

طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک به منظور تخمین غیر مخرب کیفیت خیار برش خورده در

دوره نگهداری

امیرحسین افکاری سیاح^{۱*}، محمد طهماسبی^۲، علی خرمی‌فر^۲^{۱*} - دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران^۲ - دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: ahafkari@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

چکیده

ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی یکی از فعالیت‌های مهم پس از برداشت است که با توجه به رشد تقاضا برای محصولات سالم و دارای کیفیت بهتر، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی میوه‌ها و سبزی‌ها به صورت غیرتخریبی کاربرد پیدا کرده‌اند. در بین این روش‌ها، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک به عنوان یک روش غیرمخرب و سریع به منظور سنجش خواص محصولات کشاورزی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نظر به اینکه مواد جامد محلول (SSC) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) از پارامترهای کیفی مهم محصولات کشاورزی به شمار می‌روند، در این تحقیق اثر طول دوره نگهداری و نوع پوشش بر میزان SSC و TA خیار برش خورده به مدت ۷ روز بررسی شد. طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک جذبی در محدوده طول موج‌های ۴۰۰-۱۱۰۰ نانومتر انجام و میزان SSC و TA در نمونه‌ها نیز به صورت مخرب اندازه‌گیری شد. پس از حذف نمونه‌های پرت با آنالیز PCA، برای بهبود طیف، پیش پردازش‌های اولیه مختلف اعمال و اثرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مدل مناسب با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تعیین گردید. براساس آنالیز PLS بهترین نتایج با پیش‌پردازش هموارسازی ساویتزکی-گولای با $RMSE_C=0/045$ ، $R^2_C=0/990$ ، $RMSE_{CV}=0/068$ ، $R^2_{CV}=0/979$ برای SSC و با $RMSE_C=0/025$ ، $R^2_C=0/870$ ، $RMSE_{CV}=0/029$ ، $R^2_{CV}=0/840$ برای TA حاصل شد. همچنین مقایسه نتایج مربوط به SSC و TA، نشان می‌دهد که این روش توانایی بالاتری برای پیش‌بینی SSC نسبت به TA دارد. بر اساس ضریب رگرسیون بهترین مدل، به ترتیب ۵۱ و ۱۰۸ طول موج به عنوان طول موج‌های موثر در تخمین غیرمخرب SSC و TA تعیین شد. در نتیجه به نظر می‌رسد که طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک با دقت بالایی قادر به تخمین کیفیت خیار برش خورده در دوره نگهداری است.

کلمات کلیدی

"اسیدیته قابل تیتراسیون"، "طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک"، "خیار"، "پوشش"

۱- مقدمه

و هندوانه عمومیت دارد و می‌تواند مصرف مستقیم آنها را برای مصرف کننده تسهیل کند. با این حال یکی از مشکلاتی که در آماده‌سازی محصولات برش خورده وجود دارد کاهش ماندگاری محصول است (Artes et al., 1991) که در این شرایط وجود یک سامانه کنترل و نظارت بر ایمنی و کیفیت محصول ضروری به نظر می‌رسد. اما در حاضر هیچ روش استاندارد و سیستم ابزاری برای مانیتور کردن کیفیت این محصولات وجود ندارد. کیفیت در محصولات سالم و برش نخورده نیز معمولاً با استفاده از تکنیک‌هایی مانند تعیین محتوای مواد جامد محلول (SSC) و یا تعیین خصوصیات بافت میوه با اندازه‌گیری سفتی انجام می‌شود (Shewfelt, 2014). میوه‌های انتخاب شده به عنوان نمونه برای ارزیابی پارامترهای کیفی، هدر می‌روند زیرا پس از تخریب نمی‌توان آن‌ها را به محموله برگرداند. علاوه بر این، میوه‌های انتخاب شده به عنوان نمونه ممکن است به درستی وضعیت واقعی محموله را نشان ندهند زیرا اثبات شده است که میوه‌ها برداشت شده از یک شاخه درخت نیز ممکن است ویژگی‌های کیفی متفاوتی داشته باشند. بنابراین یافتن تکنیک‌های جایگزین غیر مخرب که بتواند بدون از دست دادن نمونه‌ها، کل محموله را تجزیه و تحلیل کند ضروری به نظر می‌رسد (Ncama et al., 2018). در چهار دهه اخیر روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفی محصولات به صورت غیرمخرب ابداع شده‌است که تنها تعداد اندکی از آن‌ها توانسته‌اند شرایط مطلوب از

میوه‌ها و سبزیجات دارای عناصر غذایی فراوانی هستند که برای انسان ضروری هستند و به‌طور قابل توجهی از سلامتی انسان محافظت می‌کنند. افزایش مصرف میوه و سبزیجات به عنوان راهی موثر برای بهبود قابل توجه بهداشت عمومی در جهان پیشنهاد شده است و محققان تصور می‌کنند در صورت افزایش سرانه مصرف میوه، میزان زیادی از مرگ و میرهای قبل از ۶۵ سالگی جلوگیری می‌شوند (Lin and Ying, 2009). مقدار مصرف میوه و سبزیجات در کل جهان بسیار زیاد است، با این حال در کشورها و مناطق مختلف تفاوت زیادی از نظر مقدار و نوع میوه وجود دارد. سازمان بهداشت جهانی و سازمان غذا و کشاورزی (FAO) ملل متحد به مردم توصیه می‌کنند که به منظور افزایش سلامت عمومی، این محصولات را به عنوان یک اولویت به میزان بیشتری مصرف کنند (Qin et al., 2019). یکی از ساده‌ترین عملیات در مراحل پس از برداشت در انواع میوه و سبزی برش زدن محصول است که به عنوان میوه و سبزی‌های برش خورده شناخته می‌شوند. در این فرآیند محصول دست نخورده پس از شست‌وشو با ضخامت‌های مختلفی برش می‌خورد. این فرآیند در محصولات مختلفی مانند خیار، کاهو، انواع کلم، گوجه، هویج، سیب، هلو، مرکبات

1 Fresh-cut fruit and vegetables

همکاران (Puangsombut et al, 2012) امکان استفاده از طیفسنجی Vis/NIR را در حالت عبوری برای پیش بینی محتوای مواد جامد محلول (SSC) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) دارایی تازه برش خورده بررسی و گزارش نمودند. بیگی و همکاران (Beghi et al, 2016) تأثیر بسته بندی بر اندازه گیری طیفی فروسرخ نزدیک و در طول عمر پس از برداشت شیرینک و برش های سبب گلدن دلشز بررسی نمودند. در این پژوهش تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و کمترین مربعات جزئی (PLS) بر روی داده های طیفی اعمال شد. پژوهشگران گزارش نمودند که نتایج مربوط به برش های سبب را می توان رضایت بخش در نظر گرفت حتی اگر عملکرد طبقه بندی کمتر از نتایج بدست آمده برای شیرینک باشد همچنین وجود بسته بندی تأثیر کمی بر قابلیت طبقه بندی داشت. وو و همکاران (Wu et al, 2019) از طیفسنجی فروسرخ نزدیک به منظور تشخیص بقایای سموم در برگ های کاهو پرداختند، در این پژوهش روش شبکه کوتاه عمیق (DBN) همراه با طیفسنجی عبوری استفاده شد. دو نوع باقیمانده آفت کش (فنوالرات و تریازولین) و آب مقطر به ترتیب روی سطح برگ کاهو پاشیده شد. از پیش پردازش ساویترکی-گولای همراه با، تصحیح پراکنش افزایشدهنده برای حذف نویزهای داده های طیفی خام استفاده شد و پس از پیش پردازش داده های طیفی از DBN برای استخراج ویژگی ها و شناسایی سموم در برگ کاهو استفاده شد. علاوه بر این، الگوریتم طرح ریزی متوالی (SPA) برای انتخاب طول موج های موثر استفاده شد. ماشین بردار پشتیبان (SVM)، PLS-DA، و k- نزدیکترین همسایه برای ایجاد مدل های طبقه بندی بر اساس داده های طیفی کامل، داده های استخراج شده توسط DBN و داده های استخراج شده توسط SPA انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که DBN-SVM بهترین عملکرد را داشت و دقت مجموعه آموزشی و مجموعه تست به ترتیب به ۹۸/۸۹ و ۹۵ درصد بود. ناکاژیما و همکاران (Nakajima et al, 2021) با هدف تعیین اینکه کدام بافت های کلم برای ارزیابی تازگی با استفاده از طیفسنجی مفید هستند، کلم های بسته بندی شده و بسته نشده را تا ۳۰ روز نگهداری و طیف های مرئی و فروسرخ نزدیک (۴۲۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) لایه ها اول تا دهم برگ و مغز کلم را اندازه گیری نموده و گزارش نمودند که تغییرات طیفی در برگ ها هم تحت تاثیر لایه برگ و هم شرایط نگهداری قرار می گیرد، در حالی که تغییرات طیفی مداوم بدون در نظر گرفتن شرایط نگهداری در مغز مشاهده شد. این تغییرات طیفی با تصاویر رنگی و محتوای آب سازگار بودند. همچنین مدل های خوبی برای تخمین روزهای نگهداری از لایه های برگ اول و دوم و مغز کلم های بسته بندی نشده ایجاد شد، تنها طیف های هسته همبستگی بالایی با روزهای نگهداری در کلم های بسته بندی شده ایجاد کردند. بنابراین این داده ها نشان داد که هسته کلم به مدت زمان ذخیره سازی حساس است و طیف های آن برای ارزیابی کاهش تازگی بدون در نظر گرفتن شرایط نگهداری مفید است. با این حال به نظر می رسد که تاکنون ارزیابی غیرمخرب کیفیت و تازگی خیار برش خورده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته نگرفته است، لذا هدف از این مطالعه بررسی امکان استفاده از روش طیفسنجی فروسرخ نزدیک (vis/NIR) در تخمین تغییرات مواد جامد محلول (SSC) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) خیار برش خورده در طی طول دوره نگهداری و شرایط مختلف بسته بندی است.

لحاظ فنی و صنعتی را برآورده سازد و توجیه اقتصادی داشته باشند. روش های اپتیک، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمون های غیرمخرب نقش اساسی داشته اند، اما روش های به کار رفته توانایی کاوش ویژگی های محدودی از میوه ها را دارند. بنابراین لازم است شرایط حاکم در این روش ها به دقت بررسی شده و در گزارش یا ثبت نتایج آزمایش لحاظ شوند. در میان روش های ذکر شده کاربرد امواج الکترومغناطیس به ویژه فناوری طیفسنجی مرئی/فروسرخ نزدیک با توجه به دقت بالا و قابلیت تکرارپذیری آن، تجاری سازی شده است و ارزش قابل توجهی برای صنایع پس از برداشت میوه داشته است (Kljusurić et al., 2020). نخستین بار بن-گرا و کارل نوریس (Ben-gera, I., Norris, K.h. 1968) از طیف سنجی NIR در آنالیز ترکیبات غلات استفاده کرد. شائو و همکاران (Shao et al, 2007) با استفاده از طیف سنجی بازتابی فروسرخ نزدیک به بررسی خصوصیات کیفی گوجه فرنگی مانند سفتی، مواد جامد محلول و اسیدیته آن پرداختند و این خصوصیات را با ضریب همبستگی بالا به صورت غیرمخرب پیش بینی کردند. ضریب همبستگی برای پیش بینی SSC برابر با ۰/۸۹ و میزان خطا نیز برابر با ۰/۳۷ درجه بریکس بود. در پژوهشی، برای پیش بینی کمی میزان نیترات در آناناس از روش طیف سنجی vis/NIR استفاده شد. طیف هر یک از آناناس ها با استفاده از یک اسپکتروفتومتر vis/NIR در حالت بازتابی با طول موج در ناحیه ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر به دست آمد. مقدار واقعی نیترات در آناناس توسط HPLC تعیین شد. بهترین مدل از طیف پیش پردازش با مشتقات اولیه در محدوده ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر به دست آمد. پیش بینی ها بر اساس این مدل برای نیترات، با ضریب همبستگی بالا $R^2=0.95$ و $RMSEP=0.77$ ppm به دست آمد. در تحقیقی، با استفاده از روش غیرمخرب طیفسنجی مرئی-فروسرخ نزدیک با طول موج کوتاه^۱ (Vis/SWNIR)، به منظور تخمین پارامترهای مواد جامد محلول، محتوای رطوبت و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) لیموشیرین مورد مطالعه قرار گرفت. داده های طیف سنجی ۱۲۰ نمونه لیموشیرین در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر در دو وضعیت بازتابی و عبوری جمع آوری کردند. اثر پیش پردازش های مختلف نظیر الگوریتم ساویترکی-گولای^۲ (SG)، تصحیح پخش افزایشدهنده^۳ (MSC)، تصحیح خط مبنا^۴ (BC) متغیر نرمال استاندارد^۵ (SNV)، مشتق اول و ترکیبی از این روش ها مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده، مدل های تخمین مواد جامد محلول و محتوای رطوبتی در مد بازتابی و TA در مد عبوری منجر به بهترین نتایج شدند. همچنین در بین سه پارامتر مورد بررسی، بهترین نتایج به ترتیب برای مواد جامد محلول، محتوای رطوبتی و TA حاصل شد (موکش و همکاران، ۱۳۹۵). فرهادی و همکاران (Farhadi, et al, 2019) پیش بینی تغییر ترکیبات سیب زمینی در دوره انبارداری را با استفاده طیف سنجی مرئی و فروسرخ نزدیک، بررسی کردند. با در مورد محصولات برش خورده پوانگسومبوت و

- 1 Short Wavelength Near-Infrared
- 2 Savitzky-Golay Algorithm
- 3 Multiplicative Scatter Correction
- 4 Baseline Correction
- 5 Standard Normal Variety Transformation

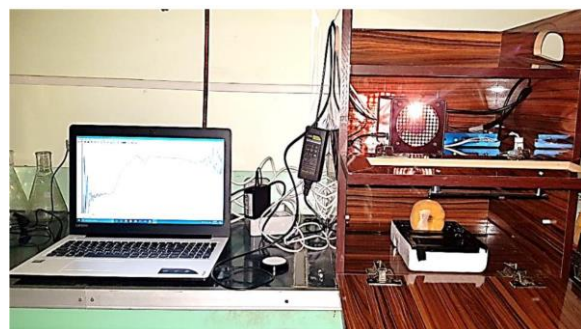
۲- روش انجام تحقیق

• آماده‌سازی نمونه‌ها

خياره تازه با شکل و رنگ یکنواخت و بدون هیچ‌گونه نشانه‌ای از آسیب‌های مکانیکی و یا پوسیدگی قارچی از بازار تهیه شد و بلافاصله بصورت حلقه حلقه و با ضخامت ۵ میلی متر برش داده شدند. در کل ۴۸ حلقه خیار برش خورده برای داده برداری آماده شد که از این مقدار ۲۴ عدد بدون پوشش و ۲۴ عدد هم پوشش داده شده با فیلم پلی اتیلن سبک (سلفون) برای ۸ دوره زمانی شامل ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ روز پس از خورد شدن در نظر گرفته شد. نمونه ها در یخچال با دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

• طیف سنجی

به منظور اکتساب طیف از نمونه‌ها از یک اسپکترومتر دیومتر مدل PS-100 (Apogee Instruments, INC., Logan, UT, USA) ساخت کشور آمریکا استفاده شد. این اسپکترومتر دیومتر بسیار کوچک، سبک، قابل حمل، دارای تک‌فام‌سازی از نوع پاشنده با قدرت تفکیک ۱ نانومتر و آشکارساز آرایه CCD سیلیکون خطی با ۲۰۴۸ پیکسل است که محدوده طیفی ۲۵۰-۱۱۵۰ نانومتر (Vis/NIR) را به خوبی پوشش می‌دهد. با هدف ایجاد نور بهینه در اندازه‌گیری‌های مد تقابلی، از منبع نور هالوژن- تنگستن مدل OPTC (Halojen Light Source) که قابلیت اتصال به فیبر نوری دارد استفاده گردید. این منبع نور دارای سه توان خروجی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ وات است که در تحقیق حاضر از توان خروجی ۱۰ وات استفاده شد. همچنین از یک کاوشگر فیبر نوری دو شاخه مدل (Apogee Instruments, Apogee INC., Logan, Utah, USA) که شامل ۷ فیبر نوری موازی با قطر ۴۰۰ میکرومتر است، در اندازه‌گیری‌های مد تقابلی استفاده گردید. بعد از فراهم نمودن تجهیزات لازم، چیدمان بهینه اسپکتروسکوپی به منظور راحتی در اجرای آزمایش‌ها و به حداقل رساندن اثر عوامل محیطی طی فرآیند طیف‌سنجی طراحی و اجرا شد که در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- چیدمان اسپکتروسکوپی Vis/NIR در اندازه‌گیری مد تقابلی

• اندازه‌گیری خصوصیات کیفی نمونه‌ها

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول (SSC) نمونه‌ها بر حسب °Brix توسط دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (PrismaTech BPTR50, Iran) و با ریختن یک قطره آب‌میوه بر روی صفحه شیشه‌ای رفرکتومتر انجام شد (Odriozola-Serrano et al., 2008). اسیدیت قابل تیتراسیون (TA) نیز با استفاده از استاندارد 942.15

AOAC تعیین شد (AOAC, 2005). بدین منظور ۵g از هر نمونه به همراه ۵۰mL آب مقطر با استفاده از یک مخلوط کن خانگی همگن شد. مخلوط از طریق عبور از کاغذ صافی فیلتر شده، سپس ۵ mL مخلوط همگن و فیلتر شده و ۱ mL فنل‌فالتین (۱۰ g/m) (Merck, Germany) با آب مقطر به حجم ۲۰۰ mL رسانده و محلول با استفاده از سود ۰/۸ N (NaOH) (مجللی، ایران) تا pH=۲/۸ و ظهور پایدار رنگ صورتی تیترا شد. میزان TA برحسب اسید سیتریک (اسید قالب میوه) و بر حسب درصد (گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰gr خیار) بیان شد (Omoba and Onyekwere, 2016).

• تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) به منظور حذف نمونه‌-

های پرت

در طول انجام تصویربرداری طیفی به دلایل مختلف، ممکن است برخی از داده‌های به دست آمده از نمونه‌ها نامناسب باشند. به منظور حذف نمونه‌های اریب، قبل از هرگونه پردازش روی داده‌ها، از تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد.

• پیش پردازش داده‌ها

داده‌های حاصل از تصویربرداری طیفی ممکن است در اثر پراکنش نور توسط آشکارساز با تغییر نمونه، تغییر اندازه نمونه، ناهموازی‌های سطحی در نمونه، نویزهای ایجاد شده به علت افزایش دمای دستگاه و بسیاری عوامل دیگر، تحت تاثیر قرار گیرد و اطلاعات ناخواسته بر دقت مدل‌های کالیبراسیونی تاثیر بگذارد. از این رو برای دستیابی به مدل‌های واسنجی پایدار، دقیق و قابل اعتماد، نیاز به پیش‌پردازش داده‌ها است (Rossel, 2008). در این پژوهش هموارسازی ساویتزکی-گولای، مشتقات اول و دوم، خط مبنای توزیع نرمال استاندارد، تصحیح پخش افزایشنده بر روی داده‌ها اعمال شد.

• رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) و تعیین طول

موج‌های موثر

بکارگیری روش‌های غیرمخرب مبتنی بر طیف سنجی در بازه کامل از طول موج‌ها، نیازمند صرف وقت و هزینه‌های بسیار بالاست که کاربرد عملی این روش را تقریباً غیر ممکن می‌سازد؛ لذا باید به دنبال راهی برای یافتن طول موج‌های بهینه و محدود کردن طول موج‌ها به حداقل مقدار ممکن بود. روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) از این نظر ایده‌آل به نظر می‌رسد. در این پژوهش به منظور ساخت مدل‌ها، داده‌ها به صورت تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند: ۸۰ درصد نمونه‌ها به منظور آموزش و اعتبارسنجی متقاطع و از باقی داده‌ها جهت اعتبارسنجی مستقل استفاده شد. مدل‌های (PLS) برای کلیه پیش-پردازش‌های صورت گرفته روی داده‌ها، استخراج شد و از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) (روابط ۱ و ۲) به منظور تعیین بهترین مدل استفاده شد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - Z_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - p_i)}{N}} \quad (2)$$

سلول نقش دارند و همچنین ممکن است بر رنگ میوه تأثیر بگذارد (Ding et al. 2019). تصور می‌شود مصرف اسیدهای آلی و پیری میوه یکی از عوامل اثرگذار در کاهش اسیدیته در طول نگهداری باشد (Khalifa et al. 2016). رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها دومین عامل موثر بر تغییرات اسیدیته عنوان شده است (Odriozola-Serrano et al., 2008). مطابق با پژوهش‌های صورت گرفته توسط سایر محققین در رابطه با اثر پوشش بر میزان TA محصولات (Hazrati et al., 2017) این پوشش‌ها قادرند با سرکوب تنفس، پیری و در نتیجه میزان استفاده از اسیدهای آلی را به تأخیر بیندازد. از طرف دیگر کاهش میزان استفاده از اسیدهای آلی را می‌توان به کاهش سرعت زوال میوه به علت جلوگیری دسترسی عوامل فساد قارچی و باکتریایی به محصول نسبت داد (Etemadipoor et al. 2019).

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع پوشش و زمان نگهداری بر SSC و TA خیار

زمان	SSC (°Brix)		TA (%)	
	بدون پوشش	پوشش دار	بدون پوشش	پوشش دار
۰	۳/۱۶۷h	۳/۱۶۷h	۰/۳۶۵a	۰/۳۶۵a
۰/۵	۳/۷۰۰fg	۳/۵۶۷g	۰/۳۴۱b	۰/۳۲۰c
۱	۳/۸۶۷efg	۳/۷۰۰fg	۰/۳۲۲c	۰/۲۹۴d
۱/۵	۴/۱۳۳cde	۳/۷۳۳fg	۰/۳۲۰c	۰/۲۶۸e
۲	۴/۲۰۰bcde	۴/۲۰۰gh	۰/۲۷۰e	۰/۲۳۵f
۲/۵	۴/۴۰۰bc	۴/۰۰۰def	۰/۲۳۹f	۰/۱۹۶gh
۴/۵	۴/۵۶۷b	۴/۱۶۷cde	۰/۲۱۳g	۰/۱۷۹h
۶/۵	۵/۱۳۳a	۴/۲۶۷bcd	۰/۱۵۴i	۰/۱۲۲j

طیف‌های Vis-NIR

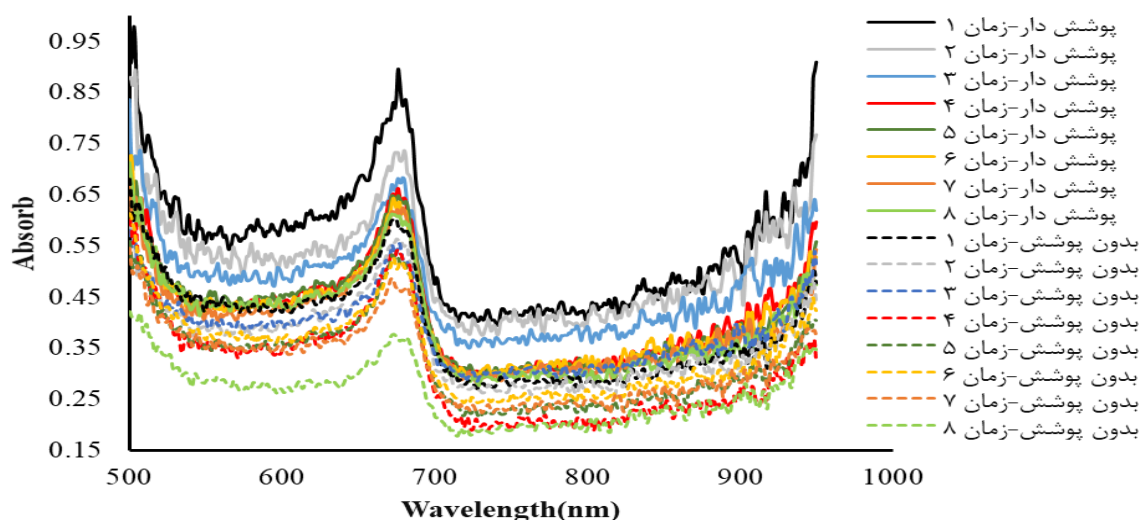
میانگین طیف‌های جذبی طیف‌های جذبی Vis/NIR برای تیمارهای مختلف در محدوده ۱۰۰۰-۵۰۰ نانومتر در شکل ۲ ارائه شده است.

سپس از آزمون عدم قطعیت مارتینز (MUT) برای حذف طول موج-های بی اهمیت و افزایش قابلیت اطمینان مدل ایجاد شده با بهترین روش پیش‌پردازش استفاده شد (Kuroki et al., 2020).

۳- نتایج

تغییرات SSC و TA نمونه‌ها در طول دوره نگهداری

مقادیر SSC و TA نمونه‌های خیار برش خورده شده را در مراحل طول دوره نگهداری برای نمونه‌های بدون پوشش و پوشش داده شده با فیلم پلی اتیلن سبک در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل با گذشت زمان در هر سری نمونه‌های بدون پوشش و پوشش-داده شده میزان SSC افزایش و TA در نمونه‌ها کاهش یافته است. با این حال نتایج حاضر نشان می‌دهد که پوشش نمونه‌ها موجب کاهش سرعت روند این تغییرات شده است. مواد جامد محلول یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده کیفیت خوراکی میوه‌ها است. میزان SSC نشان دهنده شیرینی میوه است و در هنگام رسیدن با هیدرولیز نشاسته توسط فرآیندهای کاتابولیک مانند تنفس به قندهای ساده افزایش می‌یابد (Mahfoudhi and Hamdi, 2015). اگرچه از دست دادن رطوبت پس از برداشت نیز ممکن است به افزایش SSC ناشی از تغییر غلظت قندها در میوه کمک کند، تجزیه نشاسته اغلب تأثیر بیش‌تری بر تغییرات آن دارد (Andrade et al. 2017). گزارش شده است که پوشش دارن کردن نمونه‌ها با سرکوب تنفس موجب کاهش تغییرات SSC محصولات را در حین نگهداری می‌شود (Liu et al. 2014; Mahfoudhi and Hamdi, 2015; Andrade et al. 2017). پوشش‌ها متابولیسم میوه را کاهش داده و در نتیجه تجزیه نشاسته را به تأخیر می‌اندازند که در نهایت منجر به کندتر شدن روند تغییر SSC و در نتیجه پیری محصول در طول دوره نگهداری می‌شوند (Riva et al. 2020). همچنین اسیدهای آلی به‌عنوان بسترهای اولیه برای تنفس و سایر فرآیندهای متابولیک استفاده می‌شوند و اغلب در طول نگهداری پس از برداشت کاهش می‌یابد (Mahfoudhi and Hamdi, 2015). در خیار، اسید سیتریک اصلی‌ترین اسید آلی مورد استفاده در چنین فرآیندهایی است (Omoba and Onyekwere, 2016) که در تنظیم pH



شکل ۲- میانگین طیف‌های جذبی برای تیمارهای مختلف

(۳- ب) ارائه شده است، سه عدد از کل نمونه‌ها به عنوان داده‌های پرت تعیین شد که با علامت دایره نشان داده شده‌اند که در آن‌ها مقادیر توزیع تی مربع هاتلینگ بالاتر از ۶/۶۷ است. داده‌های پرت شناسایی شده در آنالیزهای بعدی حذف شد.

رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS)

مقادیر R^2 ، $RMSE$ برای مجموعه‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل‌های مختلف رگرسیون (PLS) با داده‌های خام و پردازش شده با توابع مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که همه پیش‌پردازش‌های انجام شده و همچنین طیف‌های بدون پیش‌پردازش قادر به پیش‌بینی SSC و TA با دقت مطلوب هستند و بهترین نتایج در مدل تدوین شده در پیش‌پردازش هموارسازی ساویتزکی-گولای با $RMSE_{CV}=0/045$ ، $R^2_C=0/990$ ، $RMSE_{CV}=0/068$ ، $R^2_C=0/979$ برای SSC و با $RMSE_{CV}=0/029$ ، $R^2_C=0/840$ حاصل شد. همچنین مقایسه نتایج مربوط به SSC و TA ، نشان می‌دهد که این روش توانایی بالاتری به پیش‌بینی SSC نسبت به TA دارد (شکل ۴). خدابخشیان و همکاران (Khodabakhshian et al, 2017) پتانسیل طیف سنجی مرئی و فرورسرخ برای طبقه بندی مرحله رسیدگی و پیش‌بینی صفات کیفی رقم انار شامل SSC و TA را بررسی نمودند. از بین روش‌های مرکزسازی، هموارسازی ساویتزکی-گولای، فیلتر میانه، متغیر نرمال استاندارد، تصحیح پخش افزایشده (MSC) و تمایز با مشتق اول و مشتق دوم، استفاده از تصحیح پخش افزایشده (MSC) بالاترین دقت در تشخیص پارامترهای کیفی انار را در پی داشت. ژانگ و همکاران (Zhang et al, 2018) در تخمین SSC سیب قرمز فوجی با استفاده از طیف سنجی فرورسرخ نزدیک برای کاهش نویزها از توابع تصحیح پخش افزایشده (MSC) و توزیع نرمال استاندارد (SNV) استفاده و گزارش نمودند که روش تصحیح پخش افزایشده (MSC) در مقایسه با توزیع نرمال استاندارد (SNV) تخمین دقیق‌تری از مقدار SSC در پی خواهد داشت. کیم و همکاران (kim et al, 2021) در تخمین SSC خربزه شرقی با استفاده از

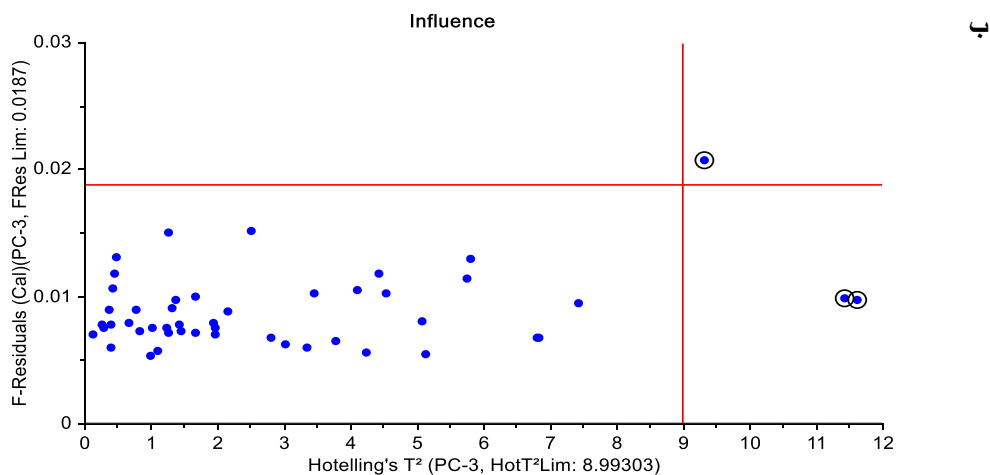
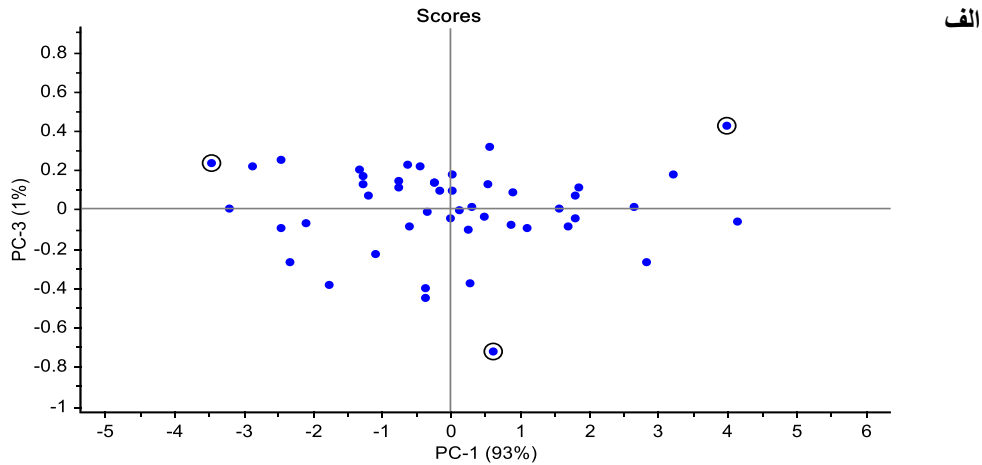
عوامل محیطی (نور و گرما) و همچنین کیفیت ابراز طیف‌سنج باعث ایجاد اغتشاش در طول موج‌های ابتدایی و انتهایی طیف‌ها می‌شود، بنابراین این طول موج‌ها از مجموعه داده‌ها حذف شده‌اند. همانطور که در شکل ۲ مشخص است، با افزایش طول موج جذب در کلیه نمونه‌ها به روندی تقریباً مشابه افزایش یا کاهش یافته است؛ این امر ممکن است متأثر از رنگ نمونه‌ها باشد (Clément et al., 2008). با توجه به شکل ۲ سه پیک کاملاً مشخص برای اکثر طیف‌ها در حوالی طول موج‌های ۵۰۰، ۶۵۰ و ۹۵۰ نانومتر وجود دارد. پیک جذبی نمایان اطراف طول موج ۵۰۰ نانومتر را می‌توان به جذب کاروتنوئیدها، در طول موج ۶۵۰ را می‌توان به جذب کلروفیل‌ها نسبت داد؛ همچنین پیک جذبی عریضی در اطراف طول موج ۹۵۰ نانومتر نمایان شده است که ممکن است ناشی از اورتون‌های جذب شده توسط O-H و یا NH_2 باشد (Merzlyak et al., 2003). همچنین در شکل ۲ این نکته قابل تشخیص است میزان جذب با گذشت زمان کاهش یافته است و همچنین میزان کاهش در نمونه‌های بدون پوشش بیش‌تر از نمونه‌های پوشش‌دار بوده است.

تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

براساس نتایج آنالیز (PCA) که در شکل (۳- الف) ارائه شده است، اولین مولفه اصلی (PC-1) ۹۳٪ و دومین مولفه اصلی (PC-3) ۱٪ از واریانس نمونه‌های مورد آزمایش را توصیف می‌کنند. در نتیجه دو مولفه اصلی اول مجموعاً ۹۴٪ از داده‌ها را بیان می‌کنند. با توجه به اینکه ممکن است میزان ارتباط بین خواص نمونه‌ها مختلف در طول انجام آزمایشات، به دلایل مختلفی نظیر مشکلات فنی تجهیزات، جمع آوری داده، نمونه‌گیری نادرست و ... در برخی از نمونه‌ها نامناسب و یا به اصلاح پرت باشند (Cozzolino et al., 2011; Heidari et al., 2012; Jamshidi et al., 2019). لذا در این پژوهش برای تشخیص نمونه‌های پرت از توزیع تی مربع هاتلینگ-باقیمانده F استفاده شد. در این روش باقیمانده F فاصله نمونه تا مدل را بیان می‌کند و توزیع تی مربع هاتلینگ توصیف نمونه توسط مدل را نشان می‌دهد (Heidari et al., 2019). طبق نتایج حاصل که در شکل

هر چند با توجه به ماهیت متفاوت نمونه‌ها، روش و تجهیزات اندازه گیری و سایر شرایط اثرگذار در خواص طیفی محصول بهتر است، مقایسه‌ای بین داده‌های حاصل از پژوهش‌های مختلف با یکدیگر مورد مقایسه قرار نگیرد (Jamshidi et al, 2012).

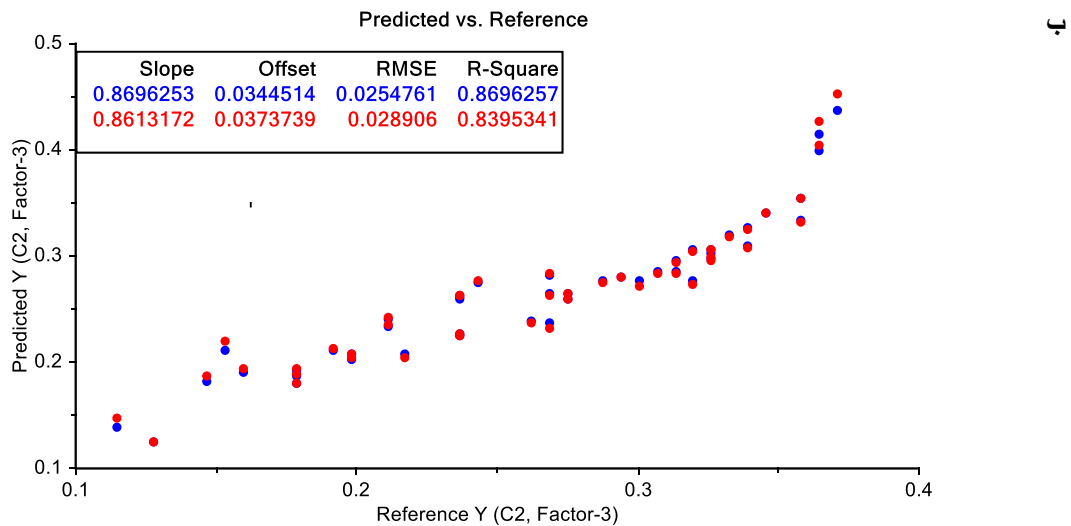
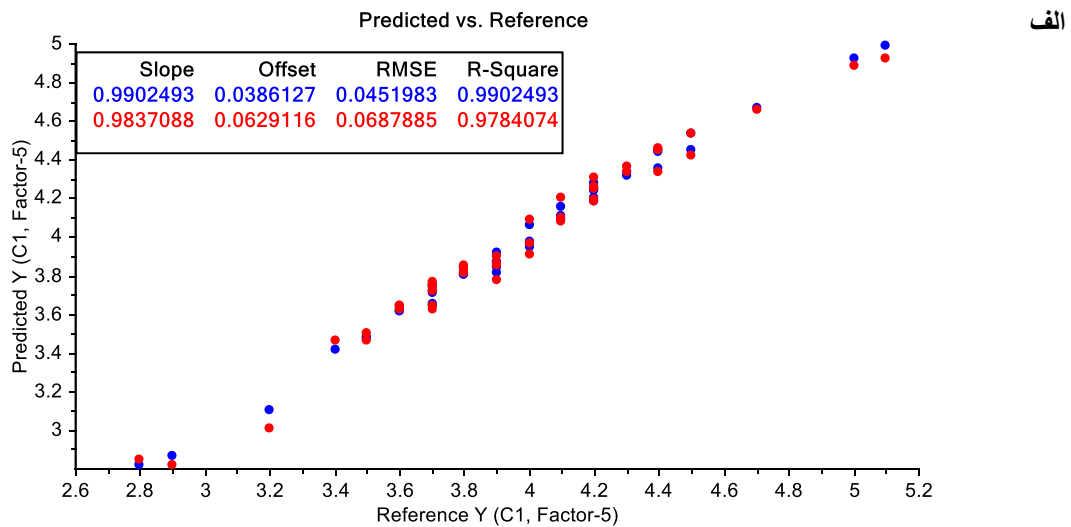
طیف سنجی فرورسرخ نزدیک در بین روش‌های مختلف پیش‌پردازش شامل هموارسازی ساویتزکی-گولای، نرمال‌سازی با بیشینه و کمینه، نرمال‌سازی استواری، استانداردسازی، متغیر نرمال استوار، توزیع نرمال استاندارد (SNV) و تصحیح پخش افزاینده (MSC) گزارش نمودند که بهترین نتیجه با توزیع نرمال استاندارد (SNV) حاصل شده است.



شکل ۳- تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

جدول ۲- مقادیر R^2 ، RMSE برای مجموعه‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل‌های مختلف رگرسیون (PLS)

TA				SSC				پیش پردازش
RMSE _{CV}	R ² _{CV}	RMSE _C	R ² _C	RMSE _{CV}	R ² _{CV}	RMSE _C	R ² _C	
۰/۰۲۹	۰/۸۴۲	۰/۰۲۶	۰/۸۶۶	۰/۰۶۹	۰/۹۷۸	۰/۰۵۶	۰/۹۸۵	بدون پیش‌پردازش
۰/۰۲۹	۰/۸۴۰	۰/۰۲۵	۰/۸۷۰	۰/۰۶۸	۰/۹۷۹	۰/۰۴۵	۰/۹۹۰	هموارسازی ساویتزکی-گولای
۰/۰۴۸	۰/۵۴۹	۰/۰۴۳	۰/۶۳۰	۰/۲۴۰	۰/۷۳۶	۰/۱۹۱	۰/۸۲۶	مشتق اول
۰/۰۵۳	۰/۴۶۲	۰/۰۳۹	۰/۶۸۹	۰/۲۷۴	۰/۶۵۷	۰/۱۵۲	۰/۸۹۰	مشتق دوم
۰/۰۴۲	۰/۶۶۱	۰/۰۳۱	۰/۸۰۲	۰/۱۸۲	۰/۸۴۸	۰/۱۰۹	۰/۹۴۴	خط مبنا
۰/۰۴۲	۰/۶۵۴	۰/۰۳۱	۰/۸۰۲	۰/۲۰۶	۰/۸۰۷	۰/۱۲۶	۰/۹۲۴	توزیع نرمال استاندارد
۰/۰۴۹	۰/۵۲۶	۰/۰۳۱	۰/۸۰۲	۰/۲۴۵	۰/۷۰۵	۰/۱۰۵	۰/۹۴۷	تصحیح پخش افزاینده



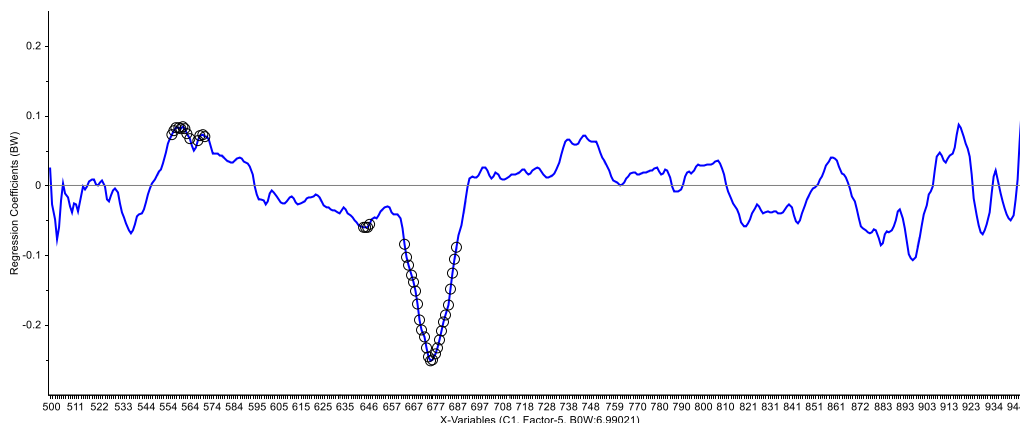
شکل ۴- همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده SSC (الف) و TA (ب) مدل رگرسیون (PLS) پیش‌پردازش شده با هموارسازی ساویتزکی-گولای

توزیع اورتون‌های پیوندهای اصلی (Magwaza et al., 2012) تفکیک نمونه‌های مورد آزمایش براساس شاخص کیفی TA و SSC را می‌توان به اورتون‌های دوم C-H، CH₂ و CH₃ که همگی در ساختار قندها و اورتون دوم OH در محدوده طول موج ۷۰۰ تا ۹۰۰nm که در ساختار اسید سیتریک (اسید غالب خیار) که از اسیدهای کربوکسیلیک با یک گروه عاملی هیدروکسیل (OH) به شمار می‌رود، وجود دارد، نسبت داد. همچنین در این محدوده‌های طول موجی شاهد حضور اورتون‌های H₂O نیز هستیم که احتمالاً با تغییرات محتوای رطوبتی نمونه‌ها خیار در طول دوره نگاه‌داری مرتبط است. نتایج مشابه در تشخیص غیر مخرب پارامترهای کیفی در نمونه‌های پرتغال (Jamshidi et al, 2012)، کیوی (Zhu et al, 2017) و سیب‌زمینی شیرین (Shao et al, 2020) با استفاده از طیف‌سنجی فرسرخ نزدیک نیز گزارش شده است.

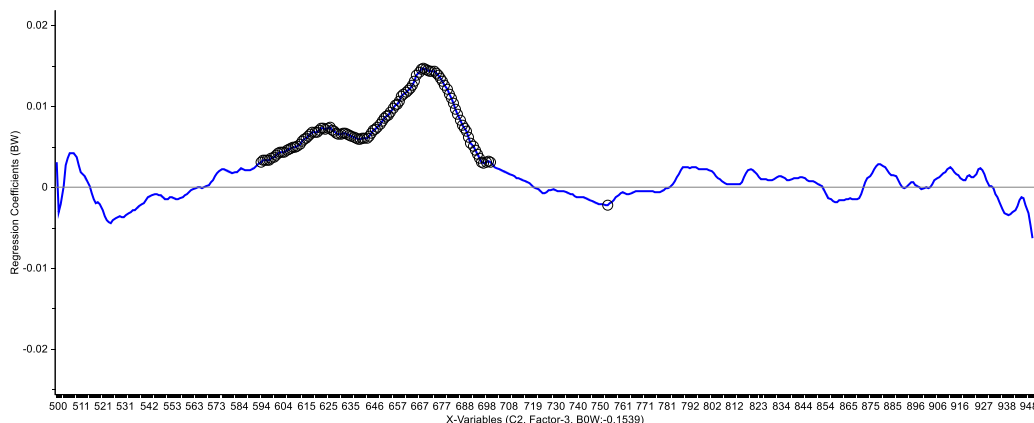
طول موج‌های موثر

براساس ضرایب رگرسیونی مدل (PLS)، داده‌های پیش‌پردازشی با هموارسازی ساویتزکی-گولای که در شکل ۵ نشان داده شده است، به ترتیب ۵۱ و ۱۰۸ طول موج به عنوان طول موج‌های موثر در SSC و TA تخمین شناسایی شدند. همانگونه که در شکل ۵ مشخص است برای SSC طول موج‌های موثر شامل ۱۲ طول موج در محدوده ۵۵۶ تا ۷۵۴ نانومتر، ۴ طول موج ۶۴۴ تا ۶۴۷ نانومتر و باقی آن‌ها در محدوده ۶۵۳ تا ۶۹۰ نانومتر و برای TA شامل محدوده ۵۹۴ تا ۷۰۰ نانومتر و ۷۵۴ تا ۷۵۰ نانومتر را می‌توان به تغییرات میزان آنتوسیانین‌ها و کلروفیل‌ها در نمونه‌ها نسبت داد (Merzlyak et al., 2003) که احتمالاً با کاهش میزان کلروفیل و زرد شدن نمونه‌های خیار برش خورده در طول دوره نگاه‌داری مرتبط است. همچنین براساس چگونگی

الف



ب



شکل ۵- طول موج های موثر بر اساس تغییرات ضرایب رگرسیونی بهترین مدل PLS برای SSC (الف) و TA (ب)

۴- نتیجه گیری

PLS بهترین نتایج با پیش پردازش هموارسازی ساویترکی-گولای حاصل شد. بر اساس ضریب رگرسیون بهترین مدل، به ترتیب ۵۱ و ۱۰۸ طول موج به عنوان طول موج های موثر در تخمین غیرمخرب SSC و TA تعیین شد. در نتیجه به نظر می رسد که روش غیر مخرب تصویربرداری فراطیفی قادر به تخمین pH سبب در دوره انبارداری را با دقت بالا دارد.

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر نوع پوشش و زمان نگهداری بر میزان SSC و TA طیف سنجی بازتابشی در محدوده طول موج های ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ nm انجام شد. پس از حذف نویزها با آنالیز PCA، برای بهبود طیف، پیش پردازش های اولیه مختلف اعمال و اثرات آنها مورد بررسی قرار گرفت. مدل مناسب با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تعیین گردید. طول موج های مهم براساس ضریب رگرسیون بهترین مدل انتخاب و شد. براساس آنالیز

منابع

- طهماسبی، م.، گلمحمدی، ع. و طباطبایی کلور، ر. (۱۳۹۶). اندازه گیری دبی جرمی شلتوک با استفاده از حسگر خازنی و مدل سازی آن با رگرسیونی چندگانه، ANN و ANFIS. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۸(۲)، ۲۲۱-۲۲۷.
- موکش، ش.، میره ای، ا.، صادقی، م. و ناظری، م. (۱۳۹۵). تخمین پارامترهای کیفی لیموشیرین (limetta Citrus) با استفاده از روش غیرمخرب طیفسنجی SWNIR/V. مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۷(۴)، ۶۰۳-۶۱۳.
- Andrade, S. C., Baretto, T. A., Arcanjo, N. M., Madruga, M. S., Meireles, B., Cordeiro, Â. M., ... & Magnani, M. (2017). Control of Rhizopus soft rot and quality responses in plums (*Prunus domestica* L.) coated with gum arabic, oregano and rosemary essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13251.
- AOAC (2005). Official method 942.15, Acidity (Titratable) of fruit products. Official methods of analysis of AOAC International (16th ed.). Gaithersburg Maryland: AOAC International.

- Artes, F., Conesa, M. A., Hernandez, S., & Gil, M. I. (1999). Keeping quality of fresh-cut tomato. *Postharvest Biology and technology*, 17(3), 153-162.
- Beghi, R., Giovenzana, V., Civelli, R., & Guidetti, R. (2016). Influence of packaging in the analysis of fresh-cut *Valerianella locusta* L. and Golden Delicious apple slices by visible-near infrared and near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 171, 145-152.
- BEN-GERA, I. T. A. M. A. R., & NORRIS, K. H. (1968). Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. *Journal of Food Science*, 33(1), 64-67.
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Shah, N., & Smith, P. (2011). Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*, 44(7), 1888-1896.
- Ding, J., Zhang, R., Ahmed, S., Liu, Y., & Qin, W. (2019). Effect of sonication duration in the performance of polyvinyl alcohol/chitosan bilayer films and their effect on strawberry preservation. *molecules*, 24(7), 1408.
- Etemadipoor, R., Ramezani, A., Dastjerdi, A. M., & Shamili, M. (2019). The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 251, 101-107.
- Farhadi, R., Afkari-Sayyah, A. H., Jamshidi, B., & Gorji, A. M. (2020). Prediction of internal compositions change in potato during storage using visible/near-infrared (Vis/NIR) spectroscopy. *International Journal of Food Engineering*, 16(4).
- Heidari, P., Rezaei, M., Sahebi, M., & Khadivi, A. (2019). Phenotypic variability of *Pyrus boissieriana* Buhse: Implications for conservation and breeding. *Scientia Horticulturae*, 247, 1-8.
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2012). Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85, 64-69.
- Khalifa, I., Barakat, H., El-Mansy, H. A., & Soliman, S. A. (2016). Improving the shelf-life stability of apple and strawberry fruits applying chitosan-incorporated olive oil processing residues coating. *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 10-19.
- Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., Golzarian, M. R., & Sazgarnia, A. (2017). Non-destructive evaluation of maturity and quality parameters of pomegranate fruit by visible/near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 41-52.
- Kim, S. Y., Hong, S. J., Kim, E., Lee, C. H., & Kim, G. (2021). Neural Network based Prediction of Soluble Solids Concentration in Oriental Melon using VIS/NIR spectroscopy. *Applied Engineering in Agriculture*, (in press). doi: 10.13031/aea.14332.
- Kljusurić, J. G., Jurina, T., Valinger, D., Benkovi, M., & Tušek, A. J. (2020). NIR spectroscopy and management of bioactive components, antioxidant activity, and macronutrients in fruits. In *Fruit Crops* (pp. 95-109). Elsevier.
- Kuroki, S., Kanoo, T., Itoh, H., & Kamisoyama, H. (2020). Nondestructive VIS/NIR spectroscopy estimation of intravitelline vitamin E and cholesterol concentration in hen shell eggs. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(2), 1116-1124.
- Lin, H., & Ying, Y. (2009). Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality: a review. *Sensing and instrumentation for food quality and safety*, 3(2), 130-141.
- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae*, 176, 45-53.
- Mahfoudhi, N., & Hamdi, S. (2015). Use of Almond Gum and Gum Arabic as Novel Edible Coating to Delay Postharvest Ripening and to Maintain Sweet Cherry (*Prunus avium*) Quality during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1499-1508.
- Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E., & Gitelson, A. A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest biology and technology*, 27(2), 197-211.
- Nakajima, S., Genkawa, T., Miyamoto, A., & Ikehata, A. (2021). Useful tissues in cabbage head for freshness evaluation with visible and near infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 339, 128058.
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Application of Visible to Near-Infrared Spectroscopy for Non-Destructive Assessment of Quality Parameters of Fruit. In *Infrared Spectroscopy-Principles, Advances, and Applications*. IntechOpen.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Antioxidant properties and shelf-life extension of fresh-cut tomatoes stored at different temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(15), 2606-2614.

- Omoba, O. S., & Onyekwere, U. (2016). Postharvest physicochemical properties of cucumber fruits (*Cucumis sativus* L) treated with chitosan-lemon grass extracts under different storage durations. *African Journal of Biotechnology*, 15(50), 2758-2766.
- Puangsombut, A., Pathaveerat, S., Terdwongworakul, A., & Puangsombut, K. (2012). Evaluation of internal quality of fresh-cut pomelo using VIS/NIR transmittance. *Journal of texture studies*, 43(6), 445-452.
- Qin, J., Kim, M. S., Chao, K., Dhakal, S., Cho, B. K., Lohumi, S., ... & Huang, M. (2019). Advances in Raman spectroscopy and imaging techniques for quality and safety inspection of horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 101-117.
- Riva, S. C., Opara, U. O., & Fawole, O. A. (2020). Recent developments on postharvest application of edible coatings on stone fruit: A review. *Scientia Horticulturae*, 262, 109074.
- Rossel, R. A. V. (2008). ParLeS: Software for chemometric analysis of spectroscopic data. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 90(1), 72-83.
- Shao, Y., He, Y., Gómez, A. H., Pereir, A. G., Qiu, Z., & Zhang, Y. (2007). Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 672-678.
- Shao, Y., Liu, Y., Xuan, G., Wang, Y., Gao, Z., Hu, Z., ... & Wang, K. (2020). Application of hyperspectral imaging for spatial prediction of soluble solid content in sweet potato. *RSC Advances*, 10(55), 33148-33154.
- Shewfelt, R. L. (2014). Measuring quality and maturity. In *Postharvest Handling* (pp. 387-410). Academic Press.
- Sørensen, M., Raaschou-Nielsen, O., Brasch-Andersen, C., Tjønneland, A., Overvad, K., & Autrup, H. (2007). Interactions between GSTM1, GSTT1 and GSTP1 polymorphisms and smoking and intake of fruit and vegetables in relation to lung cancer. *Lung Cancer*, 55(2), 137-144.
- Srivichien, S., Terdwongworakul, A., & Teerachaichayut, S. (2015). Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering*, 150, 29-34.
- Wu, M., Sun, J., Lu, B., Ge, X., Zhou, X., & Zou, M. (2019). Application of deep brief network in transmission spectroscopy detection of pesticide residues in lettuce leaves. *Journal of Food Process Engineering*, 42(3), e13005.
- Zhang, N., Zhang, C., Han, C., & Shen, T. (2018, July). The Handling Approach of Near-Infrared Spectroscopy for Apple Quality Prediction Based on Digital Signal Processing. In *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 4136-4140). IEEE.
- Zhu, H., Chu, B., Fan, Y., Tao, X., Yin, W., & He, Y. (2017). Hyperspectral imaging for predicting the internal quality of kiwifruits based on variable selection algorithms and chemometric models. *Scientific reports*, 7(1), 1-13.

Near-infrared spectroscopy for Non-destructive determination of Quality of fresh cut cucumber during shelf life

Amir Hossein Afkari Sayah¹ ; Mohammad Tahmasebi² ; Ali Koramifar²

1 -Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2 -PhD candidate, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Email Address:ahafkari@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Fruits and vegetables contain many nutrients that are essential for humans and significantly protect human health. Increasing consumption of fruits and vegetables has been suggested as an effective way to significantly improve public health in the world, and researchers believe that if per capita consumption of fruit increases, a large number of deaths before the age of 65 can be prevented. Consumption of fruits and vegetables is very high in the whole world, however, in different countries and regions, there is a big difference in terms of quantity and type of fruit. The World Health Organization and the Food and Agriculture Organization (FAO) advise people to consume these products as a priority to increase public health. One of the simplest operations in the post-harvest stages in a variety of fruits and vegetables is cutting the crop, which is known as sliced fruits and vegetables. In this process, the intact product is cut to different thicknesses after washing. This process is common in various products such as cucumbers, lettuce, cabbage, tomatoes, carrots, apples, peaches, citrus fruits, and watermelons and can facilitate their direct consumption for the consumer. However, one of the problems in the preparation of sliced products is the reduction of product shelf life, in which case the existence of a control and monitoring system for product safety and quality seems necessary. But at present, there is no standard method and system of tools to monitor the quality of these products. Quality in healthy and uncut products is also usually done using techniques such as soluble solids content (SSC) or fruit texture properties by measuring hardness. The fruits selected as samples for evaluation of quality parameters are wasted because they can not be returned to the shipment after destruction. In addition, the fruits selected as a sample may not accurately reflect the actual condition of the consignment because it has been proven that fruits harvested from a tree branch may also have different quality characteristics. Therefore, it seems necessary to find non-destructive alternative techniques that can analyze the whole shipment without losing samples. In the last four decades, several methods for evaluating the quality of non-destructive products have been developed, only a few of which have been able to meet the favorable conditions technically and industrially and have economic justification. Optical, mechanical, chemical, and electromagnetic, and acoustic methods have played a major role in the development of non-destructive tests, but the methods used have the ability to explore the limited properties of fruits. Therefore, it is necessary to carefully review the prevailing conditions in these methods and to include them in the reporting or recording of test results. Among the mentioned methods, the application of electromagnetic waves, especially visible / near-infrared spectroscopy technology, has been commercialized due to its high accuracy and reproducibility and has had significant value for post-harvest industries.

Methodology

Fresh cucumbers were prepared from the market with a uniform shape and color and without any signs of mechanical damage or fungal rot, and were immediately cut into rings with a thickness of 5 mm. A total of 48 slices of cucumber were prepared for data collection, of which 24 were uncoated and 24 were covered with light polyethylene film (cellophane) for 8 time periods. The samples were stored in a refrigerator at 5 ° C. In order to obtain the spectrum of the samples, a spectroradiometer model PS-100 (Apogee Instruments, INC., Logan, UT, USA) made in the USA was used. The soluble solids (SSC) of the samples were measured in Brix ° by a digital refractometer (PrismaTech BPTR50, Iran) by pouring a drop of fruit juice onto the refractometer glass plate. The titratable acidity (TA) was also determined using the 942.15 AOAC standard. For this purpose, gr5 of each sample was homogenized with 50 mL of distilled water using a home mixer. The mixture was filtered through a filter paper, then 5 mL of the homogeneous and filtered mixture and 1 mL of phenolphthalein (10 g / m) with distilled water were brought to a volume of 200 mL and the solution was stirred using 0.1 N NaOH (NaOH) to PH = 2.8 and the stable appearance of pink color was titrated. The amount of TA

was expressed in terms of citric acid (fruit mold acid) and in percentage (grams of citric acid per 100 gr of cucumber). During spectral imaging, for some reason, some of the data obtained from the samples may be inadequate. In order to remove skewed samples, principal component analysis was used before any processing on the data. The application of non-destructive methods based on spectroscopy in the full range of wavelengths requires a lot of time and money, which makes the practical application of this method almost impossible. Therefore, one should look for a way to find the optimal wavelengths and limit the wavelengths to the minimum possible. The partial least squares (PLS) regression method seems ideal in this regard. In this study, in order to build the models, the data were randomly divided into two parts: 80% of the samples were used for cross-training and cross-validation and the rest of the data were used for independent validation. Models (PLS) were extracted for all predictions made on the data, and the statistical indices of correlation coefficient and root mean square error (RMSE) (Equations 1 and 2) were used to determine the best model to use.

Conclusion

The SSC and TA values of the chopped cucumber specimens in stages during the storage period for uncoated specimens and coated with lightweight polyethylene film are shown in Table 1. Based on the results, over time in each series of uncoated and coated samples, the amount of SSC increased and TA decreased in the samples. However, the present results show that the coverage of the samples has slowed down the process of these changes. Soluble solids are one of the most important factors determining the edible quality of fruits. The amount of SSC indicates the sweetness of the fruit and increases when reached by hydrolysis of starch by catabolic processes such as respiration to simple sugars. Mean absorption spectra Vis / NIR absorption spectra for different treatments in the range of 1000-500 nm are shown in Figure 2. Environmental factors (light and heat) as well as the expression quality of the spectrometer cause perturbations in the initial and final wavelengths of the spectra, so these wavelengths are removed from the data set. Based on the results of PCA analysis, the first principal component (PC-1) describes 93% and the second principal component (PC-3) describes 1% of the variance of the samples tested. As a result, the first two main components together represent 94% of the data. Due to the fact that the relationship between the properties of different samples during the experiments, for various reasons such as technical problems of equipment, data collection, incorrect sampling in some samples may be inappropriate or corrected.

Keywords

TA; Near-infrared spectroscopy; Cucumber; Coating