



## کاربرد تصویربرداری فراتصیفی در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی

نرگس قانعی قوشخانه، محمود رضا گلزاریان\*

به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوپرستم، دانشگاه فردوسی مشهد

\* آدرس پست الکترونیکی نویسنده مسئول (m.golzarian@um.ac.ir)

### چکیده

امروزه کیفیت و سلامت محصولات کشاورزی در تعیین قیمت محصولات نقش بسزایی دارد. در نتیجه روش‌های جدید و غیرمخرب مثل تصویربرداری فراتصیفی که می‌تواند تمام نمونه‌های یک محموله‌ی کشاورزی را مورد بازرگانی قرار دهد مورد توجه محققین قرار گرفته است. به دلیل این که اطلاعات استخراجی این روش بسیار زیاد است از الگوریتم‌های مختلفی برای خلاصه نمودن اطلاعات طبیعی استفاده می‌گردد. در این تحقیق کاربردهای عمدی تصویربرداری فراتصیفی در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی با تأکید بر الگوریتم‌های مورد استفاده عنوان شده است. علاوه بر الگوریتم‌های مورد استفاده روش‌های دیگری نیز مثل استفاده از نسبت دو باند طبیعی نیز می‌تواند سرعت پردازش اطلاعات و شناسایی عیوب را تسريع بخشد که کاربردهای بازرگانی روی خط را می‌تواند تحقق بخشد.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم PCA، تصویربرداری فراتصیفی، شبکه عصبی مصنوعی، کیفیت سنجی  
مقدمه

به دلیل تغییر ماهیت تقاضای مصرف کنندگان محصولات کشاورزی به خریداری محصولاتی که کیفیت و سلامت بالایی دارند توسعه‌ی سیستم‌های دقیق و سریع کنترل کیفیت بسیار مهم است. در حال حاضر، بازرگانی چشمی به عنوان یکی از روش‌های رایج کنترل کیفیت هنوز هم به طور گسترده استفاده می‌شود، که به هر حال وابسته به طرز تفکر شخصی، زمان بر، پر زحمت و خسته کننده است. در مواردی که برای شناسایی میوه‌ای که قسمتی از بافت آن دچار بیماری شده یا پوسیده است توسط اپراتورهای آموزش دیده از نور مأموره بنفش استفاده می‌گردد، علاوه بر معایب بیان شده در این نوع بازرگانی چشمی پوست انسان نیز در خطر است [Lorente *et al.*, 2013]. روش‌های ابزاری به طور معمول استفاده شده، عمدتاً روش‌های شیمیایی تحلیلی مانند طیف سنجی جرمی می‌باشند که عیوبی مانند مخرب بودن، وقت‌گیر بودن، تعداد کم نمونه‌های مورد بررسی و گاهی اوقات نیاز داشتن به آماده سازی طولانی نمونه را دارند. از این‌رو بسیار مهم و ضروری است که جایگزین‌هایی دقیق، قابل اعتماد، کارآمد و غیر تهاجمی برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی به کار بrede شود. اخیراً، فناوری سنجش نوری به عنوان ابزار بالقوه برای تجزیه و تحلیل غیر مخرب و ارزیابی کیفیت و سلامت مواد غذایی به مرحله‌ای از توسعه رسیده است که در دسترس و قابل استفاده می‌باشد. به خصوص، با ادغام هر دوی شیوه‌های طیف سنجی و تصویربرداری در یک سیستم که می‌تواند یک نقشه‌ی فضایی از تغییر طبیعی به دست آورده، تصویربرداری فراتصیفی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه یافته است و به بسیاری از کاربردهای موفق در زمینه ارزیابی



کیفیت محصولات کشاورزی منتج شده است [Wu and Sun, 2013a]. در ادامه ضمن توضیحات مختصری از اصول تصویربرداری فراتریفی به چند کاربرد عمده این روش در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی بهخصوص در حوزه پس از برداشت می‌پردازیم.

#### ثوری تصویربرداری فراتریفی

در دههای اخیر تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات باکیفیت بالاتر افزایش یافته است. عواملی نظیر آسیب‌های مکانیکی، باکتریایی و آلوگی‌ها از جمله مواردی هستند که سبب کوتاه شدن عمر ماندگاری میوه می‌شود. از طرف دیگر، تحقیق بر روی تکنیک‌های نوری بدون تماس مانند طیف سنجی و تصویربرداری برای بازرگانی محصولات کشاورزی برای تضمین کیفیت و سلامت آن‌ها در حال انجام می‌باشد. طیف سنجی فقط اطلاعات طیفی را در اختیار قرار می‌دهد و در تعیین کمیت‌های وابسته به مکان محدود است. از طرفی، با استفاده از سیستم تصویربرداری معمولی یا سیستم‌های بینایی ماشین می‌توان ویژگی‌های سطح خارجی محصولات کشاورزی را استخراج کرد [Koc, 2007; Blasco *et al.*, 2009; Fathi *et al.*, 2009; Liming and Yanchao, 2010]. سیستم تصویربرداری معمولی بهدلیل حساسیت ثبت تصویر در طول موج‌های مرئی در قالب تصاویر تک رنگ یا رنگی، در بازرگانی نمونه‌های آزمایش با رنگ مشابه، طبقه بندی اهداف پیچیده، پیش‌بینی اجزای شیمیایی و تشخیص عیوب‌های غیرقابل مشاهده ناتوان است. با ادغام مزیت‌های اصلی طیف سنجی و تصویربرداری، روش تصویربرداری فراتریفی به‌طور همزمان می‌تواند اطلاعات طیفی و فضایی را در یک سیستم فراهم کند که برای پیش‌بینی کیفیت محصولات کشاورزی حیاتی است. روش تصویربرداری فراتریفی می‌تواند برای پیش‌بینی کمی خواص شیمیایی و فیزیکی ذاتی نمونه‌ها و همچنین توزیع فضایی آن‌ها به‌طور همزمان به کار برده شود که از سه ویژگی بازتاب، جذب یا عبور نور در برخورد نور با محصول استفاده می‌نماید. سه حالت بازتاب، جذب یا عبور نور به باندهای چرخشی و ارتعاشی ایجاد شده در مولکول‌های ماده در اثر تابش نور بستگی دارد. در نتیجه برخی از مواد طول موج‌های مشخصی را بازتاب می‌کنند در حالی که سایر مواد این طول موج‌ها را جذب می‌کنند. این الگوهای انعکاس و جذب به‌طور منحصر به فرد مواد مشخصی را نشان می‌دهند که با توجه به ویژگی‌های شیمیایی و مکانیکی ماده یک امراضی طیفی ایجاد می‌شود. ابزار مورد نیاز برای اکتساب مکعب فراتریفی (شامل اطلاعات طیفی و فضایی) منبع نوری، دستگاه پاشش طول موج و آشکارساز می‌باشدند. بهدلیل این که تصاویر فراتریفی شامل مقادیر زیادی اطلاعات که معمولاً مبتنی بر شدت، بافت و ویژگی‌های وابسته به مورفولوژی هستند، آنالیز چند متغیره برای تجزیه‌ی مؤثر مقادیر عظمی از ویژگی‌ها به اطلاعات مفید و ایجاد یک رابطه ساده‌تر قابل فهم بین اطلاعات تصویر فراتریفی و صفات مورد نظر مثل رطوبت، رنگ و غیره استفاده می‌گردد [Wu and Sun, 2013a]. با تجزیه و تحلیل اطلاعات طیفی و فضایی مدلی ایجاد می‌شود که قابلیت شناسایی عیوب سطحی، آسیب حشره، سرمآزادگی و غیره را دارد که بعد از معروفی الگوریتم‌های رایج در آنالیز اطلاعات فراتریفی به تفکیک برخی از کاربردهای رایج تصویربرداری ابراطریفی می‌پردازیم.

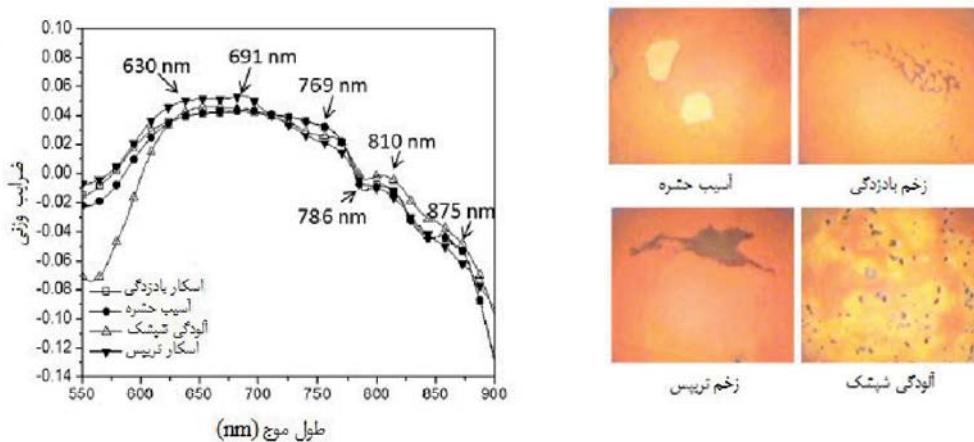
#### الگوریتم‌ها در تجزیه و تحلیل تصاویر فراتریفی

در تحقیقات اخیر بیشتر به الگوریتم‌های کاهش ابعاد طیفی با انتخاب طول موج‌های بهینه پرداخته شده است تا سرعت پردازش اطلاعات سریع‌تر گردد. یکی از الگوریتم‌های رایج روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۹۰</sup> (PCA)



یک روش ریاضی است که از انتقال متعامد برای تبدیل مجموعه‌ای از مشاهدات احتمالاً همبسته به مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای ناهمبسته به نام مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌کند. در این روش، تعداد مؤلفه‌های اصلی کمتر یا مساوی با تعداد متغیرهای اولیه می‌باشد [Dong and Liu, 2011].

شناسایی عیوب فیزیکی مرکبات عیب ظاهری یک عامل مهم کیفی در تأثیرگذاری بر قیمت، کیفیت و بازارپسندی مرکبات است [Wu and Sun, 2013b]. در تحقیقات مختلفی از PCA برای انتخاب چندین طول موج که می‌تواند به طور بالقوه در یک سیستم تصویربرداری چند طیفی روی خط مورد استفاده قرار گیرند، بهره گرفته شده است که می‌توان به شناسایی عیوب رایج مختلف پرتوال با استفاده از سیستم تصویربرداری فراطیفی در دامنه طیفی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ اشاره نمود. سیستم تصویربرداری شامل یک طیف نگار تصویربرداری، لامپ‌های هالوژن ۱۵۰ واتی و یک دوربین CCD می‌باشد. پرتوال‌ها با عیوب آسیب حشره<sup>۹۱</sup>، زخم بادزدگی<sup>۹۲</sup>، زخم تریپس<sup>۹۳</sup>، آلوگی شپشک<sup>۹۴</sup> در نظر گرفته شدند (شکل ۱-الف). در الگوریتم مؤلفه‌های اصلی استفاده شده در این تحقیق، هر مؤلفه اصلی یک حاصل جمع خطی از تصاویر اصلی در طول موج‌های منحصر به فرد است که در ضرایب وزنی (طیفی) مربوطه ضرب شده‌اند (شکل ۱-ب). شش طول ۶۳۰، ۶۹۱، ۷۶۹، ۸۱۰، ۷۸۶ و ۸۷۵ نانومتر در دامنه طول موج ۵۵۰ تا ۹۰۰ نانومتر و طول موج‌های ۶۹۱ و ۷۶۹ نانومتر در دامنه طول موج مرئی به عنوان طول موج‌های بهینه برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند [Li et al., 2011].



شکل ۱. الف) تصاویر پرتوال با عیوب رایج، ب) ضرایب وزنی برای تصاویر مؤلفه اصلی در باند طیفی کامل

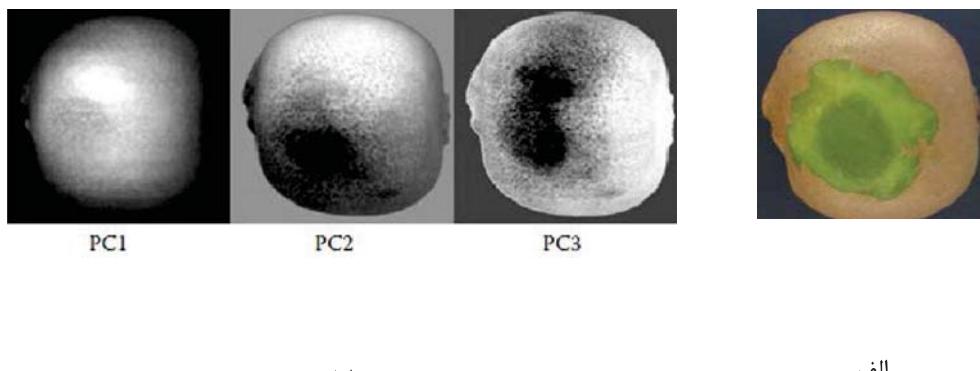
<sup>۹۱</sup>- Insect damage  
<sup>۹۲</sup>- Wind scarring  
<sup>۹۳</sup>- Thrips scarring  
<sup>۹۴</sup>- Scale infestation



در تحقیقی دیگر نیز عیوب سطحی گریپ فروت با استفاده از تصاویر بازتابی در دامنه‌ی طیفی ۴۵۰ تا ۹۳۰ نانومتر شناسایی شدند. از روش طبقه‌بندي اختلاف طیفی که بر پایه‌ی کمي کردن شباهت‌های طیفی با استفاده از یک طيف مرجع از پيش تعیین شده می‌باشد، سطح سالم را از پنج بيماري پوستي دیگر جadasازی کردند. دقت طبقه‌بندي کلي آن‌ها ۹۶/۲ درصد بوده است [Qin *et al.*, 2009].

#### شناسایی لهیدگی و سرمآزادگی در میوه‌ها

برای اکثر میوه‌ها، لهیدگی بافت یکی از رایج‌ترین آسیب‌های مکانیکی پس از برداشت است [Wu and Sun, 2013b]. لهیدگی به معنای آسیب زدن مکانیکی در اثر فشار یا ضربه به بافت میوه است که سبب تغییرات فیزیکی در بافت و تغییرات شیمیایی در رنگ و طعم می‌شود [Mohsenin, 1986]. کبودی و نرم شدگی بافت در دراز مدت دو نشانه از این‌گونه آسیب می‌باشند [Woolf and Ferguson, 2000]. شناسایی به موقع میوه‌های لهیده در انبارداری و موارد مرتبط با پس از برداشت تا عرضه محصول به بازار محسوب می‌شود. شناسایی دیر هنگام لهیدگی سبب از بین رفتن و آلوده شدن میوه‌ها، تسریع در فساد و آلودگی‌های قارچی آن‌ها در انبار شده و یکی از مهم‌ترین دلایلی است که سبب می‌شود به هنگام بازرسی میوه‌ها در درجات کیفی پایین‌تر قرار بگیرند [Lü *et al.*, 2011]. تصویربرداری فراتیفی، پتانسیل امیدبخشی را در شناسایی زودهنگام لهیدگی نشان داده است [Wu and Sun, 2013b]. در تحقیقی برای انتخاب طول موج‌های بهینه بهمنظور شناسایی لهیدگی در کیوی از رسم نمودار Loading بر حسب طول موج برای تصویر PC استفاده گردیده است (شکل ۲). که فاکتورهای Loading در PCA هستند که با توجه به ضرایب همبستگی بین فاکتورها و نمونه‌ها تعیین می‌شوند [Lü *et al.*, 2011].



شکل ۲. الف) تصویر محل لهیدگی در کیوی، ب) تصاویر مؤلفه اصلی در باند طیفی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر

در پژوهشی دیگر، برای کاهش اطلاعات و انتخاب طیف‌های بهینه بهمنظور شناسایی آسیب سرمآزادگی در سیب از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده است. سیستم فراتیفی مورد استفاده در شکل ۳-الف نشان داده شده است. مدل ANN از سه لایه تشکیل شده است (شکل ۳-ب). لایه‌ی ورودی ۸۲۶ گره که نشان

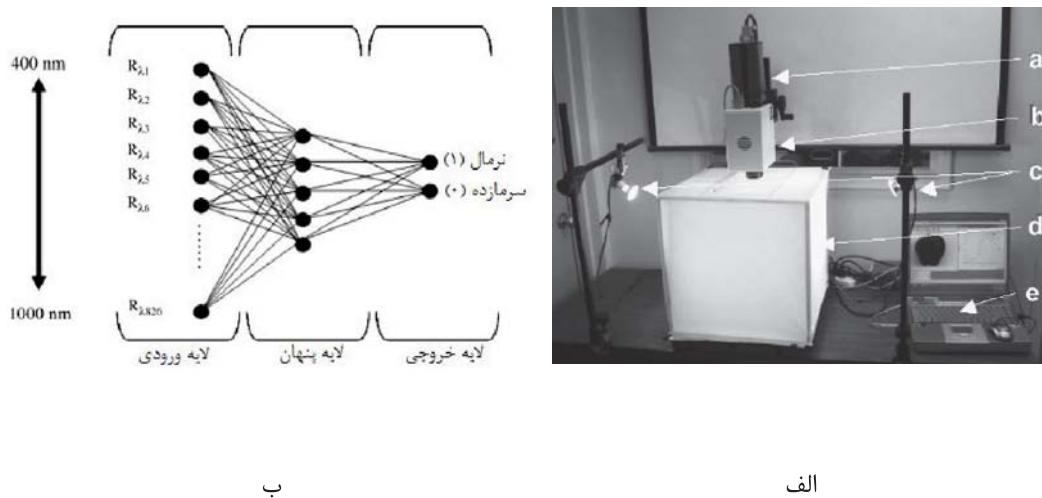
دهنده‌ی پاسخ‌های طیفی از یک سیب در هر ۸۲۶ طول موج می‌باشد. با توجه به حجم داده‌ها فقط از یک لایه پنهان با ۵ گره استفاده شده است. تعداد گره در لایه‌ی خروجی با توجه به کلاس‌های مورد بررسی ۲ گره انتخاب شده

سیب‌های

نرمال

شده

(کد ۱) و سیب‌های سرمازده (کد ۰) دو کلاس مورد بررسی هستند.تابع سیگموید به عنوان تابع انتقال بین لایه‌های ورودی و پنهان و یک تابع انتقال خطی بین لایه‌های پنهان و خروجی مورد استفاده قرار گرفت. شبکه عصبی حداقل برای حداقل ۲۰۰۰۰ دور یا تا زمانی که اندازه‌گیری خطأ به ۰٪ نزدیک گردید، آموزش داده شد. از میان ۶۴ سیب، ۴۲ سیب به صورت تصادفی برای آموزش و ۲۲ سیب دیگر برای آزمایش مدل ANN استفاده شدند. این فرآیند ۳ بار بر روی ۶۴ سیب انجام شده است و در هر بار ۴۲ سیب مختلف به صورت تصادفی برای آموزش انتخاب شدند و باقیمانده نیز برای آزمایش استفاده شدند. خروجی این سه تکرار برای محاسبه اهمیت هر متغیر میانگین گیری شد. هرچه اهمیت متغیر بیشتر باشد در نتیجه طول موج بهینه‌تری است [ElMasry *et al.*, 2009]



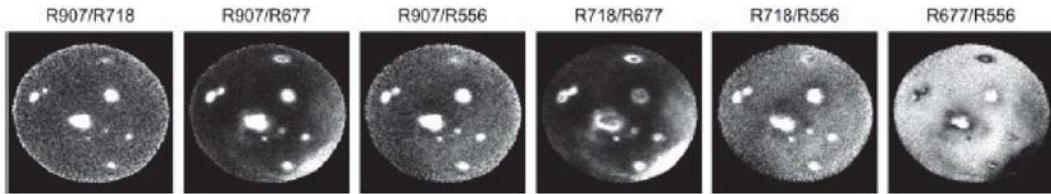
شکل ۳. الف) سیستم تصویربرداری فراتیفی؛ (a) دوربین CCD، (b) طیف نگار تصویربرداری، (c) نورپرداز، (d) پوشش نایلونی برای یکنواخت سازی نور، (e) ذخیره اطلاعات در رایانه، ب) مدل شبکه عصبی مورد استفاده برای انتخاب طول موج‌های بهینه به منظور شناسایی آسیب سرمازدگی در سیب

#### شناسایی بیماری‌های پوستی

علاوه بر استفاده از الگوریتم‌های رایج برای انتخاب طول موج‌های بهینه از نسبت دو باند طیفی نیز می‌توان برای افزایش سرعت شناسایی استفاده نمود. شانکر باکتریایی مركبات به عنوان یک بیماری پوستی جدی می‌تواند بیشتر مركبات تجاری را آلوده نماید. محققینی از نسبت چهار طول موج ۵۵۶، ۶۷۷، ۷۱۸ و ۹۰۷ که با الگوریتم PCA به دست آمده‌اند اقدام به شناسایی شانکر باکتریایی ۹۶۰ گریپ فروت نمودند (شکل ۴). بیشترین دقت شناسایی با استفاده از نسبت دو باند طیفی ۹۳/۱ R۷۱۸/R۹۰۷ درصد گزارش شد که نشان از پتانسیل بالای تصاویر نسبت



دو باند طیفی در به کارگیری در سیستم‌های تصویربرداری چند طیفی به منظور شناسایی بی‌درنگ شانکر مركبات دارد [Qin et al., 2011]



شکل ۴. تصاویر گریپ فروتهای شانکر زده با نسبت چهار طول موج ۵۵۶، ۶۷۷ و ۹۰۷ استخراج شده از الگوریتم PCA

در تحقیقی برای افزایش سرعت شناسایی شانکر مركبات از نسبت دو باند طیفی استفاده شده است و به توسعه‌ی یک نمونه‌ی اولیه‌ی آنلاین شناسایی شانکر مركبات منجر شده است. پردازش تصویر بی‌درنگ و الگوریتم‌های طبقه‌بندي بر پایه‌ی نسبت دو باند طیفی  $R_{730}/R_{830}$  توسعه یافته‌اند. سیستم با ۳۶۰ گریپ فروت با سطح نرمال، شانکر و سایر بیماری‌های پوستی آزمایش شده است و دقت طبقه‌بندي کل  $95/3$  درصد نشان دهنده‌ی روش مناسب و مؤثر برای شناسایی بی‌درنگ شانکر مركبات است [Qin et al., 2012]. در تحقیقی دیگر نیز از نسبت دو باند طیفی  $R_{729}/R_{834}$  برای بررسی اثر زمان برداشت در شناسایی شانکر باکتریایی مركبات با استفاده از تصاویر بازتابی فراتیفی گریپ فروتها در طول یک دوره برداشت ۷ ماهه استفاده گردید. دقت طبقه‌بندي در محدوده  $93/3-96/7\%$  برای هر ماه بود. نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان داد که تفاوت معنی داری میان دقت تشخیص شانکر در کل فصل برداشت با استفاده از تصاویر نسبت دو باند طیفی وجود ندارد [Zhao et al., 2010].

#### خلاصه و نتیجه‌گیری

با توجه به کاربردهای ذکر شده در زمینه تصویربرداری فراتیفی، انتظار می‌رود که سیستم‌های کنترل محصولات کشاورزی بی‌درنگ با تصویربرداری فراتیفی خواسته‌های کنترل صنعتی مدرن و سیستم‌های سورتینگ را برآورده سازد.

برای کاربردهای روی خط ایجاد یک سیستم فراتیفی با وضوح طیفی بسیار باریک غیر عملی است. در عوض، تصویربرداری چند طیفی ( فقط با استفاده از طول موج‌های بهینه‌ی انتخاب شده) می‌تواند مسئله‌ی نیازهای سرعت را برآورده سازد. با توجه به اهمیت کاهش حجم اطلاعات به دست آمده، سیستم‌های تصویربرداری طیفی با استفاده از طول موج انتخاب شده و نسبت این طول موج‌ها مسیر جدیدی را برای کاربرد در اجراء‌های تجاری به منظور تشخیص اختلالات کیفی مختلف تولید ایجاد کرده است.

#### منابع

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



2. Dong, P., and Liu, J. (2012). Hyperspectral image classification using support vector machines with an efficient principal component analysis scheme, In Foundations of Intelligent Systems. Wang, Y., and Li, T. (Eds.). Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, Shanghai, China, Dec 2011 (ISKE2011). pp. 131-140.
3. ElMasry, G., Wang, N., and Vigneault, C. (2009). Detecting chilling injury in red delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. *Postharvest Biology and Technology* 52: 1-8.
4. Fathi, M., Mohebbi, M., and Ali Razavi, S. M. (2009). Application of image analysis and artificial neural network to predict mass transfer kinetics and color changes of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioprocess Technology*, 4: 1357-1366.
5. Koc, A. B. (2007). Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 366-371.
6. Li, J., Rao, X., and Ying, Y. (2011). Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78: 38-48.
7. Liming, X., and Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: 32-39.
8. Lorente, D., Blasco, J., Serrano, A. J., Soria-Olivas, E., Aleixos, N., and Gómez-Sanchis, J. (2013). Comparison of ROC feature selection method for the detection of decay in citrus fruit using hyperspectral images. *Food Bioprocess Technol*, 6: 3613-3619.
9. Lü, Q., Tang, M., Cai, J., Zhao, J., and Vittayapadung, S. (2011). Vis/NIR hyperspectral imaging for detection of hidden bruises on Kiwifruits. *Czech Journal Food Sciences* 6: 595-602.
10. Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials. Gordon & Breach Science Publishers, New York, NY, USA.
11. Qin, J., Burks, T. F., Ritenour, M. A., and Gordon Bonn, W. (2009). Detection of citrus canker using hyperspectral reflectance imaging with spectral information divergence. *Journal of Food Engineering*, 93: 183-191.
12. Qin, J., Burks, T. F., Zhao, X., Niphadkar, N., and Ritenour, M. A. (2011). Multispectral detection of citrus canker using hyperspectral band selection. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54: 2331-2341.
13. Qin, J., Burks, T. F., Zhao, X., Niphadkar, N., and Ritenour, M. A. (2012). Development of a two-band spectral imaging system for real-time citrus canker detection. *Journal of Food Engineering*, 108: 87-93.
14. Sadrnia, H., Rajabipour, A., Jafary, A., Javadi, A., and Mostofi, Y. (2007). Classification and analysis of fruit shapes in long type watermelon using image processing. *International Journal of Agriculture and Biology*, 1: 68-70.
15. Woolf, A. B., Ferguson, I. B. (2000). Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. *Postharvest Biol. Technol*, 21: 7-20.
16. Wu, D., and Sun, D. W. (2013a). Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review-Part I: Fundamentals. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19: 1-14.
17. Wu, D., and Sun, D. W. (2013b). Advanced applications of hyperspectral imaging technology for Food quality and safety analysis and assessment: A review-Part II : Applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19: 15-28.
18. Zhao, X., Burks, T. F., Qin, J., and Ritenour, M. A. (2010). Effect of fruit harvest time on citrus canker detection using hyperspectral reflectance imaging. *Sensor and Instrumentation for Food Quality*, 4: 126-135.