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

تشخیص رسیدگی میوه خرمالو به روش پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان

کامران خیرعلی‌پور[۱*]، وحید محمدی[۲]، مهدی قاسمی ورنامخواستی[۳]

۱ – استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام،

۲- کارشناس ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

ایمیل مکاتبه کننده: *kamrankheiralipour@gmail.com*

چکیده

در این تحقیق از روش روش پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای طبقه‌بندی میوه خرمالو به سه درجه نارس، رسیده و بیش‌رس استفاده شد. تعداد ۸۸ نمونه میوه خرمالو ابتدا توسط فرد خبره درجه‌بندی و سپس تصاویر آن‌ها با استفاده از یک سامانه تصویربرداری اکتساب گردید. پردازش تصویر شامل حذف نویز، تهیه تصاویر دودویی، حذف پس زمینه، تشخیص و حذف نقاط سیاه رنگ بر روی پوست میوه و در نهایت استخراج ویژگی بود. ویژگی‌های مناسب رنگی برای طبقه‌بندی از کانال‌های مختلف مشخص شده و از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) به دو شکل یکی در برابر یکی (SVM1) و یکی در برابر بقیه (SVM2) برای طبقه‌بندی آن‌ها استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی مربوط به هر دو مدل SVM1 و SVM2 با هم برابر و معادل ۸۱/۷۱ ٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: خرمالو، رسیدگی، پردازش تصویر، طبقه‌بندی، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

میوه خرمالو (*Diospyros kaki*) یک منبع عالی برای عناصر بیواکتیو مانند آسکوربیک اسید، تانن تغلیظ شده و کاروتنوئید است. بنابراین خرمالو به دلیل محتوای آنتی‌اکسدانی آن، خواص مفید فراوانی برای سلامتی دارد (Plaza et al.2011). همچنین، تولید خرمالو به سبب کاربرد روش‌های جدید برای رفع گسی این میوه، در تمام دنیا در حال افزایش است.

(egual et al.2008).

پژوهش‌های فراوانی نشان داده‌اند که تکنیک پردازش تصویر با موفقیت برای فرآیند درجه‌بندی محصولات کشاورزی مورد استفاده واقع شده است (leu et al.2011,macky et al.2013). در گزارش‌های متعددی محققین رنگ ظاهری میوه را برای طبقه-بندی محصول به عنوان شاخص رسیدگی استفاده کرده‌اند (Belasco et al.2008، Nogales-Bueno et al.2014 ، Pedreschi et

al2006). در بیشتر کارهای انجام شده، سامانه درجه‌بندی به صورتی مطلوب بوده است که خودکار عمل نموده و با دقت مناسبی کار طبقه‌بندی را به انجام رساند.

اخیراً پژوهشگران از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) در حوزه‌های مختلف علمی از جمله، تشخیص الگو و بافت، زمان برداشت محصول، و تعیین کیفیت مطالعه نموده‌اند (yu et al.2011،).

یو و همکاران یک روش جدید برای شناسایی ترکیدگی و رسیدگی عناب تازه با استفاده از تصویربرداری فراطیفی در ناحیه آشکار و فروسرخ در ترکیب با پردازش تصویر ارائه نموده‌اند. آن‌ها از مدل‌های تحلیل تفکیک برای تشخیص درست میوه-های رسیده و ترکیده استفاده کردند (yu et al.2011،). میزوشیما و لو یک الگوریتم قابل تنظیم خودکار طراحی و ساختند که به کمک روش‌های SVM و آستانه Otsu میوه سیب را بر اساس رنگ ظاهری آن درجه‌بندی نمود.

(Mizushima, A. & Lu 2011).

در پژوهش دیگری، سون و همکاران موقعیت و نوع سفیدی دانه‌های برنج را با دقت مناسبی با ترکیب روش‌های SVM و پردازش تصویر تعیین نمودند (sun et al, 2011).

پژوهش حاضر قابلیت روش‌های پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان را در درجه‌بندی میوه خرمالو بر اساس رنگ ظاهری آن بررسی نموده است. در این طرح، کاربردپذیری سامانه به عنوان ابزاری سریع، ارزان و دقیق برای طبقه‌بندی میوه خرمالو مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، با کاربرد الگوریتم‌های پردازش تصویر و SVM، نتایج مشخصه‌های استخراجی از تصاویر برای درجه‌بندی کیفی خرمالو در سه سطح رسیدگی مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های آزمایش

برای انجام آزمایش‌ها، میوه خرمالو (رقم ایران) از باغ‌های شمال کشور خریداری و تهیه شد. میوه‌ها به آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه ایلام انتقال داده شدند. تعداد ۸۸ خرمالو با ظاهر و رنگ مناسب و در سطوح مختلف رسیدگی انتخاب شدند. شاخص رسیدگی که در این پژوهش استفاده شد، رنگ ظاهری میوه خرمالو با سه سطح رسیدگی نارس، رسیده و بیش‌رس بود (Salvador et al, 2007). بنابراین، ابتدا میوه‌ها در سه سطح رسیدگی مذکور از طریق بازرسی چشمی درجه‌بندی شدند. پس از درجه‌بندی اولیه، تصاویر میوه‌ها در اتاقک تصویربرداری برای اکتساب تصویر قرار گرفته و سپس مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند.

اکتساب تصویر

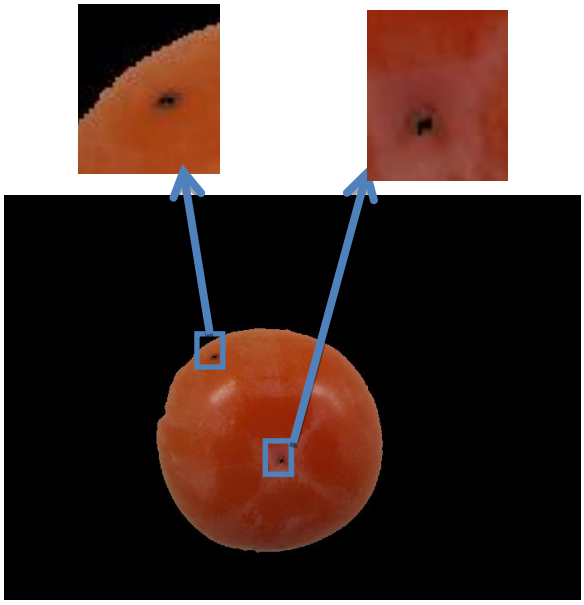
یک سامانه پردازش تصویر برای تهیه تصاویر میوه‌ها در کیفیت مناسب و ارسال آن‌ها برای انجام پردازش آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سامانه شامل یک رایانه، دوربین (Model: PC1438, Canon Inc., Japan)، و یک اتاق تصویر استاندارد با چهار لامپ LED و دو لامپ فلوئورسنت (Pars Shahab Co., Tehran, Iran) بود. با استفاده از این سامانه، تصاویر تعداد ۸۸ میوه خرمالو در سه سطح رسیدگی اکتساب و در رایانه ذخیره گردید.

پیش‌پردازش تصویر

الگوریتمی در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۰a برای پیش‌پردازش و پردازش خودکار تصاویر کدنویسی شد. الگوریتم پس از خواندن تصاویر، لبه‌های با کیفیت پایین تصاویر حذف گردید. سپس کانال آبی (B) تصاویر از تصاویر رنگی (RGB) بدست آمد. برای حذف نویزهای ناخواسته در تصاویر از فیلتر استفاده شد. با در نظر گرفتن مقدار آستانه ۰/۳ تصاویر دودویی حاصل شد. سپس نقاط سیاه روی پوست میوه که در استخراج مشخصه‌های تصویری تأثیرگذار هستند، از تصاویر زدوده شدند. تصاویر دودویی نهایی در کانال‌های R، G، و B ضرب شدند و سپس پس‌زمینه تصاویر اصلی حذف شد. تصویر یک نمونه میوه خرمالو، جدا شدن پس زمینه و حذف نقاط سیاه رنگ در شکل (۱) تا (۳) نشان داده شده است.

شکل ۱. میوه خرمالو.

شکل ۲. جدا کردن پس‌زمینه.



شکل ۳. حذف نقاط سیاه رنگ در تصویر.

ویژگی‌های استخراج شده

با استفاده از روابط زیر، کانال‌های nr، ng و nb: I1، I2، I3، از فضای اصلی RGB بدست آمد (cheng et al, 2001).

$$nr = \frac{R}{R+G+B} \quad (۱)$$

$$ng = \frac{G}{R+G+B} \quad (۲)$$

$$nb = \frac{B}{R+G+B} \quad (۳)$$

$$I1 = \frac{R+G+B}{3} \quad (٤)$$

$$I2 = \frac{R-B}{2} \quad (٥)$$

$$I3 = \frac{2G-R-B}{4} \quad (٦)$$

کانال‌های cr، cg و cb از روابط زیر بدست آمدند (Bulanon et al,2002):

$$Cr = 0.6R - 0.6G - 0.1B \quad (٧)$$

$$Cg = -0.3R + 0.3G - 0.1B \quad (٨)$$

$$Cb = -0.3R - 0.6G + 0.9B \quad (٩)$$

همچنین کانال‌های l*، b*، a*، بر اساس روابط مربوطه (cheng et al, 2001).بدست آمدند. کانال‌های H، S و V و سطح خاکستری با استفاده از تابع موجود در نرم‌افزار متلب تهیه گردید. سپس میانگین شدت پیکسل در هر کانال به عنوان ویژگی‌های رنگی بدست آمد.

تحلیل تصویر

آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقایسه نتایج آزمون‌های تجربی و تعیین اختلافات معنی‌دار بین گروه‌ها انجام شد. برای مشخص کردن اختلاف‌های چشمگیر بین گروه‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (IBM SPSS 20, USA) انجام شد.

ماشین بردار پشتیبان داده‌های را که بیش از دو گروه هستند را نیز طبقه‌بندی می‌کند و شامل دو روش یکی در مقابل یکی (SVM1) و یکی در مقابل بقیه (SVM2) می‌باشد. برای طبقه‌بندی میوه‌ها، دو الگوریتم در نرم‌افزار متلب برای هر دو روش کدنویسی شد. هسته مدل‌ها از نوع گاوسین انتخاب شد. دو سوم داده‌ها به صورت تصادفی برای آموزش ماشین انتخاب و بقیه داده‌ها برای آزمون مدل مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

در این پژوهش تعداد ۸۸ میوه خرمالو در سه سطح رسیدگی برای انجام آزمون‌ها انتخاب شدند. از میوه‌های طبقه‌بندی‌شده در اتاق تصویر استاندارد تصویربرداری شد. تصاویر تهیه‌شده به نرم‌افزار متلب ارسال شدند و یک الگوریتم نوشته‌شده، مشخصه‌های مورد نظر را از تصاویر استخراج نمود. با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، میوه‌ها در سطوح مختلف رسیدگی درجه‌بندی شدند.

ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر تحلیل شدند تا ویژگی‌های مفید برای درجه‌بندی خرمالو انتخاب شوند. جدول (۱) نتایج مربوط به ویژگی‌های مفید و کارای تصاویر میوه‌های خرمالو را در هر سطح رسیدگی و اختلافات معنی‌دار بین گروه‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف رسیدگی برای اغلب مشخصه‌ها از جمله کانال R، G، b*، I1، I2، cr، cg، cb، H، S، I و سطح خاکستری وجود داشت. بنابراین، این مشخصه‌ها توانستند به عنوان ورودی ماشین بردار پشتیبان برای درجه‌بندی خرمالو مورد اسفاده قرار گیرند.

جدول ۱. میانگین کانال‌های رنگی مختلف تصاویر خرمالو.

کانال	درجه رسیدگی		
	نارس	رسیده	بیش‌رس
R	۰/۵۹۲±۰/۰٤۳ a	۰/۵٦۱±۰/۰۵۲ b	۰/۵۳۳±۰/۰٤۰ c
G	۰/۲۲۸±۰/۰۲۰ a	۰/۲۰٤±۰/۰۱۵ b	۰/۱۸۸±۰/۰۲۲ c
B	۰/۰۸۲±۰/۰۰٤ b	۰/۰۸۸±۰/۰۰۳ ab	۰/۰۹۸±۰/۰۰٤ a
G. scale	۰/۳۲۰±۰/۰۱۹ a	۰/۲۹۸±۰/۰۱۹ b	۰/۲۸۱±۰/۲۳۰ c
l*	−٦۲/۲۵۰±۱۷/٦۹۰ a	−٦٤/٦۳۰±۱٦/۲٤۰ a	−۸۱/۸٦۰±۱۵/٤۱۰ b
a*	۳۳/۹۳۰±٤/٦۱۰ a	۳۵/٤۵۰±٤/٤۸۹ a	۳٦/۲۹۰±۳/۲۸۱ a
b*	۵۱/٤۱۰±٦/۷۰۰ a	٤۵/٦۵۰±٦/۱۲٤ b	٤۰/۲۹۰±٤/٤۵۰ c
Nr	۰/۰۰۲٦±۰/۰۰۰٦ a	۰/۰۰۲٦±۰/۰۰۰۳ a	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۰٤ a
Ng	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰۰۲ a	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰۰۱ a	۰/۰۰۰۹±۰/۰۰۰۱ a
Nb	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰٤ a	۰/۰۰۰٤±۰/۰۰۰۲ a	۰/۰۰۰٤±۰/۰۰۰۳ a
I1	۰/۳۰۰۱±۰/۰۰۳۸ a	۰/۲۸٤٤±۰/۰۰۳٤ b	۰/۲۷۳۰±۰/۰۰٤٤ c
I2	۰/۲۵٤۸±۰/۰۰٤۱ a	۰/۲۳٦۵±۰/۰۰۵۳ b	۰/۲۱۷٤±۰/۰۰٤۱ c
I3	−۰/۰۵۵±۰/۰۰۳۱ a	−۰/۰٦۰±۰/۰۰۲۵ a	−۰/۰٦۳±۰/۰۰۱۸ a
Cr	۰/۲٦۹۰±۰/۰۰٦۲ a	۰/۲٦۱۵±۰/۰۰٦۷ b	۰/۲٤۹۹±۰/۰۰٤۹ c
Cg	−۰/۰۹٤٦۷±۰/۰۰۳ a	−۰/۰۹۵۵±۰/۰۰۲۸ b	−۰/۰۹٤۲±۰/۰۰۲۰ c
Cb	−۰/۲٤۰±۰/۰۰٤۲ c	−۰/۲۱۲±۰/۰۰٤۵ b	−۰/۱۸۵±۰/۰۰٤۱ a
H	۰/۰٤۷±۰/۰۰۱۸ a	۰/۰٤۱±۰/۰۰۱۲ b	۰/۰۳٤±۰/۰۰۱۲ c
S	۰/۸٦٦±۰/۰۳۵ a	۰/٤۸٦±۰/۰۳۹ b	۰/۸۲۲±۰/۰۳٤ c
V	۰/۵۹۲±۰/۰۰۸۳ a	۰/۵٦۱±۰/۰۰۹٤ b	۰/۵۳۳±۰/۰۰۸۱ c

حروف مختلف در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) است.

شکل (٤) نتایج روش SVM را به شکل ماتریس اغتشاش نشان می‌دهد. این ماتریس‌ها دقت روش SVM را در طبقه‌بندی داده‌ها نشان می‌دهند. اعداد روی قطر اصلی نمایانگر گروه‌هایی هستند که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و اعداد روی قطر فرعی نشان‌دهنده طبقه‌بندی نادرست است.

همانطور که در شکل (٤) مشخص است، مدل SVM1 از تعداد ۲۷ نمونه نارس، ۱۹ نمونه، از تعداد ۳۱ نمونه رسیده ۲۹ نمونه و از تعداد ۲٤ نمونه بیش‌رس ۱۹ نمونه را درست طبقه‌بندی نموده است. مدل SVM2 نیز نتیجه مشابهی را برای

نمونه‌های بیش‌رس نشان داده است، اما برای سایر گروه‌ها فقط یک نمونه اختلاف دارد. در کل، هر دو مدل توانسته‌اند از ۸۲ نمونه ٦۷ نمونه را بدرستی و ۱۵ نمونه را نادرست طبقه‌بندی نماید. میزان دقت طبقه‌بندی، هر دو مدل طبقه‌بند SVM1 و SVM2 در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول همچنین خطای طبقه‌بندی آورده شده است. در مقایسه دو مدل طبقه-بند با همدیگر، هر دو آن‌ها دارای دقت طبقه‌بندی (۸۱/۷۱ ٪) و خطای طبقه‌بندی (۱۸/۲۹ ٪) برابری هستند.

ب

	بیش‌رس	رسیده	نارس
بیش‌رس	۱۹	۵	۰
رسیده	۰	۲۸	۳
نارس	۰	۷	۲۰

الف

	بیش‌رس	رسیده	نارس
بیش‌رس	۱۹	۵	۰
رسیده	۰	۲۹	۲
نارس	۰	۸	۱۹

شکل ٤. ماتریس اغتشاش طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان الف) مدل یکی در برابر یکی (SVM1) و ب) مدل یکی در برابر بقیه (SVM2).

جدول ۲. نتایج طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان.

مدل طبقه‌بند	نرخ طبقه‌بندی صحیح (٪)	خطای طبقه‌بندی (٪)
یکی در برابر یکی	۸۱/۷۱	۱۸/۲۹
یکی در برابر بقیه	۸۱/۷۱	۱۸/۲۹

ترکیب روش‌های پردازش تصویر و SVM برای درجه‌بندی محصولات کشاورزی به عنوان ابزاری مناسب توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Amorós López et al 2001 sun et al,2001). به طور کلی، با حذف نقاط سیاه روی میوه‌ها از تصاویر، تأثیر آن‌ها بر مشخصه‌های استخراجی رقیق شد. ویژگی‌های مفید تصاویر برای آموزش مدل SVM استفاده شدند. طرح حاضر نشان داد که یک مدل خوب SVM قادر است که میوه خرمالو را بر اساس رنگ ظاهری آن‌ها درجه‌بندی نماید.

نتیجه‌گیری

از روش پردازش تصویر و روش SVM برای طبقه‌بندی میوه خرمالو استفاده شد. تصاویر خرمالوها در فضای RGB تهیه شد. نویزها و نقاط سیاه تصاویر برطرف شد و ویژگی‌های مختلف از کانال‌های مختلف استخراج شدند. سپس دو مدل SVM، یکی در مقابل یکی و یکی در مقابل بقیه برای درجه‌بندی میوه‌ها در سه سطح رسیدگی آموزش داده شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح رسیدگی برای مشخصه‌های استخراجی از کانال R، G، b*، H، S، V و سطح خاکستری وجود داشت. عملکرد هر دو مدل طبقه‌بندی SVM برابر بود. هر دو مدل یکی در مقابل یکی و یکی در مقابل

بقیه میوه‌ها را با دقتی معادل ۸۱/۷۱ ٪ درجه‌بندی نمودند. برای رسیدن به دقت طبقه‌بندی بالاتر پیشنهاد می‌شود از ویژگی‌های دیگر استخراج و یا روش‌های دیگری برای طبقه‌بندی استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از دانشگاه ایلام بخاطر حمایت‌های لازم در این پژوهش تشکر می‌نمایند.

منابع و مآخذ

Amorós López, J. Izquierdo Verdiguier, E. Gómez Chova, L. Muñoz Marí, J. Rodríguez Barreiro, J. Camps Valls, G. & Calpe Maravilla, J. 2011. Land cover classification of VHR airborne images for citrus grove identification, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol 66, 115-123.

Blasco, J. Aleixos, N. Cubero, S. Gómez-Sanchís, J. & Moltó, E. 2008. Automatic sorting of satsuma (Citrus unshiu) segments using computer vision and morphological features. Computers and electronics in agriculture. Vol 66, 1-8.

Bulanon, D.M. Kataoka, T. Ota, Y. & Hiroma, T. 2002. A segmentation algorithm for the automatic recognition of fuji apples at harvest. Biosystems Engineering. Vol 83, 405-412.

Cheng, H.D. Jiang, X.H. Sun, Y. & Wang, J. 2001. Color image segmentation: advances and prospects. Pattern Recognition. Vol 34, 2259-2281.

Igual, M. Castell, M.L. Ortola, M.D. & Andr, A. 2008. Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. Journal of Food Engineering. Vol 86, 315-323.

Lleó, L. Roger, J.M. Herrero-Langreo, A. Diezma-Iglesias, B. & Barreiro, P. 2011. Comparison of multispectral indexes extracted from hyperspectral images for the assessment of fruit ripening. Journal of food engineering. Vol 104, 612-620.

Makky, M. & Soni, P. 2013. Development of an automatic grading machine for oil palm fresh fruits bunches (FFBs) based on machine vision. Computers and Electronics in Agriculture. Vol 93, 129-139.

Mizushima, A. & 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. Vol 94, 29-37.

Nogales-Bueno, J. Hernández-Hierro, J.M. Rodríguez-Pulido, F.J. & Heredia, F.J. 2014. Determination of technological maturity of grapes and total phenolic compounds of grape skins in red and white cultivars during ripening by near infrared hyperspectral image: A preliminary approach. Food chemistry. Vol. 152, 586-591.

Pedreschi, F. Leon, J. Mery, D. & Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. Food Research International. Vol 39, 1092-1098.

Plaza, L. Colina, C. Ancos, B. Sánchez-Moreno, C. & Pilar Cano, M. 2011. Influence of ripening and astringency on carotenoid content of high-pressure treated persimmon fruit (*Diospyros kaki*, L.). Food Chemistry. Vol 130, 591-59, 2011.

Salvador, A. Arnal, L. Besada, C. Larrea, V. Quiles, A. & Pérez-Munuera, I. 2007. Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. Postharvest biology and technology. Vol 46, 181-188.

Sun, C. Liu, T. Ji, C. Jiang, M. Tian, T. Guo, D. Wang, L. Chen, Y. & 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. Vol 60, 126-132.

Yu, K. Zhao, Y. Li, X. Shao, Y. Zhu, F. & He, Y. 2014. Identification of crack features in fresh jujube using Vis/NIR hyperspectral imaging combined with image processing. Computers and Electronics in Agriculture. Vol 103, 1-10.

Yu, Z. Wong, H.S. & Wen, G. 2011. A modified support vector machine and its application to image segmentation. Image and Vision Computing. Vol 29, 29-4.

Persimmon maturity detection by image processing and support vector machine

Abstract
The current study presents a persimmon maturity classification system using color-based image processing and support vector machine (SVM) techniques. Firstly, borders of images were removed. Then, B channel of images obtained, filters were applied and black spots on the persimmons were altered. Finally, useful features were extracted and calculated from binary images. SVM model was trained in one versus one (SVM1) and one versus rest (SVM2) methods. The results of study showed that for both SVM1 and SVM2 methods, the model could categorize the fruits with the average classification errors and CCR of 0.05 and 81.71, respectively. The results demonstrated that the SVM model could successfully classify the fruits into three different maturity stages. Experimental evidence shows that image processing and SVM methods has a very effective results in classifying persimmon fruits.
Keywords: Persimmon, Maturity, Image processing, Classification, Support vector machine.