماشین نیمه خودکار بردارنده توت‌فرنگی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۲: ۲۷-۳۹. DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10082.535>

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

\* نویسنده مسئول: [h.samimi@uok.ac.ir](mailto:h.samimi@uok.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

## مقدمه

توت‌فرنگی یکی از میوه‌های دانه‌ریز و بومی مناطق معتدل است که طرفداران زیادی داشته و سطح زیر کشت آن در سراسر جهان و همچنین در ایران در حال افزایش است. این میوه به دلیل وجود مقدار فراوانی از ویتامین ث، عناصر معدنی و سایر مواد مورد نیاز بدن، اهمیت ویژه‌ای دارد. از میوه توت‌فرنگی علاوه بر مصرف به صورت تازه، در تهیه ژله، مربا، شکلات، مارمالاد، بستنی، ماست و شیرینی نیز استفاده می‌شود (Taghavi, 2005). در فرآیند پس از برداشت، بیش از ۴۰ فرآورده قابل استحصال است که این نشان از ارزش اقتصادی بسیار بالای آن دارد (Samimi-Akhijahani and Khodaei, 2011). ایران با داشتن بیش از ۳۶۰۰ هکتار سطح زیر کشت توت‌فرنگی، مقام بیستم را در بین کشورهای تولید کننده توت‌فرنگی داراست. متوسط عملکرد توت‌فرنگی در ایران برای هر هکتار ۱۴/۵۰ تن تخمین زده شده است، که نسبت به تولید در کشورهای اروپایی از رشد خوبی برخوردار است (FAO, 2019). بر اساس برآوردهای سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، میزان تلفات توت‌فرنگی از زمان برداشت تا زمان ارائه به بازار ۲۵ درصد کل محصول تولیدی است. با وجود اینکه ایران جزء کشورهای عمده تولیدکننده توت‌فرنگی در خاورمیانه است، اما همچنان برداشت آن با مشکل مواجه بوده و به‌صورت سنتی انجام می‌شود. نبود دانش و مهارت در بخش‌هایی مثل مدیریت تولید، برداشت محصول، خنک‌کاری، حمل و نقل، بازاریابی، تجهیزات فرآوری و ارتباط بین قسمت‌های مختلف از مشکلات عمده صنعت تولید توت‌فرنگی است (Salami et al., 2010b). علاوه بر آن برای مدیریت صحیح در برداشت، کشاورز بایستی در تعیین زمان برداشت دقت کافی اعمال نماید. چنانچه زمان برداشت محصول درست تعیین نشود، به علت صدمه‌دیدگی، بخش زیادی از محصول تلف شده و یا با افت بسیار شدید کیفیت روبه‌رو می‌شود (Montero et al., 2009; Banks & Joseph, 1991).

اهمیت تولید اقتصادی محصولات کشاورزی به‌ویژه میوه‌ها در دنیای امروز با افزایش جمعیت روز به روز افزایش می‌یابد. بنابراین سامانه‌های زیادی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی به ویژه میوه طراحی و ساخته

شده و به بازار روانه می‌گردند. طراحی مناسب و نحوه برداشت، جابجایی و ذخیره محصولات کشاورزی نیازمند آشنایی با خواص فیزیکی محصول (شامل بوته و میوه) است. به عبارت دیگر برای طراحی بهینه یک سامانه، عکس‌العمل محصول کشاورزی در برابر برداشت آن بایستی مورد توجه قرار گیرد (Salamat, 2011). امروزه یکی از عوامل مهم در تولید محصولات کشاورزی نحوه برداشت آن‌ها است که در برخی مناطق با دست و در برخی دیگر با دستگاه صورت می‌گیرد، که این عمل باعث به وجود آمدن مشکلات عدیده در برداشت و پس از برداشت محصول می‌شود (Hussein et al., 2020). تحقیقات نشان داده است که هر چه طول مدت زمان برداشت محصول از مرحله رسیدگی تا مرحله انبارداری افزایش یابد، (حتی به میزان یک ساعت) فساد و تغییر رنگ در محصول و از بین رفتن میزان آنتی‌اکسیدان موثر توت‌فرنگی افزایش می‌یابد (Buve et al., 2018). بنابراین توجه به نحوه برداشت محصول حساسی نظیر توت‌فرنگی بسیار حائز اهمیت است.

به ازای هر هزار مترمربع از یک مزرعه توت‌فرنگی به میزان ۲۱۰۰ ساعت نیروی کارگری برای عمل آوری نیاز است که بیش از ۲۵ درصد آن صرف برداشت محصول می‌شود (Yamamoto et al., 2010). ۲۵ درصد برای خاکورزی، تسطیح و کرت‌بندی، ۱۰ درصد برای کشت، ۲۰ درصد برای آبیاری و ۲۰ درصد برای کوددهی، و جین و سمپاشی محصول صرف می‌گردد (Salami et al., 2010 a, b). علاوه بر آن بیش از ۷۸ درصد از محصول توت‌فرنگی در حین برداشت و پس از برداشت محصول تلف می‌شود که سهم در حین برداشت محصول ۲۸ درصد است (Salami, et al., 2010b). ادوات مختلفی برای برداشت توت‌فرنگی طراحی و ساخته شده است. اما این ادوات به دلیل پیچیدگی و حساسیت بسیار زیاد محصول توت‌فرنگی بسیار محدود بوده و غالباً به صورت کارگاهی ساخته شده‌اند (Hayashi et al., 2010). در سیستمی، ماشین بردارنده توت‌فرنگی ساخته شده دارای سامانه‌ای بود که برگ‌ها را همراه با توت‌فرنگی‌ها از بیخ و بن کنده و به وسیله نیروی کارگری عمل جدایش محصول صورت می‌گرفت. مشکل عمده این روش قطع تمام بوته و عدم رسیدگی یکنواخت میوه‌ها بود (Bontsema et al., 1999). در تحقیقی در کشور ژاپن

شده و مسطح باشد و عوامل خارجی (اعم از میزان نوردی، رطوبت هوا و ارتعاش دستگاه) بر برداشت محصول تأثیرگذار خواهد بود. از طرف دیگر سرعت و دقت برداشت و قیمت تمام شده دستگاه‌های ساخته شده به صرفه نبوده و این امر موجب شده است که کشاورزان و شرکت‌های توسعه‌ای تمایلی به استفاده از این نوع ادوات و سامانه‌ها را نداشته باشند، زیرا محصول بایستی سریعاً چیده شده و برای جلوگیری از فساد فوراً از مزرعه خارج شود (Salami et al., 2010b). علاوه بر آن سرعت برداشت محصول با استفاده از سامانه‌های پیشین به دلیل اینکه برداشت توسط ماشین انجام می‌شد، بسیار کم در نظر گرفته می‌شد. بازوهای مجهز به دوربین پس از شناسایی محصول رسیده (با استفاده از نتایج الگوریتم پردازش تصویر) به میوه نزدیک شده و با چاقو (که با موتور الکتریکی به کار می‌افتاد) برش صورت می‌گرفت. پس از آن با حرکت بازوهای هیدرولیکی محصول درون جعبه‌های مخصوص قرار می‌گرفت. این رویه برداشت مستلزم صرف زمان بوده و باعث طولانی شدن روند برداشت محصول می‌شد. علاوه بر آن کاربرد، تنها برای کنترل میزان پر شدن جعبه‌ها و کنترل کارکرد دستگاه در نظر گرفته شده بود. بنابراین طراحی و ساخت دستگاهی که بتواند به صورت نیمه خودکار و با صرف هزینه کم برداشت محصول را انجام دهد، برای رفع مشکلات اشاره شده امری ضروری است.

توت‌فرنگی یکی از محصولات مهم منطقه کردستان است. بیشتر مردم مناطق روستایی و حاشیه‌ای کردستان با کشت و برداشت این محصول امرار معاش می‌کنند و هزینه‌های جاری خود را با استفاده از فروش این محصول تأمین می‌کنند. طبق آمار جهاد کشاورزی در استان کردستان بیش از ۱۳ هزار نفر به صورت مستقیم و قریب به صد هزار نفر به صورت غیر مستقیم از کشت این محصول امرار معاش می‌کنند (Ministry of Agriculture, 2016 - Jahad). لذا این محصول به عنوان یک محصول اقتصادی مهم در استان کردستان است. کردستان با تولید تقریباً ۸۰ درصد از توت‌فرنگی کل کشور به عنوان بزرگترین تولید کننده در ایران محسوب می‌شود. این امر سبب توسعه صنایع فرآوری و پس از برداشت آن، اعم از خشک کردن، تولید مربا، بستنی، ماست، مارمالاد، آبمیوه و عصاره مالت با طعم توت‌فرنگی در استان کردستان شده

برای برداشت توت‌فرنگی، یک ربات بردارنده خودکار خودکار ساخته شد. آنها در این سیستم، توت‌فرنگی‌ها را بدون توجه به میزان رسیدگی برداشت می‌کردند. اندازه توت‌فرنگی‌ها یکی از بزرگترین مشکلات در طراحی گیرنده میوه توت‌فرنگی بود (Arima et al., 2003). برای برداشت دقیق توت‌فرنگی مکانیسمی به کمک سامانه بینایی ماشین و بازوهای مفصلی طراحی شد که در آن برداشت توت‌فرنگی بسیار دقیق و مدیریت شده صورت می‌گرفت. مشکل عمده این روش سرعت بسیار کم و عدم دسترسی دوربین ثبت کننده و بازوی بردارنده به توت‌فرنگی‌های مخفی شده در زیر برگ‌های بوته بود. مدت زمان پاسخدهی سامانه به عملگرها بسیار بالا بود (Nakao et al., 2009a; 2009b). در سامانه‌ای دیگر برای جواب‌گویی بهتر دستگاه بردارنده از یک تسمه کدر استفاده گردید که به واسطه آن محصول به طور کامل نمایان شده و برداشت آن ساده‌تر می‌گردید. مشکل عمده این روش کاهش راندمان (در اثر افزایش مدت زمان برداشت) و افزایش نیروی کارگری برای ساخت و آماده نمودن چنین سیستمی برای برداشت بود (Yamamoto et al., 2010). در یک ماشین بردارنده توت‌فرنگی به جای حرکت ماشین در طول گلخانه، مکانیزم برداشت روی سقف گلخانه تعبیه شد که در هنگام برداشت، سامانه از روی محصول عبور کرده و به کمک سامانه بینایی ماشین عمل برداشت صورت می‌گرفت. ایراد اصلی این روش در نظر گرفتن گلخانه مستحکم و تجهیزات مکانیکی سنگین برای حرکت مکانیزم از بالای محصول بود (Hayashi et al., 2010). در سامانه دیگری، از یک ربات سوار بر کابل که قابلیت حرکت در طول گلخانه را داشت برای برداشت توت‌فرنگی استفاده شد. بر اساس ارزیابی‌ها مدت زمان صرف شده برای برداشت یک میوه به اندازه ۷/۵ تا ۱۰/۶ ثانیه با درصد موفقیت ۹۶/۸ درصد بود. با در نظر گرفتن شرایط مزرعه‌ای این مقدار تا ۵۳/۶ درصد افت پیدا م‌کرد (Xiong et al., 2019). تحقیقات دیگری نیز به طور مختصر در مورد برداشت توت‌فرنگی انجام شده‌اند که به گونه‌ای سعی در ارتقای مراحل برداشت توت‌فرنگی داشتند (Cao et al., 2000; Kondo et al., 2001; Rajendra et al., 2009; Yamamoto et al., 2010; Dimeas et al., 2015; Khosro-Anjom et al., 2018; Preter et al., 2018; Ge et al., 2019). در تمام سامانه‌های اشاره شده بایستی سطح زمین کاملاً کنترل

## مواد و روش‌ها

### توصیف اجزای سامانه بردارنده

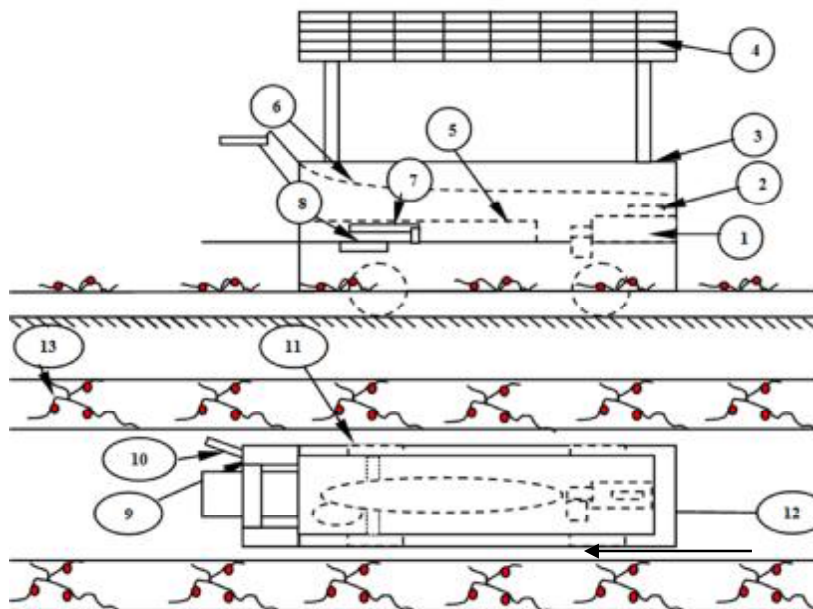
طراحی ماشین براساس آناتومی بدن انسان، وزن شخص بردارنده، ارتفاع برداشت، نوع توت‌فرنگی کشت شده، فاصله بین ردیف‌ها و شدت تابش خورشید صورت گرفت. مباحث مربوط به طراحی و ساخت سامانه مبتنی بر پارامترهای یتا‌ثیرگذار صورت گرفته است (Samimi & Akhijahani & Fatehi, 2020). طرح‌واره کلی ماشین بردارنده توت‌فرنگی در شکل ۱ نمایش داده شده است. این دستگاه از یک شاسی (۳) تشکیل شده است که تمام ملحقات بر روی آن و خود شاسی بر روی چهار تاپر سوار شده است. دو چرخ جلویی (۱۱) به عنوان چرخ‌های فرمان دستگاه در نظر گرفته شده است و فرمان‌پذیری دستگاه به واسطه این چرخ‌ها صورت می‌گیرد. چرخ‌های عقب نیز به عنوان چرخ‌های محرک بوده و توان خود را از جعبه دنده (۱۲) می‌گیرند. مدار فرمان (۲) بر روی باتری قابل شارژ که کوپل با موتور الکتریکی (۱) است قرار گرفته و سیگنال تمام قسمت‌های دستگاه به این قسمت منتقل می‌شود. این مدار شامل یک بورد آردینو F532 (ساخت ایران آسا) است که با استفاده از عملگرها، فرمان‌های مورد نیاز دستگاه را بررسی و صادر می‌کند. هسته اصلی کنترل این مدار (۹) زیر دست کاربر قرار دارد و شامل تنظیم دور موتور، سرعت پیشروی و جهت حرکت است. ارتفاع فرارگیری با تنظیم دست انجام می‌شود. همچنین شارژ منبع تغذیه (باتری) با استفاده از سلول‌های خورشیدی (۴) که همراه با کنترل کننده شارژ است، صورت می‌گیرد.

در شکل ۲، نمایی از ماشین بردارنده نیمه خودکار خورشیدی که برای کار در مزرعه عملیاتی شده، نشان داده شده است.

شیب زمینی که دستگاه بایستی در آن برداشت را انجام می‌داد به طور متوسط ۱۰ درصد بود. بیش از ۹۰ درصد مزارعی که توت‌فرنگی در آن کشت می‌شود این میزان شیب را دارند. در شکل ۳- الف، مزرعه مورد نظر برای ارزیابی سامانه بردارنده و در شکل ۳- ب رقم توت‌فرنگی کشت شده همراه با ویژگی‌های ظاهری آن نشان داده شده است.

است. عمده‌ترین مشکلی که بر سر راه تولید این محصول استراتژیک وجود دارد، عدم استفاده از سیستم‌های مکانیزه در منطقه کشت به دلیل کوچک بودن اراضی است (Samimi-Akhijahani and Khodaei, 2011).

کشاورزان منطقه به دلیل وسعت کم زمین‌های کشت توت‌فرنگی رغبت و اشتیاقی به استفاده از ماشین‌آلات پیشرفته جهت کاشت، داشت، برداشت و از همه مهم‌تر وجین محصول ندارند. همین امر موجب شده است که کار طاقت فرسای مراحل مختلف کشت محصول با مشکل مواجه شده و در برخی مواقع باعث بوجود آمدن ضرر برای کشاورز شود (Jalali et al., 2019). در نتیجه کشاورز به سمت استفاده از نیروی کارگری تمایل پیدا می‌کند. اما کمبود کارگر خیره در یک فصل بخصوص موجب ایجاد تأخیر در مراحل مختلف کاشت، داشت و به خصوص برداشت محصول شده و باعث تلفات توت‌فرنگی رسیده می‌گردد. سرعت و دقت کم، طاقت فرسا بودن، تماس هرچه بیشتر دست کارگر با محصول، از بین بردن محافظ‌های اطراف میوه و امکان فساد زود هنگام محصول، افزایش سرسام‌آور هزینه‌های ثابت و متغیر مزرعه در تولید توت‌فرنگی، هدر رفت بخش اعظمی از محصول تولید شده در مزرعه به دلیل عدم انبارداری به موقع محصول، بالا رفتن قیمت تمام شده توت‌فرنگی و از دست دادن بخش مهمی از بازار از مشکلات استفاده از نیروی کارگری در برداشت محصول است (Salami et al., 2010b). میزان آسیب دیدگی محصول از نظر کشاورز بسیار مورد توجه است. توت‌فرنگی یک محصول پربازده است که می‌تواند بیش از یک ماه باردهی داشته باشد. در صورتی که بوته آسیب ببیند، قسمت اعظمی از محصول بدون رسیدن تلف می‌گردد. آسیب‌دیدگی به صورت کندن قسمتی از بوته و یا کندن کل بوته از خاک در نظر گرفته می‌شود. بنابراین استفاده از ماشینی که بتواند تمام عملیاتی نظیر کاشت، داشت و برداشت را بدون آسیب‌دیدگی انجام دهد می‌تواند یک راه حل مناسب و قابل قبول برای کشاورزان منطقه کردستان برای تولید توت‌فرنگی با بهره‌وری مطلوب باشد. در این تحقیق طراحی و ساخت یک ماشین بردارنده نیمه‌خودکار خورشیدی و ارزیابی کلی دستگاه مد نظر خواهد بود.



شکل ۱- طرح‌واره ماشین برداشت نیمه خودکار برداشت توت‌فرنگی، (۱) منبع تغذیه و موتور الکتریکی، (۲) بورد آردینیو و مدار فرمان، (۳) شاسی، (۴) سلول خورشیدی، (۵) محل بارگیری و بسته بندی محصول، (۶) محل قرار گیری اپراتور، (۷) مکانیزم حرکت دهنده، (۸) گیره فرمان، (۹) بورد کنترل، (۱۰) اهرم فرمانگیری، (۱۱) چرخ فرمان گیر، (۱۲) جعبه دنده، (۱۳) بوته توت‌فرنگی

### استفاده از پنل‌های خورشیدی

یکی از ویژگی‌های این سامانه استفاده از پنل‌های خورشیدی است که این امر باعث شده است که بتوان از آن در مناطق مختلف استفاده نمود. به خصوص در مناطقی که دسترسی به منابع انرژی فسیلی بسیار محدود است. علاوه بر آن برداشت محصول در زمانی انجام می‌شود که شدت تابش خورشیدی در حد مطلوبی بوده و پاسخ‌گوی انرژی حرکتی سامانه است. برای اندازه‌گیری میزان انرژی مصرفی از یک توان‌سنج دیجیتال (PZ72L-DE, China) استفاده شد که میزان توان مصرفی را بر حسب مدت زمان ثبت می‌نمود. اگر چه در برخی موارد شدت تابش خورشید نیاز به منبع ذخیره انرژی (باتری) را رفع می‌کند و به صورت مستقیم جریان الکتریکی تولیدی از پنل به مصرف کننده منتقل می‌شد. میزان تغییرات شدت تابش خورشیدی در فصل برداشت (اردیبهشت و خرداد) از  $3 \pm 49$  وات بر مترمربع در ساعت  $7:00$  تا  $9 \pm 980$  وات بر مترمربع در ساعت  $14:00$  تغییر می‌کند (Ebrahimi *et al.*, 2021). اما برای ایجاد شرایط متعادل و تأمین جریان یکنواخت برای مصرف کننده از باتری و کنترل کننده شارژ استفاده گردید. عدم استفاده از مدار تنظیم کننده و باتری باعث



شکل ۲- سامانه عملیاتی نیمه خودکار بردارنده توت‌فرنگی



شکل ۳- الف) نمایی از مزرعه مورد آزمایش در منطقه کردستان، ب) رقم توت‌فرنگی کشت شده در مزرعه هدف

از حداقل چهار نفر خبره برای ارزیابی سامانه استفاده شد و میانگین داده‌های به دست آمده از تمام نفرات ملاک ارزیابی قرار گرفت. زمان انجام آزمایش‌ها شهریور ماه سال ۱۳۹۹ بود. برای هر آزمایش، ۱۴ متر مسافت از مزرعه در نظر گرفته می‌شد. در این مسافت معین، ۲ متر ابتدایی و ۲ متر انتهایی مسیر برای پایدار شدن حرکت سامانه در برداشت محصول در نظر گرفته نمی‌شد. فاصله بین ردیف‌های کشت نیز ۹۰ سانتی‌متر بود. در هر قسمت، وزن محصول برداشت شده، وزن محصول باقیمانده بر روی بوته و وزن محصول آسیب دیده به دست می‌آمد. میوه‌های توت‌فرنگی افتاده بر روی زمین نیز به عنوان محصول آسیب دیده در نظر گرفته شدند. علاوه بر آن به دلیل برخورد اجزای دستگاه یا دست شخص بردارنده با بوته‌های توت‌فرنگی احتمال آسیب وجود داشت. بنابراین پارامتر دیگری تحت عنوان درصد بوته‌های آسیب دیده در این مطالعه لحاظ گردید.

برای توجیه سامانه ساخته شده عاملی بنام درصد برداشت محصول در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول این عامل در سامانه‌های مختلف اعم از دستی و خودکار و نیمه خودکار با هم مقایسه می‌شوند. درصد محصول برداشت شده با استفاده از معادله (۱) محاسبه - شد:

$$\eta = \frac{H}{H + R + L} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $\eta$  بیان کننده درصد محصول برداشت شده،  $H$  وزن محصول برداشت شده،  $R$  وزن محصول باقیمانده بر روی بوته و  $L$  وزن محصول تلف شده است.

یکی دیگر از پارامترهایی که در برداشت محصول حائز اهمیت است، میزان آسیب دیدگی محصول در اثر نحوه برداشت (شامل تخریب، پارگی سطح و تغییر شکل مکانیکی) آن است (Montero et al., 2009). این امر به خصوص در مورد محصول توت‌فرنگی بیشتر مورد توجه خواهد بود؛ چرا که یک خراش کوچک بر روی محصول باعث توسعه سریع خرابی و انتقال آن به سایر میوه‌ها می‌شود. کرک‌هایی که روی حبه‌های توت‌فرنگی وجود دارند خود باعث حفظ پایداری و کیفیت محصول می‌گردد. به عبارت دیگر وجود کرک‌ها باعث می‌شود تماس بین توت‌فرنگی‌ها کاهش یافته و خرابی محصول به حبه‌های دیگر منتقل نشده و در نتیجه پیشرفت فساد محصول کاهش یابد. ی از طرف دیگر با افتادن محصول بر

می‌شود در ساعاتی که شدت تابش خورشیدی بالا است میزان تواندهی به موتور افزایش یابد. در ساعاتی دیگر که شدت تابش کمتر است میزان تواندهی کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش یا کاهش سرعت حرکت می‌شود. تعداد باتری‌های استفاده شده باید طوری باشند که علاوه بر تأمین جریان یکنواخت برای مصرف کننده، بتواند در طول شرایط ابری، برق مصرفی را تأمین کند. کنترل کننده شارژ استفاده شده در این تحقیق ۱۰ آمپر با باتری ۱۸ آمپر (UPS) در نظر گرفته شد. آمپر در نظر گرفته شده طوری انتخاب شد که در صورت عدم وجود آفتاب حداقل تا ۵ ساعت می‌توانست پاسخگوی عملکرد دستگاه باشد. به عبارت دیگر در مواقعی که تابش خورشیدی وجود ندارد یا هوا ابری باشد و بیا در طول شب نیز عملیات برداشت می‌تواند با کمک انرژی ذخیره شده در باتری‌ها ادامه داشته باشد. حداکثر جریانی که توسط الکتروموتور جذب می‌شود، ۲/۶ آمپر بود، اما برای اطمینان، مقدار بیشتری لحاظ گردید.

### آماده‌سازی سامانه برای ارزیابی

در استان کردستان توت‌فرنگی اغلب در فضای آزاد رشد نموده و سطح زیر کشت رقم تجاری پارس به دلایل مختلف در حال پیشی گرفتن از سایر ارقام است. بنابراین برای انجام آزمایش‌ها، از این رقم در بخشی از مزارع روستای نشور سفلی از توابع شهرستان کامیاران استان کردستان استفاده شد. برای انجام آزمایش، سه سرعت پیشروی شامل ۰/۵، ۱ و ۲ کیلومتر بر ساعت در سه ارتفاع قرارگیری ۵۰، ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر از سطح زمین در نظر گرفته شد. حداقل سرعت حرکت سامانه بر اساس ارزیابی سرعت برداشت اشخاص مختلف در مزرعه و براساس بیشینه میزان آن یعنی ۰/۴۵ کیلومتر بر ساعت لحاظ گردید. مقادیر ارتفاع بر اساس نقاط قرارگیری میوه بر روی بوته و فاصله آن از کف زمین لحاظ گردید که بین ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر متغیر بود. بنابراین، با در نظر گرفتن آزادی عمل شخص بردارنده، حداقل و حداکثر ارتفاعی که شخص می‌تواند میوه را برداشت کند لحاظ گردید. شخص بردارنده بر روی سامانه سوار شده و با حرکت به سمت جلو عملیات برداشت در مزرعه را انجام می‌دهد. برای آن که ی تأثیر اشخاص مختلف در چگونگی برداشت مزرعه نیز در نظر گرفته شود، در طول آزمایش‌ها

روی زمین، محصول غیر قابل استفاده بوده و جزو تلفات در نظر گرفته شد. درصد محصول تلف شده با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (Hussein et al., 2020).

معادله (۲) محاسبه شد (Hussein et al., 2020).

$$\eta' = \frac{L}{H + R + L} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $\eta'$  بیانگر درصد محصول تلف شده در مزرعه است.

برای محاسبه میزان آسیب دیدگی محصول در حین برداشت از معادله (۳)، استفاده گردید. میزان آسیب دیدگی در هر گونه آسیب و از دسترس خارج شدن میوه در نظر گرفته شد (Zhou et al., 2014).

$$D = \frac{D_s}{N} \times 100 \quad (3)$$

که در آن  $D$  درصد آسیب به بوته‌ها،  $D_s$  تعداد بوته‌های آسیب دیده و  $N$  تعداد بوته‌ها در سطح مشخص در مزرعه است.

برای ارزیابی اثر پارامترهای مختلف بر میزان کارایی سامانه، آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به کمک نرم‌افزار ( SAS Ver. 9.2.1) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. برای کنترل چندباره خروجی یمحاسبات، از نرم‌افزار Matlab.Ver. 18.2 نیز استفاده گردید.

### تعیین ترکیب بهینه

روش سطح پاسخ، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی و آماری است که در بهینه‌سازی مسائل با چند متغیر استفاده می‌شود. در این روش، روند طبیعی بهینه‌شدن فرآیند پیش‌بینی می‌شود. علاوه بر آن به کمک این روش، تعداد آزمایش‌های اعمال شده به مجموعه کم شده و بسیاری از محدودیت‌هایی که در روش‌های دیگر وجود دارد رفع می‌شود. در این تحقیق از نرم‌افزار Design Expert 12 برای به دست آوردن شرایط بهینه استفاده شد. در این روش با تعیین متغیرها و حدود حداکثر و حداقل، ماتریس آزمایش طراحی می‌شود. قبل از آنکه بهینه‌سازی انجام شود، سطوح به صورت کدبندی شده در نرم‌افزار وارد شده و مقادیر در محدوده ۱- تا ۱ تعریف شدند. در جدول ۱ سطوح کدبندی شده متغیرهای آزمایش آورده شده است.

جدول ۱- سطوح کدبندی شده متغیرهای آزمایش با در نظر

گرفتن مقادیر واقعی			
متغیرها	سطح ۱-	سطح ۰	سطح ۱
سرعت پیشروی (kmph)	۰/۵	۱	۲
ارتفاع بردارنده (cm)	۵۰	۶۵	۸۰

### بررسی اقتصادی

هزینه ساخت ماشین با استفاده از معادله (۴) مشخص گردید:

$$C_h = Z_{Al,sh} P_{Al,sh} + Z_{Al,prof} P_{Al,prof} + Z_{St,prof} P_{St,prof} + Z_{h,mis} P_{h,mis} + Z_{tire} P_{tire} + Z_{foam} P_{foam} + Z_{steering} P_{steering} + C_{h,Fab} \quad (4)$$

که در آن  $P_{foam}$ ،  $P_{tire}$ ،  $P_{h,mis}$ ،  $P_{st,prof}$ ،  $P_{Al,prof}$ ،  $P_{Al,sh}$  و  $P_{steering}$  به ترتیب نشان دهنده قیمت ورق آلومینیومی، پروفیل آلومینیومی، پروفیل آهنی، ملحقات (پیچ، مهره و واشر)، تایر و چرخ، فوم، مدار فرمان‌پذیری و  $C_{h,Fab}$  هزینه ساخت یاست. در هر جمله ضریب  $Z$  نشان دهنده تعداد یا مقدار مواد اشاره شده یاست. هزینه انتقال قدرت با استفاده از معادله (۵) مشخص می‌گردد:

$$C_{driv} = Z_{g,b} P_{g,b} + Z_{e,m} P_{e,m} + Z_g P_g + Z_{driv,mis} P_{driv,mis} + Z_{panel} P_{panel} + Z_{charg} P_{charg} + Z_{bat} P_{bat} + C_{driv,Fab} \quad (5)$$

که در آن  $P_{bat}$  و  $P_{charg}$ ،  $P_{panel}$ ،  $P_{drive,mis}$ ،  $P_g$ ،  $P_{e,m}$ ،  $P_{g,b}$  به ترتیب نشان دهنده قیمت جعبه دنده، الکتروموتور DC، چرخ زنجیر، ملحقات (زنجیر، خارها و کابل انتقال)، پتل خورشیدی، کنترل کننده شارژ، باتری و  $C_{driv,Fab}$  هزینه ساخت سامانه محرک است. در این قسمت نیز ضریب  $Z$  نشان دهنده تعداد یا مقدار مواد اشاره شده است. هزینه کلی ساخت از معادله (۶) به دست می‌آید.

$$C_T = C_h + C_{driv} \quad (6)$$

یک کیلوگرم محصول برداشت شده توسط سامانه با احتساب هزینه‌های دخیل در برداشت و محصول برداشت شده با استفاده از نیروی کارگری محاسبه شد.

### نتایج و بحث

اثر سه سرعت پیشروی ۰/۵، ۱ و ۲ کیلومتر بر ساعت و سه ارتفاع ۵۰، ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر، بر میزان برداشت محصول در مزرعه در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس این آزمایش را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اثر سرعت‌های مختلف پیشروی بر برداشت محصول، تلفات و آسیب به بوته در سطح ۱ درصد معنادار بود. به عبارتی سرعت‌های پیشروی مختلف بر عملکرد سامانه سطح اثر معنی‌دار داشته و سامانه در هر سه سرعت متأثر بود. علاوه بر آن اثر تغییرات ارتفاع قرارگیری شخص بردارنده بر میزان برداشت توت‌فرنگی و آسیب به بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. یثاثر این عامل بر میزان تلفات محصول در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

با در نظر گرفتن هزینه کل ساخت سامانه، نرخ سود و استهلاک سرمایه، هزینه سالیانه با استفاده از رابطه ۷ قابل محاسبه است (Audsley & Wheeler, 1978).

$$C_a = (C_T + \sum_{i=1}^N m_i \omega^i) \frac{(\omega - 1)}{\omega(\omega^N - 1)}, \quad \omega = \frac{1+g}{1+r} \quad (7)$$

که در آن  $C_T$  هزینه کل ساخت سامانه و  $r$  و  $g$  به ترتیب نرخ تورم و بهره، از عوامل مهمی هستند که در معادلات گنجانده شده‌اند. علاوه بر آن  $N$  معیار سال و  $m_i$  هزینه تعمیر و نگهداری سامانه است. در این تحقیق نرخ تورم و بهره (بر اساس آمار و اطلاعات سال ۱۳۹۹ بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران) به ترتیب ۲۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به سطح برداشت محصول به وسیله سامانه، هزینه برداشت هر کیلوگرم از توت‌فرنگی در مزرعه با احتساب هزینه ساعات کار شخص بردارنده به دست آمد. برای مقایسه عملکرد سامانه با نیروی انسانی محض که برای برداشت محصول استفاده می‌گردد، به طور متوسط از حداقل ۱۵ نفر از کارگران منطقه و کشاورزان اطلاعاتی در مورد دست‌مزد و میزان توت‌فرنگی برداشت شده اتخاذ گردید. پس از آن هزینه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس یثاثر سرعت پیشروی و ارتفاع بردارنده بر درصد برداشت توت‌فرنگی از مزرعه

منابع تغییرات		میزان برداشت (%)		تلفات (%)		آسیب به بوته (%)	
درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)	F	میانگین مربعات (MS)	F	میانگین مربعات (MS)	F	میانگین مربعات (MS)
سرعت پیشروی (kmph)	۲۸۷/۹۴	۱۵۱/۱۲**	۷۰/۹۱	۱۸/۲۰**	۵۴/۵۸	۲۲۲/۲۳**	
ارتفاع بردارنده (cm)	۹۵/۹۹	۵۰/۳۸**	۳۰/۷۲	۷/۸۹*	۹/۲۵	۳۵/۱۶**	
ارتفاع آسخت	۱/۹۰	۱۰/۴۸**	۳/۸۹	۱۳۰/۳۲**	۰/۲۶	۲/۹۶*	
خطا	۰/۱۸۲	-	۰/۰۳	-	۰/۰۸۹	-	

\*\* معنادار در سطح یک درصد، \* معنادار در سطح ۵ درصد

این عمل باعث افزایش خطای برداشت شده و مقادیر رسیده بیشتری از محصول در مزرعه باقی می‌ماند. همچنین با افزایش ارتفاع بردارنده از ۵۰ و ۶۵ سانتی‌متر به ۸۰ سانتی‌متر، کاهش به اندازه ۷/۳۲ و ۵/۵۳ درصد در محصول وجود داشت. به دلیل افزایش ارتفاع شخص بردارنده توانایی کمتری برای جدا کردن بوته‌ها با دست و دیدن محصول داشته و بنابراین میوه بیشتری بر روی بوته‌ها باقی می‌ماند. علاوه بر آن فرصت شخص برای جایگذاری میوه توت‌فرنگی در سبد محصول کاهش می‌یافت.

در جدول ۳ نتایج بررسی با آزمون دانکن برای میانگین میزان برداشت محصول در سرعت‌ها و ارتفاع‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳، سرعت‌های مختلف سامانه بردارنده و ارتفاع قرارگیری شخص بردارنده دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هستند. به صورتی که با افزایش سرعت پیشروی از ۱ به ۲ کیلومتر بر ساعت، میزان برداشت محصول کاهش ۱۱/۶۱ درصدی داشته است. با افزایش سرعت پیشروی، از ۱ به ۲ کیلومتر بر ساعت، شخص بردارنده زمان کافی برای برداشت محصول پیدا نکرده و باعث شده است که محصول زیادی یا تلف شده و یا بر روی بوته باقی بماند.



جدول ۳- میانگین درصد محصول برداشت شده مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده (سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه)

ارتفاع شخص بردارنده از سطح مزرعه (سانتی‌متر)			سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)			منابع تغییرات
۸۰	۶۵	۵۰	۲	۱	۰/۵	
۸۵/۶۹ <sup>b</sup>	۹۰/۶۵ <sup>a</sup>	۹۲/۴۳ <sup>a</sup>	۸۳/۳۷ <sup>c</sup>	۹۱/۱۴ <sup>b</sup>	۹۴/۲۶ <sup>a</sup>	درصد برداشت

از ۱ به ۲ کیلومتر بر ساعت، شخص بردارنده برای آن که تمام محصول را از بوته چیده و به مخزن منتقل نماید، سرعت عمل زیادی باید داشته باشد و این عمل باعث افزایش آسیب به محصول و افتادن میوه در مزرعه می‌شود. علاوه بر آن با افزایش ارتفاع بردارنده از ۶۵ سانتی‌متر و سپس به ۸۰ سانتی‌متر، آسیب محصول به اندازه ۴۶/۲۱ درصد بیشتر است. میزان آسیب به محصول با تغییر ارتفاع از ۵۰ به ۶۵ سانتی‌متر معنی‌دار نبود.

جدول ۴- مقایسه میانگین وزن محصول برداشت شده در اثر متقابل سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه

میانگین وزن برداشت شده توت‌فرنگی (گرم)			
ارتفاع قراگیری بردارنده از سطح مزرعه (سانتی-متر)			
سرعت پیشروی (kmph)	۵۰	۶۵	۸۰
۰/۵	۲۳/۹۷ <sup>a</sup>	۹۵/۴۳ <sup>b</sup>	۹۰/۱۳ <sup>d</sup>
۱	۹۴/۴۱ <sup>b</sup>	۹۲/۳۱ <sup>c</sup>	۸۶/۷۰ <sup>e</sup>
۲	۸۵/۶۷ <sup>e</sup>	۸۳/۹۵ <sup>f</sup>	۸۰/۲۵ <sup>g</sup>

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت پیشروی و ارتفاع قراگیری گواه بر این است که هر چه سرعت پیشروی افزایش می‌یابد، میزان تلفات محصول نیز افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان تلفات محصول در سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر با میانگین ۱۲/۲۶ درصد و کمترین آن در سرعت ۰/۵ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با میانگین ۲/۸۷ اتفاق می‌افتد.

جدول ۵- میانگین درصد تلفات محصول مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده (سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه)

ارتفاع شخص بردارنده از سطح مزرعه (cm)			سرعت پیشروی (kmph)			منابع
۸۰	۶۵	۵۰	۲	۱	۰/۵	
۷/۲۳ <sup>d</sup>	۴/۵۳ <sup>b</sup>	۴/۲۸ <sup>b</sup>	۸/۷۲ <sup>c</sup>	۵/۱۴ <sup>c</sup>	۲/۸۷ <sup>a</sup>	درصد تلفات

۵/۴ درصد (Xiong et al., 2019)، ۲۰ الی ۲۸ درصد (Zhou et al., 2014) و ۳۵ درصد (Hayashi et al., 2010) به دست آمد.

اثر متقابل دو عامل سرعت پیشروی و ارتفاع قراگیری نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). در جدول ۴، میانگین اثر متقابل سرعت پیشروی و ارتفاع قراگیری نشان داده شده است. با افزایش ارتفاع قراگیری شخص بردارنده، میزان محصول برداشت شده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش سرعت پیشروی، میزان محصول برداشت شده کاهش می‌یابد. بیشترین میزان برداشت محصول در سرعت ۰/۵ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با میانگین ۹۷/۲۳ درصد و کمترین آن در سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر با میانگین ۸۰/۲۵ درصد اتفاق می‌افتد. میزان توت‌فرنگی برداشت شده به وسیله یک ربات به اندازه ۹۶/۸ درصد بود که البته با در نظر گرفتن شرایط مزرعه‌ای این مقدار تا ۵۳/۶ درصد افت پیدا می‌کرد (Xiong et al., 2019). برای تحقیقات دیگر نیز میزان برداشت ۴۱/۳ درصد (Hayashi et al., 2010) و ۸۸ درصد (Yamamoto et al., 2014) به دست آمده بود.

در جدول ۵ نتایج بررسی با آزمون دانکن برای میانگین درصد تلفات محصول در سرعت‌ها و ارتفاع‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵، سرعت‌های مختلف سامانه و ارتفاع قراگیری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال به ترتیب ۱ و ۵ درصد هستند. به صورتی که با افزایش سرعت پیشروی از ۱ به ۲ کیلومتر بر ساعت، میزان درصد تلفات برداشت افزایش ۸۰/۱۲ درصدی داشته است. با افزایش سرعت پیشروی،

ترکیب‌های دیگر در گروه‌های بعدی قرار می‌گیرند که در جدول ۶ نشان داده شده است. در تحقیقات مشابه میزان آسیب دیدگی و تلفات به توت‌فرنگی‌های برداشت شده

جدول ۶- مقایسه میانگین تلفات برداشت در اثر متقابل سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه

میانگین وزن برداشت شده توت‌فرنگی (گرم)			سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)
ارتفاع قراگیری بردارنده از سطح مزرعه (سانتی‌متر)			
۸۰	۶۵	۵۰	
۳/۷۹ <sup>b</sup>	۲/۵۲ <sup>a</sup>	۳۰/۳ <sup>a</sup>	۰/۵
۵/۶۱ <sup>d</sup>	۴/۶۴ <sup>c</sup>	۴/۲۹ <sup>c</sup>	۱
۱۲/۲۶ <sup>f</sup>	۷/۶۵ <sup>e</sup>	۶/۲۷ <sup>d</sup>	۲

برداشت افزایش ۸۶/۹۲ درصدی داشته است. علاوه بر آن با افزایش ارتفاع بردارنده از ۶۵ سانتی‌متر و سپس به ۸۰ سانتی‌متر آسیب به بوته به اندازه ۲۹/۴۲ درصد بیشتر است. میزان آسیب به بوته با تغییر ارتفاع قراگیری از ۵۰ به ۶۵ سانتی‌متر معنی‌دار نبود.

نتایج واکاوی با آزمون دانکن برای میانگین درصد آسیب به بوته در شرایط مختلف از سامانه در جدول ۷ نشان داده شده است. پتانسیل سرعت سامانه و ارتفاع قراگیری بر درصد آسیب بوته دارای اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد هستند، به صورتی که با افزایش سرعت پیشروی از ۱ به ۲ کیلومتر بر ساعت، میزان آسیب

جدول ۷- میانگین درصد تلفات محصول مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده (سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه)

ارتفاع شخص بردارنده از سطح مزرعه (سانتی‌متر)			سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)			منابع
۸۰	۶۵	۵۰	۲	۱	۰/۵	
۵/۱۹ <sup>d</sup>	۴/۰۵ <sup>c</sup>	۴/۱۴ <sup>c</sup>	۶/۸۶ <sup>e</sup>	۳/۶۷ <sup>b</sup>	۱/۸۳ <sup>a</sup>	درصد تلفات

سرعت پیشروی و ارتفاع بردارنده از سطح زمین، حدود و شروط بهینه‌سازی مطابق با جدول ۹ مشخص گردید. طبق شرایط و تنظیمات ایجاد شده در نرم‌افزار Design expert، مقادیر پارامترهای مذکور برای بهینه‌سازی کردن میزان برداشت، کمینه کردن میزان محصول تلف شده، کمینه نمودن آسیب به بوته و کاهش مدت زمان انجام آزمایش در محدوده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها به روش سطح پاسخ تعیین شد. با توجه به نتایج، مقدار بهینه برای سرعت پیشروی برابر با ۰/۸ کیلومتر بر ساعت، ارتفاع برداشت ۶۰ سانتی‌متر با مطلوبیت ۹۵ درصد تعیین شد. مقادیر درصد برداشت، زمان آزمایش، محصول تلف شده و آسیب به بوته ۹۴ درصد، ۴۵ ثانیه، ۳/۲ درصد و ۲/۱ درصد، محاسبه شد.

بررسی مقایسه میانگین اثر هم‌کنش دو عامل اشاره شده نشان داد بیشترین آسیب به بوته مربوط به ترکیب سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع قراگیری ۸۰ سانتی‌متر با میانگین ۸/۲۴ درصد است و کمترین مقدار آن مربوط به ترکیب سرعت پیشروی ۰/۵ کیلومتر بر ساعت با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در گروه a با میانگین‌های ۱/۱۰ درصد است (جدول ۸).

با توجه به اینکه زمان در این مرحله از برداشت مزرعه نقش کلیدی دارد، بنابراین سرعت‌های کم باعث اتلاف زمان برداشت محصول می‌گردد. از طرف دیگر با سرعت‌های پیشروی بالاتر کارایی ماشین کاهش می‌یافت. سرعت‌های پیشروی بالا نیز باعث می‌گردد، کیفیت محصول برداشت شده کمتر شده و آسیب بیشتری به محصول و بوته گیاه برسد. برای تعیین مقادیر بهینه

جدول ۸- مقایسه میانگین تلفات برداشت اثر هم‌کنش سرعت پیشروی و ارتفاع سامانه

میانگین وزن برداشت شده توت‌فرنگی (گرم)			سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)
ارتفاع قراگیری بردارنده از سطح مزرعه (سانتی‌متر)			
۸۰	۶۵	۵۰	
۲/۶۰ <sup>b</sup>	۱/۷۶ <sup>a</sup>	۱/۱۰ <sup>a</sup>	۰/۵
۴/۶۶ <sup>d</sup>	۳/۷۸ <sup>c</sup>	۴/۵۹ <sup>d</sup>	۱
۸/۲۴ <sup>f</sup>	۶/۶۱ <sup>e</sup>	۶/۲۳ <sup>e</sup>	۲

جدول ۹- شروط و محدوده بهینه‌سازی

پارامتر	محدوده		شروط بهینه‌سازی
سرعت پیشروی (kmph)	۰/۵	۲	-
ارتفاع بردارنده (cm)	۵۰	۸۰	-
درصد برداشت (%)	۸۰	۹۵	بیشینه
زمان انجام آزمایش (s)	۱۸	۲۲	کمینه
میزان محصول تلف شده (%)	۳	۱۲	کمینه
آسیب به بوته (%)	۱	۸	کمینه

می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از این سامانه حداقل به تعداد ۳/۴۱ نفر در برداشت محصول از مزرعه (با درصدهای قابل قبول در مقایسه با برداشت به کمک نیروی انسانی) صرفه‌جویی خواهد شد. این میزان برای یک واحد به دست آمده است. در صورت افزایش تعداد واحدها این تعداد نیز قابل افزایش خواهد بود. مدت زمان ماندگاری برای سامانه ۱۰ سال در نظر گرفته می‌شود. مدت زمان بازگشت سرمایه نیز با احتساب هزینه‌های جاری سامانه و هزینه برداشت، سه ماه به دست آمد که در مقایسه با تلفات توت‌فرنگی در صورت عدم وجود شخص بردارنده در فصل برداشت مدت بسیار کمی است. با توجه به ارزیابی‌های عملکردی سامانه می‌توان ابراز داشت که این سامانه به خوبی می‌تواند جایگزین نیروی انسانی در برداشت محصول باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک ماشین بردارنده نیمه خودکار توت‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. کاربر بردارنده بر روی ماشین بردارنده سوار شده و با دست عملیات برداشت را انجام می‌داد. متغیرهای یثا تأثیرگذار بر عملکرد سامانه، سرعت پیشروی و ارتفاع برداشت بودند که یثا تأثیر آن‌ها بر میزان برداشت، تلفات و آسیب بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با استفاده از ماشین بردارنده توت‌فرنگی، برداشت توت‌فرنگی بالای ۹۴ درصد صورت گرفته و تلفات مزرعه‌ای و آسیب به بوته به ترتیب کمتر از ۵ درصد و ۳ درصد کاهش یافت. علاوه بر آن به دلیل استفاده از این نوع خودرو سرعت برداشت تا حد زیادی افزایش یافته و محصول به موقع از مزرعه برداشت می‌شود. در محدوده‌های مورد اشاره، سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت با ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر بالاترین میزان عملکرد را حاصل نمود. نتایج بهینه‌سازی نشان داد

با استفاده از ماشین بردارنده توت‌فرنگی، می‌توان عمل برداشت توت‌فرنگی را با کارایی بالای ۹۴ درصد، تلفات مزرعه‌ای و آسیب به بوته به ترتیب کمتر از ۵ درصد و ۳ درصد انجام داد. در ارزیابی کلی کار سامانه نتایج به دست آمده نشان داد تأثیر سرعت پیشروی و ارتفاع قرار گیری شخص بردارنده بر برداشت سامانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. در محدوده‌های مورد اشاره، سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت با ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر بالاترین میزان عملکرد را حاصل نمود. علاوه بر آن خروجی حاصل از بهینه‌سازی نشان داد بالاترین میزان بهره‌وری در سرعت پیشروی ۰/۸ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر حاصل می‌شود.

در جدول ۱۰ نتیجه اقتصادی تولید توت‌فرنگی نشان داده شده است. میزان برداشت برای هر شخص بردارنده (با احتساب میانگین برداشت توسط ۱۵ نفر از کارگران) در هر روز به طور متوسط  $۱/۲ \pm ۵۷/۵$  کیلوگرم است.

در شهریور ماه سال ۱۳۹۹، هزینه برداشت هر کیلوگرم توت‌فرنگی در مزرعه با احتساب هزینه ساعات کار شخص بردارنده (۸ ساعت در روز) برای برداشت با ماشین با سرعت ۱ کیلومتر بر ساعت ۷۶۳/۲ تومان و برای شخص بردارنده ۲۶۰۸/۷ تومان بر کیلوگرم به دست آمد. علاوه بر آن میزان برداشت، تلفات و آسیب‌دیدگی به ترتیب به میزان ۹۲/۳، ۶/۱۷ و ۱۰/۶۱ درصد به دست آمدند.

جدول ۱۰- شاخص‌های مختلف اقتصادی برای کشت توت‌فرنگی با استفاده از سامانه بردارنده نیمه خودکار

مقدار	متغیر
۹۱۸۸۰۰۰۰	هزینه کل (تومان بر هکتار)
۱۵۰۱۳۰۰۰۰	درآمد کل (تومان بر هکتار)
۰/۹۹	کارایی اقتصادی
۱/۶	نسبت فایده به هزینه
۵۸۲۵۰۰۰۰	درآمد خالص (فایده، تومان بر هکتار)

- FAO. 2019. FAOSTAT. Agricultural Statistics Database. Retrieved from <http://www.fao.org>.
- Ge, Y., Xiong, Y., & From, P. J. (2019). Instance segmentation and localization of strawberries in farm conditions for automatic fruit harvesting. *IFAC-Papers On-Line*, 52(30): 294-299.
- Habaragamuwa, H., Ogawa, Y., Suzuki, T., Shiigi, T., Ono, M., & Kondo, N. (2018). Detecting greenhouse strawberries (mature and immature), using deep convolutional neural network. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11: 127-138.
- Hayashi, S., Shigematsu K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., & Kurita, M. (2010). Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. *Biosystems Engineering*, 105: 160-171.
- Hussein, Z., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2020). Harvest and Postharvest Factors Affecting Bruise Damage of Fresh Fruits. *Horticultural Plant Journal*, 6(1): 1-13.
- Jalali, M., Maleksaeidi, H., Eskandari, F., & Ranjbar, S. (2019). Analysis of Attitude towards Sustainable Cultivation of Strawberry among Farmers in Sanandaj County. *Quarterly Journal of Environmental Education and Sustainable Development*, 8(1): 87-104.
- Khosro-Anjom, F., Vougioukas, S. G., & Slaughter, D. C. (2018). Development of a linear mixed model to predict the picking time in strawberry harvesting processes. *Biosystems Engineering*, 166: 76-89.
- Kondo, N., Monta, M., & Hisaeda, K. (2001). Harvesting Robot for Strawberry Grown on Annual Hill Top (Part 2). *Journal of Society of High Technology in Agriculture*, 13(4): 231-236.
- Ministry of Agriculture - Jahad. (2016). 80% of the country's strawberries produced in Kurdistan. (2016.21.5) Available on: [http://maj.ir/index.aspx?page=dorsaetools\\_eneews&lang=1&tempname=main&sub=0&PageIDF=0&BlockName=tool\\_dorsaetools\\_eneews\\_sample\\_main\\_block14&PageID=32669&rss=1](http://maj.ir/index.aspx?page=dorsaetools_eneews&lang=1&tempname=main&sub=0&PageIDF=0&BlockName=tool_dorsaetools_eneews_sample_main_block14&PageID=32669&rss=1) [In Persian]
- Montero, C. R. S., Schwarz, L. L., Dos, L. C., Santos, C. S., Andrezza, C. P., & Kechinski, R. J. (2009). Postharvest mechanical damage affects fruit quality of 'Montenegrina' and 'Rainha' tangerines. *Brazilian Agricultural Research*, 44: 1636-1640.
- Nakao, M., Takamine, H., Sugano, S., Yamashita, T., Kumazawa, S., Kashiara, N., Kobayashi, K., & Saito, S. (2009b). Both sides approaching strategy for strawberry harvesting robot in elevated بالاترین بهره‌وری در سرعت پیشروی ۰/۸ کیلومتر بر ساعت و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر حاصل می‌شود. با احتساب هزینه‌های عملکردی، این سامانه باعث کاهش استفاده از نیروی کارگری به میزان ۳/۴۱ برابر می‌گردد.
- ### سیاسگزاری
- نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه کردستان و سازمان برنامه و بودجه استان کردستان (طرح پژوهشی شماره ۳۴۵۲۳۴ / ص/ ۹۸) برای ارزیابی سامانه و انجام آزمایش‌ها تشکر و سیاسگزاری نمایند.
- ### منابع
- Arima, S., Monta, M., Namba, K., Yoshida, Y., & Kondo, N. (2003). Robotic harvester for strawberry grown on table top culture (part 2). *Journal of Society High Technology in Agriculture*, 15(3): 162-168.
- Audsley, E., & Wheeler, J. (1978). The annual cost of machinery calculated using actual cash flows. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23: 189-201.
- Banks, N. H., & Joseph, M. (1991). Factors affecting resistance of banana fruit to compression and impact bruising. *Journal of Science and Food Agriculture*, 56: 315-323.
- Bontsema, J., Van-Kollenburg-Crisan, L. M., & Van-Henten, E. J. (1999). Automatic Harvesting of Vegetable Fruits. *Proceedings of Brain International Symposium*, Omiya, Japan, 44-51.
- Buve, C., Kebede, B. T., Batselier, C. D., Carrillo, C., Pham, H. T. T., Hendrickx, M., Grauwet, T., & Loey, A. V. (2018). Kinetics of Colour Changes in Pasteurized Strawberry Juice during Storage. *Journal of Food Engineering*, 216: 42-51.
- Cao, Q., Nagata, M., & Ootsu, K. (2000). Basic study on strawberry harvesting robot (part I): Algorithm for locating and feature extracting of strawberry fruits. *IFAC Proceedings*, 33(29): 49-54.
- Dimeas, F., Sako, D. V., Moulianitis, V. C., & Aspragathos, N. A. (2015). Design and fuzzy control of a robotic gripper for efficient strawberry harvesting. *Robotica*, 33: 1085-1098.
- Ebrahimi, H., Samimi-Akhijahani, H., Salami, P. (2021). Improving the thermal efficiency of a solar dryer using phase change materials at different positions of the collector. *Solar Energy*, 220: 535-551.

- stationary robotic harvester with a picking mechanism that approaches the target fruit from below. *Agricultural Engineering*, 48(3): 261-269.
- Zhou, J., He, L., Karkee, M., & Zhang, Q. (2014). Effect of excitation position of a handheld shaker on fruit removal efficiency and damage in mechanical harvesting of sweet cherry. *Biosystems Engineering*, 125: 36-44.
- cultivation. *The Society of Instrument and Control Engineers (SICE)*, 1873-1874.
- Nakao, M., Takamine, H., Yamashita, T., Kumazawa, S., Kashihara, N., Kobayashi, K., Ishiwata, Y., & Sugano, S. (2009a). Development of peduncle-introducing end-effector in strawberry harvesting robot approaching from both sides of elevated cultivation. *The Japan Society of Mechanical Engineers (Robomec)*, 1A2-C08.
- Preter, A. D., Anthonis, J., & Baerdemaeker, J. D. (2018). Development of a Robot for Harvesting Strawberries. *IFAC-Papers On-Line*, 51(1): 14-19.
- Rajendra P., Kondo, N., Ninomiya, K., Kamata, J., Kurita, M., Shiigi, T., Hayashi, S., Yoshida, H., & Kohno, Y. (2009). Machine vision algorithm for robots to harvest strawberries in tabletop culture greenhouses engineering in agriculture. *Environment and Food*, 2(1): 24-30.
- Salamat, R. (2011). Study the changes in strawberry Stiffness and determine the appropriate date of harvest. Faculty of Agriculture. Tabriz University, Tabriz. (In Persian).
- Salami, P., Ahmadi, H., & Keyhani, A. (2010a). Estimating the energy indices and profitability of strawberry production in kamyaran zone of Iran. *Energy Research Journal*, 1(1): 32-35
- Salami, P., Ahmadi, H., Keyhani, A., & Sarsaifee, M. (2010b). Strawberry post-harvest energy losses in Iran. *Researcher*, 2: 67-73.
- Samimi-Akhijahanni, H., & Fatehi, F. (2020). Design, construction and evaluation of a semi-automatic solar powered strawberry harvester. *Managing and planning of Kurdistan Province*, 98/S/345234.
- Samimi-Akhijahani, H., & Khodaei, J. (2011). Some physical properties of strawberry (Kurdistan variety). *World Applied Sciences Journal*, 13(2): 256-212.
- Taghavi, T. (2005). Strawberry Production Guide. *Sana*. Tehran. (In Persian).
- Xiong, Y., Peng, C., Grimstad, L., From, P. J., & Isler, V. (2019). Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157: 392-402.
- Yamamoto, S., Hayashi, S., Satio, S., Ochiai, Y., Yamashita, T., & Sugano, S. 2010. Development of robotic strawberry harvester to approach target fruit from hanging bench side. *IFAC Proceeding Volumes*, 43(26): 95-100.
- Yamamoto, S., Hayashi, S., Yoshida, H., & Kobayashi, K. (2014). Development of a

