

سامانه بینایی کامپیوتر جهت برداشت خودکار گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط نور طبیعی

حسنى محمدى منور^{۱*} - رضا علیمردانى^۲ - محمود امید^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

بیش از دو دهه است که بخش کشاورزی استفاده از سامانه‌های خودکار را تجربه می‌کند. از موارد کاربرد این سامانه‌ها در کشاورزی می‌توان به برداشت میوه اشاره نمود. بینایی کامپیوتر یکی از پرکاربردترین فن‌آوری‌های مورد استفاده در صنایع غذایی و کشاورزی نوین است. در مقاله حاضر سیستمی خودکار مبتنی بر بینایی کامپیوتر جهت برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ارائه می‌شود. دوربین CCD به عنوان حس‌گر بینایی از فضای کاری عکس می‌گیرد و گوجه‌ها با رسیدگی بالای ۵۰ درصد توسط پردازش تصاویر شناسایی می‌شوند. در این پژوهش از سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr و سه الگوریتم آستانه‌یابی، انحنای سطح تصویر و رابطه قرمز/سبز جهت تشخیص گوجه‌فرنگی‌های رسیده از زمینه و تحت شرایط نور طبیعی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد متوسط خطای الگوریتم‌های آستانه‌یابی، رابطه قرمز/سبز و انحنای سطح تصویر به ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۰/۰۳ و ۷/۹۵ درصد در سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr بود. فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه‌فرنگی رسیده از زمینه و در شرایط نور طبیعی، موفق‌تر عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بینایی کامپیوتر، فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، نور طبیعی

مقدمه

فناوری رباتیک برای بسیاری از مواد زیستی^۴ در جهان بکار برده شده است. در یک سامانه تمام خودکار، دسته‌های نهال گل از یک طرف وارد می‌شود و سپس یک ربات نهال‌ها را تک تک برداشته و بر روی یک نوار نقاله قرار می‌دهد (Ting *et al.*, 1990). استفاده از بازوهای مکانیکی ماهر در برداشت محصولات کشاورزی نیز کاربرد زیادی دارد. یکی از این کاربردها در برداشت خودکار گل Phalaneosis می‌باشد. از آنجا که این گیاه بسیار حساس بوده و انتقال دستی نشا آن فارغ از آسیب‌های فیزیکی سبب آلودگی و بیماری گیاه می‌شود، انتقال نشاها به محل کشت توسط ربات انجام می‌شود (Huang and Fang-Fan, 2010). بازوی خودکار برداشت گل رز نمونه‌ای دیگر می‌باشد. این بازو مجهز به دو دوربین جهت تصویربرداری سه بعدی است (Kohan, 2011). ربات برداشت گل ژربرا که مجهز به دوربین برای شناسایی محل برش گل می‌باشد، نمونه دیگری از برداشت خودکار گل است (Rath and Kawollek, 2009). همچنین برداشت توت‌فرنگی کاری سخت و طاقت فرساست و می‌بایست در چند نوبت انجام شود، لذا برداشت رباتیکی آن مقرون به صرفه می‌باشد. بازوی رباتیکی برداشت توت‌فرنگی مجهز به واحد بینایی شامل سه دوربین و پنج منبع نور می‌باشد (Hayashi *et al.*, 2010). در این مقاله،

امروزه در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی استفاده از نیروی انسانی جای خود را به نیروی مکانیکی و در بسیاری از موارد به نیروی مکانیکی ماهر یا ربات‌ها واگذار نموده است. بخش کشاورزی نیز همچون بخش صنعت نیاز مبرمی در بکارگیری سامانه‌های خودکار دارد. در کشورهای پیشرفته چند دهه است که فعالیت در زمینه اتوماسیون بخش مذکور آغاز شده است. در این میان استفاده از سامانه‌های خودکار برای برداشت میوه از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجا که آسیب مکانیکی به بازارپسندی میوه ضربه می‌زند، لذا سامانه خودکار می‌بایست بدون صدمه به میوه و شاخه، محصول را برداشت نماید.

استفاده از رباتیک در بخش‌های مختلف کشاورزی به دو دهه قبل بر می‌گردد که در آن زمان مطالعه بر روی ربات برداشت کننده گوجه‌فرنگی در ژاپن آغاز گردید (Monta, 2000). از آن زمان به بعد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج
* - نویسنده مسئول: (Email: mohamadi_085@ut.ac.ir)

هم متناسب شوند، بنابراین روابط دیفرانسیلی برای تغییر مکان‌های مفصل و مکان پنجه استخراج می‌شود (Asada and Aslutayn, 1997).

طراحی مدار الکتریکی و سامانه کنترل

برای کنترل پنجه ربات گوجه‌چین به مدار الکترونیکی نیاز است. برای کنترل حرکات انگشتی‌ها (دوران موتورها)، حس‌گرها و قطع و وصل شیرهای نیوماتیک این مدار استفاده از دو میکروکنترلر AVR مدل ATmega32 پیشنهاد می‌شود. برای کنترل سرعت موتور و همچنین تغییر گردش آن‌ها از IC (L298N) استفاده می‌شود. میکروکنترلرها توسط پروگرامر STK200 و زبان IAR که کامپایلر آن C است، برنامه‌ریزی شدند (Rahafrooz, 2006).

طراحی مدار نیوماتیک

یکی از قسمت‌های پنجه طراحی شده واحد نیوماتیک است که قبل از انگشتی‌ها وارد عمل می‌شود و گوجه شناسایی شده را با عمل مکش جذب می‌کند و بعد از اعمال گشتاور توسط انگشتی‌ها و جدا شدن میوه از ساقه این واحد گوجه را به مخزن منتقل می‌کند. اجزای در نظر گرفته شده برای مدار نیوماتیک عبارتند از: سیلندر نیوماتیک، شیر سولونوئیدی، وکیوم ساز، کلاهیک مکش و شیر کنترل دبی (http://www.Festo.com) (http://www.Waircom.com) (شکل ۲).

تشخیص گوجه رسیده با پردازش تصویر

سامانه بینایی شامل رایانه شخصی و یک ریز پردازنده^۳ و حس‌گر بینایی بود. تصاویر در گلخانه با دوربین CCD رنگی با حداکثر 1536×2048 پیکسل مجاز (مدل GA4162PF، ساخت کره جنوبی)، به‌دست آمد. واسنجی^۴ دوربین به عنوان گام اول جهت افزایش دقت سامانه انجام شد. واسنجی بر روی یک شی سه بعدی که دارای صفحات متعامد بر یکدیگر است (نظیر یک جعبه که دارای مربع‌های کوچک همانند صفحه شطرنجی بر روی وجوه خود است) انجام شد (Turcco and Verri, 1998). در واسنجی، پارامترهای داخلی دوربین نظیر فاصله کانونی، ضریب اعوجاج و ضریب مقیاس به‌منظور تصحیح تصاویر برداشت شده از محصول بررسی گردید. با هدف ایجاد شرایط یکسان نور، همه تصاویر در ساعات ۱۰ تا ۱۱ صبح ضبط شد. تصاویر از فاصله حدود ۱۳۵ سانتی‌متری به‌دست آمد و از هر نمونه سه تصویر گرفته شد.

استفاده از سه الگوریتم پردازش تصویر برای جداسازی میوه‌ها بر اساس رنگ از زمینه مطالعه شد. نتایج حاکی از آن بود که این روش‌ها برای میوه‌هایی مانند سیب، گوجه، توت‌فرنگی و پرتقال موفق عمل می‌کند (Jian-jun et al., 2009). استفاده از سامانه بینایی کامپیوتر در ربات‌های برداشت محصولاتی مانند سیب (Tabb et al., 2006)، گوجه گیلاسی (Tanigaki et al., 2006) و پرتقال (Hannan and Burks, 2004) گزارش شده است. تشخیص بافت سبز رنگ سیب‌زمینی نیز توسط روش پردازش تصاویر بر اساس رنگ انجام شد و میزان خطا در تشخیص آن ۵/۲۶ درصد اعلام شد (Ebrahimi et al., 2011).

گوجه یکی از محصولات مهم باغی در کشور ایران است. بنابر گزارش وزارت کشاورزی (Anonymous, 2010) میزان برداشت آن ۱۸/۵ میلیون تن در سال ۸۹ اعلام شده است. علاوه بر بررسی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نوع خاصی از گوجه‌فرنگی گیلاسی نیز مطالعه شد که از نظر شکل بسیار شبیه انواع مارتینو روما^۱ و سن مارزانو^۲ می‌باشد که در ایتالیا و اسپانیا برای تولیداتی نظیر سس و رب کاربرد دارد (شکل ۱).

طرح اولیه پژوهش حاضر از چهار بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول شامل طراحی بخش مکانیکی یک پنجه مناسب به منظور گرفتن و رهاکردن گوجه می‌باشد. بخش دوم شامل طراحی مدار الکترونیکی مکانیزم و بخش سوم مدار نیوماتیک می‌باشد و بخش آخر به پردازش تصاویر جهت شناسایی محصول بر اساس رنگ می‌پردازد. در این مقاله به بخش پردازش تصویر که به صورت عملی انجام شده است به‌صورت مبسوط می‌پردازیم و به سایر بخش‌ها اشاره خواهیم داشت. در شناسایی میوه در شرایط نور طبیعی معمولاً تغییر میزان نور و زاویه تابش آن فاکتورهای مهمی هستند. با انتخاب الگوریتم مناسب پردازش تصویر می‌توان اثر این تغییرات را کاهش داد. از طرف دیگر ناحیه قابل مشاهده میوه به علت قرار گرفتن در سایه شاخه و برگ گیاه متغیر است و تشخیص بر اساس شکل میوه دشوار است، لذا فاکتور رنگ لحاظ گردید.

مواد و روش‌ها

طراحی مکانیکی

در ابتدا با استفاده از روش دناویت هارتنبرگ موقعیت و جهت پنجه به عنوان تابعی از تغییر مکان مفاصل بیان می‌شود که این کار با حل معادله سینماتیک میسر می‌شود. پس از دسترسی به موقعیت نهایی پنجه برای اینکه بتوان پنجه را در جهت‌های معین و با سرعت‌های مشخص کنترل نمود لازم است که حرکت مفاصل با

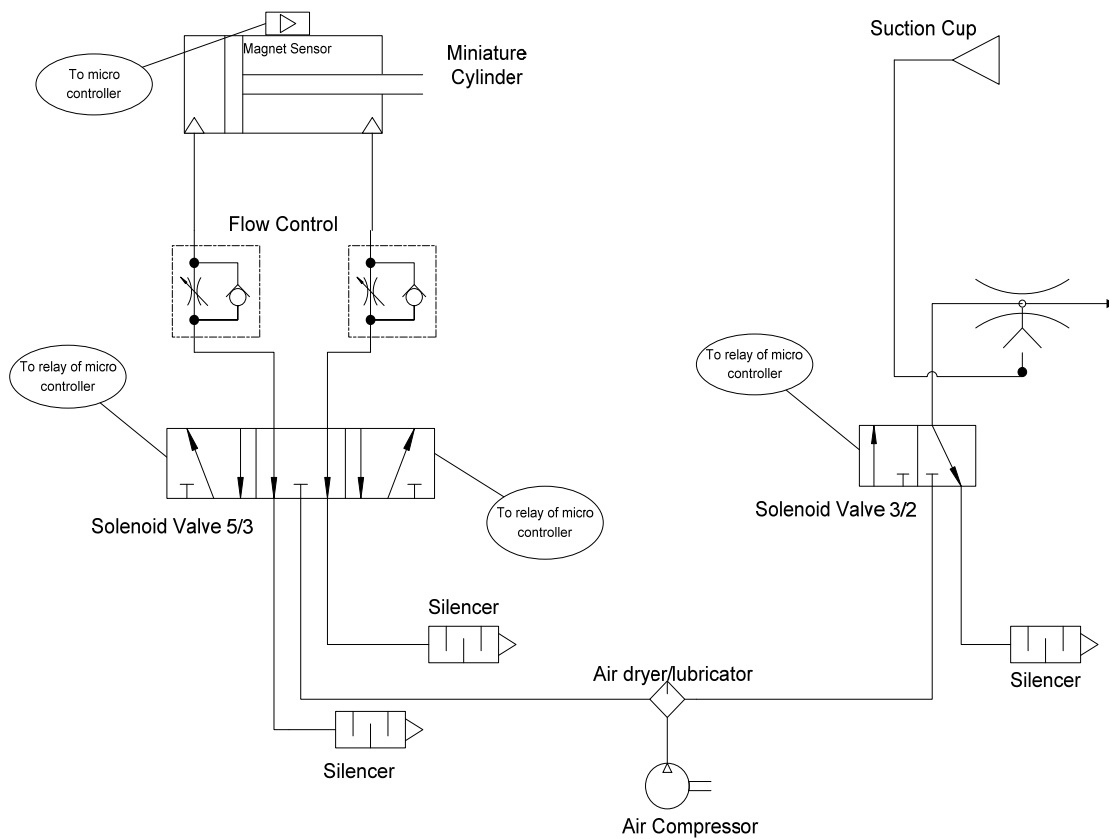
3- Microprocessor
4- Calibration

1- Martino's Roma
2- San Marzano



شکل ۱- شباهت گوجه گیلاسی (الف) ایرانی با انواع (ب) مارتینو روما و (ث) سن مارزانو

Fig.1. Similarity between cherry-tomato (a) Iranian Type with (b) Martino's Roma and (c) San Marino



شکل ۲- نمودار شماتیک مدار نیوماتیک

Fig.2. Schematic diagram of Pneumatic circuit

خواهد شد. دوربین پس از تصویربرداری اولیه دوباره واسنجی شد و سپس از فاصله ۵۵ سانتی‌متری بوته تصویربرداری انجام گردید. از فضاهای رنگی RGB^1 ، HSI^2 و $YCbCr$ برای تشخیص گوجه (با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد) در میان شاخ و برگ استفاده شد. تبدیل

این سه تصویر در سه موقعیت، قبل از رسیدن دوربین به بوته، وقتی دوربین مقابل بوته قرار گرفت و بعد از عبور از آن ثبت شد. در هر یک از تصاویر، تمام گوجه‌های موجود در میدان دید دوربین شمارش شدند. گوجه‌ها با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد در تصاویر پردازش شده به عنوان هدف مشخص می‌شدند تا در مرحله بعد در فاصله ۵۵ سانتی‌متری از گوجه رسیده تصویر تهیه شود. در تصویر دوم محل اتصال ساقه به محصول جهت برداشت خودکار مشخص

1- Red-Green-Blue
2- Hue-Saturity-Intensity

خاکستری بر اساس الگوریتم اتسو^۶ (Otsu, 1979) در باند قرمز انجام شد. این الگوریتم سرعت کافی جهت اجرا در زمان و شرایط واقعی را دارد.

الگوریتم انحنای سطح تصویر: این روش نه تنها مستقل از میزان نور است بلکه تحت تأثیر رنگ در شرایط نوری یکسان قرار نمی‌گیرد. به کمک این ویژگی می‌توان گوجه‌های سبز (نارس) در تصویر را شناسایی نمود. این الگوریتم تصویر را به عنوان یک سطح $Z=Z(x,y)$ در نظر می‌گیرد، که در آن Z سطح خاکستری پیکسل (x,y) است. در این سطح گوجه یک برش عمودی در صفحه (x,y) ایجاد می‌کند. یکی از راه‌های تشخیص پیکسل‌های متعلق به هدف (در اینجا گوجه با قرمزی بیشتر از ۵۰ درصد) در این الگوریتم روش تشخیص لبه می‌باشد. تصویر خروجی این الگوریتم بر اساس معادله (۶) بیان می‌شود.

$$R(x,y) = \frac{\partial^2 [G(x) * I(x,y)]}{\partial x^2} \quad (6)$$

که در آن $I(x,y)$ تصویر دو بعدی سطح خاکستری و * عملگر کانولوشن می‌باشد.

الگوریتم رابطه قرمز / سبز: این الگوریتم تصاویر را هم‌زمان در دو باند قرمز / سبز فیلتر می‌کند. این تصاویر از قبل تحت فیلتر گاوسی پایین گذر قرار گرفته‌اند تا میزان نویز ناشی از سایه و بازتاب نور از سطح برگ و میوه کاهش یابد. فیلتر گاوسی مورد استفاده ماتریسی با انحراف معیار ۲۰۰ بود که فرکانس تصاویر را تا کمتر از ۲۰۰ مگاهرتز محدود نمود. معادله سطح خاکستری تصاویر در الگوریتم رابطه قرمز / سبز به صورت معادله (۷) به دست می‌آید.

$$I(x,y) = \sum_{y=k}^{y+v} \sum_{x=i}^{x-u} I(k,i)G(x-i,y-k) \quad (7)$$

که در آن $I(x,y)$ سطح خاکستری پیکسل (x,y) می‌باشد و

$$G(x,y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\pi\sigma^2}} \quad (8)$$

در این الگوریتم طبقه‌بندی به صورت پیکسل به پیکسل انجام شد. پیکسلی متعلق به گوجه‌فرنگی می‌باشد که متناسب با رابطه (۹) باشد.

$$RG_{ratio} = \frac{r}{\alpha g} = F \mp E \quad (9)$$

که در آن r سطح خاکستری در تصویر قرمز رنگ است، g همین مقدار در تصویر سبز و $\alpha = 1.155$ ضریب تصحیح است. F فاکتور تناسب بین r و g برای میوه و E میزان خطا می‌باشد. این روش برای انجام این تقسیم‌بندی مستقل از بازتاب نور طراحی شده است.

فضاهای رنگی در نرم‌افزار متلب^۱ (ورژن ۷.۴) صورت گرفت. دوربین تصاویر را در فضای RGB ثبت نمود. تصاویر اولیه شامل پس زمینه است که لازم است حذف شوند. به عمل حذف پس زمینه از تصویر آشکارسازی^۲ گفته می‌شود. در اینجا آشکارسازی بر اساس تفاوت رنگ گوجه از پس زمینه انجام شد. جهت افزایش حساسیت تشخیص رنگ میوه و حذف عوامل ناخواسته نظیر نویزهای ناشی از تغییرات نور و سایه برگ‌ها بر روی محصول از تبدیل فضاهای رنگی YCbCr و HSI استفاده شد. هنگامی که آشکارسازی تصویر بر اساس رنگ است، اما مقادیر رنگی در فضای RGB معیار مناسبی برای آشکارسازی نیست، در فضای رنگی YCbCr، آشکارسازی به سادگی قابل انجام است. از طرف دیگر خاصیت فشرده‌سازی تصویر را دارد و حجم تصویر آن تقریباً نصف تصویر مشابه در فضای RGB می‌باشد. در واقع با تغییر فضای رنگی تصویر از RGB به YCbCr و اعمال یک حد آستانه بر روی مقدار Cb پیکسل‌ها، ناحیه قرمز رنگ گوجه آشکارسازی می‌گردد. معادلات ۱ تا ۵ روابط تبدیل فضاهای رنگی را نشان می‌دهد.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B < G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{0.5[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right] \quad (3)$$

$$S - 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R,G,B)] \quad (4)$$

$$I = \frac{(R+G+B)}{3} \quad (5)$$

آزمایش‌ها در گلخانه گوجه‌فرنگی در شرایط نور طبیعی واقع در شهرک گلخانه‌ای هشتگرد استان البرز و در تابستان ۸۹ انجام شد. از ۲۸ بوته گوجه‌فرنگی تصویربرداری انجام و در سه فضای رنگی پردازش شد.

الگوریتم‌های مکان‌یابی میوه

در این مقاله، سه الگوریتم تقسیم‌بندی یعنی، آستانه‌یابی^۳، انحنای تصویر^۴ و رابطه قرمز / سبز^۵ به منظور تقسیم تصویر به دو دسته میوه و پس زمینه، مورد استفاده قرار گرفت. الگوریتم‌ها به منظور نشان‌دادن مرکز میوه، بر اساس محاسبات لبه بیرونی، مرز و مساحت، در سه فضای رنگی مورد استفاده قرار گرفتند.

الگوریتم آستانه‌یابی: تقسیم‌بندی با انتخاب سطح آستانه

- 1- Matlab
- 2- Detection
- 3- Thresholding
- 4- Curvature of the Image Surface
- 5- Red/Green Relation

ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها

ارزیابی عملکرد سه الگوریتم آستانه‌یابی، انحنا‌ی سطح تصویر و رابطه قرمز/ سبز در سه فضای رنگی طبق رابطه (۱۰) بررسی گردید.

$$\%e = \frac{|A - N|}{N} \times 100 \quad (10)$$

که در آن ϵ میزان خطا، N تعداد کل گوجه‌های موجود در هر تصویر و A تعداد گوجه‌هایی است که توسط این الگوریتم‌ها به‌طور صحیح تشخیص داده شده‌اند.

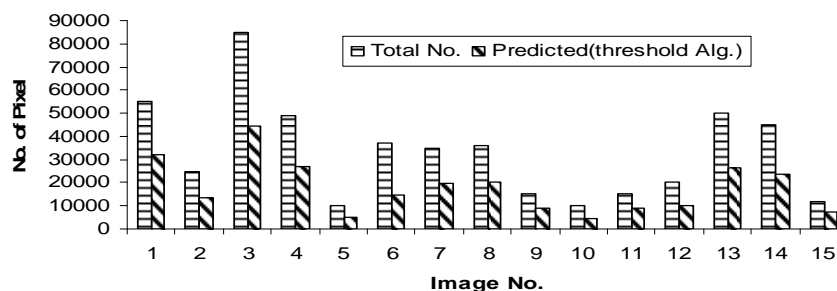
نتایج و بحث

با توجه به ارزیابی عملکرد الگوریتم متوسط خطای الگوریتم‌های آستانه‌یابی در فضای رنگی HSI، رابطه قرمز/ سبز در فضای رنگی RGB و انحنا‌ی تصویر در فضای رنگی YCbCr به‌ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۰/۰۳ و ۷/۹۵ درصد بود. برای نمونه نتیجه بررسی عملکرد روش آستانه‌یابی در فضای رنگی HSI در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم‌ها از دقت کافی برای کاربرد در ربات گوجه چین برخوردارند. میزان خطا در تشخیص بافت سبز رنگ در سیب‌زمینی در فضای رنگی RGB در مقایسه با مقدار واقعی ۵/۲۶ درصد گزارش شد (Ebrahimi et al., 2011). دقت بیشتر در تشخیص بافت سبز رنگ سیب‌زمینی نسبت به درصد رسیدگی گوجه‌فرنگی در این مقاله، به دلیل انجام آزمایشات بر روی سیب‌زمینی در شرایط نوری کنترل شده، می‌باشد. نتایج عملکرد سه الگوریتم از تصاویر پردازش شده محصول در جدول ۱ نشان داده شده است. بهترین نتایج، در الگوریتم انحنا و در فضای رنگی YCbCr (۹۳ درصد) و الگوریتم ارتباط قرمز / سبز در فضای رنگی RGB (۹۰ درصد) به‌دست آمد. میزان خطای الگوریتم آستانه‌یابی (فضای رنگی HSI) در تقسیم بندی ۲۵ درصد بود. تشخیص سیب بر روی درخت

در شرایط نور طبیعی توسط دو الگوریتم تشخیص لبه و الگوریتم تشخیص رنگ و شکل صورت گرفت (Lak et al., 2010). نتایج نشان داد الگوریتم تشخیص لبه موفق نیست، اما تشخیص سیب بر اساس رنگ و شکل دارای دقت ۸۳/۳ درصد بود. درصد گوجه تشخیص داده شده در الگوریتم‌های ارتباط قرمز / سبز و الگوریتم انحنا بیشتر از ۸۳/۳ درصد به‌دست آمد. علت آن را می‌توان به فضای کنترل شده گلخانه نسبت به باغ مرکبات و کاربرد فضای رنگی YCbCr بجای RGB مربوط دانست.

نتایج تقسیم‌بندی تصویر به دو بخش میوه و پس زمینه در فضاهای رنگی RGB و YCbCr در شکل ۴ نشان داده شده است. تصاویر (الف) و (ب) از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری تهیه شده‌اند و تنها گوجه‌ها با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد در آن شناسایی می‌شوند، پس از اطمینان از وجود گوجه رسیده در تصویر اولیه دوربین در فاصله نزدیک‌تری قرار می‌گیرد و تصویر نزدیک‌تر را با اعمال فیلتر سبز تهیه می‌کند تا محل اتصال میوه به ساقه برای برداشت مشخص شود (شکل ۴ ج و د). افزودن فیلتر سبز اگرچه باعث افزایش نویز در تصویر می‌شود ولی با توجه به داشتن مرکز مختصات گوجه‌های رسیده از تصویر اولیه می‌توان دمبرگ آن‌ها را شناسایی نمود. در جدول (۲) دقت سامانه بینایی در تشخیص دمبرگ بررسی گردید. از ۲۸ بوته مورد مطالعه پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شد. در این تصاویر تعداد گوجه‌ها با بیش از ۵۰ درصد قرمزی مشخص شده بودند و هدف، شناسایی محل اتصال آن‌ها به شاخه در تصویر نزدیک‌تر بود. در این مرحله دو نوع خطا مشاهده شد. اول، تشخیص اشتباه دمبرگ که به علت انبوه بودن برخی بوته‌ها اتفاق افتاد و دوم، عدم تشخیص دمبرگ بود که به علت عدم وجود نور کافی و وجود سایه سایر شاخ و برگ‌ها در محل اتصال گوجه به گیاه مشاهده شد.



شکل ۳- بررسی عملکرد الگوریتم آستانه‌یابی در شناسایی گوجه‌ها با ۵۰ درصد قرمزی و بیشتر

Fig.3. Performance evaluation of thresholding algorithm in detection of tomatoes above 50% ripeness

جدول ۱- نتایج تشخیص گوجه‌فرنگی از پس زمینه توسط الگوریتم‌های مکان‌یابی

Table 1- Result of recognizing tomatoes from background with fruit-tomato location algorithm

الگوریتم رابطه قرمز / سبز Red/Green Relation		الگوریتم انحناى تصویر Curvature of the Image Surface				الگوریتم آستانه‌یابی Thresholding			تعداد بوته‌ها Plant numbers
تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تعداد میوه داده شده (%) Detected fruits (%)	تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تعداد میوه تشخیص داده شده (%) Detected fruits (%)	تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تعداد میوه داده شده (%) Detected fruits (%)	
16	84	63	4	96	45	25	75	64	1
2	98	93	6	94	51	26	74	89	2
9	91	69	22	78	45	24	76	65	3
10	90	78	7	93	54	25	75	77	دقت نهایی (%) Final accuracy (%)

جدول ۲- نتایج دقت سامانه بینایی در تشخیص دمبرگ گوجه‌فرنگی گیلاسی

Table 2- Result of vision system for detection of peduncle of cherry tomato

تعداد عدم تشخیص دمبرگ Not detected petiole	تعداد خطا در تشخیص دمبرگ Fault diagnosis of petiole	تعداد گوجه تشخیص داده شده با ۵۰ درصد قرمزی Detected tomato with 50% redness	شماره بوته (تصادفی) Plant Number (randomly)
0	1	2	1
1	0	3	4
1	2	6	13
0	1	3	19
0	0	1	27
13.3	26.7		درصد Percent



(د) (d)



(ث) (c)



(ب) (b)



(الف) (a)

شکل ۴- تشخیص گوجه‌فرنگی در تصویر: (الف) تصویر اولیه از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری، (ب) تصویر خاکستری فضای YCbCr از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری، (ج) تصویر خاکستری فضای RGB از فاصله ۵۵ سانتی‌متری، (د) تصویر خاکستری فضای RGB از فاصله ۵۵ سانتی‌متری

Fig.4. Tomato detection in image: (a) Raw image from 135cm, (b) YCbCr gray level image from 135cm, (c) Raw image from 55cm, (d) RGB gray level image from 55cm

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی یک سامانه بینایی جهت تشخیص گوجه‌فرنگی در شرایط نور طبیعی پرداخته شد. در این سامانه، تصویر در سه فضای رنگی پردازش گردید و از سه الگوریتم تشخیص محصول از پس زمینه استفاده شد تا بتوان دقیق‌ترین روش را برگزید.

منابع

نتایج نشان داد فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه‌فرنگی رسیده از زمینه موفق می‌باشد. این سامانه را می‌توان بر روی ربات گوجه چین نصب نمود و به‌صورت برخط^۱ عمل برداشت را انجام داد.

1. Anonymous. 2010. Annual report of agriculture ministry of Iran.
2. Asada and Aslutayn. 1997. Analyze and Control the Robot. Translated by Koraym Habib nejad. Published by University of Science and Technology. (In Farsi).
3. Ebrahimi, E., K. Mollazadeh, and A. Arefi. 2011. Detection of greening in potatoes using image processing techniques. *American Science*, 7: 243-247.
4. Hannan, M. W., and T. F. Burks. 2004. Current developments in automated citrus harvesting. *American Society of Agricultural Engineers (ASAE) Paper no. 043087*.
5. Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, and M. Kurita. 2010. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field tests. *Biosystem Engineering*, 105: 160-171.
6. Huang, Y. J., and L. Fang-Fan. 2010. An automatic machine vision guided grasping system for *Phalaneopsis* tissue culture plantlets. *Computer and Electronic in Agriculture*, 70: 42-51.
7. Jian-jun, Y., M. Han-ping, and Z. Su-yu. 2009. Segmentation of fruit image based on color difference. *Communication and Computer*, 6(7): 40-45.
8. Kohan. 2011. Robotic harvesting of *Rosa Damascena* using spectroscopic machine vision. Faculty of Agricultural Machinery Engineering. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. (In Farsi).
9. Lak, M. B., S. Minaei, J. Amiriparian, and B. Beheshti. 2010. Apple fruit recognition under natural luminance using machine vision. *Food Science and Technology*, 2(6): 325-327.
10. Monta, M. 2000. Robot for bioproduction systems. 2nd IFAC/CIGR International workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems. Osaka, Japan.
11. Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 9(1): 62-66.
12. Rahafrooz, A. 2006. AVR microcontrollers and its applications. NAS Pub. (In Farsi).
13. Rath, T., and M. Kawollek. 2009. Robotic harvesting of *Gerbera Jamesonii* based on detection and three dimensional modeling of cut flower pedicels. *Computer and Electronic in Agriculture* 66: 85-92.
14. Tabb, A., D. Peterson, and J. Park. 2006. Segmentation of Apple fruit from video via background modeling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Paper no. 063060*.
15. Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and I. Imagawa. 2006. Cherry harvesting robot, Preprints of 3rd IFAC International Workshop on Bio-robotics, 254-260. Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, Sapporo Japan.
16. Ting, K. C., G. A. Giacomeli, and S. J. Shen. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. *Transactions of the ASAE* 33.
17. Turcco, E. and A. Verri. 1998. Introduction techniques for 3-D computer vision. Prentice Hall.