لیزر در پزشکی؛ ۱۴۰۳، دورهٔ ۲۱، شماره ۳، صفحات: ۱۶-۱۰

مقاله پژوهشی

ارزیابی غیرمخرب سیب براساس طیف‌سنجی بازتابی پخشی در ناحیه نور مرئی

فاطمه ذاکر [۱]
الهه نحوی فرد [۲]
افشان شیرکوند [۳]
عزالدین مهاجرانی [۴]

۱. *کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران*
۲. *استادیار فیزیک گروه فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران*
۳. *استادیار بیوفوتونیک/فیزیک پزشکی گروه پژوهشی فتودینامیک، پژوهشکده یارا، سازمان جهاد دانشگاهی علوم پزشکی تهران، تهران، ایران*
۴. *استاد فوتونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*

نویسنده مسئول: افشان شیرکوند تلفن: ۰۹۱۲۲۹۱۱۱۰۴
پست الکترونیکی: shirkavand@acecr.ac.ir

نویسنده مسئول: الهه نحوی فرد تلفن: ۰۹۱۲۶۸۲۳۳۲۵
پست الکترونیکی: nahvifard@sci.ikiu.ac.ir

خلاصه

هدف: این پژوهش با هدف ارائه یک تکنیک اپتیکی برپایه طیف‌سنجی جهت بررسی غیرمخرب کیفیت میوه سیب و تشخیص سالم و ناسالم بودن آن انجام می‌شود.

روش پژوهش: در این پژوهش از روش طیف‌سنجی بازتابی پخشی برپایه آنالیز طیف و به‌دست‌اوردن برخی اطلاعات کمی از طیف در پیک طول‌موجی‌های مختلف استفاده شده است.

یافته‌ها ونتایج پژوهش: خواص نوری میوه‌ها مانند ویژگی‌های جذب نور و پراکندگی، با فعالیت‌های بیوشیمیایی درطول ذخیره‌سازی تغییر می‌کند. نتایج نشان داد که تغییرات در کلروفیل، آب و بافت گوشت سیب را می‌توان به‌صورت غیرتهاجمی و غیرمخرب تحت بررسی و نظارت قرار داد. ما همچنین تفاوت‌های قابل‌توجهی را در جذب و کاهش ضرایب جذب بین دونوع سیب ایرانی مشاهده کردیم.

نتیجه‌گیری: روش طیف‌سنجی بازتابی پخشی و آنالیز کمی اطلاعات به‌دست‌آمده از طیف و روش ایمن و غیرمخرب برای ارزیابی میوه و محصولات غذایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: بازتابی پخشی، ارزیابی غیرمخرب، سیب

مقدمه

سـیب (نام علمی: Malus domestica) درختـی برگریز از خانواده گلسـرخیان اسـت که به خاطر میوه شـیرین و گوشـتی‌اش شناخته شده‌اسـت. در سرتاسـر دنیا، این درخت برای میوه‌اش کشت می‌شود و وسیع‌ترین گونه رشد کرده از سرده مالوس است. منشأ این درخت آسیای مرکزی اسـت؛ جایی که امروزه هنوز هم گونه وحشـی آن یعنی مالوس سیورسـی یافت می‌شود. سیب پس از هزاران سال کشت در آسیا و اروپا، توسـط مهاجران اروپایی به آمریکای شمالی برده شد. بیش از ۷۵۰۰ رقم سـیب شناخته‌شـده وجود دارد و در نتیجه طیف وسیعی از ویژگی‌های دلخواه به‌دسـت می‌آید. براساس گفته وزارت کشـاورزی ایالات متحده، یک سـیب معمولی ۲۴۲ گرم وزن و ۱۲۶ کالری انرژی دارد که شـامل مقدار قابل‌توجهی فیبر غذایی، مقدار متوسطی از ویتامین ث، ازطرف‌دیگر میزان کمی مواد غذایی ضروری است.

امـروزه اندازه‌گیـری پارامترهای کمی و کیفی محصولات کشـاورزی به‌گونه‌ای که محصول موردبررسـی بدون هیچ آسـیب به چرخه برگردد جایگاه ویژه‌ای در فناوری پس از برداشـت پیدا کرده اسـت. آزمون‌های غیرمخرب نباید اثرات مخرب حرارتی، شیمیایی و فیزیکی برروی محصول داشـته باشـند و باید مشتری‌پسـندی محصول را تضمین کنند. تعیین رسیدگی و بازسازی مهم‌ترین قسـمت در ارزیابی کیفیت درونی میوه‌ها است. بیشتر روش‌ها برای اندازه‌گیری این عوامل مخرب، وقت‌گیر و گران می‌باشـند. بنابراین توسـعه روش غیرمخرب برای تعیین کیفیت میوه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسـد. بافت میوه در مراحل مختلف رشـد و انبارداری تغییر کرده و می‌توان با بررسـی خصوصیات آن و عبور نور لیزر از داخل بافت میوه، بسـته به نوع بافت وتراکم آن، تضعیف گردیده و سـرعت آن نیز تغییر می‌یابد. لذا ممکن اسـت بتوان با طیف‌سـنجی بازتابی پخشی به‌صـورت غیرمخرب، خصوصیات میوه را تعیین نمود. سـیب یک کالای مهم کشاورزی در بازار جهانی محصولات تازه است. انتخاب سیب توسط مصرف‌کننده‌ها براسـاس مبادله بین قیمت و کیفیت انجام می‌شود زیرا مصرف‌کنندگان خواهان سیبی با کیفیت بهتر، ظاهر سالم‌تر، طعم و بافت مناسـب هسـتند. لذا هرچه کیفیت میوه افزایش یابـد منجر به افزایش تقاضا و تکرار خرید و افزایش سـود بـرای صنعت از طریق تفاوت قیمت برای درجه‌های کیفی مختلف می‌شـود. درحال‌حاضر، سیب‌ها با استفاده از سیستم‌های بینایی ماشـین، عمدتا براساس رنگ، شکل، اندازه یا وزن مرتب می‌شوند اما نه براساس کیفیت داخلی. تکنیک طیف‌سنجی بازتابی پخشی ابزاری علمی برای درجه‌بندی میوه‌ها و یا نظارت بر تغییرات میوه در طول نگهداری طولانی‌مدت می‌باشد.

طیف‌سنجی اندازه‌گیری تابش الکترومغناطیس به‌منظور به‌دست‌آوردن اطلاعات درمورد سیسـتم مورد مطالعه اسـت. در واقع روشی است برای به‌دسـت‌آوردن اطلاعات کمی از طیف الکترومغناطیسـی است. به بیان سـاده‌تر به مجموعه‌ای از روش‌هـا و فرآیندهایی گفته می‌شـود که در آن برهمکنش نور با ماده موردمطالعه قرار بگیرند. تکنیک طیف‌سـنجی براسـاس بازتابی پخشـی به‌عنوان روشی ساده، سـریع و غیرتهاجمی و غیرمخرب و دقیق در بررسی بافت‌های زیستی کاربرد فراوانی دارد.

طیف‌سـنجی بازتابی روشـی غیرمخرب اسـت که درآن نور به سطح موردنظر تابانده می‌شود و تغییرات نسبی نور بازتابی از سطح اندازه‌گیری می‌شـود. چنانچه از منبع نور مرئی برای این کار اسـتفاده شـود، به آن طیف‌سـنجی بازتابی مرئی گفته شـود. زمانی که یک پرتوی نور با سطح سیب برخورد می‌کند، درصد کمی از آن توسط لایه‌های خارجی منعکس شـده و بقیه پرتو در بافت سـیب نفوذ می‌کند. طیف بازتابی پخشی، از نوری که چندین مرتبه درون نمونه پراکنده شـده، ایجاد می‌شود. حدوداً ۹۴ درصد از نور تابیده به سـطح بافت بـه درون آن نفوذ و تحت جذب و پراکندگـی چندگانه قرار می‌گیرد و بخشـی از این نـور نفوذ یافته به سطح پوسـت باز می‌گردد که بازتاب پخشی نامیده می‌شود. این تکنیک غیرمخرب قادر به ارائه اطلاعاتی از ویژگی بیوشیمیایی بافت است.

خصوصیات طیفی نوری که از بافت سیب به‌صورت پخشی بازتاب شده اسـت، به ویژگی‌های پراکندگی و جذبی آن بسـتگی دارد. طیف اپتیکی بافت، اطلاعات تشـخیصی بر پایه‌ترکیبات بیوشـیمیایی و ساختار بافت سیب به‌دسـت می‌دهد. این روش، روشی غیرمخرب است که در آن نور توسط فیبر از منبع نور به سطح موردنظر تابانده شده و نوربازتابی از سطح اندازه‌گیری می‌شود.

کوبـدو و همکارانش از یک منبع لیزر پالس فمتوثانیه اسـتفاده کردند و انعکاس انتشاری را که نشـان‌دهنده پالس است اندازه‌گیری کردند. اثر انبساط ناشی از سیب، برای به‌دست‌آوردن خاصیت جذب و پراکندگی است.

سـایس ۱و همکاران خواص نوری پوست و گوشت سیب را در محدوده طول‌موج ۲۲۰۰-۳۵۰ نانومتر تخمین زد.

آندرسـون ۲ و همکاران اندازه‌گیری خواص جذب و پراکندگی سیب با اسـتفاده ازتصویربرداری فراطیفی برای تعیین تفاوت بین سـیب سالم و آسـیب‌دیده با لکه‌های قهوه‌ای انجام دادند . با این‌حال، تغییر در خواص نوری پوسـت و گوشـت سیب در هنگام رسـیدن و ذخیره‌سازی پس از برداشت گزارش نشده اسـت. علاوه‌براین هیچ تحقیقی این رابطه را بین عمـق نمونه‌برداری و خواص نوری در قسـمت‌های مختلف سـیب ثابت نکرده است. علاوه‌براین هیچ تحقیقی برای بررسی تفاوت در خواص نوری بین سیب‌های معمولی و سیب‌های آسیب‌دیده وجود ندارد.

هدف از انجام این تحقیق مقدماتی برای ارزیابی غیرمخرب نمونه‌هایی از سیب موجود در بازار ایران به‌روش طیف‌سنجی بازتابی پخشی در محدوده نور مرئی برای دستیابی به اطلاعاتی از بافت سیب‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

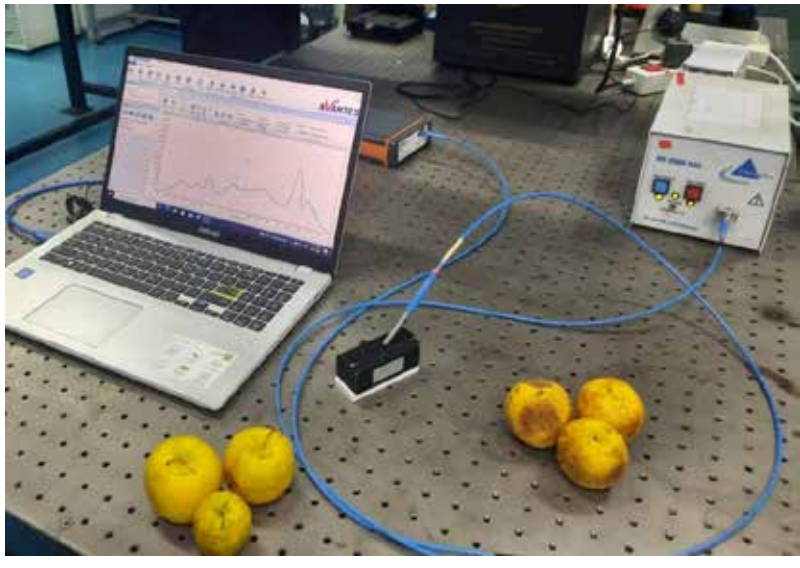
در این پژوهش از سیب تازه دماوند و سیب گلاب زنجان که از یک بازار محلی تهیه شد استفاده شـــده است. آزمایش در زمان‌های مختلف انجام شده است. به‌دلیل مدت‌زمان طولانی موردنیاز برای طیف‌سنجی و ارزیابی میوه مورد بررســـی تنها شش نمونه ســـیب موردبررسی قرار گرفت (سه نمونه سیب دماوند - ســـه نمونه سیب گلاب). هر دو نمونه سیب دماوند و گلاب در طول آزمایش در اتاقی با تهویه مطبوع و در شـــرایط شبیه به انبار دما۲۷ درجه ســـانتیگراد تنظیم شـــده، نگهداری شدند. اندازه‌گیری طیف‌سنجی بازتابی پخشی در روزهای ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ انجام شد. در این چیدمان از یک منبع نور هالوژن تنگستن و دوتریوم با قابلیت اتصال فیبر نوری، فیبر نوری دوشاخه بازتابی، دستگاه طیف‌سنج Avantes ،دستگاه رایانـــه به همراه نرم‌افزار Avasoft جهت آنالیز و نگهدارنده فیبر نوری با زاویه تنظیم‌شده ۴۵ درجه و کابل USB استفاده گردید.

اطلاعات طیف بازتابی را با کمک فرمول زیر پردازش می‌کند:

$$R(\lambda) = \frac{S_s(\lambda) - D(\lambda)}{S_{ref}(\lambda) - D(\lambda)} \qquad (۱)$$

در اینجا R بازتاب، S_s شـــدت نور خروجی نمونه سیب، S_{ref} شدت نور خروجی مرجع روشـــن و $D(\lambda)$ شـــدت نور خروجی مرجع تیره می‌باشد. برای به‌دســـت‌آوردن طیف جذبـــی از رابطـــه (۱)، $-\log S$ می‌گیریم در این‌صورت رابطه به شکل زیر درمی‌آید:

$$\lambda = -\log S \frac{S_s(\lambda) - D(\lambda)}{S_{ref}(\lambda) - D(\lambda)} \qquad (۲)$$



شکل ۱- چینش ازمایشگاهی طیف سنجی بازتابی پخشی

یافته‌ها و نتایج پژوهش

حال طیف بازتابی ۶ نمونه ســـیب (۳ نمونه سیب تازه دماوند و ۳ نمونه سیب تازه گلاب زنجان) که در شرایط مطبوع و دمای ۲۷ درجه نگهداری می‌شدند در روزهای ۲۱-۱۴-۷-۱ اندازه‌گیری شد.

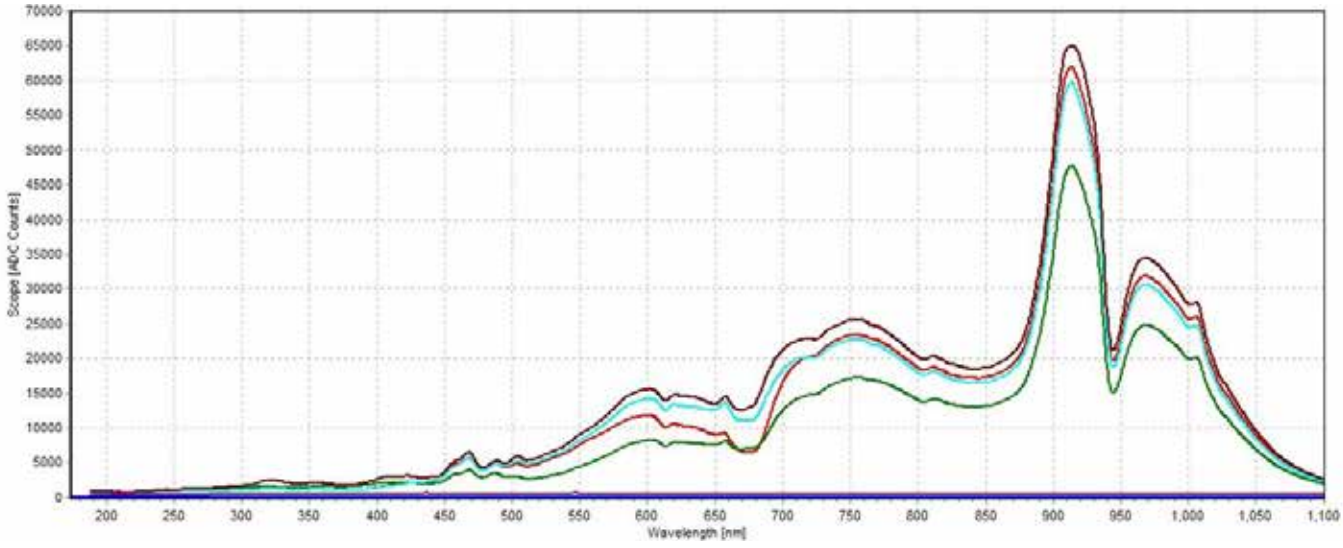
پیک طیف در ۹۲۰ نشـــان‌دهنده ضریب جذب و میزان آب و کلروفیل ســـیب دماوند اســـت. در پایان هفته چهارم تنها کمی از پوســـت نمونه چروکیده و مقدار آب سیب کاهش یافته بود.

پیک نمودار نشـــان دهنده جذب و میزان آب و رسیدگی میوه و سفتی بافت می‌باشـــد که اطلاعات پیک‌ها در جدول ۱ نیز خلاصه شده است. در نمونه سیب گلاب برعکس سیب دماوند گذر زمان باعث رسیدگی بیشتر ونرم‌تر شدن بافت و گندیدگی سیب می‌شد.

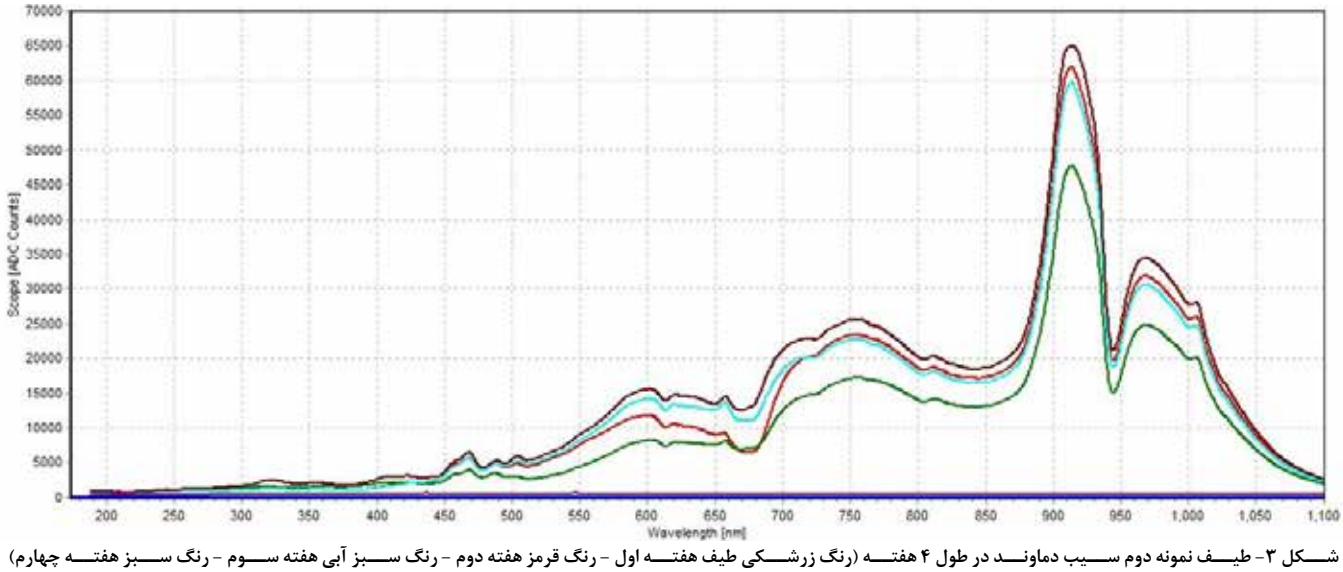
جدول۱- توصیف پیک‌ها و طول‌موج‌های مؤثر

پارامتر کیفی	طول موج	طول موج
سفتی	نانومتر ۱۴۲۰ تا۱۱۳۵	نانومتر ۱۵۴۰ تا۱۳۹۰
رطوبت	نانومتر ۹۷۰ تا۹۵۵ نانومتر ۱۱۵۵ تا ۱۱۰۰ نانومتر ۱۰۸۰ تا۱۰۴۵	نانومتر ۹۳۰ تا۸۰۰ نانومتر ۱۳۵۰ تا۱۲۹۰
مواد جامد قابل حل	نانومتر ۹۳۰ تا۸۱۰ نانومتر ۱۱۳۰ تا۱۰۳۰	نانومتر ۱۰۲۰ تا۹۳۰

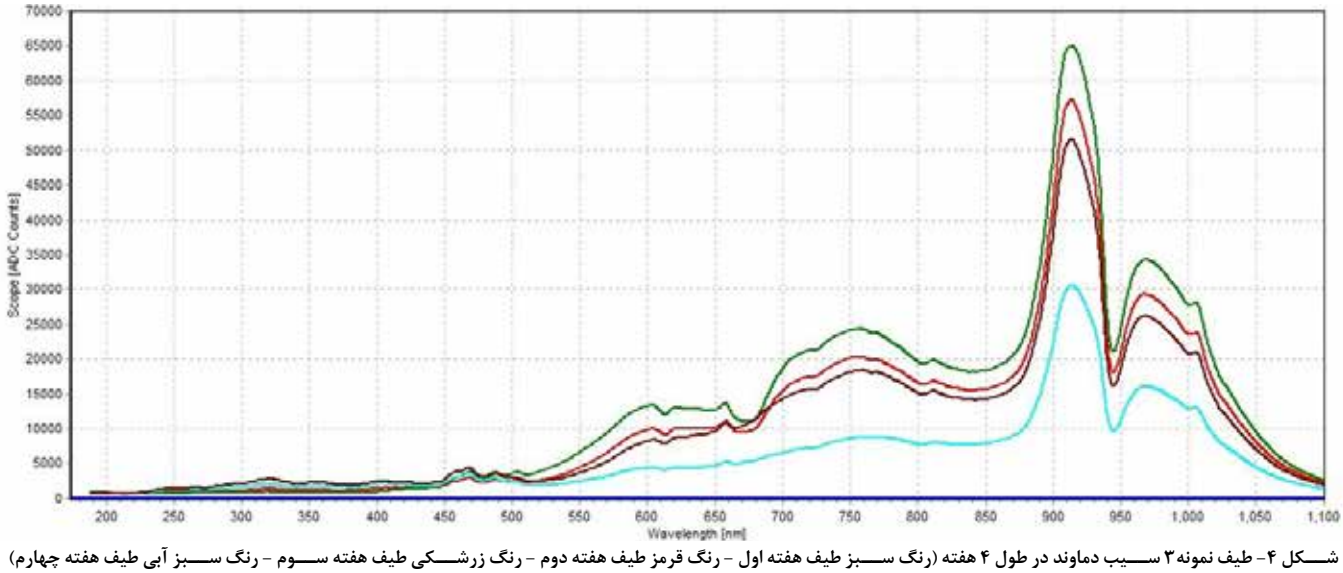
همانگونه که مشـــاهده می‌شود شـــش پیک مهم در طیف جذبی سیب وجود دارد. نخســـتین پیک در محدوده‌ی طول‌موج ۴۶۰ nm تا ۴۸۰ nm ظاهر شـــده است. کلروفیل‌ها یا رنگدانه‌های سبز در میوه‌های نارس بیشتر هستند و به‌تدریج با رسیدن میوه و کاهش کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدهای زرد و ســـرخ که معیاری از رنگ ویژه میوه هســـتند، افزایش می‌یابند. ازاین‌رو و باتوجـــه به نواحی جذب ایـــن رنگدانه‌ها دو پیک جذبی ایجادشـــده در اطراف طول‌موج‌های ۴۸۰-۴۶۰ nm و ۶۱۰-۵۸۰ nm به‌ترتیب به جذب کاروتنوئیدها و کلروفیل نســـبت داده شده است. محدوده ۶۲۰-۵۸۰ nm در ناحیه‌ی قرمز طیف مرئی اســـت و پیک موجود در این محدوده به دلیل جذب بالای رنگدانه‌های زرد توســـط کلروفیل بوده و نشـــانی از رنگ میوه اســـت. بعد از پیک در محدوده ۶۵۰-۶۱۰ nm کاهش ســـریعی در شدت جذب رخ می‌دهد که در این ناحیه طیف وارد محدوده NIR می‌شود. پیک بعـــدی در طول‌موج حدود ۶۵۰ nm تا ۶۶۵ رخ می‌دهد که به جذب آب و کربوهیدرات‌ها مربوط اســـت. درواقع وقوع پیک در این محدوده را می‌توان به اورتون سوم پیوندهای O-H و یا اورتون دوم N-H نسبت داد. به‌دلیل اینکه میوه‌ها بیش از ۸۰٪ رطوبت دارند، وجود چنین پیکی در این محدوده قابل‌انتظار اســـت. پیک چهارم در محـــدوده‌ی طول‌موج ۷۰۰ nm تا nm



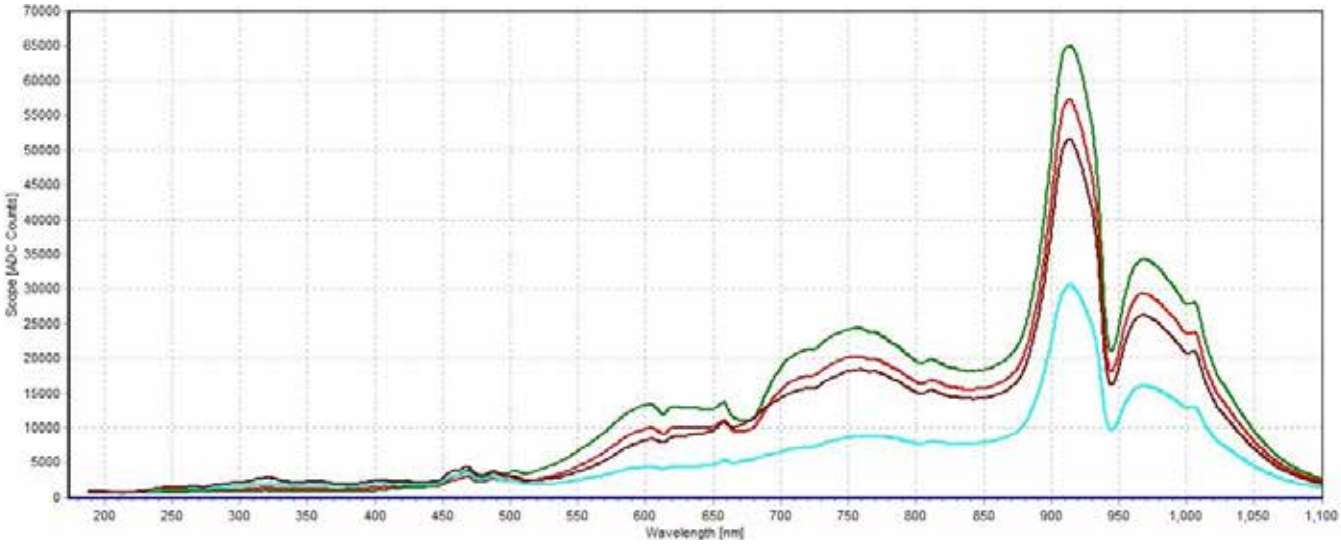
شـــکل ۲- طیف جذبی نمونه اول ســـیب دماوند در طول ۴ هفته (رنگ آبی طیف هفته اول - رنگ قرمز طیف هفته دوم - رنگ بنفش طیف هفته سوم - رنگ سبز طیف هفته چهارم می‌باشد)



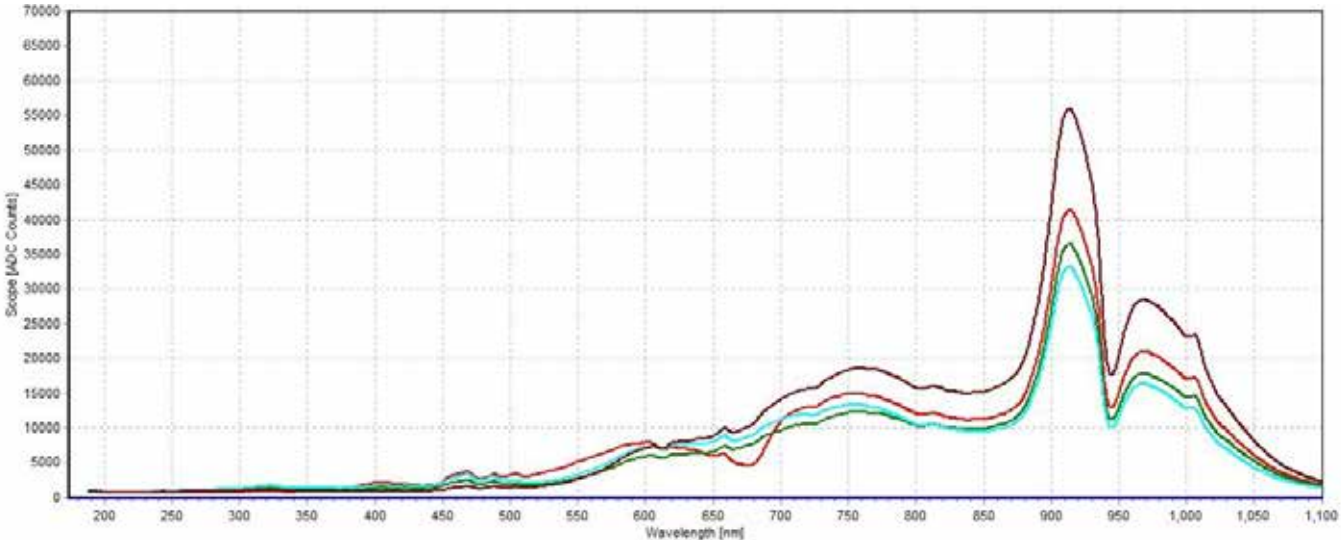
شـــکل ۳- طیـــف نمونه دوم ســـیب دماونـــد در طول ۴ هفتـــه (رنگ زرشـــکی طیف هفتـــه اول - رنگ قرمز هفته دوم - رنگ ســـبز آبی هفته ســـوم - رنگ ســـبز هفتـــه چهارم)



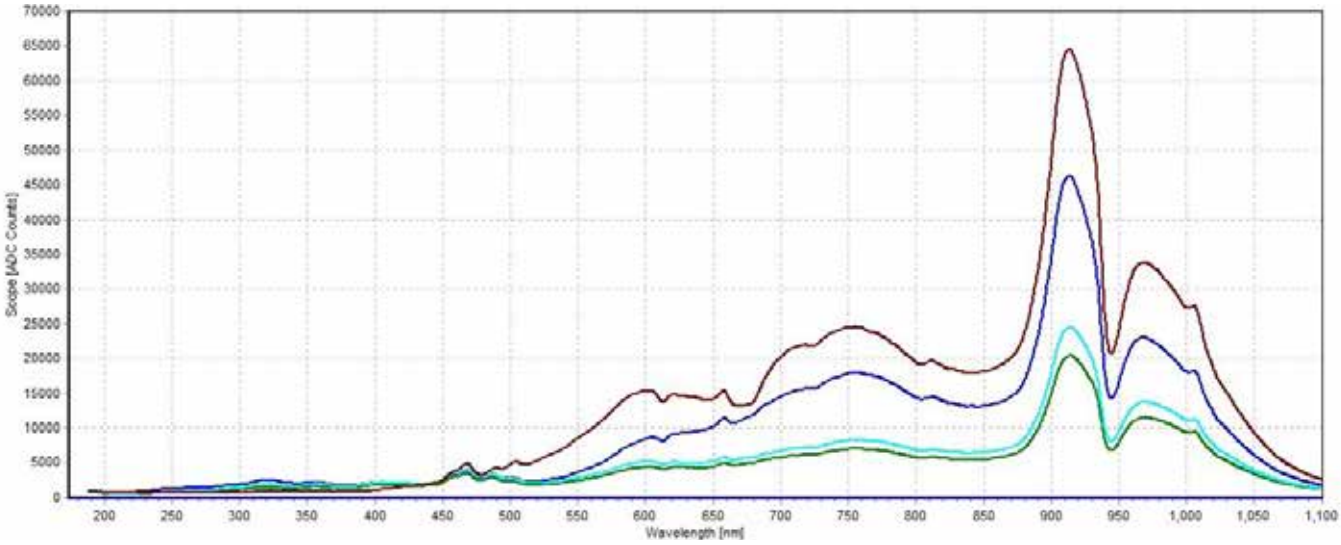
شـــکل ۴- طیف نمونه۳ ســـیب دماوند در طول ۴ هفته (رنگ ســـبز طیف هفته اول - رنگ قرمز طیف هفته دوم - رنگ زرشـــکی طیف هفته ســـوم - رنگ ســـبز آبی طیف هفته چهارم)



شـــکل ۵ - طیـــف نمونـــه۱ ســـیب گلاب در طـــول ۴ هفتـــه (طیف ســـبز هفتـــه اول - طیف قرمـــز هفتـــه دوم - طیف زرشـــکی هفته ســـوم - طیف ســـبز آبی هفتـــه چهارم)



شـــکل ۶ - طیـــف نمونه۲ ســـیب گلاب درطـــول ۴ هفته (طیف زرشـــکی آبـــی هفتـــه اول - طیف قرمـــز هفته دوم - طیف ســـبز هفته ســـوم - طیف ســـبز آبی هفتـــه چهارم)



شـــکل ۷ - طیـــف نمونـــه ۳ ســـیب گلاب در طـــول ۴ هفتـــه (طیف زرشـــکی هفتـــه اول - طیف آبـــی هفتـــه دوم - طیف ســـبز آبی هفته ســـوم - طیف ســـبز هفتـــه چهارم)

۸۰۰ رخ داده است که به اورتون‌های دوم پیوندهای C-H مربوط می‌شود. پیک پنجم در طول‌موج حدودی ۹۱۰ nm تا ۹۳۰ مشاهده می‌شود که این پیک نیز به اورتون‌های دوم C-H، H^2O،ترکیبات اروماتیک و اسیدهای ارگانیک نسبت داده می‌شود. در نهایت وقوع پیک ششم در اطراف ۹۶۰ تا ۹۸۰ nm را می‌توان به اورتون اول O-H و اسیدهای ارگانیک نسبت داد.

برای اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سیب ابتدا تکه‌ای از میوه به وزن تقریبی ۲۰-۱۵ g بریده شد و سپس وزن آن باترازویی با دقت ۰.۰۰۱ g در سه تکرار اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از توزین، نمونه در دستگاه آون با دمای ۸۰°C قرار داده شد. عمل توزین در فواصل نیم‌ساعتی تا پایان فرایند ادامه یافت. خشک‌کردن میوه تا زمانی که اختلاف وزن نمونه در دو بار پیاپی اندازه‌گیری ناچیز (کمتر از ۰.۰۱ g) باشد ادامه داشت. در نهایت

$$M_W = \frac{M_i - M_f}{M_i} \qquad (3)$$

که در آن M_w میزان رطوبت نمونه، M_i وزن اولیه نمونه و M_f وزن نهایی نمونه می‌باشد.

پس‌از جمع‌آوری کلیه داده‌ها و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی سیب شامل میزان رطوبت، سفتی، SSC و به ساخت مدل رگرسیونی متناسب با داده‌ها پرداخته شد. برای توصیف رابطه بین داده‌های طیفی و داده‌های آزمایشگاهی به‌صورت کمی در روزهای مختلف پایش نمونه‌های سیب در مراحل طیف‌سنجی تغییرات شدت جذب پیک شاخص طول‌موجی ۹۳۰ نانومتر برای سیب‌ها محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۲ - تغییرات شدت جذب پیک شاخص طول‌موجی ۹۳۰ نانومتر برای سیب‌ها

روز	سیب گلاب نمونه ۱	سیب دماوند نمونه ۱	سیب گلاب نمونه ۲	سیب دماوند نمونه ۲	سیب گلاب نمونه ۳	سیب دماوند نمونه ۳
۱	۶۵۰۰۰	۶۵۰۰۰	۵۵۰۰۰	۶۵۰۰۰	۶۴۰۰۰	۶۵۰۰۰
۷	۵۸۰۰۰	۶۱۰۰۰	۴۱۰۰۰	۶۲۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۶۰۰۰
۱۴	۵۱۰۰۰	۶۰۰۰۰	۳۶۰۰۰	۶۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۵۱۰۰۰
۲۱	۳۰۰۰۰	۴۷۰۰۰	۳۱۰۰۰	۴۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰

جدول ۳ - مقادیر پارامترهای کیفی سیب‌های تازه و ۴ هفته مانده در آزمایشگاه

پارامتر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین
سیب تازه دماوند و گلاب				
سفتی	۲	۳۷/۸	۵۴/۴۴	۴۶/۱۲
رطوبت	۲	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۸۵
SSC	۲	۱۰/۲۰	۱۴/۴۰	۱۲/۳
سیب ۴ هفته مانده دماوند و گلاب				
سفتی	۲	۲۰/۷۸	۳۵/۵۱	۲۸/۱۴۵
رطوبت	۲	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۶۳۵
SSC	۲	۸/۴۵	۱۰/۵۰	۹/۴۷۵

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک‌های غیرمخرب برای سنجش فیزیولوژیک و کیفیت میوه سیب دو دهه اخیر به‌طور قابل‌توجهی گسترش یافته است کاربردهای طیف‌سنجی بازتابی برای ارزیابی و نظارت بر کیفیت میوه، از جمله سیب، هر دو روی درخت و در انبار. نتایج ارائه شده در این بررسی نشان می‌دهد که طیف‌سنجی بازتابی می‌تواند مفید و کارآمد باشد ابزاری برای نظارت بر کیفیت میوه سیب فرآیندهای فیزیولوژیکی درگیر در رسیدن میوه، سن، همچنین بروز علائم آسیب می‌باشد. همان‌طورکه در فصل قبل گفته شد نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی کاملا یکسانی ذخیره و نگهداری می‌شدند ولی مشاهده شد که سیب دماوند می‌تواند مدت‌زمان بیشتری در شرایط مطلوب نگهداری شود و میزان جامدات قابل حل و رطوبت، بافت و سفتی آن تغییرات کمتری نسبت به سیب گلاب که در همان شرایط آزمایشگاهی نگهداری و ذخیره شده بود داشت، زیرا که سیب گلاب در پایان هفته چهارم عملا خراب شده بود و دیگر قابل استفاده و نگداری نبود.

یافته‌های آزمایش‌های اولیه برای مدل‌سازی PLS میان خواص طیفی و پارامترهای کیفی نمونه‌های سیب:

طول‌موج‌های مؤثر به‌دست‌آمده از تحلیل‌ها با گزارش‌های ارائه‌شده در پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد. در تحقیقی طول‌موج‌های مؤثر برای تخمین میزان رطوبت سیب در محدوده ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ nm تعیین شد. همچنین طول‌موج‌های ۸۳۸، ۹۴۸، ۱۰۱۶ و ۱۰۴۸ نانومتر برای تخمین غیرمخرب میزان رطوبت و طول‌موجه‌ای ۹۳۲ و ۹۸۰ نانومتر برای تخمین غیرمخرب SSC سیب مؤثر هستند. همچنین محققان همبستگی بسیار خوبی بین میزان سفتی سیب و محدوده‌ی طول‌موج‌های ۹۵۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر را ارزیابی کردند. در تحقیقی دیگر کینگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ سامانه تصویربرداری لیزری با طول‌موج‌های ۶۸۰، ۷۸۰، ۸۸۰ و ۹۴۰ nm برای تخمین میزان سفتی و SSC سیب ساختند. آنها نتیجه گرفتند که نور پراکنش با سفتی سیب رابطه معکوس و با SSC رابطه مستقیم دارد.

در این مطالعه مقدماتی براساس طیف‌سنجی بازتابی پخشی به اطلاعات اولیه ارزیابی غیرمخرب کنترل کیفیت سیب در دو هفته در شرایط نگهداری ازمایشگاهی دست یافتیم. اما برای توسعه این سیستم احتیاج به نمونه‌های زیادتر و پیگیری طولانی مدت‌تر و شبیه‌سازی نگهداری ازمایشگاهی به انبارهای موادغذایی می‌باشد. از جمله پیشنهادات این طرح عبارتند از: ارائه روش‌های پردازش سیگنال برای تحلیل کمی و استخراج پارامترهای اپتیکی نمونه طیف‌های میوه، انجام طیف‌سنجی پازتابی پخشی برای بررسی کیفیت نمونه‌های میوه و مواد غذایی مختلف، توسعه طرح‌های کاربردی استفاده از طیف‌سنجی نوری در زمینه ارزیابی کیفی کمی صنایع غذایی و کشاورزی، طراحی و ساخت طیف‌سنج قابل حمل مبتنی بر گوشی همراه جهت طیف‌سنجی و آنالیز میوه‌ها در طول رسیدگی و انبار داری

References:

1. Cubeddu, R.; D'Andrea, C.; Pifferi, A.; Taroni, P.; Torricelli, A.; Valentini, G.; Dover, C.; Johnson, D.; Ruiz-Altisent, M.; Valero, C. Nondestructive quantification of chemical and physical properties of fruits by time-resolved reflectance spectroscopy in the wavelength range 650–1000 nm. Appl. Opt. 2001, 40, 538–543. [CrossRef]

2. Saeys, W.; Velazco-Roa, M.A.; Thennadil, S.N.; Ramon, H.; Nicolaï, B.M. Optical properties of apple skin and flesh in the wavelength range from 350 to 2200 nm. Appl. Opt. 2008, 47, 908–919. [CrossRef] [PubMed]

3. Anderson, E.R.; Cuccia, D.J.; Durkin, A.J. Detection of bruises on golden delicious apples using spatial-frequency-domain imaging. In Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems V; 64301O; International Society for Optics and Photonics: San Jose, CA, USA, 2007

4. KortUm G v, Lohr JE. Reflectance Spectroscopy Principles, Methods, Applications. 1969.

5. Spliethoff JW, Evers DJ, Jaspers JE, Hendriks BHW, Rottenberg S, Ruers TJM. Monitoring of tumor response to cisplatin using optical spectroscopy. Transl Oncol. 2014;7(2):230–9.

6. Farrell TJ, Patterson MS. A Diffusion theory model of spatially resolved, steady-state diffuse reflectance for non-invasive determination of tissue optical properties in vivo. 2008. p. 553– 608.

7. Michael R. Hamblin, "Mechanisms of Low-Level Light Therapy", 2008

8. Neimz MH. Laser tissue interactions, fundamentals and applications. 1 sted. Verlag Berlin Heidelberg: Springier; 1996.p: 120-10

9. M. HÄulsbusch, D. HÄolscher, V. Bla·zek, "Spectral Monte-Carlo Simulations of Photon Penetration in Biotissue in Visible and Near Infrared", 2007

10. Xueting MA,Huaping LUO, Jiean LIAO, Lixia ZHU, Jinfei ZHAO, Feng GAO, Study on the detection of apple soluble solids based on fractal theory and hyperspectral imaging technology, Food Sci. Technol 43, 2023

11. Evaluation of Different Models for Non-Destructive Detection of Tomato Pesticide Residues Based on Near-Infrared Spectroscopy, Araz Soltani Nazarloo, Vali Rasooli Sharabiani, Yousef Abbaspour Gilandeh, Ebrahim Taghinezhad and Mariusz Szymanek, Sensors 2021, 21, 3032. https://doi.org/10.3390/s21093032

12. Lashgari, M., MohammadiGol, R. Discrimination of Golab apple storage time using acoustic impulse response and LDA and QDA discriminant analysis techniques. Iran Agricultural Research, 2016; 35(2): 65-70. doi: 10.22099/iar.2016.3799

13. Ba Y, Liu J, Han J, Zhang X. Application of Vis-NIR spectroscopy for determination the content of organic matter in saline-alkali soils. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2020 Mar 15; 229:117863. doi: 10.1016/j.saa.2019.117863. Epub 2019 Nov 26. PMID: 31806478.

14. Cheng, N. -Y., Chen, C. -C., Liang, B. -J., & Tseng, S. -H. (2019). Nondestructive Evaluation of Apple Fruit Quality by Frequency-Domain Diffuse Reflectance Spectroscopy: Variations in Apple Skin and Flesh. Applied Sciences, 9(11), 2355. https://doi.org/10.3390/app9112355

15. Sendin K, Williams PJ, Manley M. Near infrared hyperspectral imaging in quality and safety evaluation of cereals. Crit Rev Food Sci Nutr. 2018 Mar 4;58(4):575-590. doi: 10.1080/10408398.2016.1205548. Epub 2017 Aug 10. PMID: 27622307.

16. Tian X, Li J, Wang Q, Fan S, Huang W. A bi-layer model for nondestructive prediction of soluble solids content in apple based on reflectance spectra and peel pigments. Food Chem. 2018 Jan 15;239:1055-1063. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.045. Epub 2017 Jul 11. PMID: 28873522.

17. Yu Xia , Wenqian Huang , Shuxiang Fan , Jiangbo Li , Liping Chen Effect of spectral measurement orientation on online prediction of soluble solids content of apple using Vis/NIR diffuse reflectance, Infrared Physics & Technology 97, 2019, Pages 467-477

18. Nagy, A., Riczu, P. and Tamás, J. 2016. Spectral evaluation of apple fruit ripening and pigment content alteration. Scientia horticulturae, 201, pp.256-264.

19. Murakami, M., Himoto,. Analysis Of Apple Quality By Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Measurement of moisture, sugar and apple, Hokkaido Univ., Vol. 66, Pt. 1 : 51-61, 1994

20. Zhu, G. and Tian, C. Determining sugar content and firmness of 'Fuji'apples by using portable near-infrared spectrometer and diffuse transmittance spectroscopy. Journal of Food Process Engineering, 2018, 41(6), p.e12810.

21. Gomez, A.H., He, Y. and Pereira, A.G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 313-319.