

تشخیص رطوبت و درجه بریکس هویج با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک

حسین باقرپور^{۱*}، حسنا محمدی منور^۲

۱. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

۲. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۱۶)

چکیده

هر چند برای تغییرات زیاد در رطوبت محصول هویج امکان تشخیص و جداسازی آن با روش‌های دیگر همچون پردازش تصویر و یا به صورت دستی امکانپذیر است ولی برای تغییرات کوچک در رطوبت و یا جداسازی بر اساس شیرینی، روش طیف‌سنجی می‌تواند گزینه مناسب‌تری باشد. در این مطالعه ۱۰۰ نمونه هویج به صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری، مدلی برای تخمین رطوبت و شاخص بریکس ریشه‌ها تدوین گردید. پیش پردازش اولیه طیف با استفاده از روش‌های تصحیح پراکنش افزاینده (MSC)، مشتق اول و مشتق دوم انجام گرفت. با روش حداقل مربعات جزئی (PLS) مدل مناسب تعیین گردید و مقادیر ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا برای داده‌های آزمون به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۱/۱۳ برای تخمین رطوبت و ۰/۹۶ و ۱/۰۷ برای تخمین درجه بریکس به دست آمد. نتایج نشان داد که طیف‌سنجی فروسرخ قابلیت تخمین رطوبت و درجه بریکس ریشه‌ها را داشته و می‌توان از آن برای درجه بندی محصول هویج استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: هویج، طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز، درجه بریکس، تصحیح پراکنش افزاینده

مقدمه

هویج گیاهی است دو ساله از خانواده چتریان، دارای ریشه راست و ساقه بی‌کرک که نوع پرورش یافته آن در اکثر نقاط زمین کشت می‌شود. قسمت مورد استفاده گیاه هویج، ریشه، میوه و تخم آن است. در سال اول تولید ریشه ضخیم و قابل استفاده غذایی بوده و در سال دوم از وسط برگ‌های آن و از روی طوقه ریشه، شاخه گل دهنده ظاهر می‌شود. این شاخه تا ارتفاع ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر رشد می‌کند و پس از تلقیح که به وسیله حشرات انجام می‌گیرد تولید بذر می‌کند. هویج دارای ۸۰-۹۰٪ آب، حدود ۱/۵٪ مواد ازته، ۰/۲٪ چربی، ۸٪ مواد گلوئیدی، حدود ۵/۱٪ سلولز، ۴/۷٪ شکر و مقداری ماده رنگی کاروتن، پروتئین و ویتامین‌های E, D, C, B, A می‌باشد. موطن اصلی هویج در اروپا و شمال آفریقا و آسیا می‌باشد و پاره‌ای از انواع آن در آمریکای شمالی و جنوبی یافت می‌شود (Anonymus, 2016).

تشخیص پارمترهای کیفی محصولات کشاورزی به روش مخرب نیازمند هزینه و وقت زیادی است و اگر لازم باشد خصوصیات کیفی مورد ارزیابی قرار گیرد باید محصول مورد نظر تخریب گردد. همچنین در مواردی که لازم باشد همه محصول به صورت تک به تک مورد ارزیابی قرار گیرند روش مخرب به

دلیل هجومی بودن آن امکانپذیر نبوده و لازم است در بررسی کیفیت درونی و بیرونی محصول روش‌های غیر مخرب و سریع مورد استفاده قرار گیرد. در روش غیر مخرب بدون هیچگونه تغییر در محصول، پارامترهای کیفی شناسایی و امکان درجه بندی آنها بر اساس کیفیت امکانپذیر می‌باشد.

با پیشرفت در علوم رایانه، الکترونیک و کشف فناوری‌های جدید و ورود آنها به بخش کشاورزی تحول قابل توجهی در بخش مدیریت مزرعه و صنایع غذایی به وجود آمده است. تشخیص خصوصیات کیفی محصول در هنگام برداشت محصول و دسته‌بندی آنها بر اساس رنگ و کیفیت درونی می‌تواند باعث افزایش خاصیت انبارداری محصول و افزایش انتخاب خرید مشتری گردد. با پیشرفت تکنیک‌های غیر مخرب تشخیص خصوصیات کیفی، استفاده از این روش‌ها در حوزه‌های مختلف از جمله مواد غذایی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مقدار سفتی، آب موجود، قند، رنگ و میزان pH محصول، فاکتورهای اصلی هستند که با استفاده از آنها می‌توان از خصوصیات کیفی و مزه آنها آگاهی یافت. برای اندازه‌گیری غیر مخرب این فاکتورها روش‌های سریعی همچون فرا صوت، جذب ماکروویو، تشدید مغناطیس هسته و طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک وجود دارد (Augusto et al, 2009). در میان این روش‌ها، طیف‌سنجی فروسرخ مورد توجه بوده و در بخش‌های مختلف صنایع غذایی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. از این روش برای تشخیص کیفیت درونی بسیاری از میوه‌ها و

* نویسنده مسئول: h.bagherpour@basu.ac.ir

می‌گردد (et al., 200 Tigabu; He et al., 2007).

استفاده از روش های غیر مخرب همچون طیف سنجی مادون قرمز یک روش بسیار مناسب برای بررسی کیفیت داخلی میوه‌ها بوده و علاوه بر سرعت زیاد در تشخیص می‌توان از آن به طور مداوم در خط تولید استفاده کرد. در زمینه تشخیص غیر مخرب خصوصیات ظاهری محصولات کشاورزی پژوهش‌های زیادی انجام شده است و در سال های اخیر علاوه بر خصوصیات ظاهری، کیفیت درونی محصولات نیز مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (Cen and He, 2007). از آنجائیکه علاوه بر خصوصیات ظاهری، کیفیت درونی نیز در کاهش ضایعات میوه‌جات و صیفی‌جات موثر است بنابراین استفاده از روش های غیر مخرب با توجه به قابلیت های خیلی زیادی که در صنعت مواد غذایی از خود نشان داده اند می‌تواند در دسته‌بندی کیفی محصولات کشاورزی از جمله هویج مورد استفاده قرار گیرد. پژوهش های مختلف نشان می‌دهد که آب و مواد جامد محلول، نقش اساسی در زمان ماندگاری، خصوصیات مکانیکی و ویژگی های کیفی محصول ایفا می‌کند و رنگ محصول نیز در بازارپسندی آن خیلی موثر می‌باشد (et al Sharma, 2006). بنابراین در این پژوهش سعی بر این است که دو فاکتور رطوبت و مواد جامد محلول با استفاده از روش غیر مخرب اسپکتروفوتومتري مورد بررسی قرار گرفته و بتوان با بهره‌گیری از این روش این دو عامل را به صورت غیر مخرب پیش بینی کرد.

مواد و روش ها

آماده سازی نمونه ها و طیف سنجی

در ابتدا ۱۰۰ نمونه از ریشه های هویج در شکل‌ها و اندازه های مختلف که کاملاً تازه بودند از مغازه‌ای در میدان مرکزی میوه تهران انتخاب گردید. انتخاب به این روش بیشتر برای بررسی اثر تغییرات اندازه بر کیفیت ریشه ها بود. پس از تمیز کردن ریشه ها و خشک کردن آنها با دستمال، برای جلوگیری از تغییرات رطوبت، تمامی آنها در داخل کیسه پلاستیکی جداگانه‌ای در داخل یخچال تا زمان طیف‌سنجی نگهداری شدند. جمع آوری طیف از نمونه‌ها به روش بازتابشی و با استفاده از دستگاه اسپکترومتر NIR (مدل EPP2000NIR) انجام شد. این طیف سنج دارای آشکار ساز InGaAs^۱، محدوده طیفی ۹۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر و قدرت تفکیک ۲/۵ نانومتر است. از لامپ هالوژن

سبزیجات استفاده می‌گردد و در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در بهره‌گیری از این روش انجام شده است. در پژوهشی که بر روی خرما انجام گرفت با استفاده از طیف سنجی در محدوده نزدیک فروسرخ، بهترین مدلی که به دست آمده، توانست به روش مدل PLS مقدار رطوبت و مواد جامد محلول را با ضریب تعیین به ترتیب برابر با ۰/۹۷۷ و ۰/۹۷۳ و ریشه میانگین مربعات خطا را نیز ۱/۴ درصد و ۱/۶ درجه بریکس پیش بینی کند (et al., 2010 Mireei). همچنین در پژوهشی که برای هلو انجام گرفت اثر دما بر طیف جذبی مورد بررسی قرار گرفت و در نتیجه‌گیری، بهترین دما برای کالیبراسیون دستگاه ۲۱=۳۱ درجه سانتیگراد معرفی گردید (and Kawano Abe, 1995). در مورد محصول کیوی نیز پژوهشی انجام گرفت که در آن، پیش بینی دوره انبارداری کیوی‌ها به روش طیف سنجی در محدوده مرئی و نزدیک فروسرخ بررسی گردید. در نتایج این پژوهش، میزان خطای درجه بندی در میوه‌هایی که زود برداشت شده بودند بین ۳۳/۹ تا ۱۷/۹ درصد و برای برداشت در چین دوم نیز ۱۴/۷ تا ۸/۵ درصد به دست آمد (et Clark, 200 et al Liu, ۲۰۰۴). با به کارگیری یک طیف‌سنج در محدوده طول موج ۸۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر و با استفاده از روش مدلسازی PLS، مقدار ضریب همبستگی (R) و ریشه میانگین مربعات خطا را به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۵۵ در تخمین مقدار قند هلو گزارش کردند. et al Park, (2003) نیز با انجام آزمایش بر روی سیب و با استفاده از یک طیف‌سنج در محدوده طول موج ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر، توانستند مقادیر TSS و سفتی را به ترتیب با ضریب تعیین $R^2=0.96$ و $R^2=0.65$ تخمین بزنند.

محدوده طیفی فروسرخ نزدیک (NIR) دارای اطلاعاتی مربوط به مقادیر نسبی پیوندهای C-H، N-H و O-H می‌باشد که این پیوندها جزء ساختارهای اولیه و اصلی ترکیبات مواد آلی می‌باشند. در فرآیند طیف‌سنجی هنگامی که مولکول‌های مواد، پرتوهای الکترومغناطیسی را جذب می‌کنند، به حالت انرژی بالاتر برانگیخته می‌گردند. جذب تابش فروسرخ مانند هر فرآیند جذب دیگر، یک فرآیند کوانتایی است، بدین صورت که تنها فرکانس‌هایی مشخص از تابش فروسرخ توسط مولکول جذب می‌گردد (et al., 2014 Bagherpour). در فرآیند جذب، فرکانس هایی از پرتو فروسرخ که با فرکانس‌های ارتعاشی طبیعی مولکول مورد نظر تطبیق دارند، جذب خواهد شد و انرژی جذب شده برای افزایش دامنه حرکت ارتعاشی اتصال موجود در مولکول به کار گرفته می‌شود. با استفاده از تابش جذب شده طیف NIR توسط برخی از پیوندهای شیمیایی موجود در محصول، ترکیبات شیمیایی مواد آلی و زیستی، شناسایی

که در این معادله متغیرها عبارتند از:

M_C : درصد محتوای رطوبت

M_1 : وزن اولیه نمونه (g)

M_2 : وزن نهایی نمونه (g)

پیش پردازش داده‌ها

برای از بین بردن نویزهای تصادفی در طیف لازم است با استفاده از فیلترهای مناسب این نویزها حذف شوند مناسب‌ترین روش برای حذف نویز استفاده از الگوریتم ساویتسکی- گولای است که با این روش ضمن اینکه نویز موجود در طیفها برطرف می‌شود، اطلاعات مربوط به پیکها نیز از بین نمی‌رود. در این پژوهش برای بکارگیری الگوریتم ساویتسکی- گولای پنجره مناسب به اندازه ۵ نقطه انتخاب شد. سپس برای از بین بردن عوامل مزاحم مانند فاصله نمونه با آشکارساز، تغییر در اندازه نمونه‌ها و غیره از پیش پردازش‌هایی همچون تصحیح پراکنش افزایشده^۱ (MSC)، مشتق اول و مشتق دوم بر روی طیفها استفاده شد. روش MSC تلاش می‌کند که اثرات پراکنش نور را با خطی سازی هر طیف به یک طیف ایده آل از نمونه که در عمل همان طیف میانگین است، حذف کند. مشتق مرتبه اول با محاسبه شیب خط مماس بر هر نقطه از منحنی علاوه بر یکنواخت کردن طیفها، اثرات جابجایی نقطه شروع طیفها را نیز برطرف می‌کند. مشتق مرتبه دوم نیز علاوه بر از بین بردن اثرات جابجایی نقطه شروع و یکنواخت کردن طیفها، تغییر شکل‌های ایجاد شده در ظاهر طیف را از بین می‌برد و همزمان پیکهای ضعیف را به صورت واضح‌تر نشان می‌دهد (Lu *et al.*, ۲۰۱۲).

مدلسازی خطی

نرم افزار دستگاه طیفسنجی میزان بازتابش را اندازه‌گیری می‌کرد بنابراین در ابتدا تمامی طیفها به حالت بازتابشی تبدیل گردید و بعد از آن عملیات پیش پردازش بر روی آنها انجام گرفت. بعد از پیش پردازش اولیه با بهره‌گیری از روش رگرسیونی حداقل مربعات جزئی^۲ (PLS) مدل مناسب بین داده‌های طیفی و مقادیر اندازه‌گیری شده بدست آمد. روش PLS یک روش مدلسازی خطی است که برای ساده سازی روابط میان متغیرهای مستقل X (میزان جذب) و متغیرهای وابسته Y (میزان قند)، مقادیر متغیرهای مستقل را به تعداد کمی از متغیرهای پنهانی^۳ (LV) تصویر می‌کند (Mireei *et al.*, 2010).

تنگستن (W50 - V12) به عنوان منبع نور و از یک دیمر برای کنترل شدت نور استفاده شد. برای تهیه طیف بازتابشی ابتدا دو طیف مرجع و تاریک به منظور تعیین بیشترین و کمترین حالت بازتاب برای سامانه و همچنین حذف اثرات نور محیط در طیف-گیری انجام شد. برای این کار از یک شاهد سفید با بازتاب بیشینه برای گرفتن طیف شاهد استفاده شد و برای طیف تاریک نیز جلوی درپوش فیبر نوری دریافت‌کننده نور بسته شد. به منظور افزایش دقت و کاهش نویز حرارتی، از هر نمونه سه طیف در سطح رویی هویج در سه نقطه بالا، پایین و وسط نمونه و با ۵ روبش متوالی برداشت شد و میانگین آنها به عنوان طیف اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد. نمونه‌ها در زیر آشکارساز و منبع نور به نحوی قرار داده شد که زاویه بین آشکارساز و منبع نور ۴۵ درجه باشد. پس از طیف‌گیری از نمونه‌ها، مقدار بازتاب از رابطه ۱ محاسبه شد (Bureau *et al.*, 2009).

$$R = \frac{R(\text{sample}) - R(\text{dark})}{R(\text{reference}) - R(\text{dark})} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

آزمایش‌های تعیین مواد جامد محلول

پس از تهیه طیف از نمونه‌ها، هر کدام از ریشه‌ها در راستای طولی به دو قسمت مساوی تقسیم گردید. یکی از آنها برای اندازه‌گیری درجه بریکس و دیگری نیز برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی جداگانه‌ای در داخل یخچال قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا به دمای محیط برسند. بعد از رسیدن به دمای اتاق، نمونه‌ها به وسیله آسیاب خرد و به حالت خمیر تبدیل شدند. با فشردن نمونه‌ها و رد کردن از کاغذ صافی عصاره آنها آماده و با استفاده از دستگاه فرکتومتر (مدل DR-A1 ATAGO) مواد جامد محلول بر حسب درجه بریکس (Brix) برای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت

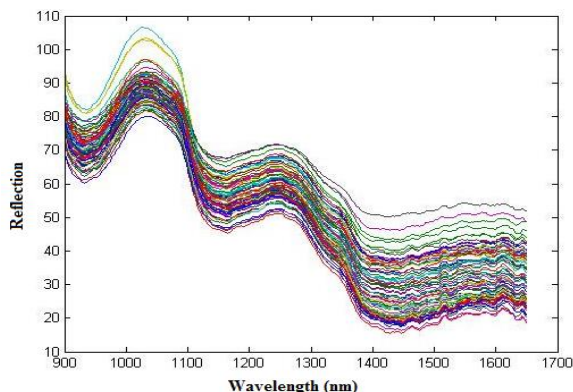
برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها، ریشه‌هایی که برای اندازه‌گیری رطوبت در نظر گرفته شده بودند ابتدا در لایه‌های نازک بریده شدند و بعد از وزن کردن اولیه در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند (Horwitz *et al.*, 1990). بعد از خشک شدن وزن نهایی آنها اندازه‌گیری شد و میزان محتوای رطوبت ریشه‌ها با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$M_C = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

1. Multiplicative Scatter Correction

2. Partial Least Squares

3. Latent Variables



شکل ۱. طیف خام اولیه از نمونه‌های ریشه هویج

مدل PLS برای پیشگویی درصد رطوبت محصول

در جدول ۱، نتایج مدل‌های PLS در تخمین رطوبت ریشه‌های هویج نشان داده شده است. با توجه به این جدول همبستگی خوبی بین رطوبت و طیف بدست آمد. در این پژوهش سه مدل مختلف بدست آمد که هر کدام از این مدلها با توجه به پیش پردازش‌های MSC و مشتق‌های اول و دوم، حاصل گردید. مقایسه نتایج بدست آمده از این سه مدل نشان می‌دهد که بین نتایج حاصل از پیش پردازش اول و دوم اختلاف زیادی وجود ندارد و بهترین نتایج با استفاده از پیش پردازش MSC بدست آمد. در این مدل با مقایسه میان خروجی مدل و مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و با استفاده از پیش پردازش MSC مقدار ضریب همبستگی (R) و کمترین مقدار مربعات خطا یا RMSEP به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۱۳ بدست آمد. این نتایج با داده‌های گزارش شده در پیش بینی درصد رطوبت سیب زمینی (Elbatawi et al., 2008) مشابه می‌باشد. در تخمین میزان رطوبت سیب زمینی با استفاده از محدوده طیفی ۴۰۰-۱۶۰۰ nm مقدار ضریب همبستگی، ۰/۹۹ گزارش شده است. علت اختلاف نتایج حاضر با نتایج گزارش شده در مورد سیب زمینی می‌تواند به محدوده طیف بکار رفته در اندازه‌گیری مربوط باشد.

جدول ۱. نتایج مدل PLS برای تخمین میزان رطوبت (Mc)

| پیش پردازش پنهانی | تعداد متغیر | RMSEP | R | SDR |
|-------------------|-------------|-------|------|------|
| MSC | ۶ | ۱/۱۳ | ۰/۹۲ | ۲/۸۶ |
| مشتق اول (D1) | ۶ | ۱/۲۱ | ۰/۸۶ | ۲/۰۷ |
| مشتق دوم (D2) | ۷ | ۱/۲۶ | ۰/۸۹ | ۲/۱۶ |

اثر تعداد متغیرهای پنهانی بر مجذور میانگین مربعات خطا در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش تعداد متغیرهای پنهانی ابتدا مقدار ریشه میانگین مربعات خطا کاهش و دوباره افزایش پیدا می‌کند. به نحوی که با ۶ متغیر پنهانی،

در تحلیل داده‌ها و مدلسازی از نرم افزار تخصصی طیف‌سنجی Unscrambler v9.5 و MATLAB v9.0 استفاده شد. برای مدلسازی و انجام عمل کالیبراسیون از ۸۰ نمونه استفاده گردید و ۲۰ نمونه باقیمانده نیز برای مرحله آزمون بکار گرفته شد.

بررسی عملکرد مدل با استفاده از داده‌های آزمون و مقایسه خروجی مدل با داده‌های آزمایشگاهی انجام شد. برای مقایسه مدل‌های مختلف از پارامترهای آماری شامل ضریب تعیین (R) (معادله ۳)، ریشه میانگین مربعات خطای آزمونی^۱ (RMSEP) (معادله ۴) و نسبت انحراف استاندارد SDR^۲ (معادله ۵) استفاده گردید. SDR که عبارت است از نسبت مقادیر انحراف استاندارد (SD) به RMSEP، می‌تواند ارزیابی بهتری از عملکرد مدل داشته باشد (Liu et al., 2010).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\text{SDR} = \frac{\text{SD}}{\text{RMSEP}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در اینجا \hat{y}_i مقدار پیش بینی شده برای آامین نمونه، y_i برابر با مقدار اندازه‌گیری شده آامین نمونه، y_m میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، n_p تعداد نمونه‌های پیش بینی شده و SD انحراف استاندارد گروه پیش‌بینی شده می‌باشند.

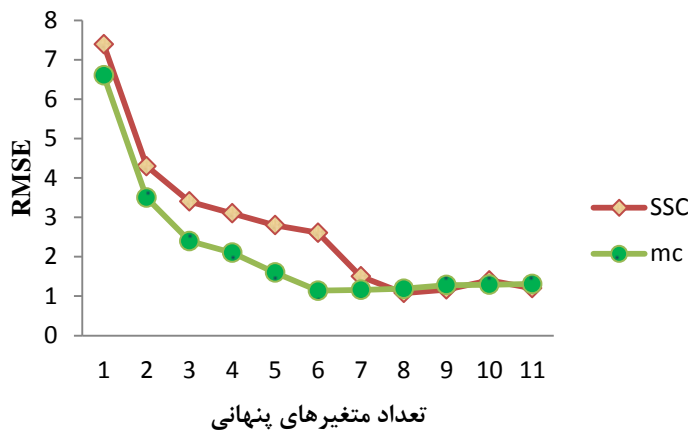
نتایج و بحث

شکل طیف جذبی حاصل از چند نمونه از هویج در شکل ۱ نشان می‌دهد. این شکل تقریباً مشابه طیف‌های به دست آمده از سایر محصولات مانند سیب (de-Yan et al., 2004)، زرد آلو (Bureau et al., 2009) می‌باشد. با توجه به این شکل، سه پیک جذبی مشخص در محدوده ۹۵۰، ۱۱۴۰ و ۱۴۵۰ نانومتر دیده می‌شود. این پیک‌ها خیلی نزدیک به پیک‌های جذبی آب (۹۵۸، ۱۱۵۳ و ۱۴۶۰) هستند که از این سه پیک می‌توان برای شناسایی درصد آب در نمونه‌ها استفاده کرد. همچنین در محدوده پیک‌های ۹۵۰ و ۱۴۵۰ نوارهای جذبی مربوط به قند میوه‌جات نیز وجود دارند که با نوارهای جذبی آب نیز همپوشانی دارند. از این دو پیک نیز می‌توان برای شناسایی درصد مواد جامد محلول در نمونه‌ها استفاده کرد.

1. Root Mean Square Error of Prediction
2. Standard Deviation Ratio

افزایش زیاد تعداد متغیر های پنهانی، مقدار خطا دوباره افزایش می یابد می تواند به علت بیش برآزش مدل باشد.

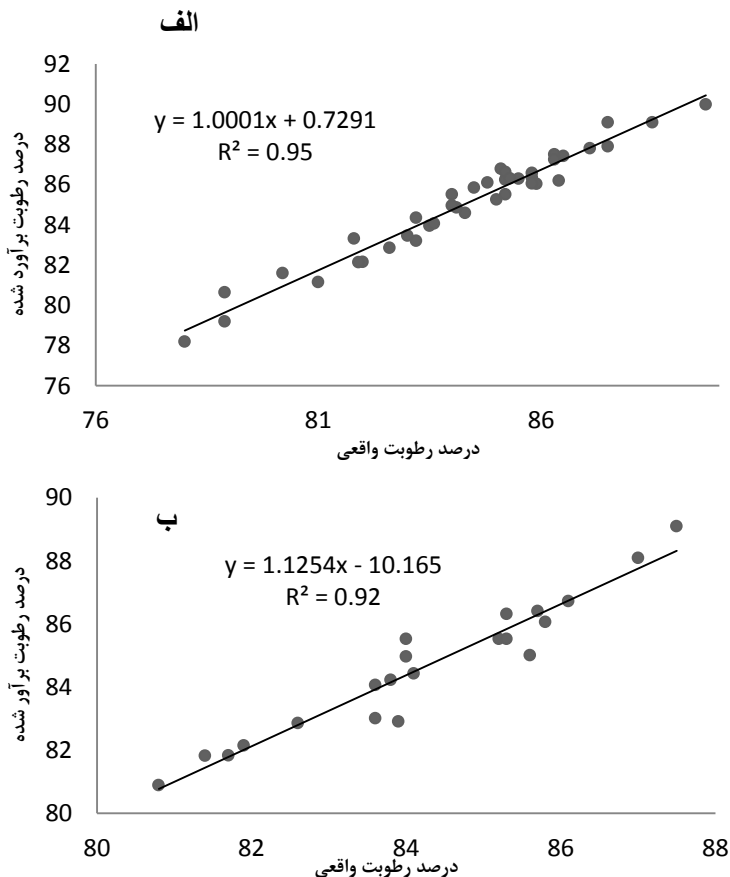
RMSECV مقدار کمینه خود را دارد. بدین ترتیب برای تخمین مقدار رطوبت از ۶ متغیر پنهانی استفاده گردید. اینکه چرا با



شکل ۲. تغییرات RMSECV نسبت به متغیر پنهانی

اندازه گیری شده حاصل از مدل PLS (پیش پردازش MSC) نشان شده است.

در نمودارهای رگرسیونی شکل ۳ مقادیر درجه بندی (کالیبراسیون) و پیش بینی شده مقدار رطوبت در مقابل مقادیر



شکل ۳. خروجی مدل PLS مجموعه الف) درجه بندی و ب) آزمون در مقابل مقادیر اندازه گیری شده رطوبت

کرد. با تحلیل انجام گرفته مقدار ضریب تعیین، RMSEP و SDR بین نتایج آزمایشگاهی و خروجی مدل به ترتیب ۰/۹۶، ۱/۰۷ و ۳/۳۴ بدست آمد. با توجه به شکل ۲، مقدار بهینه متغیر پنهانی ۸ در نظر گرفته شد. Liu et al., ۲۰۱۰ در کار مشابه بر

مدل PLS برای تخمین میزان SSC مطابق جدول ۲ و با انجام پیش پردازش اولیه بر روی طیف، دوباره پیش پردازش MSC نسبت به دو روش دیگر بهتر عمل

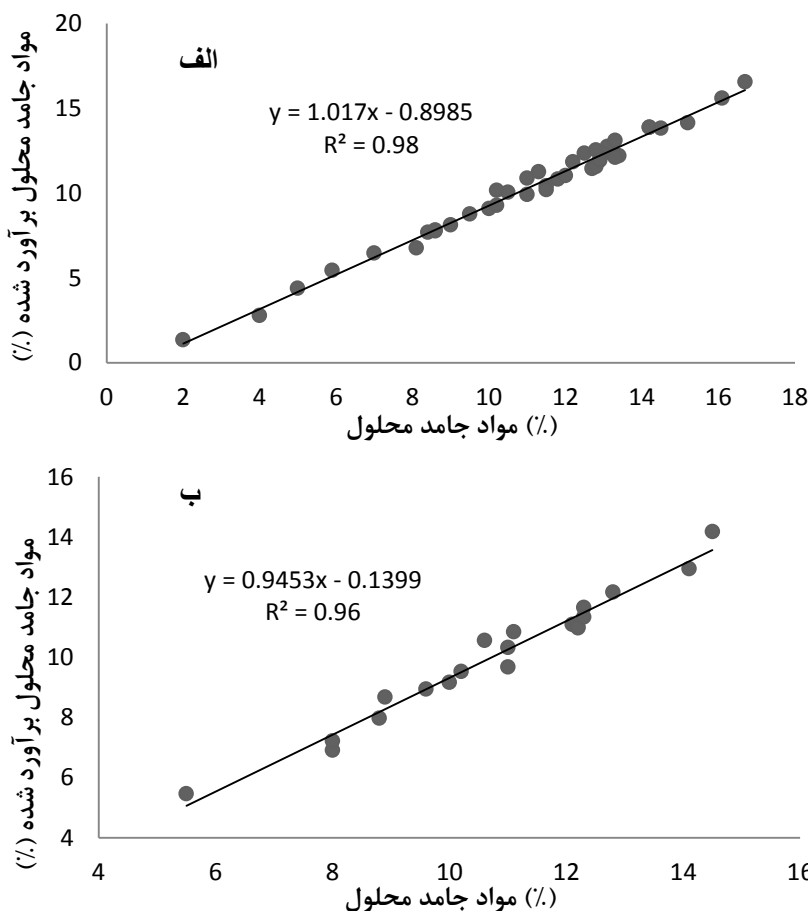
همانند مدل تخمین رطوبت، و با توجه به جدول ۲ پیش پردازش MSC بهتر از دو روش دیگر یعنی مشتق اول و دوم بوده و مناسبترین پیش پردازش برای تخمین میزان قند موجود در ریشه های هویج می باشد. از طرفی در هر دو مدل یعنی مدل های تخمین رطوبت و مواد جامد محلول مشتق دوم بهتر از مشتق اول عمل کرده و به عنوان انتخاب دوم مد نظر می باشد. این نتایج نشان داد که روش طیف سنجی در محدوده نزدیک فرورسرخ قابلیت خوبی در تشخیص مواد جامد محلول داشته و همچنین مدل خطی PLS با پیش پردازش MSC توانست مدل مناسبی برای پیش بینی ارائه دهد. در پژوهش مشابهی که بر روی انگور انجام گرفت، از بین چندین پیش پردازش، روش تصحیح پراکنش افزایشده یا همان MSC مناسبترین پیش پردازش معرفی شده است (et al Fernández, 2009).

روی نارنج مقدار SDR را ۲/۳۴ و ضریب تعیین را ۰/۹۷ گزارش کرده اند. در پژوهشی که برای تشخیص میزان مواد جامد محلول در ریشه های چغندر قند انجام گرفت مقدار ضریب همبستگی (R) و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۷ و ۱/۷ گزارش شده است که کاملاً با یافته های تحقیق حاضر مشابه می باشد (et al., 2014 Bagherpour).

جدول ۲. نتایج مدل PLS برای تخمین مقدار SSC

| پیش پردازش | تعداد متغیر پنهانی | RMSEP | R ² | SDR |
|---------------|--------------------|-------|----------------|------|
| MSC | ۸ | ۱/۰۷ | ۰/۹۶ | ۳/۳۴ |
| مشتق اول (D1) | ۱۰ | ۱/۱۹ | ۰/۹۳ | ۲/۷۱ |
| مشتق دوم (D2) | ۹ | ۱/۰۹ | ۰/۹۴ | ۲/۹۶ |

در شکل ۴ درصد مواد جامد محلول حاصل از خروجی مدل PLS در مقابل مقدار واقعی آن نشان داده شده است.



شکل ۵. خروجی مدل PLS مجموعه الف) درجه بندی و ب) آزمون در مقابل مقادیر اندازه گیری شده SSC

می باشند و با اندازه گیری این دو پارامتر می توان این محصول را بخوبی درجه بندی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با بکارگیری روش NIR در محدوده طول موج ۱۶۰۰ - ۹۰۰

نتیجه گیری

اندازه گیری رطوبت و میزان قند موجود در ریشه های هویج دو فاکتور مهم در تشخیص کیفیت درونی و تا حدودی ظاهری آن

برای مقایسه مدل‌ها است، دوباره مدل PLS در پیش پردازش MSC بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش بیانگر این است که روش طیف سنجی فرسرخ نزدیک قابلیت خوبی برای اندازه گیری رطوبت و مواد جامد محلول هویج داشته و مدل خطی PLS نیز برای این کار منسب می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود با انجام پژوهش‌های کاربردی بیشتر، قابلیت این روش در خط فرآوری این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین با بهره گیری از طیف سنج های مرئی امکان اندازه‌گیری رنگ نیز امکانپذیر بوده و با استفاده از این سه پارامتر می‌توان از نظر کیفی ریشه‌های هویج را بخوبی جداسازی کرد.

REFERENCES

Anonymous.(2016). Carrot properties. Retrieved September13,2016,from <http://kheg.blogsky.com>. (In Farsi)

Augusto, P. & Filho, C. (2009). Rapid determination of sucrose in chocolate mass using near infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, (631), 206–211.

Bagherpour, H., Minaei, S., Abdollahian Noghabi, M. & Khorasani Fardvani, M. E. (2014) Non-destructive determination of sugar content in root beet by near infrared spectroscopy. *Journal of food science technology*, 46 (12), 219-228. (In Farsi)

Bureau, S., Ruiz, D., Reich M., Gouble, B., Bertrand, D. & Renard, C. (2009) Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, (113), 1323–1328.

Clark, C. J., McGlone, V. A., De Silva, H. N., Manning, M. A., Burdon, J., & Mowat, A. D. (2004). Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 147-158.

Elbatawi, I., Ebaid, M. & Hemeda B. (2008) Determination of Potato Water Content Using Nir Diffuse Reflection *Method. Irrigation and Drainage*, (254), 1279-1292.

Fernández-Navales, J., López, M. I., Sánchez, M. T., Morales, J., & González-Caballero, V. (2009) Shortwave-near infrared spectroscopy for determination of reducing sugar content during grape ripening, winemaking, and aging of white and red wines. *Food Research International*, 42(2), 285-291.

He, Y. & Cen, H. (2007) Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology*, (18), 72-83.

Horwitz, W., Senzel, A., Reynolds, H., & Park, D. L. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.

نانومتر به دلیل وجود پیوندهای C-H و O-H می‌توان میزان رطوبت و مواد جامد محلول را به راحتی اندازه گیری کرد. برای پردازش طیف، از میان پیش پردازش‌های MSC، مشتق اول و دوم، پیش پردازش MSC نتایج بهتری را نسبت به بقیه پیش پردازها نشان داد و به عنوان انتخاب اول در نظر گرفته شد. مقایسه بین نتایج مدل با استفاده از شاخص RMSEP و ضریب تعیین R² انجام گرفت. با بکارگیری مدل PLS و پیش پردازش MSC، مقدار RMSEP به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۰۷ و ضریب همبستگی نیز به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۶ برای تشخیص میزان رطوبت و مواد جامد محلول بدست آمد. همچنین با مقایسه شاخص SDR که نسبت به دو شاخص قبلی، پارامتر مناسب‌تری

Retrieved September 15, 2016, from <http://www.cabdirect.org>.

Kawano, S. & Abe, (1995) Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *Near Infrared Spectroscopy*, (3), 211-218.

Liu, Y., Sun, X., Zhou, J., Zhang, H. & Yang, C. (2010). Linear and nonlinear multivariate regressions for determination sugar content of intact Gannan navel orange by Vis_NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Mathematical and Computer Modelling*, (51), 1438-1443.

Lu, R. (2001) Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Transactions of the ASAE*, (44), 1265-1271.

Mireei S.A., Mohtasebi S.S., Masoodi R., Rafiei S.H., Arabanian A.S. (2010) Application of FT-NIR spectroscopy in nondestructive maturity determination of Shahani date fruit. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 41(2), 113-120. (In Farsi)

Park, B., Abbott, J.A., Lee, K.J., Choi, C.H. & Choi, K.H. (2003). Near-infrared diffuse reflectance for quantitative and quantitative measurement of soluble solids and firmness of delicious and gala apples. *Transactions of the ASAE*, (46), 1721-1731.

Sharma, H.K., Kaur, J., Sarkar, B.C., Singh, C., Singh, B. & Shitandi, A.A. (2006) Optimization of pretreatment conditions of carrots to maximize juice recovery by response surface methodology. *J. Engineering Science Technology*, (1), 158-165.

Tigabu, M. & Odén, P.C. (2002) Multivariate classification of sound and insect infested seeds of a tropical multipurpose tree. *Cordia Africana*, with near infrared reflectance spectroscopy. *Near Infrared Spectroscopy*, (10), 45–51.

Yan-de, L. & Yi-bin, Y. (2004). Measurement of sugar content in Fuji apples by FT-NIR spectroscopy. *Journal of Zhejiang University Science*, 5(6), 651-655.