

سنجش میزان رطوبت لیموشیرین با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک

عمار رفیعی^۱، سعید مینائی^{۲*}، بهاره جمشیدی^۳، محمد هادی خوش تقاضا^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۳- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

* ایمیل نویسنده مسئول: minaee@modares.ac.ir

چکیده

آب به‌عنوان یک عامل مهم در کیفیت سبزی‌ها و میوه‌ها (بخصوص در مرکبات)، قسمت عمده‌ای از محصول را تشکیل می‌دهد. بسیاری از خواص فیزیکی، مکانیکی، حرارتی و الکتریکی تحت تأثیر میزان رطوبت محصول هستند. همچنین در انبارمانی و حمل‌ونقل محصولات کشاورزی رطوبت اهمیت بالایی دارد. در این پژوهش توانایی طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک در مد بازتاب به‌منظور تعیین غیر مخرب رطوبت لیموشیرین موردبررسی قرار گرفت. ابتدا طیف‌های مرئی / فروسرخ میوه‌ها از روی پوست در محدوده ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر به منظور تشخیص و پیشگویی غیر مخرب رطوبت تهیه شد. مدل‌های واسنجی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) بر پایه‌ی اندازه‌گیری‌های مرجع و اطلاعات طیف‌های پیش‌پردازش شده با ترکیب روش-های مختلف نرمال‌سازی (تصحیح پخش افزاینده (MSC)، توزیع نرمال استاندارد (SNV))؛ و افزایش قدرت تفکیک طیفی (مشتق‌های اول و دوم (D_1, D_2)) برای پیشگویی ویژگی‌ها و شاخص‌های رطوبت تدوین شدند. نتایج حاصل از مدل‌سازی (PLSR) با ترکیب شش پیش‌پردازش مختلف در محدوده NIR که طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۲۴۵۰ نانومتر را شامل می‌شود موردبررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده برای مدل‌سازی (PLSR) بهترین نتیجه با پیش‌پردازش $SG+D_2$ و با تعداد مؤلفه‌های اصلی ۱۲ حاصل گردید که برای دسته آموزش و آزمون به ترتیب دارای ضریب رگرسیونی ۰.۹۸۶۲ و ۰.۹۸۰۸ و ریشه خطای میانگین ۰.۰۰۰۹۷ و ۰.۰۰۱۰۶۱ بوده و نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان رطوبت گوشت میوه به صورت غیر مخرب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی غیرمخرب، لیموشیرین، مدل‌سازی، سنجش رطوبت، حداقل مربعات جزئی

مقدمه

لیموشیرین^۱ با نام علمی *Citrus limetta* از تیره مرکبات^۱، یک میوه گرد با پوستی نازک به رنگ زرد کم‌رنگ و متمایل به سفید بوده و دارای گوشتی تقریباً به رنگ زرد روشن هست. این میوه دارای دو تا سه بذر بوده و طعمی شیرین دارد (فرزاد، ۱۳۸۹).

^۱Citrus limetta



آب به عنوان یکی از مهم‌ترین مواد تشکیل دهنده میوه‌ها از جمله مرکبات هست و قسمت زیادی از میوه را تشکیل می‌دهد. مواد قندی، اسیدها و دیاستازها موجود در میوه‌ها به صورت محلول در آب هستند. به علاوه اغلب واکنش‌های شیمیایی در میوه‌ها با حضور آب صورت می‌گیرد. هنگامی که آب میوه تبخیر شود بافت‌ها پژمرده شده و در سطح میوه، چین خوردگی به وجود می‌آید (صانعی، ۱۳۶۱). میزان رطوبت موجود در مواد کشاورزی خواصی از قبیل جرم مخصوص، ظرفیت گرمایی، هدایت حرارتی، مقاومت الکتریکی، رفتار نیرو تغییر شکل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (stroschine., 1994).

مواد خشکی که بعد از زدودن محتوی آب محصول باقی می‌ماند به عنوان مواد جامد کل شناخته می‌شود. آگاهی از میزان رطوبت محصولات غذایی اهمیت اقتصادی زیادی برای تولیدکنندگان مواد غذایی دارد. رطوبت به عنوان یک عامل کیفی در حفظ برخی از محصولات مطرح است (یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت به‌منظور مدیریت برداشت، نگهداری، فروش و فرآوری مرکبات، مقدار رطوبت آن‌ها است). همچنین به‌منظور محاسبه ارزش غذایی یک محصول نیاز هست که میزان رطوبت محصول تعیین شود.

مقدار رطوبت محصول برداشت‌شده اثر مهمی در سرعت تنفس آن دارد. معمولاً با کاهش رطوبت سرعت تنفس و فعالیت‌های متابولیکی کم می‌شود. تغییر سرعت تنفس ممکن است مربوط به تغییرات رطوبت محصول قبل از برداشت یا بعد از آن باشد. در میوه‌های گوشتی، بعد از برداشت محصول وقتی که آب محصول به میزان قابل توجه کاهش یابد، سرعت تنفس میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بیشتر میوه‌ها و سبزی‌های آبدار و گوشتی کیفیت محصول رابطه نزدیکی با رطوبت آن دارد و از دست دادن آب به پلاسیدگی و پژمردگی آن‌ها می‌انجامد (اتنا عشر و زکائی خسروشاهی، ۱۳۸۷).

سنجش میزان رطوبت را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین تجزیه و تحلیل‌های انجام‌گرفته روی محصولات غذایی دانست که هم اکنون از جمله مواردی به شمار می‌رود که به دست آوردن اطلاعاتی دقیق در این رابطه خیلی سخت هست (Nielsen., 2010). از پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به اندازه‌گیری غیر مخرب ویتامین ث در نارنگی به وسیله طیف‌سنجی VIS/NIR (Liu et al., 2008)، تخمین میزان ویتامین ث در فلفل به وسیله طیف‌سنجی VIS/NIR (Wanget al., 2011)، اندازه‌گیری میزان ویتامین ث در کیوی فروت (Fuet al., 2008). تعیین میزان ویتامین ث در توت‌فرنگی به وسیله طیف‌سنجی فرورسرخ نزدیک (Jin and Cui, 1994). تعیین ویتامین ث در ماندارین فروت به وسیله طیف‌سنجی VIS/NIR (Sunet al., 2012) و ساخت مدل‌های سینتیکی برای تعیین میزان ویتامین ث در عنب تازه برای پیش‌بینی عمر مفید خود بر اساس طیف‌سنجی فرورسرخ نزدیک (Hu et al., 2013) اشاره نمود.

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر پردازش‌های مختلف شده برای تدوین مدل مناسب به منظور اندازه‌گیری میزان رطوبت لیموشیرین و تدوین مدل رگرسیونی چند متغیره مناسب برای پیش‌بینی میزان رطوبت لیموشیرین هست. در سال‌های اخیر

¹Rutaceae



طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک^۱ (NIR) به عنوان یک روش غیر مخرب و سریع به صورت گسترده در ارزیابی کیفیت مواد غذایی استفاده شده است. با استفاده از این روش می‌توان با تدوین یک مدل کالیبراسیون، تعداد زیادی نمونه را بررسی کرد و نمونه‌ها احتیاج به هیچ‌گونه آماده‌سازی قبل از انجام آزمایش ندارند. طیف‌سنجی NIR می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد کیفیت مواد غذایی در اختیار قرار دهد، همچنین می‌توان میزان ترکیبات ۰.۱٪ غلظت را نیز به کمک این روش به صورت غیر مخرب و سریع تعیین نمود (Cen and He, 2007).

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی و طیف‌گیری از نمونه‌ها

در این پژوهش طیف‌گیری بر روی ۱۲۱ نمونه لیموشیرین انجام گرفت به این صورت که از سه ناحیه روی خط استوایی لیمو-شیرین در موقعیت‌های ۱۲۱ درجه نسبت به هم قرار دارند با تکرار سه مرتبه طیف‌گیری شد (جمشیدی، ۱۳۹۱). میانگین نه طیف گرفته شده برای هر یک از نمونه‌ها به عنوان طیف معرف نمونه مورد نظر در نظر گرفته شد. در این پژوهش از دستگاه طیف‌سنج FieldSpec 3 با دامنه‌ی طول‌موج طیفی کامل (۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر) با مد طیف‌سنجی بازتابی استفاده گردید.

پیش‌پردازش طیف‌ها

داده‌های طیفی به دست آمده از اسپکترومتر، افزون بر اطلاعات نمونه، شامل اطلاعات ناخواسته، پس زمینه و نوفه نیز هستند. از این رو، برای دستیابی به مدل‌های واسنجی پایدار، دقیق و قابل اعتماد، نیاز به پیش‌پردازش داده‌های طیفی پیش از تدوین مدل‌های رگرسیون است. برای این منظور، روش‌های پیش‌پردازش بسیاری بر پایه شیوه‌های ریاضی و آماری گسترش یافته و یا در حال توسعه‌اند که هر یک برای هدف ویژه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، انتخاب یک روش پیش‌پردازش مشخص به عنوان بهترین روش که منجر به بهترین نتایج مدل‌های پیش‌گویی متغیرهای مختلف در نمونه‌های مختلف شود، امکان‌پذیر نیست و بستگی به شرایط و امکانات آزمایش‌ها، نوع و ویژگی‌های نمونه، متغیر مورد اندازه‌گیری و غیره دارد (جمشیدی، ۱۳۹۱). بر این اساس، در این بخش پس از طیف‌گیری از همه نمونه‌ها، به منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش طیف‌ها، از ترکیب برخی روش‌های مختلف هموارسازی و کاهش نوفه، نرمال‌سازی و افزایش قدرت تفکیک طیفی بهره‌گیری شد.

با توجه به این که قسمت ابتدایی و انتهایی طیف‌ها دارای نویز زیادی هست لذا قبل تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۰ نانومتر ابتدایی و انتهایی طیف‌ها حذف می‌شوند (Clément *et al.*, 2008).

¹Near-infrared spectroscopy



پیش‌پردازش داده‌های NIR شامل مجموعه عملیات ریاضی و آماری بر روی طیف‌ها به منظور تصحیح طیف‌ها حذف نویزها و اطلاعات ناخواسته هست. ابتدا از پیش‌پردازش ساویتزکی-گولای (SG) با تعداد نقطه‌ی همسایگی ۳ و درجه چندجمله‌ای ۲، به منظور هموارسازی طیف‌ها استفاده گردید در این روش الگوریتم ساویتزکی-گولای بر هر بخش متوالی طیف یک چندجمله‌ای برازش و مقدارهای اصلی طیف را با مقدارهای برازش داده جایگزین می‌کند. از پیش‌پردازش‌های توزیع نرمال استاندارد (SNV)، تصحیح پخشی افزاینده (MSC)، مشتق اول (D_1) و مشتق دوم (D_2) نیز استفاده گردید.

MSC و SNV دو روش برای نرمال‌سازی طیف‌ها بوده که می‌تواند اثرهای جمعی افزاینده‌ی پخش نور ناشی از اثرهای فیزیکی در داده‌های طیفی، مانند پخش غیریکنواخت در کل طیف (درجه‌ی پخش بستگی به طول‌موج تابش دارد)، اندازه‌ی نمونه و ضریب شکست نور را برطرف کند. تمام پیش‌پردازش‌های اشاره شده با نرم‌افزار UNScTambler X 10.3 انجام شد.

اندازه‌گیری مرجع

بعد از طیف‌گیری، میزان رطوبت گوشت لیموشیرین برای تک‌تک نمونه‌ها با سه تکرار اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا سه تکه از گوشت هر نمونه لیموشیرین به وزن تقریبی ۱۰ گرم با استفاده از یک کارد تیز جدا گردیده و در ظرفی از جنس پوش‌برگ قرار داده شد و با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۰۱ وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای خارج کردن تمام رطوبت نمونه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با جریان هوای گرم در دمای 104°C قرار داده شد. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از آون وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

وزن آب موجود در گوشت نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد.

$$W_w = W_2 - W_1 \quad (1)$$

W_1 جرم نمونه قبل از خشک شدن برحسب کیلوگرم؛

W_2 جرم نمونه بعد از خشک شدن برحسب کیلوگرم؛

W_w جرم آب نمونه برحسب کیلوگرم؛

سپس با استفاده از رابطه زیر میزان رطوبت برای تک‌تک نمونه‌ها بر پایه تر اندازه‌گیری شد (stroschine., 1994).

$$M_w = 100 \frac{W_w}{W_t} = 100 \frac{M_w}{(W_w + W_d)} \quad (2)$$

M_w رطوبت نمونه بر پایه تر برحسب درصد؛

W_t جرم کل نمونه بر حسب کیلوگرم؛

W_d جرم ماده خشک بر حسب کیلوگرم؛

تدوین مدل رگرسیونی

هدف از به‌کارگیری روش‌های مدل‌سازی رگرسیون چند متغیره ایجاد یک رابطه بین رطوبت اندازه‌گیری شده توسط روش مرجع (متغیرهای وابسته) و طول موج‌های مربوط به محدوده فرسرخ نزدیک به عنوان متغیر مستقل هست. به‌تازگی، این روش‌های مدل‌سازی که شامل شیوه‌های خطی و غیرخطی هستند، در ترکیب با شیمی سنجی به‌منظور گسترش کاربردهای طیف‌سنجی NIR توسعه یافته‌اند. به دلیل خطی بودن روش طیف‌سنجی NIR، رگرسیون خطی، سازگاری بیشتری با کاربردهای NIR نشان داده هست (جمشیدی، ۱۳۹۱).

در این پژوهش از روش مدل‌سازی رگرسیونی چند متغیره خطی حداقل مربعات جزئی (PLSR) که بر پایه کاهش تعداد متغیرهای اصلی است استفاده گردید. برای پیشگویی رطوبت نمونه‌ها، ابتدا ۷۵ درصد نمونه‌ها به عنوان دسته آموزش و ۲۵ درصد نمونه‌ها به عنوان دسته آزمون به صورت تصادفی انتخاب شدند و سپس با ایجاد ضرایب رگرسیون توسط روش‌های فوق رطوبت نمونه‌ها تخمین زده شدند. در روش مدل‌سازی رگرسیونی (PLSR) انتخاب تعداد PCs برای تدوین مدل واسنجی کاملاً به‌صورت تجربی است. تعداد PCs باید به‌گونه‌ای انتخاب گردد که توانایی پیش‌بینی ویژگی‌های موردنظر را داشته باشد. تعداد PCs برای مدل‌سازی ۱۵ در نظر گرفته شد.

اعتبار سنجی مدل تدوین شده

پس از تدوین مدل‌های واسنجی به وسیله‌ی نمونه‌های دسته آموزش و ارزیابی توانمندی آن‌ها در ایجاد ارتباط بین داده‌های طیفی و ویژگی‌های مورد نظر، از نمونه‌های دسته آزمون برای بررسی دقت پیش‌گویی مدل‌های واسنجی تدوین شده استفاده شد. در این راستا خطای مدل‌ها به صورت ریشه میانگین مربعات خطای واسنجی (RMSEC)^۱ و ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌گویی (RMSEP)^۲ با توجه به روابط (۳) و (۴) محاسبه خواهند شد (Nicolăiet al. 2007a):

$$RMSEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{n_c}} \quad (۳)$$

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

^۱Root Mean Square Error of Calibration

^۲Root Mean Square Error of Prediction

که در آنها،

y_i مقدار اندازه‌گیری شده ویژگی برای نمونه i ام در دسته آموزش یا آزمون؛

\hat{y}_i مقدار پیش‌گویی شده ویژگی برای نمونه i ام در دسته آموزش یا آزمون؛

n_c تعداد نمونه‌های دسته آموزش؛

n_p تعداد نمونه‌های دسته آزمون؛

هم‌چنین، ضریب هم‌بستگی واسنجی (r_c)^۱ و ضریب هم‌بستگی پیش‌گویی (r_p)^۲ به ترتیب با توجه به روابط (۵) و (۶) محاسبه گردیدند.

$$r_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_m)^2}{\sum_{i=1}^{n_c} (y_i - y_m)^2}} \quad (۵)$$

$$r_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_m)^2}{\sum_{i=1}^{n_p} (y_i - y_m)^2}} \quad (۶)$$

y_m میانگین مقدارهای اندازه‌گیری شده ویژگی در دسته آموزش یا آزمون؛

نتایج

آمار نمونه‌ها

نتایج مربوط به رطوبت گوشت نمونه‌های لیموشیرین برای دسته آموزش و دسته آزمون در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- نتایج مربوط به رطوبت گوشت نمونه‌های لیموشیرین برای دسته آموزش و دسته آزمون

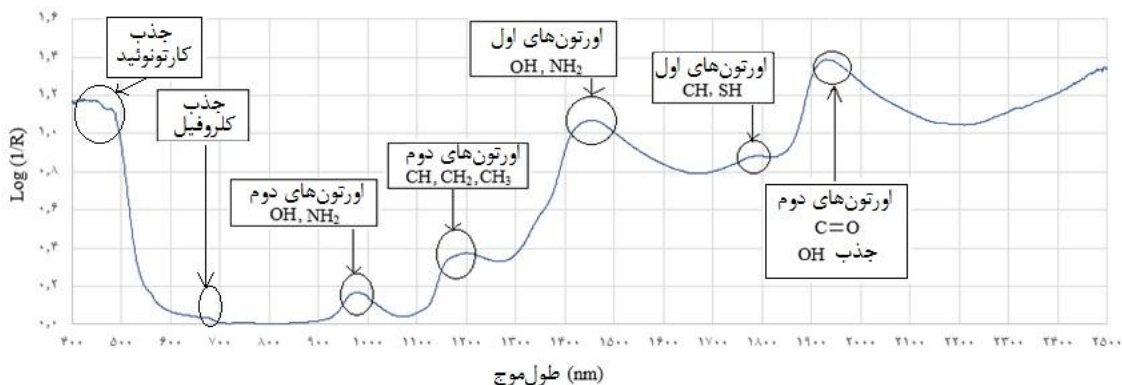
مخصل	تعداد (دسته)	ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
لیموشیرین	۹۱ (دسته آموزش)	رطوبت	۰.۸۸۲۳	۰.۹۲۴۲	۰.۹۰۳۷	۰.۰۰۸۴
لیموشیرین	۳۰ (دسته آزمون)	رطوبت	۰.۸۸۴۱	۰.۹۲۰۲	۰.۹۰۵۷	۰.۰۰۷۶

^۱ Correlation Coefficient of Calibration

^۲ Correlation Coefficient of Prediction

تفسیر طیف‌های NIR

شکل (۱) طیف جذبی میانگین به دست آمده از اسپکتروسکوپی NIR برای ۱۰ نمونه میوه لیموشیرین نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱) پیک اول و دوم از سمت چپ به ترتیب متعلق به جذب کارتونوئیدها و کلروفیل‌ها هستند. کارتونوئیدها نشان دهنده رنگ‌دانه‌های زرد و کلروفیل‌ها نشان دهنده رنگ‌دانه‌های سبز هستند. طی پژوهشی طول‌موج‌های ۴۸۰ و ۴۵۵ نانومتر به کارتونوئیدها نسبت داده شده است (Merzlyak *et al.*, 2003) و در پژوهشی دیگر طول‌موج ۶۷۰ نانومتر به کلروفیل نسبت داده شده است (Clément *et al.*, 2008) که با طول‌موج‌های اشاره شده در شکل (۱) مطابقت دارند. این دو شاخص در تعیین رسیدگی میوه‌ها توسط طیف‌سنجی فرسرخ نزدیک بسیار به کار گرفته می‌شوند. با افزایش رسیدگی میوه از میزان رنگ‌دانه‌های سبز میوه کاسته شده و بر میزان کارتونوئیدها افزوده می‌شود. با توجه به اینکه لیمو شیرین‌های مورد استفاده در این پژوهش کاملاً رسیده می‌باشند و رنگ‌دانه‌های غالب در میوه لیموشیرین رسیده، رنگ‌دانه‌های زرد هستند، پیک معرف رنگ‌دانه‌های زرد یا همان کارتونوئیدها نشان دهنده میزان جذب بیشتری نسبت به پیک مربوط به رنگ‌دانه‌های سبز هستند. با توجه به پیک مربوط به رنگ‌دانه‌های سبز یا همان کلروفیل‌ها، مشاهده می‌گردد که میزان رنگ‌دانه‌های سبز در نمونه‌های مورد استفاده بسیار کم هستند. با توجه به گزارش‌های پژوهش‌های پیشین و طیف جذبی میانگین برای چند نمونه می‌توان نتیجه گرفت که پیک سوم در طول موج ۹۸۰ نانومتر به اورتون دوم OH و NH_2 ، پیک چهارم در ۱۲۰۰ نانومتر به اورتون دوم CH ، CH_2 و CH_3 ، پیک پنجم در ۱۴۵۰ نانومتر به اورتون دوم OH و NH_2 ، پیک ششم در طول موج ۱۷۸۰ نانومتر به اورتون اول CH و SH که می‌تواند بیانگر میزان قند محصول باشد و پیک هفتم در طول موج ۱۹۳۰ نانومتر به اورتون دوم $\text{O}=\text{C}$ و جذب قوی OH نسبت داده شده است که می‌تواند بیانگر رطوبت محصول باشد. با توجه به شکل (۱) مشاهده می‌گردد که پیک بیانگر جذب قوی OH یا رطوبت دارای میزان جذب بیشتری نسبت به سایر ترکیبات میوه هست که نشان دهنده این واقعیت هست که بخش عمده میوه را رطوبت تشکیل می‌دهد. از پیک‌های موثر دیگر در تعیین میزان رطوبت میوه می‌توان به پیک سوم در طول موج ۹۸۰ نانومتر و پیک پنجم در ۱۴۵۰ نانومتر اشاره کرد.





شکل ۱- طیف جذبی خام از میوه لیموشیرین

نتایج مدل سازی رگرسیونی حداقل مربعات جزئی (PLSR)

نتایج حاصل از مدل سازی (PLSR) با ترکیب شش پیش پردازش مختلف در محدوده NIR که طول موج های ۴۰۰ تا ۲۴۵۰ نانومتر را شامل می شود در جدول (۲) آورده شده است. نتایج نشان دهنده این هست که بهترین نتیجه با پیش پردازش SG+D₂ و با تعداد مؤلفه های اصلی ۱۲ حاصل می گردد که به صورت پرننگ در جدول (۲) مشخص شده است. با توجه به مدل تدوین شده، مقدار ضریب رگرسیونی به ترتیب برای دسته آموزش و آزمون ۰.۹۸۶۲ و ۰.۹۸۰۸ بوده و ریشه خطای میانگین نیز به ترتیب برای دسته آموزش و آزمون ۰.۰۰۰۰۹۷ و ۰.۰۰۱۰۶۱ به دست آمد که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش بینی میزان رطوبت گوشت میوه به صورت غیر مخرب هست.

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل سازی (PLSR) در محدوده NIR

پیش پردازش	PCs	R		RMSE	
		Cal	Val	Cal	Val
SG+D ₁	۱۴	۰.۹۷۳۲	۰.۹۷۵	۰.۰۰۱۸۹۷	۰.۰۰۱۷۵۳
SG+D₂	۱۲	۰.۹۹۳	۰.۹۹۰۳	۰.۰۰۰۰۹۷	۰.۰۰۱۰۶۱
SG+D ₁ +SNV	۱۳	۰.۹۷۰۳	۰.۹۷۵۱	۰.۰۰۱۹۹۶	۰.۰۰۱۷
SG+D ₂ +SNV	۱۲	۰.۹۹۲۸	۰.۹۹۱	۰.۰۰۰۰۹۸۱	۰.۰۰۱۰۲۵
SG+D ₁ +MSC	۱۳	۰.۹۷۰۳	۰.۹۷۴۵	۰.۰۰۱۹۹۵	۰.۰۰۱۷۱۹
SG+D ₂ +MSC	۱۲	۰.۹۹۳۳	۰.۹۹۰۹	۰.۰۰۱۰۱۷	۰.۰۰۱۰۳۱

با توجه به جدول (۲) در تدوین مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)، پیش پردازش مشتق دوم نسبت به مشتق اول نتایج بهتری دارد. به طور کلی استفاده از الگوریتم های هموارسازی SNV و MSC، اختلاف زیادی در نتایج حاصل از مدل سازی ندارند.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، مدل تدوین شده به وسیله مدل رگرسیونی خطی چند متغیره حداقل مربعات جزئی (PLSR) همراه با پیش پردازش $SG+D_2$ می تواند با دقت خیلی خوب میزان رطوبت لیموشیرین را به صورت غیر مخرب به وسیله طیفسنجی فروسرخ نزدیک در محدوده ۲۴۵۰ - ۴۰۰ نانومتر پیش گویی بکند.

منابع

اثنا عشر، م و زکائی خسروشاهی، م. (۱۳۸۷). فیزیولوژی و تکنولوژی پس از برداشت، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ اول، همدان.

جمشیدی، ب. (۱۳۹۱). تشخیص و تفکیک غیر مخرب مزه پرتقال با اسپکتروسکوپی مرئی / فروسرخ نزدیک (Vis / Nir). رساله دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۲ ص.

فرزاد، م. (۱۳۸۹). پرورش و باغداری مرکبات (کاشت، داشت و برداشت)، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ اول.

Cen. H and He. Y (2007). Theory And Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Determination of Food Quality. Trends in Food Science & Technology, 18: 72-83.

Clément, A., Dorais, M., & Vernon, M. (2008). Nondestructive measurement of fresh tomato lycopene content and other physicochemical characteristics using visible–NIR spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56: 9813–9818

Fu. X., Ying. Y., Xu. H and Yu. H (2008). Support Vector Machines and Near Infrared Spectroscopy for Quantification of Vitamin C Content in Kiwifruit. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 52: 97-103.

Hu.Y., Liu. C., Hao. Q., Zhang.Q and He. Y (2013). Building Kinetic Models for Determining Vitamin C Content in Fresh Jujube and Predicting Its Shelf Life Based on Near-Infrared Spectroscopy. Sensors, 13(11): 15673-15681.

Jin. T and Cui. H (1994). Determination of Vitamin C Content of Intact Strawberries Using Near Infrared Spectroscopy. Food Science, 2: 60-3.

Liu. Y.D., Chen. X. M., Sun. X.D (2008). Nondestructive Measurement of Vitamin C in Nanfeng Tangerine by Visible/Near-infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy. *europubmed central*, 28(10): 2318-2320.

Merzlyak, M., Solovchenko, A and Gitelson, A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 27: 197 - 211

Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I. and Olarewajua, O., Bertlinga, I., Magwazab, L. (2016). Non-Destructive Evaluation of Avocado Fruit Maturity Using Nearinfrared Spectroscopy and PLS Regression Models. *Scientia Horticulturae*. 199: 229–236.

S. Nielsen, S. (2010). *Compositional Analysis of Foods*. Food Analysis. Purdue University West Lafayette IN USA. 4:130.

Stroshine, R. 1994. Unpublished notes. *Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products*. West Lafayette, Indiana. pp. 11.

Sun.X.,Xiaoling. D., Lijun. C., Yong. H., Aiguo.O and Yande. L (2012). Visible-NIR Spectroscopy and Least Square Support Vector Machines Regression for Determination of Vitamin C of Mandarin Fruit. *Sensor Letters*, 10(1-2): 506-510.

Wang. X., Xue. L., He. X and Liu. M (2011). Vitamin C Content Estimation of Chilies Using Vis/NIR Spectroscopy. *Electric Information and Control Engineering*, 1894-1897.