



توسعه سامانه اندازه‌گیری طیف‌های مرئی-فروسرخ نزدیک در سه حالت عبوری، بازتابشی و تقابلی برای محصولات کشاورزی

شهرام موم‌کش^۱، سید احمد میره‌ای^{۲*}، مرتضی صادقی^۳، مجید ناظری^۴

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استادیار گروه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان

ایمیل مکاتبه کننده: samireei@cc.iut.ac.ir

چکیده

به طور کلی می‌توان روش‌های اندازه‌گیری طیف‌های Vis-NIR را به سه روش بازتابشی، عبوری و تقابلی تقسیم کرد که انتخاب روش بهینه نقش بسزایی در توانایی مدل‌های پیشگو دارد. در این تحقیق، یک سامانه‌ی آزمایشگاهی که قادر بود طیف‌های مرئی-فروسرخ نزدیک را با سرعت و دقت کافی و بدون نیاز به تجهیزات اپتیکی گران‌قیمت در هر سه وضعیت فوق اندازه‌گیری کند، توسعه یافت. بخش‌های اصلی این سامانه شامل منابع نوری، اسپکترومتر (PDA)، فیبر نوری و شاسی کاملاً انعطاف‌پذیر می‌باشد، تا امکان تست طیف وسیعی از محصولات کشاورزی را فراهم آورد. نتایج تفسیر اولیه طیف‌های بدست آمده از محصولات مختلف شامل لیموترش، گریپ‌فروت، پرتقال، نارنگی، لیموشیرین و کیوی وجود پیک‌های جذبی ۶۷۰ و ۹۷۵ نانومتر در طیف‌های بازتابشی ناشی از وجود به ترتیب رنگ‌دانه‌های قرمز و آب و کربوهیدرات‌ها را به خوبی نشان داد. همچنین در وضعیت‌های عبوری و تقابلی، پیک مهم جذبی ۷۵۰ نانومتر ناشی از گروه‌های پایه CH و OH به خوبی قابل مشاهده بود.

واژه‌های کلیدی: "اسپکتروسکوپی مرئی-فروسرخ نزدیک"، "اسپکترومتر"، "فیبر نوری"، "محصولات کشاورزی"

مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر تلاش‌های روزافزون محققان در زمینه‌ی توسعه‌ی روش‌های غیر مخرب به منظور ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی بسیار چشم‌گیر بوده است. در این راستا با توجه به وجود پارامترهای کیفی متنوع، روش‌های



مختلفی نیز برای اندازه‌گیری آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (جا و ماتسواکا، ۲۰۰۰). یکی از بهترین و پرکاربردترین این روش‌ها، روش‌های اپتیکی است که در آن از سرعت بالای شناسایی نور و پردازش داده‌ی کامپیوتری استفاده می‌شود. در میان روش‌های اپتیکی، روش اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک^۱ (NIR) یا مرئی-فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در زمینه‌های مختلف علوم و صنایع استفاده می‌شود که از جمله مزایای این آن می‌توان به عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، عدم تخریب نمونه، سرعت بالا، هزینه نسبتاً پایین و قابلیت حمل در مزرعه اشاره کرد (نیکلای و همکاران، ۲۰۰۷).

به‌طور کلی هنگام برخورد یک موج الکترومغناطیس با محصول بیولوژیکی، این موج می‌تواند جذب‌شده، عبور کرده و یا بازتابیده شود. بر این اساس می‌توان روش‌های اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیس را به سه روش بازتابشی، عبوری و تقابلی تقسیم کرد. انتخاب روش بهینه نقش بسزایی در توانایی مدل‌های پیشگو دارد و نکته‌ای که باید مد نظر داشت این است که نفوذ پرتوهای NIR به داخل بافت میوه به طور نمایی با افزایش عمق، کاهش می‌یابد (لامرتین و همکاران، ۲۰۰۰). در روش بازتابشی، منبع پرتو و آشکارساز در یک جهت و برای جلوگیری از بازتابش معمولی، تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به یکدیگر قرار داده می‌شوند. روش عبوری را می‌توان بر اساس ترتیب قرارگیری منبع پرتو و آشکارساز به دو روش عبور کامل و عبور نیمه تقسیم کرد که برای محصولاتی نظیر مرکبات که هسته‌ی نسبتاً بزرگی در آن‌ها نیست، حالت عبور کامل و برای محصولاتی نظیر خرما و زیتون که هسته‌ی نسبتاً بزرگی دارند، و همچنین محصولات بزرگ مانند هندوانه، حالت عبور نیمه پیشنهاد می‌گردد. در روش عبور کامل، منبع پرتو، نمونه و آشکارساز در یک امتداد و در روش عبور نیمه، راستای منابع پرتو و آشکارساز، نسبت به یکدیگر عمودند. در نهایت در روش تقابلی، منبع پرتو و آشکارساز به‌طور موازی با یکدیگر و به طریقی قرار گرفته‌اند که پرتوهای ناشی از بازتابش معمولی نمی‌توانند به‌طور مستقیم وارد آشکارساز شود (میره‌ای و همکاران، ۱۳۹۱).

لامرتین و همکاران (۲۰۰۰)، مواد جامد محلول (SSC) و میزان نفوذ پرتوهای NIR در سیب را به کمک روش‌های بازتابشی و تقابلی مورد آزمایش قرار دادند و تنها اختلافات جزئی بین اندازه‌گیری‌های بازتابشی و تقابلی در تعیین SSC سیب به دست آوردند (لامرتین و همکاران، ۲۰۰۰). اسپچار و فریزر (۲۰۰۰)، چگالی، رنگ و بافت درونی کیوی را با استفاده از روش‌های بازتابشی، عبوری و تقابلی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای روش تقابلی از یک سامانه ابتکاری استفاده نمودند، بدین صورت که پرتوهای نمونه به‌صورت گسترده و بدون استفاده از فیبر نوری انجام می‌گردید. آن‌ها از یک اسپکترومتر آرایه دیودی حساس به نور^۲ (PDA) مجهز به آشکارساز سیلیکونی در ناحیه ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر استفاده کردند و بهترین نتایج در حالت تقابلی به دست آمد. سوفامیتونکول (۲۰۱۳) مدلی را با بررسی روش‌های مختلف آماری برای درجه‌بندی^۳ پرتقال تایلندی، با استفاده از روش عبوری ارائه کردند. آن‌ها از یک سامانه جدید با قابلیت چرخش نمونه‌ها با سرعت ۶ متر بر دقیقه استفاده نمودند، به‌گونه‌ای که برای هر نمونه دو طیف در

¹ Near Infrared Spectroscopy

² Photodiode Array Spectrophotometers

³ Sorting



ناحیه ۶۴۳ تا ۹۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها ثبت می‌شود. میره‌ای و همکاران (۱۳۹۱) به مقایسه‌ی سه وضعیت بازتابشی، عبوری و تقابلی برای تعیین رطوبت خرمای مضافتی پرداختند. آن‌ها از یک اسپکترومتر آرایه دیودی در محدوده‌ی طول موج ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وضعیت تقابلی بهترین حالت برای اندازه‌گیری طیف NIR خرمای مضافتی می‌باشد.

هدف انجام این تحقیق توسعه سامانه‌ای آزمایشگاهی به منظور اندازه‌گیری طیف‌های مرئی-فروسرخ نزدیک در سه حالت عبوری، بازتابشی و تقابلی برای امکان‌سنجی استفاده از روش اسپکتروسکوپی Vis/NIR در محصولات کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق نمونه‌هایی از چند محصول کشاورزی شامل کیوی، پرتقال، نارنگی، لیموشیرین، گریپ‌فروت و لیموترش، مورد استفاده قرار گرفتند. کلیه نمونه‌ها پس از خرید، بلافاصله به سردخانه گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند. قبل از اندازه‌گیری طیف‌های NIR و به منظور برقراری شرایط تعادل، نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در خارج از سردخانه نگهداری شده تا به تعادل با شرایط آزمایشگاه برسند.

سامانه اندازه‌گیری طیف‌های مرئی-فروسرخ نزدیک

شکل ۱ نمایی کلی از سامانه طراحی شده را نمایش می‌دهد. این سامانه دارای بخش‌های اصلی شامل منابع نوری با قابلیت تنظیم شدت نور، اسپکترومتر PDA با آشکارساز CCD^۱، فیبر نوری و شاسی انعطاف‌پذیر دستگاه برای اندازه‌گیری طیف‌های بازتابشی، عبوری و تقابلی محصولات کشاورزی می‌باشد.

منابع نوری

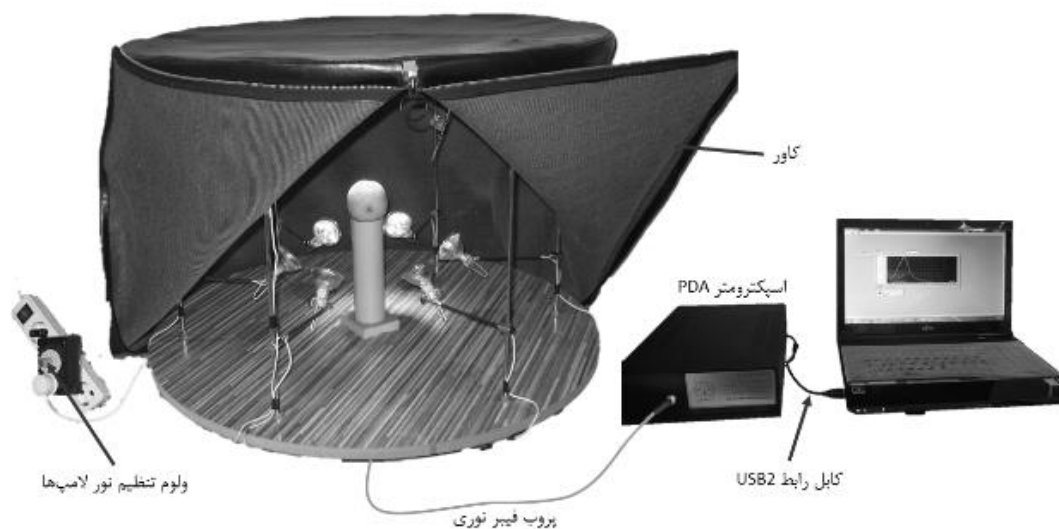
با بررسی انواع منابع نوری موجود در بازار و با توجه به ویژگی‌های موردنیاز در بحث اسپکتروسکوپی، لامپ‌های هالوژن کوارتزی^۲ ۱۲ ولت با توان ۵۰ وات ساخت کشور آلمان، به‌عنوان منابع نوری برای سامانه انتخاب شدند. این منابع دارای یک تابش پیوسته و بدون نوسان در ناحیه‌های مرئی و فروسرخ اطمینان بودند. لازم به ذکر است که حباب این لامپ‌ها دارای بخار ید می‌باشد تا ضمن جلوگیری از تیره شدن حباب و عمر مفید لامپ را نیز افزایش دهد. در حالت عبوری و بازتابشی از یک عدد لامپ و در حالت تقابلی از شش عدد لامپ با مشخصات فوق استفاده گردید.

با توجه به اینکه هر دسته از محصولات کشاورزی شکل، اندازه، بافت و رنگ منحصر به خود را دارند و در نتیجه میزان نور عبوری، بازتابشی و یا جذب شده توسط آن‌ها متفاوت می‌باشد، بنابراین لازم است تا از طریقی بتوان میزان

¹ Charge Coupled Device

² Quartz Halogen

شدت نور لامپ‌ها را کنترل نمود تا ضمن اطمینان از وجود شدت کافی برای ورود و نفوذ پرتو به محصول از اشباع شدن اسپکترومتر نیز جلوگیری شود. بدین منظور مدار شکل ۲-الف برای کنترل ولتاژ دو سر لامپ‌ها طراحی و ساخته شد. برای تبدیل برق ۲۲۰ ولت متناوب شهری به ۱۲ ولت از ترانس‌های القایی ۱۲-۲۲۰ با توان ۵۰ وات استفاده گردید.



شکل ۱- نمای کلی سامانه اندازه‌گیری طیف‌های Vis/NIR

اسپکترومتر

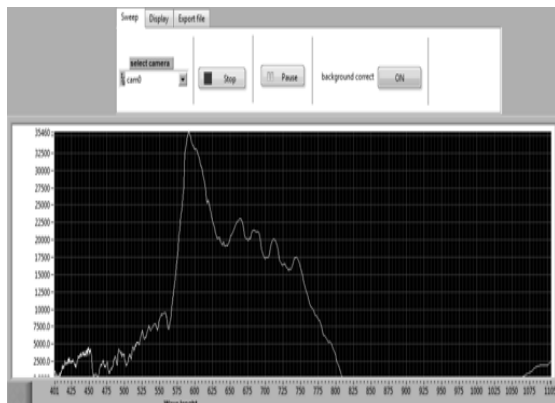
اسپکترومتر PDA استفاده شده در این سامانه کاملاً بومی و ساخت شرکت تراهرتز می‌باشد. این اسپکترومتر توانایی ثبت طیف‌های الکترومغناطیس در ناحیه ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر را با وضوح یک نانومتر دارا می‌باشد. آشکارساز بکار رفته در آن از نوع CCD و از منشور به‌عنوان تک‌فام‌ساز برای تجزیه تابش به طول موج‌های مختلف استفاده شده است. برای انتقال نور خروجی از میوه به داخل اسپکترومتر از فیبر نوری شیشه‌ای با قطر ۲۰۰ میکرون با درگاه خروجی SMA استفاده شد. پیشتر، توانایی این اسپکترومتر در اندازه‌گیری طیف‌های فلورسانس القایی از محصولات مختلف به اثبات رسیده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳ (الف) و عباسی و همکاران، ۱۳۹۳ (ب)).

پس از ورود امواج الکترومغناطیس از طریق فیبر نوری به داخل اسپکترومتر، این امواج پس از طی مراحل با منشور برخورد کرده، تجزیه گشته و در نهایت به آشکارساز می‌رسند. آشکارساز این امواج را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کرده و پس از تبدیل آن‌ها به سیگنال‌های دیجیتال توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، طیف بدست آمده توسط درگاه USB^۱ به داخل رایانه منتقل می‌شود. در رایانه به‌وسیله برنامه‌ی نوشته‌شده توسط نرم‌افزار قدرتمند LabView این

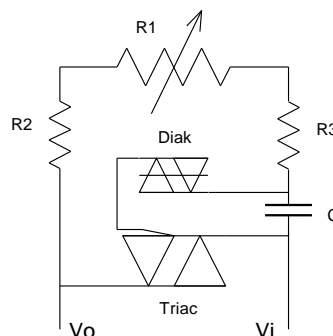
^۱ Universal Serial Bus



سیگنال‌ها به صورت طیف‌های بهم پیوسته‌ای ثبت گشته و امکان ذخیره داده‌ها به دو صورت فایل‌های اکسل و تصویر فراهم می‌شود. شکل ۲-ب نمایی از محیط نرم‌افزار نوشته شده را نشان می‌دهد. توسط این برنامه همچنین می‌توان حد اشباع و کالیبره کردن اسپکترومتر با نور محیط را نیز تنظیم نمود.



(ب)



(الف)

شکل ۲-الف)- مدار کنترل ولتاژ دو سر لامپ‌ها و (ب) صفحه اصلی برنامه ثبت و ذخیره طیف‌های NIR

شاسی دستگاه

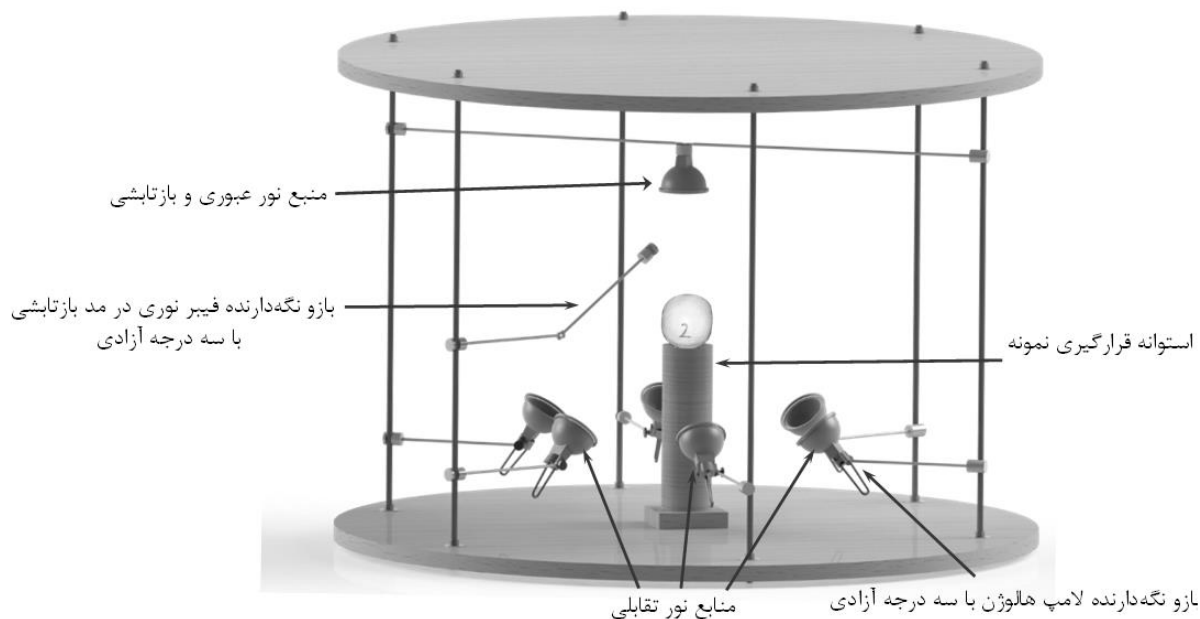
پس از بررسی انواع سامانه‌های جمع‌آوری طیف‌های NIR و با در نظر گرفتن اینکه سامانه مورد طراحی قابلیت استفاده برای عمده‌ی محصولات کشاورزی را دارا باشد، طرح اولیه شاسی موردنظر در نرم‌افزار Solidworks طراحی و پس از انجام اصلاحاتی بر روی آن، شاسی مورد نظر ساخته شد. شکل ۳ نمای کلی شاسی طراحی شده در محیط Solidworks قابل مشاهده می‌باشد. در این شاسی صفحات بالا و پایین از جنس MDF^۱ و کلیه میله‌های نگه‌دارنده توپر و از جنس استیل بودند. استوانه قرارگیری نمونه نیز از جنس HDF^۲ ساخته و سپس برای اطمینان از عدم عبور نور از آن یک روکش HPL^۳ بر روی آن کشیده شد. به منظور قرارگیری منابع نوری در یک وضعیت مطلوب، بازوهای نگه‌دارنده‌ی لامپ‌های هالوژن به صورت انعطاف‌پذیر با سه درجه آزادی طراحی گردید تا که امکان تنظیم آن‌ها با توجه به محصول مورد استفاده به راحتی فراهم گردد. در نهایت برای از بین بردن تأثیر نور محیط در طیف‌های به دست آمده، یک کاور چرم مصنوعی از جنس پلی‌اورتان (PU)^۴ بر روی دستگاه کشیده شد. البته کاور به گونه‌ای طراحی گردید که امکان گذاشتن و برداشتن محصولات به آسانی فراهم گردد (شکل ۱).

¹ Medium Density Fibreboard

² High Density Fibreboard

³ High Pressure Laminates

⁴ Poly Urethane



شکل ۳- نمای کلی شاسی

روش‌های اندازه‌گیری طیف‌ها

به منظور اندازه‌گیری طیف NIR در مد بازتابی مطابق شکل ۴-الف، از لامپ هالوژنی بالا به‌عنوان منبع نوری استفاده شد و شدت نور آن با توجه به محصول مورد استفاده تنظیم شد. جهت قرارگیری لامپ به نحوی است که راستای عمود بر لامپ و فیبر نوری زاویه ۴۵ درجه می‌سازد تا اندازه‌گیری پرتوهای پراکنش یافته از نمونه را ممکن سازد. با توجه به نمونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق روش عبور کامل بر روش عبور نیمه ترجیح داده شد. مطابق شکل ۴-ب، برای اندازه‌گیری طیف NIR در این حالت نیز، پس از تنظیم شدت نور، از لامپ هالوژنی بالا به‌عنوان منبع نوری استفاده شد. فیبر نوری در این حالت دقیقاً زیر نمونه و در داخل استوانه نگهدارنده میوه قرار دارد و لامپ، نمونه و فیبر نوری کاملاً در یک امتدادند. در نهایت به منظور اندازه‌گیری طیف NIR در مد تقابلی مطابق شکل ۴-ج، از پرتوهای نمونه به‌صورت گسترده توسط ۶ عدد لامپ هالوژنی که تقریباً زیر نمونه و به صورت مایل قرار گرفته بودند استفاده شد. فیبر نوری در این حالت نیز شبیه مد عبوری، دقیقاً زیر نمونه و در داخل استوانه نگهدارنده میوه قرار داشت تا پرتوهای ناشی از بازتابش معمولی نتوانند وارد آشکارساز شوند.

در ابتدای هر آزمایش، به منظور اندازه‌گیری طیف‌های نسبی در هریک از سه روش بازتابی، عبوری و تقابلی، لازم است که طیف تیره و مرجع اندازه‌گیری شود. برای اندازه‌گیری طیف تیره در تمامی روش‌ها ابتدا منبع نور را خاموش کرده و سپس جسمی کدر در محل قرارگیری نمونه قرار می‌گرفت. طیف مرجع در روش عبوری و تقابلی پس از روشن کردن منبع نور و تنظیم شدت نور آن، اندازه‌گیری می‌شد ولی در روش بازتابی لازم است تا از دیسک مرجع

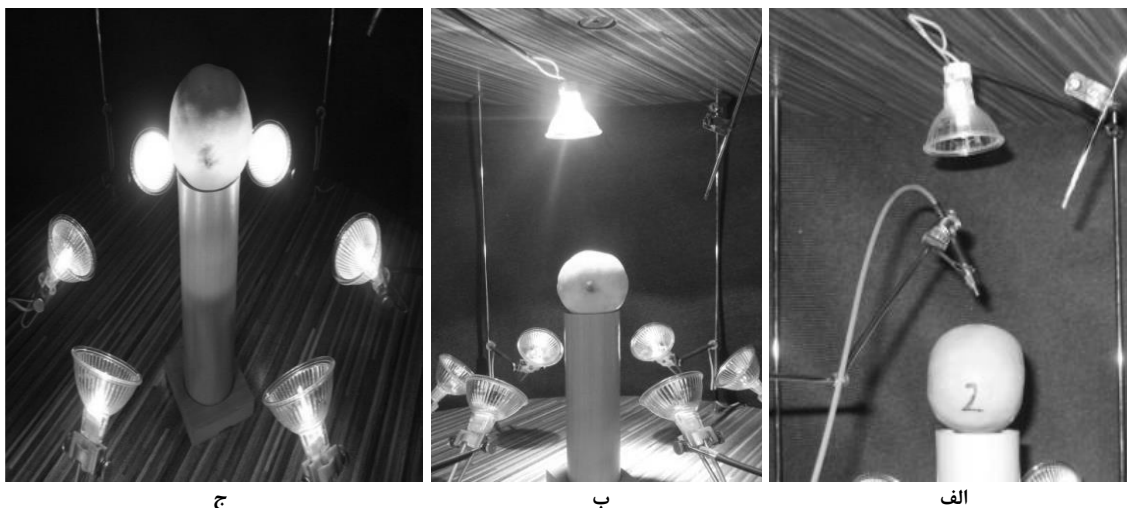


که در حقیقت یک صفحه سفید استاندارد از جنس هالون است در محل قرارگیری نمونه استفاده شود. پس از اندازه‌گیری طیف تیره و مرجع و سپس قرار دادن نمونه، طیف‌های نسبی با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$R = \left(\frac{I_{sample} - I_{dark}}{I_{reference} - I_{dark}} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن: R طیف نسبی نمونه، I_{sample} طیف نمونه، I_{dark} طیف تیره و $I_{reference}$ طیف مرجع می‌باشد.

برای اینکه طیف به‌دست‌آمده حاوی اطلاعاتی از تمامی قسمت‌های نمونه باشد، از هر نمونه دو طیف تحت زاویه ۱۸۰ درجه حول محور استوایی میوه‌ها گرفته شده و میانگین آن‌ها به‌عنوان طیف نمونه در نظر گرفته شد.



شکل ۴- الف) مد بازتابشی ب) مد عبور کامل و ج) مد تقابلی

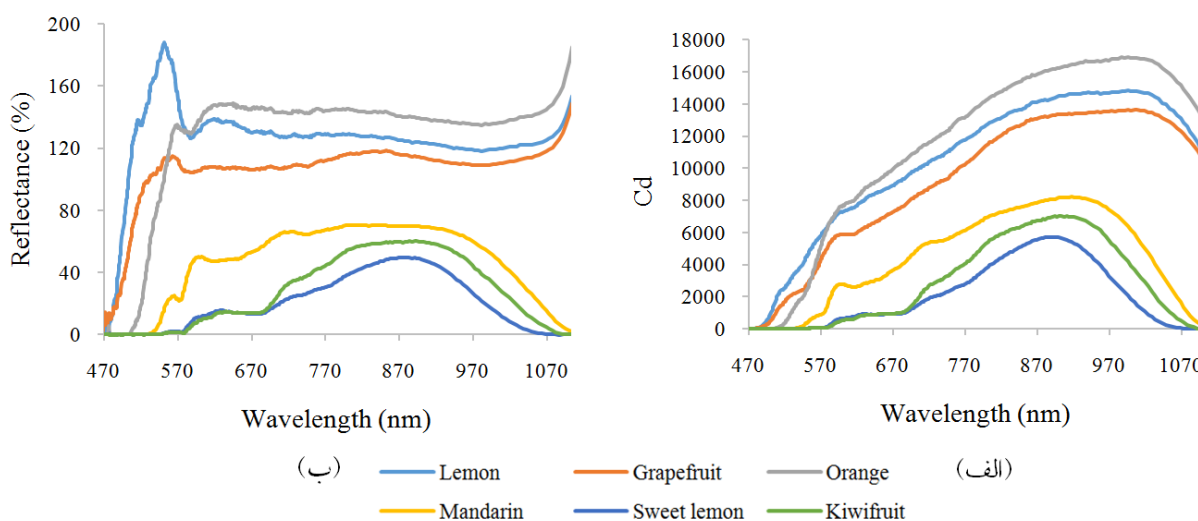
نتایج و بحث

طیف نمونه‌های لیموترش، گریپ‌فروت، پرتقال، نارنگی، لیموشیرین و کیوی بدست آمده از سامانه طراحی شده در سه وضعیت بازتابشی، عبوری و تقابلی به ترتیب در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمایش داده شده است. در تمامی این شکل‌ها، حالت الف) مربوط به طیف‌های خام و حالت ب) مربوط به طیف نسبی می‌باشد. تمامی این طیف‌ها با میانگین گرفتن از دو طیفی که تحت زاویه ۱۸۰ درجه حول محور استوایی میوه‌ها جمع‌آوری شده بودند، بدست آمده‌اند.

بیشترین میزان عبور نور در طیف‌های عبوری و تقابلی نسبی مربوط به لیموشیرین و لیموترش و کمترین میزان عبور مربوط به گریپ‌فروت و پرتقال می‌باشد. علت این امر را می‌توان در متفاوت بودن اندازه و ضخامت پوست نمونه‌ها دانست. این در حالی است که بیشترین میزان نور بازتابیده در طیف بازتابشی نسبی مربوط به پرتقال و لیموترش و



کمترین میزان نور بازتابیده مربوط به لیموشیرین و کیوی می‌باشد. علت این اختلاف نیز زیادتر شدن فاصله‌ی فیبر نوری تا نمونه‌های با اندازه کوچک‌تر می‌باشد (میانگین اندازه لیموشیرین و کیوی از همه نمونه‌ها کمتر بود). شکل کلی طیف به‌دست‌آمده برای کیوی در حالت عبوری و تقابلی شباهت زیادی با طیف به‌دست‌آمده توسط اسپار و فریزر (۲۰۰۰) دارد که در تحقیق آن‌ها توانایی هر یک از سه وضعیت در تخمین پارامترهای کیفی کیوی مورد ارزیابی قرار گرفته است.



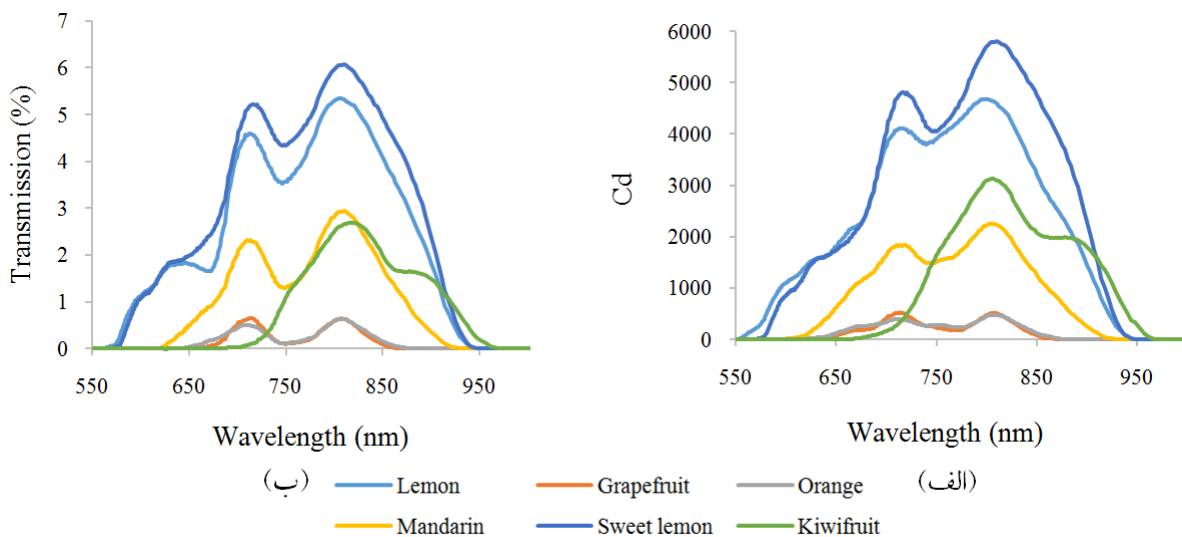
شکل ۵- الف) طیف خام بازتابشی و ب) طیف نسبی بازتابشی بدست آمده از طریق سامانه اندازه‌گیری طیف NIR

در طیف‌های بازتابشی نسبی برای محصولات کیوی، لیموشیرین و نارنگی در طول موج ۶۷۰ نانومتر یک جذب اتفاق افتاده است که علت آن می‌تواند ناشی از وجود رنگدانه‌های قرمز در این محصولات باشد. گومز و همکاران (۲۰۰۶) نیز وجود این پیک در طیف بازتابشی نارنگی را گزارش دادند و آن را ناشی از وجود رنگدانه‌های قرمز در میوه دانستند. همچنین در طیف‌های بازتابشی نسبی پرتقال، گریپ‌فروت و لیموترش نیز یک پیک جذب پهن در طول موج ۹۷۵ نانومتر مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از وجود آب و کربوهیدرات‌های موجود در این محصولات باشد. گومز و همکاران (۲۰۰۶) وجود آب و کربوهیدرات‌هایی مانند قند را علت وجود این پیک در طیف‌های بازتابشی نارنگی دانستند. کایولا (۲۰۰۸) و ویلیامز و نوریس (۱۹۸۷) نیز جذب در طول موج ۹۸۰ نانومتر را ناشی از وجود آب و کربوهیدرات‌ها در میوه دانستند. برای کلیه نمونه‌ها در طول موج نزدیک به ۵۸۰ نانومتر در طیف‌های بازتابشی نسبی یک جذب مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از وجود رنگدانه‌های سبز مانند کلروفیل در نمونه‌ها باشد.

در مد عبوری نسبی یک جذب قوی در طول موج حدود ۷۵۰ نانومتر برای تمامی نمونه‌ها به‌غیر از کیوی مشاهده می‌شود. این جذب می‌تواند ناشی از وجود پیوندهای CH و OH باشد. گروه پایه CH در محصولات کشاورزی می‌تواند در کربوهیدرات‌هایی مانند قند و نشاسته و گروه پایه OH می‌تواند بابت حضور آب و یا اسیدهای ارگانیک در

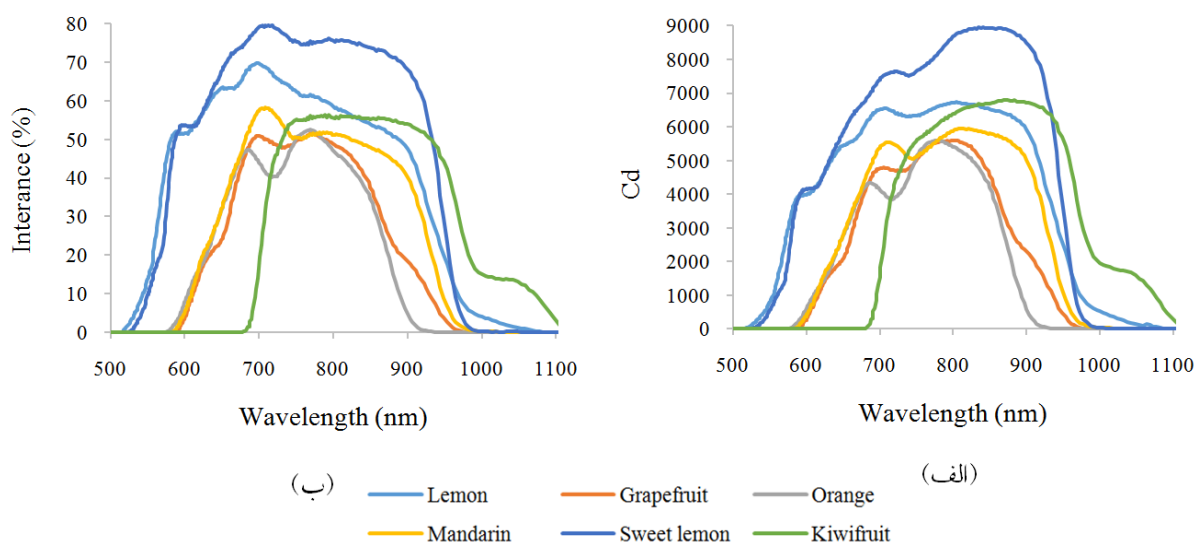


محصولات کشاورزی باشد. جذب اتفاق افتاده برای کیوی در طول موج ۸۵۰ نانومتر نیز احتمالاً ناشی از پیوندهای NH در آن است (میره‌ای، ۱۳۸۹).



شکل ۶- الف) طیف خام عبوری و ب) طیف نسبی عبوری بدست آمده از طریق سامانه اندازه‌گیری طیف NIR

در وضعیت تقابلی نیز جذب‌های نزدیک به طول موج ۷۵۰ نانومتر در مورد پرتقال، گریپ‌فروت و نارنگی مشاهده می‌شوند که می‌تواند ناشی از گروه‌های پایه CH و OH در این محصولات باشند. همچنین جذب کوچکی در نزدیکی طول موج ۵۸۰ نانومتر در مورد لیوترش و لیموشیرین مشاهده می‌شود که ناشی از رنگدانه‌های سبز کلروفیل در این محصولات می‌باشد.



شکل ۷- الف) طیف خام تقابلی و ب) طیف نسبی تقابلی بدست آمده از طریق سامانه اندازه‌گیری طیف NIR



نتیجه‌گیری

با توجه به طیف‌های به‌دست‌آمده از طریق سامانه طراحی شده و مقایسه آن‌ها با کارهای قبلی که در این زمینه انجام شده است، می‌توان از این سامانه با دقت مناسب در کارهای پژوهشی به منظور ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی استفاده‌های زیادی نمود.

منابع و مأخذ

۱. عباسی، ح. بانی، م. ناظری، م. میره‌ای، ا. ۱۳۹۳. کاربرد طیف‌سنجی فلورسانس در ارزیابی میزان تازگی برگ کاهو پس از تابش پلاسمای سرد فشار اتمسفری. دومین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسما.
۲. عباسی، ح. ناظری، م. میره‌ای، ا. بلوچ، ع. ۱۳۹۳. طیف‌سنجی LIF از میوه‌ها: مطالعه‌ی عدم وابستگی به طول موج القا. سومین کنفرانس الکترومغناطیس مهندسی ایران.
۳. میره‌ای، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی پارامترهای موثر بر میزان رسیدگی خرماي مضافتی و شاهانی توسط روش غیرمخرب اسپکتروسکوپی NIR. رساله دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران.
۴. میره‌ای، ا. محتسبی، س. صادقی، م. رفیعی، ش. ۱۳۹۱. مقایسه سه وضعیت بازتابشی، عبوری و تقابلی در تعیین غیرمخرب رطوبت خرماي مضافتی با استفاده از اسپکتروسکوپی NIR. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۳ (۲). ۱۳۳-۱۴۱.
5. Cayuela, J.A. 2008. Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia Late by reflectance. *Postharvest Biology and Technology*. Vol 47 (1), 75-80.
6. Gómez, A.H., He, Y. & 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*. Vol 77 (2), 313-19.
7. Jha, Sh.N. & Matsuoka, T. 2000. Non-Destructive Techniques for Quality Evaluation of Intact Fruits and Vegetables. *Food Science and Technology Research*. Vol 6 (4), 248-51.
8. Lammertyn, J. Peirs, A. De Baerdemaeker, J. & Nicolai, B. 2000. Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest Biology and Technology*. Vol 18 (2), 121-32.
9. Nicolai, B.M. Beullens, K. Bobelyn, E. Peirs, A. Saeys, W. Theron, K.I. & Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*. Vol 46 (2), 99-118.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



10. Schaare, P.N. & Fraser, D.G. 2000. Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharvest Biology and Technology*. Vol 20 (2), 175-84.
11. Suphamitmongkol, W. Nie, G. Liu, R. Kasemsumran, S. & Shi, Y. 2013. An alternative approach for the classification of orange varieties based on near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol 91, 87-93.
12. Williams, Ph. & Norris, K. 1987. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries* (American Association of Cereal Chemists, Inc).



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Developing a measurement system for Vis/NIR spectral acquisition of Agricultural products in transmission, reflectance and interactance modes

Abstract

Vis/NIR spectroscopy has proved its ability as a useful and practical method in nondestructive quality evaluation of agricultural products. Generally, there are three different modes for collecting the spectra of the materials called reflectance, transmittance and interactance modes. A proper selection of the mode influences significantly the ability of the developed predictive models. In this study, an experimental set up was design and developed in order to acquire the Vis/NIR spectra for the versatile types of fruits in reflectance, transmission and interactance modes. The main parts of the set up were included: adjustable light sources, a PDA spectrometer with CCD detector, a fiber optics probe and flexible chassis. The preliminary interpretation of the acquired spectra from different fruits such as lemon, grapefruit, orange, mandarin, sweet lemon and kiwifruit showed clearly the existence of absorption peaks at 670 and 975 nm in reflectance spectra which are due to the red pigments and water and carbohydrates in the corresponding fruits. Also, in transmittance and interactance spectra, the important peak of 750 nm due to the functional groups of CH and OH were obviously detectable.

Keywords: "Vis/NIR spectroscopy", "spectrometer", "fiber optic", "agricultural products"