

توسعه آگوریتمی مبتنی بر پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ

یوسف خزایی^۱، کامران خیرعلی‌پور^{۲*}، عادل حسین‌پور^۳ و حسین جوادی‌کیا^۴

چکیده

یکی از مراحل برداشت سیب‌زمینی جداسازی آن از کلوخ و سنگ است که توسط ماشین‌های برداشت و براساس اصطکاک و ارتعاش به صورت کامل انجام نمی‌شود و برای تکمیل جداسازی از نیروی کارگری استفاده می‌شود. در این پژوهش، از روش پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان برای جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ استفاده شده است. چهارصد نمونه سیب‌زمینی، یکصد نمونه کلوخ و یکصد نمونه سنگ به طور تصادفی انتخاب گردید. پس از انتخاب شرایط تصویربرداری مناسب، تصاویر همه نمونه‌ها به صورت تکی گرفته شد. یک الگوریتم پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب برای پیش پردازش تصاویر و استخراج ویژگی‌های مختلف رنگی و بافت طراحی گردید. از ویژگی‌های به دست آمده، تعداد نه ویژگی به عنوان ویژگی‌های مناسب برای طبقه‌بندی انتخاب شد. برای طبقه‌بندی نمونه‌ها از روش ماشین بردار پشتیبان و با در نظر گرفتن دو استراتژی یعنی ۳-راهه (سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ) و ۲-راهه (سیب‌زمینی و غیر سیب‌زمینی) استفاده شد. نرخ طبقه‌بندی صحیح استراتژی ۳-راهه و ۲-راهه به ترتیب برابر ۹۸/۶۷ و ۹۹٪ با خطای مربعات میانگین برابر (۰/۰۱۷) بود. با توجه به این نتیجه، جهت جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ یک سامانه ماشین‌بینایی می‌تواند پیاده‌سازی و مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تصویربرداری، جداسازی، سیب‌زمینی، طبقه‌بندی، ناخالصی.

ارجاع: خزایی ی. خیرعلی‌پور ک. حسین‌پور ع. و جوادی‌کیا ح. ۱۳۹۸. توسعه آگوریتمی مبتنی بر پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸(۱): ۱۱-۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه.

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی.

* نویسنده مسئول: kamrankheiralipour@gmail.com, k.kheiralipour@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

مقدمه

روشی جدید ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راهکارهای جدید، تشخیص و جداسازی محصولات کشاورزی با استفاده از سامانه‌های مبتنی بر پردازش تصویر است که به دلیل مزایای قابل توجهی مانند غیرمخرب بودن، کاهش هزینه و دقت و سرعت بالا مورد توجه محققین می‌باشد.

روش پردازش تصویر برای درجه‌بندی محصولات کشاورزی مانند: زیتون (Furferi؛ Riquelme *et al.*, 2008)، توت‌فرنگی (Liming & Yanchao, 2010)، گیلاس (Mousavi balestani *et al.*, 2012)، خرمالو، (Mohammadi *et al.*, 2015)، انار (Kheiralipour & Marzbani, 2016) و خیار (Kheiralipour & Pormah, 2017) استفاده شده است. از جمله تحقیقات انجام شده جهت جداسازی محصولات کشاورزی از مواد ناخواسته، سامانه مکانیکی (Morquin *et al.*, 2003) برای جداسازی خودکار کلوخ از پیاز است که براساس ماشین بینایی ساخته شده است. نرخ طبقه‌بندی صحیح در تحقیق آن‌ها برابر ۹۸٪ گزارش شده است. در این حوزه Ebrahimi *et al.* (2012) با استفاده از پردازش تصویر و با کمک شبکه عصبی مصنوعی غده‌های سیب‌زمینی را در سه سطح رطوبتی طبقه‌بندی کردند. آن‌ها ویژگی‌های مختلف رنگی مانند میانگین، کمینه، بیشینه و ... از فضاهای رنگی مختلف و ویژگی‌های بافت (به کمک ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری) را از تصاویر سیب‌زمینی استخراج نمودند. نتایج استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۶٪ نمونه‌ها قابل تشخیص هستند. در تحقیق دیگری Elmaseri *et al.* (2012) یک سامانه ماشین بینایی برای شناسایی سیب‌زمینی‌های با شکل نامطلوب طراحی و راه‌اندازی نمودند. پس از پردازش اولیه تصاویر اخذ شده، ویژگی‌های شکل استخراج و پس از انتخاب ویژگی، الگوریتم توسعه یافته توانست سیب‌زمینی‌های با شکل نامطلوب را با استفاده از روش آستانه و با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۶٪ جدا نماید.

در تحقیقی Al-Mallahi *et al.* (2010) الگوریتمی برای تشخیص بلادرنگ غده‌های سیب‌زمینی از کلوخ توسعه دادند. دقت جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ در تحقیق آن‌ها ۹۹٪ گزارش شد. آن‌ها در این تحقیق سنگ را در نظر نگرفته‌اند اما در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) یکی از اولین گیاهانی می‌باشد که به عنوان غذای انسان مورد استفاده قرار گرفته است. سیب‌زمینی جز خانواده سولاناسه^۱ است که منشأ آن کشورهای پرو، شیلی و اکوادور است. این محصول امروزه در بیش از ۱۴۰ کشور دنیا تولید می‌شود (Kazemi, 2011). سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی از نظر اقتصادی است، چرا که امروزه در اکثر کشورها مصرف خوراکی دارد و جز مواد اولیه بسیاری از کارخانه‌های تولید کننده مواد خوراکی است. همچنین نشاسته سیب‌زمینی در صنایع مختلفی مثل تولید چوب و کاغذ، صنایع نساجی و تولید پارچه، تولید سوخت و حفاری‌های نفتی، نوشابه‌سازی و داروسازی کاربرد دارد (Mosley *et al.*, 2011). سیب‌زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت، چهارمین محصول مهم کشاورزی دنیا به شمار می‌رود. این محصول حاوی مواد ارزشمند غذایی است از جمله حدود ۱۲ تا ۲۰٪ غده از مواد نشاسته‌ای تشکیل شده و میزان پروتئین آن حدود ۲٪ است. از نظر انرژی‌زایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که انرژی حاصل از ۱۰۰ گرم سیب‌زمینی حدود ۷۸ کالری است (FAO, 2008). چین با تولید حدود ۹۶ میلیون تن عمده‌ترین تولیدکننده جهان و ایران با تولید پنج میلیون تن در سال در رتبه پانزدهم قرار دارد (FAO, 2017). در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، سطح برداشت سیب‌زمینی کشور ۱۶۰/۲۱ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۱/۴۱ درصد از کل سطح برداشت محصولات زراعی و ۳۰/۹ درصد از کل سطح برداشت سبزی‌ها است. میزان تولید سیب‌زمینی در کشور حدود ۵/۱۴ میلیون تن برآورد شده که معادل ۶/۶۷٪ از میزان تولید محصولات زراعی و ۲۹/۶۵٪ از کل میزان تولید سبزی‌ها می‌باشد (Anonymous, 2017).

در حال حاضر در مناطق در حال توسعه و توسعه یافته، این محصول توسط کمباین‌های مخصوص برداشت می‌شود. از کمبادهای تمام این کمباین‌ها نداشتن قابلیت جداسازی کامل سیب‌زمینی از کلوخ و به‌ویژه سنگ است و برای تکمیل این مرحله از نیروی کارگری استفاده می‌شود. به همین علت، برای کاهش هزینه‌ها و مرتفع نمودن نواقص روش‌های برداشت موجود، به‌کارگیری

همچنین تعداد ۱۰۰ نمونه سیب‌زمینی آغشته به گِل از رقم آریندا نیز تهیه شد. این انتخاب به این علت بود تا تشابه سیب‌زمینی به کلوخ بیشتر شده، نتیجه کار تشخیص به وسیله الگوریتم پردازش تصویر اعتبار بیشتری داشته و به شرایط واقعی و مزرعه نزدیک‌تر باشد. همچنین ۱۰۰ نمونه کلوخ و ۱۰۰ نمونه سنگ نیز به صورت تصادفی تهیه گردید.

در تحقیق حاضر از یک محفظه تصویربرداری (شکل ۱) برای گرفتن تصاویر از نمونه‌های مورد مطالعه استفاده شد. محفظه تصویربرداری به صورت یک مکعب با ابعاد مساوی ۸۰ سانتی‌متر، از ورق چوبی ساخته شده و از یکی از دیواره‌های جانبی آن به عنوان درب استفاده شده است. در وسط سقف محفظه محلی برای نصب پایه نگهدارنده دوربین تعبیه و جهت تصویربرداری از یک دوربین آنالوگ ساخت شرکت بوش مدل CCD540، از یک کارت تصویر CTV 150e/55e PAL/SEC) Pinnacle Studio Vision Rev: 1.2، ساخت کشور چین) به منظور انتقال تصاویر از دوربین به رایانه استفاده شد. همچنین از یک رایانه مدل Acer، مدل پردازشگر Intel(R) Core(TM) i5 -2430M، CPU @ 2.40 GHz، رم GB4، Windows 7، professional و نرم‌افزار MATLAB 2010a برای ذخیره و پردازش تصاویر استفاده گردید. جهت نورپردازی از سه نوع لامپ تنگستن (۲۲۰ ولت، ۱۵ وات)، لامپ فلورسنت (۲۲۰ ولت، ۱۱ وات) و لامپ LED در چهار رنگ سبز، سفید، آبی و نارنجی (۱/۵ وات، ۳۰ میلی‌وات) استفاده گردید. این لامپ‌ها در چهار دیواره محفظه و در هر دیواره در سه ردیف (بالا، وسط و پایین) نصب شدند (شکل ۱). برای انتخاب پس‌زمینه مناسب، از کاغذ سفید و سیاه رنگ استفاده گردید.

تحقیق حاضر شامل دو بخش است: ۱- تعیین شرایط بهینه نورپردازی و ۲- تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ.

تعیین شرایط بهینه نورپردازی

در بخش اول تحقیق حاضر، تعداد ۳۷ حالت مختلف نورپردازی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱) تا شرایط بهینه نورپردازی برای تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ یافت شود.

گرفته است چرا که هنوز مزارع کشور از وجود سنگ پاکسازی نگشته و به‌عنوان یک مشکل تلقی می‌شود. روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از جدیدترین روش‌هایی که اخیراً پژوهشگران در حوزه‌های مختلف علمی از جمله، تشخیص الگو و بافت، زمان برداشت محصول و تعیین کیفیت به‌کار برده‌اند، روش ماشین بردار پشتیبان^۱ (SVM) است (Yu *et al.*, 2011). این روش از جمله روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی از جمله شبکه‌های عصبی پرسپترون نشان داده است. لذا در تحقیق حاضر برای طبقه‌بندی داده‌ها از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. مبنای کاری طبقه‌بندی در این روش دسته‌بندی خطی داده‌ها است. آموزش این روش نسبتاً ساده است و برخلاف شبکه‌های عصبی در بیشینه‌های محلی گیر نمی‌افتد و برای داده‌های با ابعاد بالا - به خوب جواب می‌دهد. در این زمینه، Mizushima & Lu (2013) یک الگوریتم قابل تنظیم خودکار به کمک روش SVM برای درجه‌بندی میوه سیب براساس رنگ ظاهری آن طراحی نمودند که دقت درجه‌بندی آن برابر ۹۸٪ بود. در پژوهش دیگری میزان سفیدی دانه‌های برنج با استفاده از روش‌های SVM و پردازش تصویر تعیین شده است. دقت طبقه‌بندی برای دو نوع برنج مورد مطالعه توسط محققین برابر ۹۷/۶ و ۹۸/۵ به‌دست آمد (Sun *et al.*, 2011).

با توجه به تحقیقات انجام شده گزارش‌هایی راجع به جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ مشاهده شده اما جداسازی سیب‌زمینی از سنگ مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین در تحقیق‌های پیشین از روش‌های طبقه‌بندی جدید استفاده نشده است. لذا هدف از تحقیق حاضر تشخیص سیب‌زمینی از سنگ و کلوخ به صورت آزمایشگاهی با استفاده از روش پردازش تصویر و طبقه‌بندی به کمک روش ماشین بردار پشتیبان است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۰ نمونه سیب‌زمینی از هر کدام از رقم‌های آگریا^۲، آریندا^۳ و بانبا^۴ (جمعاً ۳۰۰ نمونه) تهیه گردید.

1- Support vector machine

2- Agria

3- Arinda

4- Banba

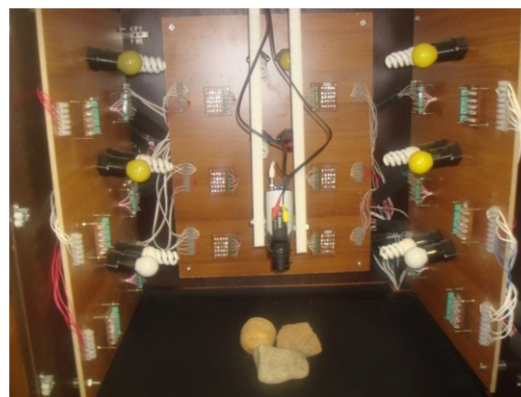
جدول ۱- حالت‌های مختلف نورپردازی مورد ارزیابی در تحقیق حاضر*

لامپ‌های دیواره	نوع لامپ	موقعیت عمودی	لامپ‌های دیواره	نوع لامپ	موقعیت عمودی
چهار طرف	L(B)	وسط	چپ و راست	T+F	پایین
چهار طرف	L(O)	وسط	جلو و عقب	T+F	پایین
چهار طرف	L	وسط	چهار طرف	T+F	پایین
چپ و راست	T+F	بالا	چهار طرف	T	پایین
جلو و عقب	T+F	بالا	چهار طرف	F	پایین
چهار طرف	T+F	بالا	چهار طرف	L+T+F	پایین
چهار طرف	T	بالا	چهار طرف	L(G)	پایین
چهار طرف	F	بالا	چهار طرف	L(W)	پایین
چهار طرف	L+T+F	بالا	چهار طرف	L(B)	پایین
چهار طرف	L(G)	بالا	چهار طرف	L(O)	پایین
چهار طرف	L(W)	بالا	چهار طرف	L	پایین
چهار طرف	L(B)	بالا	چپ و راست	T+F	وسط
چهار طرف	L(O)	بالا	جلو و عقب	T+F	وسط
چهار طرف	L	بالا	چهار طرف	T+F	وسط
چهار طرف	T+F	بالا + وسط	چهار طرف	T	وسط
چهار طرف	T+F	بالا + پایین	چهار طرف	F	وسط
چهار طرف	T+F	پایین + وسط	چهار طرف	L+T+F	وسط
چهار طرف	T+F	بالا + وسط + پایین	چهار طرف	L(G)	وسط
چهار طرف	T+F		چهار طرف	L(W)	وسط

* لامپ‌های موجود بر روی درب محفظه و دیواره مقابل آن در یک دسته با نام «جلو و عقب» و لامپ‌های موجود بر روی دیواره‌های جانبی در دسته‌های دیگر با نام «چپ و راست» مشخص شده‌اند. بر روی هر دیواره مجموعه‌ای از لامپ‌ها در سه ردیف بالا، وسط و پایین قرار دارد که در ستون به‌عنوان «موقعیت عمودی» معرفی شده است. مجموعه لامپ‌های استفاده شده شامل تنگستن، فلورسنت و LED است که به‌ترتیب با T, F و L نشان داده شده است. رنگ‌های مختلف لامپ‌های LED شامل سبز، سفید، آبی و نارنجی نیز به‌ترتیب با حروف L(G), L(W), L(B) و L(O) نشان داده شده است.

راست محفظه تصویربرداری با پس‌زمینه سفید در شکل ۳ نشان داده شده است. در این حالت نورپردازی تصویر تهیه شده شامل یک غده سیب‌زمینی، یک کلوخ و یک سنگ است. هیستوگرام این تصویر در فضاهای RGB, HSV و سطح خاکستری^۱ به‌ترتیب در شکل‌های ۳-الف تا ۳-ج نشان داده شده است. با بررسی هیستوگرام‌ها، میزان همپوشانی اشیاء مورد بررسی قرار گرفت. هیستوگرامی که در آن سه شیء مورد بررسی همپوشانی کمتری داشته باشند به‌عنوان نورپردازی بهینه انتخاب شد.

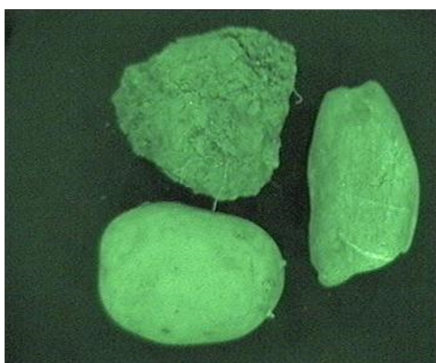
پس از مشخص کردن شرایط نورپردازی بهینه، از همه نمونه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر به‌صورت تکی تصویر گرفته شد. سپس این تصاویر مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند.



شکل ۱- اتافک نورپردازی و تصویربرداری

شکل ۲ تصاویری شامل هر سه هدف سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ را با دو پس‌زمینه زمینه سیاه و سفید برای حالت‌های مختلف نورپردازی نشان می‌دهد. هیستوگرام‌های این تصاویر برای یافتن شرایط نورپردازی بهینه مورد بررسی قرار گرفتند. به‌عنوان نمونه، هیستوگرام یک تصویر تهیه شده در حالت نورپردازی با لامپ‌های تنگستن و فلورسنت در موقعیت عمودی بالا و بر روی دیواره چپ و

1- Gray

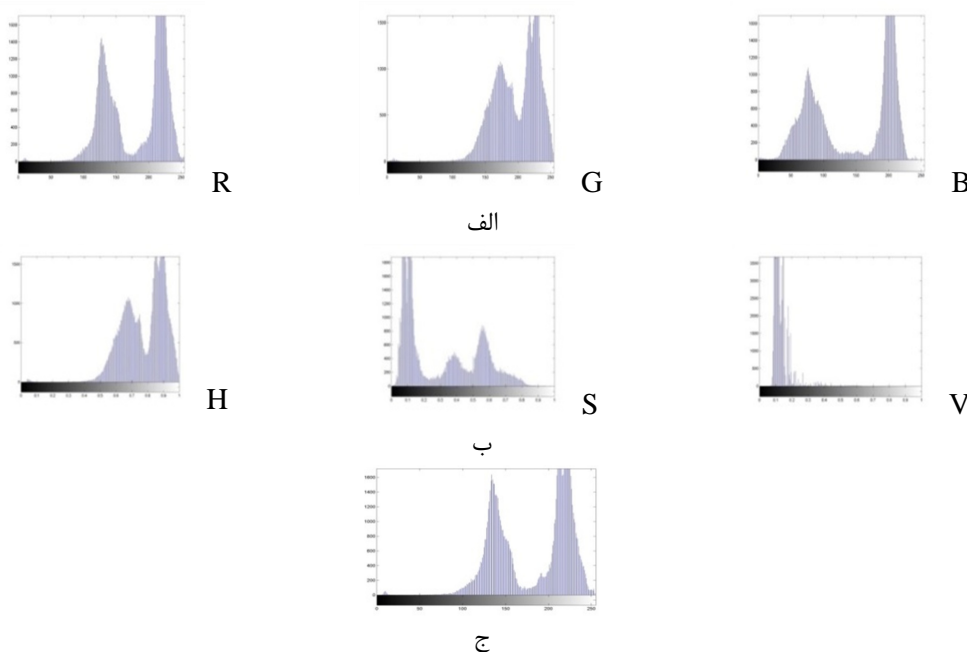


ب



الف

شکل ۲- تصویر گرفته شده در شرایط الف) پس زمینه سفید، نور T+F، موقعیت عمودی پایین، لامپ‌های موجود بر روی دیواره (چپ و راست) و ب) پس زمینه سیاه، نور I.(G)، موقعیت عمودی وسط، لامپ‌های موجود بر روی دیواره (جلو و عقب و چپ و راست)



شکل ۳- هیستوگرام یک تصویر شامل سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ در حالت نورپردازی لامپ‌های تنگ‌سنت و فلورسنت در موقعیت عمودی بالا و بر روی دیواره چپ و راست محفظه تصویربرداری با پس‌زمینه سفید، الف) کانال‌های مختلف فضای RGB، ب) کانال‌های مختلف فضای HSV و ج) سطح خاکستری (gray)

تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ

برای تشخیص سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ، از نمونه‌های مورد بررسی به صورت تکی و با استفاده از شرایط بهینه نورپردازی (بخش قبل) تصویر گرفته شد. سپس تصاویر تهیه شده مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند. بدین منظور مراحل پیش‌پردازش تصاویر، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی انجام گرفت. پیش‌پردازش و

تقسیم‌بندی^۱ اولین قدم در تجزیه و تحلیل تصویر و همچنین مهمترین بخش در هر سامانه خودکار تشخیص تصویر است. کیفیت نتایج تحلیل به مرحله جداسازی تصویر بسیار مرتبط است. مراحل پیش‌پردازش تصویر در تحقیق حاضر در فلوجارت شکل (۴) آمده است. در این قسمت پس از فراخوانی تصویر توسط نرم‌افزار، مراحل برش حاشیه تصویر، جداسازی مولفه‌های قرمز (R)، سبز

1- Segmentation

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (15)$$

$$Z = 0.066G + 1.116B \quad (16)$$

$$X = 0.607R + 0.174G + 0.2B \quad (17)$$

$$L^* = 116Y^{1/3} - 16 \quad (18)$$

$$a^* = 500((X/0.981)^{1/3} - (Y^{1/3})) \quad (19)$$

$$b^* = 200(Y^{1/3} - (Z/1.182)^{1/3}) \quad (20)$$

در این تحقیق، ۱۵ ویژگی از هر مولفه رنگی شامل ویژگی‌های رنگی (بیشینه، کمینه، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، آنتروپی، میانه، چولگی، کشیدگی، نما و کوواریانس) و ویژگی‌های بافت (تباين، همبستگی، انرژی و همگنی) استخراج شد. ویژگی‌های بافت پس از ایجاد ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری به دست آمدند.

تمام ویژگی‌های استخراج شده قابلیت پیش‌بینی اطلاعات را ندارند. به همین علت انتخاب ویژگی‌های مناسب و کارا یک گام اساسی برای تشخیص الگو و یادگیری ماشین به شمار می‌آید. در تحقیق حاضر جهت انتخاب ویژگی‌های کارا برای طبقه‌بندی، یک برنامه در نرم‌افزار متلب براساس روش تحلیل تفکیک درجه دوم و اعتبارسنجی کد نویسی شد. ورودی این برنامه ویژگی‌های استخراج شده و خروجی آن نوع گروه (سیب‌زمینی، کلخ و سنگ) بود. پس از اجرای برنامه، نرم‌افزار متلب ویژگی‌های کارا را ارائه داد.

روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی گروه‌های مختلف مورد مطالعه در تحقیق حاضر به کار رفت. این روش یک ابر صفحه جداکننده با بیشترین فاصله از نقاط حاشیه‌ای را معرفی می‌کند. در ابتدا این روش برای طبقه‌بندی دو گروه و با یک جداکننده خطی (شکل ۵) معرفی شد. سپس ماشین بردار پشتیبان با معرفی هسته برای آن توسعه یافت و جهت طبقه‌بندی داده‌هایی شامل بیش از دو گروه نیز قابل استفاده است.

ماشین بردار پشتیبان اساساً یک جداکننده دودویی است اما تشخیص الگوی چند-طبقه‌ای می‌تواند با ترکیب ماشین‌های بردار پشتیبان ۲-طبقه‌ای حاصل شود. به طور معمول دو دید برای این هدف وجود دارد. یکی از آن‌ها استراتژی "یکی در مقابل بقیه"^۳ برای طبقه‌بندی هر جفت طبقه و طبقه‌های باقی مانده است. استراتژی دیگر، "یکی در مقابل یکی"^۴ برای طبقه‌بندی هر جفت است. در واقع

(G) و آبی (B)، تبدیل فضای رنگی تصویر برش یافته به فضای HSV و جداسازی مولفه‌های آن، تهیه تصویر مورد نیاز برای تشخیص تصاویر هدف از پس زمینه (I=V+0.2*R+0.1*G-0.1*B); تبدیل تصویر تشخیص هدف (I) به تصویر باینری، پر نمودن حفره‌های تصویر باینری، شماره گذاری اشیاء درون تصویر باینری، حذف اغتشاش تصویر باینری، حذف زمینه در تصاویر تک رنگ R, G و B, ترکیب تصاویر تک رنگ برای تولید تصویر RGB بدون پس زمینه و در نهایت تهیه فضاهاى مختلف رنگی شامل: $L^*a^*b^*$, J3I2I1, HSI, CrCb, NRNGNB و سطح خاکستری^۱ (Cheng et al., 2001; Gonzalez & Woods, 2002; Bulanon et al., 2002; انجام شد. برای استخراج ویژگی با استفاده از معادلات (۱) تا (۱۳)، کانال‌های NR, NG, NB, I1, I2, I3, H, S, I, Cr, Cg و Cb محاسبه شد.

$$NR = \frac{R}{R + G + B} \quad (1)$$

$$NG = \frac{G}{R + G + B} \quad (2)$$

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

$$I1 = \frac{R + G + B}{3} \quad (5)$$

$$I2 = \frac{R - B}{2} \quad (6)$$

$$I3 = \frac{2G - R - B}{4} \quad (7)$$

$$H = \arctan\left[\frac{\sqrt{3}(G - B)}{(R - G) + (R - B)}\right] \quad (8)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (9)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (10)$$

$$Cr = 0.6R - 0.6G - 0.1B \quad (11)$$

$$Cg = -0.3R + 0.3G - 0.1B \quad (12)$$

$$Cb = -0.3R - 0.6G + 0.9B \quad (13)$$

فضای $L^*a^*b^*$ یک فضای رنگ مقابل^۲ با ابعاد L برای روشنایی، a و b برای ابعاد رنگ مقابل، براساس مختصات فضای رنگی فشرده شده غیرخطی XYZ CIE می‌باشد. کانال‌های این فضا با استفاده از معادلات (۱۴) تا (۲۰) محاسبه شد.

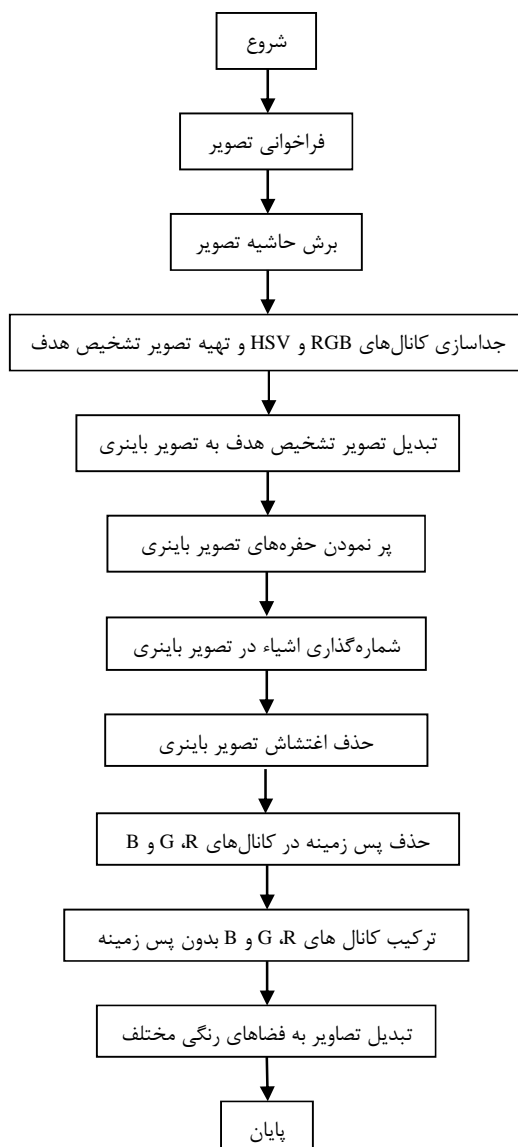
$$X = 0.607R + 0.174G + 0.2B \quad (14)$$

3- One against all
4- One against one

1- Gray
2- Color-opponent space

جداکننده‌های دودویی SVM با هم ترکیب شده و به این ترتیب مسئله چندطبقه‌ای حل می‌شود.

برای مسائل چند-طبقه‌ای، رهیافت کلی کاهش مسئله به چندین مسئله دودویی است. هر یک از مسائل با یک جداکننده دودویی حل می‌شود. سپس خروجی



شکل ۴- مراحل پیش پردازش تصویر

فراصفحه با بیشترین حاشیه در یک فضای ویژگی تغییر شکل داده مناسب باشد. ممکن است تغییر شکل غیرخطی و فضای تغییر یافته دارای ابعاد بیشتری باشد. به هر حال جداکننده یک فراصفحه در فضای ویژگی با ابعاد بالا بوده که ممکن است در فضای ورودی نیز غیرخطی باشد (Boser et al., 1992; William et al., 2007). چند هسته مختلف برای این روش به کار می‌رود که معروف‌ترین آن‌ها هسته خطی و گاوسین است. بدین منظور در تحقیق

فراصفحه جداکننده بهینه اولین بار توسط واپینک در سال ۱۹۶۳ ارائه شد که یک جداکننده خطی بود. در سال ۱۹۹۲، برنارد بوسر، ایزابل گویون و واپینک راهی را برای ایجاد طبقه‌بند غیرخطی، با قرار دادن یک تابع هسته غیرخطی برای پیدا کردن فراصفحه را پیشنهاد دادند. الگوریتم حاصل مشابه نوع خطی بوده، به جز آن که تمام ضرب‌های نقطه‌ای با یک تابع هسته غیرخطی جایگزین شدند. این جایگزینی اجازه می‌دهد الگوریتم برای

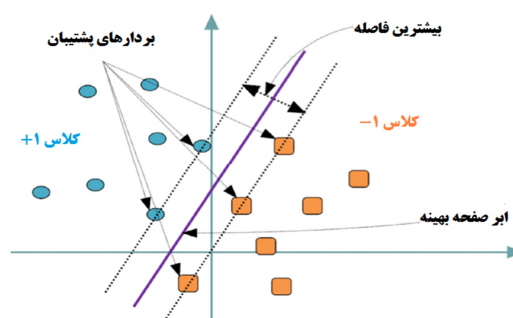
با بررسی هیستوگرام‌های تصاویر در شرایط نورپردازی مختلف، بهترین حالت نورپردازی با استفاده از لامپ‌های تنگستن و فلورسنت در دو موقعیت عمودی (بالا و وسط) و در چهار طرف محفظه با پس زمینه سفید بود. هیستوگرام‌های به‌دست آمده در این شرایط در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به هیستوگرام‌های سیب‌زمینی، سنگ و کلوخ می‌توان دو ویژگی را در شکل ملاحظه نمود. در هر یک از آن‌ها بین پس زمینه و هدف فاصله وجود دارد و این به معنای امکان جداسازی آسان پس‌زمینه از اشیاء است. همچنین آستانه هر یک از هیستوگرام‌های سیب‌زمینی، سنگ و کلوخ با هم متفاوت است. این دو ویژگی در وضعیت نورپردازی فوق نسبت به سایر وضعیت‌های نورپردازی به شکل مطلوب‌تری فراهم شده است و به همین علت انتخاب گردید.

پیش‌پردازش

با پیش‌پردازش تصاویر، تصاویر نهایی برای استخراج ویژگی به‌دست آمد (شکل ۷). در این تصاویر هیچ اغتشاشی وجود نداشته و فقط هدف مشاهده می‌شود (سیب‌زمینی، کلوخ یا سنگ). همچنین پس‌زمینه تصاویر رنگ سیاه است و هدف در تصویر کاملاً مشخص است.

حاضر، با استفاده از این روش یک الگوریتم طبقه‌بند در نرم‌افزار MATLAB با هسته گاوسین طراحی، پیاده‌سازی و اجرا شد. دو سوم داده‌ها به‌صورت تصادفی برای آموزش ماشین انتخاب و بقیه داده‌ها برای آزمون مدل مورد استفاده قرار گرفت.

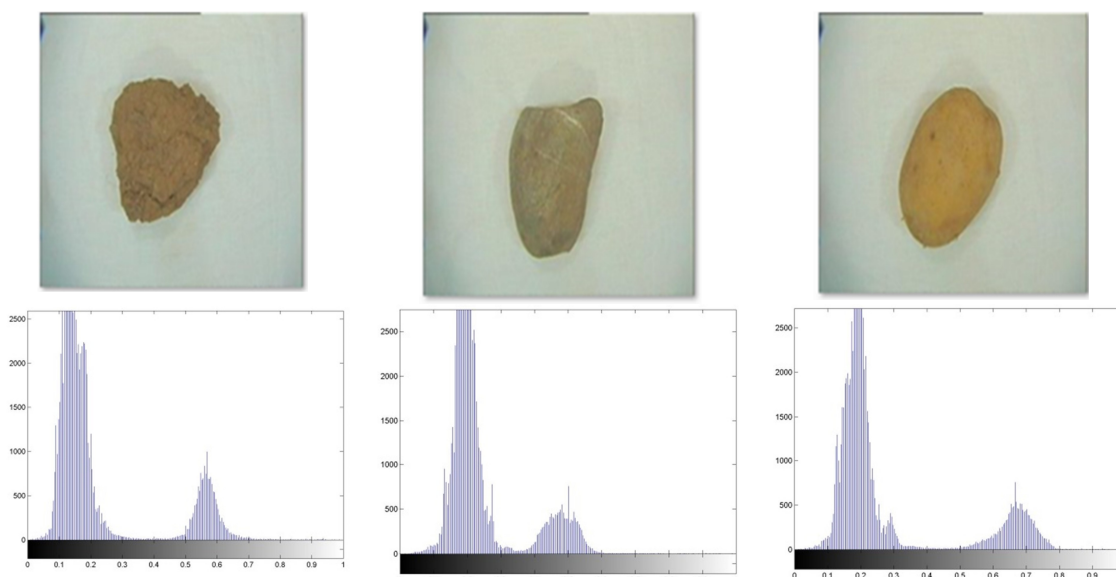
برای طبقه‌بندی سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ از دو استراتژی مختلف استفاده شد: طبقه‌بندی ۳-راهه و طبقه‌بندی ۲-راهه. در طبقه‌بندی ۳-راهه تشخیص سه گروه مختلف از هم یعنی ۱-سنگ، ۲-کلوخ و ۳-سیب‌زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت اما در طبقه‌بندی ۲-راهه فقط دو گروه برای طبقه‌بندی در نظر گرفته شد: ۱-سیب‌زمینی و ۲-غیر سیب‌زمینی (کلوخ و سنگ).



شکل ۵- جدا کننده خطی در SVM (Shen et al., 2016)

نتایج و بحث

نورپردازی



شکل ۶- هیستوگرام‌های به‌دست آمده از وضعیت نورپردازی انتخاب شده برای تشخیص سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ



شکل ۷- نمایش فضای RGB تصویر بدون پس‌زمینه الف) کلوخ، ب) سنگ و ج) سیب‌زمینی

استخراج ویژگی

پس از پیش پردازش، تصویر به دست آمده با استفاده از تبدیلات خطی و غیرخطی، فضاهای رنگی مختلفی به دست آمده و پس از جداسازی مولفه‌های هر فضا، در نهایت تعداد ۱۹ مولفه رنگی شامل R، G، B، L*، a*، b*، I1، I2، I3، S، H، Cr، Cg، Cb، NR، NG، NB و gray (Cheng *et al.*, 2001; Gonzalez & Woods, 2002; Bulanon *et al.*, 2002) به دست آمد. با توجه به تعداد مولفه‌های فضاهای رنگی و ۱۵ ویژگی ذکر شده در قسمت مواد و روش‌ها، در نهایت تعداد ۲۸۵ ویژگی از هر تصویر به دست آمد.

ویژگی‌های کارا

در این مرحله با استفاده از برنامه اجرا شده در نرم‌افزار MATLAB براساس روش تحلیل تفکیک درجه دوم و اعتبارسنجی، ویژگی‌های کارا انتخاب شدند. با استفاده از این برنامه تعداد نه ویژگی شامل میانگین کانال B، میانگین کانال NR، میانگین کانال I1، همبستگی کانال I1، یکنواختی کانال I1، میانگین کانال Cb، میانگین کانال S و انرژی کانال V به عنوان ویژگی‌های کارا برای طبقه بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

طبقه‌بندی

نتایج طبقه‌بندی سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ با در نظر گرفتن دو استراتژی ۳-راهه و ۲-راهه در جدول ۲ و شکل‌های ۸ و ۹ آمده است. شکل ۸ نتایج طبقه‌بندی ۳-راهه به روش SVM را به شکل ماتریس اغتشاش نشان می‌دهد. این ماتریس نرخ طبقه‌بندی صحیح روش SVM را نشان می‌دهد. اعداد روی قطر اصلی نمایانگر نمونه‌هایی

هستند که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و اعداد روی قطر فرعی نشان‌دهنده طبقه‌بندی نادرست نمونه‌ها است. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، طبقه‌بندی ۳-راهه از تعداد ۱۰۰ نمونه سنگ فقط یک نمونه، از تعداد ۱۰۰ نمونه کلوخ شش نمونه و از تعداد ۴۰۰ نمونه سیب‌زمینی فقط یک نمونه را نادرست طبقه‌بندی کرده است. بنابراین این الگوریتم طبقه‌بندی توانسته است از بین ۶۰۰ نمونه تصویربرداری شده تعداد ۵۹۲ نمونه را درست و تعداد ۸ نمونه را نادرست طبقه‌بندی نماید. در طبقه‌بندی ۲-راهه، فقط طبقه‌بندی دو گروه یعنی ۱-سنگ، و کلوخ و ۲-سیب‌زمینی مد نظر قرار گرفت. نتایج این طبقه‌بندی در شکل ۹ آمده است.

نرخ طبقه‌بندی صحیح کلی روش ماشین بردار پشتیبان برای هر دو نوع طبقه‌بندی ۳-راهه و ۲-راهه در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول خطای طبقه‌بندی نیز آورده شده است.

با توجه به جدول ۲، نتیجه کلی طبقه‌بندی ۳-راهه و ۲-راهه به روش ماشین بردار پشتیبان تقریباً یکسان و همچنین خطای میانگین مربعات آن‌ها نیز برابر بود. اما چون در عمل طبقه‌بندی ۲-راهه جهت جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ به دلیل انجام عملیات تحلیلی کمتر می‌تواند با سرعت بالاتری صورت گیرد، بهتر است از این روش استفاده شود. همان‌طور که ذکر گردید نرخ طبقه‌بندی صحیح ۲-راهه در تحقیق حاضر برابر ۹۹٪ به دست آمد که نشان می‌دهد نرخ طبقه‌بندی صحیح آن از تحقیق‌های پیشین بالاتر است. نرخ طبقه‌بندی صحیح در تحقیق‌های پیشین در زمینه پردازش تصویر سیب‌زمینی و پیاز توسط Al-Mallahi *et al.* (2010) و Morquin *et al.* (2003) به ترتیب برابر ۹۹ و ۹۸٪ بود. همچنین در تحقیق

سیبزمینی فقط از کلوخ جدا شده است.

حاضر سیبزمینی از کلوخ و سنگ تشخیص داده شده در حالی که در تحقیق (Al-Mallahi et al. (2010

سیبزمینی	کلوخ	سنگ
۰	۱	۹۹
۱	۹۴	۱
۳۹۹	۵	۰

شکل ۸- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ۳-راهه

سیبزمینی	کلوخ و سنگ	کلوخ و سنگ
۱	۱۹۵	
۳۹۹	۵	

شکل ۹- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی ۲-راهه

جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان

خطای میانگین مربعات	نرخ طبقه‌بندی صحیح (%)	نوع طبقه‌بندی
۰/۰۰۱۷	۹۸/۶۷	۳-راهه
۰/۰۰۱۷	۹۹/۰۰	۲-راهه

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ترکیب نورهای تنگستن و فلورسنت در دو موقعیت عمودی (بالا و وسط) و در چهار طرف محفظه با زمینه سفید به‌عنوان شرایط مناسب تصویربرداری انتخاب شد. از شرایط نورپردازی بهینه برای گرفتن تصاویر نمونه‌های تکی سیبزمینی، کلوخ و سنگ استفاده شد. پس از پیش‌پردازش تصاویر نمونه‌های مورد بررسی، تعداد نه ویژگی از ۲۸۵ ویژگی استخراج شده از تصاویر به‌عنوان ویژگی‌های کارا انتخاب شدند. نرخ طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها به روش ماشین بردار پشتیبان برابر ۹۸/۶۷ و ۹۹٪ به‌ترتیب برای استراتژی ۳-راهه و ۲-راهه به‌دست آمد. خطای مربعات میانگین دو استراتژی با هم برابر بود (۰/۰۰۱۷).

نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از روش پردازش تصویر به‌عنوان یک روش کارآمد و در عین حال ساده و غیرمخرب می‌توان جهت جداسازی سیبزمینی از کلوخ و سنگ با دقت بالایی با استفاده از استراتژی ۲-راهه استفاده نمود، به این صورت که در عمل وقتی یک نمونه در زیر دوربین قرار می‌گیرد پس از تصویربرداری، تصویر به‌دست آمده پردازش شده و با استفاده از روش طبقه‌بندی به‌کار رفته تشخیص داده می‌شود که

سیبزمینی است یا نه. اگر سیبزمینی باشد وارد مخزن سیبزمینی‌ها می‌شود، اگر نه به خارج از مخزن منتقل می‌شود.

منابع

- Al-Mallahi, A. Kataoka, T. Okamoto, H. and Shibata, Y. 2010. An image processing algorithm for detecting in-line potato tubers without singulation. Computers and Electronics in Agriculture, 70(1): 239-244.
- Anonymous. 2017. Agricultural Jihad Ministry. <http://www.maj.ir>. (In Farsi).
- Boser, BE. Guyon, IM. and Vapnik, VN. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers. Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory-COLT 92.
- Bulanon, DM. Kataoka, T. Ota, Y. and Hiroma, T. 2002. A segmentation algorithm for the automatic recognition of fuji apples at harvest. Biosystems Engineering, 83(4): 405-412.
- Cheng, HD. Jiang, XH. Sun, Y. and Wang, J. 2001. Color image segmentation: advances and prospects. Pattern Recognition, 34: 2259-2281.
- Ebrahimi, E. Mollazadeh, K. and Arefi A. 2012. An Expert System for Classification of Potato Tubers using Image Processing and Artificial Neural Networks.

- Production. Oregon State University Publications 1-25.
20. Mousavi balestani, A. Ahmadi Moghaddam, p. Modares motlaq, A. and Dolaty, H. 2012. Sorting and grading of cherries on the basis of ripeness, size and defects by using image processing techniques. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 4(16): 1144-1149.
 21. Riquelme, MT. Barreiro, P. Ruiz-Altisent, M. and Valero, C. 2008. Olive classification according to external damage using image analysis. *Journal of Food Engineering*, 87(3): 371-379.
 22. Shen, L. Chen, H. Yu, Z. Kang, W. Zhang, B. Li, H. Yang, B. and Liu, D. 2016. Evolving support vector machines using fruit fly optimization for medical data classification. *Knowledge-Based Systems*, 96: 61-75.
 23. Sun, C. Liu, T. Ji, C. Jiang, M. Tian, T. Guo, D. Wang, L. Chen, Y. and Liang, X. 2011. Evaluation and analysis the chalkiness of connected rice kernels based on image processing technology and support vector machine. *Journal of Cereal Science*, 60(2): 126-132.
 24. Yu Z. Wong H.S. Wen G. 2011. A modified support vector machine and its application to image segmentation. *Image and Vision Computing*, 29(1): 29-40.
 25. William, HP. Saul, AT. William, TV. and Flannery, BP. 2007. *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press.
 - International Journal of Food Engineering, 8(4): 1-18.
 7. Elmaseri, YG. Cubero, S. Moloto, E. and Blasco, J. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 122: 60-68.
 8. FAO. 2008. Food and agriculture organization of the United Nations, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>, 9/13/2014.
 9. FAO. 2017. Food and agriculture organization of the United Nations, <http://www.fao.org/faostat/en>.
 10. Furferi, R. and Carfagni, M. 2010. A machine vision system for real-time and automatic assessment of olives colour and surface defects. *International Journal of Computer Research*, 17: 303-320.
 11. Gonzalez, RC. and Woods RE. 2002. *Digital Image Processing*, Second edition, Prentice Hall Inc.
 12. Kazemi, M. 2011. *Management of potato production. Amozesh va Tarvij Keshavarzi Publication, Tehran. (In Farsi)*.
 13. Kheiralipour, and K. Marzbani, F. 2016. Pomegranate quality sorting by image processing and artificial neural network. 10th National Congress on Mechanical Engineering of Biosystems (Agricultural Machinery) and Mechanization, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (In Farsi).
 14. Kheiralipour, K. and Pormah, A. 2017. Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering*.
 15. Liming, X. and Yanchao Z. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: S32-S39.
 16. Mizushima, A. and Lu, R. 2013. An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 94(1): 29-37.
 17. Morquin, D. Ben Ghali, M. and Bose, S. 2003. An integrated neural network-based vision system for automated separation of clods from agricultural produce. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(1): 45-55.
 18. Mohammadi, V. Kheiralipour, K. and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2015. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae*, 184: 123-128.
 19. Mosley, A. Vales, I. McMorran, J. and Yilma, S. 2011. *Principles of Potato*

