

به کارگیری روشهای پیش‌پردازش داده‌های حاصل از طیف سنجی مرئی / مادون قرمز نزدیک در تبیین مدلی برای پیشگویی ماده جامد محلول و اسیدیته لیموترش

امیر جاجرمی^۱، مسعود تقی زاده^{۲*}، آمنه سازگارنیا^۳، خلیل بهزاد^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۶)

چکیده

ارزیابی خصوصیات کیفی از دوره نگهداری تا مصرف از مهمترین فاکتورهای کاهش ضایعات محصولات غذایی می‌باشد. بدین منظور در سالیان اخیر تحقیقات بسیاری برای توسعه روش‌هایی سریع و در عین حال غیر مخرب، توسعه یافته است. در این پژوهش توانمندی روش طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک به عنوان روشی غیر مخرب و در عین حال سریع به منظور تعیین خصوصیات کیفی لیموترش شامل میزان ماده جامد خشک محلول و اسیدیته در حالت انعکاسی و در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفت و کاربرد روش‌های پیش‌پردازش و اصلاح طیف از جمله تبدیل متغیر نرمال استاندارد، تصحیح پخش افزاینده، فیلتر میانه و ساویتزکی گولی، مشتق‌گیری بر روی داده‌های طیفی به منظور تبیین مدلی با صحت و دقت بالا برای پیشگویی خصوصیات کیفی بدون آسیب به ساختار لیموترش مورد بررسی قرار گرفت. مدل پیشگویی با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی تبیین گردید. ضریب تعیین و ریشه مربعات خطای پیشگویی برای ماده خشک محلول و اسیدیته به ترتیب ۰/۹۹۴، ۰/۱۰۵ و ۰/۹۰۹، ۰/۱۱۸ حاصل گردید. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر اهمیت روش‌های پیش‌پردازش داده‌های حاصل از طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک در تبیین مدلی با صحت بالا برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی درونی لیموترش می‌باشد.

کلید واژه‌گان: خصوصیات کیفی، طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک، لیموترش، روشهای پیش‌پردازش، مدل‌های پیشگویی.

* مسئول مکاتبات: mtaghizadeh@um.ac.ir

۱- مقدمه

مرکبات یکی از با صرفه ترین میوه ها برای تولیدکنندگان آن می باشد. مرکبات امروزه در جهان جنبه صنعتی بسیار مهمی را دارا بوده، منبع پر درآمدی برای کشورهای تولیدکننده آن می باشند. کشت اقتصادی مرکبات در ایران از ۳۰۰ سال پیش در شمال کشور آغاز شده و به جنوب کشور رفته است. در میان مرکبات لیموترش یکی از مهم ترین و اقتصادی ترین محصولات باغی در جنوب ایران است. لیموترش در ایران در سطح وسیعی معادل ۴۱۸۰۰ هکتار، کشت می شود و استان هرمزگان با ۷۰ درصد کل تولید، قطب لیموترش در ایران می باشد. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۱، ایران با تولید ۶۱۵۰۰۰ تن در میان ۱۰ کشور برتر تولید لیموترش در جهان قرار دارد. از بین رفتن بخش زیادی از محصولات کشاورزی و اتلاف آن از چرخه تولید تا مصرف امری رایج می باشد، به طوری که به طور متوسط ۳۵ درصد از محصولات کشاورزی در ایران و در مراحل گوناگون چرخه تولید تا مصرف ضایع می شوند و این مقدار غذای ۱۵ تا ۲۰ میلیون نفر از جمعیت کشور است. ضایعات کشاورزی در سه مرحله پیش از برداشت، برداشت و پس از آن روی می دهد اما قسمت عمده ضایعات مربوط به مراحل برداشت و توزیع محصولات می باشد. از این رو ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به منظور کنترل شرایط برداشت و نگهداری به منظور کاهش ضایعات امری ضروری می باشد. روش های متعددی تاکنون برای کیفیت سنجی غیر مخرب محصولات کشاورزی ابداع شده اند، که تنها برخی از آن ها توانسته از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند. روش طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک از جمله روش هایی می باشد که با توجه به سرعت و دقت بالا به منظور ارزیابی خصوصیات کیفی محصولات کشاورزی در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است که می توان به ارزیابی خصوصیات کیفی در مرکبات [۳، ۴، ۶، ۷، ۸]، کیوی [۹]، سیب [۱۰]، گلابی [۱۱]، گوجه فرنگی [۱۲] و اشاره نمود. بر اساس قانون بیر، بین میزان جذب و غلظت رابطه ای خطی برقرار است بسیاری از پدیده های فیزیکی و شیمیایی منجر به انحراف از رابطه خطی بین میزان غلظت و جذب می گردد. به عنوان مثال میزان

پراکنش در طیف های حاصل از میوه ها و سبزیجات دست نخورده^۲ تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی محصول از جمله اندازه، شکل، ضخامت پوسته، جنس پوسته، میزان رطوبت و غیره می باشد [۱۳] که منجر به ایجاد نویز و پهن شدگی نواحی طول موج^۳ و همچنین تغییرات از خط مبنا^۴ می گردد که در هنگام ایجاد مدل کالیبراسیون موجب ضعف در پیش بینی خصوصیات کیفی محصول می گردد [۱۴]. بنابراین پیش پردازش طیف ها به منظور کاهش این تاثیرات مهمترین قدم در تبیین مدل کالیبراسیون با قدرت و دقت بالا در پیشگویی خصوصیات کیفی محصولات مورد آزمون می باشد [۱۵]. گومزو همکاران (۲۰۰۶)، در مطالعه ای به بررسی تاثیر پیش پردازش داده های حاصل از طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک و به کاربردن^۵ مدل رگرسیون مولفه اصلی و حداقل مربعات جزئی در تبیین مدلی به منظور پیشگویی اسیدیته و ماده خشک نارنگی گونه ساتسوما پرداختند نتایج حاصل از مدل سازی نشان دهنده برتری روش حداقل مربعات جزئی^۶ به روش رگرسیون مولفه اصلی^۶ می باشد [۱۶]. مقیمی و همکاران ۲۰۱۰ در پژوهشی به ارزیابی روش های پیش پردازش داده های طیفی در تبیین مدلی کالیبراسیون برای پیشگویی خصوصیات کیفی کیوی رقم هایوارد پرداختند. نتایج نشان دهنده تاثیر بالای انتخاب ترکیب مناسب روش های پیش پردازش داده های طیفی در تبیین مدلی با دقت و صحت بالا بود [۹].

مطالعات گذشته بیانگر تاثیر بالای روش های پیش پردازش بر تبیین مدلی مناسب برای پیشگویی خصوصیات کیفی محصول مورد آزمون دارد. در این پژوهش با توجه به ویژگی های به خصوص لیموترش از جمله اندازه کوچک و تراکم بالای دانه در گوشت میوه که باعث افزایش سطح پراکندگی نور و ایجاد نویز به علاوه منابع دیگر معمول نویز در داده های طیفی ثبت شده می شود، از این رو انتخاب و به کاربردن روش های مختلف پیش پردازش مناسب داده های طیفی به منظور کاهش خطا در مدل پیشگویی اهمیت بیشتری پیدا می کند. هدف از این پژوهش ارزیابی تاثیر به کاربردن روش های پیش پردازش داده های

2. Intact fruit and vegetable

3. Pick Broadening

4. Baseline shifts

5. Partial last square regression

6. Principle component regression

1. FAO 2007

۲-۱- پیش پردازش و خارج کردن نویز از طیف لیموترش

اولین مرحله پس از طیف‌گیری از لیموترش‌ها تبدیل داده‌های انعکاسی به جذبی به منظور ایجاد رابطه خطی بین جذب و غلظت ماده مورد نظر بر اساس قانون بیر^۷ می‌باشد. به این منظور از رابطه ذیل استفاده شد.

$$Abc = \log \left[\frac{1}{R} \right]$$

در این رابطه Abc طیف جذبی و R طیف انعکاسی می‌باشد. داده‌های حاصل از آشکار ساز طیف سنخ دارای نویزها و داده‌های غیر مرتبط می‌باشند که برای بدست آوردن مدل کالبراسیون دقیق و قابل اعتماد، انجام پیش پردازش و خارج نمودن نویزها ضروری است. به علت عمق نفوذ پایین در ناحیه مادون قرمز نزدیک طیف‌های حاصله از وضوح پایینی برخوردار بودند به این منظور داده‌های طیفی قبل از اعمال پیش‌پردازش با استفاده از روش میانگین مرکزی مورد اصلاح قرار گرفتند. میانگین مرکزی روشی نیرومند در بهبود وضوح و تفکیک پذیری طیف‌ها می‌باشد [۱۷]. به منظور پیش‌پردازش داده‌های طیفی از سه روش متفاوت استفاده گردید که شامل روش‌های اصلاح نقاط شروع و پراکندگی نور، هموارسازی و مشتق‌گیری بود. روش‌های فوق‌الذکر هر کدام شامل الگوریتم‌های متفاوتی می‌باشند که بهترین نتیجه با استفاده از ترکیب هر یک از این الگوریتم‌ها با یکدیگر حاصل گردید.

۲-۲- تبیین مدل کالبراسیون

در آنالیز کمی و کیفی محصولات غذایی ساخت و تدوین مدل کالبراسیون قابل اعتماد بسیار ضروری است. به کمک مدل می‌توان مشخصات نامعلوم نمونه‌ها را تعیین و پیش‌بینی نمود. در واقع هدف از تدوین مدل در این پژوهش یافتن رابطه‌ای میان خصوصیات نور بازتابشی و خصوصیات کیفی نمونه می‌باشد. در این پژوهش از روش حداقل مربعات جزئی به منظور تبیین مدل کالبراسیون استفاده گردید. در روش حداقل مربعات جزئی با استفاده از داده‌های پیش‌بینی کننده که واریانس را در هر دو متغیر پیش‌بینی کننده و متغیر پاسخ توجیه می‌کنند، یکسری

حاصل از طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک در تبیین مدلی با قدرت و دقت بالا در پیشگویی خصوصیات کیفی لیموترش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۰ نمونه لیموترش مورد استفاده در این پژوهش از واریته کی لایم، و به صورت تصادفی از بازار میوه مشهد تهیه گردید. نمونه‌ها پس از شستشو شماره گذاری گردیدند. به منظور طیف‌گیری از نمونه‌ها نیازی به هیچ گونه آماده سازی بر روی نمونه نمی‌باشد که این از مزایای طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک است. طیف مرئی/مادون قرمز نزدیک با استفاده از فیبر دومی‌سیره که قسمت مرکزی برای انتقال نور از نمونه به آشکار ساز و فیبر بیرونی برای انتقال نور از منبع تابش (لامپ هالوژن با توان ۵۰ وات) به نمونه می‌باشد استفاده گردید در وضعیت انعکاسی و در ناحیه ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکترومتر مدل AvaSpec-2048TEC ساخت شرکت Avante هلند و با تفکیک پذیری ۱ نانومتر توسط نرم افزار آوا سافت نسخه ۷/۵ ثبت گردید. از هر نمونه در سه جهت با هدف کاهش نویز حرارتی بر روی آشکار ساز و افزایش دقت، تعداد ۱۰ اسکن متوالی در محور ساقه-غلاف گل به منظور پوشش تمامی نواحی میوه و همچنین به دلیل ضخامت کم پوست میوه در این نواحی و افزایش عمق نفوذ گرفته شد و میانگین ۳۰ طیف حاصله، برای هر نمونه گزارش گردید. زمان جمع آوری هر اسکن ۶۵۰ میلی ثانیه تنظیم و فاصله میان فیبر نوری و نمونه ۵ سانتی‌متر تنظیم گردید. بعد از هر طیف‌گیری و در همان روز آزمون‌های مخرب شامل اندازه‌گیری میزان مواد جامد خشک و اسیدیته بر روی هر نمونه صورت پذیرفت. هر نمونه لیموترش به صورت دستی آبیگری و سپس مواد جامد خشک محلول با استفاده از رفراکتومتر دیجیتال مجهز به کنترل دما مدل Abbe و اسیدیته لیموترش‌ها با استفاده از استاندارد AOAC و تیتراسیون با سود ۱/۱ نرمال اندازه‌گیری شد [۱۶].

۲- ریشه میانگین مربعات خطا^{۱۳} که به عنوان تقریبی از میزان خطای مدل در پیش بینی مقادیر نسبت به مقادیر واقعی اندازه گیری شده مطرح می‌شود، از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

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

در این رابطه N تعداد نمونه، $\hat{y}_i$ مقدار پیش بینی شده هر پارامتر برای نمونه i ام و y_i مقدار اندازه گیری شده برای نمونه i ام.

۳- انحراف استاندارد توزیع خطا^{۱۴} که به منظور ارزیابی کارایی مدل و از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد.

$$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i - ME)^2}{N - 1}}$$

در این رابطه میانگین خطا^{۱۵} می‌باشد و از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)$$

۴- باقیمانده انحراف پیش بینی^{۱۶} که از جمله شاخصه‌های مهم در ارزیابی قدرت و انعطاف پذیری مدل به حساب می‌آید و از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد.

$$RPD = \frac{SD}{RMSE}$$

تمامی پیش پردازش‌ها و مدل سازی مرتبط با ارزیابی خصوصیات کیفی لیموترش به صورت غیر مخرب با استفاده از نرم افزار پارلس^{۱۷} نسخه ۳/۱ صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

همان‌گونه که در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است میزان ماده خشک محلول لیموترش‌ها از ۸/۱ تا ۱۱/۲ بر مبنای درجه بریکس متغیر است همچنین میانگین اسیدیته لیموترش‌ها ۸/۳۱ بر مبنای اسید سیتریک حاصل گردید.

ترکیبات خطی متعامد از متغیرهای مستقل و وابسته استخراج می‌شود که به آن مولفه^۸ یا متغیر پنهان^۹ می‌گویند و در واقع مدل نهایی بر مبنای این مولفه‌ها تبیین می‌گردد [۱۸]. به طور کلی می‌توان بیان کرد که تکنیک پیاده سازی شده به وسیله روش حداقل مربعات جزئی شامل ایجاد ترکیبی بهینه سازی شده میان میزان واریانس‌های متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده است. در این پژوهش متغیر مستقل طول موج و متغیر وابسته میزان ماده خشک محلول و اسیدیته می‌باشد.

۲-۳- اعتبار سنجی مدل

پس از تبیین مدل تعیین توانایی آن در پیش بینی و ارزیابی دقت آن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش از روش اعتبار سنجی آزمونی^{۱۱} که اعتبار سنجی مدل با استفاده از نمونه‌های مستقل از نمونه‌های به کار برده شده در تبیین مدل، به منظور ارزیابی مدل استفاده گردید.

به منظور مدل‌سازی، نمونه‌ها به صورت تصادفی به دو دسته تقسیم گردیدند، دسته اول که ۷۵ درصد کل نمونه‌ها را شامل می‌گردید برای تبیین مدل پیش بینی و دسته دوم برای ارزیابی مدل ساخته شده به کار گرفته شدند.

۲-۴- آماره‌های مورد استفاده به منظور ارزیابی

مدل

۱- ضریب تبیین^{۱۱} که به منظور ارزیابی میزان همبستگی میان مقادیر پیش بینی و مقادیر واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{RMSE}{SD} \right)^2$$

در این رابطه SD انحراف معیار^{۱۲} می‌باشد که از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

در رابطه اخیر N تعداد نمونه، x_i مقدار پارامتر اندازه گیری شده و $\bar{x}$ مقدار میانگین پارامتر اندازه گیری شده می‌باشد

13. Root Mean Square Error

14. Standard deviation of the error distribution

15. Mean Error

16. Residual prediction deviation

17. Parles

8. Component

9. Latent variable

10. Test Validation

11. Coefficient of determination

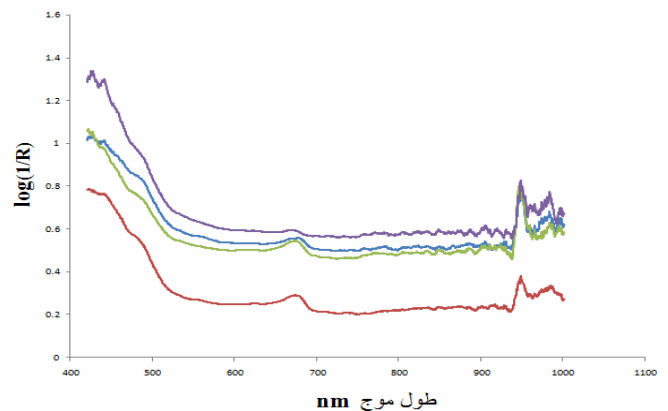
12. Standard deviation

جدول ۱ خصوصیات کیفی اندازه گیری شده با استفاده از روش های مخرب

خصوصیات اندازه گیری شده	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداکثر مقدار	حداقل مقدار
ماده خشک محلول	۹/۳۷	۰/۶۲	۹/۸۰	۱۱/۲۰	۸/۱
اسیدیته	۸/۳۱	۰/۴۴	۸/۲۷	۹/۵۷	۷/۲۴

۳-۱- تاثیر پیش پردازش بر روی داده های طیفی

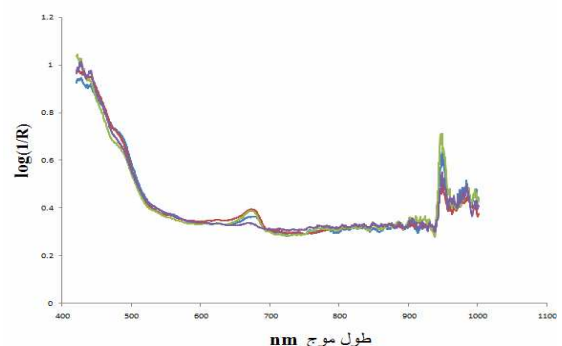
همان گونه که در طیف حاصل از ۴ نمونه لیموترش (شکل ۱) مشاهده می گردد طیف ها دارای نقاط شروع متفاوت به دلیل تفاوت در اندازه و شکل لیموترش ها و پراکنش نور حاصل از انعکاس از سطح بیرونی و داخلی به دلیل ناهمواری های موجود بر روی سطح و وجود دانه و سایر عوامل درونی می باشد. اولین پیش پردازش صورت گرفته بر روی طیف ها یکسان سازی نقاط شروع می باشد.



شکل ۱ طیف حاصل از ۴ نمونه لیموترش.

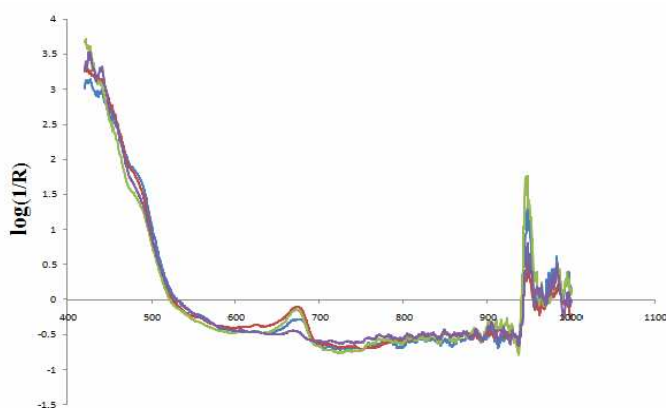
۳-۱-۱- تصحیح نقاط شروع و پراکنش نور

برای کاهش پراکنش نور و یکسان سازی نقاط شروع به دلیل عدم یکنواختی اندازه نمونه ها روش های تصحیح پخش افزایشده و تبدیل متغیر نرمال به کار برده شد.



شکل ۲ تاثیر پیش پردازش تصحیح پخش افزایشده بر روی طیف های لیموترش.

هدف از اعمال اولین پیش پردازش تصحیح و یکسان کردن نقاط شروع طیف ها می باشد. روش تصحیح پخش افزایشده (شکل ۲) بر اساس تصحیح تمامی طیف ها بر مبنای طیف ایده آل می باشد که طیف ایده آل در واقع میانگینی از تمامی طیف ها می باشد و هر طیف به صورت جداگانه بر روی طیف میانگین تطبیق^{۱۸} می گردد. روش تبدیل متغیر نرمال استاندارد (شکل ۳) بر مبنای تفریق هر طیف از طیف میانگین و کالیبره کردن هر طیف با استفاده از انحراف معیار طیف میانگین باعث یکنواختی نقاط شروع طیف ها می گردد.

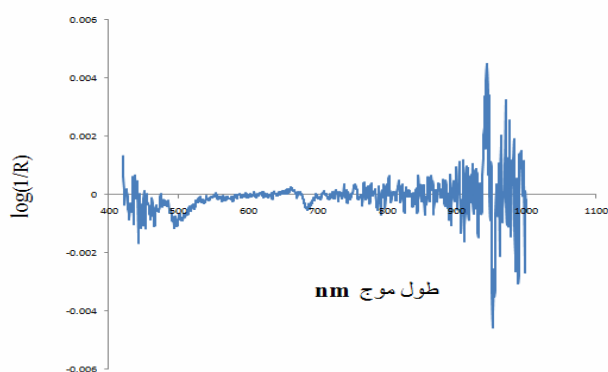


طول موج nm

شکل ۳ تاثیر پیش پردازش تبدیل متغیر نرمال استاندارد بر روی طیف های حاصل از ۴ نمونه لیموترش.

۳-۱-۲- هموار سازی و کاهش نویز

هدف از اعمال هموار سازی بهبود نسبت سیگنال به نویز می باشد. منبع ایجاد نویز در طیف ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که می توان به عدم یکنواختی در بافت، وجود دانه در میوه و همچنین وجود نویز حرارتی ایجاد شده به وسیله منبع حرارتی و آشکارساز دستگاه اشاره نمود. به این منظور روش فیلتر میانه ساویتزکی-گولی مورد استفاده قرار گرفت. روش فیلتر میانه (شکل ۴) برای کاهش نویزهای تناوبی در طیف بر اساس درجه

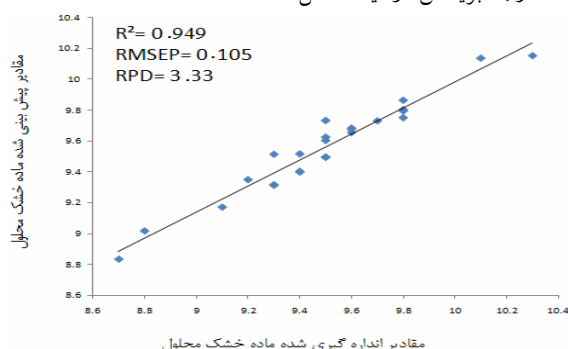


شکل ۶ تاثیر مشتق اول بر روی طیف های حاصل از ۴ لیموترش.

بهترین نتیجه در به کار گیری پیش پردازش ها هنگامی حاصل شد که ترکیبی از روش های مذکور به صورت مناسبی با یکدیگر اعمال گردید.

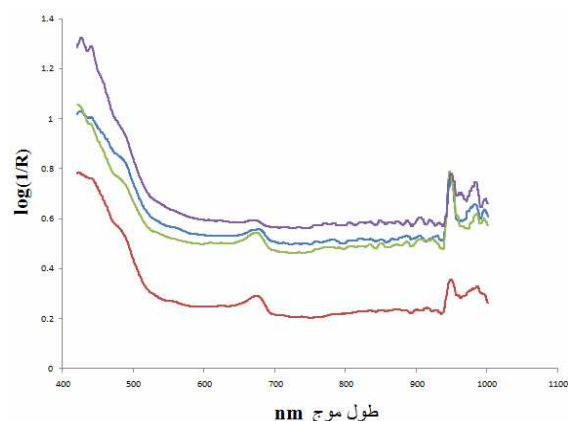
۳-۲- مدل سازی پیش بینی ماده خشک محلول لیموترش

در میان مدل های تبیین شده به صورت ترکیب با پیش پردازش های متفاوت بر روی داده های طیفی برای پیش بینی ماده خشک محلول در لیموترش، مدلی با استفاده از ترکیب روش های تصحیح پخش افزاینده، فیلتر میانه با درجه چهارم، مشتق اول و میانگین مرکزی^{۱۹} با ده فاکتور، ضریب تبیین به بالاترین مقدار (۰/۹۴۹۲) و به کمترین مقدار ریشه مربعات خطای پیش بینی (۰/۱۰۵ درجه بریکس) رسید (شکل ۷).



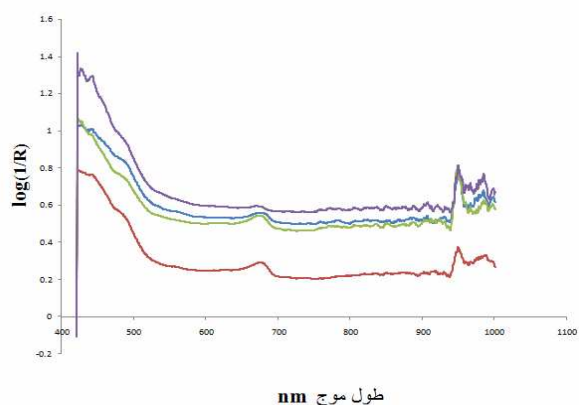
شکل ۷ نتایج حاصل از مدل پیش بینی ماده خشک محلول در لیموترش. در جدول ۲ تاثیر پیش پردازش داده های طیفی بر روی کارایی مدل های پیش بینی کننده ماده خشک محلول آورده شده است. مقایسه این مدل ها نشان می دهد که پیش پردازش تا چه میزان بر روی دقت و کارایی مدل پیش بینی کننده تاثیر گذار می باشد.

انتخابی، یک پنجره بر روی طیف تعبیه، و بر روی تمامی طیف پیمایش می شود (هر نقطه از طیف یکبار در مرکز پنجره قرار می گیرد) و بر اساس مقادیر همسایه ها، آن نقطه از طیف را اصلاح می گرداند.



شکل ۸ تاثیر فیلتر میانه بر کاهش نویز طیف های حاصل از ۴ نمونه لیمو ترش.

روش فیلتر ساویتزکی_گولی (شکل ۵) بسطی از روش جابه جایی میانگین و مشابه روش فیلتر میانه است و تفاوت آن با روش مذکور بر اساس میانگین گیری از نقاط همسایگی و سپس تطبیق بر روی منحنی چند جمله ای و هموارسازی پیک ها بر روی طیف می باشد.



شکل ۹ تاثیر فیلتر ساویتزکی_گولی بر کاهش نویز و هموارسازی پیک در طیف های حاصل از ۴ نمونه لیمو ترش.

۳-۱-۳- مشتق گیری

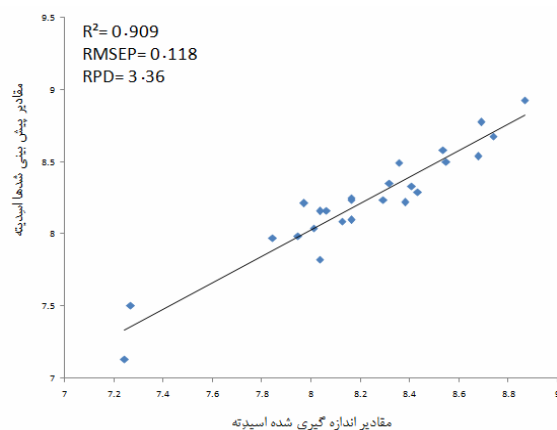
هدف از اعمال مشتق گیری بر روی طیف ها، افزایش تفکیک پذیری پیک ها، کاهش تداخلات طیفی و مشخص شدن پیک های ضعیف می باشد. (شکل ۶).

جدول ۲ تاثیر پیش پردازش داده‌های طیفی بر روی دقت و کارایی مدل پیش بینی کننده ماده خشک محلول لیموترش

پیش پردازش	مؤلفه مدل	R ²	RMSEP	SDE	RPD
تصحیح پخش افزاینده	۱۰	۰/۷۱	۰/۱۹۱	۰/۱۹۰	۱/۸۳
تصحیح پخش افزاینده، مشتق دوم و فیلتر ساویتزکی-گولی	۷	۰/۸۰۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۴	۲/۳۱
تبدیل متغیر نرمال، مشتق اول، فیلتر میانه	۸	۰/۸۶۲	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵	۲/۶۴
تصحیح پخش افزاینده، مشتق اول، فیلتر میانه	۱۰	۰/۹۴۹	۰/۱۰۵	۰/۰۸۸	۳/۳۳

۳-۳- مدل سازی پیش بینی اسیدیته لیموترش

در بین مدل‌های تبیین شده (جدول ۳)، مدلی از ترکیب پیش پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، فیلتر ساویتزکی-گولی با دو نقطه هموارسازی و منحنی دو جمله‌ای، مشتق اول و میانگین مرکزی با ۹ فاکتور بدست آمد که در آن ضریب همبستگی به بالاترین میزان (۰/۹۰۹) و ریشه مربعات خطای پیش بینی (۰/۱۱۸) به کمترین مقدار رسید (شکل ۸).



شکل ۸ نتایج حاصل از مدل پیش بینی اسیدیته لیموترش.

نتایج بدست آمده در خصوص مدل پیش بینی کننده ماده خشک محلول در لیموترش در مقایسه با نتایج گزارش شده توسط گومز و همکاران (۲۰۰۶) برای نارنگی گونه سوتساما با به کار بردن پیش پردازش تصحیح پخش افزاینده و فیلتر جابه جایی میانگین [۵]، لیو و همکاران (۲۰۱۰) برای پرتقال گونه ناول با استفاده از پیش پردازش تصحیح پخش افزاینده [۷] و کایولا (۲۰۰۸) برای پرتقال گونه والنسیا با استفاده از پیش پردازش مشتق اول، متغیر نرمال استاندارد و متعامد سازی [۶] دارای ضریب تبیین بالاتر و ریشه مربعات خطای پایین تری بدست آمد. پیش پردازش‌های به کار برده شده در تبیین مدل پیشگویی ماده خشک محلول لیموترش در مقایسه با نارنگی گونه ساتسوما و پرتقال گونه ناول دارای نیاز به پیش‌پردازش بیشتری به دلیل وجود تراکم دانه بیشتر در گوشت میوه و ایجاد نویز در داده‌های طیفی بود و میزان پیش پردازش صورت گرفته بر روی طیف‌های لیموترش مشابه با پرتقال گونه والنسیا، به دلیل مشابهت در خصوصیات ساختاری به دلیل وجود تراکم دانه در گوشت هر دو میوه می‌باشد.

جدول ۳ تاثیر پیش پردازش داده های طیفی بر روی دقت و کارایی مدل پیش بینی کننده اسیدیته لیموترش

RPD	SDE	RMSEP	R ²	مؤلفه مدل	پیش پردازش
۱/۷۲	۰/۲۳۳	۰/۲۳	۰/۶۵۷	۱۰	تبدیل متغیر نرمال
۲/۱۹	۰/۱۶۴	۰/۱۸۱	۰/۸۴	۶	تصحیح پخش افزایشنده، مشتق دوم، فیلتر میانه
۲/۸۶	۰/۱۴۱	۰/۱۳۸	۰/۸۷۴	۷	تبدیل متغیر نرمال، مشتق اول، فیلتر میانه
۳/۳۶	۰/۱۲	۰/۱۱۸	۰/۹۰۹	۹	تبدیل متغیر نرمال، فیلتر ساویتزکی-گولی، مشتق اول

Raman analysis of plants. Journal of Molecular Structure, 509: 201-212.

- [3] Kawano, S., Watanabe, H., and Iwamoto, M., 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 61: 445-451.
- [4] Greensill, C.V., and Walsh, K.B., 2002. Calibration transfer between miniature photodiode array-based spectrometers in the near infrared assessment of mandarin soluble solids content. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 10; 27-35.
- [5] Gómez, A. H., He, Y., and 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: 313-319.
- [6] 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: 75-80.
- [7] Liu, Y., Sun, X., and Ouyang, A. 2010. Non-destructive measurements of soluble solid content of navel orange fruit by visible-NIR spectrometric technique with PLS and PCA-BPNN. LWT-Food Science and Technology, 43: 602-607.
- [8] Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., and Ghassemian, H. 2012. Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. Computers and Electronics in Agriculture, 85: 64-69.
- [9] Moghimi, A., Aghkhani, M. H., Sazgarnia, A., & Sarmad, M. 2010. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble

نتایج بدست آمده در خصوص مدل پیش بینی کننده اسیدیته در لیموترش در مقایسه با نتایج بدست آمده توسط کایولا (۲۰۰۸) برای پرتقال گونه والنسیا [۶]، مک گلون و همکاران (۲۰۰۳) برای نارنگی گونه سانتسوما [۱۹] و گوسری و همکاران (۲۰۰۵) برای نارنگی گونه امپریال [۲۰] دارای ضریب تبیین بالاتر و ریشه خطای پیش بینی پایین تری بود. ضریب بالاتر مدل پیشگویی حاصل از این پژوهش در مقایسه با نتایج حاصل از سایر پژوهش های ذکر شده را می توان به علت سطح بالای اسید سیتریک موجود در لیموترش نسبت به سایر مرکبات ذکر نمود.

۴- نتیجه گیری

با توجه به لزوم طراحی و استفاده از دستگاه های خودکار و بهره گیری از روش های سریع و مطمئن در بررسی کیفیت محصول (لیموترش) طی برداشت، فرآوری و نگهداری، ارزیابی خصوصیات کیفی درونی لیموترش با استفاده از روشی غیر مخرب و با سهولت و دقت بالا امری ضروری به نظر می آید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده قابلیت بالای روش طیف سنجی مرئی/مادون قرمز نزدیک در اندازه گیری هم زمان پارامترهای کیفی لیموترش می باشد. همچنین نتایج نشان دهنده تاثیر بالای پیش پردازش داده های طیفی در تبیین مدلی با صحت و دقت بالا به منظور پیش بینی خصوصیات کیفی محصول است.

۵- منابع

- [1] Food and Agriculture Organization (FAO), 2010., Available at: www.fao.org/statistics.htm
- [2] Schrader, B., Klumpb, H.H., Schenzelc, K. and Schulz, H. 1999. Non-destructive NIR FT

- [15] Cen, H., He, Y., and Huang, M. 2006. Measurements of soluble solids contents and pH in orange juice using chemometrics and Vis-NIRS. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54:7437-7443.
- [16] Official Methods of Analysis. 1999. 16th Edition, 5th Reversion, AOAC International, Gaithersburg, MD, method 936.16.
- [17] Ozaki, Y., McClure, W. F., & Christy, A. A. 2006. Near-infrared spectroscopy in food science and technology: John Wiley & Sons. 58-60
- [18] Wold, S., Sjöström, M., and Eriksson, L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58: 109-130.
- [19] McGlone, V.A., Jordan, R.B., and 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.
- [20] Guthrie, J. A., Walsh, K. B., Reid, D. J., and Liebenberg, C. J. 2005. Assessment of internal quality attributes of mandarin fruit. 1. NIR calibration model development. *Crop and Pasture Science*, 56: 405-416.
- solids content and acidity (pH) of kiwifruit. *biosystems engineering*, 106, 295-302.
- [10] Liu, Y. d., Ying, Y.-b., Fu, X., & Lu, H. 2007. Experiments on predicting sugar content in apples by FT-NIR technique. *Journal of Food Engineering*, 80: 986-989.
- [11] Paz, P., Sánchez, M.-T., Pérez-Marín, D., Guerrero, J. E., and Garrido-Varo, A. 2009. Instantaneous quantitative and qualitative assessment of pear quality using near infrared spectroscopy. *Computers and electronics in agriculture*, 69: 24-32.
- [12] Flores, K., Sánchez, M.-T., Pérez-Marín, D., Guerrero, J.-E., and Garrido-Varo, A. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. *Journal of Food Engineering*, 91: 311-318.
- [13] Leonardi, L., & Burns, D. H. 1999. Quantitative multi wavelength consistent measurements using single-wavelength photo time of flight correction. *Applied Spectroscopy*, 53: 637-646.
- [14] Blanco, M., & Villarroya, I. 2002. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *Trends in Analytical Chemistry*, 21: 240-250.

Application of preprocessing techniques for visible/near infrared spectroscopy data in developing a model for the prediction of soluble solid and acidity of lime

Jajarmi, A. ¹, Taghizadeh, M. ^{2*}, Sazgarnia, A. ³, Behzad, Kh. ²

1. MSc., Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad.

2. Assistant Professor, Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad.

3. Associate Professor, Dept. of Medical Physics, Mashhad University of Medical Sciences, Iran.

(Received: 93/4/30 Accepted: 93/6/26)

Investigation of quality characteristics of food products during different manufacturing stages such as storage, processing and consumption is important to reduce food loss. In recent years many researches have established for developing rapid and non-destructive techniques for quality control. In this study the potential of visible and near infrared spectroscopy (Vis/NIRS) in determining the quality parameters of lime including total soluble solid and acidity in reflection mode was investigated in the wavelength range of 400 to 1000 nm. The effects of different pre-processing techniques and spectral treatments, such as standard normal variable transformation (SNV), multiplicative scatter correction (MSC), median filter, Savitzky & Golay and the derivatives were evaluated. The model was developed based on partial least squares (PLS) regression. The correlation coefficient (R^2) and root mean square error of prediction (RMSEP) for predictive model of soluble solids content was 0.949, 0.105 °Brix respectively. These parameters of the model predicting acidity was found to be 0.909 and 0.118 respectively. These results showed the high potential of Vis/NIRS and the important role of preprocessing techniques in developing precise models for the prediction of lime internal quality characteristics.

Key words: Quality characteristics, Visible and near infrared spectroscopy, Preprocessing techniques, Predictive models.

* Corresponding Author E-Mail Address: mtaghizadeh@um.ac.ir