نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

توسعه یک سامانه بینایی ماشینی برای ارزیابی شکلی و درجه‌بندی سیب‌زمینی از روی ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر دو بعدی

مهران صادقی دلوئی[۱]، محمود رضا گلزاریان[۲]*

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

ایمیل مکاتبه کننده: m.golzarian@um.ac.ir

چکیده

اهمیت خودکارسازی فرآیندها با فناوری‌های جدید و از جمله فناوری‌های نوری و بینایی در راستای رفع نیازهای غذایی قرن جدید و بالا بردن کیفیت محصولات کشاورزی ارائه‌شده به بازارها در حال افزایش است. در این پژوهش یک سامانه بینایی ماشینی برای درجه‌بندی سیب‌زمینی- که یکی از مهم‌ترین و پر کاربردترین محصولات کشاورزی است- توسعه یافت. این سامانه دارای مراحل تصویربرداری، استخراج ویژگی‌ها با شیوه‌های پردازش تصویر، مرحله ارزیابی (از نظر بدشکلی)، درجه‌بندی (از لحاظ اندازه) و تخمین وزن (بر اساس مساحت سطح مقطع) است. برای هر کدام از مراحل ارزیابی، درجه‌بندی و تخمین وزن، ویژگی‌های متفاوتی مورد آزمون قرار گرفت که برای تعیین بدشکلی؛ شاخص فشردگی، برای درجه‌بندی؛ طول محور اصلی و برای تخمین وزن؛ معادله رگرسیون چند جمله ای درجه دو بر حسب مساحت سطح مقطع انتخاب شدند. تعداد ۳۰ غده برای ارزیابی عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این سامانه با دقت ۹۸٪ قادر به تخمین وزن از روی تصویر سیب‌زمینی‌ها است و می‌تواند با دقت ۱۰۰٪ درصد سیب‌زمینی‌های بدشکل را از سیب‌زمینی‌های سالم تفکیک کند. همچنین نتایج حاکی از دقت بالای ۹۳٪ برای درجه‌بندی غده‌های سیب‌زمینی از لحاظ اندازه بود.

واژه‌های کلیدی: خودکارسازی، سیب‌زمینی، درجه‌بندی، ویژگی‌های تصویری، مورفولوژی، پردازش تصویر

مقدمه

سیب‌زمینی با نام علمی سولانوم تیوبروزوم از نظر گیاه‌شناسی به خانواده سولاناسه تعلق دارد که از جایگاه بالایی در کشاورزی و تغذیه مردم دنیا برخوردار است و برای توجه بیشتر به این محصول و نقش آن در تغذیه مردم، به ویژه بهره‌برداری از پتانسیل بالا و ارزش تغذیه‌ای آن، فائو سال ۲۰۰۸ را سال سیب‌زمینی نامید. سیب‌زمینی در بین گیاهان دو لپه مهم‌ترین محصول زراعی است و در حال حاضر پس از گندم، برنج و ذرت در مرتبه چهارم جهانی قرار دارد.

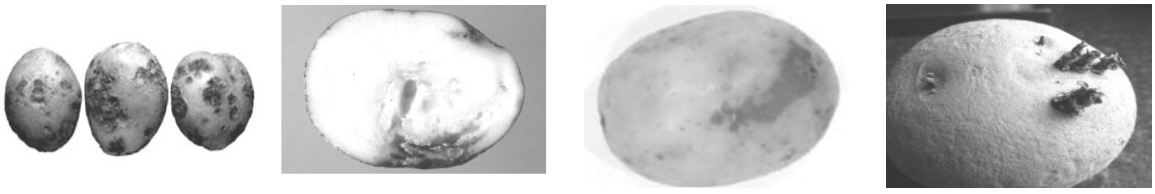
از طرفی کشاورزی در قرن ۲۱ با چالش‌های متفاوتی مواجه است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو افزایش میزان تقاضا برای مواد غذایی است، بنابراین صنعت کشاورزی باید غذای کافی و باکیفیت، قابل تهیه، ایمن و مغذی را برای تغذیه جمعیت در حال افزایش جهان تولید کند، به طوری که تحقیقات نشان می‌دهند که برای تغذیه جمعیت ۹/۱ میلیاردی جهان در سال ۲۰۵۰ بایستی تولید مواد غذایی به میزان ۷۰ درصد افزایش یابد درحالی‌که این رقم برای کشورهای در حال توسعه ۱۰۰٪ است (فائو، ۲۰۰۹). این افزایش عظیم در تولید، معضلات و مشکلات خاصی از جمله امنیت و کیفیت محصولات غذایی پر مصرف از جمله سیب‌زمینی را نیز به همراه دارد. در این مرحله با وجود منابع محدود انسانی، نیاز به خودکارسازی صنعت کشاورزی به منظور رفع مشکلات موجود در تمام مراحل کاشت، داشت، برداشت و حتی پس از برداشت محصولات کشاورزی احساس می‌شود.

با این که خودکارسازی قادر به افزایش بهره وری، سلامت و رضایت شغلی کارکنان است، اما صنعت با چالش‌های جدی از جمله زیرساخت‌ها در خودکارسازی عملیات مخصوصاً در بخش مهندسی کشاورزی مواجه است (گریفت و همکاران ۲۰۰۸ و سان و همکاران، ۲۰۱۱) و علی‌رغم امکانات گسترده‌ای که فناوری‌های خودکار برای اندازه‌گیری دقیق ویژگی‌های ذاتی محصولات کشاورزی در اختیار ما قرار می‌دهند، هنوز انسان‌ها در ارزیابی خواص انعطاف‌پذیرتر و وفق پذیر تر از ماشین‌ها می‌باشند (چنگلانگ و همکاران، ۲۰۱۱). امروزه صنعت با مشکلات زیادی در زمینه نیروی کار از قبیل افزایش دستمزد و ضایعات ناشی از خطاهای انسانی درگیر است (ژو و همکاران، ۱۹۹۸). علاوه بر عدم سازگاری و تغییرپذیری، فرآیند دستی بسیار طاقت‌فرسا و پرهزینه است و به سادگی تحت تأثیر اثرات محیطی قرار می‌گیرد؛ بنابراین صنعت به منظور بالا بردن سرعت و دقت تولید نیاز به سیستم های خودکار دارد تا با آن مؤلفه‌های کیفیت یک محصول را مورد ارزیابی قرار دهد (الماسری و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از بخش‌هایی که در سال‌های اخیر خودکارسازی در آن جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است، ارزیابی و درجه‌بندی انواع محصولات کشاورزی از جمله محصولاتی مانند سیب‌زمینی است، اما درجه‌بندی بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله سیب‌زمینی پیچیده است چون اندازه، شکل، رنگ و معایب به شدت بستگی به شرایط محیطی و نحوه جابجایی محصول دارد.

ویژگی‌های کیفیت در میوه‌ها و سبزی‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: ۱) ویژگی‌های خارجی مانند اندازه، رنگ، شکل و معایب خارجی و ۲) ویژگی‌های درونی مانند محتوای قندی، محتوای اسیدی، سفتی، رسیدگی و خرابی‌های درونی است و اهمیت نسبی هر ویژگی کیفیت بستگی به نوع محصول و یا مورد استفاده آن دارد.

شیوه های بسیاری برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفیت محصولات بیولوژیکی که شامل میوه‌ها و سبزی‌ها است، توسعه یافته اند و می‌توان آن‌ها را بر اساس اصول اندازه‌گیری به سه روش نوری، دینامیکی و مغناطیسی تقسیم‌بندی کرد (ناه و همکاران، ۲۰۰٦). به عنوان یکی از بهترین روش‌های اندازه‌گیری کیفیت می‌توان به روش نوری و پردازش تصاویر اشاره کرد. این روش به دلیل ارزان و کارآمد بودن طی چند سال اخیر مورد توجه محققین در زمینه‌های مختلف به خصوص کشاورزی و درجه‌بندی محصولات واقع شده است.

درجه‌بندی سیب‌زمینی بستگی به رقم خاص آن دارد. در عمل، معیارهای متفاوتی چه پس از برداشت و چه هنگام تحویل محصول به بازار مورد بررسی قرار می‌گیرند که ممکن است شامل این موارد باشد: توزیع اندازه و درصد شکلهای نابجا (عمدتا ناشی از شرایط آب و هوایی بد، مانند دوره‌های متناوب خشکی و بارندگی، در طول دوره رشد غده‌ها)، سختی سطحی و تغییر ساختار پوست غده (ناشی از حمله باکتریایی یا قارچی)، جوانه زدگی (در اثر پیری یا شرایط دمایی نامناسب انبارداری)، سبزرنگی (ناشی از در معرض نور بودن غده ها) و سایر مریضی های باکتریایی و قارچی از جمله پوسیدگی نرم (اروینیا)، باد زدگی، پوسیدگی خشک (فوزاریوم) و قانقاریا (فوما) هستند (شکل۱).



الف) جوانه‌زدگی ب) نواحی سبز (سبز رنگی) ج) بیماری‌های غده د) سختی سطحی

شکل ۱- مؤلفه‌های موثر در درجه‌بندی سیب‌زمینی

طبقه‌بندی سیب‌زمینی بر اساس شکل ظاهری

شکل- یا ساختار فیزیکی قابل رویت- را به عنوان اطلاعات هندسی بعد از حذف موقعیت، اندازه و اثرات چرخش تعریف کرده‌اند. شکل یک ویژگی ذاتی برای اجسام سه بعدی است. تا به حال اکثر تحقیقات که به منظور توصیف شکل محصولات کشاورزی انجام‌شده دو بعدی بوده است. در طی سال‌های گذشته محققین زیادی اقدام به درجه‌بندی خودکار سیب‌زمینی نموده‌اند.

تائو و همکاران یک روش استخراج شکل بر مبنای تبدیل فوریه برای درجه‌بندی شکل سیب‌زمینی با به‌کارگیری بینایی ماشین برای دستگاه خودکار ارائه کردند. رابطه بین شکل جسم و مقادیر طیف مرزی آن در دامنه فوریه برای استخراج شکل استفاده شد و نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که توصیفگر شکل برای جداسازی اشکال پیچیده سیب‌زمینی موثر بودند (تائو و همکاران، ۱۹۹۵).

حسن خانی و همکاران (۲۰۱۲) یک سامانه بینایی ماشین برای درجه‌بندی سیب‌زمینی بر اساس اندازه و رنگ توسعه دادند. پایه این پژوهش عکس‌برداری از نمونه‌ها، تحلیل تصاویر، مقایسه آن‌ها با یک استاندارد و در نهایت تصمیم‌گیری درباره قبول یا رد کردن نمونه بود. دقت کلی درجه‌بندی ۹٦/۸۲٪ به دست آمد. در این پژوهش برای استخراج مرز از الگوریتم سوبل استفاده شد، چون حساسیت این الگوریتم به مرزهای افقی و عمودی بیشتر است.

چنگلانگ و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که محورهای اصلی (طولی) و فرعی (عرضی) یک مشخصه بسیار مهم در درجه‌بندی سیب‌زمینی است. محققان با بیان این که روش کوچک‌ترین مستطیل محیطی برای تعیین اندازه محصولات کشاورزی وقت‌گیر است و نیاز به چرخش متوالی محصول دارد، روشی بر اساس محور اصلی مرکز جرم ارائه دادند. الماسری و همکاران (۲۰۱۲) یک سامانه بینایی ماشین سریع و دقیق به صورت زمان واقعی برای شناسایی و درجه‌بندی سیب‌زمینی‌های بدشکل را توسعه دادند. الگوریتم تهیه‌شده در این پژوهش طوری بود که دریافت، پردازش تصویر، کنترل کل فرایند، ذخیره‌سازی نتایج کلاسه بندی و نظارت بر پیشرفت کل عملیات را بر عهده داشت. ابتدا یک پایگاه داده از سیب‌زمینی‌های دارای اندازه و شکل متفاوت تهیه شد و سپس بعضی خواص مهم هندسی از قبیل محیط، مرکز جرم، مساحت، ممان اینرسی، طول و عرض از تصویر استخراج گردید.

تاکنون، تحقیقی به توسعه سامانه ای برای ارزیابی، درجه بندی و توزین سیب زمینی بطور همزمان از روی تصاویر دو بعدی نپرداخته است؛ بنابراین، هدف این تحقیق، توسعه سامانه خودکار درجه‌بندی سیب‌زمینی بعد از استخراج ویژگی‌های شکلی و تخمین وزن سیب‌زمینی رقم آگریا از روی تصاویر دوبعدی با کمک پردازش تصویر است به طوری که این سامانه قادر به تفکیک غده‌های سالم از ناسالم از لحاظ بدشکلی، درجه‌بندی بر اساس مؤلفه‌های شکلی و تخمین وزن آن‌ها بر اساس مساحت سطح مقطع باشد. با ایجاد چنین سامانه‌ای می‌توان تا حدودی کیفیت محصول را تضمین کرد و باعث کاهش ضایعات گردید. از طرفی با توجه به دسته‌بندی غده‌ها به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ می‌توان در فرآیند قیمت‌گذاری محصول نقش عمده‌ای داشت.

مواد و روش‌ها

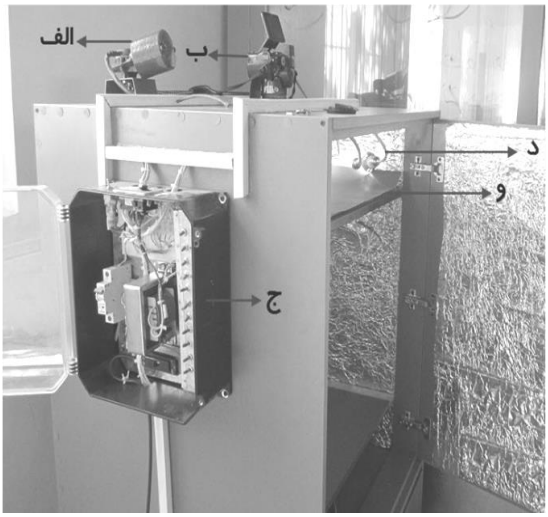
آماده سازی غده‌ها

یک کیسه ۳۰ کیلوگرمی سیب‌زمینی از میوه فروشی در شهرستان مشهد تهیه شد. در ابتدا غده‌های سالم را از نمونه‌های ناسالم جدا کرده و غده‌های سالم را تمیز کردیم. نمونه‌ها به طور دستی توسط ارزیاب انسانی به سه دسته بزرگ، متوسط و کوچک با برچسب‌های L، M و S به ترتیب مورد دسته‌بندی قرار گرفت. در هر دسته تعداد ۳۰ غده با برچسب‌های (گروه بزرگ) L1 تا L30، (گروه متوسط) M1 تا M30 و (گروه کوچک) S1 تا S30 که مجموعاً ۹۰ نمونه را شامل می‌شد قرار داده شد. این نمونه‌ها برای تعیین مؤلفه‌های شکل و وزن استفاده شد. وزن غده‌ها با ترازوی دیجیتال موجود در آزمایشگاه با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد پس از آن غده‌ها وارد فرآیند تصویربرداری شدند.

تصویربرداری به وسیله دوربین Nikon Coolpix P510 (Nikon Inc, Japan) صورت گرفت.

تصویرها با کیفیت ٤ مگا پیکسل و با ابعاد ۱٦۸۰×۲۲٤۰ پیکسل تهیه گردید. تصویربرداری با شرایط نوری و پس زمینه‌ی آبی رنگ یکسان برای تمامی نمونه‌ها با به‌کارگیری اتاقک تصویربرداری (شکل۲) انجام یافت. در هر مرحله تصویربرداری از برچسب اندازه و دو برچسب دیگر با نام‌های بالا (up) و پایین (down) در تصویربرداری از دو وجه هر سیب‌زمینی و

مشخص کردن تمایز هر تصویر از دیگری مورد استفاده قرار گرفت. از طرفی برای سهولت در تشخیص بالا یا پایین غده در تصویربرداری‌های بعدی با یک خودکار علامت فلش (^) که نمایانگر سمت بالا بود، روی غده‌ها گذاشته شد و چرخش ۱۸۰ درجه‌ای برای تصویربرداری از دو طرف هر سیب‌زمینی به صورت چشمی و تقریبی انجام گرفت. پردازش تصاویر با کمک نرم‌افزار MATLAB (Mathworks Inc, US) R11 و برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel 2007 (Microsoft Inc, US) استفاده شد.



شکل۲– اتاقک تصویربرداری مورد استفاده در این تحقیق و اجزاء اصلی آن؛ الف) موتور جهت تغییر ارتفاع صفحه‌ی پس زمینه، ب) دوربین که بر روی پایه‌ی اتاقک نصب شده است، ج) تابلو کنترل روشنایی لامپ‌های LED و راه اندازی موتور بالابرنده، د) لامپ LED به‌همراه پایه، و) صفحه‌ی پس زمینه

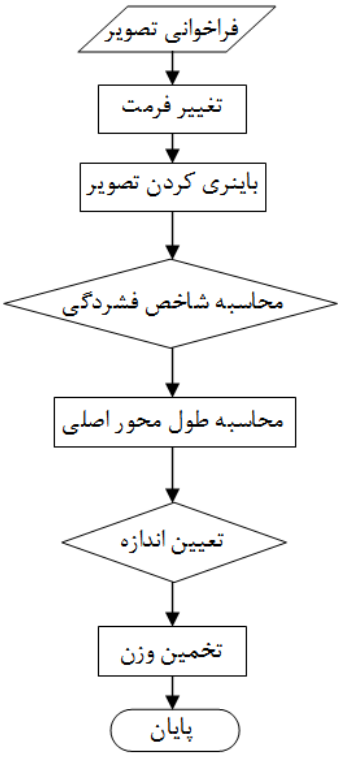
پردازش تصویر

فلوچارت الگوریتم پردازش تصویر در شکل ۳ نشان داده شده است. تصاویر تهیه‌شده توسط دوربین با فرمت فشردگی قابل اتلاف jpeg ذخیره می‌شوند که در اولین مرحله بعد از تهیه برای کاهش تلفات داده در حین انتقال و ذخیره به قالب فشرده سازی بدون اتلاف png تغییر یافت.

پس از فراخوانی تصویر، افزایش تضاد بین سیب زمینی و پس زمینه با تبدیل تصویر رنگی به تصویر B-R که در آن R و B به ترتیب تصویر کانلهای قرمز و آبی بودند صورت گرفت. تصویر B-R با شیوه آستانه یابی به تصویر باینری تبدیل شد با توجه به اینکه تصویربرداری در فواصل مختلف دوربین از نمونه ها صورت گرفت باید توسط یک مقیاس مناسب ابعاد تصویر از پیکسل به میلی متر تبدیل شود که بدین منظور از یک جسم خاص با ابعاد مشخص (مثلا در این تحقیق، یک کارت اعتباری بانکی به طول ۱۰/۵ سانتی متر) استفاده شد و ارتباط بین تعداد پیکسل هر بعد آن و اندازه واقعی آن بعد به عنوان ضریب تبدیل مورد استفاده قرار گرفت.

شکل یکی از ویژگی‌های مهم در درجه‌بندی محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. در این پژوهش از ویژگی‌های شکلی ابتدا برای تفکیک غده‌های بدشکل و سپس درجه‌بندی غده‌های سالم استفاده شد.

از آنجا که ویژگی‌های متفاوتی بیان‌کننده شکل یک جسم می‌باشند، باید بهترین ویژگی را برای درجه‌بندی انتخاب نمود. بدین منظور، چندین ویژگی شکل ناحیه مربوط به غده از جمله خروج از مرکز، قطر معادل، وسعت، طول محور اصلی (طولی)، طول محور فرعی (عرضی)، محیط، صلابت، شاخص فشردگی از روی تصویر باینری استخراج شد.
در این پژوهش سعی شد تا رابطه‌ای بین وزن و مساحت سطح مقطع غده‌ها به دست آید. با رسم نمودار سطح-مساحت برای ۷۵ نمونه (۱۵۰ تصویر که مربوط به بالا و پایین غده‌ها بود) و تحلیل خطای ۳ مدل خطی، توانی و چندجمله‌ای بهترین مدل برای تخمین وزن سیب‌زمینی از روی تصویر آن انتخاب شد.



شکل ۳- الگوریتم نهایی مورد استفاده در این پژوهش

نتایج و بحث

چهار شاخص وسعت، صلابت، نسبت طول محور اصلی به فرعی، شاخص فشردگی و مقادیر میانگین و انحراف معیار آن‌ها برای تعیین بهترین مؤلفه بیان‌کننده بدشکلی محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به مقدار میانگین و انحراف معیار ویژگی‌ها، شاخص فشردگی به عنوان بهترین بیان‌کننده میزان بدشکلی غده‌ها انتخاب شد.

جدول ۱- مؤلفه‌های توصیف بدشکلی در سیب‌زمینی

نوع ویژگی	نوع غده	میانگین	انحراف معیار
ویژگی وسعت	سالم	۰/۷۸	۰/۰۲٦۷
	بد شکل	۰/۷۱	۰/۰٦۱۵
ویژگی صلابت	سالم	۰/۹۸	۰/۰۱۲۱
	بد شکل	۰/۹٤	۰/۰٤۸۳
نسبت طول محور اصلی به محور فرعی	سالم	۰/۷۸	۰/۱۰۰۲
	بد شکل	۰/٦٤	۰/۱٤۸۹
شاخص فشردگی	سالم	۰/۷۸	۰/۰۸۳٤
	بد شکل	۰/٦۰	۰/۱۳۳۸

حد آستانه بدشکلی به صورت میانگینی از دو مقدار میانگین برای غده‌های بدشکل و سالم فرض شد.

$$\textbf{Irregularity Threshold} = \frac{0.78 + 0.60}{2} = 0.69$$

در قسمت درجه‌بندی غده‌ها به سه درجه بزرگ، متوسط و کوچک مقدار میانگین و انحراف معیار دو مؤلفه قطر معادل و طول محور اصلی در نظر گرفته شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقدار میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های مورد استفاده در درجه‌بندی

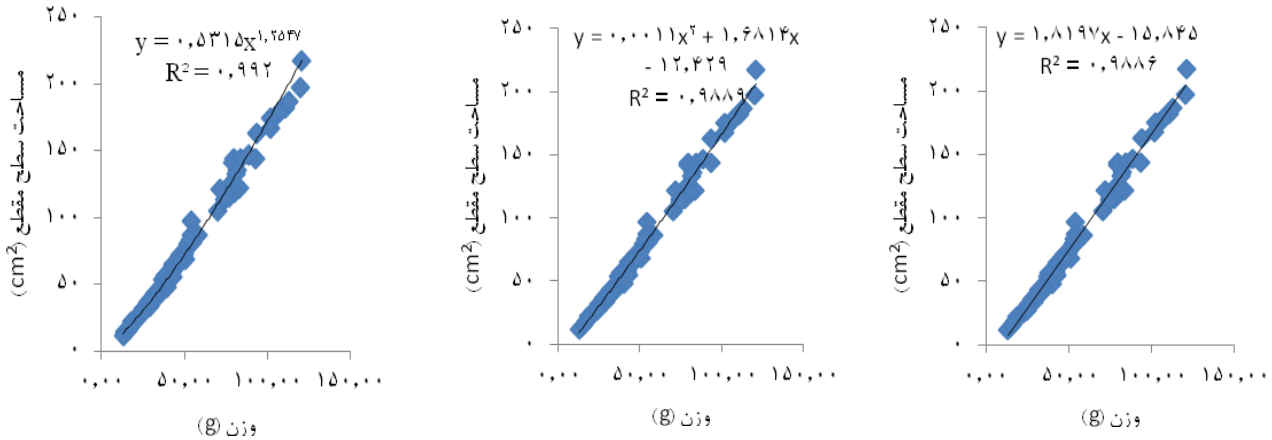
نام ویژگی	اندازه	میانگین	انحراف معیار
قطر معادل	کوچک	۵/۷۸	۰/۹۱۱۹
	متوسط	۷/۷۵	۰/۵۰۳۸
	بزرگ	۱۰/۷٤	۰/۹۱۰۹
طول محور اصلی	کوچک	٦/۱٦	۱/۰٦۵۷
	متوسط	۸/۵٤	۰/۸۲۱٤
	بزرگ	۱۲/۳۳	۱/٦٦۱۱

به منظور تعیین حدود آستانه کوچک-متوسط و متوسط-بزرگ، از میانگین مقادیر میانگین هر کدام استفاده شد.

$$\textbf{Small \& Med Threshold} = \frac{6.16 + 8.54}{2} = 7.35$$

$$\textbf{Med \& Large Threshold} = \frac{8.54 + 12.33}{2} = 10.44$$

به منظور تعیین بهترین رابطه بین سطح مقطع و وزن غده‌ها، سه نوع تابع خطی (شکل ٤، الف)، درجه دو (شکل ٤، ب) و توانی (شکل ٤، ج) با تحلیل رگرسیونی به دست آمد.



ج ب الف

شکل ٤- تخمین وزن با مدل رگرسیونی: الف) خطی، ب) چندجمله‌ای درجه دو، ج) توانی

این توابع برای ۱۵ نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند و مقدار درصد خطای نسبی طبق رابطه زیر در مدل محاسبه شد و مقدار میانگین این مقدار برای هر مدل در جدول ۳ آمده است.

$$\text{درصد خطای نسبی} = \frac{\text{وزن تخمینی} - \text{وزن حقیقی}}{\text{وزن حقیقی}} \times 100$$

جدول۳- میزان میانگین درصد خطای نسبی برای مدل‌های تخمین وزن

مدل	میانگین درصد خطای نسبی
خطی	٦/٥٤
درجه دو	-۲/۵۷
توانی	۳/۷٦

در این سه مدل، مدل های خطی و توانی دارای کم برآورد و مدل درجه دو دارای بیش برآورد است، اما با توجه به میزان خطای هر مدل، می‌توان مدل درجه دو را بهترین مدل برای تخمین وزن غده بر اساس سطح مقطع آن انتخاب نمود.

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سامانه‌ای به منظور ارزیابی، درجه‌بندی و نهایتاً تخمین وزن سیب‌زمینی طراحی شد. این سامانه دارای سه مرحله ارزیابی (از نظر شکل)، درجه‌بندی از لحاظ اندازه و تخمین وزن بر اساس مساحت سطح مقطع می‌شود .از میان چهار ویژگی شکلی که برای ارزیابی بدشکلی استخراج شد، شاخص فشردگی مناسب‌ترین معیار برای سنجش بدشکلی بود. در قسمت درجه‌بندی از طول محور اصلی و برای تخمین وزن از مدل درجه دو استفاده شد. نهایتاً تعداد ۳۰ غده توسط سامانه مورد ارزیابی قرار گرفت که مشخص کرد سامانه با دقت کل ۹۱٪ قادر به درجه‌بندی سیب‌زمینی‌ها است. بر اساس نتایج بدست آمده در دقت سامانه توسعه یافته در این تحقیق، می توان گفت که پارامترهای شکلی استخراج شده از روی تصاویر پتانسیل مناسبی را برای ساخت و توسعه سامانه ارزیابی و درجه بندی دارد. برای تعمیم نتایج این تحقیق،

پیشنهاد می شود با افزایش تعداد نمونه و پارامترهای رنگی و شکلی و بافتی سامانه دیگر طراحی و برای ارقام دیگر این محصول نیز مورد آزمایش و بررسی قرار گیرد.

منابع و مآخذ

1. Chenglong, W., Xiaoyu, L., Wei, W., Jie, L., Hailong, T., and Dongdong, W. 2011. Detection of potatos size based on centroidal principal axis. African Journal of Agricultural Research 6: 4140-4148.
2. ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., and Blasco, J. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. Journal of Food Engineering 112: 60-68.
3. FAO. 2009. How to feed the world, Global agriculture towards 2050, Rome.
4. Grift, T., Zhang, Q., Kondo, N., and Ting, K. 2008. A review of automation and robotics for the bioindustry. Journal of Biomechatronics Engineering 1: 37-54.
5. Hasankhani, R., and Navid, H. 2012. Potato Sorting Based on Size and Color in Machine Vision System. Journal of Agricultural Science 4: p235.
6. Heinemann, P.H., Pathare, N.P., and Morrow, C.T. 1996. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes. Machine Vision and Applications 9: 14-19.
7. Noh, S.H., and Choi, K.H. 2006. Nondestructive quality evaluation technology for fruits and vegetables. International Seminar on Enhancing Export Competitiveness of Asian Fruits, Bangkok, Thailand.
8. Pedreschi, F., Mery, D., and Marique, T. 2008. Grading of potatoes. Computer vision technology for food quality evaluation: 305-318.
9. Sun, D-W. 2011. Computer vision technology for food quality evaluation: Academic Press.
10. Tao, Y., Morrow, C., Heinemann, P., and Sommer, H. 1995. Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision. Transactions of the ASAE 38: 949-957.
11. Zhou, L., Chalana, V., and Kim, Y. 1998. PC- based machine vision system for real- time computer- aided potato inspection. International journal of imaging systems and technology 9: 423-433

Developing a machine vision system for shape evaluation and grading of potato tubers using the extracted features from 2D images

abstract

The importance of process automation by utilizing new technologies, especially optical technology, for meeting the new century's food demands and enhancing the quality of agricultural crops is increasing. In this paper a machine vision system was developed for grading potato, which is one of the chief vegetables. This system includes several steps, namely imaging, feature extraction, evaluation (irregularity), sorting (based on size) and weight estimation. Several morphological features were extracted and examined for sorting purposes. For the validation of this system 30 tubers were examined. A quadratic model between area values of potatoes (from images) and their weights was found to be a best-fit. The results indicated that this system was able to estimate tubers weight by 98% accuracy, evaluate irregularity by 100% accuracy and sort them by over 93% accuracy.

Keywords: automation, potato, grading, image features, morphology, image processing