

تشخیص میزان قند موجود در ریشه‌های چغندر قند با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR)

حسین باقرپور^۱، سعید مینایی^{۲*}، محمد عبداللهیان نوقابی^۳، محمد اسماعیل خراسانی^۴

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار موسسه تحقیقات چغندر قند- کرج

۴- استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۸)

چکیده

به کارگیری طیف سنجی به عنوان یک روش سریع و غیر مخرب برای سنجش کیفیت محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. یکی از کاربردهای این تکنیک، تعیین سریع و غیر مخرب ویژگی‌های کیفی محصولات در فعالیتهایی چون کشاورزی دقیق، اصلاح نبات و سنجش بر خط هنگام فراوری می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از طیف سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) در محدوده طول موج ۹۰۰ الی ۱۷۰۰ نانومتر مدلی برای تخمین مقدار قند موجود در ریشه‌های چغندر قند تدوین گردید. در تدوین مدل از ۸۰ نمونه برای درجه‌بندی و ۴۰ نمونه برای آزمون مدل استفاده شد. پس از حذف نوفه، برای بهبود طیف، پیش پردازش‌های اولیه مانند مشتق اول و مشتق دوم و تصحیح پراکنش افزایشده (MSC) انجام شد و اثرات آنها مورد بررسی قرار گرفت. مدل مناسب با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) تعیین گردید، با استفاده از این مدل مقادیر ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا برای داده‌های آزمون به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۱/۸ برای تخمین عیار و ۰/۹۵ و ۱/۷ برای مواد جامد محلول (SSC) بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که طیف سنجی فروسرخ قابلیت تخمین مقدار ساکاروز و مواد جامد محلول در ریشه‌های چغندر قند را دارد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های دیگر شود.

کلید واژگان: چغندر قند، طیف سنجی نزدیک مادون قرمز، عیار چغندر قند، تصحیح پراکنش افزایشده

* مسئول مکاتبات: sminae@gmail.com

۱- مقدمه

ساکاروز از مهمترین قندهای موجود در ریشه چغندر قند بوده و حدود ۹۵ درصد از کل قند موجود در این محصول را شامل می‌شود. روش‌های مختلفی برای تشخیص مقدار ساکاروز موجود در ریشه‌ها وجود دارد که متداول‌ترین آنها تشخیص عیار به روش پلاریمتری است. به طور کلی، اغلب روش‌های آزمایشگاهی موجود، نیازمند تخریب محصول بوده و تا حد زیادی وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشند [۱].

اخیراً با توسعه علوم رایانه و شیمی و افزایش توانایی به کارگیری تکنیک طیف‌سنجی، استفاده از این روش در حوزه‌های مختلف، به خصوص در زمینه مواد غذایی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مقدار سفتی، قند موجود و میزان pH محصول، سه فاکتور اصلی هستند که با استفاده از آنها می‌توان از کیفیت درونی و مزه آن آگاهی یافت. برای اندازه‌گیری غیر مخرب این فاکتورها روش‌های سریعی همچون فرا صوت، جذب ماکروویو، تشدید مغناطیس هسته (NMR) و طیف سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) وجود دارد [۲]. 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 سبزیجات همچون خربزه [۳]، هلو [۴]، سیب [۵]، کیوی [۶] و خرما [۷] استفاده شده است. لیو و همکاران [۸] 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. پارک و همکاران [۹] نیز با انجام آزمایش بر روی سیب و با استفاده از یک طیف‌سنج در محدوده طول موج ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر، مقادیر $(r^2=0.96, SEP=0.34)$ و $(r^2=0.65, SEP=7.3)$ را برای تخمین به ترتیب TSS و سفتی آن گزارش کردند. روش مدلسازی استفاده شده در این تحقیق، روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی (PCR) می‌باشد. علاوه بر محصولات میوه‌ای در مورد محصولات لبنی، [۱۰-۱۱]، گوشتی [۱۲] و غله‌ای [۱۳] نیز استفاده زیادی از طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک شده است.

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. در فرآیند جذب، فرکانس‌هایی 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 بکار 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 می‌گردد [۱۵-۱۴].

در سال‌های اخیر تهیه نقشه‌های عملکرد کمی و کیفی محصولات برای بکارگیری آنها در کشاورزی دقیق و مدیریت مزرعه مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان بوده است. البته در زمینه تهیه نقشه‌های عملکرد کمی کارهای گسترده‌ای برای بسیاری از محصولات انجام شده [۱۶-۱۷] ولی در زمینه کیفیت سنجی لحظه‌ای کارهای اندکی صورت گرفته و در حال انجام است [۱۸]. در مورد صنعت چغندر قند، تشخیص مقدار قند و یا ساکاروز موجود در

ریشه‌ها برای قیمت گذاری بر روی محصولات، ارزیابی مداوم کیفیت ریشه‌ها در مؤسسات تحقیقاتی و همچنین تعیین زمان مناسب برداشت محصول از جمله موارد مطلوبی هستند که در صورت بکارگیری روش غیر مخرب طیف‌سنجی می‌توان از آن در این زمینه‌ها بهره برد.

در زمینه سنجش عیار و یا سایر فاکتورهای کیفی چغندر قند با استفاده از طیف‌سنجی چندین تحقیق انجام شده که البته اکثر آنها به صورت مخرب بوده و نیازمند تهیه عصاره از ریشه‌ها می‌باشد. در تحقیقی که توسط راگو و همکاران [۱۹] بر روی عصاره ریشه‌ها انجام شد، مقایسه روش آزمایشگاهی WCA^۱ و روش NIR در تشخیص فاکتورهای همچون مقدار

رویش متوالی برداشت و میانگین آنها به عنوان طیف اندازه‌گیری شده در نظر گرفته 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 طیف‌گیری 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. 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 و مقدار جذب نیز از رابطه ۲ محاسبه شد [۲۰-۲۱].

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

$$A = \log\left(\frac{1}{R}\right)$$

۲-۲- آزمایش های تعیین مواد جامد محلول^۳ (SSC) و عیار نمونه‌ها^۴ (SC)

پس از تهیه طیف نمونه‌ها، ابتدا هر یک از نمونه‌ها خرد و سپس توسط دستگاه آسیاب خانگی خمیر آنها تهیه شد. برای اطمینان از پارگی بافت‌های درونی، هر نمونه در دو قسمت مساوی و به مدت ۲۴ ساعت درون فریزر (۲۵ °C-) نگهداری شد تا کاملاً منجمد شود. برای تعیین میزان مواد جامد محلول، نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در محیط آزمایشگاه و در دمای ۲۵ °C قرار داده شد تا به دمای محیط برسند. با فشردن نمونه‌ها و رد کردن از کاغذ صافی عصاره نمونه‌ها آماده و در آخر با استفاده از دستگاه رفرکتومتر (مدل ATAGO DR-A1) درجه بریکس (°Brix) هر نمونه خوانده شد. درصد قند نمونه‌ها (عیار)، دوباره پس از تهیه عصاره از خمیر باقیمانده و با دستگاه BETALYSER واقع در مؤسسه تحقیقات چغندر قند واقع در کرج بدست آمد.

ساکاروز، مواد جامد محلول، سدیم، نیتروژن، پتاسیم و چندین فاکتور دیگر انجام گرفت و نتایج نشان داد که NIR توانایی خوبی در ارزیابی شاخص Brix و عیار داشته ولی در تشخیص سایر فاکتورها توانایی کمتری دارد. در زمینه استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ برای سنجش مقدار عیار ریشه‌ها به صورت غیر مخرب و استفاده از آن در سنجش لحظه‌ای عیار، تحقیقی توسط پانیگرایی و همکاران [۲۰] انجام گرفت که در آن مقدار ضریب همبستگی ۰/۸۹ گزارش شده است البته این تحقیق تنها به صورت ثبت اختراع بوده و هیچ گزارشی در مورد استفاده از روش‌های مختلف پردازش طیف وجود نداشته و تنها از شبکه عصبی استفاده کرده‌اند.

لذا تحقیق حاضر با هدف توسعه یک روش سریع و کم‌هزینه مبتنی بر روش طیف‌سنجی (NIR) برای تشخیص مقدار قند موجود در ریشه‌های چغندر قند و همچنین امکان بکارگیری طیف سنج در دماغه کمباین جهت تهیه نقشه عملکرد کیفی محصول انجام گردید. (۲)

۲- مواد و روش ها

۲-۱- دستگاه طیف فروسرخ نزدیک

برای انجام طیف سنجی ابتدا ۱۲۰ نمونه ریشه چغندر قند با اندازه‌های مختلف از مزرعه تحقیقاتی کمال آباد وابسته به مؤسسه تحقیقات چغندر قند برداشت شد. پس از سرزنی و شستشوی نمونه‌ها و با توجه به اهداف مورد نظر، از هر نمونه یک لایه دیسک مانند از قسمت طوقه جدا و برای جلوگیری از افت رطوبت درون کیسه نایلونی قرار داده شد. این نمونه‌ها تا زمان طیف‌سنجی در یخچال نگهداری شدند. تهیه طیف از نمونه‌های دیسک مانند ریشه‌های چغندر قند به روش بازتابشی و با استفاده از دستگاه اسپکترومتر NIR (مدل EPP2000NIR) انجام شد. این طیف سنج دارای آشکارساز InGaAs، محدوده طیفی ۹۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر و قدرت تفکیک ۲/۵ نانومتر است. به خاطر ضعیف بودن نور خود دستگاه، از لامپ هالوژن-تنگستن (۱۲۷ W - ۵۰ W) به عنوان منبع نور و از یک دیمر برای کنترل شدت نور استفاده شد. به منظور افزایش دقت و کاهش نویز حرارتی، از هر نمونه ۱۵

3. Soluble solid content

4. Sugar content

2. Indium Gallium Arsenide

۲-۳- پیش پردازش داده‌ها

در ابتدا برای از بین بردن نویزهای تصادفی، طیف‌های تهیه شده به کمک الگوریتم ساویتسکی- گولای با پنجره‌ای به اندازه ۵ نقطه یکنواخت شدند. با انتخاب ۵ نقطه در الگوریتم ساویتسکی-گولای ضمن اینکه نویز موجود در طیف‌ها برطرف می‌شد، اطلاعات مربوط به پیک‌ها نیز از بین نمی‌رفت. سپس از پیش پردازش‌هایی همچون تصحیح پراکنش افزاینده^۵ (MSC)، مشتق اول و مشتق دوم بر روی طیف‌ها استفاده شد تا اثر عوامل مزاحم مانند فاصله نمونه با آشکارساز، تغییر در اندازه نمونه‌ها و غیره حذف شوند^۶ (3). 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 سبب^۴ خط مماس بر هر نقطه از منحنی علاوه بر یکنواخت کردن طیف‌ها، اثرات جابجایی نقطه شروع طیف‌ها را نیز برطرف می‌کند^۵ (5). 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^۷ (۲۲).

۲-۴- تجزیه داده‌ها

در این پژوهش داده‌ها به دو دسته تقسیم شدند. در مرحله درجه‌بندی و ساخت مدل از دسته اول که شامل ۸۰ نمونه بود استفاده شد و ۴۰ نمونه دیگر هم برای مرحله آزمون بکار برده شد. پس از تبدیل تمامی طیف‌های بازتابشی به جذبی و انجام پیش پردازش اولیه، از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۸ (PLS) برای مدلسازی مناسب بین داده‌های طیفی و مقادیر اندازه‌گیری شده انجام گرفت. 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^۹ (LV) تصویر می‌کند^۷ (۷). تحلیل داده‌ها با نرم افزار تخصصی طیف‌سنجی Unscrambler v9.5 و همچنین MATLAB v9.0 انجام 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 همبستگی (R) (معادله ۳)، ریشه میانگین مربعات خطای آزمون^۸ (RMSEP) (معادله ۴) و نسبت انحراف استاندارد^۹ SDR استفاده گردید. SDR که عبارت است از نسبت مقادیر انحراف استاندارد (SD) به RMSEP، می‌تواند ارزیابی بهتری از عملکرد مدل داشته باشد [۲۲].

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

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

$$SDR = \frac{SD}{RMSEP}$$

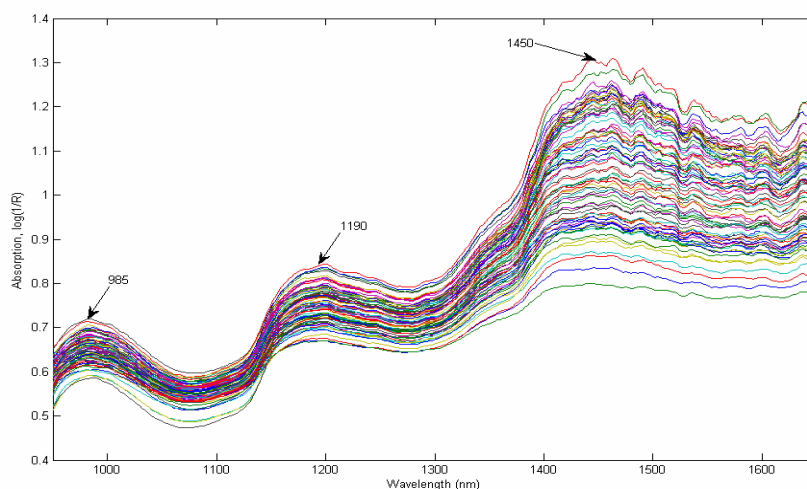
در اینجا $\hat{y}_i$ مقدار پیش بینی شده برای i امین نمونه، y_i برابر با مقدار اندازه‌گیری شده i امین نمونه، y_m میانگین مقادیر اندازه گیری شده، n_p تعداد نمونه‌های پیش بینی شده و SD انحراف استاندارد گروه پیش‌بینی شده می‌باشند.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ طیف جذبی مربوط به تعدادی از نمونه‌های چغندر قند را نشان می‌دهد. این شکل تقریباً مشابه طیف‌های بدست آمده از سایر محصولات مانند سیب [۲۲]، زرد آلو [۲۱] و خرما [۷] می‌باشد. با توجه به شکل ۱، سه پیک جذبی مشخص در محدوده ۹۸۰، ۱۱۹۰ و ۱۴۵۰ نانومتر مشاهده می‌شود. با اینکه این پیک‌ها خیلی نزدیک به پیک‌های جذبی آب (۹۵۸، ۱۱۵۳ و ۱۴۶۰) هستند ولی در محدوده پیک‌های ۹۸۰ و ۱۴۵۰ نوارهای جذبی مربوط به قند میوه‌جات هم وجود دارند که با نوارهای جذبی آب همپوشانی دارند.

8. Root Mean Square Error of Prediction
9. Standard Deviation Ratio

5. Multiplicative Scatter Correction
6. Partial Least Squares
7. Latent Variables



شکل ۱ طیف خام اولیه از نمونه‌های ریشه چغندر قند

۳-۱- مدل PLS برای پیشگویی میزان SSC

جدول ۱، نتایج مدل‌های PLS در تخمین SSC ریشه‌های چغندر قند را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱ همبستگی خوبی بین مواد جامد قابل حل و طیف بدست آمده. با انجام پیش پردازش‌های MSC و مشتق‌های اول و دوم، سه مدل جداگانه PLS بدست آمد. مقایسه نتایج بدست آمده از این سه مدل نشان می‌دهد که مدل حاصل از پیش پردازش MSC منجر به بهترین همبستگی ($R=0.95$) میان خروجی مدل و

مقادیر اندازه‌گیری شده و کمترین مقدار خطا ($Brix^0$) $RMSEP=1/7$ نسبت به دو مدل دیگر شده است. نتایج این تحلیل مشابه با نتایج گزارش شده توسط میره‌ای و همکاران می‌باشد. با این حال نتایج بدست آمده بهتر از نتایج بوریو و همکاران [۲۱] برای میوه زرد آلو می‌باشد که توانستند مقدار ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطای آزمون را به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۹ در تخمین مواد جامد قابل حل بدست آورند.

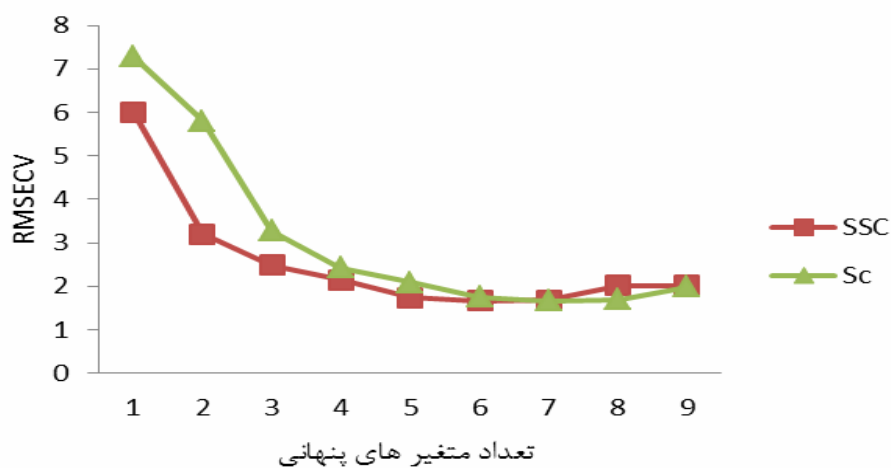
جدول ۱ نتایج مدل PLS برای تخمین مقدار درجه بریکس (SSC)

پیش پردازش	تعداد متغیر پنهانی	RMSECV	RMSEP	R	SDR
بدون پیش پردازش	۱۱	۲/۱	۲/۳	۰/۸۱	۲/۱
MSC	۶	۱/۶	۱/۷	۰/۹۵	۲/۶
مشتق اول (1D)	۵	۲/۲	۲/۵	۰/۸۰	۱/۴
مشتق دوم (2D)	۴	۱/۷	۱/۹	۰/۸۴	۲/۱

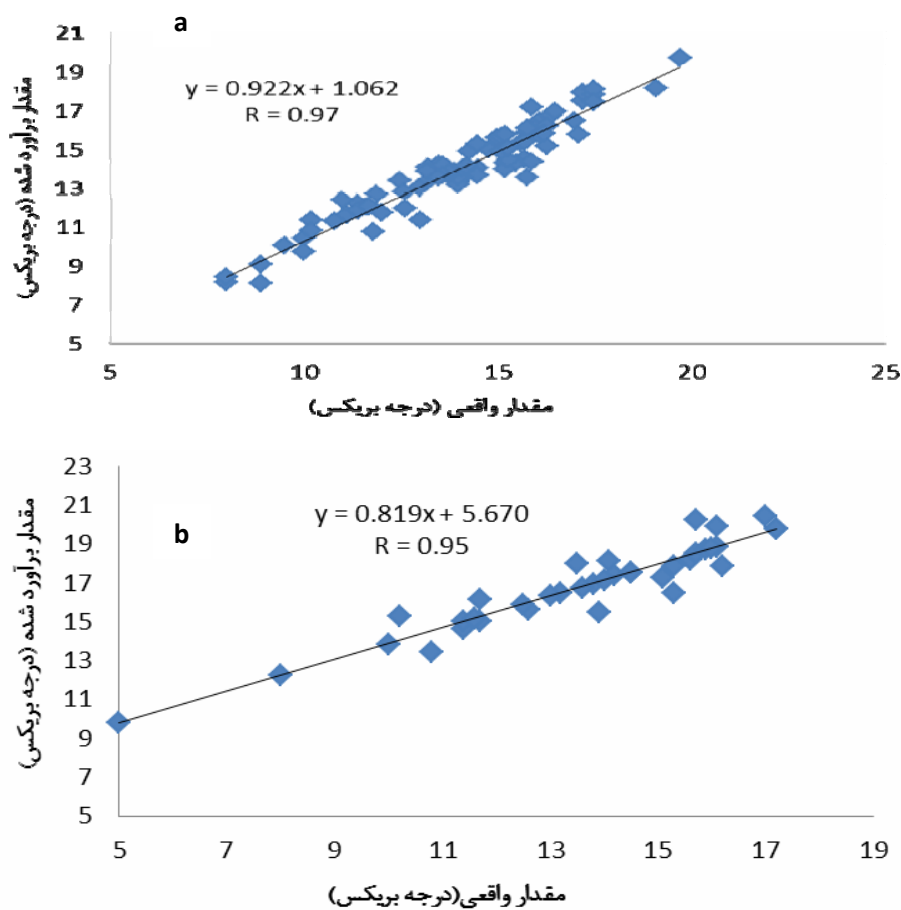
به علت بیش برآزش شدن مدل، مقدار خطا دوباره افزایش می‌یابد. بنابراین در مدل PLS برای تخمین SSC از ۶ متغیر پنهانی استفاده گردید.

شکل ۲ اثر تعداد متغیرهای پنهانی بر مجذور میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار متغیرهای پنهانی مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله اعتبارسنجی متقاطع (RMSECV)^{۱۰} کاهش می‌یابد به نحوی که با ۶ متغیر پنهانی، RMSECV مقدار کمینه خود را دارد. با افزایش تعداد متغیرهای پنهانی از ۶ عدد،

¹⁰ Root Mean Square Error of Cross Validation



شکل ۲ تغییرات RMSECV نسبت به متغیر پنهانی



شکل ۳ خروجی مدل PLS مجموعه (a) درجه بندی و (b) آزمون در مقابل مقادیر اندازه گیری شده SSC

(مدل با پیش‌پردازش MSC) در نمودارهای شکل ۳ نشان شده است.

مقادیر پیش‌بینی شده SSC در مقابل مقادیر اندازه‌گیری حاصل از بهترین مدل PLS

۳-۲- مدل PLS برای پیشگویی میزان SC

در این مرحله نیز پیش پردازش اصلی بر روی طیف انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. در اینجا نیز روش پیش پردازش MSC نسبت به دو روش دیگر بهتر عمل کرده بطوریکه مقدار ضریب همبستگی آن ۰/۸۴، مقدار RMSEP برابر با ۱/۸ و مقدار SDR نیز ۲/۵ بدست آمد. با

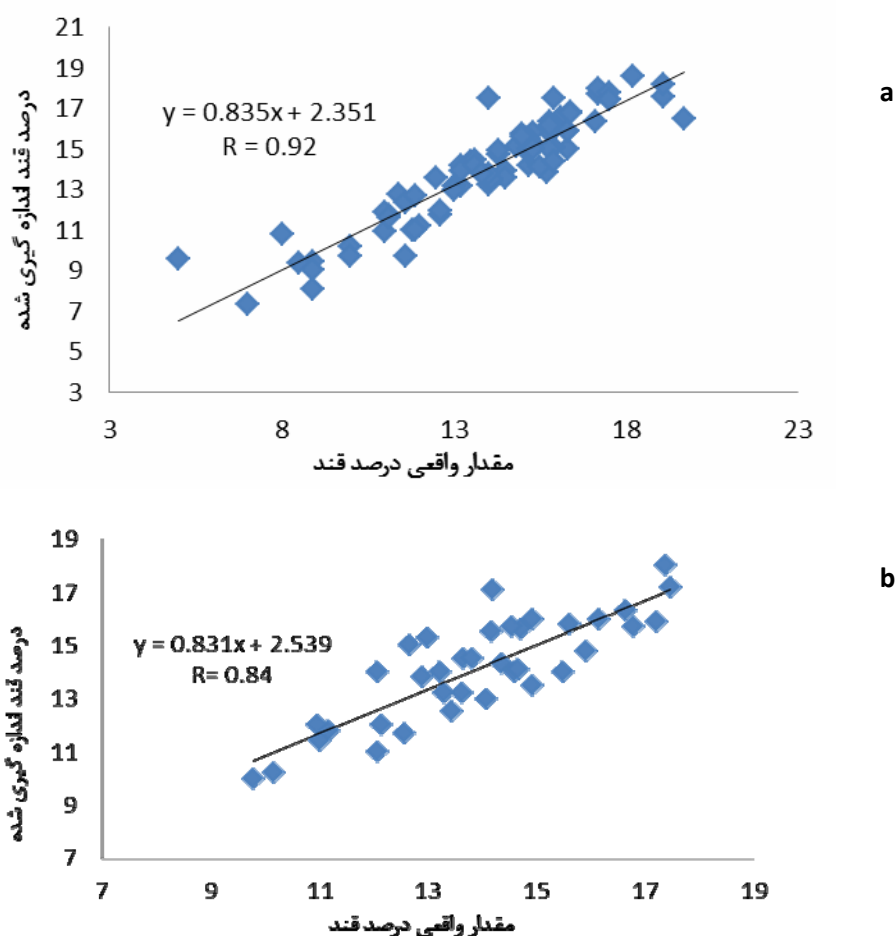
توجه به شکل ۲، مقدار بهینه متغیر پنهانی ۷ در نظر گرفته شد. انتخاب بیشتر متغیرهای پنهانی باعث شد که در مدل، بیش برازش روی داده‌ها بدهد. بنابراین همین مقدار حالت بهینه را باعث خواهد شد. لیو و همکاران [۲۲] نیز با کار بر روی محصول نارنج مقدار SDR را ۲/۳۴ و ضریب همبستگی را ۰/۹۷ گزارش کرده‌اند.

جدول ۲ نتایج مدل PLS برای تخمین مقدار SC

پیش پردازش	تعداد متغیر پنهانی	RMSECV	RMSEP	R	SDR
بدون پیش پردازش	۱۴	۲/۲	۳/۲	۰/۷۳	۲/۲
MSC	۷	۱/۵	۱/۸	۰/۸۴	۲/۵
مشتق اول (1D)	۵	۲/۴	۲/۴	۰/۷۴	۱/۸
مشتق دوم (2D)	۶	۱/۹	۲	۰/۸۰	۲

در نمودارهای شکل ۴ نتایج حاصل از مدل PLS درصد قند اندازه گیری شده در مقابل مقدار واقعی آن را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ و مقادیر بدست آمده، مدل حاصل از پیش

پردازش MSC قویتر از روش‌های دیگر بوده و مناسب تر می باشد. در میان مدل‌های موجود برای هر دو حالت، مشتق اول ضعیف تر از بقیه بوده و انتخاب مناسبی نخواهد بود.



شکل ۴ خروجی مدل PLS مجموعه (a) درجه بندی و (b) آزمون در مقابل مقادیر اندازه گیری شده SC

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش NIR در محدوده طول موج ۱۶۰۰ - ۹۰۰ نانومتر قابلیت خوبی در تشخیص مقدار SSC محصول چغندر قند دارد ولی در تشخیص مقدار ساکاروز تا حدودی ضعیف‌تر عمل می‌کند که این ممکن است به خاطر غالب بودن پیوندهای جذبی OH آب در این محدوده باشد. بنابراین به کارگیری طیف سنج با محدوده طول موجی بالاتر مفید تر خواهد بود. البته طیف سنجی در محدوده ۹۰۰-۱۶۰۰ nm می‌تواند برای کارهای تخمینی مثل تهیه نقشه عملکرد مزرعه ای و همچنین بررسی وضعیت ریشه‌ها در زمان‌های مختلف قابل استفاده باشد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پیش پردازش MSC نسبت به مشتق اول و دوم بهتر است. مقادیر کمتر بدست آمده برای RMSEP و مناسب بودن مقدار R، نشانگر این است که مدل PLS توانایی خوبی برای تخمین مقدار SSC داشته ولی در تشخیص مقدار ساکاروز کمی ضعیف‌تر عمل می‌کند. تشخیص ضعیف ساکاروز نسبت به مواد جامد قابل حل، می‌تواند به علت پهن بودن قله‌های طیف باشد و استفاده از طیف سنج فروسرخ با محدوده طول موج زیاد، می‌تواند تشخیص ساکاروز را بهبود بخشد.

۵- منابع

- [5] McGlone, A.V., Jordan, B., Martinsen, P.J. (2002). Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biology and Technology* 25:135-144.
- [6] Moghimi, A., Aghakhani, M.H., Sazegharnia, A., Sarmad, M. (1387). Nondestructive internal quality assessment of kiwifruit, Apple and Orange using near-infrared spectroscopy. 18th National Congress On Food Thechnology. 24-25 Mehr, Mashhad, Iran.
- [7] Mireei, S.A., Mohtasebi, S.S., Masood, R., Raffei, S., Sadat Arabanian, A. (1389). Application of FT- NIR Spectroscopy in Nondestructive Maturity Determination of Shahani Date Fruit. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 41:113-120.
- [8] Lu, R. (2001). Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy, *Transactions of the ASAE* 44: 1265-1271.
- [9] 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.
- [10] Rodriguez-Nogales, J. M. (2006). Approach to the quantification of milk mixtures by partial least-squares, principal component and multiple linear regression techniques. *Food Chemistry* 98: 782-789.
- [11] Laporte, M. F., & Paquin, P. (1999). Near-infrared analysis of fat, protein and casein in cow's milk. *Agricultural and Food Chemistry* 47: 2600-2605.
- [12] Savenije, B., Geesink, G.H., van der Palen, J.G.P., Hemke, G. (2006). Prediction of pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science* 73: 181-184.
- [13] Maertens, K., Reyns, P., De Baerdemaeker, J. (2004). On-line measurement of grain quality with NIR technology. *Transactions of the ASAE* 47: 1135-1140.
- [14] Tigabu, M., and Odén, P. C. (2002). Multivariate classification of sound and insectinfested seeds of a tropical multipurpose tree, *Cordia Africana*, with near infrared reflectance spectroscopy. *Near Infrared Spectroscopy* 10: 45-51
- [1] Garrigues, J.M., Akssira, M., Rambla, F.J., Garrigues, S., de la Guardia, M. (2000). Direct ATR-FTIR determination of sucrose in beet root. *Talanta* 51: 247-255
- [2] Augusto, P and Filho, C. (2009) . Rapid determination of sucrose in chocolate mass using near infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta* 631: 206-211.
- [3] Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S., Smittle, D.A., (1990). Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Transactions of the ASAE* 35: 735-737
- [4] Kawano, S., Abe, H., (1995). Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *Near Infrared Spectroscopy* 3: 211-218.

- [19] Roggo Y., Duponchel, L., and Huvenne, J.P. (2004) . Quality Evaluation of Sugar Beet (*Beta vulgaris*) by Near-Infrared Spectroscopy. *Food Chemistry* 52: 1055-1061
- [20] Panigrahi, S., Hofman, V., Gu, H. (2003). On-The-Go sensing techniques for sugar determination for sugar beet in the field. Patent no:6,624,888 ,B2, USPTO.
- [21] Bureau, S., Ruiz, D., Reich, M., Gouble, B., Bertrand, D., Renard, C.M.G.C. (2009). Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry* 113: 1323–1328.
- [22] 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 Modeling* 51: 1438_1443.
- [15] He, Y. and Cen, H. (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology* 18: 72-83.
- [16] Walter, J. D., and Backer, L. F. (2003). Sugarbeet yield monitoring for site - specific farming: Part I. Laboratory tests and preliminary field tests. *Precision Agric* 4: 421-431.
- [17] Godwin, R.J., Wheeler, P.N. O'Dogherty, M.J., Watt, C.D. and Richards, T. (1999). Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 23:85-101.
- [18] Song, H., Delwiche, S.R., Chen, Y.R (1995). 'Neural Network Classification of Wheat Using Single Kernel Near Infrared Transmittance Spectra', *Opt Engineering* 34: 2927–2934

Non-destructive determination of sugar content in root beet by near infrared spectroscopy (NIRS)

H. Bagherpour, H. ¹, Minaei, S. ² *, Abdollahian Noghabi, M. ²,
Khorasani Fardvani, M. E. ³

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Agricultural Research and Education Organization, Sugar Beet Seed Institute, Karaj, Iran

3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

(Received: 92/2/23 Accepted: 92/10/8)

Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) is a nondestructive and rapid technique applied increasingly for food quality evaluation in recent years. In this research optical method based on near-infrared spectroscopy (900-1600 nm) has been used to determine sugar content in sugar beet. A total of 120 samples were used for the modeling, whereas 80 samples were used for the calibration set and 40 samples were used for prediction set. Four pre-processing methods, including average smoothing, multiplicative scatter correction (MSC), first and second derivatives, were applied to improve the predictive ability of the models. Then models were developed by partial least squares (PLS). The correlation coefficient (r) and root mean square error of prediction (RMSEP) were 0.84 and 1.8 for SC, whereas 0.95 and 1.7 for SSC, respectively. The results show that NIR can be used as a rapid method to determine soluble solid content and sucrose in sugar beet.

Key words: NIR spectroscopy, Soluble solids content, Partial least squares, Sugar content

* Corresponding Author E-Mail Address: sminaee@gmail.com