

تخمین پارامترهای کیفی لیموشیرین (*Citrus limetta*) با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis/SWNIRشهرام مومکش^۱، سید احمد میره‌ای^{۲*}، مرتضی صادقی^۳، مجید ناظری^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. استادیار، گروه لیزر و فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۴)

چکیده

مؤلفه‌های مختلفی برای تعیین رسیدگی و کیفیت لیموشیرین معرفی شده‌اند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به مقدار مواد جامد محلول (SSC)، اسیدیته قابل تیتر (TA) و رطوبت (MC) اشاره کرد. در این تحقیق، با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی مرئی-فروسرخ نزدیک طول موج کوتاه (Vis/SWNIR)، تخمین پارامترهای SSC، MC و TA لیموشیرین مورد مطالعه قرار گرفت. طیف ۱۲۰ نمونه لیموشیرین در محدوده‌ی طول موج ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر در دو وضعیت تقابلی و عبوری جمع‌آوری شدند. اثر پیش پردازش‌های مختلف نظیر الگوریتم ساویتسکی-گولای (SG)، تصحیح پراکنش افزاینده (MSC)، تصحیح خط پایه (BC)، متغیر نرمال استاندارد (SNV)، مشتق اول (1st Derivatives) و ترکیبی از این روش‌ها مورد بررسی و پیش پردازش مناسب برای مدل‌سازی با روش حداقل مربعات نسبی (PLS) انتخاب شد. براساس نتایج بدست آمده، مدل‌های تخمین SSC و MC در مد تقابلی و TA در مد عبوری منجر به بهترین نتایج شدند. همچنین در بین سه پارامتر مورد بررسی، بهترین نتایج به ترتیب برای SSC، MC و TA حاصل شد. SSC با ضریب همبستگی (r_p) ۰/۸۷ و ریشه میانگین مربعات خطای پیشگویی (RMSEP) ۰/۵ درجه بریکس، MC با r_p برابر ۰/۸۸ و RMSEP برابر ۰/۵۷ درصد و TA نیز با r_p برابر ۰/۷۴ و RMSEP برابر ۰/۰۷۶ درصد پیشگویی شد.

واژه‌های کلیدی: تقابلی، عبوری، پیش پردازش، حداقل مربعات نسبی، ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا

مقدمه*

از طرف دیگر، لیموشیرین (*Citrus limettoides* Tan.) در بسیاری از کشورهای جهان به ویژه فلسطین اشغالی به عنوان پایه اولیه مرکبات به کار گرفته می‌شود و از دیدگاه اقتصادی در هیچ یک از کشورهای صاحب‌نام تولیدکننده‌ی مرکبات نظیر آمریکا، برزیل و غیره جایگاه خاصی ندارد. اما در ایران به ویژه در استان‌های فارس، خوزستان، کرمانشاه و کرمان از اهمیت اقتصادی خوبی برخوردار است. لیموشیرین با کالری و اسیدیته کمتر نسبت به پرتقال، همان مقدار ویتامین ث را به بدن می‌رساند و در ایران از قدیم به منظور جلوگیری و درمان تب، سرماخوردگی و دردهای کبد مورد استفاده قرار گرفته است (Daryaei, 2005; Kimball, 2012).

کیفیت مرکبات تحت تأثیر عوامل مختلفی می‌باشد. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به عوامل اقلیمی، آب، تغذیه گیاه و پایه درختان مرکبات اشاره کرد. این عوامل می‌تواند بر ویژگی‌های خارجی میوه نظیر شکل، اندازه و رنگ پوست و همچنین ویژگی‌های داخلی میوه نظیر آب، میزان قند (مواد جامد

مرکبات تقریباً در تمام مناطق نیمه گرمسیری و اکثر مناطق گرمسیری جهان که آب و هوای خیلی خشک یا خیلی مرطوب نداشته و سرمای هوا شدید نباشد، کشت می‌شوند. مرکبات ایران به طور عمده در سه منطقه مشخص کمر بند ساحلی دریای خزر، کمر بند مرکزی و کمر بند ساحلی جنوبی قرار گرفته‌اند (Fotuhi Ghazvini & Fattahi Moghaddam, 2010). بر اساس آخرین آمار سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) در سال ۲۰۱۳ میلادی، ایران رتبه دوازدهم تولید مرکبات در جهان را به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2013). امروزه نزدیک به یک‌صد صنعت تولیدی در فرآورده‌های خود از مرکبات استفاده می‌کنند. برای مثال، استفاده از آبمیوه مرکبات در صنایع مختلف غذایی، اسانس و اترهای چرب آن‌ها در صنایع آرایشی، مخلوط تفاله مرکبات و ملاس چغندر قند در تأمین خوراک دام و غیره را می‌توان نام برد (Grasser et al., 1995).

* نویسنده مسئول: samireei@ut.ac.ir

طول موج کوتاه^۴ NIR (SWNIR) به همراه ناحیه‌ی Vis استفاده کرده‌اند که مورد آخر به دلیل کاهش قابل ملاحظه هزینه و از طرف دیگر افزایش عمق نفوذ پرتوهای فروسرخ نزدیک، مورد استقبال بسیاری از محققین بوده است.

به طور مشخص در مورد مرکبات تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از روش طیف‌سنجی Vis/NIR گزارش شده است. در استفاده از دامنه کامل ناحیه‌ی NIR یا Vis/NIR محققین توانسته‌اند SSC، pH و سفتی نارنگی (Gómez et al., 2006) و همچنین SSC (Lu et al., 2006)، ویتامین ث (Xia et al., 2007)، SSC، TA، pH، سفتی، جرم و رنگ (Cayuela & Weiland, 2010) و SSC، TA، ویتامین ث، جرم و رنگ (Magwaza et al., 2013) پرتقال را تخمین بزنند. اما در استفاده از ناحیه‌ی Vis/SWNIR محققین توانسته‌اند (Kawano et al., 1993; Miyamoto & Kitano, 1995; SSC McGlone et al.,) TA و SSC (Greensill & Walsh, 2002) 2003; Tsuchikawa et al., 2003; Liu et al., 2010; Guthrie et al.,) SSC و ماده خشک (Antonucci et al., 2011) 2005a; Guthrie et al., 2005b و SSC، TA، ویتامین ث و رنگ (Xudong et al., 2009) نارنگی و همچنین SSC و TA (Jamshidi et al., 2012) و SSC و pH (Cen et al., 2006) و اسید سیتریک و اسید تارتاریک (Cen et al., 2007) پرتقال را تعیین کنند.

با این وجود، تاکنون تحقیقی در زمینه‌ی استفاده از روش طیف‌سنجی Vis/NIR در تشخیص مؤلفه‌های کیفیت لیموشیرین انجام نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق مطالعه توانایی روش طیف‌سنجی در ناحیه‌ی Vis/SWNIR در تخمین مؤلفه‌های SSC، MC و TA لیموشیرین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه و اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیکی

نمونه‌های لیموشیرین (رقم فلسطینی^۵) در سه مرحله‌ی کاملاً نارس، نیمه رسیده و رسیده از اواخر شهریورماه تا اواخر آذرماه سال ۱۳۹۳ از باغات اداره تحقیقات کشاورزی حسن آباد، داراب، استان فارس و همچنین بازار محلی اصفهان تهیه شدند. شکل (۱) نمونه‌هایی از لیموشیرین‌های تهیه شده در هر سه مرحله رسیدگی را نشان می‌دهد که بر اساس ظاهر و به صورت چشمی طبقه‌بندی شده‌اند. در ابتدا، میوه‌ها از نظر کوفتگی و آسیب

محلول^۱) و اسیدیته تأثیرگذار باشد. از طرفی بهترین شاخص تعیین رسیدگی و زمان بهینه برداشت مرکبات از جمله لیموشیرین، میزان مواد جامد محلول (SSC) است که این میزان را نسبت به اسید قابل تیتر^۲ (TA) آن می‌سنجند. این دو شاخص علاوه بر این که جزء شاخص‌های مهم رسیدگی محسوب می‌شوند، از نسبت آن‌ها (SSC/TA) به عنوان شاخص طعم نیز یاد شده است. میزان رطوبت^۳ (MC) نیز با افزایش رسیدگی و انبارداری میوه کاهش می‌یابد و بنابراین می‌تواند یک شاخص مهم کیفیت در مرکبات لحاظ شود (Ladaniya, 2008). در حال حاضر، روش‌های مرجع برای اندازه‌گیری سه مؤلفه‌ی SSC، TA و MC مبتنی بر روش‌های استاندارد به ترتیب رفرکتومتری، تیتراسیون عصاره با استفاده از یک باز استاندارد و خشک کردن در آن می‌باشد که همگی مخرب و زمان‌بر هستند. بنابراین، استفاده از روشی سریع و دقیق برای تخمین مؤلفه‌های کیفیت لیموشیرین می‌تواند اهمیت زیادی در قبل از برداشت (تعیین رسیدگی و زمان بهینه برداشت) و پس از برداشت (سورتینگ و درجه‌بندی) این محصول مهم داشته باشد (Ladaniya, 2008).

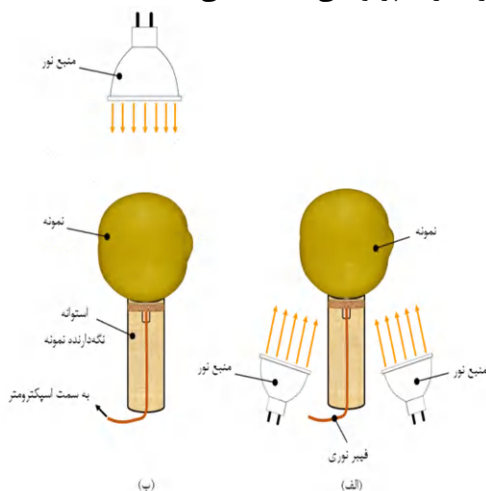
بدین منظور در ۳۰ سال اخیر روش‌های زیادی در زمینه‌ی ارزیابی غیرمخرب محصولات کشاورزی از جمله مرکبات توسعه یافته‌اند. این روش‌ها بر اساس اصول و مبنای ویژگی کیفیت مد نظر بوجود آمده‌اند، ولی تنها برخی از آن‌ها توانسته‌اند از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند (Chen & Sun, 1991). از بین روش‌های غیرمخرب، روش‌های اپتیکی یکی از مهم‌ترین آن‌هاست که از سرعت بالای شناسایی نور و پردازش داده‌ی کامپیوتری استفاده می‌کند و می‌تواند ارزیابی کیفیت و طبقه‌بندی محصولات را با دقت زیاد انجام دهد. در بین روش‌های اپتیکی، طیف‌سنجی مرئی-فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) یکی از دقیق‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود که بسته به محل قرارگیری منابع نور، نمونه و آشکارساز در سه وضعیت (مد) مختلف تقابلی، عبوری و بازتابشی توسعه یافته است. تاکنون، تحقیقات بسیار زیادی در زمینه بکارگیری روش اسپکتروسکوپی NIR در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی در سطح دنیا انجام شده است (Nicolai et al., 2007). بسته به نوع ابزار اندازه‌گیری (اسپکترومتر)، دقت و هزینه‌ی مورد نظر، برخی محققین از ناحیه‌ی کامل NIR (۸۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) به همراه ناحیه‌ی Vis (۳۸۰ تا ۸۰۰ نانومتر) و برخی دیگر از ناحیه‌ی

4. Short Wavelength Near-Infrared
5. Palestinian sweet lime

1. Soluble Solids Content
2. Titratable Acidity
3. Moisture Content

تقابلی با پرتودهی نمونه‌ها از زیر و به صورت مایل، ضمن جلوگیری از نفوذ پرتوهای بازتابش معمولی به فیبر نوری، بخشی از پرتوهای پخش شده درونی^۱ یا پس پراکنش یافته^۲ می‌توانست وارد فیبر نوری شده و در نهایت شدت آن توسط اسپکترومتر ثبت شود.

در حالت عبوری (شکل ۲-ب)، از روش عبور کامل برای جمع‌آوری طیف‌ها استفاده شد که در آن فیبر نوری دقیقاً زیر نمونه و در داخل استوانه نگهدارنده میوه قرار می‌گرفت و از یک لامپ هالوژنی درست در بالای نمونه و تحت زاویه ۱۸۰ درجه با فیبر نوری برای پرتودهی استفاده می‌شد.



شکل ۲. طرحواره‌ی سامانه‌ی اندازه‌گیری طیف‌های Vis/NIR در دو حالت (الف) تقابلی و (ب) عبوری.

اسپکترومتر استفاده شده در این تحقیق از نوع آرایه دیودی^۳ (PDA) با آشکارساز CCD^۴ بود که توانایی ثبت طیف‌ها در ناحیه‌ی ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با وضوح دو نانومتر را دارا بود. این اسپکترومتر ساخت آزمایشگاه تراهرتز دانشگاه کاشان می‌باشد که پیشتر توانایی آن به اثبات رسیده است (Abbasi et al., 2016; al., 2014). فیبر نوری استفاده شده از نوع شیشه‌ای با قطر ۲۰۰ میکرون مجهز به درگاه خروجی استاندارد SMA بود.

در ابتدای هر آزمایش، برای اندازه‌گیری طیف نسبی ($I_{relative}$) از هر نمونه نیاز است که طیف تیره و مرجع تعریف شود. این کار ابتدا با خاموش کردن منبع نور، قرار دادن درپوش کدر بر روی فیبر نوری و اندازه‌گیری طیف تیره (I_{dark}) و سپس اندازه‌گیری طیف مرجع ($I_{reference}$) با روشن کردن منبع نور و تنظیم شدت نور آن توسط دیمر انجام شد. به منظور تعریف

ظاهری بررسی و سپس نمونه‌های سالم در یخچال و در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در کل، تعداد ۱۲۰ میوه به صورت کاملاً تصادفی از هر سه مرحله‌ی رسیدگی انتخاب شدند، به نحوی که دارای حداکثر تغییرپذیری در پارامترهای رسیدگی لیموشیرین باشند. آزمایشات اصلی حداکثر ۷۲ ساعت بعد از تهیه نمونه‌ها انجام می‌گرفت. قبل از شروع آزمایش‌ها، به منظور تعادل با دمای آزمایشگاه، نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت از یخچال خارج و سپس شماره‌گذاری شدند. وزن هر نمونه با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (مدل GF400، شرکت A&D، ژاپن) با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس سه قطر اصلی هر میوه شامل قطر کوچک، قطر بزرگ و قطر متوسط، با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. نمونه‌هایی از لیموشیرین‌های تهیه شده در سه مرحله‌ی رسیدگی (نارس، نیمه رسیده و رسیده).

جمع‌آوری طیف‌های مرئی-فروسرخ نزدیک

پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیکی، طیف‌های Vis/SWNIR مربوط به هر نمونه در دو مد تقابلی و عبوری ثبت و اندازه‌گیری شدند. شکل (۲) طرحواره‌ی سامانه استفاده شده به منظور اندازه‌گیری طیف‌های Vis/SWNIR در دو مد مذکور را نمایش می‌دهد. بخش‌های اصلی این سامانه شامل منابع نور، مدار کنترل شدت نور، اسپکترومتر، فیبر نوری و رایانه به همراه نرم‌افزار ثبت طیف می‌باشد. منابع نور در حالت تقابلی شامل شش عدد لامپ هالوژن کوارتزی ۱۲ ولت با توان ۵۰ وات ساخت کشور آلمان بود که طبق آرایش شکل (۲-الف) نسبت به نمونه و فیبر نوری قرار می‌گرفتند. فاصله‌ی منابع نور و نمونه در حدود ۱۵۰ میلی‌متر و زاویه تابش آن‌ها تقریباً ۱۵ درجه نسبت به فیبر نوری می‌باشد. این مقادیر به نحوی انتخاب شدند تا ضمن جلوگیری از ورود نور بازتابش معمولی به داخل فیبر نوری، از تماس نزدیک نمونه‌ها و منابع جلوگیری شده و همچنین پرتوهای با شدت کافی و حتی الامکان موازی با فیبر نوری وارد اسپکترومتر شوند تا بتوان اندازه‌گیری‌ها را در وضعیت تقابلی انجام داد. شدت این منابع با استفاده از یک مدار کنترلی تنظیم می‌گردید، به نحوی که در آن با استفاده از ترانس‌های القایی ۲۲۰-۱۲ با توان ۵۰ وات، شدت مورد نیاز برای ایجاد یک طیف با نسبت سیگنال به نویز مطلوب ایجاد می‌شد. در حالت

1. Diffuse Reflectance
2. Back Scattered
3. Photo-Diode Array
4. Charge-Coupled Device

پیش‌پردازش طیف‌ها وجود دارند که در تحقیق حاضر از روش‌های ساویتسکی-گولای^۱ (SG)، تصحیح پراکنش افزاینده^۲ (MSC)، تصحیح خط پایه^۳ (BC)، متغیر نرمال استاندارد^۴ (SNV)، مشتق اول (1st Derivative) و ترکیبی از این روش‌ها استفاده شد.

به منظور استخراج مدل‌های PLS کلیه نمونه‌ها به دو دسته کالیبراسیون (برای استخراج مدل، شامل ۷۵٪ نمونه‌ها) و آزمون (برای اعتبارسنجی مدل، شامل ۲۵٪ نمونه‌ها) تقسیم شدند. در مدل‌سازی PLS هدف کلی بدست آوردن یک مدل رگرسیون خطی بین داده‌های NIR و پارامترهای SSC، MC و TA بود. در این روش مرحله فشرده‌سازی داده‌های NIR و داده‌های پارامتر مورد نظر به هم گره خورده است و فاکتورهای PLS تغییرات در آن دسته از داده‌های طیف NIR را توصیف می‌کنند که برای مدل‌سازی داده‌های پارامتر مورد نظر مرتبط هستند (Williams & Norris, 2001).

برای ارزیابی توانایی مدل‌های توسعه یافته در پیش‌بینی SSC، MC و TA از پارامترهای آماری ضریب همبستگی کالیبراسیون (r_c)، ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون (RMSEC)، ضریب همبستگی در اعتبارسنجی متقاطع یگانه (r_{cv})، ریشه میانگین مربعات خطا در اعتبارسنجی متقاطع یگانه (RMSECV)، ضریب همبستگی اعتبارسنجی آزمون (r_p) و ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) استفاده شد. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار Unscrambler نسخه ۹/۷ انجام شد.

نتایج و بحث

مروری بر طیف‌ها

شکل (۳-الف) میانگین طیف نسبی تقابلی برای سه دسته از نمونه‌های نارس (نمونه‌های ۱ تا ۴۰)، نیمه رسیده (نمونه‌های ۴۱ تا ۸۰) و رسیده (نمونه‌های ۸۱-۱۲۰) را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که طیف هر نمونه با میانگین‌گیری از دو طیفی که تحت زاویه ۱۸۰ درجه حول محور استوایی هر نمونه جمع‌آوری شده بود، بدست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در محدوده‌ی طول موج ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (ناحیه‌ی مرئی)، طیف نمونه‌های رسیده تفاوت زیادی با طیف نمونه‌های نیمه رسیده و نارس دارد که این مسئله با توجه به میزان شفافیت

اولین طیف مرجع، شدت نور لامپ‌ها تا اندازه‌ای زیاد شد که اسپکترومتر در آستانه اشباع شدن قرار گیرد. در تمامی اندازه‌گیری‌ها، فاصله‌ی فیبر نوری از سطح محفظه نگه‌دارنده نمونه ثابت بود، به نحوی که از تماس مستقیم فیبر با نمونه جلوگیری شود. با تعریف طیف تیره و مرجع و سپس قرار دادن نمونه طیف نسبی هر نمونه با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

$$I_{relative} = \left(\frac{I_{sample} - I_{dark}}{I_{reference} - I_{dark}} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن: $I_{relative}$ طیف نسبی نمونه، I_{sample} طیف نمونه، I_{dark} طیف تیره و $I_{reference}$ طیف مرجع می‌باشند. اندازه‌گیری طیف مرجع پس از هر ۲۰ بار اندازه‌گیری طیف نمونه تکرار شد. همچنین از هر نمونه دو طیف تحت زاویه ۱۸۰ درجه حول محور استوایی میوه جمع‌آوری و میانگین آن‌ها به‌عنوان طیف نمونه در نظر گرفته شد.

آزمایش‌های مرجع

بلافاصله پس از جمع‌آوری طیف‌ها، آزمایش‌های مرجع شامل اندازه‌گیری SSC، MC و TA انجام شدند. برای اندازه‌گیری SSC از یک رفرکتومتر دیجیتالی مدل PAL-1 ساخت شرکت ATAGO کشور ژاپن با دقت ۰/۱ درجه‌ی بریکس استفاده شد. روش اندازه‌گیری MC مطابق با استاندارد ASABE، شامل خشک کردن نصف میوه پوست کنده در آون با دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت و سپس اندازه‌گیری نسبت اختلاف وزن تر و خشک به وزن تر نمونه‌ها بود (ASABE, 1982).

همزمان با اندازه‌گیری رطوبت، اندازه‌گیری TA نیز انجام شد. بدین منظور ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره هر نمونه درون ارلن ریخته شد و پس از اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر، محلول بدست آمده با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تیتر گردید. به منظور اندازه‌گیری pH محلول از یک متر دیجیتالی مدل inolab-7110 استفاده شد و انتهای فرآیند تیتراسیون زمانی در نظر گرفته شد که محلول به pH حدود ۸/۲ برسد. با اندازه‌گیری مقدار سود مصرفی (ml_{NaOH})، مقدار TA با استفاده از رابطه‌ی (۲) تعیین شد (Houk et al., 1990).

$$TA = ml_{NaOH} \times 0.064 \quad (\text{رابطه ۲})$$

تحلیل داده‌ها

به منظور تحلیل داده‌ها، ابتدا لازم است اطلاعات غیرمفیدی که ممکن است در اثر برخی عوامل مانند اثر پراکنش نور، ناهمواری‌های سطحی نمونه و غیره ایجاد شده‌اند، توسط پیش‌پردازش مناسب حذف گردند. ابزارها و روش‌های مختلفی برای

1. Savitzky-Golay Algorithm
2. Multiplicative Scatter Correction
3. Baseline Correction
4. Standard Normal Variate

۹۵۰ نانومتر طیف نمونه‌های نارس دارای شدت بیشتری نسبت به طیف نمونه‌های نیمه رسیده و رسیده است که این مسأله پس از مشاهده میانگین اندازه‌ی نمونه‌های نارس، نیمه رسیده و رسیده قابل درک است. جدول (۱) میانگین سه بعد اصلی نمونه‌های نارس، نیمه‌رسیده و رسیده را نشان می‌دهد. با توجه به نحوه قرارگیری نمونه‌ها برای اندازه‌گیری طیف‌ها (شکل ۲)، در اینجا قطر بزرگ و کوچک حایز اهمیت می‌باشند که به ترتیب از نمونه‌های نارس تا رسیده افزایش می‌یابند (جدول ۱). *Lee et al.* (2004) به طور مشابه به تأثیر اندازه میوه برای مد عبوری اشاره کرده‌اند. در اینجا نیز مشابه مد تقابلی، یک جذب پهن در طول موج حدود ۷۵۰ نانومتر به چشم می‌خورد. در ادامه نیز در طول موج ۶۸۰ نانومتر کاهش چشمگیری در شدت نور عبوری مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از جذب کلروفیل باشد (شکل ۳-ب).

جدول ۱. میانگین سه بعد اصلی نمونه‌های نارس، نیمه رسیده و رسیده

مرحله رسیدگی نمونه‌ها	قطر بزرگ (mm)	قطر کوچک (mm)	قطر در راستای ساقه دم برگ (mm)
نارس	۵۸/۳۷۳	۵۶/۱۶۵	۵۵/۵۸۵
نیمه رسیده	۶۲/۶۳۹	۶۰/۲۷۳	۵۹/۴۱۴
رسیده	۶۵/۰۰۵	۶۲/۴۶۹	۵۸/۹۹۴

مشخصات آماری نمونه‌ها

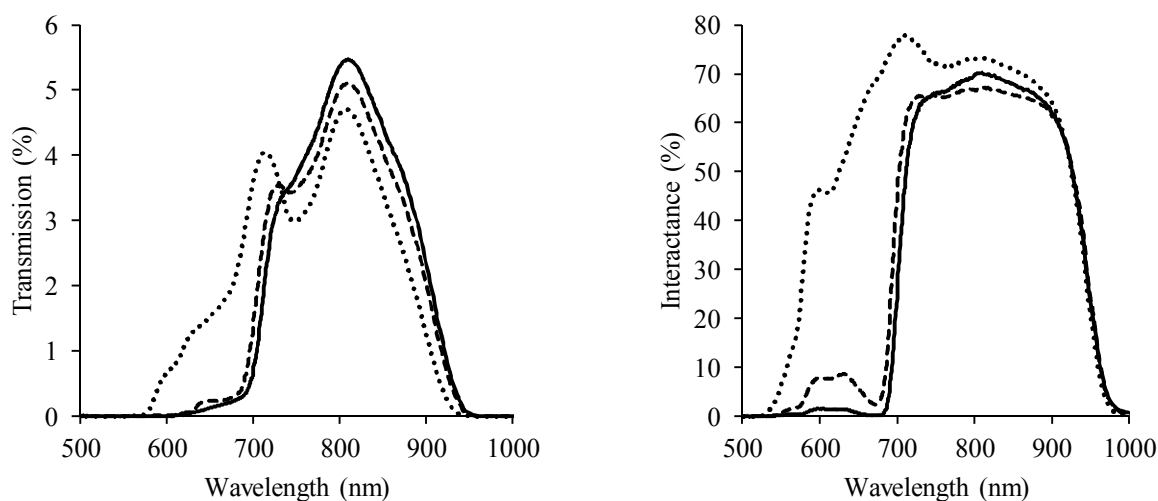
در جدول ۲ مشخصات آماری نمونه‌های مورد استفاده شامل تعداد، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و ضریب تغییرپذیری در پارامترهای SSC، MC و TA در سه دسته کل، کالیبراسیون و آزمون آورده شده است. برای اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده در تمامی روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق، نمونه‌ها به دو دسته کالیبراسیون و آزمون طبقه‌بندی شدند. در این طبقه‌بندی سعی بر آن بوده که هر سه پارامتر SSC، MC و TA دارای توزیع یکسان و یکنواختی در دسته داده‌های کالیبراسیون و آزمون باشند، به نحوی که شاخص‌های آماری این دو دسته در پارامترهای مختلف با یکدیگر تفاوت چندانی نداشته باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرپذیری بهتری برای پارامترهای TA و SSC (به ترتیب ۱۷/۷۴۰٪ و ۱۰/۸٪) نسبت به MC (۱/۸۲۱٪) وجود دارد. با این حال، پایین بودن ضریب تغییرپذیری MC (۱/۸۲۱٪) نیز با توجه به این که کلیه نمونه‌ها در انتهای مرحله آب اندازی مرکبات بودند، قابل توجیه است.

بیشتر و تراکم کمتر بافت‌های پوست و گوشت میوه‌های رسیده قابل توجیه است (شکل ۱). *McGlone et al.* (2002) مشابه این اتفاق را برای سیب رقم رویال گالا در مد تقابلی مشاهده کردند. بنابراین، می‌توان گفت که برای نمونه‌های رسیده درصد بیشتری از پرتوها در ناحیه‌ی مرئی به درون میوه نفوذ کرده و پس از پراکنش به آشکارساز می‌رسند. در حالی که برای نمونه‌های نارس درصد بیشتری از پرتوها در همان مرحله اول یعنی در پوست میوه (زردبر^۱ و سفیدبر^۲) جذب می‌شوند و درصد ناچیزی به آشکارساز می‌رسند. همچنین در شکل (۳-الف)، یک جذب پهن در طول موج حدود ۷۵۰ نانومتر برای تمامی نمونه‌ها مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از جذب گروه‌های پایه CH و OH باشد (*Kawano et al.*, 1993). در ادامه یک جذب نسبتاً کوچک در حدود ۶۸۰ نانومتر مشاهده می‌شود که در انتهای ناحیه‌ی قرمز در طیف مرئی قرار دارد. *Gómez et al.* (2006) این جذب را به رنگ‌دانه‌های جذب نور قرمز به خصوص کلروفیل نسبت داده‌اند که به محصول مشخصات رنگ سبز را می‌دهند. *McGlone et al.* (2002) نیز جذب در ۶۸۰ نانومتر را برای سیب در مد تقابلی ناشی از جذب کلروفیل گزارش کردند. در نهایت، جذب کوچکی در نزدیکی طول موج ۵۹۰ نانومتر نیز برای تمامی نمونه‌ها مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از رنگ‌دانه‌های سبز کلروفیل باشد (*Lammertyn et al.*, 2000).

میانگین طیف نسبی عبوری برای سه دسته از نمونه‌های نارس (نمونه‌های ۱ تا ۴۰)، نیمه رسیده (نمونه‌های ۴۱ تا ۸۰) و رسیده (نمونه‌های ۸۱-۱۲۰) در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در محدوده‌ی طول موج ۵۸۰ تا ۷۳۰ نانومتر، طیف نمونه‌های رسیده دارای شدت بیشتری نسبت به طیف نمونه‌های نیمه رسیده و نارس است. *Kim et al.* (2004) مشابه همین اختلاف را برای پرتقال رقم آنشویو با درجه‌های مختلف رسیدگی در مد عبوری گزارش نمودند. بر این اساس، معمولاً رنگ مرکبات توسط توزیع کلروفیل سبز و کاروتنوئید نارنجی رنگ تعیین می‌شود که با افزایش رسیدگی، کاروتنوئید غلبه می‌نماید. این نکته می‌تواند دلیل تغییر رنگ مرکبات در حین رسیدگی باشد. همچنین *Lammertyn et al.* (2000) به تأثیرپذیری بالای طیف‌های عبوری از رنگ میوه در ناحیه‌ی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر اشاره کرده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در محدوده‌ی ۷۳۰ تا

1. Flavedo

2. Albedo



— ۸۱ تا ۱۲۰ (رسیده) ۴۱ تا ۸۰ (نیمه رسیده) ---- ۱ تا ۴۰ (نارس) (الف)

(ب)

شکل ۳. میانگین طیف نسبی الف) تقابلی و ب) عبوری برای سه دسته از نمونه‌های نارس، نیمه رسیده و رسیده.

و $RMSEC=0.4$ °Brix، $r_{cv}=0.85$ و $RMSECV=0.5$ °Brix برای مدل‌سازی‌های بعدی استفاده شد. برای مدل‌سازی MC در مد تقابلی، پیش پردازش MSC بهترین نتایج ($r_c=0.93$) و $RMSEC=0.47$ ، $r_{cv}=0.83$ و $RMSECV=0.73$) را به همراه داشت. برای مدل‌سازی TA در مد تقابلی، بهترین نتیجه در حالت ترکیبی از پیش پردازش‌های SG، MSC و BC ($r_c=0.71$) و $RMSEC=0.071$ ، $r_{cv}=0.63$ و $RMSECV=0.079$) به دست آمد.

پیش پردازش طیف‌ها

در جدول (۳) اثر پیش پردازش‌های مختلف بر نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی SSC، MC و TA در مد اندازه‌گیری تقابلی نشان داده شده است. در این بخش از اعتبارسنجی متقاطع یگانه برای ارزیابی مدل‌های به دست آمده استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای مدل‌سازی SSC در مد تقابلی، پیش پردازش‌های مختلف اثر قابل ملاحظه‌ای نداشتند و در نهایت طیف‌ها در حالت خام و بدون پیش پردازش ($r_c=0.93$)

جدول ۲. مشخصات آماری نمونه‌های استفاده شده برای تعیین پارامترهای مؤثر بر رسیدگی

پارامتر	دسته داده	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرپذیری (%)
SSC (°Brix)	کل نمونه‌ها	۱۲۰	۷/۰	۱۱/۶	۹/۲	۱/۰	۱۰/۸
	دسته کالیبراسیون	۹۰	۷/۰	۱۱/۶	۹/۲	۱/۱	۱۱/۴
	دسته آزمون	۳۰	۷/۴	۱۰/۸	۹/۲	۰/۸	۸/۹
MC (%)	کل نمونه‌ها	۱۲۰	۸۴/۶۷۲	۹۴/۱۳۷	۸۸/۶۲۴	۱/۶۱۴	۱/۸۲۱
	دسته کالیبراسیون	۹۰	۸۴/۶۷۲	۹۴/۱۳۷	۸۸/۶۷۰	۱/۷۳۴	۱/۹۵۶
	دسته آزمون	۳۰	۸۶/۲۶۷	۹۰/۳۱۸	۸۸/۴۸۵	۱/۱۹۶	۱/۳۵۱
TA (%)	کل نمونه‌ها	۱۲۰	۰/۰۳۸	۰/۰۹۳	۰/۰۶۶	۰/۰۱۲	۱۷/۷۴۰
	دسته کالیبراسیون	۹۰	۰/۰۳۸	۰/۰۹۳	۰/۰۶۶	۰/۰۱۲	۱۷/۸۵۶
	دسته آزمون	۳۰	۰/۰۴۵	۰/۰۸۶	۰/۰۶۵	۰/۰۱۱	۱۷/۵۱۰

جدول ۳. اثر پیش پردازش‌های مختلف بر نتایج مدل‌های تخمین SSC، MC و TA در مد اندازه‌گیری تقابلی

TA		MC		SSC		پیش پردازش						
اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون	اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون	اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون							
R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC	R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC	R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC							
۰/۰۰۸۰	۰/۶۲	۰/۰۰۷۱	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۳	Raw
۰/۰۰۸۰	۰/۶۲	۰/۰۰۷۱	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۳	SG
۰/۰۰۸۱	۰/۶۱	۰/۰۰۷۲	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۸۳	۰/۴۷	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۲	MSC
۰/۰۰۸۲	۰/۶۰	۰/۰۰۶۲	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۶	۰/۸۲	۰/۳	۰/۹۵	1 st Derivative
۰/۰۰۸۰	۰/۶۲	۰/۰۰۷۱	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۶	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۳	BC
۰/۰۰۸۲	۰/۶۰	۰/۰۰۷۱	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۴۸	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۴	۰/۴	۰/۹۲	SNV
۰/۰۰۸۱	۰/۶۱	۰/۰۰۷۲۱	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۸۳	۰/۴۷	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۲	SG+MSC
۰/۰۰۸۰	۰/۶۲	۰/۰۰۷۱۱	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۲	SG+BC
۰/۰۰۸۲	۰/۶۰	۰/۰۰۷۱	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۴۸	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۴	۰/۴	۰/۹۲	S.G.+SNV
۰/۰۰۸۲	۰/۵۹	۰/۰۰۵۵	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۵	۰/۸۳	۰/۳	۰/۹۶	SG+MSC+1 st Derivative
۰/۰۰۷۹	۰/۶۳	۰/۰۰۷۱	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۹۲	SG+MSC+BC
۰/۰۰۸۲	۰/۶۰	۰/۰۰۷۱	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۴۸	۰/۹۳	۰/۵	۰/۸۴	۰/۴	۰/۹۱	S.G.+MSC+SNV

جدول ۴. اثر پیش پردازش‌های مختلف بر نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی SSC، MC و TA در مد اندازه‌گیری عبوری

TA		MC		SSC		پیش پردازش						
اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون	اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون	اعتبارسنجی متقاطع یگانه	کالیبراسیون							
R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC	R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC	R_{cv} RMSECV	r_c RMSEC							
۰/۰۰۸۷	۰/۶۲	۰/۰۰۷۷	۰/۷۱	۱/۰۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۷	۰/۷۱	Raw
۰/۰۰۸۷	۰/۶۲	۰/۰۰۷۷	۰/۷۱	۱/۰۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۷	۰/۷۱	SG
۰/۰۰۸۹	۰/۵۹	۰/۰۰۸۲	۰/۶۶	۱/۱۰	۰/۵۷	۰/۹۸	۰/۶۷	۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۷	۰/۶۵	MSC
۰/۰۰۸۶	۰/۶۲	۰/۰۰۷۲	۰/۷۵	۱/۰۵	۰/۶۲	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۶	۰/۷۷	1 st Derivative
۰/۰۰۸۷	۰/۶۲	۰/۰۰۷۷	۰/۷۱	۱/۰۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۷	۰/۷۱	BC
۰/۰۰۸۹	۰/۶۰	۰/۰۰۸۱	۰/۶۷	۱/۰۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۷	۰/۷۰	SNV
۰/۰۰۸۹	۰/۵۹	۰/۰۰۸۲	۰/۶۶	۱/۱۰	۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۷	۰/۶۵	SG+MSC
۰/۰۰۸۷	۰/۶۲	۰/۰۰۷۷	۰/۷۱	۱/۰۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۱	SG+BC
۰/۰۰۸۹	۰/۶۰	۰/۰۰۸۱	۰/۶۷	۱/۰۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۷	۰/۷۰	S.G.+SNV
۰/۰۰۹۰	۰/۵۷	۰/۰۰۸۰	۰/۶۸	۱/۱۰	۰/۵۷	۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۵۸	۰/۶	۰/۷۳	SG+MSC+1 st Derivative
۰/۰۰۸۹	۰/۵۹	۰/۰۰۸۲	۰/۶۶	۱/۰۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۷	۰/۶۶	SG+MSC+BC
۰/۰۰۸۹	۰/۶۰	۰/۰۰۸۱	۰/۶۷	۱/۰۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۷	۰/۷۰	S.G.+MSC+SNV

یگانه برای ارزیابی مدل‌های به دست آمده استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای مدل‌سازی SSC در مد عبوری بهترین نتیجه در حالت ترکیبی از پیش پردازش‌های SG

در جدول (۴) اثر پیش پردازش‌های مختلف بر نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی SSC، MC و TA در مد عبوری نشان داده شده است. در این جدول نیز از اعتبارسنجی متقاطع

تعداد متغیرهای پنهانی تعیین شد (Williams & Norris, 2001). جدول (۵) مقادیر تعداد مؤلفه‌های پنهانی بهینه به همراه نتایج بهترین مدل‌های تخمین سه مؤلفه‌ی SSC، MC و TA را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، برای پیش‌بینی پارامترهای SSC و MC، مد تقابلی منجر به بهترین نتایج شد. Mireei *et al.* (2013) نیز برای تعیین رطوبت خرمای مضافتی با استفاده از سه وضعیت بازتابشی، عبوری و تقابلی با مدل‌سازی PLS، از مد تقابلی به عنوان بهترین حالت اندازه‌گیری یاد کرده و علت آن را تأثیر کمتر عوامل مزاحم مانند تغییر در فاصله نمونه با فیبر و همچنین اثر کمتر ناهمواری‌های سطحی محصول برشمرند. Schaare & Fraser (2000) نیز در تعیین محتوای قند کیوی با استفاده از سه مد تقابلی، بازتابشی و عبوری، مد تقابلی را به عنوان بهترین حالت اندازه‌گیری گزارش کردند. برای پیش‌بینی پارامتر TA نیز بهترین نتایج در مد عبوری حاصل گردید. همچنین در بین پارامترهای مختلف رسیدگی، مدل‌های تخمین SSC منجر به بهترین نتایج نسبت به دو پارامتر کیفی دیگر بودند.

و BC ($r_c=0/71$ و $RMSEC=0/7$ °Brix و $r_{cv}=0/65$ ، $RMSEC=0/7$ °Brix) برای مدل‌سازی MC در مد عبوری پیش پردازش‌های مختلف اثر چندانی نداشت و در نهایت طیف‌ها در حالت خام و بدون پیش پردازش ($r_c=0/74$ و $RMSEC=0/89$ ، $r_{cv}=0/65$ و $RMSEC=0/102$) برای مدل‌سازی‌های بعدی استفاده شد. برای مدل‌سازی TA در مد عبوری، پیش پردازش 1st Derivative بهترین نتایج ($r_c=0/75$ و $RMSEC=0/072$ ، $r_{cv}=0/62$ و $RMSEC=0/086$) را به همراه داشت.

مدل‌های رگرسیون PLS

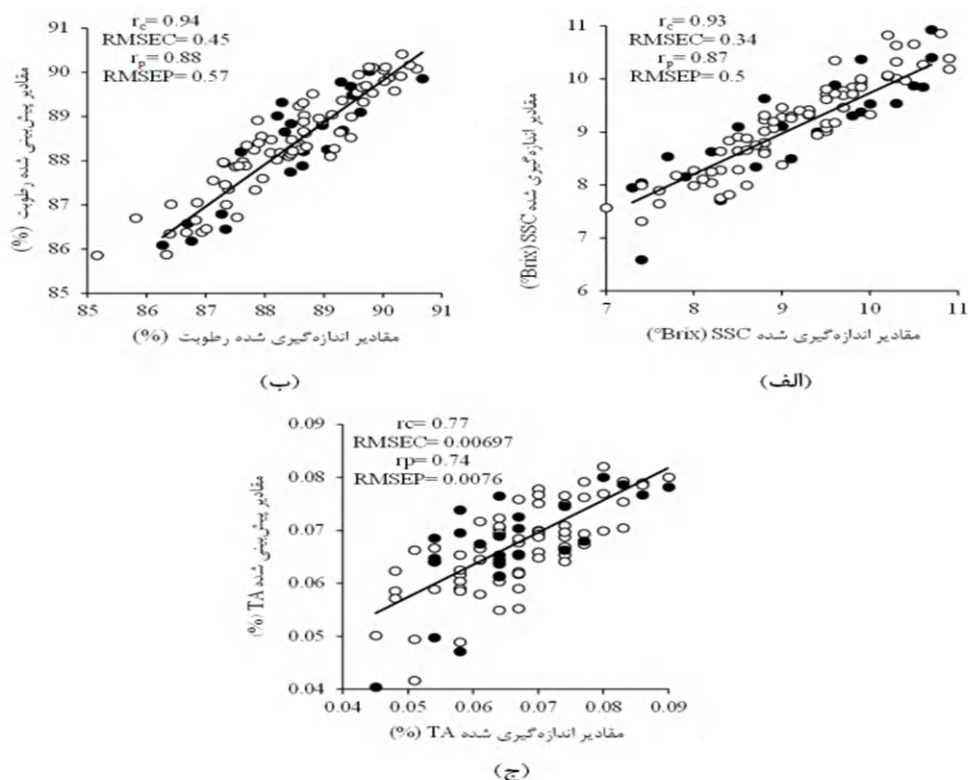
پس از شناسایی پیش پردازش مناسب برای هر یک از مؤلفه‌های کیفیت و حذف داده‌های پرت، بهترین مدل‌های PLS استخراج شدند. در این قسمت از دو روش اعتبارسنجی متقاطع یگانه و اعتبارسنجی آزمونی برای ارزیابی اعتبار مدل‌های به دست آمده استفاده شد. انتخاب بهترین تعداد متغیر پنهانی (LV) نیز به منظور جلوگیری از بیش یا کم برازش شدن مدل با استفاده از انتخاب نقطه کمینه در نمودار واریانس مقادیر باقیمانده در برابر

جدول ۵. نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی SSC، MC و TA با استفاده از سه مد اندازه‌گیری تقابلی، عبوری و بازتابشی

اعتبارسنجی		اعتبارسنجی متقاطع		کالیبراسیون			پیش‌پردازش	متغیر	مد اندازه‌گیری
آزمونی		یگانه		RMSEC	r_c	LV			
RMSEP	r_p	RMSECV	r_{cv}	RMSEC	r_c	LV			
۰/۵	۰/۸۷	۰/۶	۰/۷۹	۰/۳	۰/۹۳	۱۲	Raw	SSC	
۰/۵۷	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۴۵	۰/۹۴	۱۴	MSC	MC تقابلی	
۰/۰۰۸۳	۰/۴۵	۰/۰۰۸۰	۰/۶۶	۰/۰۰۶۷	۰/۷۷	۶	SG+MSC+BC	TA	
۰/۷	۰/۶۴	۰/۷	۰/۶۲	۰/۷	۰/۷۲	۷	SG+BC	SSC	
۱/۰۷	۰/۶۶	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۸۶	۰/۷۵	۷	Raw	MC عبوری	
۰/۰۰۷۶	۰/۷۴	۰/۰۰۸۸	۰/۶۱	۰/۰۰۷۰	۰/۷۷	۶	1 st Derivatives	TA	

پوست میوه به عنوان عامل مزاحم یاد کردند. علاوه بر این موارد، به نظر می‌رسد که پایین بودن میزان اسیدیته در لیموشیرین، به گونه‌ای که در بین مرکبات کمترین میزان TA را دارد، می‌تواند مزید بر دقت پایین‌تر تخمین TA نسبت به دو مؤلفه دیگر باشد. شکل (۴) مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط روش‌های مرجع در هر دو مرحله‌ی کالیبراسیون و اعتبارسنجی آزمونی را برای پیش‌بینی پارامترهای SSC و MC در مد تقابلی و نیز پارامتر TA در مد عبوری نشان می‌دهد.

برای پارامتر SSC در مد تقابلی r_p برابر ۰/۸۷ و RMSEP برابر ۰/۵ درجه بریکس حاصل شد. برای پارامتر MC در مد تقابلی r_p برابر ۰/۸۸ و RMSEP برابر ۰/۵۷ درصد بود. برای پارامتر TA نیز در مد عبوری r_p برابر ۰/۷۴ و RMSEP برابر ۰/۰۰۷۶ درصد بدست آمد که نتایج نسبت به دو مؤلفه‌ی دیگر ضعیف‌تر است. McGlone *et al.* (2003) گزارش کردند که تخمین TA نارنگی در محدوده‌ی طول موج ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با استفاده از سه مد اندازه‌گیری تقابلی، بازتابشی و عبوری با دقت بالا امکان‌پذیر نیست. آن‌ها از کلروفیل موجود در



شکل ۴. مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی حاصل از مدل‌سازی PLS در هر دو مرحله‌ی کالیبراسیون (○) و اعتبارسنجی آزمونی (●) برای پیش‌بینی الی (الف) SSC در مد تقابلی، (ب) رطوبت در مد تقابلی و (ج) TA در مد عبوری

نشان دادند. با توجه به اهمیت اقتصادی لیموشیرین به عنوان یکی از مرکبات پرمصرف در ایران، این تحقیق می‌تواند در توسعه سامانه برخط به منظور تشخیص سریع و غیرمخرب پارامترهای کیفی لیموشیرین، مدیریت برداشت، انبارداری، فروش و همچنین فرآوری این محصول نقش به‌سزایی داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که برای تخمین پارامترهای کیفی لیموشیرین با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis/SWNIR در دو وضعیت تقابلی و عبوری، پارامترهای SSC و MC در مد تقابلی و TA در مد عبوری منجر به بهترین نتایج شدند. همچنین، در بین مؤلفه‌های کیفیت، مدل‌های تخمین SSC و MC توانایی بالاتری نسبت به مدل تخمین TA از خود

REFERENCES

- Abbasi, H., M. Nazeri & S. A. Mireei (2016). Design and development of a LabVIEW-based LED-induced fluorescence spectroscopy system with applications in non-destructive quality assessment of agricultural products. *Journal of Physics: Conference Series*, 672, 012010.
- Abbasi, H., M. Nazeri, S. A. Mireei & A. Balooch (2014). LIF spectroscopy of fruits: study of excitation wavelength independence. *The third Iranian Conference on Engineering Electromagnetic (ICEEM)*, 3-4 Dec., Tehran, Iran.
- Antonucci, F., F. Pallottino, G. Paglia, A. Palma, S. D'Aquino & P. Menesatti (2011). Non-destructive estimation of mandarin maturity status through portable VIS-NIR spectrophotometer. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 809-813.
- ASABE. 1982. Moisture measurement: grain and seeds. ASABE Standard S352. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085, UAS.
- Cayuela, J. A. & C. Weiland (2010). Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers. *Postharvest Biology and Technology*, 58(2), 113-120.
- Cen, H., Y. Bao, Y. He & D.-W. Sun (2007). Visible and near infrared spectroscopy for rapid detection of citric and tartaric acids in orange juice. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 253-260.
- Cen, H., Y. He & M. Huang (2006). Measurement of soluble solids contents and pH in orange juice using chemometrics and Vis-NIRS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7437-7443.
- Chen, P. & Z. Sun (1991). A review of non-destructive

- methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49, 85-98.
- Daryaei, M. (2005). Nutritional and curative marvels of citrus fruits. Tajassom Khallagh publications, Tehran, Iran. (In Farsi).
- FAOSTAT (2013). Statistical Year Book of FAO. Available in: <http://faostat.fao.org>.
- Fotohi Ghazvini, R. & J. Fattahi Moghaddam (2010). Citrus growin in Iran. Rasht: University of Guilan. (In Farsi)
- Gómez, A. H., Y. He & A. G. Pereira (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 313-319.
- Grasser, L. A., J. G. Fadel, I. Garnett & E. J. Depeters (1995). Quantity and Economic Importance of Nine Selected By-products Used in California Dairy Rations. *Journal of Dairy Science*, 78(4), 962-971.
- Greensill, C. V. & K. B. Walsh (2002). Calibration transfer between miniature photodiode array-based spectrometers in the near infrared assessment of mandarin soluble solids content. *Journal of near infrared spectroscopy*, 10(1), 27-36.
- Guthrie, J., D. Reid & K. B. Walsh (2005a). Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit. 2. NIR calibration model robustness. *Crop and Pasture Science*, 56(4), 417-426.
- Guthrie, J., K. B. Walsh, D. Reid & C. Liebenberg (2005b). Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit. 1. NIR calibration model development. *Crop and Pasture Science*, 56(4), 405-416.
- Houk, L. G., J. F. Jenner & B. E. Mackey (1990). Seasonal variability of the response of desert lemons to rind injury and decay caused by quarantine cold treatments. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 65, 611-617.
- Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani & H. Ghassemian (2012). Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85, 64-69.
- Kawano, S., T. Fujiwara & M. Iwamoto (1993). Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 62(2), 465-470.
- Kim, G. Y., K. J. Lee, K. H. Choi, J. R. Son, D. S. Choi & S. W. Kang (2004). Defect and ripeness inspection of citrus using NIR transmission spectrum. *Key engineering materials*, Switzerland, Trans Tech Publications, 1008-1013.
- Kimball, D. (2012). Citrus processing: a complete guide. Maryland: Springer Science & Business Media.
- Ladaniya, M. S. (2008). Citrus Fruit, Biology, Technology and Evaluation. San Diego, USA: Academic Press.
- Lammertyn, J., A. Peirs, J. De Baerdemaeker & B. Nicolai (2000). Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest Biology and Technology*, 18(2), 121-132.
- Lee, K. J., G. Y. Kim, S. W. Kang, J. R. Son, D. S. Choi & K. H. Choi (Year). Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance. *Key Engineering Materials*, Switzerland, Trans Tech Publications, 1014-1019.
- Liu, Y., X. Sun, H. Zhang & O. Aiguo (2010). Nondestructive measurement of internal quality of Nanfeng mandarin fruit by charge coupled device near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(S10-S14).
- Lu, H.-s., H.-r. Xu, Y.-b. Ying, X.-p. Fu, H.-y. Yu & H.-q. Tian (2006). Application Fourier transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits. *Journal of Zhejiang University, Science*, 7(10), 794-799.
- Magwaza, L. S., U. L. Opara, L. A. Terry, S. Landahl, P. J. R. Cronje, H. H. Nieuwoudt, A. Hanssens, W. Saeyns & B. M. Nicolai (2013). Evaluation of Fourier transform-NIR spectroscopy for integrated external and internal quality assessment of Valencia oranges. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(1), 144-154.
- McGlone, V. A., D. G. Fraser, R. B. Jordan & R. Kunemeyer (2003). Internal quality assessment of mandarin fruit by vis/NIR spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 11(5), 323-332.
- McGlone, V. A., R. B. Jordan & P. J. Martinsen (2002). Vis/NIR estimation at harvest of pre-and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 25(2), 135-144.
- Mireei, S. A., S. S. Mohtasebi, M. Sadeghi & S. Rafiee (2013). Comparison between reflectance, transmission and interactance modes of NIR spectroscopy in non-destructive moisture content determining of Mazafati date fruit. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 43(2), 133-141. (In Farsi)
- Miyamoto, K. & Y. Kitano (1995). Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 3, 227-238.
- Nicolai, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeyns, K. I. Theron & J. Lammertyn (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99-118.
- Schaare, P. & D. Fraser (2000). Comparison of reflectance, interactance and transmission modes

- of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharvest Biology and Technology*, 20(2), 175-184.
- Tsuchikawa, S., E. Sakai, K. Inoue & K. Miyamoto (2003). Application of time-of-flight near-infrared spectroscopy to detect sugar and acid content in Satsuma mandarin. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 391-396.
- Williams, P. & K. Norris (2001). Near-infrared technology in the agricultural and food industries. USA: American Association of Cereal Chemists.
- Xia, J.-F., X.-Y. Li, P.-W. Li, M. Qian & X.-X. Ding (2007). Application of wavelet transform in the prediction of navel orange vitamin C content by near-infrared spectroscopy. *Agricultural Sciences in China*, 6(9), 1067-1073.
- Xudong, S., Z. Hailiang & L. Yande (2009). Nondestructive assessment of quality of Nanfeng mandarin fruit by a portable near infrared spectroscopy. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2(1), 65-71.