

ارزیابی غیرمخرب سیب بر اساس طیف‌سنجی بازتابی پخشی در ناحیه نور مرئی

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 به‌دست‌آوردن برخی اطلاعات کمی از طیف در پیک طول‌موجی‌های مختلف استفاده شده است.

یافته‌ها و نتایج پژوهش: خواص نوری میوه‌ها مانند ویژگی‌های جذب نور و پراکندگی، با فعالیت‌های بیوشیمیایی در طول 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

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 یار، 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

مقدمه

ساده‌تر به مجموعه‌ای از روش‌ها و فرآیندهایی گفته می‌شود که در آن برهمکنش نور با ماده مورد مطالعه قرار بگیرند. تکنیک طیف‌سنجی براساس بازتابی پخششی به‌عنوان روشی ساده، سریع و غیرتهاجمی و غیرمخرب و دقیق در بررسی بافت‌های زیستی کاربرد فراوانی دارد.

طیف‌سنجی بازتابی روشی غیرمخرب است که در آن نور به سطح موردنظر تابانده می‌شود و تغییرات نسبی نور بازتابی از سطح اندازه‌گیری می‌شود. چنانچه از منبع نور مرئی برای این کار استفاده شود، به آن طیف‌سنجی بازتابی مرئی گفته شود. زمانی که یک پرتوی نور با سطح سیب برخورد می‌کند، درصد کمی از آن توسط لایه‌های خارجی منعکس شده و بقیه پرتو در بافت سیب نفوذ می‌کند. طیف بازتابی پخششی، از نوری که چندین مرتبه درون نمونه پراکنده شده، ایجاد می‌شود. حدوداً ۹۴ درصد از نور تابیده به سطح بافت به درون آن نفوذ و تحت جذب و پراکندگی چندگانه قرار می‌گیرد و بخشی از این نور نفوذ یافته به سطح پوست باز می‌گردد که بازتاب پخششی نامیده می‌شود. این تکنیک غیرمخرب قادر به ارائه اطلاعاتی از ویژگی بیوشیمیایی بافت است.

خصوصیات طیفی نوری که از بافت سیب به‌صورت پخششی بازتاب شده است، به ویژگی‌های پراکندگی و جذبی آن بستگی دارد. طیف اپتیکی بافت، اطلاعات تشخیصی بر پایه ترکیبات بیوشیمیایی و ساختار بافت سیب به‌دست می‌دهد. این روش، روشی غیرمخرب است که در آن نور توسط فیبر از منبع نور به سطح موردنظر تابانده شده و نور بازتابی از سطح اندازه‌گیری می‌شود.

کوبدو و همکارانش از یک منبع لیزر پالس فمتوثانیه استفاده کردند و انعکاس انتشاری را که نشان‌دهنده پالس است اندازه‌گیری کردند. اثر انبساط ناشی از سیب، برای به‌دست آوردن خاصیت جذب و پراکندگی است. سلیس ۱ و همکاران خواص نوری پوست و گوشت سیب را در محدوده طول‌موج ۲۲۰۰-۳۵۰ نانومتر تخمین زد.

آندرسون ۲ و همکاران اندازه‌گیری خواص جذب و پراکندگی سیب با استفاده از تصویربرداری فراطیفی برای تعیین تفاوت بین سیب سالم و آسیب‌دیده با لکه‌های قهوه‌ای انجام دادند. با این حال، تغییر در خواص نوری پوست و گوشت سیب در هنگام رسیدن و ذخیره‌سازی پس از برداشت گزارش نشده است. علاوه بر این هیچ تحقیقی این رابطه را بین عمق نمونه‌برداری و خواص نوری در قسمت‌های مختلف سیب ثابت نکرده است. علاوه بر این 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 به‌روشنی طیف‌سنجی بازتابی پخششی در محدوده نور مرئی برای دستیابی به اطلاعاتی از بافت سیب‌ها می‌باشد.

سیب (نام علمی: *Malus domestica*) درختی برگریز از خانواده گلسرخیان است که به خاطر میوه شیرین و گوشتی‌اش شناخته شده‌است. در سرتاسر دنیا، این درخت برای میوه‌اش کشت می‌شود و وسیع‌ترین گونه رشد کرده از سرده مالوس است. منشأ این درخت آسیای مرکزی است؛ جایی که امروزه هنوز هم گونه وحشی آن یعنی مالوس سیورسی یافت می‌شود. سیب پس از هزاران سال کشت در آسیا و اروپا، توسط مهاجران اروپایی به آمریکای شمالی برده شد. بیش از ۷۵۰۰ رقم سیب شناخته‌شده وجود دارد و در نتیجه طیف وسیعی از ویژگی‌های دلخواه به‌دست می‌آید. براساس گفته وزارت کشاورزی ایالات متحده، یک سیب معمولی ۲۴۲ گرم وزن و ۱۲۶ کالری انرژی دارد که شامل مقدار قابل توجهی فیبر غذایی، مقدار متوسطی از ویتامین ث، از طرف دیگر میزان کمی مواد غذایی ضروری است.

امروزه اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی محصولات کشاورزی به‌گونه‌ای که محصول موردبررسی بدون هیچ آسیب به چرخه برگردد جایگاه ویژه‌ای در فناوری پس از برداشت پیدا کرده است. آزمون‌های غیرمخرب نباید اثرات مخرب حرارتی، شیمیایی و فیزیکی بر روی محصول داشته باشند و باید مشتری‌پسندی محصول را تضمین کنند. تعیین رسیدگی و بازسازی مهم‌ترین قسمت در ارزیابی کیفیت درونی میوه‌ها است. بیشتر روش‌ها برای اندازه‌گیری این عوامل مخرب، وقت‌گیر و گران می‌باشند. بنابراین توسعه روش غیرمخرب برای تعیین کیفیت میوه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. بافت میوه در مراحل مختلف رشد و انبارداری تغییر کرده و می‌توان با بررسی خصوصیات آن و عبور نور لیزر از داخل بافت میوه، بسته به نوع بافت و تراکم آن، تضعیف گردیده و سرعت آن نیز تغییر می‌یابد. لذا ممکن است بتوان با طیف‌سنجی بازتابی پخششی به‌صورت غیرمخرب، خصوصیات میوه را تعیین نمود. سیب یک کالای مهم کشاورزی در بازار جهانی محصولات تازه است. انتخاب سیب توسط مصرف‌کننده‌ها براساس مبادله بین قیمت و کیفیت انجام می‌شود زیرا مصرف‌کنندگان خواهان سیبی با کیفیت بهتر، ظاهر سالم‌تر، طعم و بافت مناسب هستند. لذا هرچه کیفیت میوه افزایش یابد منجر به افزایش تقاضا و تکرار خرید و افزایش سود برای صنعت از طریق تفاوت قیمت برای درجه‌های کیفی مختلف می‌شود. در حال حاضر، سیب‌ها با استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین، عمدتاً براساس رنگ، شکل، اندازه یا وزن مرتب می‌شوند اما نه براساس کیفیت داخلی. تکنیک طیف‌سنجی بازتابی پخششی ابزاری علمی برای درجه‌بندی میوه‌ها و یا نظارت بر تغییرات میوه در طول نگهداری طولانی‌مدت می‌باشد.

طیف‌سنجی اندازه‌گیری تابش الکترومغناطیس به‌منظور به‌دست آوردن اطلاعات در مورد سیستم مورد مطالعه است. در واقع روشی است برای به‌دست آوردن اطلاعات کمی از طیف الکترومغناطیسی است. به بیان

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سیب تازه دماوند و سیب گلاب زنجان که از یک بازار محلی تهیه شد استفاده شده است. آزمایش در زمان‌های مختلف انجام شده است. به دلیل مدت زمان طولانی مورد نیاز برای طیف‌سنجی و ارزیابی میوه مورد بررسی تنها شش نمونه سیب مورد بررسی قرار گرفت (سه نمونه سیب دماوند - سه نمونه سیب گلاب). هر دو نمونه سیب دماوند و گلاب در طول آزمایش در اتاقی با تهویه مطبوع و در شرایط شبیه به انبار دما ۲۷ درجه سانتیگراد تنظیم شده، 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 رایانه به همراه نرم‌افزار Avasoft جهت آنالیز و نگهدارنده فیبر نوری با زاویه تنظیم شده ۴۵ درجه و کابل USB استفاده گردید.

اطلاعات طیف بازتابی را با کمک فرمول زیر پردازش می‌کند:

$$R(\lambda) = \frac{S_s(\lambda) - D(\lambda)}{S_{ref}(\lambda) - D(\lambda)} \quad (1)$$

در اینجا R بازتاب، S_s شدت نور خروجی نمونه سیب، S_{ref} شدت نور خروجی مرجع روشن و $D(\lambda)$ شدت نور خروجی مرجع تیره می‌باشد. برای به دست آوردن طیف جذبی از رابطه (۱)، $-\log S$ می‌گیریم در این صورت رابطه به شکل زیر درمی‌آید:

$$\lambda = -\log S \frac{S_s(\lambda) - D(\lambda)}{S_{ref}(\lambda) - D(\lambda)} \quad (2)$$

یافته‌ها و نتایج پژوهش

حال طیف بازتابی ۶ نمونه سیب (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 نشان‌دهنده ضریب جذب و میزان آب و کلروفیل سیب دماوند است. در پایان هفته چهارم تنها کمی از پوست نمونه چروکیده و مقدار آب سیب کاهش یافته بود.

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

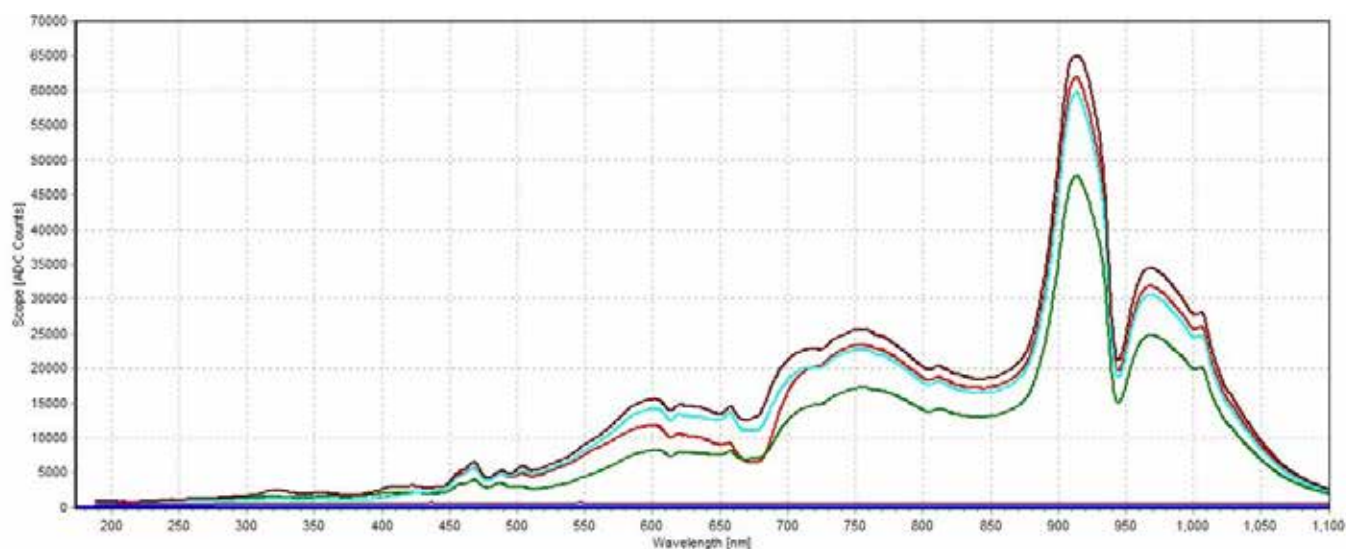
جدول ۱- توصیف پیک‌ها و طول موج‌های مؤثر

پارامتر کیفی	طول موج	طول موج
سفتی	نانومتر ۱۱۳۵ تا ۱۴۲۰	نانومتر ۱۵۴۰ تا ۱۳۹۰
رطوبت	نانومتر ۹۵۵ تا ۹۷۰ نانومتر ۱۱۵۵ تا ۱۱۰۰ نانومتر ۱۰۸۰ تا ۱۰۴۵	نانومتر ۹۳۰ تا ۸۰۰ نانومتر ۱۳۵۰ تا ۱۲۹۰
مواد جامد قابل حل	نانومتر ۹۳۰ تا ۸۱۰ نانومتر ۱۱۳۰ تا ۱۰۳۰	نانومتر ۱۰۲۰ تا ۹۳۰

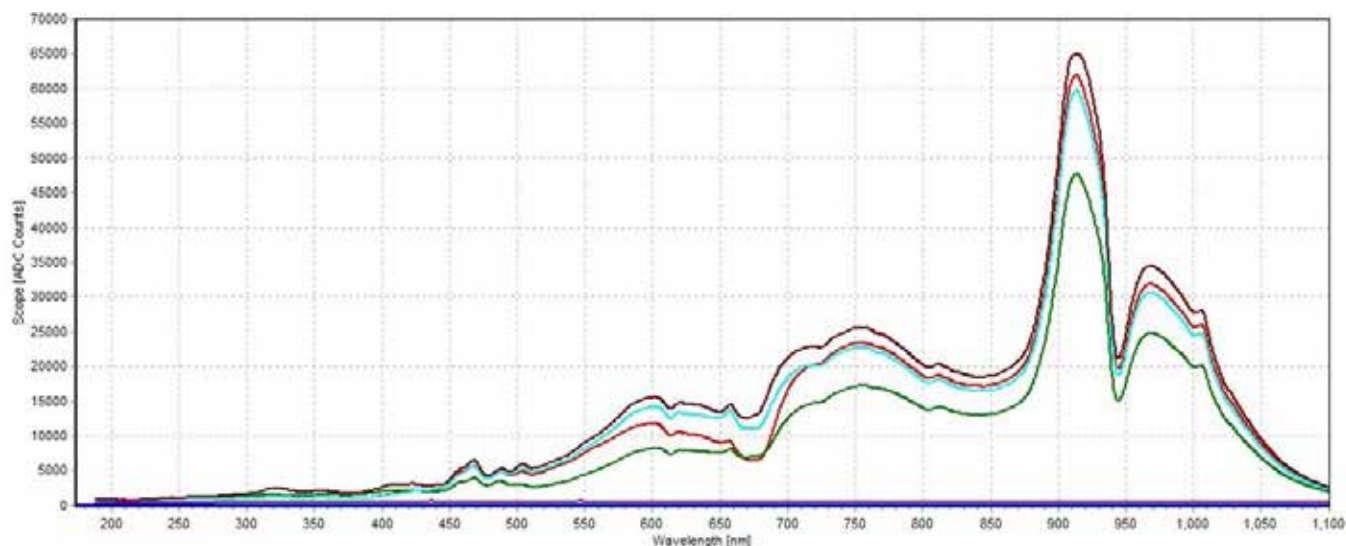
همانگونه که مشاهده می‌شود شش پیک مهم در طیف جذبی سیب وجود دارد. نخستین پیک در محدوده‌ی طول موج ۴۶۰ nm تا ۴۸۰ nm ظاهر شده است. کلروفیل‌ها یا رنگدانه‌های سبز در میوه‌های نارس بیشتر هستند و به تدریج با رسیدن میوه و کاهش کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدهای زرد و سرخ که معیاری از رنگ ویژه میوه هستند، افزایش می‌یابند. از این رو و با توجه به نواحی جذب این رنگدانه‌ها دو پیک جذبی ایجاد شده در اطراف طول موج‌های ۴۶۰-۴۸۰ nm و ۶۱۰-۵۸۰ nm به ترتیب به جذب کاروتنوئیدها و کلروفیل نسبت داده شده است. محدوده ۶۲۰-۵۸۰ nm در ناحیه‌ی قرمز طیف مرئی است و پیک موجود در این محدوده به دلیل جذب بالای رنگدانه‌های زرد توسط کلروفیل بوده و نشانی از رنگ میوه است. بعد از پیک در محدوده ۶۵۰-۶۱۰ nm کاهش سریعی در شدت جذب رخ می‌دهد که در این ناحیه طیف وارد محدوده NIR می‌شود. پیک بعدی در طول موج حدود ۶۵۰ nm تا ۶۶۵ nm رخ می‌دهد که به جذب آب و کربوهیدرات‌ها مربوط است. در واقع وقوع پیک در این محدوده را می‌توان به اورتون سوم پیوندهای O-H یا اورتون دوم N-H نسبت داد. به دلیل اینکه میوه‌ها بیش از ۸۰٪ رطوبت دارند، وجود چنین پیکی در این محدوده قابل انتظار است. پیک چهارم در محدوده‌ی طول موج ۷۰۰ nm تا ۷۰۰ nm



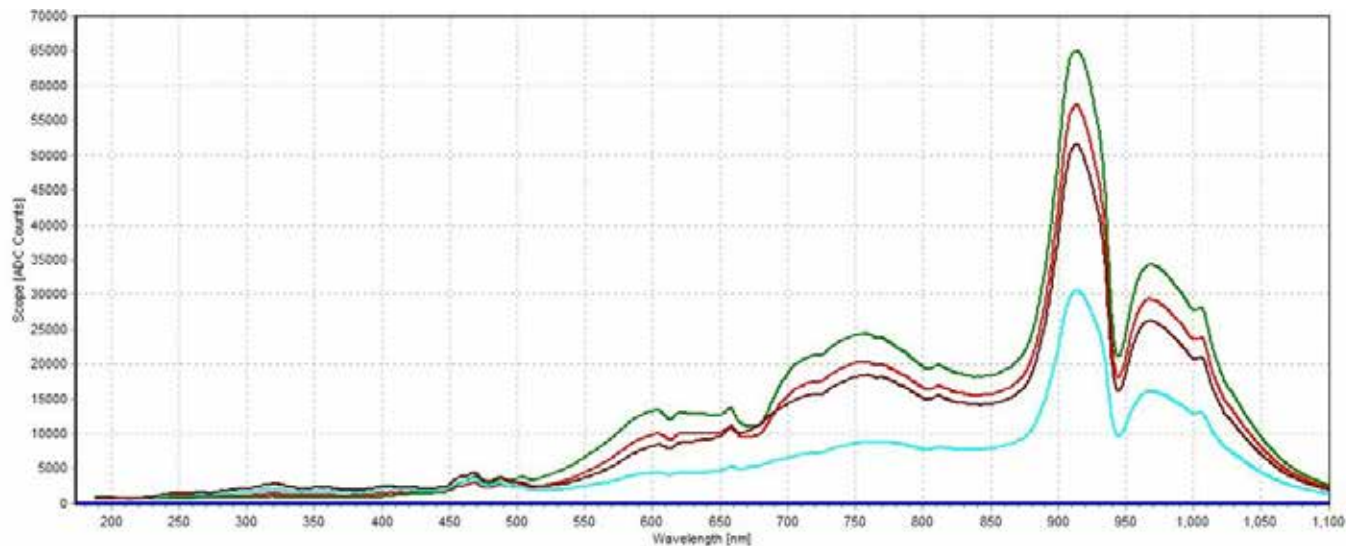
شکل ۱- چینش آزمایشگاهی طیف‌سنجی بازتابی پخشی



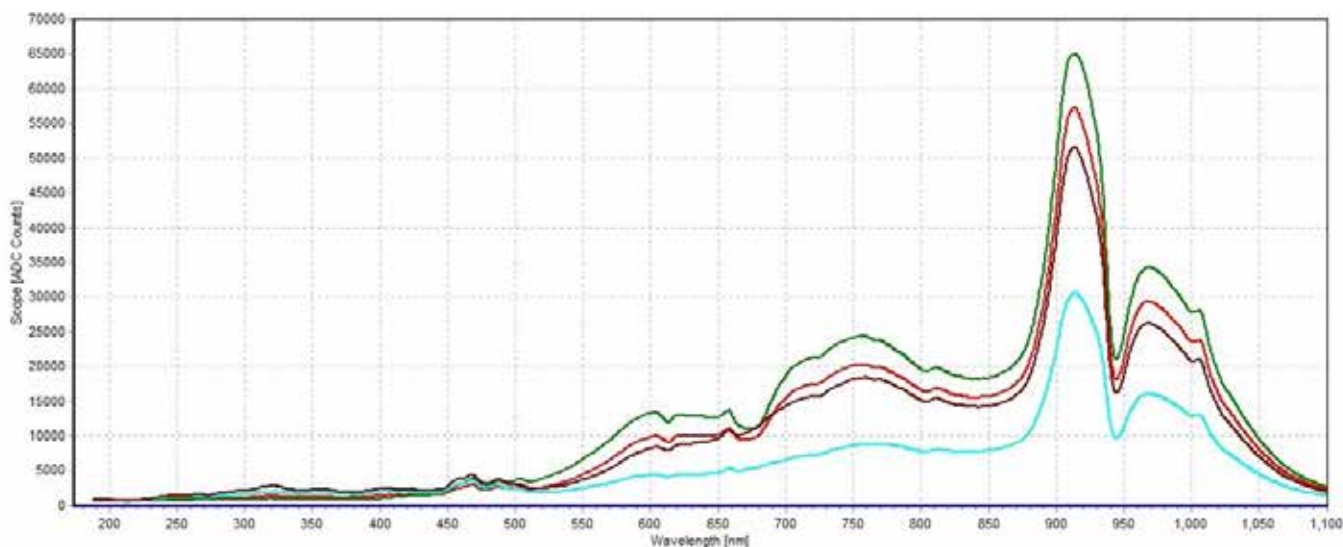
شکل ۲- طیف جذبی نمونه اول سیب دماوند در طول ۴ هفته (رنگ آبی طیف هفته اول - رنگ قرمز طیف هفته دوم - رنگ بنفش طیف هفته سوم - رنگ سبز طیف هفته چهارم می باشد)



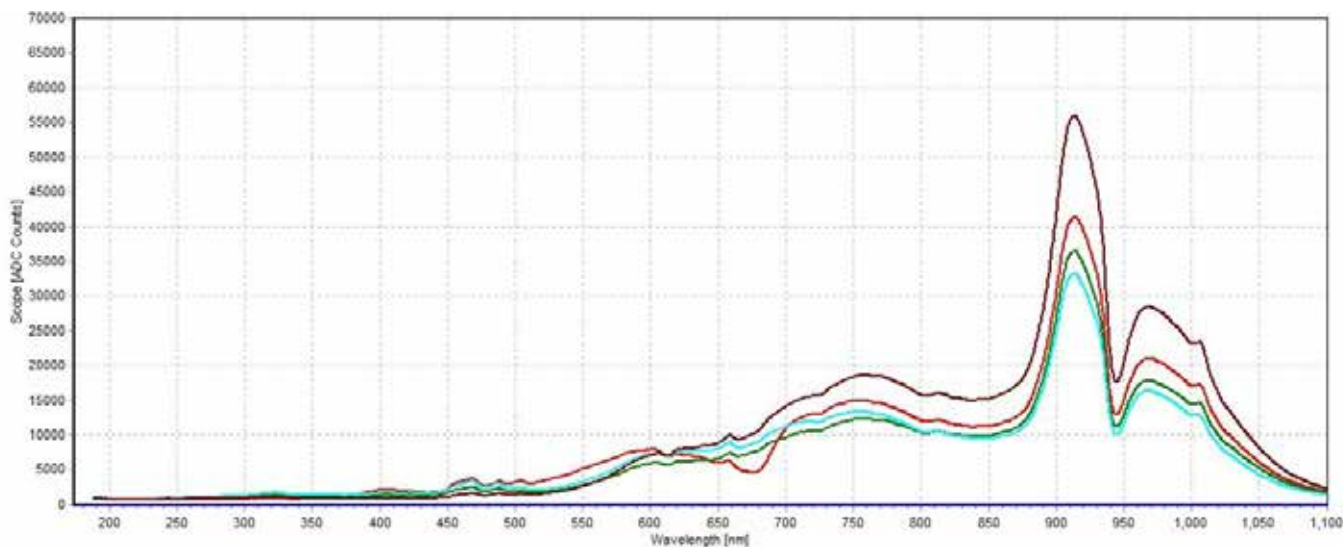
شکل ۳- طیف نمونه دوم سیب دماوند در طول ۴ هفته (رنگ زرشکی طیف هفته اول - رنگ قرمز هفته دوم - رنگ سبز آبی هفته سوم - رنگ سبز هفته چهارم)



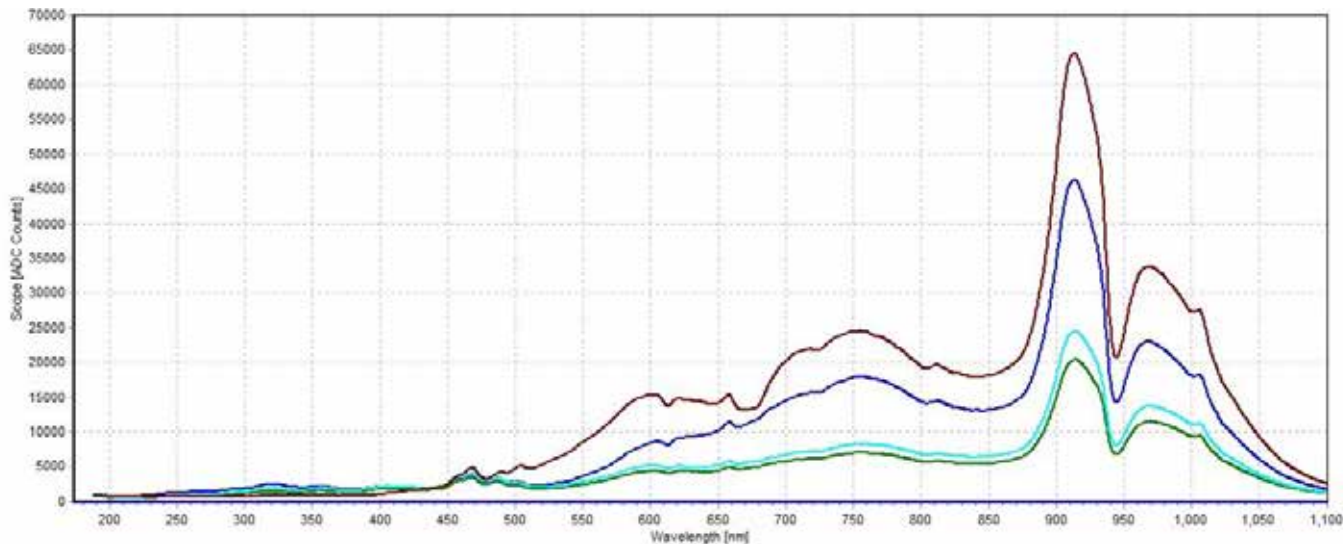
شکل ۴- طیف نمونه ۳ سیب دماوند در طول ۴ هفته (رنگ سبز طیف هفته اول - رنگ قرمز طیف هفته دوم - رنگ زرشکی طیف هفته سوم - رنگ سبز آبی طیف هفته چهارم)



شکل ۵ - طیف نمونه ۱ سیب گلاب در طول ۴ هفته (طیف سبز هفته اول - طیف قرمز هفته دوم - طیف زرشکی هفته سوم - طیف سبز آبی هفته چهارم)



شکل ۶ - طیف نمونه ۲ سیب گلاب در طول ۴ هفته (طیف زرشکی آبی هفته اول - طیف قرمز هفته دوم - طیف سبز هفته سوم - طیف سبز آبی هفته چهارم)



شکل ۷ - طیف نمونه ۳ سیب گلاب در طول ۴ هفته (طیف زرشکی هفته اول - طیف آبی هفته دوم - طیف سبز آبی هفته سوم - طیف سبز هفته چهارم)

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک‌های غیرمخرب برای سنجش فیزیولوژیک و کیفیت میوه سیب دو دهه اخیر به‌طور قابل توجهی 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. همان‌طور که در فصل قبل گفته شد نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی کاملاً یکسانی ذخیره و نگهداری می‌شدند ولی مشاهده شد که سیب دماوند می‌تواند مدت زمان 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 عملاً 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 بخشی به اطلاعات اولیه ارزیابی غیرمخرب کنترل کیفیت سیب در دو هفته در شرایط نگهداری آزمایشگاهی دست یافتیم. اما برای توسعه این سیستم احتیاج به نمونه‌های زیاده‌تر و پیگیری طولانی مدت‌تر و شبیه‌سازی نگهداری آزمایشگاهی 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 بازتابی بخشی 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

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، H₂O، 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 ۱۵-۲۰ g بریده شد و سپس وزن آن با ترازویی با دقت ۰.۰۰۱ 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. خشک کردن میوه تا زمانی که اختلاف وزن نمونه در دو بار پیاپی اندازه‌گیری ناچیز (کمتر از ۰.۰۱ g) باشد ادامه داشت. در نهایت

$$M_w = \frac{M_i - M_f}{M_i} \quad (3)$$

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

پس از 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

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*. 1st ed. Verlag Berlin Heidelberg: Springer; 1996. p: 120-10
9. M. HÄulsbusch, D. HÄolscher, V. Blažek, "Spectral Monte-Carlo Simulations of Photon Penetration in Biotissue in Visible and Near Infrared", 2007
10. Xueting MA, Huaping LUO, Jian 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.