طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه هوشمند درجه بندی گوجه فرنگی

امید امیدی ارجنکی[1]، اسعد مدرس مطلق[2]، پرویز احمدی مقدم[2]

1- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

2- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ارومیه

omidmac@gmail.com

چکیده

درجه بندی آنلاین گوجه فرنگی بر طبق خصوصیات و ویژگی های آن یکی از عملیات مهم بعد از برداشت محسوب می شود. هدف این تحقیق توسعه یک سیستم و سامانه آزمایشگاهی کارا برای درجه بندی گوجه فرنگی بر مبنای فن آوری پردازش تصویر است . معیارهای درجه بندی در این سامانه شام ل شکل، اندازه، رسیدگی و عیوب هستند. برای شکل، رسیدگی، و اندازه گوجه فرنگی به ترتیب شاخص های انحراف از مرکز، میانگین مؤلفه‌های رنگی و مساحت دید از بالا تعریف شدند. آسیب‌های معمول گوجه فرنگی شامل ناهمگنی رنگ، ترک های رشد، آفتاب سوختگی، لکه موجی و غیره است . در این سامانه درجه بندی، از یک دوربین CCD که برای کار در حالت USB تنظیم شده بود، یک میکروکنترلر، سنسور و یک رایانه همراه به منظور پردازش داده استفاده شد. عملیات پردازش تصویر توسط نرم افزاری که با زبان ویژوال بیسیک 2008 نوشته شد، اجرا و انجام شد . برای ارزیابی سامانه از 210 نمونه گوجه فرنگی تصویر برداری شد . هر کدام از الگوریتم‌های شناسایی، روی تمام تصاویر این نمونه ها اعمال شد . اطلاعات مورد نیاز از هر کدام از تصاویر برای «سالم بودن» یا «معیوب بودن»، «بیضی» یا «دایره» بودن، «کوچک» یا «بزرگ» بودن و مقدار رنگ استخراج شد. نتایج نشان داد که دقت الگوریتم های کشف عیوب، شکل و اندازه و دقت کلی سامانه به ترتیب 84.84٪، 90.90٪ 94.54٪ و 90٪ بدست آمد. کارایی و عملکرد سامانه نیز درجه بندی 2517 عدد گوجه فرنگی در ساعت تخمین زده شد.

کلمات کلیدی: بینایی ماشین، پردازش تصویر، درجه بندی، گوجه فرنگی

مقدمه

گوجه فرنگی یکی از مهمترین محصولات در تغذیه انسان است که روزانه مورد مصرف میلیون ها نفر می شود. این محصول نیز در بین ایرانیان جایگاه ویژه ای دارد . طبق آمار فائو در سال 2010 تولید جهانی گوجه فرنگی 314 میلیون تن بوده است. ایران با برداشت 5 میلیون تن گوجه فرنگی رتبه ششم در دنیا را در تولید این محصول دارد . به طور تقریبی سه چهارم گوجه فرنگی برداشت شده به صورت تازه خوری استفاده می گردد و به همین دلیل کیفیت مناسب، فاکتور مهمی در توزیع این محصول است. نارسی و ناهمگنی در رسیدگی در گوجه فرنگی ها عیوب معمول این محصول در بازار است. عیوب و آسیب دیدگی های گوجه فرنگی با استفاده بیش از حد از آفت کش ها و سم های زراعی و همچنین ذخیره سازی ناصحیح افزایش می یابد (ولی اوغلو و همکاران [1]، 1998). یکی از مهمترین فرآیندها در مراحل بسته بندی و عرضه در بازار درجه بندی است. این عمل نیازمند پارامترهای متفاوت و

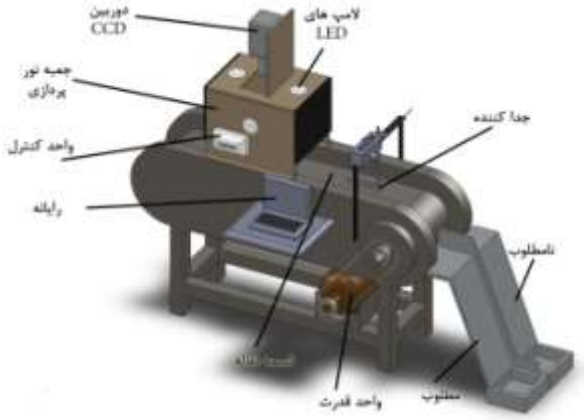
[1] Velioglu et al.

مختلفی از قبیل درجه رسیدگی، رنگ، شکل، اندازه و عیوب، برای تسریع توأم شناسایی و مدیریت است . کارآمدی و بازده بالا در درجه بندی، استاندارد کیفیت در خطوط بسته بندی و تولید را سبب می شود (جاریموپاس و همکاران، 2008[1]). به همین سبب نیاز به سرعت، کارآمدی و ثبات در فرآیند درجه بندی است . درجه بندی دستی یک روش معمول برای درجه بندی میوه ها است. این روش شامل عیوبی از قبیل هزینه بالای کارگر، خستگی، دقت پایین و ناهمگنی حین شرایط مختلف محیطی مثل تغییر در شدت نور و نبود دقت در کار به دلیل نداشتن استاندارد و کمبود کارگر ماهر دارد . استفاده از بینایی ماشین به فرایند خودکار سازی کمک کرده و در نتیجه هزینه و شمار کارگران را کاهش می دهد . بهترین روش برای تخمین کیفی و درجه بندی میوه ها روش بینایی ماشین است. مزیت های این روش عبارتند از : غیر مخرب بودن، دقت، سرعت و غیره. یک سامانه بینایی ماشین می تواند ویژگی های داخلی و خارجی محصولات کشاورزی، شامل درجه رسیدگی، عیوب رطوبت و مواد غذایی را به طور دقیق تشخیص دهد (یاد و همکاران [2]، 2002). با کمک دوربین های دیجیتال متشکل از سنسور CCD[3] (مورد استفاده در این تحقیق) ویژگی های رنگی یا درجه های تک رنگ محصولات برای تعیین کیفیت آنها، تحت یک شدت نور معین، ارزیابی می شود . در سال های متمادی گوجه فرنگی مانند مرکبات، سیب، انار، و باقی میوه‌ها به صورت دستی درجه بندی می شد. هدف این تحقیق ارائه یک سامانه درجه بندی خودکار بر اساس تکنیک پردازش تصویر برای گوجه فرنگی است که میتواند برای درجه بندی انار، لیمو و یا باقی محصولات مشابه نیز (با اندکی تغییر) استفاده شود.

مواد و روشها

سخت افزار سامانه شامل یک تسمه نقاله، سیستم قدرت و انتقال قدرت ، منبع نور، دوربین دیجیتال CCD، عملگر مکانیکی، واحد کنترل و یک رایانه همراه است . نرم افزار مربوط نیز از الگوریتم هایی برای تشخیص عیوب، شکل، رنگ و اندازه گوجه فرنگی ها تشکیل شده است . شکل 1 شمای یک سیستم درجه بندی گوجه فرنگی آزمایشگاهی را نشان می دهد . سامانه مجهز به یک تسمه نقاله سیاه رنگ با دو مجرا در انتهای نقاله برای جدا کردن دو کلاس گوجه فرنگی است. در سمت عقب تسمه یک جعبه با یک دوربین دیجیتال در بالای تسمه و عمود بر آن و 4 عدد لامپ LED 220 ولت نصب شده است. این سیستم نور دهی حداقل ایجاد سایه و بازگشت نور را تأمین می کند. دوربین در 53 سانتی متری بالای تسمه نصب شده است و دقتی معادل 2 مگا پیکسل (با قدرت تفکیکی 640 در 480) تأمین میکند. در این تحقیق گوجه فرنگی ها در دو دسته (مطلوب و نامطلوب) بر اساس رسیدگی، عیوب، شکل و اندازه طبق حدود انتظار جدول 1 دسته بندی شدند.

[1] Jarimopas et al.
[2] Yud et al.
[3] Charge Coupled Devices



شکل 1- شمای سامانه درجه بندی هوشمند گوجه فرنگی

واحد کنترل الکترونیکی از یک میکروکنترلر و یک سنسور تشکیل شده است. از یک رایانه همراه نیز برای پردازش سیگنال و پردازش و تهیه تصاویر استفاده شد. بر روی تسمه نقاله در حرکت، گوجه فرنگی از روبروی سنسور عبور می کند. با دریافت سیگنال ارسالی از میکر وکنترلر نرم افزار به راه انداز دوربین دستور تهیه یک عکس را می دهد. از تصویر ارسالی دوربین توسط نرم افزار یک تصویر با قالب JPEG تهیه می گردد. الگوریتم ها در Visual Basic 2008 به منظور پردازش تصاویر توسعه داده شدند. به منظور جداسازی تصویر گوجه فرنگی از پس زمینه، تصاویر به محیط HSI منتقل شدند. سپس پیکسل هایی از تصویر که خارج از دامنه مشخص شده HSI بودند فیلتر شدند. تصویر حاصل دوباره به محیط RGB منتقل شد و پیکسل هایی از آن که خارج از بازه های (0 تا 25) برای R، (0 تا 64) برای G و (0 تا 64) برای B بودند فیلتر شدند. تصویر نهایی به محیط خاکستری منتقل شد و آستانه گیری روی آن انجام گردید. در تصویر نهایی تنها شی باقی مانده گوجه فرنگی بود. انحنای گوجه فرنگی یک کمیت مناسب برای تعیین شکل گوجه فرنگی است . تقسیم بندی از لحاظ شکل مشتمل بر دو نوع تقسیم بندی دایروی و بیضوی بود. به منظور یافتن شاخص شکل یک گوجه فرنگی ویژگی دوری از مرکز [1] آن محاسبه شد. در ریاضیات، دوری از مرکز که با «e» یا «ε» نشان داده می شود، می توان به عنوان یک معیار برای اندازه گیری مقدار انحراف یک شی دو بعدی از دایره در نظر گرفت . به طور خاص، دوری از مرکز برای یک دایره صفر و برای یک بیضی بزرگتر از صفر و کوچکتر از یک است (ویستین[2] 2011). مرکز شی گوجه فرنگی را می توان با میانگین گرفتن از مقدار طول و عرض مختصاتی همه نقاط شی بدست آورد (ون و همکاران [3]، 2002). مقدار مساحت، شاخص تعیین اندازه فرض شد. تعیین درجه رسیدگی نیز با کمک نظر کارشناس تعیین شد . بعد از تشخیص 50 گوجه فرنگی رسیده و 50 گوجه فرنگی نارس، تصاویر آنها، هیستوگرام تصاویر و میانگین مؤلفه های رنگی بدس ت آمد. این مقدار، شاخصی برای تعیین وضعیت رسیدگی گوجه فرنگی در الگوریتم نرم افزار مورد استفاده قرار گرفت . تصاویری که از گوجه فرنگی های معیوب تهیه شد با الگوریتم اتسو [4] آستانه گیری شد و تصاویری که از گوجه فرنگی های نارس تهیه شده بود نیز با الگوریتم آماری SIS آستانه گیری شدند. در تصویر نهایی، پس زمینه و

[1] Eccentricity
[2] Weisstein
[3] Van et al.
[4] Otsu

عیوب، سیاه و نقاط سالم گوجه فرنگی، سفید شدند . بنابر این شاخص تعیین درصد وجود عیوب، شاخص پری [1] منظور شد. هرچه مقدار شاخص پری شی کمتر باشد مقدار مناطق آسیب دیده بیشتر است . با مقایسه نتایج بدست آمده با حد آستانه اند ازه، رنگ، مساحت عیوب و دوری از مرکز که در نرم افزار توسط اپراتور تعیین شده است، سیگنال مرتبط به درجه مربوطه ارسال می شد.

نتایج و بحث

اثرات سرعت تسمه نقاله، فاصله بین گوجه فرنگی ها و شدت نور روی پارامتر های درجه بندی : بیشترین سرعت مناسب تسمه نقاله، که تصاو یر تهیه شده از گوجه فرنگی های روی آن با حداقل ماتی تهیه می شدند، سرعت 10/5 سانتی متر بر ثانیه بدست آمد . همچنین، با توجه به دقت سنسور برای تشخیص همه گوجه فرنگی های عبوری از روبروی آن و تخمین میدان دید دوربین برای عکس برداری از یک گوجه فرنگی، سرعت مناسب و فا صله تغذیه صحیح به مقدار 15 سانتی متر تعیین شد. ضمن زیاد شدن شدت نور، سطح خاکستری مؤلفه های سبز و آبی بزرگتر و نزدیک تر به مؤلفه قرمز می شوند . تحت این شرایط، تغییرات مؤلفه آبی بیش از مؤلفه سبز است . همچنین اختلاف بین مؤلفه های قرمز و سبز برای جداسازی گوجه فر نگی از پس زمینه در هر دو شرایط نوری روی تسمه نقاله، اکثراً ثابت است . طبق نتایج، استفاده از تفاضل بین قرمز و سبز برای جداسازی مناسب تر از این اختلاف بین مؤلفه های قرمز و آبی است . حداقل مقدار پری، بالاترین چارک مقدار دوری از مرکز، حداقل چارک مقدار مساحت دو بعدی و یک بازه بین حداقل و حداکثر میانگین رنگ به عنوان آستانه های انتظار در بخش تعیین عیوب، شکل، اندازه و رسیدگی فرض شدند (جدول 1).

جدول 1- حداقل حدود انتظار

نوع درجه بندی	آستانه
عیب	72
شکل	0/722
اندازه	35696
رسیدگی	46~26, B=50~23, G=104~45R=

تصاویری که از 50 نمونه گوجه فرنگی تهیه شدند، با مقادیر مؤلفه های میانگین رنگ مربوط به هر نمونه، برای بررسی جمع آوری و یادداشت شدند. میانگین هر مؤلفه محاسبه شد (جدول 2).

جدول 2- نتایج مطالعه و بررسی گوجه فرنگی ها در درجه بندی بر اساس رسیدگی.

نمونه ها	میانگین قرمز	میانگین سبز	میانگین آبی
همه نمونه ها	85/12	43/9	38/3
نمونه های سالم	82/68	40/22	37/76
نمونه های معیوب	92/08	42/08	39/23

[1] Fullness

با بکاربردن حداقل آستانه انتظار، نمونه ها درجه بندی شدند و دقت سیستم در هر نوع درجه بندی محاسبه شدند (جدول 3). طبق نتایج جدول 3، میانگین دقت در حدود 90/61 درصد بدست آمد. نتایج حاصل شده توسط ژانگ و همکاران[1] در سال 2009، دقت بالای 94/9 درصد را برای تشخیص رسیدگی گوجه فرنگی از گوجه فرنگی های نارس و نیمه رسیده نشان می داد. آنها گوجه فرنگی را تنها بر اساس یک ویژگی رسیدگی، به صورت آنلاین بررسی کردند، اما چهار ویژگی شامل درجه رسیدگی، مقدار عیوب، شکل و اندازه در این تحقیق در یک الگوریتم بررسی شدند. به این دلیل دقت این تحقیق کمتر از نتایج ژانگ و همکاران شد . کوچکترین خطا و بالاترین دقت، نسبت به خطای کلی و دقت برای درجه بندی بر اسا س رسیدگی، شکل و عیوب، برای درجه بندی بر اساس اندازه ثبت شد . این به دلیل اینست که: الف- گوجه فرنگی های نرسیده به عنوان گوجه فرنگی های معیوب شناسایی شدند. در این مورد چهار روش آستانه گیری استفاده شد . روش اتسو برای گوجه فرنگی های سالم مناسب تر تشخیص داده شد . اما آستانه حاصل از روش آماری تصویری ساده (SIS) و مقدار آستانه 16 به ترتیب برای آستانه گیری گوجه فرنگی های نارس و معیوب نتیجه شدند . به منظور اینکه درجه بندی بر اساس تشخیص عیوب بر پایه گوجه فرنگی‌های با سلامت کامل انجام شود، تنها روش اتسو برای سیستم منظور شد . ب- احتمالاً، تشخیص ناصحیح در شکل و رنگ توسط کارشناس خبره صورت گرفته باشد و ج- تنها دو کلاس برای درجه بندی در همه انواع درجه بندی منظور شده برای سامانه وجود دارد در حالی که بیشتر کلاس ها در درجه بندی مشترک درجه بندی می شوند که در این حالت در حالت درجه بند ی بر اساس اندازه به نظر می رسد تداخل و ترکیب کمتری صورت می - گیرد.

جدول 3- دقت محاسبه شده برای هر نوع درجه بندی

نوع درجه بندی	تشخیص کارشناس		تشخیص سامانه درجه بندی		دقت
	مطلوب	نامطلوب	صحیح	غلط	
عیب	68	32	85	15	٪85
شکل	40	15	50	5	٪90/90
اندازه	28	27	52	3	٪94/54
رسیدگی	37	13	46	4	٪92

نتایج (جدول 2) نشان داد که در بین تمام میانگین ها، میانگین مؤلفه قرمز مقدار بالاتری دارد . همچنین میانگین مؤلفه آبی کمتر از بقیه مؤلفه ها است . میانگین همه مؤلفه ها در نمونه های معیوب بالاتر از نمونه های سالم بود (57/8 برای نمونه های معیوب و 53/55 برای نمونه های سالم). شکل 5 دو پروفایل سطح خاکستری در نمونه های گوجه فرنگی معیوب و سالم را نشان می‌دهد. به منظور جداسازی گوجه فرنگی از پس زمینه، مؤلفه سبز تصویر از مؤلفه قرمز کسر شد. به دلیل اینکه تفاضل R-G در گوجه فرنگی، 30 برابر بیشتر از پس زمینه و عیوب است، در تصو یر نتیجه شده از تفاضل، گوجه فرنگی جدا شده از پس زمینه وضوح بهتر و نمای بیشتری داشت . طبق نتایج پس زمینه حذف شد و عیوب تشخیص داده شدند . زمان حرکت تسمه نقاله برای درجه بندی یک گوجه فرنگی برابر با 1/43 ثانیه شد. طبق همین نتیجه، سیستم، یک گوجه فرنگی را حداکثر د ر 1/43 ثانیه تشخیص می دهد. طبق نتایج، ظرفیت عملیاتی سیستم تعداد 2517 عدد گوجه فرنگی در ساعت بدست آمد . در نهایت،

[1] Zhang et al.

عملکرد سیستم تنها در این فرض که نقص و عیب تنها در یک طرف گوجه فرنگی رخ می دهد تجزیه و تحلیل شده است.

منابع

Blasco J, Aleixos N, Cubero S, Gómez SJ, Moltó E (2009) Automatic sorting of Satsuma (Citrus unshiu) segments using computer vision and morphological features. Computers and Electronics in Agriculture 66: 1–8.

Gonzalez RC, Woods RE (2002) Digital Image Processing. Second Edition. Prentice-Hall Inc.

Jarimopas B, Jaisin N (2008) An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind. Journal of Food Engineering 89: 291–297.

Lino LAC, Sanches J, Dal FMI (2008) Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. Bragantia Campinas 67: 785-789.

Van AHC, Egmont PM, Reiber JC (2002) Accurate object localization in gray level images using the center of gravity measure; Accuracy Versus Precision. IEEE Transaction on Image Processing 11: 1379–1384.

Velioglu S Y, Mazza G, Gao L, Omah BD (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 4113–4117.

Weisstein E (2011) A wolfram web resource. MathWorld, Last accessed on: October 19, http://mathworld.wolfram.com/Eccentricity.html.

Yud RC, Kuanglin C, Moon Kim S (2002) Machine vision technology for agricultural applications. Computers and Electronics in Agriculture 28(1): 173–191.

Zhang Y ,Yin X, Zou X, Zhao J (2009) On-Line sorting maturity of cherry tomato by machine vision. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 295, Springer-Verlag US, p. 2223.