

بررسی امکان کاربرد طیف‌سنجی (۴۲۰-۹۰۰ نانومتر) و تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی در تشخیص تقلب آرد نخودچی

رضا محمدی گل^{*}، مجید لشگری^۱ و عبدالله ایمانمهر^۱

۱- استادیاران، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۰

چکیده

در صنایع قنادی و غذایی، آرد نخودچی جایگاه شناخته شده‌ای دارد. این آرد از جمله موادی است که با انگیزه سودجویی اقتصادی در آن تقلب می‌شود. قیمت پایین آرد گندم و ضایعات لپه، در مقایسه با آرد نخودچی، باعث شده این مواد به‌عنوان مواد تقلبی رایج مصرف شوند. مطالبه روش‌های غیرمخرب سنجش کیفیت و روند روزافزون توسعه و تولید تجهیزات نوری کاربردی و قابل حمل، زمینه‌ساز این پژوهش بوده است. در تحقیق حاضر، کارایی طیف‌سنجی ناحیه طیفی ۹۰۰-۴۲۰ نانومتر به‌همراه تکنیک آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و روش‌های پیش‌پردازش رایج، در تشخیص وجود آرد گندم یا آرد لپه در آرد نخودچی در اختلاط (وزنی) ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بررسی شد. این روش در تشخیص آرد لپه در اختلاط ۳۰ درصد، و بالطبع در درصدهای پایین‌تر، کارآمد نبود اما در تشخیص و تفکیک نمونه‌های دارای آرد گندم در اختلاط‌های ۲۰ و ۳۰ درصد موفق بود و با اعمال پیش‌پردازش‌های توزیع نرمال استاندارد (SNV) یا تصحیح پخش فزاینده (MSC) در نمونه‌های ۱۰ و ۵ درصد نیز موفق بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که امکان طرح‌کردن شاخصی بر مبنای داده‌های طیفی برای تشخیص وجود آرد گندم در آرد نخودچی در ناحیه طیفی ۴۸۰-۴۳۰ نانومتر وجود دارد و از این رو امکان استفاده از روش سریع و غیرمخرب طیف‌سنجی در ناحیه ۹۰۰-۴۲۰ نانومتر به‌همراه تکنیک PCA به‌عنوان جایگزین روش‌های آزمایشگاهی وجود دارد.

کلید واژه‌ها

اصالت سنجی، مواد غذایی پودری، روش‌های غیرمخرب

مقدمه

در مواد غذایی، همواره مطالبه‌هایی وجود دارد و این روش‌ها طی سال‌های گذشته پیشرفت چشمگیری داشته‌اند. پیشرفت فعلی و رو به رشد تجهیزات نوری در دنیا باعث کوچک‌تر شدن ابعاد و تعداد اجزای سامانه‌های نوری شده و از این‌رو هزینه تجهیزات و استفاده آنها کاهش خواهد یافت (Ambrose & Cho, 2014). گنزالس و همکاران (González et al., 2005) گزارش داده‌اند که برای تشخیص تقلب در

امروزه در کنار پیشرفت فناوری و روند کاهشی قیمت تجهیزات نوری، طیف‌سنجی مرئی-فرو سرخ نزدیک به‌عنوان گزینه مناسب کنترل برخط مواد غذایی مطرح شده است که در چند سال آینده روش غالب ارزیابی خواهد بود (Cortés et al., 2019). برای توسعه فناوری‌های غیرمخرب برای افزایش دقت و بازده تشخیص، اندازه‌گیری و کیفیت تقلب‌ها

روغن‌گیری بوده است. نمونه‌های پودری مورد بررسی آنها در اختلاط‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد به تعداد ۴۸ نمونه بوده است. این پژوهشگران عملکرد روش فوق را در تشخیص تقلب‌های ذکر شده موفقیت‌آمیز دانستند و آن را به‌عنوان روش سریع قابل استفاده توصیه کردند.

رودریگوز و همکاران (Rodríguez *et al.*, 2019) در تحقیق خود وجود آرد گندم، سویا و ذرت در اختلاط‌های ۱، ۵ و ۱۰ درصد وزنی را به‌عنوان تقلب‌های رایج در آرد کوینوا^{۱۰} (نوعی دانه خوراکی) بررسی کردند. حالت طیف‌برداری آنها انعکاسی (۴۵ درجه) و در ناحیه طیفی (سانتی‌متر معکوس) cm^{-1} ۴۰۰-۶۰۰ بوده است. این محققان می‌گویند وجود نویز شدید در ناحیه cm^{-1} ۱۸۰۰-۲۵۰۰ علت حذف این ناحیه از آنالیز داده‌های طیفی بوده است. در جمع‌بندی پژوهش، گفته شده است که طیف‌سنجی ناحیه فوق‌الذکر و استفاده از روش‌های شیمی‌سنجی SIMCA^{۱۱} (بر پایه PCA) و PLS-DA^{۱۲} به‌عنوان یک روش سریع، دقیق و غیرمخرب در تشخیص تقلب‌های مذکور در آرد کوینوا است.

هرن و همکاران (Horn *et al.*, 2018) در پژوهش خود وجود تقلب‌های ارگانیک و غیرارگانیک را به منظور افزایش وزن یا رنگ پودر پاپریکا^{۱۳} بررسی کردند. مواد تقلبی بررسی شده شامل: صمغ عربی، کرومات سرب، اکسید چهار و دو سرب، پی وی سی (PVC)، اکسید سیلیکون، Sudan1 و Sudan4 (ترکیبات رنگی قرمز که برای رنگ کردن مواد پلاستیکی استفاده می‌شوند) بوده است. مدل طبقه‌بندی آنها OCSIMCA^{۱۴} و در ناحیه طیفی cm^{-1} ۴۰۰-۴۰۰۰ بوده است. بیشترین علائم طیفی

رنگ ماده غذایی، طیف‌سنجی مرئی- ماوراء بنفش^۱ (UV-Vis) کاربرد دارد و در مورد پیشرفت‌ها در به کارگیری طیف‌سنجی UV-Vis در تشخیص تقلب در محصولات غذایی غلات، در مقایسه با روش‌های دیگر طیف‌سنجی، مطالعات اندک است.

محققان از طیف‌سنج‌های دستی و قابل حمل در پژوهش خود استفاده کرده‌اند (Jantra *et al.*, 2017; Teye *et al.*, 2019) و با به‌کارگیری سامانه‌های نوری ساده شده، که با تعداد طول موج‌های کمتری کار می‌کنند، به تحقیقاتی پرداخته‌اند (Civelli *et al.*, 2015; Cortés *et al.*, 2019; Giovenzana *et al.*, 2014)

در طیف‌سنجی مرئی- فروسرخ نزدیک^۲ Vis-NIR چند حالت طیف‌برداری از قبیل انعکاسی^۳، عبوری^۴، عبوری-انعکاسی^۵ و برهم‌کنشی^۶ وجود دارد که در آنها موقعیت منبع نور و گیرنده نسبت به یکدیگر تغییر می‌کند (Cortés *et al.*, 2019). طبیعت نمونه‌های تحت بررسی، تعیین‌کننده مناسب‌ترین حالت طیف‌برداری است؛ برای مثال، حالت عبوری یا عبوری-انعکاسی مناسب‌ترین انتخاب برای نمونه‌های مایع است و حالت انعکاسی اصولاً برای پودرها به‌کار می‌رود (O'Mahony *et al.*, 2016; Sánchez-Paternina *et al.*, 2018).

وایلد و همکاران (Wilde *et al.*, 2019) در خصوص تشخیص تقلب در فلفل سیاه را با استفاده از روش طیف‌سنجی NIR و تبدیل فوریه- فروسرخ FTIR^۷ به همراه روش‌های شیمی‌سنجی (PCA^۸ و OPLSDA^۹) به پژوهش‌هایی دست زدند. تقلب‌های مورد بررسی آنها دانه‌های میوه پاپایا، چیلی و موادی همچون سبوس و پوشال و تفاله‌های حاصل از

1- Visible-Ultraviolet

3- Reflectance

5- Transreflectance

7- Fourier Transform Infrared

9- Orthogonal Projections to Latent Structures Discriminant Analysis

11- Soft Independent Modelling by Class Analogy

13-Paprika

2-Near Visible Infrared

4- Transmittance

6- Intractance

8- Principle Components Analysis

10- Quinoa

12- Partial least squares-discriminant analysis

14- One-class soft independent modelling of class analogy

بازار محلی تهیه شدند. نخودچی و لپه با آسیاب آرد و پس از آن الک شدند. نمونه‌های آرد نخودچی دارای آرد گندم و دارای آرد لپه در سطوح اختلاط (وزنی) ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با استفاده از ترازوی دقیق (دقت ۰/۰۰۱) تهیه شدند.

طیف برداری

حالت طیف‌برداری در این تحقیق انعکاسی (زاویه ۴۵ درجه) انتخاب شد (Rodríguez *et al.*, 2019). طیف‌سنج مورد استفاده مدل Flame-S تولید شرکت Ocean Optics با محدوده کاری ۱۰۰۰-۳۵۰ نانومتر، نسبت سیگنال به نویز ۱:۲۵۰ و رزولوشن نوری ۱۰-۰/۱ نانومتر^۵ (FWHM) بود.

از فیبرهای نوری VIS-NIR QP400 تولید شرکت Ocean Optics برای انتقال نور از منبع نور و نور منعکس شده به طیف‌سنج استفاده شد. برای ایجاد شرایط یکسان طیف‌برداری، یک قطعه آلومینیمی برای استقرار فیبرهای ارسال کننده و گیرنده نور با زاویه ۴۵ درجه نسبت به یکدیگر استفاده شد. تعداد دفعات اسکن نمونه روی ۳۲ تنظیم شد. از هر درصد اختلاط ۱۰ طیف انعکاسی و در مجموع ۱۱۰ طیف از کل نمونه‌ها گرفته شد. پیش از طیف‌سنجی، ابتدا طیف‌های پس‌زمینه و سفید (مرجع) تعریف و ذخیره شدند. به این ترتیب که ابتدا با خاموش کردن منبع نور طیف پس‌زمینه گرفته شد، پس از آن در حالت منبع نور روشن، از پودر استاندارد سفید برای دستیابی به طیف مرجع استفاده شد. درصد نور منعکس شده براساس رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\%R_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{Ref_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100 \quad (1)$$

تمایز دهنده در باند $1800-400 \text{ cm}^{-1}$ اعلام شده است. پیش‌پردازش‌های^۱ مورد استفاده آنها توزیع نرمال استاندارد^۲ (SNV)، مشتق‌های اول و دوم و هموارسازی سلاویتزکی گولای^۳ (SG) بوده است. این محققان اعلام کردند که پیش‌پردازش SNV در بیشتر نمونه‌های دارای تقلب کارآمد بوده است. نتیجه پژوهش این بوده است که روش مذکور در شناسایی تقلب‌های رایج و نا آشنا موفق بوده است. آنها از نمودار پراکندگی مولفه‌های اصلی اول و دوم برای مشاهده تفاوت نمونه‌های پودر پاپریکا استفاده کردند. لوهومی و همکاران (Lohumi *et al.*, 2015) تشخیص وجود نشاسته ذرت در پودر سیر را با استفاده از طیف‌سنجی FTIR و مدل PLSR^۴ با انتخاب متغیرهای طیفی مؤثر بررسی کردند. حالت طیف‌برداری آنها انعکاسی و در ناحیه طیفی 1 cm^{-1} ۴۰۰-۶۵۰ بوده است. این محققان گزارش می‌دهند روش مذکور تشخیص سریع نشاسته ذرت را در پودر سیر ممکن می‌سازد. با توجه به مصرف زیاد آرد نخودچی در صنایع قنادی و غذایی، تاکنون در زمینه تشخیص تقلب‌های رایج (آرد گندم و آرد لپه) آن با روش غیرمخرب طیف‌سنجی نوری تحقیقی یافت نشده است. از طرف دیگر به دلیل تولید تجهیزات مربوط به ناحیه مرئی (و نزدیک آن) در داخل کشور و مناسب بودن قیمت آنها، پژوهش حاضر در راستای کاربردی شدن و ارتقای روش‌های سنجش تقلب مواد غذایی پودری (آرد نخودچی) به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها

با هدف نزدیک کردن شرایط نمونه‌ها با واقعیت موجود، نخودچی، لپه و آرد گندم (نانوایی-لواش) از

که در آن،

1- Preprocessing
3- Savitzky-Golay
5- Full Width Half Maximum

2- Standard Normal Variable
4- Partial least squares regression

را دنبال می‌کند. با این همه، نمی‌توان روش پیش‌پردازش مشخصی را به‌عنوان بهترین روش معرفی کرد زیرا در تحقیقات مختلف و متنوع شرایط نمونه و آزمایش تغییر می‌کند. بر این اساس، در این تحقیق پس از اینکه طیف‌ها اخذ شدند، از روش‌های رایج پیش‌پردازش استفاده شد (Nicolai *et al.*, 2007) که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

از پیش‌پردازش‌های SNV و MSC برای حذف تأثیر پراکندگی طیف‌ها، ناشی از اختلاف اندازه ذرات بین نمونه‌ها و اثر ناشی از تغییر فاصله منبع نور تا نمونه استفاده می‌شود (Jamshidi *et al.*, 2012; Teye *et al.*, 2019). نرمال‌سازی^۳ طیف‌ها باعث قرار گرفتن درصد انعکاس همه آنها در یک بازه شده و در برخی از مطالعات، عملکرد خوبی داشته است و با گرفتن مشتق از طیف‌ها نقاط برجسته طیف ارتقاء می‌یابند، اما نویزهای موجود نیز تقویت می‌شوند و از این رو هموارسازی بعد از فرآیند مشتق‌گیری ضرورت دارد (Ishikawa & Gulick, 2013). الگوریتم ساویتزکی- گولای از معمول‌ترین روش‌های هموار سازی است که پس از مشتق‌گیری استفاده می‌شود. در این مرحله، انتخاب پارامترهای الگوریتم شامل تعداد نقاط همسایگی و درجه چند جمله‌ای به منظور جلوگیری از تقویت نویز با اهمیت است. مشتق‌گیری سبب کاهش نسبت سیگنال به نویز (به‌ویژه در مشتق‌های مرتبه بالاتر) می‌شود که مطلوب نیست. در این تحقیق، اثر اعمال مشتق اول روی داده‌های طیفی بررسی شده است. بعد از مشتق‌گیری نیز از الگوریتم SG با تعداد نقاط همسایگی ۱۰ و درجه چند جمله‌ای ۲ برای هموار سازی طیف‌ها استفاده شد. در برداشت طیف‌ها، از نرم افزار Ocean view 1.6.3 (Ocean Optics) و برای آنالیز مولفه‌های اصلی و اعمال

S_{λ} = شدت نور خروجی نمونه در طول موج ؛ Ref_{λ} = شدت نور خروجی مرجع در طول موج λ ؛ D_{λ} = شدت نور خروجی پس‌زمینه در طول موج λ و R_{λ} = میزان انعکاس نور در طول موج λ است.

داده‌کاوای طیفی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی

اولین مرحله از آنالیز داده‌های طیفی برای درک الگوهای احتمالی و داده‌های پرت، اغلب آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) است (Cortés *et al.*, 2019; Cozzolino *et al.*, 2011). از روش بدون نظارت^۱ PCA و بررسی وضعیت پراکندگی نمونه‌ها در مختصات مؤلفه‌های اصلی در تحقیقات گوناگون استفاده شده است (Callao & Ruisánchez, 2018; Horn *et al.*, 2018; Teye *et al.*, 2019). چنانچه در تحقیقی هر دو نمونه اصلی و غیر اصلی وجود داشته باشد، استفاده از یک آنالیز بدون نظارت کارآمد است. در این روش، متغیرهای جدیدی ایجاد می‌شود که هر یک ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی هستند. این متغیرهای جدید، مولفه‌های اصلی^۲ (PCs) نامیده می‌شوند و بیشترین اطلاعات موجود در ماتریس متغیرهای اصلی را در خود دارند. اولین مؤلفه اصلی بیشترین واریانس یا اطلاعات را در بر دارد در حالی که مؤلفه اصلی دوم اطلاعاتی را در خود دارد که با مؤلفه اصلی اول ارائه نشده است و این رویه به همین شکل در مؤلفه‌های بعدی نیز وجود دارد (Callao & Ruisánchez, 2018).

پیش‌پردازش طیف‌ها

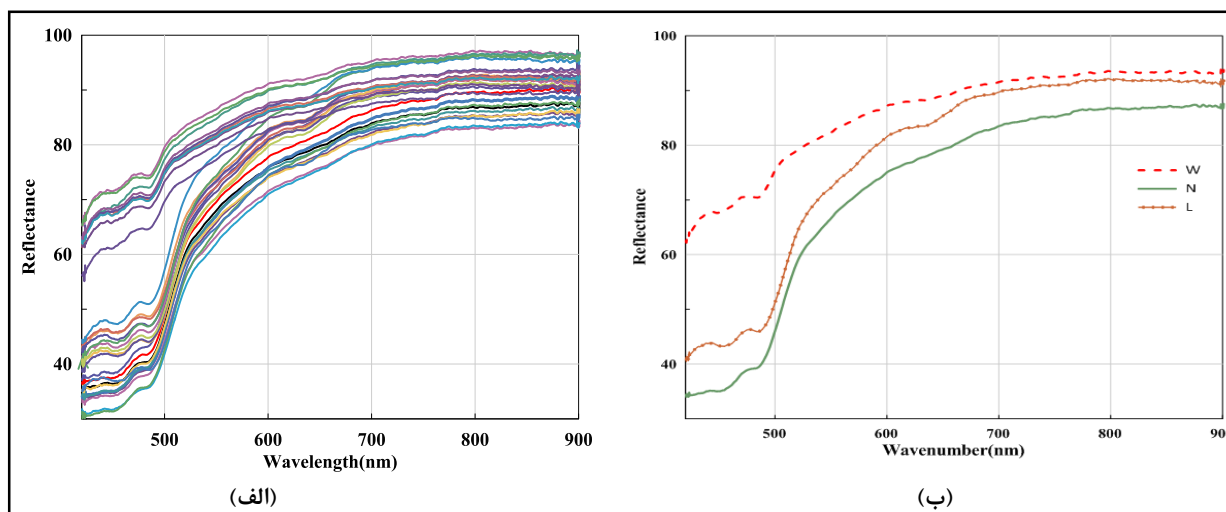
برای حذف اطلاعات ناخواسته، طیف‌های خام باید با روش‌های پیش‌پردازش مناسب اصلاح شوند (Lohumi *et al.*, 2015). پیش‌پردازش‌های متفاوتی برای داده‌های طیفی ابداع شده و در حال توسعه‌اند که هر یک کاربری خاص دارد و معمولاً هدفی خاص

و تحلیل شد. محققان دیگر نیز بخشی از طول موج‌ها را به علت ضعف بودن اطلاعات طیفی و داشتن نویز در آن قسمت حذف کرده اند (Innamorato *et al.*, 2012; Jamshidi *et al.*, 2019). برای بررسی وجود اختلاف بین طیف نمونه‌های بدون اختلاط آرد نخودچی (N)، آرد گندم (W) و آرد لپه (L) طیف میانگین آنها رسم شد (شکل ۱).

پیش‌پردازش‌های طیفی از نرم افزار Unscrambler X10.4 (CAMO Software) استفاده شد.

نتایج و بحث

پس از مشاهده طیف‌ها طول موج‌های ابتدا و انتهای آنها به علت دارا بودن نویز زیاد از روند تحلیل حذف شدند و ناحیه طیفی ۴۲۰-۹۰۰ نانومتر تجزیه

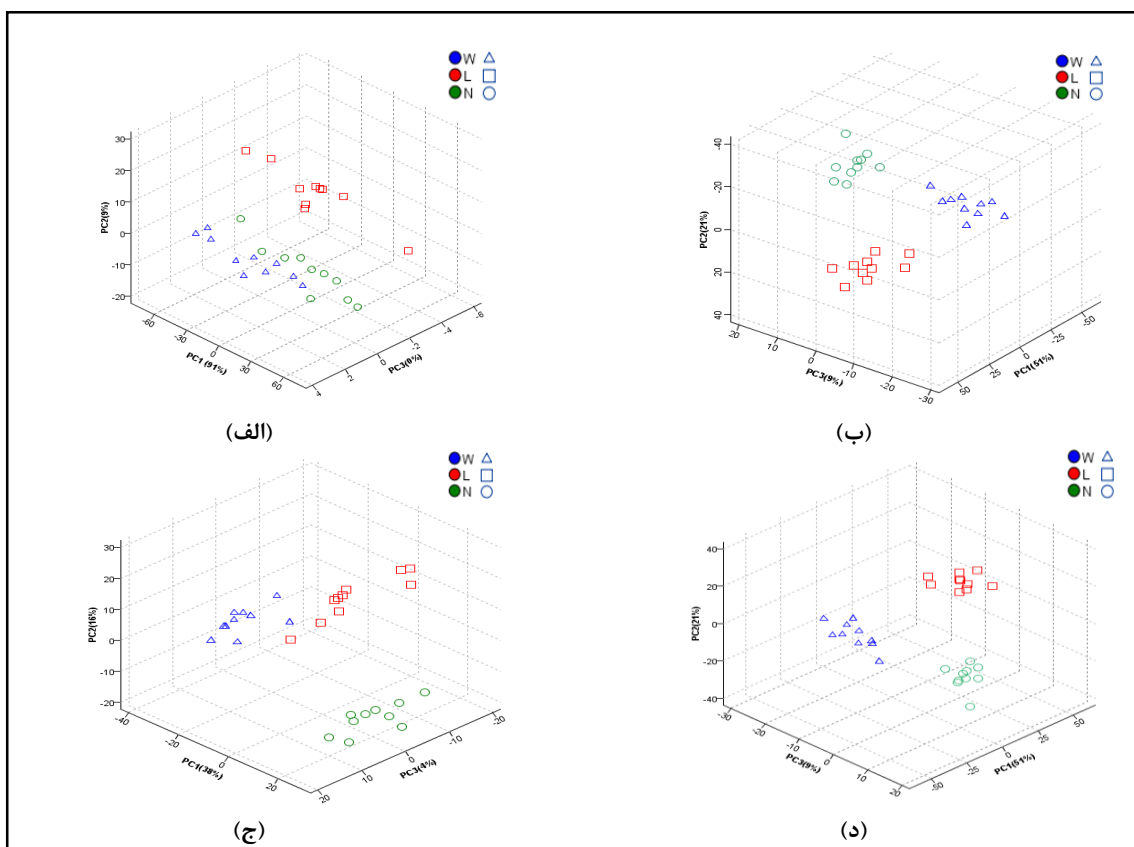


شکل ۱- الف) کل طیف‌های نمونه‌های بدون اختلاط و ب) طیف‌های میانگین نمونه‌های بدون اختلاط آرد نخودچی (N)، آرد گندم (W)، و آرد لپه (L)

در شکل ۲، پراکنندگی طیف‌ها در مختصات مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و سوم قبل و بعد از اعمال پیش‌پردازش‌ها روی داده‌های طیفی مشاهده می‌شود، نمودارها نشان می‌دهند که تفکیک مناسبی بین سه ماده (آرد نخودچی، آرد گندم و آرد لپه) از نظر واریانس بین کلاس‌ها (۳ ماده) و واریانس داده‌ها درون کلاس‌ها وجود دارد، خصوصاً پس از اعمال پیش‌پردازش‌های SNV و MSC که مجموعاً ۸۱ درصد واریانس بین طیف نمونه‌ها با سه مؤلفه اصلی پوشش داده می‌شود. یادآوری می‌شود که تفکیک‌پذیری طیف‌های آرد نخودچی از آرد گندم و آرد لپه برای ادامه دادن پژوهش ضروری بوده است.

با وجود اختلاف بین طیف‌های میانگین، خصوصاً آرد گندم و آرد نخودچی، می‌توان در زمینه عملکرد مدل تفکیک کننده استنباط بهتری داشت. برای درک بهتر جدایش‌پذیری نمونه‌های بدون اختلاط از یکدیگر، وضعیت طیف نمونه‌ها در مختصات مؤلفه‌های اول، دوم و سوم رسم^۱ شدند (شکل ۲). استفاده از روش PCA و بررسی وضعیت پراکنندگی نمونه‌ها در مختصات مؤلفه‌های اصلی در تحقیقات گوناگون مشاهده شده است (Callao & Ruisánchez, 2018; Horn *et al.*, 2018; Teye *et al.*, 2019).

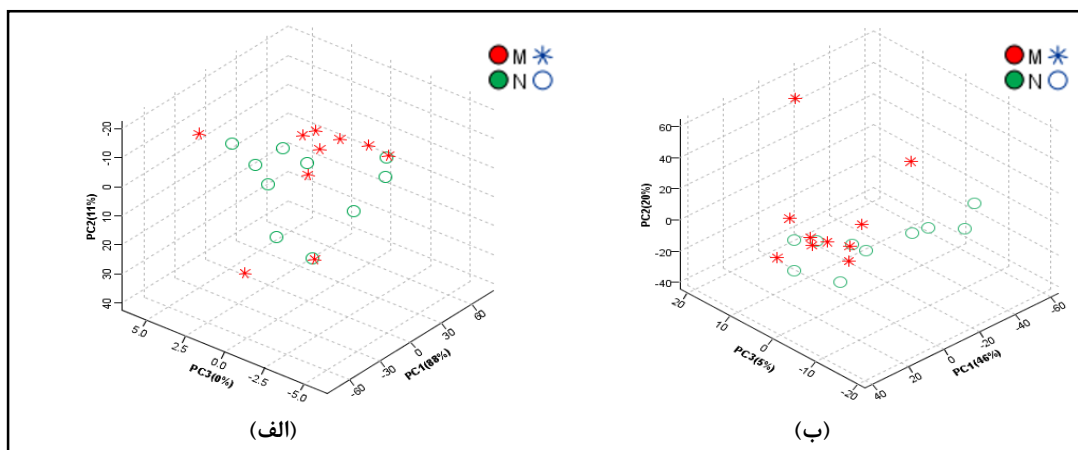
1- Scoreplot



شکل ۲- پراکنندگی طیف‌های آرد نخودچی (N)، آرد گندم (W) و آرد لپه (L) در مختصات مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم (PC1, PC2, PC3) در الف) بدون پیش‌پردازش، ب) SNV، ج) مشتق اول و د) MSC

نمی‌دهد (شکل ۳). اعمال پیش‌پردازش‌های مختلف نیز مؤثر واقع نشد (به عنوان نمونه عملکرد پیش‌پردازش SNV در شکل ۳ آورده شده است).

نمونه‌های آرد نخودچی مخلوط شده با آرد لپه نمودار پراکنندگی طیف‌های آرد نخودچی بدون اختلاط و مخلوط شده با آرد لپه ۳۰ درصد، تفکیک قابل قبولی بین نمونه‌ها نشان

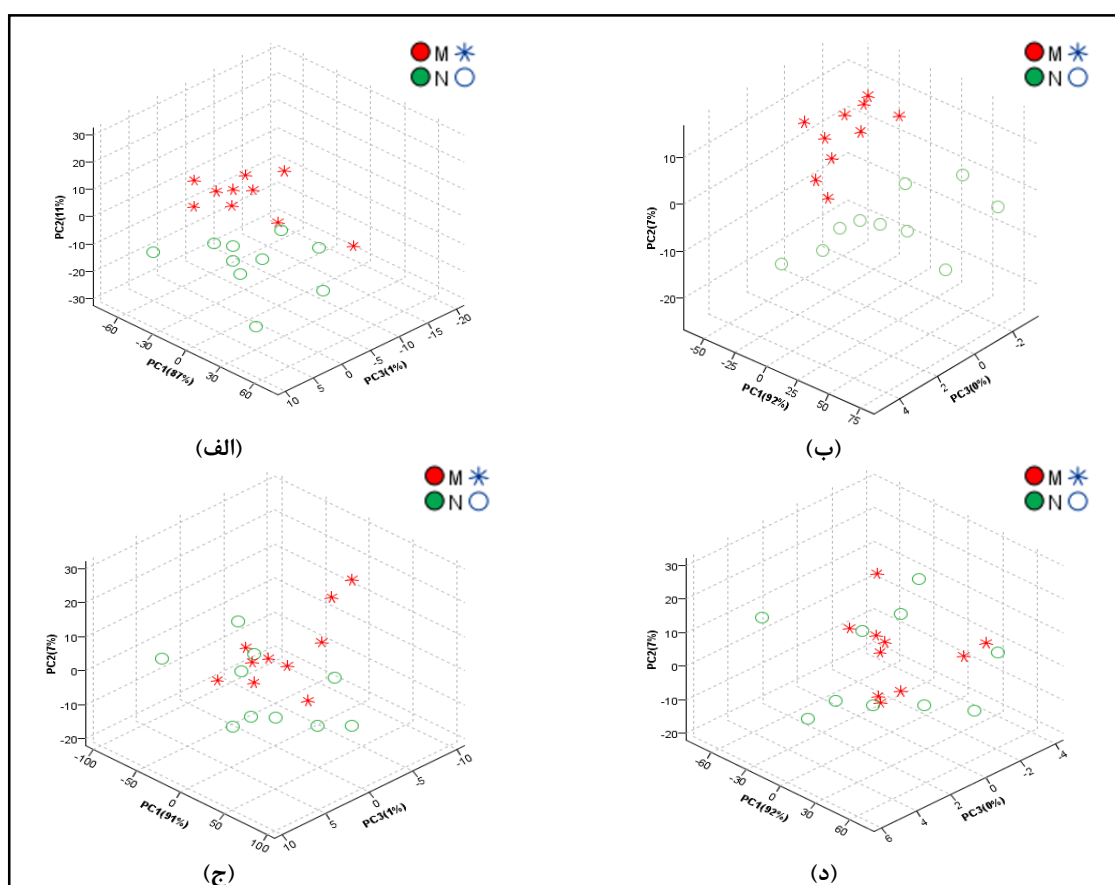


شکل ۳- الف) آرد نخودچی بدون اختلاط (N) و مخلوط شده با آرد لپه ۳۰ درصد (M) و ب) اعمال پیش‌پردازش SNV

مرئی (Ambrose & Cho, 2014; González *et al.*, 2005) تفکیک قابل قبولی در مختصات مولفه‌های اصلی مشاهده نشده است.

نمونه‌های آرد نخودچی مخلوط شده با آرد گندم در شکل ۴، پراکندگی طیف‌های بدون پیش‌پردازش نمونه آرد نخودچی بدون اختلاط و مخلوط شده با آرد گندم، در سطوح مورد بررسی، آورده شده است.

بنابراین، در درصدهای کمتر اختلاط نیز امکان تفکیک نمونه‌ها وجود نداشت. با مراجعه به شکل ۱ قسمت (ب) مشهود است که طیف‌های میانگین نمونه‌های بدون اختلاط آرد نخودچی و آرد لپه به هم نزدیک هستند و این تفکیک نشدن آنها را توسط PCA توجیه می‌کند. به عبارتی، این دو ماده در رنگ (ظاهر) و ترکیبات به هم بسیار نزدیک هستند و با توجه به تأثیر رنگ ماده غذایی در محدوده طیفی



شکل ۴- پراکندگی طیف‌های آرد نخودچی بدون اختلاط (N) و مخلوط شده با آرد گندم در سطوح مورد بررسی (M) الف) ۲۰ درصد، ب) ۳۰ درصد، ج) ۵۰ درصد و د) ۱۰۰ درصد

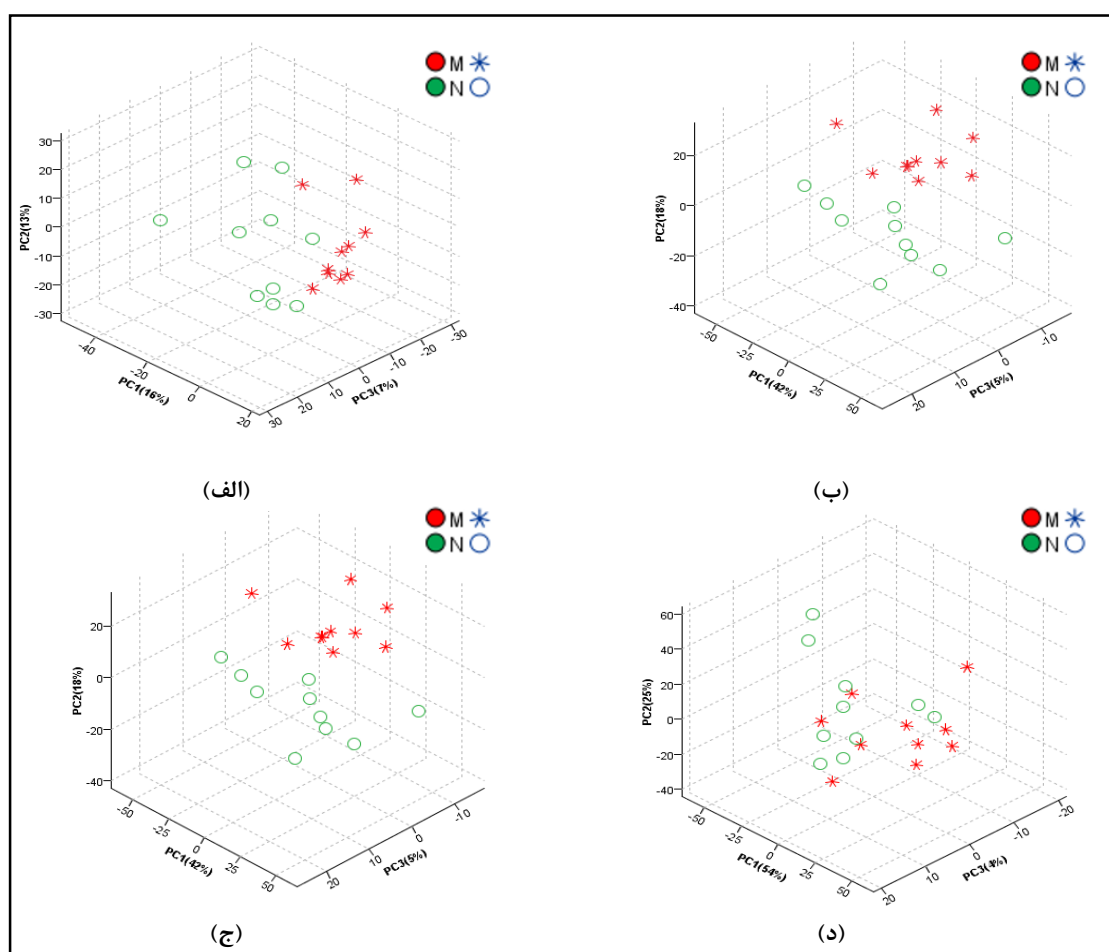
شکل‌های ۵ و ۶ عملکرد آنها در ارتقای تفکیک پذیری طیف‌ها دیده می‌شود. در این مرحله، پیش‌پردازش‌های SNV و MSC عملکرد قابل قبولی داشتند. این پیش‌پردازش‌ها از نظر ریاضی متفاوت عمل می‌کنند اما به‌طور مشابه اصولاً برای حذف

در سطوح اختلاط ۳۰ و ۲۰ درصد، تفکیک مناسبی وجود دارد اما با کاهش درصد اختلاط و کمتر شدن مقدار آرد گندم در نمونه مخلوط شده، جدایش پذیری ضعیف شده است. در این مرحله، اثر اعمال پیش‌پردازش‌های رایج بررسی شد. در

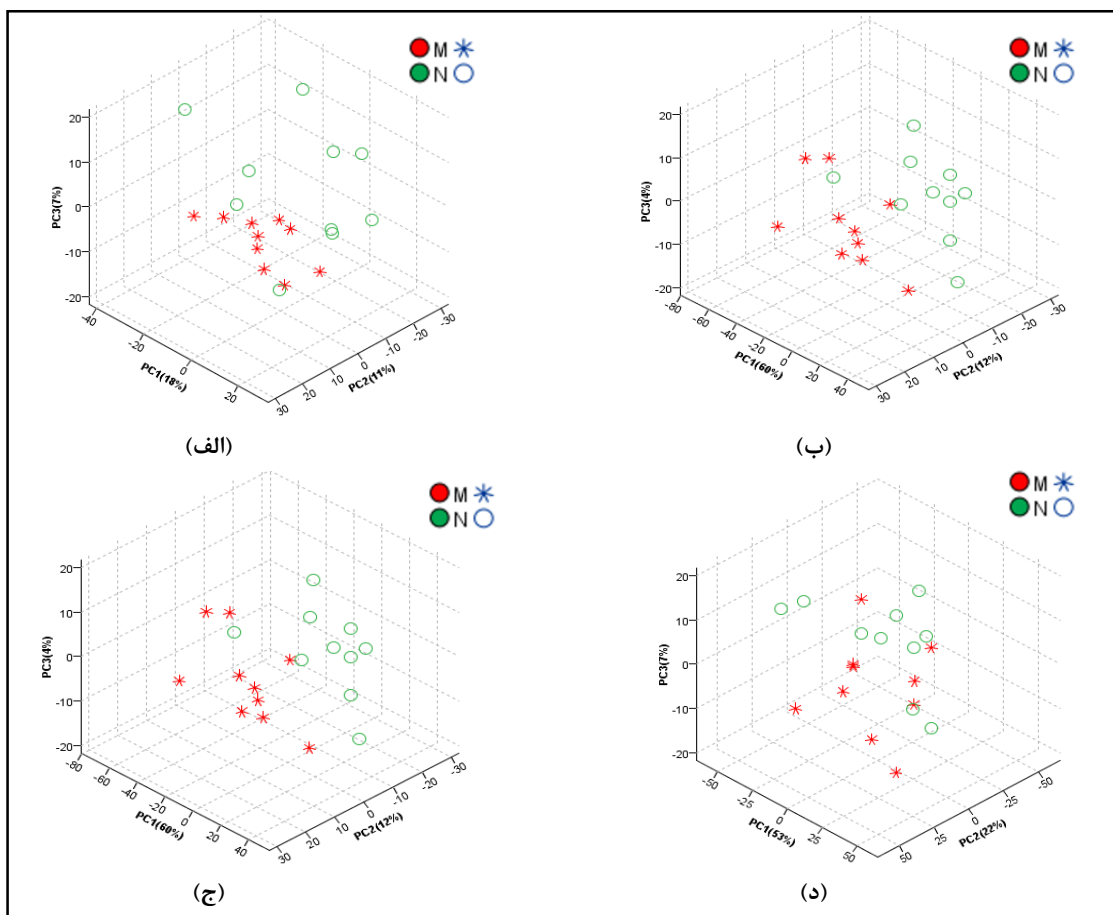
سفيدتر می‌شود و در نتیجه درصد انعکاس نور بالا می‌رود و فاصله با طیف آرد نخود بدون آرد گندم افزایش می‌یابد و این اختلاف در ناحیه طیفی ۴۳۰ تا ۴۸۰ نانومتر نمود بیشتری دارد. در تحقیقات کاربردی دیده شده است که از وجود فاصله (اختلاف) طیفی یک شاخص تعیین و به کار گرفته شده است (Farneti *et al.*, 2015; Nyasordzi *et al.*, 2013). با داشتن درصد جذب یا انعکاس که با رابطه $A = \log I/R$ (Jamshidi *et al.*, 2015) به یکدیگر قابل تبدیل هستند، ناحیه طیفی مذکور از نظر امکان تعیین شاخص وجود آرد گندم در آرد نخود بر مبنای اختلاف درصد جذب یا انعکاس بااهمیت است.

اثرهای جمعی و افزایشده پخش نور، اندازه ذرات و تغییر فاصله نوری استفاده می‌شوند (Nicolai *et al.*, 2007). از آنجا که اثرهای ذکر شده در مواد پودری (با توجه به ماهیت آنها) وجود دارد، در این بخش پیش پردازش‌ها عملکرد خوبی داشته‌اند.

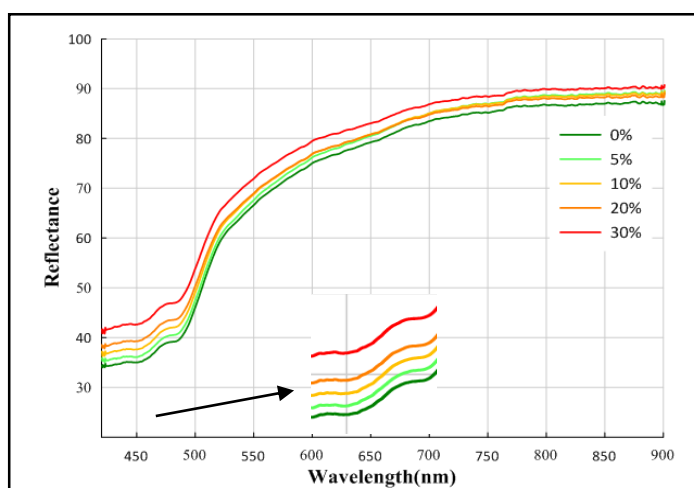
شکل ۷، طیف‌های میانگین و هموار شده با الگوریتم ساویتزکی گولای را در سطوح متفاوت اختلاط آرد گندم با آرد نخودچی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که فاصله بین طیف‌ها با کاهش سطح اختلاط (کاهش مقدار آرد گندم) کمتر شده است، به عبارت دیگر، هر چه مقدار آرد گندم افزایش یابد، رنگ آرد نخود (دارای آرد گندم)



شکل ۵- عملکرد پیش پردازش‌ها در پراکندگی طیف‌های آرد نخودچی بدون اختلاط (N) و مخلوط شده با آرد گندم در سطح ۱۰ درصد (M) (الف) مشتق اول، (ب) SNV، (ج) MSC و (د) نرمال سازی



شکل ۶- عملکرد پیش‌پردازش‌ها در پراکندگی طیف‌های آرد نخودچی بدون اختلاط (N) و مخلوط شده با آرد گندم در سطح ۵ درصد (M) (الف) مشتق اول (ب) SNV، (ج) MSC و (د) نرمال‌سازی



شکل ۷- طیف‌های میانگین سطوح اختلاط آرد گندم با آرد نخودچی

موفق و ناحیه طیفی ۴۳۰ تا ۴۸۰ نانومتر به لحاظ تعریف شاخص طیفی تفکیک کننده حائز اهمیت شناخته شد.

نتیجه‌گیری
روش مورد بررسی در تشخیص وجود آرد گندم در آرد نخودچی در کلیه سطوح اختلاط بررسی شده

در جداسازی طیف نمونه‌های آرد نخودچی تفکیک بین طیف نمونه‌ها حتی با اعمال مخلوط‌شده با آرد لپه از آرد نخودچی بدون آرد لپه، پیش‌پردازش‌های مختلف دیده نشد.

مراجع

- Ambrose, A. and Cho, B. K. 2014. A review of technologies for detection and measurement of adulterants in cereals and cereal products. *Journal of Biosystems Engineering*. 39(4): 357-365.
- Callao, M. P. and Ruisánchez, I. 2018. An overview of multivariate qualitative methods for food fraud detection. *Food Control*. 86, 283-293.
- Civelli, R., Giovenzana, V., Beghi, R., Naldi, E., Guidetti, R. and Oberti, R. 2015. A simplified, light emitting diode (LED) based, modular system to be used for the rapid evaluation of fruit and vegetable quality: Development and validation on dye solutions. *Sensors*. 15(9): 22705-22723.
- 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(1):138-148.
- Cozzolino, D., Cynkar, W., Shah, N. and Smith, P. 2011. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*. 44(7): 1888-1896.
- Farneti, B., Gutierrez, M. S., Novak, B., Busatto, N., Ravaglia, D., Spinelli, F. and Costa, G. 2015. Use of the index of absorbance difference (IAD) as a tool for tailoring post-harvest 1-MCP application to control apple superficial scald. *Scientia Horticulturae*. 190, 110-116.
- Giovenzana, V., Beghi, R., Malegori, C., Civelli, R. and Guidetti, R. 2014. Wavelength selection with a view to a simplified handheld optical system to estimate grape ripeness. *American Journal of Enology and Viticulture*. 65(1): 117-123.
- González, M., Lobo, M. G., Méndez, J. and Carnero, A. 2005. Detection of colour adulteration in cochineals by spectrophotometric determination of yellow and red pigment groups. *Food Control*. 16(2): 105-112.
- Horn, B., Esslinger, S., Pfister, M., Fauhl-Hassek, C. and Riedl, J. 2018. Non-targeted detection of paprika adulteration using mid-infrared spectroscopy and one-class classification— Is it data preprocessing that makes the performance? *Food Chemistry*. 257, 112-119.
- Innamorato, V., Longobardi, F., Lippolis, V., Cortese, M., Logrieco, A. F., Catucci, L., Agostiano, A. and De Girolamo, A. 2019. Tracing the geographical origin of lentils (*Lens culinaris Medik.*) by infrared spectroscopy and chemo metrics. *Food Analytical Methods*. 12(3): 773-779.

- Ishikawa, S. T. and Gulick, V. C. 2013. An automated mineral classifier using Raman spectra. *Computers & Geosciences*. 54, 259-268.
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E. and Ghassemian, H. 2015. Pattern recognition of NIR spectroscopy for nondestructive discrimination of oranges based on taste index. *Journal of Agricultural Machinery*. 5(1): 101-110 (in Persian)
- 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.
- Jantra, C., Slaughter, D. C., Liang, P. S. and Pathaveerat, S. 2017. Nondestructive determination of dry matter and soluble solids content in dehydrator onions and garlic using a handheld visible and near infrared instrument. *Postharvest Biology and Technology*. 133, 98-103.
- Lohumi, S., Lee, S. and Cho, B. K. 2015. Optimal variable selection for Fourier transform infrared spectroscopic analysis of starch-adulterated garlic powder. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 216, 622-628.
- 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.
- Nyasordzi, J., Friedman, H., Schmilovitch, Z., Ignat, T., Weksler, A., Rot, I. and Lurie, S. 2013. Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biology and Technology*. 77, 80-86.
- O'Mahony, N., Murphy, T., Panduru, K., Riordan, D. and Walsh, J. 2018. Machine learning algorithms for estimating powder blend composition using near infrared spectroscopy. 2nd International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS). 2018 16 April (pp. 1-6). IEEE.
- Rodríguez, S. D., Rolandelli, G. and Buera, M. P. 2019. Detection of quinoa flour adulteration by means of FT-MIR spectroscopy combined with chemometric methods. *Food Chemistry*. 274, 392-401.
- Sánchez-Paternina, A., Román-Ospino, A. D., Martínez, M., Mercado, J., Alonso, C. and Romañach, R. J. 2016. Near infrared spectroscopic transmittance measurements for pharmaceutical powder mixtures. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 123, 120-127.
- 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.
- Wilde, A. S., Haughey, S. A., Galvin-King, P. and Elliott, C. T. 2019. The feasibility of applying NIR and FT-IR fingerprinting to detect adulteration in black pepper. *Food Control*. 100, 1-7.

The Feasibility of Detecting Chickpea Flour Adulteration by Spectroscopy (420-900 Nm) and Principle Components Analysis Technique

R. Mohammadigol*, M. Lashgari and A. Imanmehr

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran. Email:r-mohammadigol@araku.ac.ir

Received: 28 April 2019, Accepted: 1 september 2019

Abstract

In the confectionary and food industries, chickpea flour has a well-known situation and is at high risk of food fraud when economical issues are concerned. Low prices of wheat and split pea wastes flours compared to chick pea flour are the reasons that these materials are used as common frauds. Demanding of non-destructive methods of quality evaluation and also the increasing trend of the development and production of functional and portable optical equipment were the reasons why this research has been conducted. In this research, the potential of the spectroscopy (420-900 nm) with principle components analysis technique (PCA) and common preprocessing methods to discriminate the samples of chick pea, wheat and split pea flours on 5, 10, 20 and 30% mixing percentage has been studied. The mentioned method on detection of the split pea flour at 30% mixing percentage and lower was unsuccessful but on discrimination of the wheat flour at 30 and 20% mixing percentage was successful and on detection of 5 and 10% by applying preprocessing (SNV/MSC) was successful. The result indicated that there has been a possibility to define an index based on spectral data to detect the wheat flour in chick pea flour in 430-480 nm band, therefore there is a potential to replace experimental methods with fast and non-destructive spectroscopy (420-900 nm) with PCA.

Keywords: Authentication, Nondestructive methods, Powdered food.