

Design and Evaluation of an Image Processing Based Algorithm for Shape Reconstruction and Real-Time Measurement of Geometrical Dimensions of Anthurium Flower

ALIREZA SOLEIMANI POUR¹, GHOLAM REZA CHEGINI^{2*}

1. PhD Student, Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
(Received: Oct. 10, 2017- Revised: Apr. 22, 2018- Accepted: May. 5, 2018)

ABSTRACT

Reconstructing an object as a set of points or a polynomial curve in a Cartesian coordinate system provides automatic recognition of the object key points. So, it is possible to obtain geometrical key-points in a short time and without the operator. In this research, a new algorithm was developed to reconstruction and recognition of key points of Anthurium flowers. Image processing techniques, B-spline curves and mathematical operations are used for boundary extraction, shape reconstruction and key-points detection. The results showed that the degree of similarity between reconstructed shape and original image shape for three cultivars of Anthurium flower is 97.6%, averagely. The processing time of the algorithm was 0.62s for optimum B-spline knot number. Also, in all tests, the two key-points defined for the shape of Anthurium flower have been accurately detected and estimation error for measuring the geometrical dimensions of Anthurium flower using the algorithm was less than 3%.

Keywords: Anthurium, B-spline curves, image processing, reconstruction, mathematical operations.

طراحی و ارزیابی یک الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر برای بازسازی شکل و اندازه‌گیری برخط ابعاد هندسی گل آنتوریوم

علیرضا سلیمانی پور^۱، غلامرضا چگینی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
 ۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۵)

چکیده

بازسازی شکل یک محصول به صورت مجموعه نقاط یا یک منحنی چندجمله‌ای در دستگاه مختصات دکارتی، تشخیص خودکار نقاط کلیدی شکل را ممکن می‌کند. از این‌رو، مشخصه‌های هندسی محصول را می‌توان در یک مدت زمان کم و بدون نیاز به کاربر به دست آورد. در این تحقیق، یک الگوریتم جدید برای بازسازی شکل و تشخیص نقاط کلیدی گل آنتوریوم ارائه شده است. در این الگوریتم، از روش‌های پردازش تصویر، منحنی‌های بی‌اسپلاین و عملگرهای ریاضی به ترتیب برای استخراج لبه، بازسازی شکل و تشخیص نقاط کلیدی استفاده شده است. نتایج نشان داد که درجه تشابه منحنی بازسازی شده با تصویر اصلی برای سه رقم گل آنتوریوم، به‌طور میانگین، ۹۷/۶٪ بود. زمان پردازش الگوریتم در حالت تعداد گره بی‌اسپلاین بهینه، ۰/۶۲ ثانیه بود. در تمام آزمایش‌ها، الگوریتم هر دو نقطه کلیدی تعریف شده برای شکل گل را به درستی تشخیص داد و خطای تخمین ابعاد هندسی در هر سه رقم کمتر از ۳٪ بود.

واژه‌های کلیدی: آنتوریوم، پردازش تصویر، منحنی‌های بی‌اسپلاین، بازسازی، عملگرهای ریاضی.

مقدمه

رنگ، شکل، اندازه و ظاهر بدون آسیب محصولات کشاورزی از مهمترین عوامل کیفی آن‌ها بوده، و تاثیر مستقیمی بر مقبولیت و خرید مداوم یک محصول توسط مصرف‌کننده می‌گذارند. در بازارهای صادرات نیز این محصولات را به لحاظ اندازه، آسیب بیرونی و ظاهر مورد بازرسی و ارزیابی قرار می‌دهند. این مشخصه‌ها همچنین به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی در تعیین بهترین زمان برداشت استفاده می‌شوند (Leemans & Destain, 2004). بدین جهت ارزیابی عوامل کیفی هم به لحاظ جنبه‌های تحقیقاتی محصولات، توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است و هم در عمل به‌عنوان یک شاخص کاربردی در طبقه‌بندی^۱ و درجه‌بندی محصولات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیوه معمول ارزیابی حسی ظاهر توسط انسان، وابسته به شخص، غیردقیق و زمان‌بر بوده و از این‌رو روش‌هایی که از ابزار بهره می‌گیرند از ارجحیت بیشتری برخوردار هستند و یا حتی یک نیاز محسوب می‌شوند (Zhang et al., 2014). از سوی دیگر، وجود رقابت برای حضور در بازارهای محلی و جهانی و تقاضای مصرف‌کننده برای برخورداری از کیفیت عالی و پایدار،

تولیدکنندگان را بر این داشته تا تک‌تک موارد مربوط به کیفیت محصول، از جمله رنگ، اندازه، یکنواختی در شکل و آسیب بیرونی را قبل از تحویل آن به مصرف‌کننده بررسی نمایند (Cubero et al., 2011).

گل‌های شاخه بریده نقش مهمی در ایجاد تنوع گیاهی در کشاورزی نواحی گرمسیری دارند (Dufour & Guérin, 2003). آنتوریوم (*Anthurium andernum*) یک گیاه همیشه سبز، گرمسیری، چند ساله و خوش جلوه است که اغلب برای استفاده به‌عنوان گل شاخه‌بریده پرورش داده می‌شود. این گل به دلیل ظاهر رنگارنگ، دیرپایی، اسپادیکس^۲ استوانه‌ای قرار گرفته در بالای اسپات^۳ قلبی‌شکل بزرگ (بخش گلبرگ مانند گل با رنگ براق)، و شاخ و برگ با جذابیت خاص ارزشمند است (شکل ۱). آنتوریوم به‌طور معمول، گل فلامینگو یا زنبق فلامینگو^۴ نامیده می‌شود. این گل برای کاشت در بستر کشت، حاشیه و گلدان قسمت‌های اسپات و اسپادیکس رنگ‌بندی برجسته و درخشانی دارند که رنگ‌های قرمز مایل به زرد، سرخ، نارنجی مایل به صورتی کم‌رنگ، نارنجی، صورتی، سبز و سفید را شامل می‌شود؛

2. Spadix
 3. Spathe
 4. Flamingo lily

1. Classification

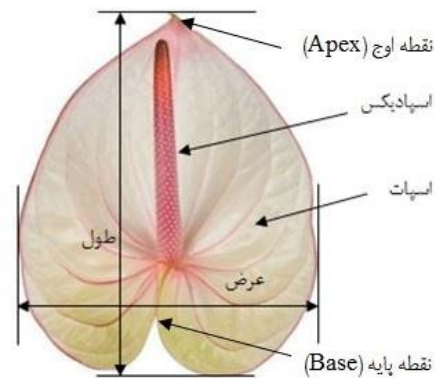
* نویسنده مسئول: chegini@ut.ac.ir

مرزی روی هر تکه تصویر استخراج و با استفاده از آن یک مدل چارچوبی برای برآورد سطح رویه با نرم‌افزارهای مرسوم ایجاد شد. در نهایت، معادلاتی برای پیش‌بینی سطح رویه هر شکل محصول کشاورزی از روی اندازه‌گیری وزن پیشنهاد شد (Eifert *et al.*, 2006). در پژوهش دیگری پس از بررسی روش‌های موجود برای محاسبه مشخصه‌های هندسی، یک راهکار جدید برپایه سطح بازتاب شده برای اندازه‌گیری طول در سه بعد پیشنهاد شد. این روش در مقایسه با روش‌های موجود، کمترین خطای ناشی از کاربرد را به همراه داشت. علاوه بر این، تاثیر تعداد بازتاب انجام شده از ذره روی متغیرهای بدست آمده از طریق تحلیل تصویر بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دو تا سه بازتاب عمود می‌تواند برای بیان خصوصیات متغیرهای دوبعدی با بیشینه خطای کمتر از ۱۰ درصد استفاده شود (Bagheri *et al.*, 2015). در پژوهش دیگری درجه موفقیت روش‌های مختلفی که از خصوصیات با قابلیت اندازه‌گیری آسان از قبیل طول، عرض، ضخامت ذره و حجم آن برای تخمین سطح رویه استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار گرفت. یک مجموعه آموزشی از تعداد ۳۳۵۹ ذره با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف برای توسعه معادله‌های رگرسیون بین شاخص‌های مختلف شکل استفاده شد. این معادله‌ها سپس برای تخمین سطح رویه برخی مواد استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش پیشنهادی سطح رویه را با خطای درصد مطلق میانگین ۲/۸ تا ۳/۸ درصد برآورد می‌کند (Erdoğan, 2016).

در تحقیقی یک روش مبتنی بر پردازش تصویر برای اندازه‌گیری حجم و جرم مرکبات توسعه داده شد. در این روش از دو دوربین برای گرفتن دید عمودی از میوه استفاده می‌شد. حجم محصول با تقسیم تصویر میوه به یک تعداد مخروط ناقص بیضی محاسبه می‌شد. بدین ترتیب که حجم محصول برابر با مجموع حجم مخروط‌های ناقص منفرد بود. حجم محاسبه شده تطابق خوبی با حجم واقعی اندازه‌گیری شده با روش جایجایی آب داشت (Omid *et al.*, 2010). در تحقیق دیگری از ترکیب روش‌های پردازش تصویر و سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی برای شناسایی برگ چهار رقم سیب استفاده شد. صحت تشخیص ارقام برگ سیب با استفاده از این سامانه ۹۵/۸۳ درصد گزارش شد (Omrani *et al.*, 2015).

در مورد گل آنتوریوم، در تحقیقی یک سامانه برای درجه‌بندی این گل پیشنهاد شد که از یک الگوریتم مبتنی بر بینایی ماشین استفاده می‌کرد. در این تحقیق از روش‌های قطعه‌بندی رنگی و تحلیل لکه^۱ برای اندازه‌گیری عرض اسپات

اما رنگ قرمز آن ارجحیت دارد (Higaki *et al.*, 1995; Teixeira *et al.*, 2015). در بازارهای جهانی، فروش گل آنتوریوم در بین گل‌های شاخه‌بریده گرمسیری در رتبه دوم قرار دارد (Galinsky & Laws, 1996; Rikken, 2010; Hua, 2014).



شکل ۱. گل آنتوریوم (رقم فانتسیا)

به‌طور کلی، بررسی شکل و اندازه هندسی محصولات کشاورزی، به‌خصوص گل‌ها، به دلیل بی‌نظمی‌های طبیعی در شکل بسیار مشکل می‌باشد (Cubero *et al.*, 2011). در مطالعات قبلی، طول و عرض یک محصول در تصویر قطعه‌بندی شده آن، به‌عنوان معیاری برای سنجش اندازه استفاده شده است (Zhang *et al.*, 2014). هرچند، به دلیل شکل نامنظم محصولات کشاورزی و جهت قرارگیری محصول نسبت به دوربین، اندازه‌گیری پارامتر طول و عرض به سادگی اندازه‌گیری دو مورد سطح بازتاب شده و محیط نیست. محققان بسیاری نیز روی توسعه یک معادله دقیق و ساده برای تخمین طول، عرض و سطح رویه کار کرده‌اند. در اغلب این‌گونه تحقیقات، شکل بی‌نظم محصول کشاورزی به یک شکل منتظم هندسی تشبیه شده و اقدام به برآورد خصوصیات فیزیکی ظاهری شده است (Kumar & Mathew, 2003; Somsen *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2006; Bagheri *et al.*, 2015; Erdoğan, 2016). هرچند، روش‌هایی هم برای بازسازی سه بعدی محصول در محیط رایانه توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است که در صورت دقیق بودن می‌تواند مشخصه‌های هندسی کاملی از شی مورد نظر را بدست دهد (Goni *et al.*, 2007).

در پژوهشی یک سامانه بینایی ماشین مبتنی بر تصویر برداری شعاعی (Lee *et al.*, 2006) برای اندازه‌گیری سطح رویه برخی از محصولات کشاورزی ارائه شد. در این سامانه یک سلسله از ۳۰ تصویر در فواصل زاویه‌ای یکسان از یک شی ثبت می‌شد؛ به‌نحوی که هر تصویر به‌عنوان یک تکه از مقطع عرضی شی در یک موقعیت زاویه مشخص بود. سپس، موقعیت نقاط

1. Blob analysis

در عملیات نرم‌افزاری، وضوح تصویر به مقدار 640×480 کاهش و تصاویر با فرمت jpg. ذخیره می‌شدند. دوربین تحت شبکه به یک رایانه شخصی متصل بود و هر تصویر پس از اخذ، با استفاده از برنامه از پیش نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB R2015a پردازش می‌شد. تصاویر با استفاده از یک صفحه پس‌زمینه که رنگ آن آبی بود، گرفته شدند. انتخاب رنگ آبی به‌عنوان پس‌زمینه به منظور انجام موثر آشکارسازی مرزها در ارقام مختلف گل آنتوریوم بود. چرا که تباین بیشتر بین شی و پس‌زمینه، روند استخراج لبه شی را تسهیل می‌نماید. هنگام تصویر برداری، لنز دوربین به‌طور عمود بر نمونه گل و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر قرار می‌گرفت. برای انجام نورپردازی از لامپ‌های LED با مجموع توان ۲۰ وات و ولتاژ ۱۲ ولت جریان مستقیم (12VDC) با نور سفید (با دمای رنگ ۶۵۰۰ کلوین) استفاده شد. با توجه به مشخصات لامپ‌ها و هندسه محل تصویر برداری، شدت نور در محل قرارگیری نمونه گل حدود ۵۵۰۰ لوکس بود. این لامپ‌ها به‌صورت متقارن و با زاویه ۴۵ درجه نسبت به دوربین نصب شدند، به‌طوری‌که فقط بازتاب نور به لنز دوربین برخورد می‌کرد. از برخورد مستقیم نور به لنز اجتناب شد تا میزان نویز ایجاد شده در تصاویر به کمترین مقدار برسد. قابل ذکر است که در این زاویه قرارگیری لامپ‌های نورپردازی نسبت به دوربین، بیشترین مقدار بازتاب نور از نمونه به دوربین به‌وجود خواهد آمد.

لبه یابی تصاویر

در برنامه طراحی شده، لبه نامنظم تصاویر با روند زیر استخراج می‌شود:

اعمال فیلتر رنگی RGB به تصاویر اولیه؛ این فیلتر با حذف رنگ آبی پس‌زمینه باعث ارتقا کیفیت تصویر رنگی، کاهش تاثیر نورپردازی، عملیات تنظیم شدت، به‌سازی تباین و حذف نویز از تصویر دیجیتال می‌شد (عملیات پیش پردازش). قابل ذکر است این فیلتر در نرم افزار MATLAB به صورت یک تابع کدنویسی شد.

تبدیل تصاویر رنگی (RGB) به فرمت خاکستری (Gray-scale)،

کاهش نویز با کاربرد یک فیلتر میان 3×3 برای تقویت کیفیت تصویر؛ انتخاب این فیلتر براساس مقایسه نتایج حاصل از اعمال فیلترهای مختلف بر روی تصویر خاکستری، به‌خصوص در نواحی نزدیک به مرز تصویر، انجام شد.

قطعه‌بندی تصویر با استفاده از یک مقدار آستانه حاصل از آنالیز نمودار هیستوگرام تصویر خاکستری؛ مقدار آستانه برای هر تصویر به‌طور جداگانه، با استفاده از دستور «graythresh» در نرم افزار MATLAB محاسبه شد که حد آستانه سراسری

گل آنتوریوم استفاده شد و سپس از این اندازه‌گیری‌ها برای درجه‌بندی گل مطابق با استانداردهای رسمی درجه‌بندی استفاده شد (Lin, 2008). در هیچ یک از این مقالات اشاره‌ای به نحوه و زاویه قرارگیری نمونه در زیر دوربین تصویربرداری و اثر آن بر دقت اندازه‌گیری‌ها نشده است.

هدف کلی این تحقیق طراحی و ساخت یک دستگاه مبتنی بر بینایی رایانه‌ای برای درجه‌بندی مکانیزه گل‌های شاخه بریده است. برای این منظور، لازم است الگوریتم پردازش تصویری طراحی شود که مستقل از زاویه قرارگیری نمونه در زیر دوربین تصویر برداری، مشخصات ابعادی و هندسی آن را با صحت و سرعت بالایی تخمین بزند. در الگوریتم مورد نظر، ابتدا تعدادی از نقاط مرزی ناحیه اسپات گل آنتوریوم با استفاده از روش قطعه‌بندی و الگوریتم لبه یابی کنی^۱ استخراج می‌شود. با استفاده از منحنی‌های بی‌اسپلاین، تصویر گل آنتوریوم به‌صورت یک منحنی بازسازی می‌شود. سپس، از عملیات ریاضی برای تشخیص نقاط کلیدی شکل گل استفاده می‌شود. در نهایت، عملکرد الگوریتم ارائه شده با مقایسه و تطبیق تصویر منحنی بازسازی شده با تصویر واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین، توانایی الگوریتم در تشخیص صحیح نقاط کلیدی شکل گل آنتوریوم تحت زوایای قرارگیری مختلف زیر دوربین بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

تهیه تصاویر

برای توسعه و ارزیابی الگوریتم، ۶۰ نمونه گل از سه رقم مختلف گل آنتوریوم، شامل ارقام سانته^۲، فایر^۳ و فانتسیا^۴ از شرکت پارس فلور تهیه شد. نمونه‌ها برای تهیه تصاویر به آزمایشگاه گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران منتقل شدند. عملیات تصویر برداری در همان روز برداشت نمونه‌ها انجام شد. برای تصویر برداری از نمونه‌ها، از یک دستگاه درجه‌بندی گل مجهز به یک سامانه بینایی رایانه استفاده شد (شکل ۲). این سامانه دارای یک دوربین تحت شبکه (GXV (3601 HD-IP Camera, USA) بود. وضوح تصویر این دوربین 1200×1600 (۲ مگاپیکسل)، سرعت تصویر برداری آن ۳۰ فریم بر ثانیه و حسگر آن از نوع CMOS بود. این دوربین با توجه ابعاد تصویر برداری و فاصله دوربین از نمونه، از وضوح بسیار بالایی برخوردار بود. از این‌رو برای کاهش زمان محاسبه

1. Canny edge detection algorithm
2. Sante
3. Fire
4. Fantasia

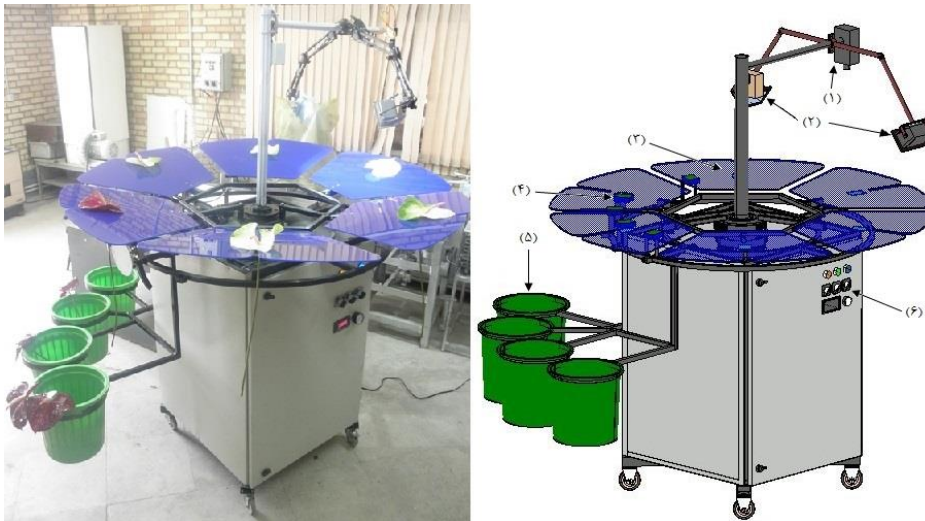
منحنی بی‌اسپلاین بسته (نتیجه این عمل، یک تقریب پیوسته از مرز گسسته تصاویر دودویی خواهد بود) (شکل ۳).
به منظور کاربرد منحنی بی‌اسپلاین در بازسازی محاسباتی مرز نمونه گل، یک تعداد نقطه (گره) از مرز گل تعیین شد و سپس بر روی نقاط تعیین شده منحنی بی‌اسپلاین ترسیم شد. فاصله نقاط تعیین شده با یکدیگر برابر بود و منحنی حاصل، نشان‌دهنده مرز بازسازی شده نمونه گل بود. در ادامه، در مورد منحنی های بی‌اسپلاین و شیوه کاربرد آنها در این تحقیق توضیحاتی ارائه شده است.

1. Knot

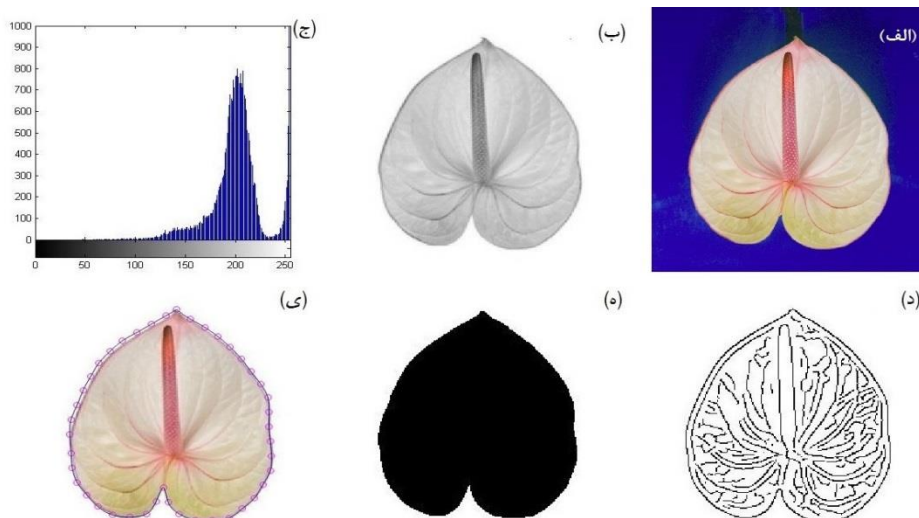
تصویر مربوطه را به دست می‌داد. نتیجه این عمل یک تصویر دودویی خواهد بود که رنگ سفید (با ارزش پیکسل برابر یک) پس زمینه را نشان می‌دهد و رنگ سیاه (با ارزش پیکسل برابر صفر) نشانگر شی می‌باشد.

لبه یابی با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی Canny، استخراج تعداد معینی از نقاط روی لبه با فواصل معین و برابر از هم؛ تعداد نقاط (یا فاصله نقاط) با بررسی منحنی‌های حاصل از برازش بی‌اسپلاین در حالت‌های مختلف (تعداد نقطه) و مقایسه آنها با یکدیگر انتخاب شد (بخش ۳-۱). همچنین، به منظور تقریب و بازسازی یکنواخت مرز نمونه، فاصله بین نقاط انتخاب شده برابر در نظر گرفته شد.

درون‌یابی یک زیر مجموعه از پیکسل‌های مرزی با استفاده از



شکل ۲. الف) تصویر شمانیک و ب) تصویر واقعی دستگاه درجه‌بندی گل مجهز به سامانه تصویربرداری؛ (۱) دوربین دیجیتال، (۲) نورپردازی، (۳) کفه حمل گل (شش عدد)، (۴) واحد بیرون‌انداز (چهار مجموعه شامل ماژول RFID و سیلندر بیرون‌انداز)، (۵) خروجی‌ها، (۶) نمایشگرها و کلیدهای کنترل دستگاه.



شکل ۳. مراحل پردازش تصویر و تطبیق منحنی بی‌اسپلاین؛ الف) تصویر اولیه، ب) تصویر خاکستری (Gray-scale)، ج) نمودار هیستوگرام تصویر خاکستری، د) لبه‌یابی با الگوریتم Canny، ه) تصویر دودویی (Binary)، و د) تطبیق منحنی بی‌اسپلاین بر روی نقاط مرزی.

منحنی‌های بی‌اسپلین

بی‌اسپلین‌ها نوع خاصی از توابع چند جمله‌ای قطعه‌ای هستند که برای اولین بار توسط شوئنبرگ در سال ۱۹۴۶ معرفی شدند. بی‌اسپلین‌ها توابع پایه انتگرال‌پذیر مجذوری هستند که در یک فضای محدود به نام باکس تعریف می‌شوند. خصوصیات مهم این توابع شامل جایگزیدگی^۱ بالا، انعطاف‌پذیری و پایداری عددی می‌باشد بی‌اسپلین‌ها با تعداد به نسبت کم از توابع پایه، به اندازه کافی کامل هستند و می‌توان از وابستگی خطی آن‌ها حتی برای تعداد زیادی از پایه‌ها، صرف‌نظر نمود. ویژگی کامل بودن دسته پایه‌های بی‌اسپلین، به‌خصوص برای توصیف حالت‌های پیوسته یک ویژگی ایده‌آل به شمار می‌آید (Bachau et al., 2001)

یک بی‌اسپلین $B_{i,k}(r)$ با مرتبه $k > 0$ و یک دسته از نقاط $\{t_i\}$ معروف به رشته گرهی، توسط رابطه بازگشتی زیر تعیین می‌شود (Moustakides et al., 2000):

$$N_{i,k}(r) = \frac{r-t_i}{t_{i+k-1}-t_i} N_{i,k-1}(r) + \frac{t_{i+k}-r}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(r) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$N_{i,k}(r) = \begin{cases} 1 & (t_i \leq r \leq t_{i+1}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن، $N_{i,k}(r)$ یک چند جمله‌ای قطعه‌ای از درجه $k-1$ است که تنها در بازه $t_i \leq r \leq t_{i+k}$ غیر صفر می‌باشد. این ویژگی جایگزیدگی (قابلیت حفظ شکل) بالای بی‌اسپلین‌ها را نشان می‌دهد. نیازی نیست گره‌ها هم‌فاصله باشند و شکل $N(x)$ با تغییر گره‌ها، به‌طور روان تغییر می‌کند. گره‌ها نقاطی هستند که به‌طور یکنواخت یا غیر یکنواخت و غیر کاهشی، روی بازه خاصی در امتداد محور r توزیع شده‌اند، به‌طوری‌که:

$$t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots \leq t_{j+k} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این رابطه، J تعداد توابع پایه بی‌اسپلین است. یکی از مزایای بی‌اسپلین‌ها آن است که در چینش گره‌ها آزادی عمل زیادی وجود دارد. گره‌ها می‌توانند در فواصل مختلفی نسبت به یکدیگر واقع شوند و حتی می‌توانند روی یکدیگر قرار بگیرند (تعدد گره‌ها). البته با قرار گرفتن هر گره روی گره مجاور خود، درجه پیوستگی تابع اسپلین در آن نقطه، یک واحد کاهش می‌یابد. برای برقراری شرایط مرزی، از روش تعدد گره‌ها در مرزها استفاده می‌شود. از توابع بی‌اسپلین می‌توان برای تولید منحنی‌ها و سطوح هندسی پیچیده استفاده

نمود (Stanberry & Besag, 2014).

الگوریتم استفاده از منحنی‌های بی‌اسپلین در بازسازی شکل گل آنتوریوم، در نرم افزار MATLAB R2015a توسعه داده شد. این الگوریتم در حقیقت با اتصال گره‌های تعیین شده در مرز گل، یک منحنی برازش می‌کند که با توجه به تعداد گره‌ها درجه منحنی برازش شده تغییر می‌یابد. به‌عبارت دیگر، الگوریتم منحنی بی‌اسپلین نقاط مرزی تعیین شده را به بهینه‌ترین حالت ممکن به یکدیگر متصل می‌نماید. مزیت تطبیق یک منحنی بر مرز نمونه، امکان شناسایی خودکار نقاط خاص نمونه گل خواهد بود. از این ویژگی می‌توان در تعیین زاویه قرارگیری نمونه در زیر دوربین و تخمین طول و عرض نمونه استفاده کرد. تمامی عملیات ذکر شده در قالب یک تابع در نرم افزار MATLAB پیاده سازی شد که ورودی آن یک تصویر بوده؛ و خروجی آن، اطلاعات مربوط به کمیت‌های مورد نظر از قبیل طول، عرض، مساحت سطح و محیط، و نیز مقدار درصد خطای تطبیق مرز منحنی حاصل از الگوریتم با مرز واقعی نمونه می‌باشد.

محاسبه میزان انطباق

به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ارائه شده و میزان انطباق منحنی بی‌اسپلین حاصل از الگوریتم با مرز واقعی نمونه، از فاکتور «درجه تشابه شکل»^۲ استفاده شد. برای بدست آوردن این شاخص، تصویر منحنی بی‌اسپلین و تصویر اصلی بر روی هم نگاشت شده و درجه شباهت شکل و یا به‌عبارتی میزان انطباق آن‌ها با یکدیگر از رابطه (۴) محاسبه شد. در این شاخص ارزیابی، مراکز هندسی دو تصویر اصلی و بازسازی شده بر مهم منطبق شده و شاخص روی هم‌افتادگی این دو فقط به تغییرات در شکل حساس است. بنابراین با این مقیاس تاثیرات موقعیت، چرخش و حتی اندازه حذف می‌گردد (Zhao & Stough, 2005). همچنین، به منظور بررسی اثر تعداد گره‌ها روی دقت بازسازی لبه، الگوریتم با تعداد گره‌های مختلف اجرا شد. در شکل (۴) روش انطباق یک نمونه تصویر با ۲۵ گره نشان داده شده است.

$$D_{12} = \text{Max}_{TRS} \left(\frac{O_1 \cap O_2}{O_1 \cup O_2} \right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن O_1 مجموعه پیکسل‌های تصویر اصلی و O_2 مجموعه پیکسل‌های تصویر حاصل از منحنی بازسازی شده است، و شاخص D_{12} بیانگر درجه تشابه دو شکل O_1 و O_2 است؛

2. Degree of shape similarity

1. Localization

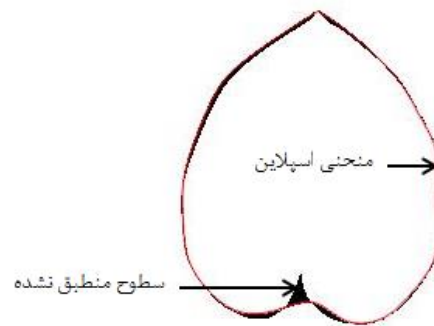
که در آن، θ زاویه بین دو مماس، V_1 بردار مماس اول و V_2 بردار مماس دوم است. پس از مشخص شدن نقاط کلیدی شکل گل در تصویر، یک خط مستقیم بین این دو نقطه ترسیم شده و نقطه میانی این خط بدست آمد. زاویه دوران خط واصل دو نقطه کلیدی نسبت به یک خط قائم نشان دهنده مقدار دوران نمونه گل در زیر دوربین تصویر برداری می باشد. با بدست آوردن این زاویه، نمونه گل به آن اندازه حول نقطه میانی دوران داده می شود تا در حالت کاملاً عمودی قرار گیرد. پس از چرخش نمونه، ابعاد هندسی آن طبق آنچه که در شکل (۱) نشان داده شده است محاسبه شد.

نتایج و بحث

تعداد گره منحنی بی اسپلین

شکل دوبعدی گل آنتوریوم با استفاده از منحنی های بی اسپلین بازسازی شد تا امکان انجام عملیات ریاضی روی آن ممکن شود. برای این کار، نقاطی در مرز گل با تعداد و فواصل مشخص تعیین شد. تعداد این نقاط از دو جهت اهمیت دارد. تعداد کم نقاط دقت تخمین را کاهش می دهد. تعداد زیاد نقاط نیز باعث افزایش حجم محاسباتی و کاهش سرعت پردازش می شود (شکل ۷-ب). یکی از کاربردهای عملی الگوریتم توسعه یافته، سامانه های برخط درجه بندی گل و سایر محصولات کشاورزی است. فرایند درجه بندی شامل تشخیص گل، استخراج داده های هندسی لازم برای درجه بندی، مقایسه این داده ها با معیارها و تصمیم گیری در مورد درجه کیفی تک تک محصولات می باشد. از طرف دیگر، در اغلب سامانه های درجه بندی لازم است کل فرایند مربوط به هر نمونه در مدت زمان کمتر از یک ثانیه انجام گیرد. از این رو سرعت پردازش الگوریتم توسعه یافته، به عنوان بخشی از فرایند درجه بندی، یکی از معیارهای ارزیابی کارایی الگوریتم محسوب می شود. برای کمینه کردن زمان پردازش می بایست پارامترهای الگوریتم را به گونه ای تنظیم کرد که بدون افت محسوس در دقت محاسبه، سرعت پردازش بیشترین مقدار ممکن باشد. یکی از این تنظیمات، تعداد نقاط مرزی انتخاب شده به عنوان گره منحنی بی اسپلین است و می بایست به بهینه ترین حالت ممکن انتخاب شود. این حالت بهینه به پیچیدگی های مرز شی مورد نظر بستگی دارد؛ به طور مثال یک شکل ساده ای مانند دایره یا بیضی را می توان با مشخص کردن تنها چهار نقطه روی مرز با صحت انطباق خوبی بازسازی کرد. در حالی که برای عمده محصولات کشاورزی که شکل های پیچیده ای دارند، تعداد گره بیشتری برای بازسازی صحیح و قابل اطمینان مورد نیاز است.

عبارت (TRS) بیانگر انتقال، چرخش و تغییر مقیاس^۱ دو شکل است. در این تحقیق، انتقال به معنای قرار گرفتن مراکز هندسی دو تصویر روی هم، و نیز چرخش به معنای قرار گرفتن نوک اسپات گل در دو تصویر روی هم، انجام شد. مقیاس دو شکل به دلیل اینکه برخی از نقاط تصویر بازسازی شده از روی تصویر اصلی انتخاب می شدند، یکسان بود و نیاز به تغییر نداشت. قابل ذکر است، رابطه (۴) به شاخص تشابه جاکارد^۲ (ژاکار) نیز معروف است و معیاری برای مقایسه شباهت یا تفاوت مجموعه نمونه های آماری است (Jaccard, 1912).



شکل ۴. نمایش میزان انطباق منحنی بی اسپلین برازش شده و تصویر اصلی.

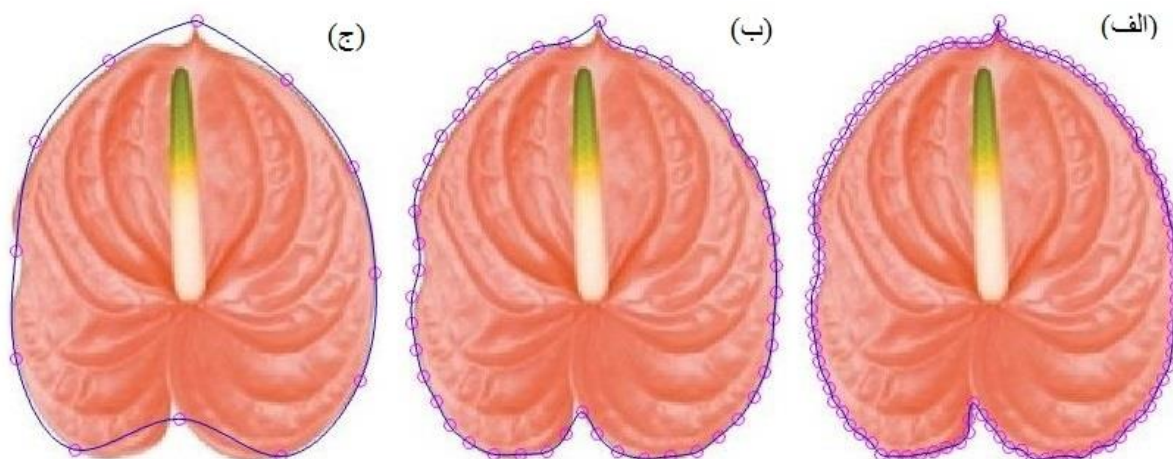
استخراج نقاط کلیدی

پس از اعمال روش های پردازش تصویر و منحنی بی اسپلین بر روی نقاط مرز نمونه، شکل دو بعدی محصول به صورت یک منحنی در دستگاه مختصات دکارتی نمایش داده می شود. با کاربرد برخی عملیات ریاضی بر روی منحنی حاصل نقاط کلیدی مورد نظر قابل تشخیص خواهد بود. شکل گل آنتوریوم به طور مشخص دو نقطه کلیدی اوج (Apex) و پایه (Base) (شکل ۱) دارد که در این نقاط زاویه انحنای شکل حاده بوده و به عبارتی نقطه بازگشتی محسوب می شوند. در این تحقیق با تعریف زاویه بین دو خط مماس برای نقاط مختلف منحنی بازسازی شده، این دو نقطه کلیدی استخراج شدند. در حقیقت، زاویه بین خطوط مماس در این دو نقطه کمترین مقدار را داشت. به طور مشخص، ویژگی جالب و منحصربفرد الگوریتم توسعه یافته، توانایی آن در تشخیص میزان چرخش نمونه در زیر دوربین تصویر برداری است که امکان استخراج مشخصه های هندسی محصولات را در هر زاویه تصویر برداری ممکن می سازد. برای به دست آوردن زوایای خطوط مماس در نقاط مختلف شکل بازسازی شده از تعریف ضرب داخلی بین دو بردار استفاده شد.

(رابطه ۵)

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{V_1 \cdot V_2}{|V_1| |V_2|} \right)$$

1. Translation, Rotation, and Scaling
2. Jaccard index



شکل ۵. تاثیر تعداد گره نمودار بی اسپلین بر منحنی برازش شده: الف) ۱۲ گره، ب) ۴۹ گره، و ج) ۹۹ گره.

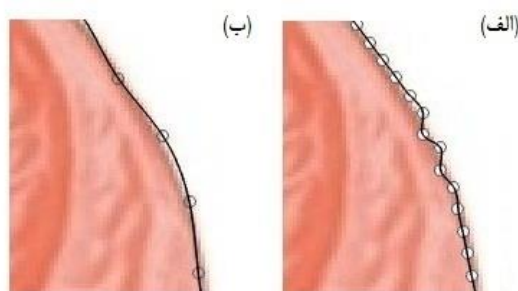
شده با تصویر اصلی برای سه رقم فایر، فانتسیا و سانتی محاسبه شد. منحنی بی اسپلین با تعداد گره‌های مختلف بر روی مرز نمونه‌ها ایجاد شد تا اثر تعداد گره بر درجه تشابه شکل مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به شکل (۷-الف)، کمترین درجه تشابه بین شکل بازسازی شده و شکل اصلی $۹۴/۲۸\%$ بود که در تعداد گره ۱۰ و برای رقم فایر اتفاق افتاد. همچنین بیشترین درجه تشابه برابر با $۹۸/۳۸\%$ و برای حالتی بود که تعداد گره ۶۰ انتخاب شده بود.

از طرف دیگر، همان‌گونه که در شکل (۷) دیده می‌شود، از تعداد گره ۴۰ به بعد تغییر معناداری در مقدار درجه تشابه دیده نمی‌شود. حتی در مواردی با افزایش تعداد گره، درجه تشابه کاهش و خطای انطباق افزایش پیدا می‌کند، که می‌تواند به دلیل شکستگی بیش از اندازه در منحنی برازش شده باشد. با توجه به اینکه تعداد گره کمتر سرعت پردازش تصویر را بالا می‌برد، بنابراین تعداد گره ۴۰ به عنوان تعداد گره بهینه برای برازش مرز شکل گل آنتوریوم با منحنی بی اسپلین و بازسازی محاسباتی آن پیشنهاد می‌شود.

نقاط کلیدی شکل

همان‌گونه که اشاره شد، نقاط کلیدی شکل گل آنتوریوم در تصاویر با استفاده از تعریف زاویه بین دو بردار مماس در هر نقطه مرزی تشخیص داده شد. به‌طور نمونه، در شکل (۸) زاویه بین دو بردار مماس در نقاط مختلف مرز یک منحنی بازسازی شده نمایش داده شده است. در این شکل، دو نقطه با مقدار زاویه بین خطوط مماس کمتر نسبت به بقیه نقاط روی منحنی متمایز است. این نقاط بیانگر نقاط کلیدی اوج و پایه در شکل گل آنتوریوم می‌باشند. به طور کلی، الگوریتم ارائه شده این دو نقطه کلیدی را در تمام تصاویر مورد بررسی به درستی تشخیص

به‌عنوان مثال، مرز بازسازی شده گل آنتوریوم رقم سانتی با تعداد گره‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، انطباق مرز واقعی نمونه با منحنی بازسازی شده در تعداد گره‌های کم چندان مطلوب نیست. از طرف دیگر، وقتی تعداد گره به‌طور نامعقولی زیاد می‌شود، منحنی بازسازی شده شکستگی پیدا می‌کند (شکل ۶). از آنجایی‌که تشخیص دوران تصویر به واسطه شناسایی نقاط کلیدی شی (در مورد گل آنتوریوم شناسایی نوک برجسته و قسمت فرورفتگی پایین گل) انجام می‌شود، وجود شکستگی‌های زاید در مرز باعث بوجود آمدن نقاط بحرانی محلی کاذب و نامطلوب خواهد شد. این نقاط بحرانی کاذب درصد خطا در تشخیص نقاط کلیدی اصلی و به‌همین ترتیب تشخیص دوران و مقدار زاویه دوران را افزایش می‌دهد. در شکل (۵-الف) عدم تقریب مناسب مرز به‌صورت یک منحنی و در شکل (۵-ج) شکستگی نامعقول منحنی بازسازی شده مشهود است.

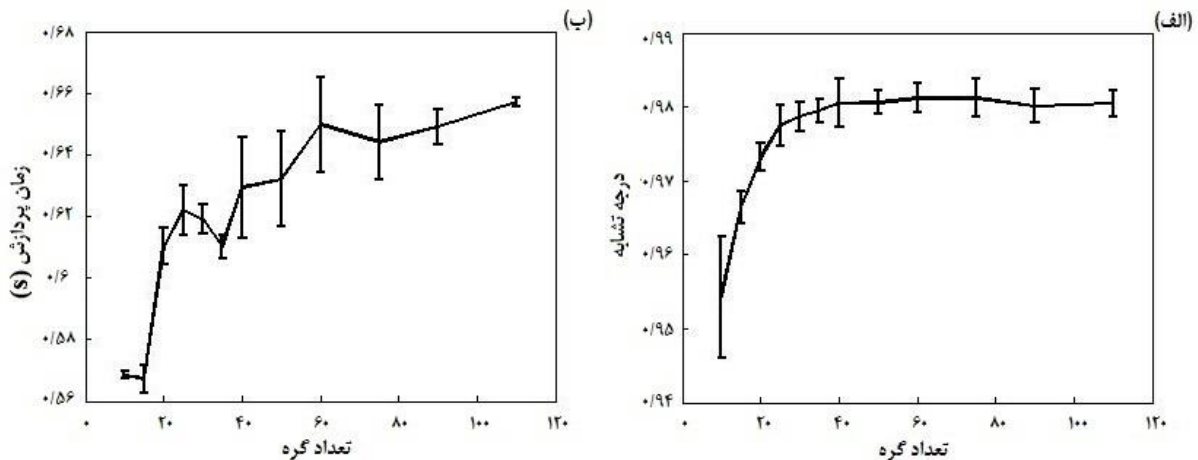


شکل ۶. شکل منحنی بی اسپلین با، الف) انتخاب ۱۲۰ گره روی مرز؛ شکستگی‌های نامطلوب منحنی بی اسپلین در این حالت برازش مشهود است، ب) انتخاب ۴۰ گره روی مرز؛ منحنی بی اسپلین شیب یکنواختی دارد.

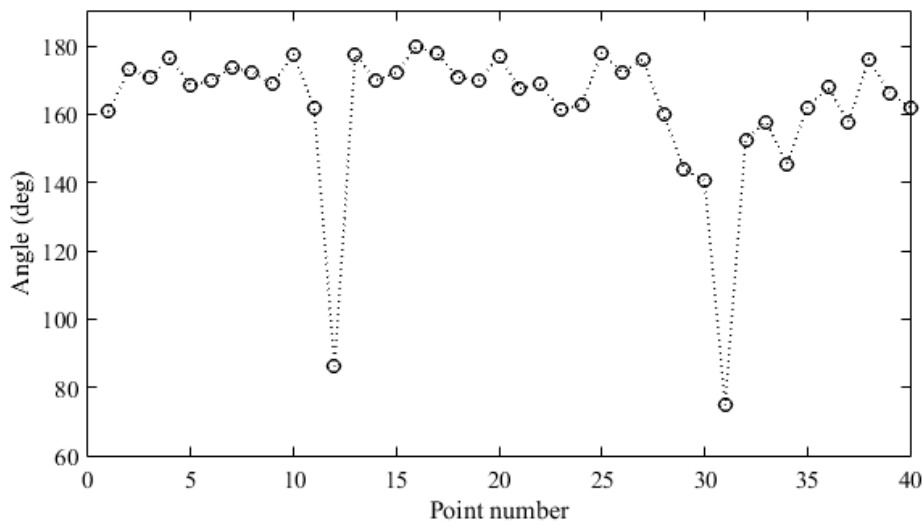
درجه تشابه شکل منحنی بازسازی شده با شکل تصویر اصلی www.SID.ir رابطه (۴) درصد خطای انطباق تصویر بازسازی

برداری بدست آمده و ابعاد هندسی صحیح نمونه بدون نیاز به کاربر بدست می‌آید.

داد. مزیت استخراج این دو نقطه این است که با دانستن محل دقیق آن‌ها در تصویر میزان چرخش نمونه در زیر دوربین تصویر



شکل ۷. الف) درجه تشابه تصویر منحنی بازسازی شده با تصویر اصلی، ب) زمان لازم برای پردازش الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB (مقادیر میانگین بدست آمده از تحلیل تصاویر سه رقم فایر، فانتسیا و سانته).



شکل ۸. زاویه بین دو بردار مماس در نقاط مختلف روی مرز یک نمونه گل آنتوریوم؛ برای بازسازی نمونه به صورت منحنی در دستگاه مختصات کارترین از ۴۰ نقطه مرزی استفاده شده است.

محاسبه زاویه دوران و ابعاد هندسی

نقاط اوج و پایه در گل آنتوریوم خواهد بود. جدول (۱) مقادیر و درصد خطای الگوریتم برای تخمین زاویه چرخش، طول و عرض نمونه‌های گل مربوط به سه رقم فایر، فانتسیا و سانته را نشان می‌دهد. به‌طور مشخص زوایای چرخش تخمین زده شده برای همه آزمون‌ها نزدیک به مقدار مورد انتظار است، که نشان‌دهنده توانایی الگوریتم در تشخیص صحیح مقدار زاویه چرخش می‌باشد. همچنین، خطای تخمین طول و عرض نمونه‌ها برای هر سه رقم کمتر از ۳٪ است.

تصویر برداری ممکن است در هر حالت قرارگیری نمونه در زیر دوربین انجام شود و نقطه اوج ممکن است همواره در بالای تصویر نباشد. در حقیقت، محاسبه ابعاد هندسی گل آنتوریوم به‌طور مشخص یک روند ساده‌ای برای یک سامانه زمان-واقعی دارد مادامی‌که نقاط اوج و پایه به‌ترتیب در بالا و پایین تصویر باشند. در مقابل، محاسبه مشخصه‌های هندسی یک کار بسیار سخت برای یک سامانه خودکار هست زمانی که تصویر چرخانده شود یا تصویر برداری در هر حالت دیگر غیر از حالت کاملاً عمود انجام شود. در چنین حالت‌هایی، اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی نیازمند تشخیص نقاط کلیدی شیء (به‌عنوان مثال،

الگوریتم توسعه یافته مشابهت‌هایی با نرم‌افزار Tomato Analyzer (TA) دارد. این نرم‌افزار در ابتدا برای تحلیل شکل محصول گوجه فرنگی ارائه شد (Gonzalo & van der Knaap,)

محصول را به درستی بیابد. همچنین، اگر میوه یا محصول تحت یک زاویه نامعین در زیر دوربین یا روی اسکنر قرار گیرد، قبل از تحلیل تصویر می‌بایست اصلاحاتی را به صورت دستی روی تصویر اعمال کرد تا از اندازه‌گیری‌های صحیح اطمینان حاصل کرد. به همین دلیل این نرم‌افزار یک نرم‌افزار نیمه‌خودکار محسوب می‌شود. از آنجایی که الگوریتم طراحی شده با استفاده از برخی عملگرهای ریاضی مقدار زاویه دوران نمونه را تشخیص می‌دهد، از لحاظ خودکار بودن نسبت به نرم‌افزار TA برتری خواهد داشت.

از این نرم‌افزار به طور عمده برای مطالعه فنومیک^۱ شکل میوه‌ها از روی تصاویر اسکن شده از برش‌های آن‌ها استفاده می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های پایه (محیط، مساحت، عرض در ارتفاع میانه، ارتفاع در عرض میانه)، شاخص شکل میوه^۲، بلوکی بودن^۳ و غیره می‌شود (Rodriguez et al., 2011). نرم‌افزار TA گاهی اوقات نمی‌تواند انتهای پروگزیمال و دیستال^۴

1. Phenomics
2. Fruit shape index
3. Blockiness
4. Proximal and distal ends

جدول ۱. مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده زاویه دوران و ابعاد هندسی

رقم	زاویه چرخش (درجه)	زاویه محاسبه شده (درجه)	طول اندازه‌گیری شده (cm)	طول محاسبه شده (cm)	خطای نسبی (%)	عرض اندازه‌گیری شده (cm)	عرض محاسبه شده (cm)	خطای نسبی (%)
فایر	۰	—	۱۴/۶	۱۴/۶۲	۰/۱۴	۱۲/۶	۱۲/۶۴	۰/۳۲
	۶۰	۵۸/۶	۱۴/۶	۱۴/۳۹	۱/۴۴	۱۲/۶	۱۲/۷۳	۱/۰۳
	۱۲۰	۱۲۱/۳	۱۴/۶	۱۴/۴۵	۱/۰۳	۱۲/۶	۱۲/۸۹	۲/۳
	۱۸۰	۱۸۰/۸	۱۴/۶	۱۴/۷۱	۰/۷۵	۱۲/۶	۱۲/۷۵	۱/۱۹
فانتسیا	۰	—	۱۳/۴	۱۳/۴۱	۰/۰۷	۱۱/۲	۱۱/۲۶	۰/۵۴
	۶۰	۵۸/۹	۱۳/۴	۱۳/۳۵	۰/۳۷	۱۱/۲	۱۱/۲۸	۰/۷۱
	۱۲۰	۱۱۹/۵	۱۳/۴	۱۳/۳۴	۰/۴۵	۱۱/۲	۱۱/۳۴	۱/۲۵
	۱۸۰	۱۷۸/۲	۱۳/۴	۱۳/۲۷	۰/۹۷	۱۱/۲	۱۱/۲۴	۰/۳۶
سانته	۰	—	۱۳/۳	۱۳/۲۷	۰/۲۳	۱۱/۱	۱۱/۱۱	۰/۰۹
	۶۰	۶۰/۳	۱۳/۳	۱۲/۹۹	۲/۳۳	۱۱/۱	۱۱/۱۲	۰/۱۸
	۱۲۰	۱۲۱/۲	۱۳/۳	۱۳/۰۴	۱/۹۵	۱۱/۱	۱۱/۱۷	۰/۶۳
	۱۸۰	۱۸۰/۷	۱۳/۳	۱۲/۸۹	۳/۰۸	۱۱/۱	۱۱/۰۷	۰/۲۷

* مقادیر محاسبه شده مربوط به زاویه چرخش، طول، عرض گل آنتوریوم همراه با مقادیر اندازه‌گیری شده طول و عرض؛ در زوایای مختلف قرار گیری نمونه در تصویر و رقم‌های مختلف می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

تصویر قسمت اسپات گل آنتوریوم با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر و منحنی‌های بی‌اسپلاین با موفقیت بازسازی شد. مرز بازسازی شده نمونه به صورت یک مجموعه نقاط با طول و عرض مشخص (یک منحنی) در مختصات دکارتی بود. مزیت این شیوه نمایش مرز، سهولت در شناسایی نقاط شاخص و اندازه‌گیری برخی از مشخصه‌های هندسی نمونه در هر حالت قرارگیری آن روی نوار نقاله است. بدین ترتیب که الگوریتم‌های طراحی شده برای تعیین مشخصات هندسی از قبیل طول، عرض، مساحت، حجم و انحنای نقاط مختلف، با

استفاده از این الگوریتم می‌توانند نقاط شاخص نمونه را شناسایی کرده و مشخصه‌های هندسی محصول را دقت بیشتری تخمین بزنند. صحت الگوریتم و مدت زمان پردازش در بازسازی مرز سه رقم فایر، فانتسیا و سانته، در شرایط استفاده از ۴۰ گره روی مرز در ترسیم منحنی بی‌اسپلاین، به طور میانگین، به ترتیب برابر ۰/۹۸٪ و ۰/۶۲ ثانیه بود. در تمام نمونه‌های گل مورد آزمایش، نقاط کلیدی اوج (Apex) و پایه (Base) با استفاده از الگوریتم توسعه یافته به درستی شناسایی شدند. از این الگوریتم می‌توان به طور عملی در توسعه سامانه‌های برخط شناسایی و درجه‌بندی سایر محصولات کشاورزی نیز استفاده نمود.

REFERENCES

Bachau, H., Cormier, E., Declava, P., Hansen, J.E. & Martin F. (2001). Application of B-splines in atomic and molecular physics. *Reports on*

Progress in Physics, 64, 1815-1942.

Bagheri, G.H., Bonadonna, C., Manzella, I. & Vonlanthenb, P. (2015). On the characterization

- of size and shape of irregular particles. *Powder Technology*, 270, 141-153.
- Cubero, S., Aleixos, N., Molto, E., Gomez-Sanchis, J. & Blasco, J. (2011). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 829-830.
- Dufour, L. & Guérin, V. (2003). Growth, developmental features and flower production of *Anthurium andreanum* Lind in tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 98 (1), 25-35.
- Eifert, J.D., Sanglay, G.C., Lee, D.-J., Sumner, S.S. & Pierson, M.D. (2006). Prediction of raw produce surface area from weight measurement. *Journal of Food Engineering*, 74(4), 552-556.
- Erdoğan, S. (2016). Simple Estimation of the Surface Area of Irregular 3D Particles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(8), p.04016062
- Galinsky, R. & Laws, N. (1996). Anthurium market. *RAP Market Information Bulletin*, 11.
- Goni, S.M., Purlis, E. & Salvadori, V.O. (2007). Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 82, 536-547.
- Gonzalo, M.J. & van der Knaap, E. (2008). A comparative analysis into the genetic bases of morphology in tomato varieties exhibiting elongated fruit shape. *Theoretical and Applied Genetics*, 116, 647-656.
- Higaki, T., Lichty, J.S. & Moniz, D. (1995). Anthurium culture in Hawaii. HITAGR Res. Extension Ser. 152, University of Hawaii, Honolulu, pp. 28.
- Hua, X. (2014). Flower market research report in Chinese New Year in 2013. *China Flowers & Horticulture*, 13, 24-28.
- Jaccard, P. (1912). The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytologist*, 11(2), 961-967.
- Kumar, V.A. & Mathew, S. (2003). A method for estimating the surface area of ellipsoidal food materials. *Biosystems Engineering*, 85(1), 1-5.
- Lee, D.J., Xu, X., Eifert, J.D. & Zhan, P. (2006). Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical Engineering*, 45(2), 27202-27212.
- Leemans, V. & Destain, M.F. (2004). A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 83-89.
- Lin, H.S. (2008). A study of Automatic Anthurium cut-flower grading system with machine vision. Department of Computer Science and Information Engineering, Asia University. <<http://asiair.asia.edu.tw/ir/handle/310904400/4214>> (accessed 12.1.2015).
- Moustakides, G., Briassoulis, D., Psarakis, E. & Dimas, E. (2000). 3D image acquisition and NURBS based geometry modelling of natural objects. *Advances in Engineering Software*, 31, 955-969.
- Omid, M., Khojastehnazhand, M. & Tabatabaefar, A. (2010). Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 315-321.
- Omrani, E., Mohtasebi, S.S., Rafiee, S. & Hosseinpour, S. (2015). Identification of apple leaf varieties using image processing and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 46(1), 67-75 (In Farsi).
- Rikken, M. (2010). The European Market for Fair and Sustainable Flowers and Plants. Trade for Development Centre, Belgian Development Agency, Belgium, pp. 63.
- Rodriguez, G.R., Munoz, S., Anderson, C., Sim, S.C., Michel, A., Causse, M., McSpadden Gardener, B.B., Francis, D. & van der Knaap, E. (2011). Distribution of SUN, OVATELC, and FAS in the tomato germplasm and the relationship to fruit shape diversity. *Plant Physiology*, 156, 275-285.
- Somsen, D., Capelle, A. & Tramper, J. (2004). Manufacturing of par-fried French-fries: Part 1: Production yield as a function of number of tubers per kilogram. *Journal of Food Engineering*, 61(2), 191-198.
- Stanberry, L. & Besag, J. (2014). Boundary reconstruction in binary images using splines. *Pattern Recognition*, 47, 634-642.
- Taylor, M.A., Garboczi, E.J., Erdogan, S.T. & Fowler, D.W. (2006). Some properties of irregular 3-D particles. *Powder Technology*, 162, 1-15
- Teixeira da Silva, J.A., Dobránszki, J., Winarto, B. & Zeng, S. (2015). Anthurium in vitro: a review. *Scientia Horticulturae*, 186, 266-298.
- 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, Z. & Stough, R.R. (2005). Measuring similarity among various shapes based on geometric matching. *Geographical Analysis*, 37, 410-422.