

Design and Development of an Automatic Precision Cutting System for Herb Stems

MOHAMMAD HOSSEINPOUR¹, SAEID MINAEI^{1*}, ALIREZA MAHDAVIAN¹, MOHAMMAD HADI KHOSHTAGHAZA¹

1. Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(Received: June 8, 2020- Revised: Aug. 15, 2020- Accepted: Aug. 22, 2020)

ABSTRACT

In the processing of vegetables as well as preparation for fresh consumption, the leaf part of the vegetable is separated from the stem manually and non-mechanically. This research was carried out in order to design and development an automatic system for precise cutting of vegetable stems harvested from the field. Machine vision was used to determine the appropriate cutting position. In this way, after placing the product on the conveyor, it is automatically photographed and after identifying the cutting location, a cutting mechanism separates the leaf part of the plant from its stem. The designed cutting system performed the cutting of the samples with an accuracy of about 3 mm. It takes about 4 seconds to identify the cutting location and perform cutting, so the maximum capacity of the machine is 15 cuts per minute. The output of the machine had acceptable quality in cases where the incoming vegetables were evenly and freshly harvested.

Keywords: Precise cutting; Vegetable; Machine vision.

* Corresponding Author's Email: minaei@modares.ac.ir

طراحی و ساخت دستگاه برش دقیق ساقه سبزی‌های خوراکی

محمد حسین پور^۱، سعید مینایی^{۱*}، علیرضا مهدویان^۱، محمد هادی خوش تقاضا^۱

۱. گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۱)

چکیده

در فرآوری سبزی‌ها و همچنین آماده کردن برای مصرف تازه خوری، قسمت برگی سبزی از ساقه به صورت دستی و غیرمکانیزه جدا می‌گردد. این تحقیق به منظور طراحی و ساخت یک دستگاه خودکار برای برش دقیق ساقه سبزی‌های برداشت شده از مزرعه انجام گرفت. برای تشخیص محل برش مناسب از بینایی ماشینی استفاده شد. بدین صورت که پس از قرار دادن محصول بر روی نوار نقاله، به صورت خودکار تصویربرداری می‌شود و پس از تشخیص محل برش، یک مکانیزم برشی قسمت برگی گیاه را از ساقه آن جدا می‌کند. سامانه برش طراحی شده برش نمونه‌ها را با دقتی حدود ۳ میلی‌متر انجام داد. برای تشخیص محل برش و انجام آن حدود ۴ ثانیه زمان صرف می‌شود، در نتیجه بیشینه ظرفیت دستگاه برابر با ۱۵ برش در هر دقیقه است. محصول خروجی دستگاه در مواردی که سبزی‌های ورودی به صورت یکدست و تازه برداشت شده بودند، کیفیت مناسبی داشت.

واژه‌های کلیدی: برش دقیق، سبزی، بینایی ماشین

مقدمه

انجام مکانیزه عملیات کشاورزی، از جمله در زمینه پس از برداشت می‌تواند بهره‌وری و ارزش افزوده این بخش از کشاورزی را بهبود بخشد. سبزی‌ها از جمله محصولات هستند که به دلیل استفاده روزمره در سطح وسیعی کشت می‌شوند. سطح زیر کشت این محصولات در ایران حدود نیم میلیون هکتار گزارش شده است (Koocheki et al., 2013). سبزی‌ها از مهم‌ترین منابع تأمین مواد معدنی و ویتامین‌ها برای بدن بوده و به دلیل داشتن ارزش غذایی فراوان جزو غذاهای اصلی به شمار می‌روند. در فرآوری سبزی‌ها و مصرف روزانه، پاک کردن و برش ساقه آن‌ها از جمله عملیات اصلی محسوب می‌شود و در حال حاضر این کار غیرمکانیزه و به صورت دستی انجام می‌گیرد.

در گذشته بیشتر فرایندهای تولیدی با به‌کارگیری نیروی متخصص و به‌ویژه با استفاده از قوه بینایی شخص انجام می‌گرفت که مشکلاتی به دنبال داشت. در حالی که سال‌هاست بسیاری از فرایندها با روش‌های نوین چون بینایی ماشینی انجام می‌گیرد (Di Leo et al., 2017). در زمینه کشاورزی استفاده از سامانه‌های خودکار با سرعت در حال گسترش است به نحوی که ربات‌های مختلفی برای برداشت انواع میوه و سبزی ساخته شده‌اند (Zhao et al., 2016). همچنین در زمینه‌هایی نظیر تشخیص بیماری‌های گیاهی (Lowe et al., 2017)، کنترل کیفی (Bhargava and Bansal, 2018) و درجه‌بندی محصولات کشاورزی (Zhang et al., 2018).

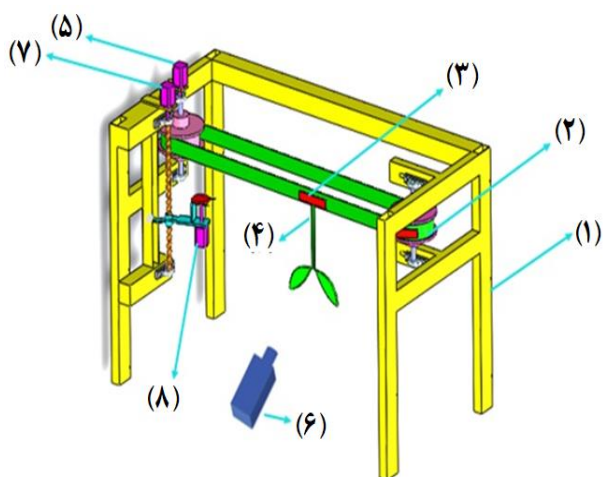
(Steger et al., 2014) استفاده از پردازش تصویر به سرعت در حال توسعه می‌باشد. سامانه‌های مبتنی بر بینایی ماشینی به پنج قسمت نورپردازی، دوربین، رایانه، سیستم کنترلی و نرم‌افزار برای تحلیل تصاویر و انجام عملیات مورد نظر نیاز دارند. هدف از نورپردازی از یک سو نمایان ساختن ویژگی‌های مورد نظر در تصویر و از سوی دیگر حذف کردن ویژگی‌ها یا اثرات مزاحم است (Steger et al., 2018). بر این اساس انتخاب منبع نور بر کیفیت تصاویر اثرگذار است و با انتخاب درست آن می‌توان مراحل پردازش تصویر را بهبود بخشید (Brosnan and Sun, 2004). پس از مهیا نمودن شرایط نورپردازی و انتخاب دوربین مناسب می‌توان با تصویربرداری از محصول ویژگی‌های مورد نظر در عکس را استخراج کرد. همچنین سیستم کنترلی می‌تواند بر اساس ویژگی استخراج شده از تصویر، عملیات لازم را انجام دهد (Sofu et al., 2016). پیش از انجام فرآیند اصلی پردازش تصویر و استخراج ویژگی از تصاویر، لازم است تغییراتی در آن اعمال گردد. ضرورت تغییرات این است که گاهی اغتشاش نور محیط یا اشکال در دوربین پیش می‌آید (به اصطلاح تصاویر دارای نویز می‌شود) و یا می‌بایست تغییراتی در تصاویر اعمال شود که کار پردازش تصویر را تسریع و آسان کند (Zareiforoush, 2014). بردن قسمت‌های اضافی تصویر، تنظیم و تبدیل رنگ، تنظیم روشنایی تصویر، مستقل کردن فرآیند پردازش تصویر از چرخش، جابجایی و تغییر مقیاس تصویر را می‌توان جزو پیش‌پردازش محسوب کرد. در

می‌دهد. با بررسی تحقیقات پیشین، پژوهشی در زمینه مکانیزه کردن عملیات پاک کردن و برش سبزی‌ها مشاهده نشد. رویکرد این پژوهش در وهله اول تشخیص قسمت برگی از ساقه سبزی‌های برداشت شده به‌وسیله ماشین بینایی بوده و سپس طراحی و ساخت یک مکانیزم برای برش دقیق ساقه است.

مواد و روش‌ها

طراحی مکانیکی دستگاه

طرح کلی دستگاه مطابق شکل ۱ است. روش کار دستگاه بدین صورت است که ابتدا سبزی در گیره‌هایی که روی نوار نقاله به‌صورت معلق نصب شده قرار می‌گیرد و سپس با عبور محصول از جلوی دوربین، عکس‌برداری انجام شده و تصویر پردازش می‌شود تا محل مناسب برش مشخص گردد. در نهایت سامانه برش به‌صورت خودکار و به‌طور عمودی تا محل برش جابجا گردیده و محصول بریده می‌شود. در هنگام عبور گیره از روی پولی دوم، گیره به‌طور خودکار باز شده و قسمت مازاد ساقه‌ها درون ظرف زائدات تخلیه می‌شود.



شکل ۱- شکل سه بعدی و نحوه قرارگیری اجزای دستگاه طراحی شده برای تشخیص و برش اتوماتیک قسمت برگی سبزی‌های خوراکی: (۱) شاسی، (۲) تسمه و پولی، (۳) گیره نگه‌دارنده محصول، (۴) محصول، (۵) موتور سامانه انتقال، (۶) دوربین، (۷) مکانیزم جابجا کننده مجموعه برش و (۸) سامانه برش

سیستم برش با بهره‌گیری از یک پیچ قدرتی تغییر موقعیت می‌دهد. پیچ قدرت در قسمت بالا و پایین درون ۲ عدد یاتاقان ثابت شده و در قسمت فوقانی توسط یک کوپلینگ انعطاف‌پذیر به یک موتور پله‌ای متصل است. تیغه به‌گونه‌ای طراحی شده است که با داشتن حرکت خارج از مرکز (به نوعی حرکت رفت و برگشتی) به کمک ضد تیغه گیاه را برش دهد (شکل ۲).

مرحله اصلی پردازش تصویر با استخراج شیء مورد نظر در تصویر می‌توان با محاسبه ویژگی‌هایی مانند رنگ یک شیء یا ناحیه خاص، اندازه، شکل، مساحت، موقعیت و... اطلاعات ارزشمندی فراهم آورد (Mollazade *et al.*, 2012; Gonzalez *et al.*, 2009).

به‌منظور طراحی یک سامانه برش خودکار بر اساس ماشین بینایی، پس از طراحی و پیاده‌سازی الگوریتم پردازش تصویر بایستی در قسمت سخت‌افزاری یک روش برش مناسب انتخاب شود. مکانیزم‌های مختلفی برای برش محصولات کشاورزی وجود دارند که در آن‌ها انواع برش ضربه‌ای و قیچی به کار می‌رود. برش ضربه‌ای در چارپرها، دروگرهای استوانه‌ای و بشقاب‌ی و چمن‌زن‌ها استفاده می‌شود. در این روش تیغه ثابت وجود ندارد و برش در اثر اینرسی و مقاومت ساقه گیاه نسبت به نیروی وارده صورت می‌گیرد. در تحقیقی یک دیسک که دور آن چند تیغه برش نصب‌شده برای برش سورگوم به کار برده شده است (Ghahrae *et al.*, 2008). در روش برش قیچی، نیرو از لحظه شروع تماس تیغه با گیاه (ساقه)، از صفر به مقدار بیشینه افزایش می‌یابد. هنگامی که برش کامل شد و تیغه قطر ساقه را طی کرد، این نیرو مجدداً صفر می‌گردد. هنگامی که لبه برنده تیغه از لبه تیغه ثابت بگذرد، برش کامل می‌شود (Jafari, 1996). در شانه برش کم‌باین-ها و برداشت علوفه، این نوع برش استفاده می‌شود و تیغه محرک دارای حرکت رفت و برگشتی از میان ضد تیغه به‌طور گسترده‌ای به کار می‌رود. در تحقیقی برای برداشت سبزی‌ها برگی از این مکانیزم استفاده شد که سبزی‌ها پس از برش، توسط تسمه به داخل مخزن ریخته می‌شدند (Olowojola *et al.*, 2011). در فرآوری مواد غذایی هر دو نوع برش قیچی و ضربه‌ای استفاده می‌شود. برش ضربه‌ای بیشتر در موارد خرد کردن میوه و سبزی کاربرد دارد (Tong *et al.*, 2017). همچنین در زمانی که محصول دارای تکیه‌گاه محکم و مناسب باشد، مانند دستگاه‌های اسلایسر، از ضربه برای برش بهره برده می‌شود (Sonawane *et al.*, 2011). برش قیچی برای بریدن ظریف محصول کارایی دارد. در دستگاه‌های آزمون برش مواد غذایی این روش به صورتی انجام می‌شود که با حرکت تیغه از مقابل ضد تیغه ثابت، محصول میان آن‌ها برش می‌یابد (Schuldt *et al.*, 2016).

دستگاه‌های مختلفی که برای برش انواع سبزی از گذشته تا به حال ساخته شده‌اند به‌منظور خرد کردن حجم زیادی از محصول می‌باشند. در فرآوری و همچنین مصرف تازه خوری سبزی‌ها ابتدا بایستی قسمت برگی از ساقه جدا شده و پس از آن مصرف یا فرآوری گردد. با توجه به رشد جمعیت شهری و نیاز به تهیه روزانه سبزی‌ها، انجام دستی مرحله برش وقت‌گیر و انرژی‌بر است و این مسئله لزوم استفاده از سامانه‌های ماشینی را نشان

$$P=(F-mV^2)\left(1-\frac{1}{e\mu\beta}\right)V \quad (\text{رابطه ۱})$$

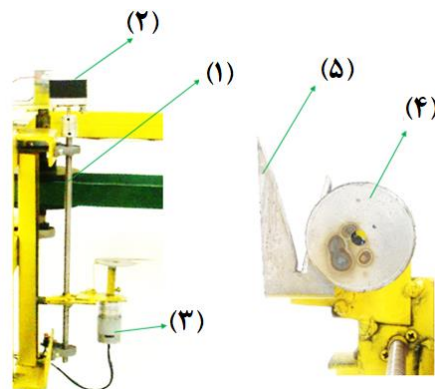
مقدار گشتاور لازم برای بالا بردن عمودی تیغه، از رابطه ۲، برابر با ۰/۱۶ نیوتن متر محاسبه شد (Budynas and Nisbett, 2008). در رابطه ۲، T_R گشتاور بالابری (N.m)، F مقدار نیروی وارد شده بر پیچ (N)، d_m قطر متوسط پیچ (m) و f ضریب اصطکاک پیچ قدرت و مهره آن می باشد. l نشان دهنده طول درگیر پیچ است که از حاصل ضرب تعداد راه پیچ و گام آن حاصل می شود. همچنین نیروی وارد شده با لحاظ کردن مقدار وزنی که باید توسط پیچ قدرت جابجا شود، محاسبه می گردد.

$$T_R=\frac{Fd_m}{2}\left(\frac{l+\pi fd_m}{\pi d_m-fl}\right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

توان موردنیاز قسمت برش از رابطه ۳ حاصل شد. W انرژی (J) موردنیاز برای برش است که مقدار متوسط آن از آزمون برش به دست می آید، t زمان برش (s) و P توان (Watt) می باشد.

$$P=\frac{W}{t} \quad (\text{رابطه ۳})$$

با انجام دادن آزمون برش به وسیله دستگاه آزمون مواد ساخت شرکت سنتام (مدل STM 20) مشخص شد که بیشینه مقدار انرژی برشی ویژه ساقه جعفری در حدود ۴ میلی ژول بر میلی متر مربع است. چنانچه فرض شود برای برش ۲۰ ساقه سبزی به ۰/۲ ثانیه زمان نیاز باشد، توان لازم برای برش ۲۰ ساقه سبزی حدود ۵ وات است.



شکل ۲- نحوه جابجایی قسمت برش دستگاه طراحی شده پس از تشخیص قسمت برگی: (۱) پیچ قدرت، (۲) موتور جابجایی مکانیزم برش، (۳) موتور برش، (۴) تیغه و (۵) ضد تیغه

دستگاه از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از سامانه انتقال محصول، سامانه تشخیص و تصمیم گیری، سامانه کنترل موقعیت مجموعه برش و سامانه برش (جدول ۱).

محاسبه توان موردنیاز قسمت های مکانیکی

به منظور به دست آوردن توان موردنیاز برای حرکت تسمه از رابطه ۱ استفاده شد که در آن، P توان (Watt)، u ضریب اصطکاک تسمه و پولی، β زاویه تماس تسمه و پولی (rad)، m وزن تسمه در هر مترمربع ($kg\ m^{-2}$)، F بیشینه نیروی وارد شده به تسمه (N) و V سرعت خطی تسمه (m/s) است (Spotts, 1985).

جدول ۱- اجزای قسمت های مختلف دستگاه طراحی شده برای تشخیص قسمت برگی سبزی و انجام برش دقیق

نام سامانه	وظیفه	اجزا
انتقال	حمل محصول به طرف مکانیزم تصویربرداری و برش	تسمه، پولی و گیره های نگهدارنده و موتور DC و دیمر
ماشین بینایی و تصمیم گیری	تصویربرداری از محصول و تعیین محل برش	دوربین و پردازنده
کنترل موقعیت مجموعه برش	کنترل جابجایی مکانیزم برش با توجه به موقعیت تعیین شده توسط ماشین بینایی	میکرو کنترلر، میکرو سوئیچ ها، درایور موتور پله ای، رایانه و منبع تغذیه
برش	برش دقیق محصول در ارتفاع مشخص	تیغه و ضد تیغه، پیچ قدرتی (مکانیزم جابجایی) و موتورهای DC و پله ای

است. به دلیل وارد شدن نیروها در یک جهت، مقدار σ_y برابر صفر است. ضریب اطمینان n با در دست داشتن تنش معادل σ' و در نظر گرفتن مقاومت تسلیم شفت S_y از رابطه ۵ محاسبه شد (Budynas and Nisbett, 2008).

$$\sigma'=\left(\sigma_x^2-\sigma_x\sigma_y+\sigma_y^2+3\tau_{xy}^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$n=\frac{S_y}{\sigma'} \quad (\text{رابطه ۵})$$

برای محاسبه بار وارد شده به یاتاقان، نیروهای شعاعی R

محاسبات طراحی شفت و یاتاقان های متصل به پولی

برآیند نیروهای دو طرف سفت و شل تسمه نقاله باعث ایجاد گشتاور خمشی در شفت پولی می گردد و از سوی دیگر اختلاف این نیروها موجب پیچش شفت و در نتیجه گشتاور پیچشی می شوند. بر اساس تئوری ون-میسز^۱ مقدار تنش معادل σ' از رابطه ۴ به دست آمد که در این رابطه σ_x تنش حاصل از خمش در جهت اعمال نیروها (در راستای تسمه) بوده و τ_{xy} تنش برشی

اندازه‌گیری واقعی اجسام درون تصویر است. در این تحقیق از روش پین هول^۱ که یک روش ساده و کاربردی برای کالیبره کردن دوربین و به دست آوردن پارامترهای آن است، بهره‌گیری شد. این روش بر اساس نگاشت از فضای سه‌بعدی به دو بعد است (Medici, 2011). بدین‌صورت که از یک کاغذ شطرنجی با مش‌بندی مشخص و در چند زاویه قرارگیری تصویربرداری شد. سپس با بهره‌گیری از قسمت کالیبراسیون دوربین نرم‌افزار^۲ MATLAB پارامترهای دوربین بر اساس محاسبات ریاضی روش پین هول استخراج شدند. با اعمال پارامترهای دوربین بر هر تصویر ثبت شده و خام، تصاویر بدون اعوجاج به دست آمد که امکان اندازه‌گیری دقیق و واقعی عناصر هندسی داخل تصویر را به دست می‌دهد. عملیات آماده کردن تصاویر و پردازش اصلی عبارت است از برش تصویر، کاهش حجم، بخش‌بندی تصویر و استخراج محصول از پس‌زمینه. برش و کاهش حجم تصویر به ترتیب باعث حذف کردن قسمت‌های اضافی و افزایش سرعت پردازش الگوریتم می‌شود. پس‌زمینه سفید تصویر در تشخیص محصول از پس‌زمینه کمک شایانی نمود. به‌منظور بخش‌بندی تصویر ابتدا هیستوگرام رنگی تصاویر در سه فضای رنگی^۳ RGB، HSV و Lab بررسی گردید. در فضای رنگی RGB هر رنگ ترکیب سه جزء قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) می‌باشد. در فضای رنگی HSV هر رنگ ترکیبی از نوع رنگ (H)، اشباع رنگ (S) و مقدار رنگ (V) می‌باشد. همچنین در فضای رنگی Lab هر رنگ با سه مشخصه روشنایی (L)، میزان رنگ از سبز به قرمز (a) و میزان رنگ از آبی به زرد (b) تعریف می‌شود. پس از تشخیص فضای رنگی و جزء رنگی مناسب، تصاویر با روش آستانه‌گذاری اتسو^۴ به تصاویر باینری تبدیل شدند. در آستانه‌گذاری اتسو، مقدار آستانه هر تصویر به‌صورت خودکار انتخاب می‌شود و این امر باعث می‌شود تاثیر نوسانات نور و روشنایی محیط بر استخراج اشیا از پس‌زمینه کاهش یابد. با توجه به شکل سبزی‌ها، در حالت عادی در قسمت‌های بالایی (برگی) حجم بیشتری وجود دارد. با استفاده از این خاصیت می‌توان محل برش را استخراج کرد؛ یعنی با پردازش ماتریس تصویر نهایی به دست آمده، آدرس محلی که در آن تعداد پیکسل‌های محصول شروع به افزایش می‌کنند تعیین گردید. در نهایت با فرستادن مقدار سرعت دورانی موتور پله‌ای به میکرو کنترلر، سیستم برش جابجا شده و برش صورت می‌گیرد.

نتایج و بحث

به‌منظور برش دقیق سبزی‌ها و افزایش دقت و نیز کاستن از

محوری T وارد شده به آن مشخص شده و بار معادل F_e از رابطه ۶ محاسبه شد. در رابطه ۶ ضرایب V ، X و Y از جداول و دستورات عمل‌های طراحی استخراج شدند (Mott et al., 2018; Budynas and Nisbett, 2008)

$$F_e = VXR + YT \quad (\text{رابطه ۶})$$

عمر در نظر گرفته شده برای یاتاقان و بار وارده به آن در طول بهره‌برداری بایستی تعیین شود. بدین منظور بار مجاز از رابطه ۷ محاسبه شد که در آن L_2 عمر طراحی (تعداد دوران)، L_1 عمر یاتاقان (بر اساس کاتالوگ است که معمولاً 10^6 دور در نظر گرفته می‌شود)، F_2 بار معادل به دست آمده از رابطه ۶ و F_1 بار مجاز است. همچنین مقدار ثابت a با توجه به غلتشی بودن یاتاقان برابر ۳ لحاظ شد. بر اساس این پارامترها و مراجعه به جداول شرکت SKF، نوع و اندازه یاتاقان مشخص گردید (Budynas and Nisbett, 2008).

$$F_1 = F_2 \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در نهایت پس از طراحی و انجام محاسبات مکانیکی، دستگاه به‌صورت شکل ۳ ساخته شد.



شکل ۳- سامانه ساخته شده در پژوهش برای برش دقیق سبزی‌های خوراکی

تعیین محل برش به‌وسیله پردازش تصویر

برای اینکه بتوان با پردازش تصویر محل بهینه برش ساقه سبزی را تشخیص داد، ابتدا نیاز است که تصویر مناسب در دست باشد و سپس با تحلیل و بررسی الگوی پیکسل‌های تصویر، می‌توان محل مناسب برش را به دست آورد. برای عکس‌برداری، دوربین محل مناسب برش را به کار برده شد. در سامانه طراحی شده با عبور محصول از مقابل دوربین، یک میکرو سوئیچ فعال شده و رایانه بر اساس کدهای نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB، دستور عکس‌برداری صادر می‌کند. سپس مراحل پردازشی بر روی تصاویر اعمال می‌شود. کالیبراسیون دوربین، گام اولیه پردازش برای حذف کردن اثرات اعوجاج عدسی دوربین و همچنین

^۳ RGB color space

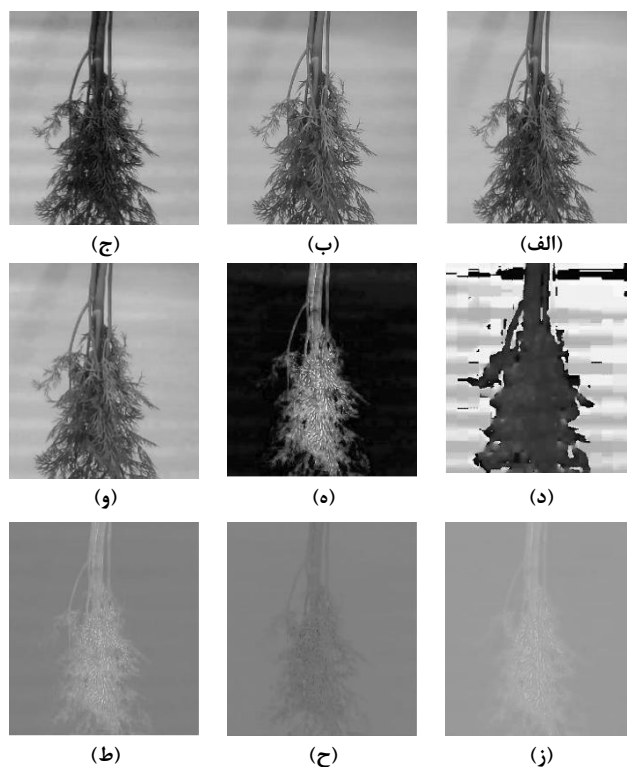
^۴ Otsu's thresholding method

^۱ Pin-Hole

^۲ Single Camera Calibrator App

و خطا از میان فضاهای رنگی مختلف بهترین فضا و جزء رنگی انتخاب شده است (Hernández-Hernández *et al.*, 2016). در تحقیقی برای تعیین تنش آبی در گیاهان گلخانه‌ای، فضاهای رنگی زیادی بررسی شده و از میان آن‌ها هر سه جزء رنگی RGB و همچنین دو جزء L و b در فضای Lab در تشخیص گیاه پژمرده و شاداب مناسب تشخیص داده شدند (Nadafzadeh and Mehdezadeh, 2017). همچنین در تشخیص علف‌های هرز مزرعه، RGB کارایی بالایی از خود نشان داده است (Artizsu *et al.*, 2011; Blasco *et al.*, 2002).

نیروی کار موردنیاز در تهیه سبزی‌ها، یک دستگاه ساخته شد که در آن تشخیص قسمت برگی گیاه به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر صورت گرفت. ارتفاع دستگاه برابر با ۰/۵ m و طول آن m ۰/۷ است. در قسمت پردازش تصویر با بررسی مؤلفه‌های ۳ نوع فضای رنگی متداول مشاهده شد که تصاویر در جزء رنگی آبی در فضای رنگی RGB از قابلیت بالاتری برخوردار بوده و می‌توان محصول و پس‌زمینه را با آستانه گذاری استخراج کرد (شکل ۴ و ۵). با توجه به اینکه محیط تصویربرداری، منبع نور و دوربین بر کیفیت تصاویر اثرگذارند در تحقیقات پیشین نیز بر اساس آزمون



شکل ۴- بررسی اجزای رنگی تصویر سبزی در فضاهای رنگی مختلف به منظور تعیین مناسب‌ترین جزء رنگی برای آستانه گذاری و حذف پس زمینه تصویر: (الف) جزء رنگی R در فضای RGB، (ب) جزء رنگی G در فضای RGB، (ج) جزء رنگی B در فضای RGB، (د) جزء رنگی H در فضای HSV، (ه) جزء رنگی S در فضای HSV، (و) جزء رنگی V در فضای HSV، (ز) جزء رنگی L در فضای Lab، (ح) جزء رنگی a در فضای Lab و (ط) جزء رنگی b در فضای Lab



شکل ۵- فرآیند تشخیص قسمت برگی سبزی با پردازش تصویر به منظور تشخیص محل برش مناسب: (الف) ثبت تصویر اولیه، (ب) پیش پردازش (کالیبره کردن، برش و کاهش حجم) و (ج) استخراج محصول از پس زمینه با آستانه گذاری

بر روی دستگاه قرار داده شده و دستگاه راه‌اندازی شد. آزمایش با ۵ تکرار انجام و پس از برش گیاه، مقدار خطای برش اندازه‌گیری شد. به این منظور، مقدار اختلاف بین محل تعیین شده (محل

به‌منظور ارزیابی دقت کلی دستگاه در انجام برش، آزمون-هایی با استفاده از ۳ نوع سبزی انجام گرفت. نمونه‌های شوید، جعفری و ریحان به تعداد ۱، ۶ و ۱۱ عدد در تیمارهای جداگانه

با توجه به اینکه در مصرف تازه خوری بهتر است برش به صورتی انجام شود که تمام محصول دارای ساقه اضافی یکسان باشد، سامانه پیشنهاد شده در برخی موارد دارای محدودیت بود زیرا کشاورزان به دلایل اقتصادی (خصوصاً در پاییز) سبزی‌ها را دیر برداشت می‌کنند و در نتیجه اندازه گیاه بسیار بزرگ‌تر از حالت معمول بوده و علاوه بر آن، در ساقه اصلی جعفری و شوید شاخه‌های فرعی زیادی تولید می‌گردد که عامل اصلی غیریکنواختی خروجی دستگاه می‌شود. در سایر استفاده‌های غذایی اندازه ساقه‌ها، جدا کردن ساقه‌ها و یا ساقه‌هایی که نامرتب به هم چسبیده باشند، اهمیت چندانی نداشته و می‌توان گفت سامانه برای این منظور مناسب است. مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا محصول تشخیص داده شده و سامانه برش شروع به حرکت کند برابر با ۲/۵ ثانیه اندازه‌گیری شد که از این مدت، زمان اجرای برنامه پردازش تصویر ۲/۳ ثانیه است. با توجه به اینکه در هنگام شروع حرکت، سامانه برش در پایین‌ترین نقطه قرار دارد، این احتمال وجود دارد که برش اولیه چندان دقیق نباشد. پس از آن دقت برش تصحیح می‌شود زیرا لازم است سامانه برای برش‌های بعدی مسافت کمتری را پیموده و زمان کافی برای پاسخ مناسب را خواهد داشت. زمان موردنیاز برای هر برش در حدود ۴ ثانیه بوده و در نتیجه بیشینه ظرفیت دستگاه برابر با ۱۵ برش در هر دقیقه است. با توجه به این نکته که سرعت و ظرفیت یک دستگاه مبتنی بر بینایی ماشینی وابسته به سرعت قسمت سخت‌افزاری، کنترلی و از سویی دیگر به قدرت کامپیوتر و زبان برنامه‌نویسی قسمت پردازش تصویر وابسته است، با ارتقاء هر کدام می‌توان ظرفیت سامانه را افزایش داد. چنانچه در تحقیقی برای پیاده‌سازی یک پروژه تجاری درجه‌بندی قطعات مرغ از کنترلر PLC، جداکننده‌های نیوماتیکی و برنامه‌نویسی در زبان سی پلاس پلاس استفاده کردند و در نتیجه توانستند در یک ساعت، ۲۸۰۰ قطعه مرغ را با دقت ۹۳٪ درجه‌بندی کنند (Teimouri et al., 2018).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش طراحی و ساخت دستگاهی برای جدا کردن قسمت برگی از ساقه سبزی‌های برداشت شده انجام شد و نتایج ارزیابی نشان داد که بینایی ماشینی با دقت مناسب و به صورت پیوسته می‌تواند در تشخیص محل برش استفاده گردد. با توجه به ارزیابی صورت گرفته روش برش استفاده شده در بریدن تعداد زیاد محصول دارای تلفات بود و به دلیل بافت انعطاف‌پذیر محصول بعضی از قسمت‌های برگی ساقه به صورت کامل برش نخورده بودند. بر این اساس در چنین مواردی استفاده از روش برش قیچی یا برش دیسکی (روش استفاده شده در صنایع چوب) مناسب‌تر

مطلوب) در برنامه توسط پردازش تصویر و برش انجام‌شده توسط دستگاه (محل واقعی) برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به‌منظور داشتن کمترین مقدار ساقه در سبزی پاک‌شده، محل برش به صورت قراردادی یک سانتی‌متر قبل از محل تشخیص برگ‌ها در پردازش تصویر تعیین شده بود (شکل ۶). همچنین برای بررسی کارایی تیغه و ضد تیغه، تعداد ساقه‌هایی که به صورت کامل برش نخوردند شمارش شد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری دقت دستگاه ساخته شده در برش جعفری، شوید و

ریحان			
گیاه	تعداد ساقه	دقت (میلی‌متر)	تعداد ساقه برش نخورده
جعفری	۱	۲	۰
	۶	۳	۱
	۱۱	۳	۳
شوید	۱	۳	۰
	۶	۳	۰
	۱۱	۳	۳
ریحان	۱	۴	۰
	۶	۴	۲
	۱۱	۳	۳

سامانه برش طراحی شده، برش نمونه‌ها را با دقتی بیش از ۳ میلی‌متر انجام داد. از جمله دلایل خطای احتمالی در برش دقیق، کج شدن ساقه در زمان تصویربرداری است که باعث خطا در تخمین محل برش می‌شود. نحوه قرار گرفتن ساقه در بین تیغه و ضد تیغه نیز در چگونگی برش اثرگذار است. در تحقیقات پیشین نیز تغییرات سریع حین تصویربرداری باعث خطای سامانه‌های بینایی ماشینی در حالت برخط شده‌اند. در تحقیقی به‌منظور تنظیم وجین‌کن با استفاده از ماشین بینایی و منطق فازی، سامانه توانست در سرعت پیشروی ۱ متر بر ثانیه، وجین‌کن را با دقت حدود ۳ سانتی‌متر در بین علف‌های هرز قرار دهد در حالی که با کاهش سرعت حرکت، دقت افزایش یافت (Meng et al., 2015). به نظر می‌رسد در طراحی‌های بعدی چنانچه در مکانیزم جابجایی از حرکت و لرزش محصول جلوگیری شود بتوان خطا را به مقدار زیادی کاهش داد.



شکل ۶- نمونه کیفیت جدا کردن مکانیزه قسمت برگی از ساقه محصول جعفری و شوید با دستگاه طراحی شده

سامانه علاوه بر برش سبزی، توانایی جدا کردن علف‌های هرز یا شاخه‌های زرد و بی‌کیفیت را داشته باشد.
هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

است. همچنین در تحقیقات آینده برای خودکار سازی کامل مراحل برش و پاک کردن می‌توان از ترکیب بینایی ماشینی و بازوهای روباتیک با چند درجه آزادی استفاده کرد به نحوی که

REFERENCES

- Bhargava, A., & Bansal, A. (2018). Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J. M., Rabatel, G., & Moltó, E. (2002). AE—Automation and emerging technologies: Robotic weed control using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83(2), 149-157.
- Brosnan, T., & Sun, D. W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of food engineering*, 61(1), 3-16.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Shigley's mechanical engineering design* (Vol. 8). New York: McGraw-Hill.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., & Pajares, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), 337-346.
- Di Leo, G., Liguori, C., Pietrosanto, A., & Sommella, P. (2017). A vision system for the online quality monitoring of industrial manufacturing. *Optics and Lasers in Engineering*, 89, 162-168.
- Ghahrae, O., Khoshtaghaza, M. H., & Bin Ahmad, D. E. S. A. (2008). Design and development of special cutting system for sweet sorghum harvester. *Journal of Central European Agriculture*, 9(3), 469-474.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Eddins, S. L. (2009). *Digital Image Processing using MATLAB*; 2nd ed. Gatesmark Publishing: New Jersey, USA.
- Hernández-Hernández, J. L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J. M., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., & Molina-Martínez, J. M. (2016). Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 124-132.
- Jafari, K. (1996). *Design, Manufacturing the Measurement Unit of Plants Cutting Force and Designing the Cutting System of Atriplex Harvesting*. [Unpublished Master's thesis]. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hassanzadeh Aval, F., Mansoori, H., Amiri, S. R., Zarghani, H., & Karimian, M. (2013). Agrobiodiversity of Vegetable Crops in Agroecosystems in Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology (ijae)*, 2(4), 1-12.
- Lowe, A., Harrison, N., & French, A. P. (2017). Hyperspectral image analysis techniques for the detection and classification of the early onset of plant disease and stress. *Plant methods*, 13(1), 80.
- Medici, P. (2011). *Pin-Hole Camera Reference Frame and Calibration Techniques*.
- Meng, Q., Qiu, R., He, J., Zhang, M., Ma, X., & Liu, G. (2015). Development of agricultural implement system based on machine vision and fuzzy control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 128-138.
- Mollazade, K., Omid, M., & Arefi, A. (2012). Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 124-131.
- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). *Machine elements in mechanical design*. Prentice Hall.
- Nadafzadeh, M., & Abdanan Mehdizadeh, S. (2017). Determination of the most suitable color space for intelligent water stress discrimination for plants inside the greenhouse (Case Study: Coleus). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(4), 407-418.
- Olowojola, C. O., Faleye, T., & Agbetoye, L. A. S. (2011). Development and performance evaluation of a leafy vegetable harvester. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1(7), 227-233.
- Schuldt, S., Arnold, G., Kowalewski, J., Schneider, Y., & Rohm, H. (2016). Analysis of the sharpness of blades for food cutting. *Journal of Food Engineering*, 188, 13-20.
- Sofu, M. M., Er, O., Kayacan, M. C., & Cetişli, B. (2016). Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 395-405.
- Sonawane, S. P., Sharma, G. P., & Pandya, A. C. (2011). Design and development of power operated banana slicer for small scale food processing industries. *Research in Agricultural Engineering*, 57(4), 144-152.
- Spotts, M. F. (1985). *Design of machine elements*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Steger, C., Ulrich, M., & Wiedemann, C. (2018). *Machine vision algorithms and applications*. John Wiley & Sons.
- Teimouri, N., Omid, M., Mollazade, K., Mousazadeh, H., Alimardani, R., & Karstoft, H. (2018). On-line separation and sorting of chicken portions using a robust vision-based intelligent modelling approach. *Biosystems Engineering*, 167, 8-20.
- Tong, J., Xu, S., Chen, D., & Li, M. (2017). Design of a bionic blade for vegetable chopper. *Journal of Bionic Engineering*, 14(1), 163-171.
- Zareiforush, H. (2014). *Design, Development and Evaluation of an Automatic Control System for Rice Whitener Based on Machine Vision and Fuzzy Logic*. [Unpublished Ph.D's thesis]. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University.
- Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., & Liu, C. (2014). Principles, developments and

applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 62, 326-343.

Zhao, Y., Gong, L., Huang, Y., & Liu, C. (2016). A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 311-32