

پیش‌بینی برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی NIR-Vis

کریم گرامی^۱، حسین بهفر^{۲*}، بهاره جمشیدی^۳ و شهین زمردی^۴

چکیده

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی محصولات کشاورزی به روش‌های غیرمخرب با توجه به ارزش اقتصادی آن‌ها و هزینه‌بر بودن نهاده‌های مختلف برای تولید آن‌ها، یک الزام بسیار اساسی است. از بین روش‌های غیرمخرب مختلف، روش‌های طیف‌سنجی نوری به علت کاربرد آسان و سریع از اهمیت بیشتری برخوردارند. در این پژوهش روش طیف‌سنجی Vis-NIR (۴۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر) به منظور پیش‌بینی مقادیر مشخصه‌های کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار گرفت. برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی پرتقال از جمله ابعاد، وزن، وزن حجمی، مواد جامد قابل حل (TSS)، اسید قابل تیتر (TA)، pH و شاخص‌های نسبت TSS/TA و BrimA تعیین شدند. طیف‌های Vis-NIR با استفاده از روش‌های مختلف هموارسازی و نرمال‌سازی و ترکیب آنها پیش‌پردازش شدند. نتایج نشان داد که طیف‌سنجی Vis-NIR با پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند به خوبی TSS ($r_p=0/983$) و pH ($r_p=0/972$) پرتقال رقم تامسون را پیش‌بینی کند. همچنین این روش در ترکیب با پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند با نتایج قابل قبولی، شاخص TA ($r_p=0/771$) و BrimA ($r_p=0/865$) پرتقال رقم تامسون را پیش‌بینی کند. شاخص TSS/TA نیز با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR و پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند با نتایج قابل قبولی ($r_p=0/829$) پیش‌بینی شود. بنابراین روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش غیرمخرب می‌تواند در بررسی کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی نوری، حداقل مربعات جزئی، مرئی-مادون قرمز نزدیک، پیش‌پردازش.

ارجاع: گرامی ک.، بهفر ح.، جمشیدی ب. و زمردی ش. ۱۴۰۱. پیش‌بینی برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis-NIR. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۶۵-۷۶. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13736.570>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۴- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه.

نویسنده مسئول: h_behfar@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

مقدمه

ظاهر و مشخصات قابل مشاهده مرکبات، اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در خرید اولیه این محصولات کشاورزی است. اما تصمیم برای خریدهای بعدی به شدت وابسته به این اطمینان است که ظاهر بصری مرکبات خریداری شده با یک تجربه حسی مطلوب در زمان مصرف مطابقت داشته باشد (Ncama *et al.*, 2017b). بنابراین داشتن اطلاعاتی در خصوص مشخصات کیفی این محصولات کشاورزی بر اساس مشخصات ظاهری آن‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد طبقه‌بندی و حفظ بازار فروش این محصولات ارائه دهد. اصولاً تشخیص این موارد با استفاده از شکل نیاز به تکنولوژی‌ها و روش‌های دقیقی دارد (Chen *et al.*, 2013). مواد جامد قابل حل¹ (TSS)، اسید قابل تیترا (TA)، pH، TSS/TA و BrimA از شاخص‌های بلوغ و طعم میوه و بر کیفیت آن‌ها تأثیرگذار هستند (Zhan *et al.*, 2021).

بنابراین ارائه روش‌هایی که با استفاده از آن‌ها بتوان مقادیر این مشخصه‌های کیفی را به‌صورت سریع و غیرمخرب پیش‌بینی کرد بسیار مفید و حائز اهمیت است. روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش بسیار خوب و مناسب برای تشخیص مقادیر مشخصه‌های کیفی محصولات مختلف کشاورزی همواره مورد استفاده قرار گرفته است. طیف‌سنجی Vis/NIR یک فناوری غیرمخرب است که بر پایه اندازه‌گیری بازتاب یا عبور نور و تحلیل و تفسیر طیف‌های جذبی و نشری به مطالعه تجربی برهم‌کنش نور و ماده می‌پردازد. این فناوری توانایی نمایش جزئیات ترکیبی مواد و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی مواد بیولوژیک را به‌صورت سریع و غیرمخرب دارد (Jamshidi, 2020). به‌ویژه در دو دهه گذشته، همراه با توسعه سیستم‌های قابل حمل، از این فناوری به‌صورت برخط و در سرعت‌های بالای خطوط درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده شده است (Khodabakhshia *et al.*, 2014).

روش طیف‌سنجی Vis-NIR برای پیش‌بینی ویژگی‌های TSS، TA و شاخص TSS/TA سه رقم گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR توانایی پیش‌بینی مشخصه‌های کیفی مذکور را با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۵، دارا

است (Najjar & Abu-Khalaf, 2021). در مطالعه‌ای دیگر مقدار مواد جامد حل شدنی (TSS) به‌عنوان اصلی‌ترین مشخصه کیفی میوه سیب در طول نگهداری آن تحت جو کنترل شده با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از توانایی خوب ($r_p=0/876$ ، $RMSEC=0/355$ ، $r_c=0/924$ ، $RMSEP=0/409$) این روش در پیش‌بینی مقدار TSS بود (Shen *et al.*, 2021). مقدار TSS، pH، TA و سفتی میوه نارنگی رقم ساتسوما با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR با دارا بودن ضریب همبستگی تقریباً برابر با ۰/۹۴ به‌خوبی پیش‌بینی شد (Antonucci *et al.*, 2011; Gómez *et al.*, 2006). علاوه بر این، برای میوه نارنگی مقدار TSS، TA، سفتی و نسبت وزن آبمیوه به وزن میوه با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR با حداقل ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۵ پیش‌بینی شد (Sánchez *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر مقدار TSS، TA و شاخص بلوغ مربوط به میوه لیمو رقم لایم و ججو با استفاده از روش طیف‌سنجی NIR با ضریب همبستگی به‌ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۶۹ و ۰/۷۷ و ریشه میانگین خطای به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳۷، ۰/۲۸۸ و ۰/۰۴۹ به‌خوبی پیش‌بینی شد (LeeTeerachaichayut & Ho, 2017; et al., 2004). ویتامین ث یا آسکوربیک اسید میوه لیمو با استفاده از روش طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های واسنجی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی و روش‌های پیش‌پردازش مختلف برای پیش‌گویی ویتامین ث تدوین شدند. نتایج حاصل از مدل‌سازی با پیش‌پردازش‌های مختلف در محدوده NIR با طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۲۴۵۰ نانومتر، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده برای مدل‌سازی بهترین نتیجه با پیش‌پردازش ترکیبی ساویتزگولای و مشتق دوم و با تعداد مؤلفه‌های اصلی ۱۲ حاصل گردید که برای دسته آموزش و آزمون به ترتیب دارای ضرایب رگرسیون ۰/۹۷۳ و ۰/۹۸۵ و ریشه خطای میانگین ۰/۷۴۴ و ۰/۶۳۷ بوده و نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان ویتامین ث میوه لیمو به‌صورت غیرمخرب بود (Rafiee *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر توانایی طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک در حالت بازتاب به‌منظور تعیین غیرمخرب رطوبت لیموشیرین مورد

1- Total soluble Solid (TSS)

حذف نمونه‌های پرت، تعداد ۱۳۶ نمونه باقی ماند که ۱۰۰ نمونه برای آموزش و ۳۶ نمونه برای آزمون استفاده شد.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها

ابتدا میوه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius، آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و ابعاد توسط کولیس دیجیتالی (ACCUD، اتریش) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس میانگین هندسی و جرم حجمی پرتقال‌ها به ترتیب با استفاده از معادلات (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$MA = \sqrt[3]{A \times B \times C} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

که در این معادلات A، B و C ابعاد اصلی نمونه، M جرم نمونه‌ها (g)، V حجم نمونه‌ها (cm³)، ρ جرم حجمی پرتقال‌ها (g/cm³) هستند.

میزان pH آب پرتقال توسط دستگاه pH متر (Metrohm، سوییس) پس از کالیبره شدن با بافر ۴ و ۷ و اسیدیته قابل تیتراژ آب پرتقال (بر حسب اسید سیتریک) با استفاده از تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۳ (روش پتانسیومتری) و بریکس (SSC) با استفاده از رفاکتومتر دستی (Garlzeiss Jena، آلمان) اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های SSC/TA از نسبت بریکس به اسیدیته و BrimA با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید (Ncama et al., 2017b).

$$BrimA = SSC - K(TA) \quad (3)$$

با توجه به معادله (۳)، ثابت K نشان‌دهنده حساسیت بالای زبان به TA در مقایسه با TSS است. همچنین ثابت K موجب می‌شود که مقادیر TA کوچکتر از TSS تأثیر یکسانی را بر مقدار عددی BrimA داشته باشد. طبق پژوهش‌های پیشین در مرکبات، برای پرتقال بیشترین همبستگی بین BrimA و آزمون چشایی در K=۴ به وجود می‌آید. از این رو مقدار ثابت K در این پژوهش ۴ در نظر گرفته شد (Jamshidi et al., 2012a).

طیف‌سنجی

طیف‌های Vis/NIR نمونه‌ها در حالت برهم‌کنش اندازه‌گیری شدند. سامانه طیف‌سنج استفاده شده (UV-Vis-NIR مدل V900) ساخت آزمایشگاه تهرترز گروه فوتونیک دانشگاه کاشان است. این سامانه دارای بخش‌های اصلی شامل منبع نور از نوع هالوژن-دوتریوم، طیف‌سنج با

بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در این مطالعه نیز نشان داد که مدل‌سازی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی و پیش‌پردازش ترکیبی ساویتزگولای و مشتق دوم و با تعداد مؤلفه‌های اصلی ۱۲ با دارا بودن ضریب رگرسیونی پیش‌بینی برابر با ۰/۹۸۱ مناسب است (Rafiee et al., 2016). همچنین در مقالات بسیاری امکان پیش‌بینی شاخص‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از طیف‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله TSS (Huishan et al., 2005) و ویتامین ث (Xia et al., 2007) پرتقال رقم ناول با استفاده از FT-NIR، شاخص TA، TSS (Cen et al., 2006) و اسید سیتریک و اسید تارتاریک (Cen et al., 2007)، TSS، TA و طعم پرتقال رقم والنسیا (Ncama et al., 2017a) با استفاده از طیف‌سنجی Vis-NIR بررسی شد و ضرایب رگرسیون پیش‌بینی بالاتر از ۰/۹۰ به دست آمد.

بنابراین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرمخرب سودمند در پیش‌بینی پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار گیرد.

در این تحقیق هدف اصلی بررسی و مطالعه توانایی پیش‌بینی شاخص‌های کیفی پرتقال رقم تامسون با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR بود. به‌منظور دست یافتن به هدف اصلی این مطالعه روش‌های مختلف پیش‌پردازش روی داده‌های طیف‌سنجی اعمال و مورد مقایسه قرار گرفت. برای مدل‌سازی از روش خطی حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از پرتقال رقم تامسون شمال استفاده شد. این رقم در استان‌های شمال کشور دارای سطح زیر کشت بیشتری بوده و در دنیا و ایران از محبوبیت زیادی برخوردار است. در دی ماه ۱۳۹۸ تعداد ۲۰ جعبه ۱۵ تایی پرتقال رقم تامسون از بازار میوه و تره‌بار شهرستان ارومیه (از محصولات یک باغ در شمال کشور) خریداری شد. سپس نوع رقم پرتقال‌های تهیه شده توسط بخش باغبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی مورد تأیید قرار گرفت. برای دستیابی به نتایج واقعی و کاهش خطای آزمایش، تعداد ۱۵۰ عدد پرتقال سالم و یکنواخت از نظر اندازه به طور تصادفی انتخاب شد. پس از

حالت منبع نور روشن، از یک دیسک سفید استاندارد که توانایی بازتاب ۹۵ درصد را در محدوده ۲۲۰۰-۲۵۰ نانومتر و توانایی بازتاب ۹۸ درصد را در محدوده ۱۵۰۰-۲۵۰ نانومتر دارد، برای دستیابی به طیف مرجع استفاده شد. به این ترتیب، پس از قرار دادن کاوش‌گر روی پرتقال در حالت منبع نور روشن و با داشتن طیف‌های تیره و مرجع، نرم‌افزار 2013 labview میزان بازتاب را طبق معادله (۴) (Choudhary et al., 2009) محاسبه می‌کند:

$$R_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{Ref_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100 \quad (4)$$

که در این معادله: R_{λ} : بازتاب در طول موج λ ; S_{λ} : شدت نور خروجی نمونه در طول موج λ ; Ref_{λ} : شدت نور خروجی مرجع در طول موج λ ; D_{λ} : شدت نور خروجی تیره در طول موج λ است.

برای بررسی تکرارپذیری دستگاه نیز، هر نمونه پرتقال از سه جهت مختلف طیف‌سنجی شد و نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین طیف‌ها وجود نداشت. در نتیجه تکرارپذیری دستگاه مورد تأیید قرار گرفت.

پردازش داده‌ها

عمدتاً داده‌های طیفی علاوه بر اطلاعات مفیدی که دارند، حاوی اطلاعات ناخواسته‌ای از پس‌زمینه و نویزها هستند. از این‌رو برای دستیابی به مدل‌های واسنجی پایدار، دقیق و قابل اعتماد نیاز به پیش‌پردازش داده‌های طیفی پیش از تدوین مدل‌های رگرسیون است (Jamshidi et al., 2014). بنابراین در این مطالعه پس از اینکه طیف‌های بازتابی از همه نمونه‌ها اخذ شد، به‌منظور ایجاد یک ارتباط خطی با غلظت مولکولی نمونه، این طیف‌ها با استفاده از معادله (۵) به طیف جذبی تبدیل شدند.

$$A = \log T^{-1} \quad (5)$$

که در آن T میزان بازتاب و A میزان جذب است (Chen & Nattuvelty, 1980).

اساساً به‌منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش طیف‌ها از برخی روش‌های هموارسازی^۱ و کاهش نویز (میانگین‌گیری متحرک^۲ (MA)، ساویتزکی-گولای^۳ (SG) و فیلتر میانه^۴،

آشکارساز CCD و کاوشگر فیبر نوری است. بنابراین طیف‌سنج توانایی ثبت طیف الکترومغناطیس در ناحیه ۲۰۰-۱۱۰۰ نانومتر را با وضوح یک نانومتر دارا است. تکفام ساز به‌کار رفته از نوع پاشنده است که بدین منظور از منشور به عنوان تکفام ساز برای تجزیه تابش به طول موج‌های مختلف استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه طیف‌سنجی مورد استفاده

همچنین، قابلیت اتصال فیبر نوری به طیف‌سنج و انتقال اطلاعات به لپ‌تاپ به منظور نمایش و ذخیره سازی طیف‌های به دست آمده در نرم‌افزار 2013 labview از طریق پورت USB در این سامانه وجود دارد. برای انتقال نور از منبع نور به کاوش‌گر و نمونه (میوه) و انتقال نور بازتابشی از نمونه (میوه) به داخل طیف‌سنج از فیبر نوری شیشه‌ای به قطر ۲۰۰ میکرون با درگاه خروجی SMA استفاده شده است. این سامانه دارای یک کاوشگر فیبر نوری دوشاخه است. کاوشگر دارای یک فیبرنوری گیرنده در وسط (متصل به طیف‌سنج) و شش فیبر نوری انتشار (متصل به منبع نور) بوده که در یک دایره پنج میلی‌متری در اطراف فیبر گیرنده توزیع شده است. در تحقیق دیگری در انتخاب بهترین حالت اندازه‌گیری برای طیف‌سنجی پرتقال، طیف‌ها برای شناسایی اوج‌های جذبی و اورتون‌های ارتعاش اصلی به‌منظور شناسایی ترکیبات شیمیایی درونی، تفسیر و از نظر مناسب بودن میزان جذب و مقدار نویز مقایسه شدند (Jamshidi et al., 2012b).

طیف‌سنج از طریق کابل USB به کامپیوتر متصل و طیف‌های حاصل توسط نرم‌افزار 2013 labview در کامپیوتر ذخیره شدند. برای کالیبره کردن و صحت‌سنجی دستگاه، قبل از طیف‌سنجی، طیف‌های تیره (D) و سفید مرجع (Ref) تعریف و ذخیره شدند. به این ترتیب که با خاموش کردن منبع نور طیف تیره گرفته شد، سپس در

1- Smoothing

2- Moving Average

3- Savitzky Golay

4- Median Filter

$$SDR = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (y_i - y_m)^2 / (n_p - 1)} / RMSEP \quad (۸)$$

$$= SD / RMSEP$$

در این معادله‌ها، y_i مقدار اندازه‌گیری شده ویژگی برای نمونه i ام در دسته آموزش یا دسته آزمون، \hat{y}_i مقدار پیش‌بینی شده ویژگی برای نمونه i ام در دسته آموزش یا دسته آزمون، n_c تعداد نمونه‌های دسته آموزش، n_p تعداد نمونه‌های دسته آزمون و y_m میانگین مقدارهای اندازه‌گیری شده ویژگی در دسته آموزش یا دسته آزمون است.

مدل بهینه از بین مدل‌های تدوین شده برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی پرتقال بر پایه داشتن RMSEP کمتر، r_p و SDR بیشتر انتخاب شد. کمتر بودن اختلاف بین RMSEC و RMSEP نیز بررسی شد. برای هر مدل نیز تعداد بهینه متغیرهای نهان (LV) به گونه‌ای انتخاب شد تا مدل کمترین RMSE را در پیش‌بینی پارامتر مورد نظر داشته باشد. اگر مقدار SDR بین ۱/۵ و ۲ باشد، مدل توانایی تشخیص مقادیر پایین صفت مورد نظر از مقادیر بالا را دارا است. اگر بین ۲ و ۲/۵ باشد، مدل توانایی پیش‌بینی صفت مورد نظر را با دقت کمی دارا است. اما اگر مقدار این شاخص بالای ۲/۵ باشد، دقت بالای مدل در پیش‌بینی صفت مورد نظر را نشان می‌دهد (Nicolai et al., 2007).

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و شیمیایی

در جدول ۱ مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های پرتقال در اسپکتروسکوپی Vis-NIR آورده شده است با توجه به جدول ۱، مقادیر ابعاد، جرم، حجم و جرم حجمی نمونه‌ها نشان دهنده تنوع مشخصات مورفولوژیکی نمونه‌های پرتقال بوده و دلیل اصلی استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، برای حذف اثرات فیزیکی طیف‌ها است (Jamshidi, et al., 2012a).

در این راستا میانگین طول پرتقال رقم تامسون درجه یک (بزرگ)، دو (متوسط) و سه (کوچک) را به ترتیب ۹۰/۴۰، ۸۴/۰۶ و ۷۷/۹۳ میلی‌متر و میانگین عرض را به ترتیب ۸۵/۰۳، ۷۷/۹۳ و ۷۰/۶۲ میلی‌متر، میانگین ضخامت را به ترتیب ۸۴/۳۹، ۷۵/۵۴ و ۶۹/۱۵ میلی‌متر و میانگین حجم را به ترتیب ۲۷۷/۵۳، ۲۱۵/۳۸ و ۱۵۹/۷۶ سانتی‌متر مکعب گزارش شده است (Sharifi et al., 2007).

نرمال‌سازی^۱ (تصحیح پراکنش افزایشنده^۲ (MSC)، توزیع نرمال استاندارد^۳ (SNV)) استفاده می‌شود در تحقیق دیگری نیز نشان داده شد که روش‌های پیش‌پردازش ترکیبی مناسب‌تر از روش‌های تکی است (Jamshidi et al., 2014). بنابراین در این مطالعه اثر شش شیوه ترکیبی SG+MSC، MA+SNV، MA+MSC، SG+SNV، MF+MSC و MF+SNV بر دقت مدل‌های چند متغیر تدوین شده برای هریک از پارامترهای کیفی بررسی و برای اجرای این روش‌ها از نرم‌افزار Unscrambler X 10.4 استفاده شد.

تدوین مدل

پس از اتمام آزمون غیرمخرب (طیف‌سنجی) و اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها و انجام پیش‌پردازش مناسب، تدوین مدل‌های چند متغیره برآزش برای استفاده از طیف‌های حاصل انجام شد. در این پژوهش از تکنیک خطی حداقل مربعات جزئی (PLS) برای ایجاد مدل بین طیف‌های حاصل و داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های مرجع (آزمایش‌های مخرب) استفاده شد. سپس مدل‌های PLS تدوین شده اعتبارسنجی شد. در این راستا، خطای مدل‌ها بر اساس ریشه میانگین مربعات خطای واسنجی^۴ (RMSEC)، ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی^۵ (RMSEP)، ضریب همبستگی واسنجی^۶ (r_c)، ضریب همبستگی پیش‌بینی^۷ (r_p) و خطای شاخص SDR (نسبت انحراف استاندارد (SD) ویژگی مورد نظر در دسته آزمون به RMSEP) با استفاده از معادله (۴) تا معادله (۵) محاسبه شد.

$$RMSEC = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_i)^2 / n_c} \quad (۴)$$

$$RMSEP = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2 / n_p} \quad (۵)$$

$$r_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_i)^2 / \sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (۶)$$

$$r_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2 / \sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (۷)$$

- 1- Normalizing
- 2- Multiplicative Scatter Correction
- 3- Standard Normal Variate
- 4- Root Mean Square Error of Calibration (RMSAEC)
- 5- Root Mean Square Error of Prediction
- 6- Correlation Coefficient of Calibration
- 7- Correlation Coefficient of Prediction

فینیکه و آلتانیا به ترتیب ۳۰۰/۴۴، ۲۶۳/۵۵، ۲۰۷/۴۲ و ۲۰۶/۶۸ سانتی‌متر مکعب، قطر این ارقام به ترتیب ۸۰/۱۴، ۷۵/۹۶، ۷۱/۸۳ و ۷۱/۵۷ میلی‌متر و سطح ارقام به ترتیب ۲۰۲/۶، ۱۸۸/۲۶، ۱۶۲/۷ و ۱۶۲/۲ سانتی‌متر مربع گزارش شد. میانگین وزن نمونه‌های پرتقال نیز در محدوده ۱۷۵/۷۱ تا ۲۷۱/۴۰ گرم قرار داشت. نتایج این بررسی‌ها نتایج حاصل از بررسی حاضر را تایید می‌کند.

همچنین خواص فیزیکی و تغذیه‌ای چهار رقم پرتقال در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج این بررسی میانگین طول دو رقم پرتقال ناول (Navel) و شاموتی (Shamoti) در محدوده ۸۲/۶۰ - ۸۱/۷۴ میلی‌متر و ارقام آلتانیا (Alanya) و فینیک (Finike) در محدوده ۶۹/۲۱ - ۶۹/۴۴ میلی‌متر تعیین شد (Topuz et al., 2005). میانگین هندسی قطر ارقام مختلف پرتقال نیز از ۷۰/۷۶ تا ۸۰/۹۰ میلی‌متر متغیر بود. حجم ارقام ناول، شاموتی،

جدول ۱- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های پرتقال در اسپکتروسکوپی Vis-NIR

مشخصه	دسته آموزش (۱۰۰ نمونه)			دسته آزمون (۳۶ نمونه)			انحراف استاندارد
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	
طول (mm)	۶۵	۷۹/۵	۷۲/۵۷	۶۷	۷۸/۵	۷۲/۹۴	۲/۹۹
عرض (mm)	۶۶	۸۰	۷۲/۳۸	۶۸	۷۸/۵	۷۲/۴۲	۲/۵۲
ارتفاع (mm)	۶۳/۵	۸۲	۷۳/۳۲	۶۳/۵	۸۲	۷۲/۳۳	۴/۵۹
میانگین هندسی (mm)	۶۶/۳۱	۷۷/۹۹	۷۲/۷۳	۶۶/۳۱	۷۹/۶۵	۷۲/۵۴	۲/۸۱
حجم (cm ³)	۱۵۲/۶۰	۲۴۸/۲۳	۲۰۲/۱۶	۱۵۰/۶۰	۲۶۴/۴۴	۲۰۰/۶۲	۲۳/۴۵
جرم (g)	۱۴۶/۴۰	۲۴۰/۰۰	۱۹۵/۱۸	۱۴۸/۴۰	۲۳۸/۵۰	۱۹۵/۰۵	۲۱/۱۲
جرم حجمی (g/cm ³)	۰/۸۶	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۰۴
TA (%)	۰/۵۸۳	۲/۱۴۵	۱/۰۳۷	۰/۵۸۲	۲/۱۴۴	۱/۱۰۶	۰/۳۶۶
TSS (%)	۹/۸	۱۴	۱۲/۰۳۲	۱۰/۲	۱۴	۱۲/۱۸۶	۰/۹۲۵
pH	۳/۱۴	۳/۹۷	۳/۵۶۱	۳/۲۵	۳/۹۷	۳/۵۹۸	۰/۱۷۹
TSS/TA	۶/۲۹۴	۲۰/۴۱۳	۱۲/۳۸۵	۶/۲۹۳	۲۰/۴۱۲	۱۲/۰۹۵	۳/۵۶۵
BrimA	۴/۶۶۷	۱۱/۰۳۸	۷/۸۸۳	۴/۶۱۴	۱۰/۴۸۶	۷/۷۶۳	۱/۵۵۷

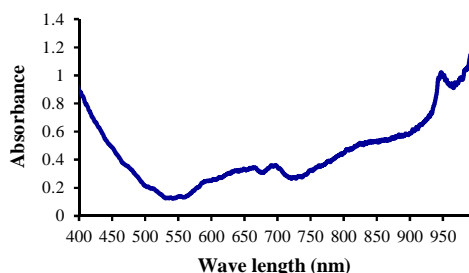
شیمیایی میوه نقش بسیار مهمی در توسعه فرآوری، کیفیت محصولات نهایی و ترکیب شیمیایی دارد که ارزش غذایی آن را ارزیابی می‌کند.

طیف‌های Vis-NIR

در شکل ۲ نمونه طیف جذبی Vis-NIR مربوط به پرتقال رقم تامسون در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۹۹۰ نانومتر نشان داده شده است. طیف‌های جذبی در نواحی ابتدا و انتها دارای نویز زیاد بودند به همین دلیل، ناحیه مورد بررسی از ۲۰۰-۱۱۰۰ به ۴۰۰-۹۹۰ تغییر یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود طیف مذکور یک روند افزایشی همراه با دو اوج جذبی در نواحی تقریباً برابر با ۹۷۰ و ۶۸۰ نانومتر دارد. اوج موجود در ناحیه ۹۷۰ نانومتر می‌تواند ناشی از اورتون‌های دوم O-H و یا N-H موجود در پرتقال باشد (Jamshidi et al., 2013).

در تحقیق دیگری بریکس متوسط سه رقم پرتقال لیت والانسیا، میدنایت و والانسایا بیدانه به ترتیب ۹/۵، ۸/۹۸ و ۹/۰، pH ۳/۸، ۳/۹۸، ۳/۸۵ و اسیدیته ۰/۰۲، ۰/۹۹ و ۰/۹۱ درصد و وزن ۲۹۷/۸، ۲۷۵/۴ و ۲۳۹/۵ گرم (Alsina et al., 2012). همچنین بریکس متوسط چهار رقم پرتقال ناول، شاموتی، آلتانیا و فینیک به ترتیب ۱۲/۱، ۱۱/۸، ۱۰/۹ و ۱۲/۴، اسیدیته ۰/۶۹، ۰/۸۷، ۰/۳۸ و ۰/۸۴ درصد و pH ۳/۶۲، ۳/۸۴، ۳/۱۹ و ۳/۶۴ (Topuz et al., 2005) و بریکس، اسیدیته و pH متوسط پرتقال شیرین به ترتیب ۱۱، ۰/۵۱ درصد و ۳/۸ (Shravan et al., 2018) گزارش گردید که نتایج این بررسی‌ها در برخی موارد مشابه و در برخی موارد بیشتر از نتایج به دست آمده در بررسی حاضر بود (جدول ۱). اختلاف موجود در نتایج تحقیقات مختلف می‌تواند مربوط به ویژگی‌های منحصر به فرد ارقام پرتقال و شرایط کاشت و شرایط آب و هوای محل رشد پرتقال باشد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و

پردازش شده با هر یک از روش‌های هموارسازی با طیف‌های اولیه تفاوت چندانی ندارند. بنابراین برای هر یک از این طیف‌ها پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، پیش‌پردازش به دو روش نرمال‌سازی MSC و NVA انجام شد.



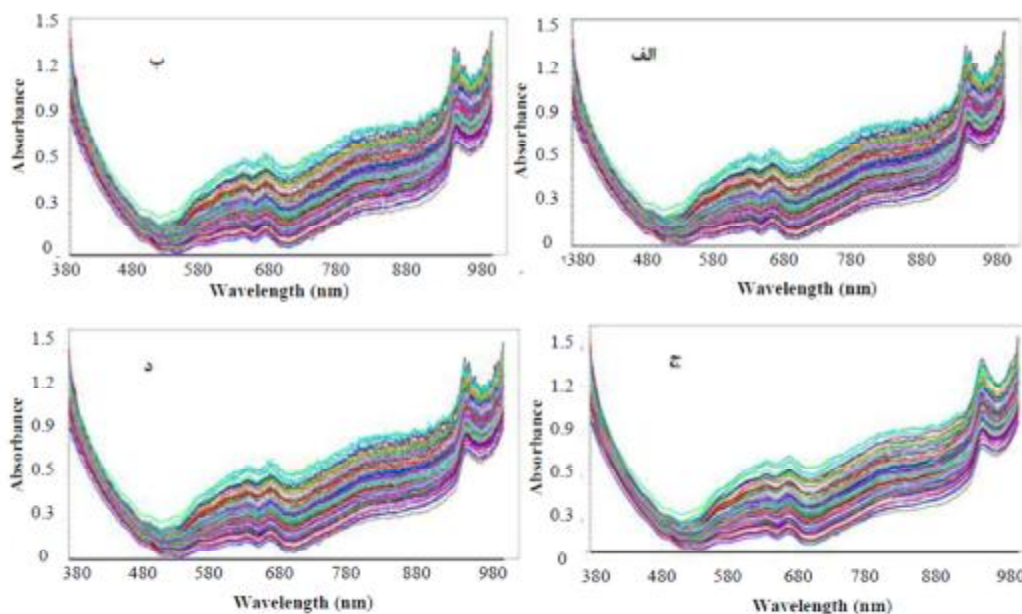
شکل ۲- نمودار طیف جذبی حاصل از یک نمونه تصادفی پرتقال رقم تامسون قبل از پردازش

به طور کلی طیف Vis-NIR مشاهده شده برای پرتقال رقم تامسون شباهت زیادی به طیف Vis-NIR مربوط به پرتقال رقم والنسیا دارد (Jamshidi *et al.*, 2012). در بازه NIR، منحنی روند افزایشی داشت و یک اوج قوی در حدود ۹۵۰ نانومتر پیدا شد که می‌تواند به دلیل اورتون دوم O-H باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Cayuela, 2008; Gómez *et al.*, 2006).

جزئیات بیشتری نیز در حدود ۶۸۰ نانومتر ناشی از جذب کلروفیل b یافت شد.

پیش‌پردازش طیف‌های Vis-NIR

نتایج طیف‌سنجی Vis-NIR پرتقال رقم تامسون در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق شکل ۳، طیف‌های پیش

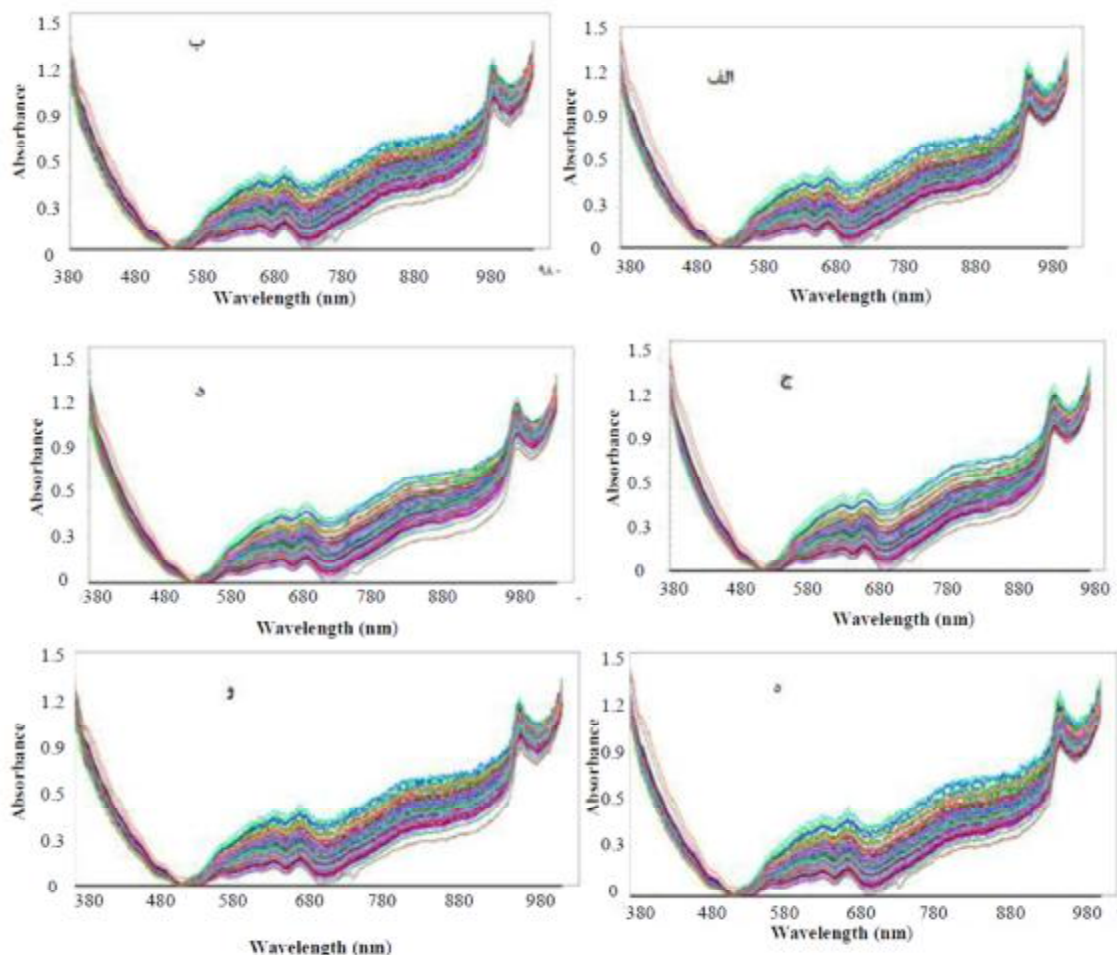


شکل ۳- نتایج طیف‌سنجی Vis-NIR پرتقال رقم تامسون

(الف) طیف‌های اولیه، (ب) هموارسازی به روش MA، (ج) هموارسازی به روش SG، (د) هموارسازی به روش MF

PLSR انجام شد. مدل‌های مربوط به pH و SSC در تمامی روش‌های پیش‌پردازش بهتر از سه مشخصه TA، SSC/TA و BrimA بود. علت این امر را می‌توان پایین بودن غلظت اسیدهای آلی نسبت به مواد جامد قابل حل در نمونه‌های پرتقال بیان کرد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Liu *et al.*, 2008; Cayuela & Weiland, 2010; Jamshidi *et al.*, 2010; *al.*, 2012).

نتایج حاصل از پیش‌پردازش‌های دوگانه نیز در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به شکل ۴، اعمال روش‌های نرمال‌سازی موجب تغییرات زیادی در طیف‌ها در مقایسه با طیف‌های اولیه شد. علاوه بر این پس از اعمال این پیش‌پردازش‌ها تفاوت‌ها در نقاط اوج افزایش یافته است. بنابراین پس از اعمال این پیش‌پردازش‌ها برای هر ۵ عامل کیفی مورد بررسی مدل‌سازی تمامی این طیف‌ها به روش



شکل ۴- نتایج پیش‌پردازش‌های ترکیبی هموارسازی و نرمال‌سازی
 الف) MA+MSC، ب) MA+SNV، ج) SG+MSC، د) SG+SNV، ه) MF+MSC، و) MF+SNV

۲/۰۵۳ و ۹ مدل بهتری را ارائه داد. علاوه بر این با بررسی حداقل تفاوت خطای واسنجی و خطای پیش‌بینی، پیش‌پردازش ترکیبی SG+MSC برای پارامتر TSS و شاخص‌های TSS/TA و BrimA مدل بهتری ارائه داده است. برای پارامترهای TA و pH به ترتیب پیش‌پردازش‌های MF+MSC و SG+SNV مناسب بودند. با بررسی نتایج معیار کمترین متغیر نهان، و بر اساس آن برای پارامتر TA بهترین مدل با پیش‌پردازش MF+MSC حاصل شده است. بنابراین بر اساس تمامی معیارهای مورد بررسی بهترین پیش‌پردازش برای پارامتر TA پیش‌پردازش MF+MSC به دست آمد. بر اساس معیار متغیر نهان بهترین مدل برای پیش‌بینی پارامترهای TSS و pH مدل‌های بر اساس پیش‌پردازش SG+SNV هستند. بر اساس معیار متغیر نهان پیش‌پردازش‌های مختلف برای شاخص BrimA، غیر از روش

بهترین مدل برای مشخصه TA مربوط به پیش‌پردازش MF+MSC با r_p و r_c به ترتیب برابر با ۰/۷۸۱ و ۰/۷۷۹ بود. مقادیر ریشه خطای میانگین پیش‌بینی و واسنجی برای این مدل به ترتیب برابر با ۰/۱۸۰ و ۰/۲۳۳ است. علاوه بر این مقدار متغیرهای نهان (LV) این مدل برابر با ۸ است. برای شاخص SSC نیز همین روش پیش‌پردازش بهترین مدل با دارا بودن بیشترین مقدار r_p و r_c به ترتیب برابر با ۰/۹۸۳ و ۰/۹۴۷ بود. بیشترین مقدار SDR در میان تمام مدل‌ها مربوط به این مدل و برابر با ۴/۹۳۶ است، تعداد متغیرهای نهان این مدل برابر با ۱۴ است. روش پیش‌پردازش MF+MSC برای pH و BrimA نیز در مقایسه با سایر روش‌های پیش‌پردازش مدل بهتری را ارائه داد. اما برای مشخصه TSS/TA روش پیش‌پردازش MF+SNV با دارا بودن r_p ، r_c و SDR و LV به ترتیب برابر با ۰/۸۲۹، ۰/۷۳۱،

میانگین‌گیری متحرک و توزیع نرمال استاندارد مناسب است. به‌طور کلی نتایج مطالعات بسیاری بیانگر اهمیت روش‌های پیش‌پردازش بر صحت بالای مدل تبیین شده بر اساس داده‌های طیف‌سنجی است (Tajromi *et al.*, 2015). در نتایج حاصل از این مطالعه نیز مشاهده شد که روش‌های پیش‌پردازش بر نتایج مدل‌سازی پارامترهای مختلف پرتقال رقم تامسون مبتنی بر داده‌های طیفی NIR بسیار تأثیرگذار است.

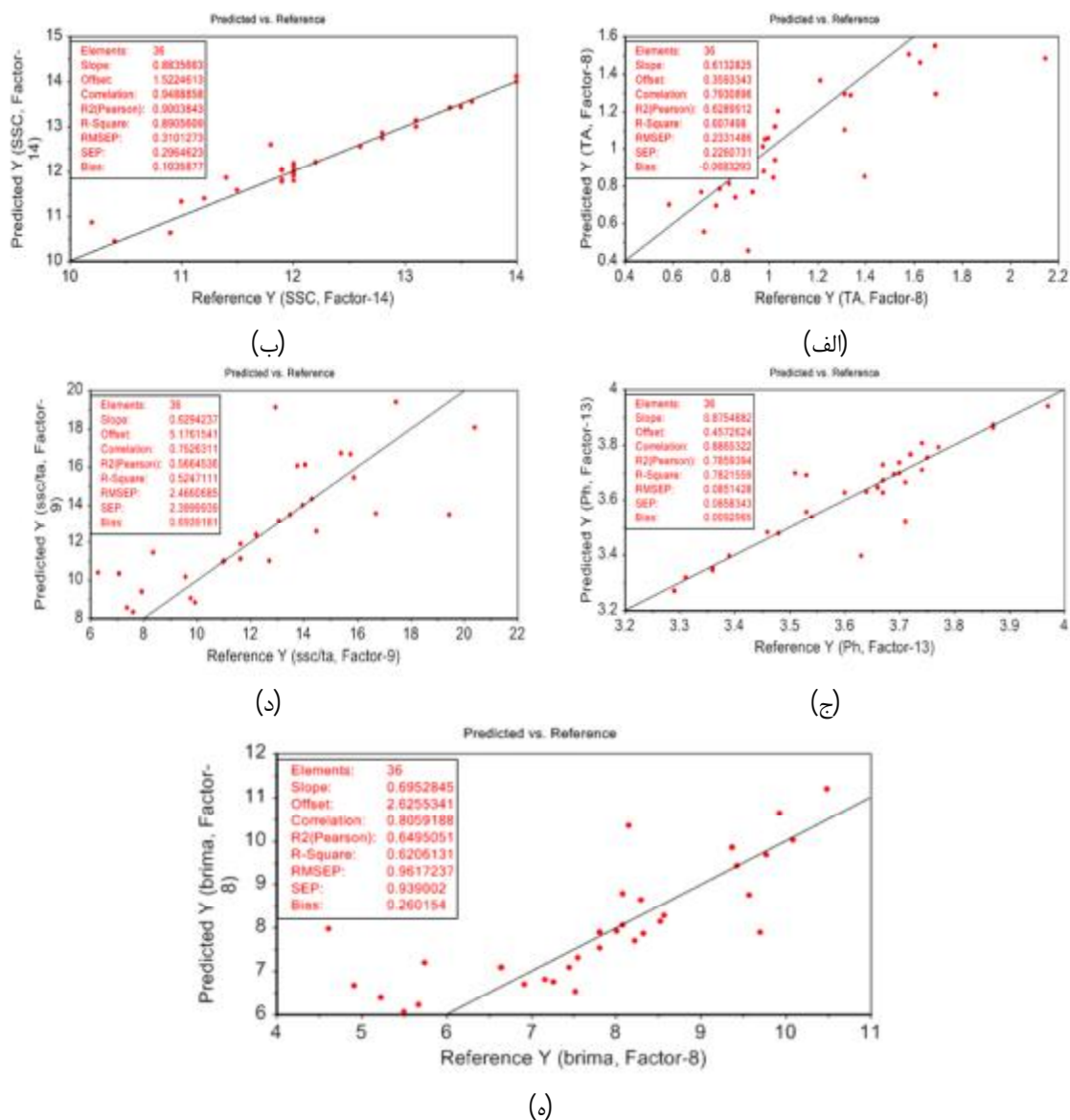
SG+SNV، بقیه روش‌ها مشابه هم و مناسب هستند. بهترین مدل برای شاخص SSC/TA بر اساس متغیر نهان مدل با پیش‌پردازش SG+MSC است. در شکل ۳ نمودارهای مقدار پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه گرفته شده مربوط به بهترین مدل‌های هر یک از مشخصه‌ها نشان داده شده است. نتایج موجود در جدول ۲ در این نمودارها نیز مشاهده می‌شود. در تحقیق دیگری نشان داده شد که برای پیش‌بینی SSC و TA در میوه پرتقال ترکیب روش‌های پیش‌پردازش

جدول ۲- نتایج واسنجی و پیش‌بینی مدل‌های PLSR بر اساس ترکیب روش‌های مختلف پیش‌پردازش به منظور مدل‌سازی پارامترهای

کیفی پرتقال رقم تامسون

r_c	r_p	SDR	E	RMSEC	RMSEP	LV	پارامتر/ شاخص کیفی	پیش‌پردازش
۰/۷۷۱	۰/۷۷۳	۲/۰۲۷	۰/۰۵۴	۰/۲۳۷	۰/۱۸۳	۸	TA	MA+MSC
۰/۹۴۳	۰/۹۸۱	۴/۶۴۳	۰/۱۰۸	۰/۳۱۰	۰/۲۰۲	۱۴	SSC	
۰/۸۸۴	۰/۹۶۸	۳/۳۹۴	۰/۰۳۹	۰/۰۸۵	۰/۰۴۶	۱۳	pH	
۰/۷۲۲	۰/۸۲۸	۱/۹۶۵	۰/۶۳۵	۲/۴۷۵	۱/۸۴۰	۸	SSC/TA	
۰/۷۸۴	۰/۸۶۲	۲/۱۹۹	۰/۲۵۱	۰/۹۶۹	۰/۷۱۸	۸	BrimA	
۰/۷۵۸	۰/۷۶۰	۱/۹۸۴	۰/۰۵۶	۰/۲۴۳	۰/۱۸۷	۸	TA	MA+SNV
۰/۹۳۲	۰/۹۷۵	۴/۰۴۲	۰/۱۰۷	۰/۳۳۹	۰/۲۳۲	۱۴	SSC	
۰/۸۸۵	۰/۹۷۲	۴/۱۱۹	۰/۰۴۱	۰/۰۸۵	۰/۰۴۴	۱۴	pH	
۰/۷۲۵	۰/۸۲۵	۲/۰۳۲	۰/۶۸۷	۲/۴۶۶	۱/۷۷۹	۹	SSC/TA	
۰/۷۹۲	۰/۸۳۲	۲/۰۰۱	۰/۱۶۵	۰/۲۶۸	۰/۷۸۹	۸	BrimA	
۰/۶۹۴	۰/۶۷۴	۱/۷۴۲	۰/۰۵۵	۰/۲۶۸	۰/۲۱۳	۹	TA	SG+MSC
۰/۸۶۱	۰/۸۸۵	۱/۹۱۸	۰/۰۱۲	۰/۴۷۷	۰/۴۸۹	۱۴	SSC	
۰/۷۲۰	۰/۶۸۸	۱/۳۵۳	۰/۰۰۸	۰/۱۲۶	۰/۱۳۴	۹	pH	
۰/۶۴۳	۰/۶۶۴	۱/۵۳۲	۰/۳۸	۲/۷۳۹	۲/۳۵۹	۹	SSC/TA	
۰/۷۴۴	۰/۷۵۴	۱/۶۹۶	۰/۱۱۲	۱/۰۴۳	۰/۹۳۱	۸	BrimA	
۰/۶۹۱	۰/۷۴۵	۱/۹۴۲	۰/۰۷۸	۰/۲۶۹	۰/۱۹۱	۱۱	TA	SG+SNV
۰/۷۸۱	۰/۶۶۹	۱/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۵۸۶	۰/۷۸۰	۹	SSC	
۰/۶۳۶	۰/۶۷۲	۱/۳۷۳	۰/۰۰۱	۰/۱۳۱	۰/۱۳۲	۸	pH	
۰/۶۳۶	۰/۶۷۲	۱/۵۴۷	۰/۴۲۲	۲/۷۵۹	۲/۳۳۷	۸	SSC/TA	
۰/۷۴۷	۰/۷۷۱	۱/۷۵۰	۰/۱۳۶	۱/۰۳۸	۰/۹۰۲	۹	BrimA	
۰/۷۷۹	۰/۷۸۱	۲/۰۶۱	۰/۰۵۳	۰/۲۳۳	۰/۱۸۰	۸	TA	MF+MSC
۰/۹۴۷	۰/۹۸۳	۴/۹۳۶	۰/۱۱۱	۰/۳۰۱	۰/۱۹۰	۱۴	SSC	
۰/۸۸۴	۰/۹۷۲	۴/۲۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵	۰/۰۴۳	۱۳	pH	
۰/۷۲۹	۰/۸۱۷	۱/۹۸۵	۰/۶۲۸	۲/۴۵۰	۱/۸۲۲	۸	SSC/TA	
۰/۷۸۸	۰/۸۶۵	۲/۲۲۱	۰/۲۵۱	۰/۹۶۲	۰/۷۱۱	۸	BrimA	
۰/۷۶۷	۰/۷۶۸	۲/۰۱۶	۰/۰۵۵	۰/۲۳۹	۰/۱۸۴	۸	TA	MF+SNV
۰/۹۳۵	۰/۹۷۸	۴/۲۴۳	۰/۱۱۲	۰/۳۳۳	۰/۲۲۱	۱۴	TSS	
۰/۸۷۸	۰/۹۶۱	۳/۵۵۳	۰/۰۳۶	۰/۰۸۷	۰/۰۵۱	۱۳	pH	
۰/۷۳۱	۰/۸۲۹	۲/۰۵۳	۰/۶۷۸	۲/۴۳۹	۱/۷۶۱	۹	SSC/TA	
۰/۷۹۴	۰/۸۳۱	۲/۰۲۹	۰/۱۷۲	۰/۹۵۰	۰/۷۷۸	۸	BrimA	

* E نشان دهنده تفاوت خطای واسنجی و پیش‌بینی است. اعداد پر رنگ مدل‌های منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقدار پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه گرفته شده مربوط به بهترین مدل

(الف) TA، (ب) SSC، (ج) pH، (د) SSC/TA، (ه) Brima

نتیجه‌گیری

همین روش و این ترکیب پیش‌پردازش با دقت خوبی (SDR=۴/۱۵۶، $r_p=0/۹۷۲$ ، RMSEP=۰/۰۴۳) پیش‌بینی کرد. حال آنکه مقدار اسید قابل تیتر (TA) ($r_p=0/۷۸۱$) و مشخصه‌های TSS/TA ($r_p=0/۸۲۹$) و Brima ($r_p=0/۸۶۵$) (SDR=۲/۰۳۲) می‌توان با استفاده از این روش با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود. بنابراین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis-NIR را می‌توان با دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی مشخصات کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار داد.

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش غیرمخرب توانایی بسیار بالایی برای ارائه مدلی به منظور ارزیابی مقدار مواد جامد قابل حل پرتقال رقم تامسون دارد. به‌عبارت دیگر مقدار مشخصه TSS را می‌توان با استفاده از طیف‌سنجی Vis-NIR و اعمال پیش‌پردازش ترکیبی فیلتر میانه به همراه تصحیح پراکنش افزاینده با دقت خوب (SDR=۴/۸۶۷، $r_p=0/۹۸۳$ ، RMSEP=۰/۱۹) پیش‌بینی کرد. علاوه بر این pH نمونه‌های پرتقال را نیز می‌توان به

- Jajromi A, Taghi Zadeh M, Sazgar Nia A, Behzad K. (2015). Application of preprocessing techniques for visible/near infrared spectroscopy data in developing a model for the prediction of soluble solid and acidity of lime. *FSCT*, 13 (53):103-112.
- Jamshidi, B. (2020). The Role Of Spectroscopy As An Optical Non-Destructive Technology In Development Of Smart Agriculture. *Non-destructive Testing Technology*, 2(5): 83-92.
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2012a). Reflectance Vis/NIR spectroscopy for non-destructive taste characterization of Valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85: 64-69.
- Jamshidi, B., Minaee, S., & Mohajerani, A. (2012b). Vis / NIR spectroscopy for non-destructive classification of oranges by variety, The 7th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran, Iran. (In Persian).
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2013). *Linear multivariate model based on NIR spectroscopy for non-destructive internal quality prediction of orange*. Paper presented at the 19th Iranian Conference on Optics and Photonics, and 5th Iranian Conference on Photonics Engineering, Zahedan, Iran. (In Persian).
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2014). Effect of Spectral Pre-Processing Methods on Non-Destructive Quality Assessment of Oranges Using NIRS. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 15(2): 27.
- Lee, K. J., Kim, G. Y., Kang, S. W., Son, J. R., Choi, D. S., & Choi, K. H. (2004). *Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance*. Paper presented at the Key Engineering Materials.
- Liu, Y., Sun, X., Zhang, H., & Aiguo, O. (2010). Non-destructive measurement of internal quality of Nanfeng mandarin fruit by charge coupled device near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: S10-S14.
- Najjar, K., & Abu-Khalaf, N. (2021). Non-Destructive Quality Measurement for Three Varieties of Tomato Using VIS/NIR Spectroscopy. *Sustainability*, 13(19): 10747.
- Ncama, K., Opara, U. L., Tesfay, S. Z., Fawole, O. A., & Magwaza, L. S. (2017a). Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi Macfad*). *Journal of Food Engineering*, 193: 86-94.
- Alsina, D., Nescier, I., Santini, Z., Gariglio, N., & Cives, H. (2012). Physicochemical properties of orange fruit cultivated at the central-east area of Santa Fe province (Argentina). *Horticultura Argentina*, 31(74): 18-23.
- Antonucci, F., Pallottino, F., Paglia, G., Palma, A., D'Aquino, S., & Menesatti, P. (2011). Non-destructive estimation of mandarin maturity status through portable VIS-NIR spectrophotometer. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5): 809-813.
- Cayuela, J. A. (2008). Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia Late by reflectance. *Postharvest Biology and Technology*, 47(1): 75-80.
- Cayuela, J. A., & Weiland, C. (2010). Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers. *Postharvest Biology and Technology*, 58(2): 113-120.
- Cen, H., Bao, Y., He, Y., & Sun, D.-W. (2007). Visible and near infrared spectroscopy for rapid detection of citric and tartaric acids in orange juice. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 253-260.
- Cen, H., He, Y & . Huang, M. (2006). Measurement of soluble solids contents and pH in orange juice using chemometrics and vis- NIRS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20): 7437-7443.
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International*, 51(2): 823-835.
- Chen, P., & Nattuvetty, V. (1980). Light transmittance through a region of an intact fruit. *Transactions of the ASAE*, 23(2): 519-522
- Choudhary, R., Bowser, T., Weckler, P., Maness, N., & McGlynn, W. (2009). Rapid estimation of lycopene concentration in watermelon and tomato puree by fiber optic visible reflectance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1): 103-109.
- Gómez, A. H., He, Y., & Pereira, A. G. (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*, 77(2): 313-319.
- Huishan, L., Yibin, Y., Huanyu, J., Yande, L., Xiaping, F., & Wang, J. (2005). *Application Fourier transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits*. Paper presented at the 2005 ASAE Annual Meeting.

- varieties. *Journal of Food Engineering*, 66(4): 519-523.
- Xia, J. F., Li, X. Y., Li, P. W., Qian, M., & Ding, X. X. (2007). Application of wavelet transform in the prediction of navel orange vitamin C content by near-infrared spectroscopy. *Agricultural Sciences in China*, 6(9): 1067-1073.
- Zhan, B., Xiao, X., Pan, F., Luo, W., Dong, W., Tian, P., & Zhang, H. (2021). Determination of SSC and TA content of pear by Vis-NIR spectroscopy combined CARS and RF algorithm. *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, 21(1): 41-51.
- Ncama, K., Opara, U. L., Tesfay, S. Z., Fawole, O. A., & Magwaza, L. S. (2017b). Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi* Macfad). *Journal of Food Engineering*, 193: 86-94.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2): 99-118.
- Rafiee, A., Minaee, S., & Jamshidi, B. (2016a). Measurement of lemongrass vitamin C using near infrared spectroscopy, The 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran, Iran. (In Persian).
- Rafiee, A., Minaee, S., Jamshidi, B., & Khoshtaghaza, M. (2016b). Moisture measurement of sweet lemon using near infrared spectroscopy. *The 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran*, Iran. (In Persian).
- Sánchez, M.-T., De la Haba, M.-J., & Pérez-Marín, D. (2013). Internal and external quality assessment of mandarins on-tree and at harvest using a portable NIR spectrophotometer. *Computers and electronics in agriculture*, 92: 66-74.
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour, A., & Akram, A. (2007). Some physical properties of orange [var. Tompson]. *International Agrophysics*, 21(4): 391-397.
- Shen, M., Li, H., Zhang, B., Zhang, M., Pu, Y., Chen, A., & Zhao, J. (2021). *Study on Quality Model of Apple During Controlled Atmosphere Storage Based on VIS/NIR Spectroscopy*. Paper presented at the 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting, St. Joseph, MI. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=52378&t=5>
- Shravan, R., Shere, D., & Joshi, M. (2018). Study of physico-chemical characteristics of sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit. *Journal Pharmacogn. Phytochem*, 7(6): 1687-1689.
- Teerachaichayut, S., & Ho, H. T. (2017). Non-destructive prediction of total soluble solids, titratable acidity and maturity index of limes by near infrared hyperspectral imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 133: 20-25.
- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., & Ozdemir, F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange