

## ارزیابی غیرمخرب رسیدگی میوه انجیر با استفاده از طیفسنجی فروسرخ نزدیک موج کوتاه / مرئی

رضا صیاد حق شمارا<sup>۱</sup>، رضا محمدی گل<sup>۲\*</sup> و بابک ولی زاده کاجی<sup>۲</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیاران گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، شهر اراک، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۴

### چکیده

در تحقیق حاضر، طیفسنجی بازتابی مرئی / فروسرخ نزدیک موج کوتاه (Vis/SWNIR) در محدوده ۹۵۰-۴۲۵ نانومتر به منظور پیش‌بینی شاخص مزه و سفتی بافت میوه انجیر بررسی شد. علاوه بر این، عملکرد طبقه‌بندی‌های LDA و QDA در تفکیک انجیرهای رسیده، نیمه‌رسیده و نرسیده بر پایه ترکیب روشن‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی بررسی گردید. تعداد ۱۶۷ میوه انجیر پس از حذف داده‌های پرت برای تدوین و اعتبارسنجی مدل‌ها انتخاب شدند. از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای استخراج مؤلفه‌های اصلی طیف‌ها استفاده شد. عملکرد مدل حداقل مربعات جزئی (PLS) و روش‌های رایج پیش‌پردازش داده‌های طیفی با شاخص‌های: انحراف پیش‌بینی باقیمانده (RPD)، ضریب همبستگی تخمین ( $r_p$ ) و ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) ارزیابی شد. کارآمدی طبقه‌بندی‌ها به همراه روش‌های پیش‌پردازش نیز با درصد دقت تفکیک درست دسته نمونه‌های آزمون اعتبارسنجی شد. بیشترین شاخص RPD در پیش‌بینی سفتی بافت و شاخص مزه به ترتیب برابر ۱/۷۹ ( $r_p=+0/845$  و  $RMSEP=1/64$ ) و ۰/۸۹ ( $r_p=+0/215$  و  $RMSEP=10/09$ ) در پیش‌پردازش ترکیبی میانگین‌گیری متحرک (MA) و De-trending به دست آمد. دقت تفکیک درست طبقه‌بندی‌های LDA و QDA نیز برابر ۹۳/۳۳ درصد (بدون پیش‌پردازش طیف‌ها) به دست آمد.

### واژه‌های کلیدی

رسیدگی انجیر، حداقل مربعات جزئی، طیفسنجی مرئی / فروسرخ نزدیک موج کوتاه، طبقه‌بندی، غیرمخرب

### مقدمه

نیمه‌گرمسیری طبقه‌بندی کرده‌اند. تولید سالانه انجیر در ایران بیش از ۷۰۱۷۸ تن و بیشترین سطح زیر کشت و تولید آن در ایران مربوط به استان فارس است (Ghorbani et al., 2018). مزه یکی از ویژگی‌های کیفی مهم در مصرف میوه و سبزی‌های

میوه انجیر<sup>۱</sup> به دلیل طعم جذاب، رنگ و ارزش‌های تغذیه‌ای و دارویی آن میوه‌ای است شناخته شده. موطن اصلی انجیر نواحی مدیترانه است و به همین دلیل آن را جزو میوه‌های مناطق

۳۵۰ نانومتر از طیف الکترومغناطیسی به نام مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه<sup>۶</sup> شناخته می‌شود (Jamshidi, 2020). به‌علت بالا بودن مقدار آب در میوه‌ها و سبزی‌ها (۹۰-۸۰ درصد)، باندهای جذبی مربوط به آب در طیف فروسرخ نزدیک آنها غالب است (Magwaza et al., 2012). مرکز تقریبی باندهای جذبی مربوط به آب در طول موج‌های ۹۷۰، ۱۲۰۰، ۱۴۵۰، ۱۹۵۰ و ۲۲۵۰ نانومتر گزارش شده است (Magwaza et al., 2012) از این رو، انتخاب ناحیه طیفی مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه در موضوع‌های متکی بر تحلیل‌های کمی ترکیباتی از میوه‌ها که علائم طیفی آنها در این گستره قرار می‌گیرد از نظر کاهش اثر آب در طیف نمونه، انتخاب مناسبی به نظر می‌رسد. مونرا و همکاران (Munera et al., 2017) در تحقیق خود کیفیت داخلی میوه خرمالو (واریته رهو بریلانتا)<sup>۷</sup> را با استفاده از مدل‌سازی داده‌های حاصل از تصویربرداری ابرطیفی در محدوده مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه (۴۵۰-۱۰۲۰ نانومتر) بررسی کردند. این محققان نمونه‌های مورد بررسی را با سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن تیمار کردند تا نمونه‌هایی با درجه‌های مختلف رسیدگی و سطوح متفاوت از گسی<sup>۸</sup> (تانن انحلال پذیر) داشته باشند. آن‌ها از داده‌های طیفی در تدوین مدل‌های طبقه‌بندی برای پیش‌بینی سطوح مختلف رسیدگی و گسی استفاده کردند و از مدل رگرسیونی حداقل مربعات جزئی برای پیش‌بینی سفتی گوشت میوه بهره بردند. طول موج‌های بهینه توسط تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۵۸۰، ۶۸۰ و ۱۰۵۰ نانومتر تعیین شدند. دقت طبقه‌بندی مدل‌ها بالای ۹۲ درصد به

تازه است. مزه میوه ترکیبی از حس ترشی و شیرینی است که به ترتیب به اسیدیت قابل تیتراژ<sup>۱</sup> و مقدار ذرات جامد انحلال‌پذیر<sup>۲</sup> مربوط است. از شاخص مزه<sup>۳</sup> به عنوان معیار مقبولیت میوه استفاده می‌شود (Jamshidi et al., 2012). سفتی بافت<sup>۴</sup> انجیر نیز یکی دیگر از شاخص‌های کیفی آن برشمرده شده است (Tuai et al., 2020) و استفاده از این شاخص به تنهایی به‌عنوان معیار رسیدگی، در درجه‌بندی غیرمخرب برخی از میوه‌ها معرفی شده است (Matteoli et al., 2015; Torkashvand et al., 2017). طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک این امکان را فراهم می‌سازد که ارزیابی کیفی به‌صورت آسان، سریع، دقیق، غیرمخرب، ارزان و بدون نیاز به آماده‌سازی قبلی نمونه صورت گیرد و اندازه‌گیری‌های برخط<sup>۵</sup> به دلیل وجود پتانسیل توسعه ابزار اندازه‌گیری مورد نیاز نیز ممکن شود (Cortés et al., 2019). پیشرفت فعلی و رو به رشد فناوری تجهیزات نوری در دنیا باعث کوچک‌تر شدن ابعاد و اجزای طیف‌سنج‌ها شده است، پژوهشگران نیز کاربردهای عملی انواع طیف‌سنج‌های قابل‌حمل را که با تعداد طول موج‌های کمتری کار می‌کنند بررسی کرده‌اند (Szuwandziesiev et al., 2014; Yan & Siesler, 2018; Maraphum et al., 2020). اساس طیف‌سنجی، جذب تابش نور در فرکانس‌های ارتعاش مولکولی گروه‌های پیوندی است. جذب نور در بازه ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر (مرئی)، ناشی از انتقال‌های الکترونی و در محدوده ۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر (فروسرخ نزدیک) به دلیل ارتعاش‌های ترکیبی و اورتون‌های گروه‌های پیوندی N-H، O-H و C-H است (Cortés et al., 2019). ناحیه ۱۱۰۰-

1- Titratable Acidity (TA)  
3- SSC/TA  
5- On/in line  
7- Variety: Rojo Brillanta

2- Soluble Solid Content (SSC)  
4- Flesh firmness  
6- Vis/SWNIR  
8- Astringency

دست آمد. مدل تحلیل طبقه‌بندی مرتبه دوم<sup>۱</sup> در تفکیک سطح گسی دقت ۹۵ درصد را نتیجه داد. در طول موج‌های ذکر شده در تخمین درجه سفتی،  $R^2=0/8$  و RPD برابر ۱/۸۶ به دست آمد. این محققان به این جمع‌بندی رسیدند که تصویربرداری ابرطیفی به عنوان یک ابزار غیرمخرب در ارزیابی سفتی، رسیدگی و مقدار گسی میوه خرمالو پتانسیل لازم را دارد. در مورد تخمین مقدار سفتی میوه هلو با استفاده از طیفسنجی فروسرخ نزدیک (۸۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) به کمک روش مدل‌سازی حداقل مربعات جزئی بهترین نتیجه با پیش‌پردازش تصحیح پخش افزایشنده<sup>۲</sup> برابر  $\Gamma_{cv}=0/864$  و  $RMSEP = 5/42$  گزارش شده است (Fu *et al.*, 2008). در سنجش کمی سفتی میوه کیوی، بهترین عملکرد مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ورودی: نسبت‌های غلظت عناصر تغذیه‌ای<sup>۳</sup>) به دست آمده  $\Gamma_p=0/85$  و  $RMSEP=0/539$  گزارش شده است (Torkashvand *et al.*, 2017). Alhamdan *et al.*, 2019) با استفاده از طیفسنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (۱۲۰۰-۲۸۵ نانومتر) ویژگی‌های بافتی و حسی خرما (واریته خلال برهی)<sup>۴</sup> را در شرایط انبار شده ارزیابی کردند و نمونه‌های خود را در سه سطح رسیدگی (سبز، زرد و قهوه‌ای) فراهم و نمونه‌ها را به دو قسمت تقسیم کردند. گروه اول برای بررسی در شرایط میوه تازه و گروه دوم در شرایط محیطی سه‌گانه مختلف تا ۱۲۰ روز انبار شدند. نتایج گزارش شده حاکی از عملکرد خوب مدل رگرسیون مؤلفه‌های اصلی در پیش‌بینی سفتی بافت (۱/۰۵ =  $RMSEP$  و  $R^2p=0/905$ ) و چسبندگی (۱/۳۴۱ =

در پیش‌بینی خاصیت جوندگی<sup>۵</sup> عملکرد ضعیفی ( $RMSEP = 3/563$  و  $R^2p=0/675$ ) داشته است. این محققان می‌گویند که این نتایج در فرآیند درجه‌بندی برخط تجاری بر پایه ویژگی‌های کیفی با به‌کارگیری ابزار اندازه‌گیری مبتنی بر طیف‌های فروسرخ نزدیک کاربردی است. پوردربانی و همکاران (Pourdarbani *et al.*, 2020) طیف‌های بازتابی محدوده مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه ۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر را برای سنجش کمی پارامترهای سفتی بافت، اسیدیته و مقدار نشاسته سیب فوجی<sup>۶</sup> به‌وسیله مدل‌های رگرسیونی شبکه‌های عصبی مصنوعی و حداقل مربعات جزئی بررسی و داده‌های طیفی ۱۰۰۰-۴۲۰ نانومتر را بر مبنای کل طول موج‌ها و طول موج‌های بهینه محدوده مذکور مدل‌سازی کردند. در مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطای دسته نمونه‌های آزمون در سنجش سفتی بافت بهتر از مدل حداقل مربعات جزئی و به ترتیب ۰/۸۴۹ و ۰/۱۷۵ با استفاده از کل طول موج‌های باند ۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر و ۰/۸۵۲ و ۰/۱۷۴ با استفاده از طول موج‌های بهینه‌یابی محدوده مذکور گزارش شده است. کاربرد طیفسنجی مرئی/فروسرخ نزدیک در سنجش کمی و کیفی میوه‌ها و سبزی‌های مختلف، به تفکیک محصول و جزئیات سامانه طیفسنجی به‌کار رفته، در مقالات Cortés *et al.*, 2017; Beghi *et al.*, 2019; Lin & Ying, 2009; Nicolai *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2007) ارائه شده است.

هدف از اجرای تحقیق حاضر، امکان‌سنجی

دست آمد. مدل تحلیل طبقه‌بندی مرتبه دوم<sup>۱</sup> در تفکیک سطح گسی دقت ۹۵ درصد را نتیجه داد. در طول موج‌های ذکر شده در تخمین درجه سفتی،  $R^2=0/8$  و RPD برابر ۱/۸۶ به دست آمد. این محققان به این جمع‌بندی رسیدند که تصویربرداری ابرطیفی به عنوان یک ابزار غیرمخرب در ارزیابی سفتی، رسیدگی و مقدار گسی میوه خرمالو پتانسیل لازم را دارد. در مورد تخمین مقدار سفتی میوه هلو با استفاده از طیفسنجی فروسرخ نزدیک (۸۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) به کمک روش مدل‌سازی حداقل مربعات جزئی بهترین نتیجه با پیش‌پردازش تصحیح پخش افزایشنده<sup>۲</sup> برابر  $\Gamma_{cv}=0/864$  و  $RMSEP = 5/42$  گزارش شده است (Fu *et al.*, 2008). در سنجش کمی سفتی میوه کیوی، بهترین عملکرد مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ورودی: نسبت‌های غلظت عناصر تغذیه‌ای<sup>۳</sup>) به دست آمده  $\Gamma_p=0/85$  و  $RMSEP=0/539$  گزارش شده است (Torkashvand *et al.*, 2017). Alhamdan *et al.*, 2019) با استفاده از طیفسنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (۱۲۰۰-۲۸۵ نانومتر) ویژگی‌های بافتی و حسی خرما (واریته خلال برهی)<sup>۴</sup> را در شرایط انبار شده ارزیابی کردند و نمونه‌های خود را در سه سطح رسیدگی (سبز، زرد و قهوه‌ای) فراهم و نمونه‌ها را به دو قسمت تقسیم کردند. گروه اول برای بررسی در شرایط میوه تازه و گروه دوم در شرایط محیطی سه‌گانه مختلف تا ۱۲۰ روز انبار شدند. نتایج گزارش شده حاکی از عملکرد خوب مدل رگرسیون مؤلفه‌های اصلی در پیش‌بینی سفتی بافت (۱/۰۵ =  $RMSEP$  و  $R^2p=0/905$ ) و چسبندگی (۱/۳۴۱ =

1- Quadratic Discriminant Analysis (QDA)  
3- Nutrient concentration ratios  
5- Chewiness

2- Multiplicative Scatter Correction (MSC)  
4- Variety: Khalal Barhi  
6- Fuji (variety: *Malus pumila*)

### مواد و روش‌ها

#### نمونه‌ها

نمونه‌های میوه انجیر سیاه (رقم محلی) در سه دسته ۶۰ عددی در سه مرحله زمانی رسیدگی کامل، نیمه‌رسیده و نرسیده به تعداد کل ۱۸۰ نمونه از یک درخت در باغی واقع در منطقه هزاوه (استان مرکزی) تهیه شد. با این روش نمونه‌برداری، تنوع مورد نیاز نمونه‌ها در مقدار شاخص‌های سفتی و مزه ایجاد شد. جدول ۱ مشخصات آماری نمونه‌های انجیر استفاده شده در تحقیق پس از حذف داده‌های پرت را نشان می‌دهد.

کاربرد طیف‌سنجی طیف‌های بازتابی مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه (۹۵۰-۴۲۵ نانومتر) به منظور پیش‌بینی مقدار سفتی و شاخص مزه به صورت غیرمخرب، به عنوان معیارهای رسیدگی میوه انجیر است که تا این زمان پژوهشی در این زمینه یافت نشده است.

علاوه بر این، عملکرد مدل‌های تحلیل طبقه‌بندی خطی<sup>۱</sup> و تحلیل طبقه‌بندی غیرخطی<sup>۲</sup> در تفکیک انجیرهای رسیده، نیمه‌رسیده و نرسیده و اثر برخی از روش‌های پیش‌پردازش داده‌های طیفی بر نتایج نیز بررسی شده است.

جدول ۱- مشخصات آماری دسته نمونه‌های آموزش و آزمون در کمیت‌های سفتی بافت، اسیدیته و مقدار ذرات جامد انحلال‌پذیر

Table 1- Statistics of both calibration and testing sets for flesh firmness titratable acidity and soluble solid content parameters

دسته آزمون (۴۵ نمونه)			دسته آموزش (۱۲۲ نمونه)			
میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	
Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	
6.24± 2.94	14.9	2.17	5.85±2.94	15.03	2.3	سفتی بافت (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) Flesh firmness (kg/s <sup>2</sup> )
1.06± 0.54	3.4	0.3	1.01±0.79	8	0.3	اسیدیته قابل تیتر کردن (درصد اسید سیتریک) Titratable Acidity (%Citric acid)
15.7± 2.11	21	9	16.31±2.28	22	11.2	مواد جامد حل شدنی (درجه بریکس) Soluble Solid Content (°Brix)

### سامانه طیف‌سنجی و طیف برداری

دی، لامپ هالوژن (۱۲ ولت ۲۰ وات) به عنوان منبع نور، فیبر نوری<sup>۳</sup> دوشاخه و مجهز به پرآب برهمکنشی<sup>۴</sup> (مسیر نور برگشتی به آشکارساز و نور منبع به صورت موازی با هم قرار دارند) و نگهدارنده نمونه بوده است. طیف‌برداری از میوه‌ها در حالت‌های متفاوت موقعیت منبع نور و آشکارساز نسبت به یکدیگر مانند بازتابی، عبوری و برهم‌کنشی قابل اجراست (Jamshidi, 2020; Nicolai et al., 2007).

اجزای سامانه طیف‌سنجی به کار رفته عبارت بودند از: طیف‌سنج (Ocean optics- Flame series) از نوع قابل حمل، دارای گذرگاه یواس بی، ابعاد ۳۱/۹×۶۳/۵×۸۸/۹ میلی‌متر، وزن ۲۶۵ گرم، محدوده کاری ۱۰۰۰-۳۵۰ نانومتر، تعداد پیکسل ۲۰۴۸، نسبت سیگنال به نویز ۲۵۰ به ۱ و تفکیک نوری ۰/۱ تا ۱۰ نانومتر، مجهز به آشکارساز سی سی

1- Linear Discriminant Analysis (LDA)

2- Quadratic Discriminant Analysis (QDA)

3- Optical fiber

4- Intractance

اندازه‌گیری اسیدیت، از میوه‌ها عصاره‌گیری و ابتدا پی‌اچ دستگاه با بافرهای مربوط بین ۴ و ۷ تنظیم شد، به دنبال آن اسید نمونه‌ها توسط الکتروود حساس این دستگاه اندازه‌گیری و نتایج به صورت درصد اسید سیتریک بیان شد. شاخص مزه نیز با تقسیم مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر کل به اسید قابل تیترکردن به دست آمد.

### شیمی‌سنجی<sup>۲</sup>

#### پیش‌پردازش

پیش‌پردازش‌های متفاوتی برای داده‌های طیفی ابداع شده و در حال توسعه‌اند که عمدتاً هر یک کاربری خاصی دارد و معمولاً هدف خاصی را دنبال می‌کند. با این همه، نمی‌توان روش پیش‌پردازش مشخصی را به‌عنوان بهترین روش معرفی کرد زیرا در تحقیقات مختلف شرایط نمونه و آزمایش تغییر می‌کند.

بر این اساس، در این تحقیق پس از اخذ طیف‌ها، از روش‌های معمول پیش‌پردازش استفاده شد (Nicolai *et al.*, 2007). میانگین‌گیری متحرک از معمول‌ترین روش‌های هموارسازی است که در تحقیقات مشابه در مورد میوه‌های دیگر به صورت ترکیبی با روش‌های پیش‌پردازش مختلف به‌کار گرفته شده است (Wang *et al.*, 2015). پیش‌پردازش‌های نرمال‌سازی، توزیع نرمال استاندارد<sup>۱</sup> و تصحیح پراکندگی افزاینده به طور کلی برای تصحیح اثر پراکندگی نور در طیف‌های اخذ شده استفاده شدند (Tiecher *et al.*, 2021). برای تشخیص داده‌های پرت<sup>۴</sup> و حذف آنها از فرآیند مدل‌سازی، از روش هتلینگ تی به توان دو<sup>۵</sup> استفاده شد (Maniwaru *et al.*, 2019; Mouazen *et al.*, 2010).

در این تحقیق از مد طیف‌برداری برهمکنشی استفاده و به کمک رابطه (Cavaco *et al.*, 2009) درصد بازتاب نور در هر طول موج محاسبه شد.

$$R(\%) = 100(R_S - R_D)/(R_R - R_D) \quad (1)$$

که در آن،

R = درصد بازتاب نور؛ R<sub>S</sub> = شدت نور حاصل از نمونه؛ R<sub>D</sub> = شدت نور محیط؛ و R<sub>R</sub> = شدت نور ماده مرجع سفید. در هر نمونه در سه موقعیت مرکزی آن به فاصله تقریبی ۱۲۰ درجه از یکدیگر و ۱۲ اسکن در هر موقعیت طیف‌برداری شد. برای کاهش نویزهای ناشی از دمای آشکارساز در فرآیند طیف‌برداری، میانگین اسکن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Nicolai *et al.*, 2007) لذا در مراحل بعدی، میانگین ۳۶ اسکن به عنوان طیف هر نمونه انجیر در نظر گرفته شد.

#### اندازه‌گیری سفتی

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه انجیر از دستگاه سفتی‌سنج (STEP SYSTEM, Germany) استفاده شد. پس از برداشتن اپیدرم در دو ناحیه در مرکز میوه، از انتهای یک استوانه ۵ میلی‌متری برای اندازه‌گیری سفتی میوه‌ها استفاده شد و قرائت‌ها به صورت کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ثبت شدند.

#### شاخص مزه<sup>۱</sup>

مواد جامد انحلال‌پذیر کل با دستگاه رفرکترومتر دیجیتالی (Atago, PAL-1, Japan) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. ابتدا دستگاه با آب مقطر کالیبره و صفر گردید. برای ارزیابی مواد جامد قابل حل، چند قطره از آب میوه‌ها روی روزنه دستگاه قرار داده شد و درجه بریکس معرف درصد مواد جامد انحلال‌پذیر قرائت گردید. برای

1- SSC/TA  
3- Standard Normal Variate (SNV)  
5- Hotelling's T<sup>2</sup>

2- Chemometrics  
4- Outliers

## تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup>

هستند، به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند که کوواریانس بین ماتریس ورودی و بردار خروجی بیشینه شود. در این روش، اطمینان حاصل می‌شود که چیدمان متغیرهای نهفته مطابق با اهمیت آنها در پیش‌بینی متغیر خروجی است (Nicolai *et al.*, 2007). برای پیش‌بینی مقدار سفتی بافت و شاخص مزه از مدل حداقل مربعات جزئی استفاده شد.

## طبقه‌بندها<sup>۶</sup>

امکان استفاده از طبقه‌بندها به‌منظور تحلیل‌های کیفی مرتبط با میوه‌ها در تحقیقات گوناگون بررسی شده است (Kafle *et al.*, 2016; Shafiee & Minaei, 2018; Amuah *et al.*, 2019; Kaiyan *et al.*, 2020). در تحقیق حاضر کارایی طبقه‌بندهای LDA و QDA در تفکیک انجیرهای رسیده، نیمه‌رسیده و نرسیده ارزیابی شده است.

## ارزیابی مدل‌ها

تدوین مدل بدون آزمون آن معنی ندارد، از این رو حدود ۲۷ درصد از کل نمونه‌ها قبل از مدل‌سازی توسط نرم‌افزار و به‌طور تصادفی برای آزمون و اعتبارسنجی کنار گذاشته شد و پس از آن تدوین مدل (پیش‌بینی و طبقه‌بندی) با داده‌های باقیمانده صورت گرفت. توانایی پیش‌بینی مدل حداقل مربعات جزئی، با استفاده از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی<sup>۷</sup>، ضریب همبستگی تخمین و انحراف پیش‌بینی باقیمانده<sup>۸</sup> (روابط ۵-۲) ارزیابی شد (Beghi *et al.*, 2017; Forthofer *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2016; Theanjumol *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2015). به‌علاوه، از شاخص درصد دقت تفکیک درست<sup>۹</sup> در دسته نمونه‌های

تحلیل مؤلفه‌های اصلی روشی است که باعث می‌شود اطلاعات مفید داده‌ها استخراج شوند و داده‌ها، متغیرها و روابط بین آنها کاوش و همبستگی کلی بین متغیرها فهمیده شود (Beghi *et al.*, 2017). در این روش متغیرهای جدیدی ایجاد می‌شود که هر یک ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی است. این متغیرهای جدید مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و بیشترین اطلاعات (واریانس) موجود در ماتریس متغیرهای اصلی را در خود دارند. اولین مؤلفه اصلی بیشترین واریانس را دربر دارد در حالی که مؤلفه اصلی دوم اطلاعاتی را در خود دارد که توسط مؤلفه اصلی اول ارائه نشده است و این رویه به همین شکل در مؤلفه‌های بعدی نیز وجود دارد (Callao & Ruisánchez, 2018). مؤلفه‌های اصلی اول تا چهارم به‌عنوان ورودی مدل پیش‌بینی کننده و مؤلفه‌های اصلی اول تا هفتم نیز به‌عنوان ورودی طبقه‌بندها در نظر گرفته شدند.

## مدل‌سازی

### مدل پیش‌بینی

در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> ترتیب مؤلفه‌های اصلی (متغیرهای نهفته)<sup>۳</sup> بر مبنای کاهش مقدار واریانس پوششی توسط آنها در ماتریس داده‌های طیفی است. مشکل موجود این است که اولین مؤلفه‌های اصلی لزوماً مؤثرترین (پر اطلاعات‌ترین) مؤلفه‌ها در ارتباط با متغیر هدف نیستند. تکنیک رگرسیون حداقل مربعات جزئی<sup>۴</sup> برای غلبه بر این مشکل ارائه شده است. در این روش متغیرهای نهفته<sup>۵</sup> که نسبت به هم متعامد

1- Principle Components Analysis (PCA)

3- Latent variable

5- Latent variable

7- Root Mean Square Error (RMSE)

9- Accuracy

2- Principle Components Regression (PCR)

4- Partial Least Squares

6- Classifiers

8- Residual Prediction Deviation (RPD)

ارزیابی غیرمخرب رسیدگی میوه انجیر با استفاده از طیفسنجی ...

پیش پردازش‌های طیفی و مدل‌سازی به‌کارگرفته شد.

### نتایج و بحث

در شکل ۱ قسمت A کل طیف‌های جذبی اخذشده و در قسمت B میانگین طیف‌های جذبی نمونه‌های انجیر رسیده، نیمه‌رسیده و نرسیده در محدوده ۴۲۵-۹۵۰ نانومتر آورده شده است. طول موج‌های ابتدا و انتهای طیف‌های حاصل از نمونه‌ها به دلیل وجود نویز قابل توجه حذف شدند و داده‌های طیفی در محدوده ۴۲۵ تا ۹۵۰ نانومتر تحلیل شد. شکل طیف‌ها نشان می‌دهد که در بیشتر طول موج‌ها میانگین جذب نور در نمونه انجیرهای نرسیده کمتر از بقیه نمونه‌هاست در توضیح این مسئله می‌توان گفت که اصولاً با تکمیل مراحل رسیدگی میوه تجزیه پکتین‌ها و هوموسلولوزهای داخل میوه با آنزیم‌های خاصی شروع می‌شود و این باعث تغییر دیواره سلولی، نرم شدن، شفافیت میوه، افزایش عمق نفوذ پرتوهای نور و به تبع آن کاهش درصد بازتاب نور (افزایش جذب) و افزایش تغییرات در پخش پرتوهای نوری می‌شود (Cavaco *et al.*, 2009; Pourdarbani *et al.*, 2020).

آزمون (رابطه ۴) برای ارزیابی عملکرد طبقه‌بندها استفاده شد.

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n_p}} \quad (2)$$

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

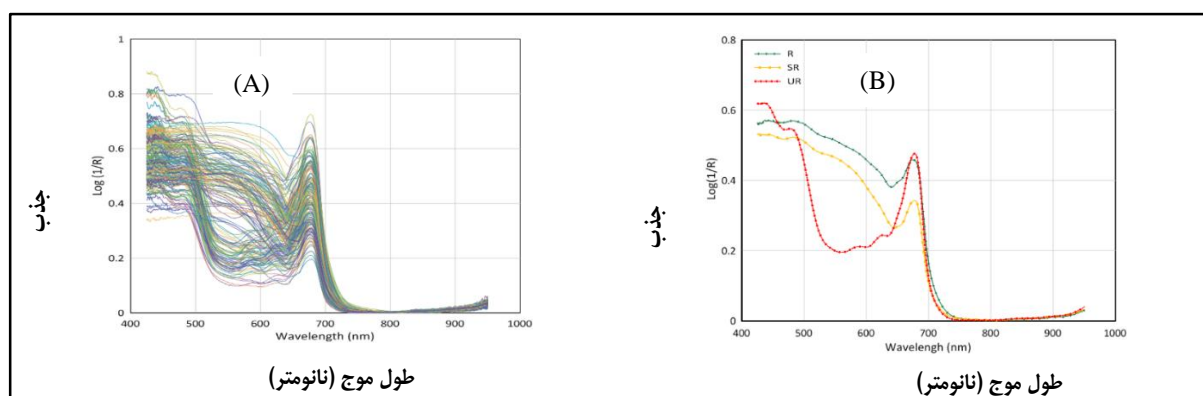
$$RPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n_p - 1}} / RMSEP = SD / RMSEP \quad (4)$$

$$Accuracy\% = (TC/N) \times 100 \quad (5)$$

که در آن،

$X_i$  = مقدار اندازه‌گیری شده متغیر نمونه  $i$ ؛  $Y_i$  = مقدار پیش‌بینی شده متغیر مورد نظر برای نمونه  $i$  و  $n_p$  تعداد نمونه‌های پیش‌بینی؛  $\bar{X}$  = میانگین مقادیرهای پیش‌بینی شده؛  $SD$  = انحراف استاندارد مقادیرهای اندازه‌گیری شده در دسته نمونه‌های آزمون؛  $TC$  = تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده و  $N$  = تعداد کل نمونه‌های دسته نمونه‌های آزمون.

از نرم‌افزار اسپکتراسوییت<sup>۱</sup> در طیف‌برداری نمونه‌ها استفاده شد و نرم‌افزار آن اسکرمبلر<sup>۲</sup> (نسخه ۱۰/۴) برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی،



شکل ۱- (A) کل طیف‌های جذبی اخذ شده در محدوده ۴۲۵-۹۵۰ نانومتر و (B) میانگین طیف‌های جذبی انجیرهای رسیده (R)، نیمه‌رسیده (SR) و نرسیده (UR)

Fig. 1- (A) Total spectra acquired in the range of 425-950 nm and (B) mean spectra of ripe (R), semi ripe (SR) and unripe figs (UR)

مورد نظر امکان پذیر خواهد بود و در حالت  $RPD < 2/5$  دارد و نهایتاً اگر  $RPD = 2/5$  و  $RPD < 3$  باشد، به ترتیب مبین دقت پیش بینی خوب و عالی هستند (Beghi et al., 2017). در حدود پایین RPD (کوچک تر از ۲) تفاوت های جزئی در بیان شرایط مدل ارائه شده است. برای مثال، به دست آمدن  $1/8 < RPD < 1/4$  نشانه نسبتاً خوب بودن مدل و با  $RPD < 2$  سنجش کمی امکان پذیر دانسته شده است (Rossel et al., 2006; Mouazen et al., 2010). طبق مطالب ذکر شده  $RPD < 2$  حد مطلوب سنجش کمی استنباط می شود.

شکل نمودارها نشان می دهد که الگوی جذبی طیفها در ۴۵۰-۶۸۰ نانومتر متفاوت است و در محدوده باقیمانده الگوی جذبی نمونه ها بسیار مشابه است در چنین مواردی برای استخراج اطلاعات مفید احتمالی طیفها ضرورت به کارگیری پیش پردازش های مناسب نمایان می شود (Teye et al., 2019). از طرفی، برای حذف اطلاعات ناخواسته (نویز)، طیف های خام معمولاً با روش های پیش پردازش مناسب اصلاح می شوند.

### مدل حداقل مربعات جزئی

در تدوین مدل پیش بینی کننده، اگر مقدار  $RPD < 1/5$  باشد مدل قابل استفاده نیست و با  $RPD < 1/5$  تخمین مقدارهای کم و زیاد پارامتر

جدول ۲- نتایج مدل حداقل مربعات جزئی تدوین شده در پیش بینی مقدار سفتی بر پایه ترکیب روش های مختلف پیش پردازش

Table 2- The results of the prediction of PLS model with several combinations of preprocessing methods for flesh firmness attribute

RPD	$r_p$	RMSEP	$r_c$	RMSEC	LVs	پیش پردازش
1.78	0.846	1.64	0.856	1.51	7	No Preprocessing
1.69	0.825	1.73	0.876	1.41	8	MA+SNV
1.71	0.827	1.72	0.870	1.44	7	MA+MSC
1.60	0.821	1.74	0.873	1.42	7	Normalize
1.79	0.845	1.64	0.853	1.52	7	MA+De-terending

جدول ۳- نتایج مدل حداقل مربعات جزئی تدوین شده در پیش بینی شاخص مزه بر پایه ترکیب روش های مختلف پیش پردازش

Table 3- The results of the prediction of PLS model with several combinations of preprocessing methods for taste index attribute

RPD	$r_p$	RMSEP	$r_c$	RMSEC	LVs	پیش پردازش
0.85	0.137	10.51	0.455	11.08	4	No Preprocessing
0.84	0.156	10.59	0.477	10.93	4	MA+SNV
0.88	0.206	10.15	0.426	11.25	3	MA+MSC
0.89	0.208	10.08	0.419	11.29	3	Normalize
0.89	0.215	10.09	0.466	11.01	4	MA+De-terending



ارزیابی غیرمخرب رسیدگی میوه انجیر با استفاده از طیف‌سنجی ...

نداشته است. با توجه به اینکه رد پا و علائم طیفی مربوط به قندها (ارتعاش‌های پایسه و اورتون‌های C-H) مطابق با جدول ۳ عمدتاً در طول موج‌های بالاتر از محدوده ۹۵۰-۴۲۵ نانومتر قرار دارند، می‌توان علت ناموفق بودن مدل پیش‌بینی کننده در شاخص مزه را به این مسئله نسبت داد که بستگی زیادی به مقدار قند نمونه دارد.

در پیش‌بینی سفتی،  $RPD = 1/79$  ( $r_p = 0/845$ ) و  $RMSEP = 1/64$  و در پیش‌پردازش MA+De- از این رو مدل نسبتاً مناسب trending به دست آمد. ارزیابی شده و صرفاً در پیش‌بینی مقادیر کم یا زیاد سفتی قابل استفاده است. بیشترین مقدار میانگین RPD در تخمین شاخص مزه برابر  $0/89$  ( $r_p = 0/215$ ) و  $RMSEP = 10/09$  به دست آمد (جدول ۲). از این رو مدل در تخمین این شاخص کارایی لازم را

جدول ۳- علائم طیفی ارتعاش‌های اصلی پیوندهای OH و CH برای قندهای ساده و آب (Golic et al., 2003)

Table3- The band assignments for major OH and CH vibrations for simple sugars and water (Golic et al., 2003)

نوع پیوند Tentative assignment	باند بنیادی Fundamental	اورتون‌های اصلی ارتعاشی Vibrational frequency overtones		
		1st	2nd	3rd
OH stretching nm cm <sup>-1</sup>	2860-3120	1410-1440	970	738
	3200-3500	6950-7100	10300	13550
OH combinations nm cm <sup>-1</sup>	1920-2080	1100	840	
	4800-5200	9090	11900	
CH stretching nm cm <sup>-1</sup>	3300-3470	1600-1800	1100-1230	910
	2880-3000	5550-6250	8100-9100	11000
CH combinations nm cm <sup>-1</sup>	2100-2352			
	4250-4750			
CH <sub>2</sub> stretching nm cm <sup>-1</sup>	3460-3500	1720-1765	1215	930
	2880-2910	5670-5820	8230	10750
CH <sub>2</sub> combinations nm cm <sup>-1</sup>	2310-2325			
	4300-4330			
OH, CH and CH <sub>2</sub> deformations nm cm <sup>-1</sup> nm cm <sup>-1</sup> nm cm <sup>-1</sup>	6900-8330			
	11111-25000	2250-2320	2400-2600	1850-2120
	1200-1450	4310-4440	3840-4170	4720-5400
	400-900			

دقت کلی تفکیک درست دسته نمونه‌های آزمون، در طبقه‌بندی‌های LDA و QDA برابر ۹۳/۳۳ بدون پیش‌پردازش طیف‌ها به دست آمد.

### مدل‌های طبقه‌بندی

نتایج حاصل از آزمون مدل‌های طبقه‌بندی تدوین شده در جدول ۴ آمده است. بیشترین مقدار

جدول ۴- دقت تفکیک نمونه‌های R، SR و UR توسط طبقه‌بندهای تدوین شده در دسته نمونه‌های آزمون

مدل بر پایه روش‌های مختلف پیش‌پردازش

Table 4- The true classification accuracy of R, SR and UR samples by the calibrated classifiers in the testing dataset based on different preprocessing methods.

LDA	QDA	پیش‌پردازش
93.33	93.33	No Preprocessing
91.11	88.89	MA+MSC
91.11	86.67	MA+Normalize
91.11	88.89	MA+SNV
91.11	86.67	MA+De-terrending

### نتیجه‌گیری

به‌عنوان ورودی طبقه‌بندهای LDA و QDA استفاده شدند. نتایج ارزیابی دسته نمونه‌های آزمون نشان داد که می‌توان مدل حداقل مربعات جزئی را برای سنجش مقادیر زیاد و کم سفتی میوه به کار برد (RPD = ۱/۷۹).

هنگامی که عملکرد مدل‌های پیش‌بینی کننده رضایت‌بخش نباشد، معمولاً تحلیل‌های کیفی و استفاده از طبقه‌بندها می‌تواند راهکار مناسبی باشد. با توجه به دستیابی دقت کلی تفکیک درست دسته نمونه‌های آزمون برابر ۹۳/۳۳ درصد، کاربردهای عملی هر دو مدل LDA و QDA موفقیت‌آمیز جمع‌بندی می‌شود (Wanitchang *et al.*, 2011).

در طیف‌های مرئی/فروسرخ نزدیک موج کوتاه (۴۲۵-۹۵۰ نانومتر) اخذ شده از نمونه‌های انجیر تعداد پیک‌های کمی مشاهده شد که علت آن جذب نور توسط اورتون‌ها و ارتعاش‌های پیوندهای پایه‌ای مواد ارگانیک تشکیل‌دهنده میوه انجیر است. الگوی جذبی طیف‌های اخذ شده در طول موج‌های زیادی به یکدیگر شباهت دارند و از این رو عملکرد پیش‌پردازش‌های MA+MSC، MA+Normalize، MA+SNV و MA+De-trending برای استخراج اطلاعات مفید موجود احتمالی در طیف‌ها بررسی شد. مؤلفه‌های اصلی اول تا هفتم (PC1-PC7) به دست آمده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی

### تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

### مراجع

- Alhamdan, A.M., Fickak, A. and Atia, A.R. 2019. Evaluation of sensory and texture profile analysis properties of stored Khalal Barhi dates nondestructively using Vis/NIR spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering*. 42(6): e13215.
- Amuah, C.L., Teye, E., Lamptey, F.P., Nyandey, K., Opoku-Ansah, J. and Adueming, P.O.-W. 2019. Feasibility study of the use of handheld NIR spectrometer for simultaneous authentication and quantification of quality parameters in intact pineapple fruits. *Journal of Spectroscopy*. 1-9.

- Beghi, R., Buratti, S., Giovenzana, V., Benedetti, S. and Guidetti, R. 2017. Electronic nose and visible-near infrared spectroscopy in fruit and vegetable monitoring. *Reviews in Analytical Chemistry*. 36(4): 20160016.
- Callao, M.P. and Ruisánchez, I. 2018. An overview of multivariate qualitative methods for food fraud detection. *Food Control*. 86: 283-293.
- Cavaco, A.M., Pinto, P., Antunes, M.D., da Silva, J.M. and Guerra, R. 2009. 'Rocha'pear firmness predicted by a Vis/NIR segmented model. *Postharvest Biology and Technology*. 51(3): 311-319.
- Cortés, V., Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S. and Talens, P. 2019. Monitoring strategies for quality control of agricultural products using visible and near-infrared spectroscopy: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 85, 138-148.
- Forthofer, R.N., Lee, E. S. and Hernandez, M. 2006. *Biostatistics: a guide to design, analysis and discovery*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-03861-6> (pp. 349-386).
- Fu, X.-p., Ying, Y.-b., Zhou, Y., Xie, L.-j. and Xu, H.-r. 2009. Application of NIR spectroscopy for firmness evaluation of peaches. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 9(7): 552-557.
- Ghorbani, A., Hasanpoor, H. and Ercisli, S. 2018. Variation on biochemical, phytochemical and genetic diversity of fig (*ficus carica*) from East Azerbaijan province. *Plant Environmental Physiology*. 13(52): 16-28 (in Persian)
- Golic, M., Walsh, K. and Lawson, P. 2009. Short-wavelength near-infrared spectra of sucrose, glucose, and fructose with respect to sugar concentration and temperature. *Applied spectroscopy*. 57(2): 139-145.
- Guo, Y., Ni, Y. and Kokot, S. 2016. Evaluation of chemical components and properties of the jujube fruit using near infrared spectroscopy and chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 153, 79-86.
- Jamshidi, B. 2020. Ability of near-infrared spectroscopy for non-destructive detection of internal insect infestation in fruits: Meta-analysis of spectral ranges and optical measurement modes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 225, 117479.
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E. and Ghassemian, H. 2012. Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture*. 85, 64-69.
- Kafle, G.K., Khot, L.R., Jarolmasjed, S., Yongsheng, S. and Lewis, K. 2016. Robustness of near infrared spectroscopy based spectral features for non-destructive bitter pit detection in honeycrisp apples. *Postharvest Biology and Technology*. 120, 188-192.
- Kaiyan, L., Chang, L., Huiping, S., Junhui, W. and Jie, C. 2020. Review on the Application of Machine Vision Algorithms in Fruit Grading Systems. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications.
- Lin, H and 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.

- Magwaza, L.S., Opara, U.L., Nieuwoudt, H., Cronje, P.J., Saeys, W and Nicolaï, B. 2012. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit: a review. *Food and Bioprocess Technology*. 5(2): 425-444.
- Maniwaru, P., Nakano, K., Ohashi, S., Boonyakiat, D., Seehanam, P., Theanjumol, P. and Poonlarp, P. 2019. Evaluation of NIRS as non-destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit. *Scientia Horticulturae*. 257, 108712.
- Maraphum, K., Saengprachatanarug, K., Wongpichet, S., Phuphaphud, A. and Posom, J. 2020. In-field measurement of starch content of cassava tubers using handheld vis-near infrared spectroscopy implemented for breeding programmes. *Computers and Electronics in Agriculture*. 175, 105607.
- Matteoli, S., Diani, M., Massai, R., Corsini, G. and Remorini, D. 2015. A spectroscopy-based approach for automated nondestructive maturity grading of peach fruits. *IEEE Sensors Journal*. 15(10): 5455-5464.
- Mouazen, A., Kuang, B., De Baerdemaeker, J. and Ramon, H. 2010. Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. *Geoderma*. 158(1-2): 23-31.
- Munera, S., Besada, C., Aleixos, N., Talens, P., Salvador, A., Sun, D.-W., Cubero, S. and Blasco, J. 2017. Non-destructive assessment of the internal quality of intact persimmon using colour and VIS/NIR hyperspectral imaging. *LWT*. 77, 241-248.
- Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I. and Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 46(2): 99-118.
- Pourdarbani, R., Sabzi, S., Kalantari, D. and Arribas, J. I. 2020. Non-destructive visible and short-wave near-infrared spectroscopic data estimation of various physicochemical properties of Fuji apple (*Malus pumila*) fruits at different maturation stages. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 206, 104147.
- Rossel, R.V., McGlynn, R. and McBratney, A. 2006. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*. 137(1-2): 70-82.
- Shafiee, S. and Minaei, S. 2018. Combined data mining/NIR spectroscopy for purity assessment of lime juice. *Infrared Physics & Technology*. 91, 193-199.
- Szuvandzsiev, P., Helyes, L., Lugasi, A., Szántó, C., Baranowski, P. and Pék, Z. 2014. Estimation of antioxidant components of tomato using VIS-NIR reflectance data by handheld portable spectrometer. *International Agrophysics*. 28(4):521-527.
- Teye, E., Amuah, C.L., McGrath, T. and Elliott, C. 2019. Innovative and rapid analysis for rice authenticity using hand-held NIR spectrometry and chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 217, 147-154.
- Theanjumol, P., Wongzeewasakun, K., Muenmanee, N., Wongsaijun, S., Krongchai, C., Changrue, V., Boonyakiat, D. and Kittiwachana, S. 2019. Non-destructive identification and estimation of granulation in 'Sai Num Pung' tangerine fruit using near infrared spectroscopy and chemometrics. *Postharvest Biology and Technology*. 153, 13-20.
- Tiecher, T., Moura-Bueno, J.M., Caner, L., Minella, J.P., Evrard, O., Ramon, R., Naibo, G., Barros, C.A., Silva, Y.J. and Amorim, F.F. 2021. Improving the quantification of sediment source contributions using different mathematical models and spectral preprocessing techniques for individual or combined spectra of ultraviolet-visible, near-and middle-infrared spectroscopy. *Geoderma*. 384, 114815.

- Torkashvand, A.M., Ahmadi, A. and Nikraves, N.L. 2017. Prediction of kiwifruit firmness using fruit mineral nutrient concentration by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR). *Journal of Integrative Agriculture*. 16(7): 1634-1644.
- Tuai, P., Tinjauan, S., Jusoh, N.A.M., Ding, P. and Yeat, C.S. 2020. Extending post-harvest quality of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit through manipulation of pre-and post-harvest practices: A review. *Sains Malaysiana*. 49(3): 553-560.
- Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y. and He, Y. 2015. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review. *Sensors*. 15(5): 11889-11927.
- Wanitchang, P., Terdwongworakul, A., Wanitchang, J. and Nakawajana, N. 2011. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering*. 105(3): 477-484.
- Yan, H. and Siesler, H. W. 2018. Identification of textiles by handheld near infrared spectroscopy: Protecting customers against product counterfeiting. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 26(5): 311-321.

## Original Research

## Nondestructive Evaluation of Fig Fruit Maturity Using Visible / Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy

R. Saiad Haghshomar, R. Mohammadigol\* and B. Valizadehkaji

\* Corresponding Author: Assistant professor, Department of Biosystem Engineering, Agriculture College, Arak University, Arak, Iran. Email: r-mohammadigol@araku.ac.ir

Received: 27 January 2021, Accepted: 3 January 2022

<http://doi: 10.22092/fooder.2021.353402.1293>

### Abstract

In the present study, visible/shortwave near-infrared reflectance spectroscopy (Vis/SWNIR, 425–950 nm) was used to predict the taste index (SSC/TA) and flesh firmness of fig fruits. Besides, the efficiency of LDA and QDA classifiers in detecting ripe, semi-ripe, and unripe figs was studied based on a combination of pretreatment methods. A total of 167 fig trees were selected for the development and validation of the models. Principal component analysis (PCA) was employed to extract the principal components of the spectra. PLS performance and common spectral data pretreatment methods were evaluated using the residual prediction deviation (RPD), predictive correlation coefficient (rp), and root mean square error of prediction (RMSEP). Moreover, the efficiency of the classifiers and pretreatment methods was evaluated using the mean overall accuracy (%) of the testing samples. The highest mean value of RPDs based on the combined pretreatment method of MA + de-trending was 1.79 for flesh firmness (RMSEP = 1.64, rp = 0.845) and 0.89 for the taste index (RMSEP = 10.09, rp = 0.215). LDA and QDA classifiers had an overall accuracy of 93.33 percent (in no-pretreatment spectral data).

**Keywords:** Fig ripeness, Partial least squares, Visible/shortwave near-infrared reflectance spectroscopy, Classification, Non-destructive evaluation