طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک جهت تخمین میزان قند ارقام مختلف سیب‌زمینی

اسما کیسالائی [۱*]، غلامحسین شاهقلی [۲] ، عبدالمجید معین‌فر [۳] ، علی خرمی‌فر [۴]

۱*- دانشجوی دکتری، مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استاد، مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دکتری، مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- دانشجوی دکتری، مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*ایمیل نویسنده مسئول: a.kisalaei@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۰۵

چکیده

سیب‌زمینی گیاهی است مهم که در سراسر جهان رشد می‌کند و به عنوان یک محصول مهم در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته برای رژیم غذایی انسان به عنوان یک منبع کربوهیدرات، پروتئین، و ویتامین‌ها به حساب می‌آید. این محصول بومی آمریکای جنوبی و اصل آن از کشور پرو می‌باشد و پس از گندم، برنج و ذرت، چهارمین محصول در سبد غذایی جوامع بشری است. 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. در این پژوهش رابطه بین میزان SSC و میزان جذب طول موج سیب‌زمینی بررسی شد. طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک جذبی در محدوده طول موج های ۴۰۰-۱۱۰۰ نانومتر انجام و میزان SSC 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. همچنین مقایسه نتایج مربوطه، نشان داد که این روش توانایی بسیار بالایی برای پیش‌بینی SSC دارد. در نتیجه به نظر می رسد که طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک با دقت بالایی قادر به تخمین کیفیت ارقام مختلف سیب‌زمینی است.

کلمات کلیدی

"سیب‌زمینی"، "رقم"، "طیف سنجی"، "قند"

۱- مقدمه

سیب زمینی گیاهی است مهم که در سراسر جهان رشد می کند و به عنوان یک محصول مهم در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته برای رژیم غذایی انسان به عنوان یک منبع کربوهیدرات، پروتئین، و ویتامینها به حساب می آید. این محصول بومی آمریکای جنوبی و اصل آن از کشور پرو می باشد و پس از گندم، برنج و ذرت، چهارمین محصول در سبد غذایی جوامع بشری است. طبق آمار سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد سطح زیر کشت این محصول در ایران در سال ۲۰۱۷، ۱۶۱ هزار هکتار بوده است و محصول برداشت شده از این سطح حدود ۵,۱ میلیون تن می باشد. با افزایش انتظارات برای محصولات غذایی با استانداردهای کیفی و ایمنی بالا، نیاز به تعیین دقیق، سریع و هدفمند ویژگی‌های آنها ضروری است. در محصول سیب‌زمینی ارزیابی کیفی، پس از برداشت و جداسازی، برای ارائه محصولی قابل اعتماد و یکنواخت به بازار اهمیت بالایی دارد، زیرا سیب‌زمینی مانند بسیاری از محصولات دیگر دارای کیفیت و رسیدگی غیر یکنواخت در مرحله برداشت است. در حالیکه کیفیت سیب‌زمینی خام در درجه اول بر اساس اندازه، شکل، رنگ و جذابیت غده تعیین می‌شود اما کیفیت سیب‌زمینی عموماً از طریق بررسی کیفیت محصول نهایی حاصل از آن تعیین می‌شود. کیفیت محصولات فرآوری شده از نظر رنگ، عطر و طعم و بافت مورد بررسی قرار می‌گیرد. کیفیت بیشتر محصولات فرآوری شده از کیفیت سیب‌زمینی خام نشات می‌گیرد. یکنواختی در اندازه، شکل و ترکیبات برای کیفیت مطلوب لازم می‌باشد. در طول ذخیره‌سازی، فرآوری و یا پخت، سیب‌زمینی در معرض انواع پدیده‌ها قرار می‌گیرد که بر کیفیت نهایی محصول تاثیر می‌گذارد. برای مصرف کنندگان، ویژگی‌های کیفی اصلی سیب‌زمینی رنگ، اندازه و بافت می‌باشد. با این حال، ارزیابی کیفی برای فرآوری صنعتی سیب‌زمینی، شامل پارامترهای مختلف از جمله میزان ماده خشک، میزان نشاسته و خصوصیات آن، عمر قفسه‌ای پس از برداشت (انبارمانی) و بعد از فرآوری است. نوع رقم، ترکیبات فیزیکی وشیمیایی و نحوه ذخیره‌سازی پس از برداشت عوامل مهمی هستند که می‌توانند ویژگی‌های پخت سیب‌زمینی و محصولات سیب‌زمینی را تحت تاثیر قرار دهند. ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی شامل دو روش عمده، سیستم‌های درجه‌بندی کیفی مبتنی بر خواص ظاهری محصولات کشاورزی و سیستم‌های درجه‌بندی کیفی مبتنی بر ارزیابی کیفی درونی که امتیاز برجسته‌ای در سال‌های اخیر پیدا کرده است، می‌باشد. در این بین، روش‌های متعددی تاکنون برای درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی بر مبنای ارزیابی خواص درونی آنها به طور غیر مخرب ابداع شده‌اند که تنها برخی از آنها توانسته است شرایط فوق را برآورده ساخته و از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند.

در این بین طیف سنجی می تواند کارایی بالا در تعیین کیفیت ارقام داشته باشد. طیف سنجی نوعی سیستم است که ساختار و رویکردی متفاوت از سایر روش ها (پردازش تصویر، شبکه عصبی و ...) دارد و می تواد کلاس بندی و تعیین کیفیت رقم را انجام دهد. نخستین بار بئن-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 بازتابشی 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 پیش‌بینی کردند. ضریب همبستگی برای پیش بینی SSC برابر با ۰/۸۹ و میزان خطا نیز برابر با ۰/۳۷۷ درجه بریکس بود. در پژوهشی، برای پیش‌بینی کمی میزان نیترات در آناناس از روش طیف سنجی vis/NIR استفاده شد. طیف هر یک از آناناس‌ها با استفاده از یک اسپکتروفتومتر vis/NIR در حالت بازتابشی با طول موج در ناحیه ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر به دست آمد. مقدار واقعی نیترات در آناناس توسط HPLC تعیین شد. در پژوهشی که با استفاده از اسپکتروسکوپی و روش PLS و ANN برای مدلسازی جهت تعیین میزان کربوهیدرات و پروتئین اسپیرولینا انجام شد محققان گزارش کردند که پیش بینی توسط روش PLS برای تعیین میزان کربوهیدرات و فیبر کارآمدتر از روش ANN بوده و به مقدار واقعی نزدیکتر است. همچنین Alexandra Chudnovsky و همکاران (۲۰۱۸) مطالعاتی جهت پیش بینی میزان کربوهیدرات جلبک بوسیله NIR و microelectromechanical انجام دادند و طبق بررسی آن ها مشخص گردید که مدل PLS نتیجه قابل قبولی در خصوص پیش بینی میزان کربوهیدرات (با RMSEP ۹،۵ درصد) دارد. محصولات برش خورده پوانگسومبوت و همکاران (Puangsombut et al, 2012) امکان استفاده از طیف‌سنجی Vis/NIR را در حالت عبوری برای پیش‌بینی محتوای مواد جامد محلول (SSC) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) دارابی تازه برش خورده بررسی و گزارش نمودند. بیگی و همکاران (Beghi et al, 2016) تأثیر بسته‌بندی بر اندازه‌گیری طیفی فروسرخ نزدیک و در طول عمر پس از برداشت شیرینک و برش‌های سیب گلدن دلیشز 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 برش‌های سیب را می‌توان رضایت بخش در نظر گرفت حتی اگر عملکرد طبقه بندی کمتر از نتایج بدست آمده برای شیرینک باشد همچنین وجود بسته‌بندی تاثیر کمی بر قابلیت طبقه بندی داشت. با افزایش انتظارات برای محصولات غذایی دارای استانداردهای کیفی و ایمنی بالا، نیاز به تعیین دقیق، سریع و هدفمند ویژگی‌های محصولات غذایی در حال حاضر ضروری است. روش‌های دستی به دلیل اینکه قابلیت کنترل خودکار ندارند، بسیار خسته کننده، سخت و پر هزینه هستند و به راحتی توسط عوامل محیطی تحت تاثیر قرار می‌گیرند. امروزه سیستم‌های طیف سنجی، غیرمخرب و مقرون به صرفه هستند و به طور ایده‌آل برای بازرسی‌های معمول و تضمین کیفیت در صنایع غذایی و محصولات مرتبط مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فناوری اجازه می‌دهد تا کارهای بازرسی با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده های مربوط به طول موج صورت پذیرد و یک روش غیر مخرب برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی است.

۲- روش انجام تحقیق

• تهیه نمونه

ابتدا ۳ رقم مختلف سیب زمینی (کلمبو، سانته و میلوا) از مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل تهیه شد. پس از تهیه ارقام داده برداری برای تعیین میزان قند (SSC) انجام شد و همزمان نمونه ها با دستگاه طیف سنج جهت تعیین طول موج‌های نمونه ها مورد آزمایش قرار گرفت.

• استخراج قند

میزان قند هر نمونه نیز در ۱۸ تکرار و با استفاده از دستگاه رفرکتومتر چشمی مدل SBR-62T اندازه‌گیری شد. برای این کار آب نمونه‌ها در دمای محیط روی دستگاه رفرکتومتر قرار داده شد و میزان قند آن بر حسب بریکس (Brix) قرائت شد.

• طیف سنجی

به منظور اکتساب طیف از نمونه‌ها از یک اسپکتروردیومتر مدل PS-100 (Apogee Instruments, INC., Logan, UT, USA) ساخت کشور آمریکا استفاده شد. این اسپکتروردیومتر بسیار کوچک، سبک، قابل‌حمل، دارای تک‌فام‌سازی از نوع پاشنده باقدرت تفکیک ۱ نانومتر و آشکارساز آرایه CCD سیلیکون خطی با ۲۰۴۸ پیکسل است که محدودهٔ طیفی ۲۵۰-۱۱۵۰ نانومتر (Vis/NIR) را به‌خوبی پوشش میدهد. همچنین، قابلیت اتصال فیبر نوری به اسپکتروردیومتر PS-100 و جابجایی اطلاعات به رایانه با هدف نمایش و ذخیره‌سازی طیف‌های اکتسابی در نرم‌افزار Spectra Wiz، بواسطه پورت USB وجود دارد. 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, 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 به‌منظور راحتی در اجرای آزمایش‌ها و به حداقل‌رساندن اثر عوامل محیطی طی فرآیند طیف‌سنجی طراحی و اجرا شد که در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.

• پیش پردازش داده ها

داده‌های حاصل از تصویربرداری طیفی ممکن است در اثر پراکنش نور توسط آشکارساز با تغییر نمونه، تغییر اندازه نمونه، ناهمواری‌های 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 مبنا، توزیع نرمال استاندارد، تصحیح پخش افزاینده بر روی داده‌ها اعمال شد.

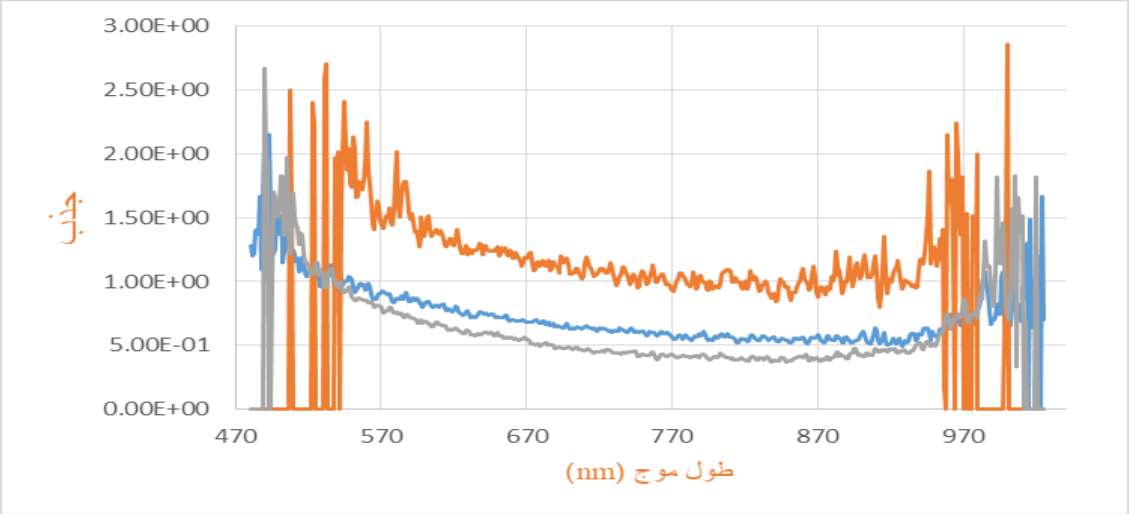
• رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) و تعیین طول موج‌های موثر

بکارگیری روش‌های غیرمخرب مبتنی بر طیف سنجی در بازه کامل از طول موج‌ها، نیازمند صرف وقت و هزینه های 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. پس از آزمون عدم قطعیت مارتینز (MUT)برای حذف طول موج‌های بی اهمیت و افزایش قابلیت اطمینان مدل ایجاد شده با بهترین روش پیش‌پردازش استفاده شد (Kuroki et al., 2020).

۳- نتایج

میانگین طیف‌های جذبی طیف‌های جذبی Vis/NIR برای تیمارهای مختلف در محدوده ۱۰۰۰-۵۰۰ نانومتر در شکل ۱ ارائه شده است.

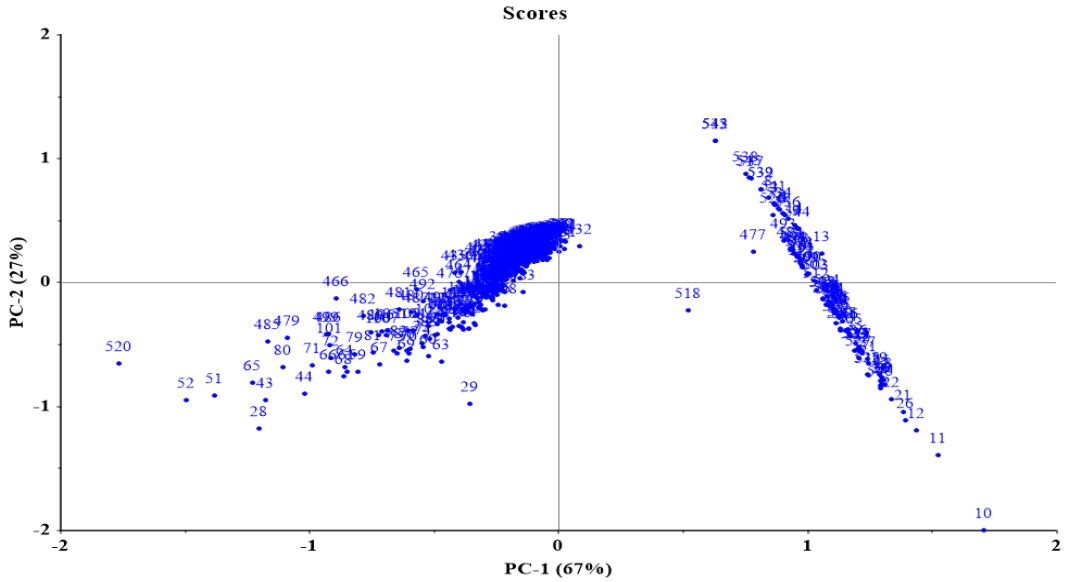


شکل ۱- میانگین طیف‌های جذبی برای ارقام مختلف: آبی) کلمبو، نارنجی) میلوا و طوسی) سانته

عوامل محیطی(نور و گرما) و همچنین کیفیت ابراز طیف‌سنج باعث ایجاد اغتشاش در طول‌موج‌های ابتدایی و انتهایی طیف‌ها می‌شود، بنابراین بخشیاز این طول‌موج‌ها از مجموعه داده‌ها حذف شده و آنگونه که در شکل ۱ مشخص است، نمونه‌ها روندی تقریبا مشابه داشته‌اند؛ این امر ممکن است متأثر از رنگ نمونه‌ها باشد (Clément et al., 2008). با توجه به شکل ۱ دو پیک کاملا مشخص برای طیف‌ها وجود دارد و به این صورت است که برای ارقام کلمبو و سانته پیک‌ها در حوالی طول موج ۴۸۰ و ۱۰۰۰ نانومتر و برای رقم میلوا در حوالی ۵۴۰ و ۹۵۰ نانومتر ظاهر شده‌اند. همچنین در شکل ۱ مشاهده می‌شود که میزان جذب رقم میلوا نسبت به دو رقم دیگر بیشتر است که می‌تواند بخاطر تفاوت در میزان مواد مختلفی چون قند یا SSC باشد.

تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

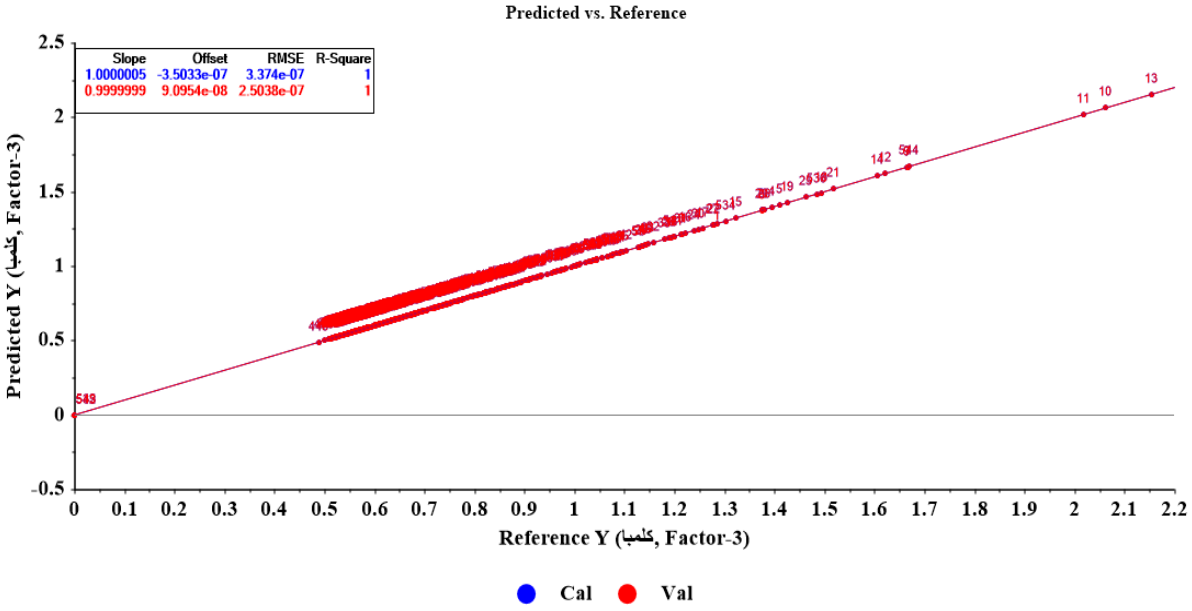
براساس نتایج آنالیز (PCA) که در شکل ۲ ارائه شده است، اولین مولفه اصلی (PC-1) ۶۷٪ و دومین مولفه اصلی (PC-3) ۲۷٪ از واریانس نمونه‌های مورد آزمایش را توصیف می‌کنند. در نتیجه دو مولفه اصلی اول مجموعاً ۹۴٪ از داده‌ها را بیان می‌کنند. با توجه به اینکه ممکن است میزان ارتباط بین خواص نمونه‌ها مختلف در طول انجام 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., 2019; Jamshidi et al., 2012).



شکل ۲- تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

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 در شکل ۳ ارائه شده است که برابر با ۱ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که طیف‌ها قادر به پیش‌بینی SSC با دقت بسیار بالا هستند. خدابخشیان و همکاران (Khodabakhshian et al, 2017) پتانسیل طیف سنجی مرئی و فروسرخ برای طبقه بندی مرحله رسیدگی و پیش بینی 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 افزاینده (MSC) و تمایز با مشتق اول و مشتق دوم، استفاده از تصحیح پخش افزاینده (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 فروسرخ نزدیک برای کاهش نویزها از توابع تصحیح پخش افزاینده (MSC) و توزیع نرمال استاندارد (SNV) استفاده و گزارش نمودند که روش تصحیح پخش افزاینده (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 طیف سنجی فروسرخ نزدیک در بین روش‌های مختلف پیش‌پردازش شامل هموارسازی ساویتزکی-گولای، نرمال‌سازی با بیشینه و کمینه، نرمال-سازی 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. 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).



شکل ۳- همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده SSC با روش PLSR

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی رابطه میزان SSC و مقدار جذب طول موج در سه رقم مختلف سیب‌زمینی (کلمبو، میلوا و سانته) طیف سنجی بازتابشی در محدوده طول موج های ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر انجام شد. پس از حذف نویزها با آنالیز PCA، برای بهبود طیف، پیش پردازش‌های اولیه مختلف اعمال و اثرات آنها مورد بررسی قرار گرفت. مدل مناسب با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تعیین گردید. طول موج‌های مهم براساس ضریب رگرسیون بهترین مدل انتخاب و شد. براساس آنالیز PLS بهترین نتایج با پیش‌پردازش هموارسازی ساویتزکی-گولای حاصل شد. در نتیجه به نظر می رسد که روش غیر مخرب تصویربرداری فراطیفی قادر به تخمین SSC ارقام مختلف سیب‌زمینی است.

منابع

- 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 (16thed.). 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., Ramezanian, 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 Concentrationin 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 (P runus 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 (Cucumber 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'(Lycopersicum 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.

Close infrared spectroscopy to estimate the sugar content of different potato cultivars

Asma Kisalaei[1*]; Gholamhossein Shahgholi[2]; Abdolmajid Moeinfar[2]; Ali Khorramifar[3]

[*]1- Ph.D. student of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2- Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

3- Ph.D. candidate of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

[*]Email Address: a.kisalaei@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Potato is an important vegetable that grows all over the world and is considered an important product in developing and developed countries for the human diet as a source of carbohydrates, proteins, and vitamins. This product is native to South America and its origin is from Peru, and after wheat, rice and corn, it is the fourth product in the food basket of human societies. According to the statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the area under cultivation of this crop in Iran in 2017 was 161 thousand hectares and the crop harvested from this area is about 5.1 million tons. As expectations for food products with high quality and safety standards increase, it is necessary to determine their characteristics accurately, quickly, and purposefully. In the potato crop, quality evaluation, after harvest and isolation, is very important to provide a reliable and uniform product to the market, because the potato, like many other crops, has the non-uniform quality and care during the harvest stage. While the quality of raw potatoes is primarily determined by the size, shape, color, and attractiveness of the tuber, the quality of potatoes is generally determined by examining the quality of the final product. The quality of processed products is examined in terms of color, flavor, and texture. The quality of most processed products stems from the quality of raw potatoes. Uniformity in size, shape, and composition is essential for optimal quality. During storage, processing, or cooking, potatoes are exposed to a variety of phenomena that affect the final quality of the product. For consumers, the main quality characteristics of potatoes are color, size, and texture. However, quality assessment for industrial potato processing includes various parameters such as dry matter content, starch content and characteristics, shelf life after storage (storage), and after processing. The type of cultivar, physical and chemical composition, and post-harvest storage are important factors that can affect the cooking characteristics of potatoes and potato crops. Quality assessment of agricultural products includes two main methods, quality rating systems based on the apparent properties of agricultural products and quality rating systems based on internal quality assessment, which has gained prominence in recent years. In the meantime, several methods have been developed so far for non-destructive quality classification of agricultural products based on the evaluation of their internal properties, only some of which have been able to meet the above conditions and are technically and industrially justified. To be. In the meantime, spectroscopy can have high efficiency in determining the quality of figures. Spectroscopy is a system that has a different structure and approach from other methods (image processing, neural network, etc.) and can classify and determine the quality of the digit.

Methodology

First, 3 different potato cultivars were prepared from Ardabil Agricultural Research Center. After preparing the data, data were collected to determine the amount of sugar (SSC) and at the same time, the samples were tested with a spectrometer to determine the wavelengths of the samples. The glucose level of each sample was measured in 18 replications using an SBR-62T ocular refractometer. To do

this, the water of the samples was placed on a refractometer at ambient temperature and its sugar level was read in terms of Brix. A PS-100 spectroradiometer (Apogee Instruments, INC., Logan, UT, USA) made in the USA was used to obtain the spectrum of the samples. This ultra-small, lightweight, portable spectrophotometer has a 1nm sprayer-type single-diffuser and a linear silicon CCD array detector with 2048 pixels, which has a range of 250-150 nm (Vis / NIR) cover. There is also the ability to connect fiber optics to the PS-100 spectroradiometer and transfer data to a computer for the purpose of displaying and storing the acquired spectra in the Spectra Wiz software via the USB port. The data obtained from spectral imaging may be affected by the scattering of light by the detector by changing the sample, changing the sample size, surface roughness in the sample, noise caused by the temperature of the device and many other factors, and unwanted information Affect the accuracy of calibration models. Therefore, data processing is required to achieve stable, accurate, and reliable calibration models. 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.

Conclusion

Mean absorption spectra Vis / NIR absorption spectra for different treatments in the range of 1000-500 nm are shown in Figure 1. Environmental factors (light and heat) as well as the quality of spectrometer expression cause perturbations in the initial and final wavelengths of the spectra, so part of these wavelengths are removed from the data set and as shown in Figure 1, the samples had a roughly similar pattern; This may be due to the color of the samples. According to Figure 1, there are two well-defined peaks for the spectra, and it appears that for the Colombo and Sante cultivars the peaks appeared at around 480 and 1000 nm and for the Milwa cultivar at around 540 and 950 nm. Figure 1 also shows that the absorption rate of the Milwa cultivar is higher than the other two cultivars, which can be due to differences in the number of different substances such as sugar or SSC. Based on the analysis (PCA) results presented in Figure 2, the first principal component (PC-1) describes 67% and the second principal component (PC-3) describes 27% of the variance of the samples tested. As a result, the first two principal components together represent 94% of the data. Due to the fact that the relationship between the properties of different samples during the tests, for various reasons such as technical problems of equipment, data collection, incorrect sampling, etc. in some samples is inappropriate or to correct. To be out. The values of R^2 and RMSE for the calibration and validation sets of different regression models (PLS) with raw and processed data are presented in Figure 3, which is equal to 1.

Keywords

Potato; Cultivar; Spectroscopy; Sugar