روش کار آنالیز غیرمخرب با طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک NIR در برخی محصولات غذایی

شیرین تقی‌پور[۱]، حسین حاتمی[۲*]

اطلاعات مقاله:

نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال پنجم، شماره ۲، ۱۴۰۰
صفحات: ۳۰-۲۳
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وب‌سایت: shaajournal.msrt.ir
تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴
نشر آنلاین: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

شیرین تقی‌پور

حسین حاتمی

چکیده

روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت و تعیین تقلب در مواد غذایی و محصولات کشاورزی وجود دارد. این روش‌ها می‌تواند به صورت مخرب و یا غیرمخرب باشد. روش غیرمخرب برای تجزیه و تحلیل مواد غذایی بسیار مطلوب هستند، چرا که اغلب آنها نیاز به آماده‌سازی نمونه ندارند و یا حداقل آماده‌سازی را نیاز دارند، تجزیه و تحلیل سریع و آنلاین (برای واسطه‌های فرایند و محصولات نهایی) ارائه می‌دهند و این امکان را به کاربر می‌دهند که چندین آزمایش را روی یک نمونه واحد انجام دهد بدون اینکه نمونه پس از طیف سنجی تخریب شود. این مزایا به‌ویژه در مورد طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) صادق است. رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضای محصولات غذایی، اهمیت کشاورزی مدرن را بیش از پیش نمایان ساخته است. در سال‌های اخیر، کاربرد اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک (NIR) به‌عنوان یک روش غیرمخرب، در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی به‌منظور ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. درصد پروتئین، رطوبت، چربی، روغن، نشاسته، فیبر، اسیدهای آمینه، عیار قند ریشه از جمله پارامترهای اصلی و کیفی محصولات غذایی از جمله غلات، حبوبات، چغندر می‌باشد. همچنین این روش‌ها برای سنجش غیرمخرب گسترده‌ای از ویژگی‌های درونی میوه‌ها و سبزی‌ها مانند سفتی بافت، آسیب‌های درونی و ویژگی‌های حسی که نقش به‌سزایی در فرآوری محصولات دارد، ایفا نقش می‌کنند. در این راستا، مروری کلی بر روش کار آنالیز غیرمخرب با طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک NIR برای تعیین برخی ویژگی¬های کیفی درونی و ارزش غذایی برخی محصولات کشاورزی خواهیم داشت.

واژگان کلیدی: آنالیز غیرمخرب، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک NIR، صنایع غذایی

نویسندگان:
۱. دانشجوی دکتری باغبانی، کارشناس آزمایشگاه مرکزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
ایمیل: Sh.taghipour71@ gmail.com
تلفن: ۰۹۱۶۰۸۱۳۳۹۱
۲*. دانشیارگروه مهندسی مکانیک، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
ایمیل: hatami.h@lu.ac.ir
تلفن: ۰۹۱۲۷۲۲۰۲۷۸

*. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضای محصولات غذایی، اهمیت کشاورزی مدرن را بیش از پیش نمایان ساخته است. افزایش تقاضا باعث از میان رفتن مرزهای تجاری و حجم بالای مبادلات محصولات غذایی در جهان شده است. حضور موثر در بازار جهانی و رقابت با دیگر کشورها در صادرات محصولات نیازمند توسعه و پیشرفت در فناوری پس از برداشت می‌باشد. با توجه به این‌که کیفیت مواد غذایی به‌طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط است، سنجش کیفیت محصولات کشاورزی به عنوان یکی از فعالیت‌های مهم در تکنولوژی‌های پس از برداشت بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Moghimi et al., ۲۰۱۰). میزان قند، اسیدیته، طعم و مزه، بافت، ارزش غذایی و عیوب از جمله ویژگی‌های درونی برخی محصولات کشاورزی می‌باشند که کیفیت محصولات بر اساس آن‌ها سنجیده می‌شود. ارزیابی ویژگی‌های درونی تا حدودی مشکل‌تر از تعیین و اندازه گیری ویژگی‌های بیرونی مانند اندازه، شکل و رنگ می‌باشد (Nikbakht et al., ۲۰۱۱). کیفیت مواد غذایی از جنبه‌ها و پارامترهای مختلفی بررسی و ارزیابی می‌گردند که هدف نهایی، کسب حداکثر رضایت مصرف کنندگان است. این پارمترها به دسته‌های کلی مکانیکی، ظاهری و درونی تقسیم می‌شوند. برای اندازه‌گیری این پارامترها مختلف و بسته به نوع ماده غذایی و ویژگی‌های ماده بسته‌بندی، روش‌های مختلفی همچون ماشین‌بینایی برای بررسی پارامترهای ظاهری، فراصوتی برای تشخیص و تعیین خواص درونی و یا تشخیص اشیای خارجی در مواد غذایی بسته‌بندی شده، ماشین بویایی برای تعیین خواص بویایی، آزمون ضربه برای تعیین خواص آسابانی محصولاتی مثل غلات، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (Near Infrared) و بسیاری روش‌های دیگر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد (Jafri et al., ۲۰۱٤: Aboonajmi et al., ۲۰۱۵). طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک به‌عنوان یک روش غیرمخرب سریع و مقرون به‌صرفه کاربرد گسترده‌ای در سنجش کیفیت محصولات کشاورزی در مقایسه با سایر روش‌های غیرمخرب به خود اختصاص داده است. عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، امکان تجزیه در محل، امکان اندازه‌گیری‌های چندجزیی به‌طور همزمان و سازگاری بیشتر با شرایط زیست محیطی از دیگر مزایای این روش در مقایسه با سایر روش‌های غیر مخرب می‌باشد (Jamshidi., ۲۰۱٤).

اسپکتروسکوپی NIR نخستین بار، در کاربردهای کشاورزی توسط نوریس در سال ۱۹٦٤ و برای اندازه‌گیری رطوبت غلات بکار برده شد. NIR به‌عنوان یک روش تحلیلی و عملی غیرمخرب در گستره پهناوری از علم و صنعت به‌کار گرفته شده و پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی در طراحی سخت افزار و روش‌های جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده، توانمندی آن را دو چندان نموده است. طیف NIR یک ترکیب می‌تواند اطلاعات با ارزشی در مورد طبیعت شیمیایی و ساختار مولکولی ماده ارائه کند.با این حال همیشه استخراج داده‌ها به‌طور مستقیم از طیف ممکن نیست. همچنین طیف‌های NIR ممکن است به دلیل اثر پراکندگی، ناهمگن بودن بافت، نویز دستگاهی، اثرهای محیطی و غیره پیچیده‌تر شوند. بنابراین، روش‌های آماری چندمتغیره (شیمی‌سنجی) برای استخراج اطاعات مفید از یک طیف NIR نیاز هستند. طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک برای آنالیزهای سریع مقدار رطوبت، پروتئین و چربی سطح گسترده‌ای از مواد غذایی و کشاورزی استفاده شد (Nivolar et al., ۲۰۰۷). از نخستین پژوهش‌ها در این زمینه می‌توان به اندازه‌گیری میزان ماده خشک پیاز (Birth et al., ۱۹۸۵)، و مقدار آب قارچ (Roy et al., ۱۹۹۳) اشاره کرد. از آنجا که انتشار تابش در بافت میوه و سبزی متاثر از ریزساختار آن‌هاست، خیلی زود به توانایی اسپکتروسکوپی NIR برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مرتبط با ریزساختارها مانند سفتی (Lammerty et al., ۱۹۹۸)، آسیب‌های درونی (Clark et al., ۲۰۰۳) و ویژگی‌های حسی (Mehinagic et al., ۲۰۰٤) پی برده شد. محبوبیت طیف‌سنجی NIR به‌منظور استفاده در کاربردهای کنترل فرآیند و برخط میوه‌ها و سبزی‌ها، با توجه به پیشرفت علم کامپیوتر، روش‌های ریاضی، آماری و شیمی‌سنجی، به‌ویژه در سال‌های اخیر بیش‌تر شده است. در این راستا، پژوهش‌هایی نیز برای تعیین برخی ویژگی‌های کیفی درونی روی چغندر انجام شده است. در زمینه سنجش عیار و سایر فاکتورهای کیفی چغندر با طیف‌سنجی چندین پژوهش اجرا شده که البته اکثر آن‌ها به‌صورت مخرب بوده و نیازمند تهیه عصاره از ریشه‌هاست. در تحقیقی که بر روی عصاره ریشه‌ها انجام شد (Roggo et al., ٤۰۰۲)، مقایسه روش آزمایشگاهی WCA[1] و روش NIR در تشخیص فاکتورهایی همچون مقدار ساکاروز، مواد جامد محلول، سدیم، نیتروژن و پتاسیم انجام گرفت و نتایج نشان داد که NIR توانایی خوبی در ارزیابی شاخص Brix و عیار قند داشته است. در پژوهشی میزان ساکاروز موجود در ریشه چغندر با استفاده از طیف‌سنجی NIR در محدوده ۱٦۰۰-٤۰۰ نانومتر تعیین گردید (Pan et al., ۲۰۱۵).

کاربرد طیف سنجی در تجزیه و تحلیل مواد غذایی

کارشناسان آزمایشگاه‌های صنایع غذایی روش‌های مختلفی را برای شناسایی کیفیت مواد غذایی استفاده می‌نمایند که در کنوانسیون دارویی مواد شیمیایی مواد غذایی Codex مورد پذیرش است. تکنیک‌های طیف سنجی شاخه‌ای از این روش‌ها هستند. روش‌های طیف‌سنجی به نمونه آسیب نزده و بقایای سمی تولید نمی‌کنند. از طرفی سریع بودن و تکرارپذیری نیز عوامل مهمی در محبوبیت روش شناسایی هستند که طیف‌سنجی دارا است. کلیه تکنیک‌های تحلیلی که برای جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی و شیمیایی ماده به وسیله جذب، انتقال یا بازتابِ انرژی تابشی استفاده می‌شود، اسپکتروفتومتری نامیده می‌شود. طیف سنجی مرئی-فرابنفش یکی از این روش‌هاست که به دلیل در دسترس بودن، سادگی، انعطاف پذیری و گستردگی کاربرد به‌عنوان یکی از

[1] Wet Chemical Analysis

تکنیک‌های پرکاربرد برای آنالیز مواد غذایی شناخته شده است. از جمله این کاربردها می‌توان به تشخیص جعل، شناسایی مبدأ، شناسایی تنوع نوشیدنی‌ها و روغن ها و ... اشاره نمود. از جمله موارد بسیار پرکاربرد طیف سنجی در صنایع غذایی، تعیین رنگ‌هاست. اسپکتروفتومترها با قرار دادن یک نمونه در داخل دستگاه کار می‌کنند. نور منعکس شده از نمونه به اجزای مختلف آن تجزیه و در طیف قابل مشاهده خواهد بود. داده‌های به‌دست آمده به راحتی تجزیه و تحلیل می‌شوند تا اندازه‌گیری کمّی از رنگ نمونه انجام شود. این امر در صنایع غذایی بسیار حائز اهمیت است، زیرا مواد غذایی دارای رنگ‌های خاصی هستند که برای مصرف آن‌ها می‌بایست پروتکل‌های ویژه‌ای رعایت شود.

هدف کار: پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان تعیین میزان قند موجود در ریشه‌های چغندر بدون برش یا نمونه‌گیری و از روی پوست، مبتنی بر روش طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (در محدوده ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) با به‌کارگیری روش‌های مختلف پیش پردازش طیفی برای دستیابی به مدل واسنجی دقیق و قابل اعتماد انجام شده که می‌توان برای تعیین ریشه‌های مناسب کشت (دارای کیفیت بهتر) و به‌منظور اصلاح بذر یا رقم مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار: برای انجام طیف‌سنجی ابتدا تعداد زیادی تقریبا ۱۵۰-۱۰۰ نمونه ریشه چغندر به‌صورت تصادفی و با اندازه‌های مختلف در اواخر بهار جمع‌آوری می‌شود. پس از سرزنی و شستشوی نمونه‌ها و با توجه به هدف مورد نظر (تعیین عیار)، نمونه‌ها به‌صورت طولی و متقارن برش داده شد و برای جلوگیری از افت رطوبت، درون کیسه نایلونی قرار داده شد. نیمی از هر نمونه برش داده طی چهار روز متوالی برای طیف‌سنجی آماده می‌شوند. این نمونه‌ها تا زمان آنالیز طیف‌سنجی در یخچال نگهداری شدند. همچنین، پیش از طیف‌سنجی، وزن، طول و قطر استوایی بیشینه و کمینه نمونه‌ها به ترتیب با ترازوی دیجیتال و کولیس اندازه‌گیری شدند.

طیف‌گیری نمونه‌های چغندر

پس از انتخاب تجهیزات لازم، چیدمان مناسب اسپکتروسکوپی به‌منظور دستیابی به طیف نوری مشخص، مناسب و با کم‌ترین مقدار نویز برای تفسیر و شناسایی اورتون‌ها و جذب‌های ترکیبی در مد اندازه‌گیری تقابلی ایجاد شد. طیف‌گیری از نمونه‌ها به‌صورت تماسی انجام گرفت، به این ترتیب که ابتدا نواحی مورد نظر برای طیف‌گیری به‌صورت تصادفی تعیین شد و سپس با استفاده از پروب بازتابشی، طیف‌گیری از نمونه‌ها انجام شد. پس از ایجاد چیدمان و پیش از اسپکتروسکوپی، ابتدا طیف‌های تیره (D) و سفید مرجع (Ref[۲]) تعریف و ذخیره شدند. به این ترتیب که نخست با بستن درپوش فیبر نوری و خاموش کردن منبع نور، یک دیسک استاندارد از جنس تفلون برای دست‌یابی به طیف مرجع در مد تقابلی به‌کار گرفته شد. به این ترتیب،پس از طیف‌گیری از نمونه‌ها با بکارگیری پروب بازتابشی در حالت منبع نور روشن و با داشتن طیف‌های تیره و مرجع، نرم‌افزار اسپکترومتر میزان بازتاب را در پنهانی در عمق بافت محصول برای ارزیابی کیفی به‌صورت غیرمخرب استفاده می‌شود.

۲- روش‌های تعیین کیفیت

الف) روش‌های نوری

استفاده از نور بازتابی، عبوری و پراکنده شده به‌منظور اندازه‌گیری خواص داخلی و خارجی میوه و سایر محصولات فرآوری شده از دیر باز مطرح بوده است. با استفاده از ویژگی تغییر رنگ قابلیت بازتابش و عبوردهی نور از یک تغییر می‌کند، می‌توان از طیف‌سنجی‌های مختلف از جمله رنگ آن‌ها برای تعیین کیفیت درونی محصول استفاده نمود. روش ماشین‌بینایی (طول موج مرئی ۴۰۰ تا ۷۰۰۱ نانومتر) یکی از نخستین روش‌های ارزیابی محصولات کشاورزی بوده که امروزه به طور وسیعی در کشاورزی و ارزیابی با کمک بازتابش نور از محصولات استفاده می‌شود. در مجموع می‌توان گفت بیشترین کاربرد این تکنیک در سیستم‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی، تشخیص رنگ، عیوب ظاهری و بافت بوده است. از مزایای آن ارزان بودن و سهولت استفاده، غیرمخرب و بی‌زیان بودن، دارای سیستم کنترلی پایدار را نام برد. با این مزایا در این روش سیستم نورپردازی بایستی بسیار دقیق بوده در عین مدهای اندازه‌گیری مختلف نمایش می‌دهد. بر این اساس، طیف‌سنجی از نمونه‌های چغندر از نواحی ذکر شده و با ٤ تکرار در مد تقابلی انجام شد و میانگین ٤ طیف از هر ناحیه، به عنوان طیف معرف آن ناحیه در نمونه مورد آزمایش، در نظر گرفته شد. این اسپکترومتر، شامل سه آشکارساز در دامنه‌های طول‌موج ۱۰۰۰-۳۵۰ دارای ۵۱۲ عنصر از نوع آرایه سیلیکونی، ۱۸۳۰-۱۰۰۰ از نوع ایندیم-گالیم آرسناید (InGaAs) و ۲۵۰۰-۱۸۳۰ نانومتر از نوع InGaAs با درجه حساسیت متفاوتی نسبت به تغییرات دما و رطوبت است که محدوده طیفی ۲۵۰۰-۳۸۰ را به خوبی پوشش می‌دهد. سرعت برداشت هر منحنی طیفی ۰/۱ ثانیه می‌باشد. این اسپکترومتر از منبع نور هالوژن-تنگستن دارای توان خروجی ٦/٥ وات و ولتاژ ۱۲-۱۸CD ولت استفاده شده است. یک کاوشگر فیبر نوری تک‌شاخه مدل Optic۱۰٦٦۲۲ Ceram شامل ۵۷ فیبر نوری موازی که به‌صورت تصادفی توزیع شده‌اند، در اندازه‌گیری‌های مد تقابلی مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری که ۱۹ فیبر نوری با قطر ۱۰۰ میکرومتر، مناسب برای محدوده طیفی ۱۰۵۰-۳۵۰ و ۳۸ فیبر نوری با قطر ۲۰۰ میکرومتر، مناسب برای محدوده طیفی ۲۵۰۰-۱۰۰۰ می‌باشد. شکل ۱ چیدمان طیف‌سنجی مورد استفاده را نشان می‌دهد (شکل۱).

[۲] White Reference

شکل ۱. چیدمان طیف‌سنجی مورد استفاده

هدف کار: هدف از پژوهش حاضر پتانسیل‌سنجی تشخیص مقدار پروتئین و رطوبت با بهره‌گیری از تکنیک طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک در گندم، جو، حبوبات، خوراک دام مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌کار: طیف‌گیری از نمونه‌ها با استفاده از اسپکترومتر مدل Perten DA ۷۲۵۰ (شکل ۲) ساخت سوئد و به روش بازتابی انجام شد. این طیف‌سنج دارای دامنه کاری ۱۶۵۰-۹۵۰ نانومتر و قدرت تفکیک ۵ نانومتر است که مجهز به آرایه‌های دیودی با آشکار ساز ایندیم-گالیم آرسناید (InGaAs) می‌باشد. این روش دارای مزایای همچون، آنالیز سریع (٦ ثانیه)، بدون نیاز به آماده سازی، دقت بالا و انتقال عالی و مناسب برای دانه‌های روغنی، نمونه‌های پودر شده و مایع می‌باشد. حداقل ۲۰۰ نمونه از محصولات مختلف به‌ترتیب برای طیف‌سنجی شماره‌بندی، و در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. بعد از کالیبراسیون دستگاه، برای هر نمونه، دو اسکن از آن گرفته شد که در نهایت میانگین طیف‌های اسکن شده توسط نرافزار دستگاه به‌عنوان طیف آن نمونه لحاظ شد (Toschnig et al ., ۲۰۰۲).

برای تعیین صدمات ناشی از سرد شدن، لهیدگی و فساد، محصولات غذایی گزارش شده اما به علت کند بودن و گران بودن این روش توسعه چندانی پیدا نکرده است. روش‌های دیگر تصویربرداری ابرطیفی و استفاده از تصویربرداری با کمک دوربین‌های حرارتی برای تعیین دورنی می‌باشد. ترکیبات شیمیایی، انرژی نور را با توجه به طول موج جذب می‌کنند و متعاقباً داده‌ها از طیف‌های آزمایش شده با استفاده از طیف سنج‌ها جمع‌آوری می‌شوند. جذب کننده‌های اصلی در طول موج‌های NIR، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها، کلروفیل‌ها و پروتئین‌ها هستند. دامنه طول موج‌های قابل مشاهده مواد غذایی از ٤۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر برای انسان به عنوان رنگ مشهود است. ارزیابی غیر مخرب کیفیت غذا با استفاده از روش طیف سنجی NIR به طور گسترده‌ای برای روغن، پروتئین، ماده خشک، استحکام و کل مواد جامد محلول استفاده شده است (1E-Mesery et al ., ۲۰۱۹).

شکل ۲-انالیز نمونه‌های غلات و حبوبات با طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) مدل Perten DA7250

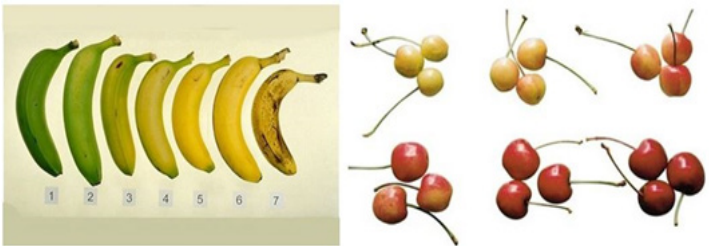
پژوهش‌های بیشتر در این زمینه به منظور دستیابی به نتایج قابل اعتماد با به کارگیری روش‌های مختلف شیمی‌سنجی نیاز است. از سوی دیگر، مزه یکی از ویژگی‌های مهم میوه‌ها و سبزی‌ها است که تاثیر بسیاری در تعیین کیفیت، بازار پسندی و جلب رضایت مشتری چه برای تازه خوری و چه در صنعت فرآوری دارد. از این رو در پژوهش جمشیدی و همکاران (۱۳۹٤) به بررسی اثر ترکیب روش‌های بازشناسی الگوی نظارت شده و نظارت نشده با اسپکتروسکوپی RIN در محدوده طیفی ۱۶۵۰-۹۳۰ نانومتر، به بررسی امکان تفکیک و طبقه‌بندی غیرمخرب واریته‌های پرتقال (والنسیا و تامسون) بر اساس شاخص مزه مبتنی بر شیرینی و ترشی و سایر پارمترهای مربوط به مزه پرداخته شد.

روش‌کار: اسپکتروسکوپی NIR بازتابی از ۳۰۰ نمونه پرتقال شامل دو واریته والنسیا و تامسون (۱۵۰ عدد از هر واریته) با استفاده از چیدمان مناسب طرای شده و با یک اسپکترومتر مول NIR -۲۰۰۰ EPP دارای قدرت تفکیک ۲/۵ نانومتر و مجهز به آشکار سازی آرایه فتودیود (PDA) انجام و طیف‌ها در محدوده طیفی ۱۶۵۰-۹۳۰ نانومتر ذخیره شدند. به منظور حذف اصلاعات ناخواسته پس زمینه و نویزهای تصادفی موجود در طیف‌ها، پس از تبدیل آن‌ها به طیف‌های جذبی log۱/R از این فیلتر میانگین‌گیر متحرک با عرض پنجره ۵ استفاده شد. نرمال‌سازی طیف‌ها نیز برای حذف اثرات حجمعی و افزاینده طیفی ناشی از پخش غیریکنواخت نور، اندازه نمونه، و تغییر فاصله نوری به روش تصحیح پخش افزاینده یا خطی‌سازی طیف هر نمونه به طیف میانیگن نمونه‌ها انجام شد (Fu et al .,۲۰۰۷).

تشخیص میزان رسیدگی میوه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی

طی دو دهه اخیر با توسعه سریع اقتصاد و بهبود سطح زندگی، سرانه مصرف میوه به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. یکی از مسائل مهم در انتخاب مصرف‌کنندگان، میزان رسیده بودن میوه ها است؛ رویکردهای سنتی برای جداسازی میوه‌ها خطای بالا دارند و وقت‌گیر هستند. تکنیک‌های طیف‌سنجی برای این کار مناسب هستند، چرا که اصولاً غیرتخریبی هستند و آسیبی به سطح میوه وارد نمی‌کنند. از طرفی سرعت در این روش‌ها بسیار بالا و میزان خطا پایین است. برای تشخیص میزان رسیدگی میوه‌ها با استفاده از طیف

سنجی Vis-NIR می بایست نرم افزار دستگاه مطابق هر گونه گیاهی خاص کالیبره شود و تبعیض میوه‌ها را بر اساس میزان مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته، ویتامینC، پلی فنول‌ها و رنگدانه‌ها انجام دهد (شکل ۳).



شکل ۳- تعیین میزان رسیدگی میوه‌ها و سبزیجات با طیف‌سنجی

روش‌های تشخیص تقلب در مواد غذایی

به طور کلی تقلب در صنایع مرتبط با غذا از طرق زیر شکل می‌گیرد:

تعویض یک محصول با چیزی با ویژگی و کیفیت متفاوت: مانند استفاده از گوشت اسب به جای گوشت گاو مخلوط کردن سایر مواد یا عناصر و عدم اعلام آنها روی برچسب محصول: مانند اضافه کردن شکر به عسل یا روغن آفتابگردان به روغن زیتون، اضافه کردن پرکننده به ادویه جات یا اضافه کردن آب سیب به آب انار ادعای تقلبی در مورد محصول: مانند زدن برچسب سیب ارگانیک به سیب معمولی ادعای دروغین در مورد مواد اضافه شده به محصول: مانند "این محصول عاری از مواد نگهدارنده یا عاری از سدیم است" برای تشخیص هر کدام از این تقلب‌ها در استانداردهای جهانی روش‌های ارزیابی مخصوصی تدوین شده است. طیف‌سنجی یکی از راه‌های تشخیص تقلب در حوزه مواد غذایی است.

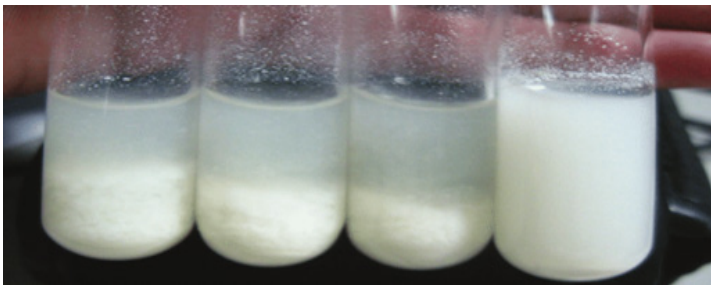
کنترل کیفیت روغن زیتون با طیف‌سنجی

روغن زیتون به دلیل داشتن محتوای بالای اسیدهای چرب غیر اشباع، ویتامین E و آنتی اکسیدان‌ها به عنوان روغن سالم شناخته می شود. در بین روغن‌های زیتون، روغن زیتون با فرآوری سرد (بکر)، بالاترین کیفیت را دارد. روغن‌های زیتون با کیفیت پایین‌تر حاوی trien و dien هستند که در نتیجه فرایند تخریب اکسیداتیو در روغن تشکیل می‌شوند. این مواد نور ماوراءبنفش را در طول موج های بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر جذب می‌کنند و موادی مانند اسیدهای چرب غیر اشباع که در روغن‌های بکر وجود دارند، در این ناحیه جذب نور ندارند. این یعنی اسپکترومتری فرابنفش روشی مناسب برای تشخیص کیفیت و اصالت روغن زیتون است. بسیاری از روش های تحلیلی برای تشخیص کیفیت روغن زیتون مانند طیف‌سنجی جرمی، کروماتوگرافی گازی، آنالیز شیمیایی و ... ابزار مناسبی برای این کار نیستند، چرا که فرایندهای زمانبری دارند.

شکل ٤- تشخیص روغن اصل و تقلبی با اسپکترومتری NIR

تجزیه و تحلیل محصولات شیر و لبنیات با طیف‌سنجی

سه فاکتور مهم در تعیین کیفیت محصولات لبنی، میزان چربی، کربوهیدرات و پروتئین است. شیر تقریباً حاوی ۳/٤ درصد وزنی چربی است. چربی شیر پیچیده‌ترین ترکیب اسیدچرب را در بین چربی‌های خوراکی دارد. تاکنون بیش از ٤۰۰ اسید چرب در چربی شیر شناسایی شده که ممکن است اشباع یا غیر اشباع باشد. با توجه به اهمیت چربی شیر روش‌های مختلفی برای تعیین محتوای آن در محصولات لبنی معرفی شده است. میزان پروتئین و کربوهیدرات محصولات لبنی نیز به نژاد، تغذیه و شرایط آب و هوایی محل زندگی دام وابسته و از عوامل مهم تعیین قیمت و کیفیت شیر و محصولات لبنی زیرمجموعه آن هستند. با توجه به اینکه طیف‌سنجی میکرو رامان قادر است چربی، پروتئین و کربوهیدرات موجود در شیر را غلظت سنجی نماید، وجود میکروسکوپ رامان در کارخانه های تولید محصولات لبنی می تواند به تعیین کیفیت و قیمت گذاری مواد ورودی کارخانه کمک به سزایی نماید. طیف سنجی رامان به دلیل سرعت بالا می تواند در این زمینه بسیار کمک کننده باشد.



شکل ۵- تجزیه و تحلیل محصولات لبنی با طیف‌سنجی رامان

طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) در عسل

بخش عمده ساختار شیمیایی عسل را کربوهیدرات‌های ساده و آب تشکیل می‌دهند، لذا این امکان وجود دارد که به منظور تقلب، با افزودن شربت‌های قندی ارزان‌تر موجود در بازار به عسل، مقدار آن را افزایش داد. نوعی از این تولید فریبکارانه که غالباً صورت می‌گیرد، بر اساس افزودن قند اینورت تهیه شده از شکر نیشکربه عسل خالص است. در پژوهشی گزارش شد که با استفاده از این روش طیف‌سنجی NIR به همراه روش آماری کمترین مربعات جزئی (Partial least squares)، نوعی تقلب در تولید عسل که با افزودن فروکتوز و گلوکوز به عسل انجام شده بود، با موفقیت تشخیص داده شد. به

عبارت دیگر، ۹۹ درصد عسل‌هایی که به شیوه مذکور در تولید آن‌ها تقلب شده بود، به درستی مشخص شدند. در این پژوهش، طیف‌های نمونه‌های عسل توسط نوعی از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک در محدوده طول موج ٤٠٠ تا ٢٤٩٨ نانومتر (nm) جمع‌آوری شد. همچنین، این روش در ۹٦ درصد موارد، نمونه‌های عسل خالص (طبیعی) را به درستی تشخیص داد. این محققین نشان دادند که ضمن عملیات آنالیز توسط دستگاه NIR مذکور، ممکن است کنترل دمایی نیز ضرورت داشته باشد (Downey et al .,۲۰۰۳).

شکل ٦ – تجزیه و تحلیل عسل با روش طیف‌سنجی NIR

تعیین تأثیر فرایند انجماد، نگهداری و یخ زدایی بر محصولات پروتئینی با طیف سنجی

ماهی، مرغ و گوشت فراورده‌های غذایی بسیار قابل فساد هستند و کیفیت آنها پس از انجماد و نگهداری نیز تغییر می‌کند. این تغییر کیفیت در همه اجزای آنها مانند پروتئین‌ها، اسیدهای چرب اشباع یا اشباع نشده، ویتامین‌ها و مواد معدنی رخ می‌دهد. به همین دلیل نیاز به روشی که بتواند با شناسایی دقیق، میزان تغییر کیفیت را قبل و بعد از فرایندهای نگهداری تشخیص دهد احساس می‌شود. روش‌های سنتی مانند ارزیابی حسی، آنالیز میکروبی، کروماتوگرافی و اندازه گیری‌های شیمیایی به دلایل متفاوت از جمله غیر دقیق بودن، زمانبر بودن و هزینه بر بودن قابل اتکا نیستند. طیف‌سنجی رامان قادر است اطلاعات ساختاری در مورد سیستم های جامد پیچیده مانند پروتئین های غذایی ارائه دهد. این تکنیک طیف سنجی یک روش قدرتمند و غیر تهاجمی برای مطالعه تغییرات در ساختار، تجزیه و تحلیل آمید، تغییرات پیوند CC و تغییر در پروتئین (تریپتوفان، میوفیبیلر، بافت همبند، تیروزیل و باند آمینوئیدهای آلیفاتیک) است. این تغییرات ممکن است در نتیجه فرایند حفاظت مانند انجماد، بسته بندی، نمک سود کردن و ... رخ دهد و پس از ذوب شدن برگشت ناپذیر هستند.

شکل ۷- تشخیص اثر انجماد بر کیفیت مواد پروتئینی

کالیبراسیون در روش RIN

کالیبراسیون فرآیند ایجاد یک مدل پیش‌بینی اسپکتروشیمیایی است. در اصل، این فرآیند اطلاعات شیمیایی موجود در ویژگی‌های طیفی یک ماده را بر حسب اطلاعات شیمیایی (یا فیزیکی) که به وسیله روش‌های آزمایشگاهی مرجع تعیین شدند. گزارش می‌کند. هدف، استخراج یک معادله پیش¬بینی است، به طوری که کاربرد بتواند ترکیب (جزء) مورد نظر خود را با استفاده از روش RIN به تنهایی و با کنار گذاشتن روش‌های آزمایشگاهی تعیین کیفیت کند. علم شیمی، حجم و سرعت مدیریت داده‌ها به وسیله کامپیوتر را برای استخراج اطلاعات شیمیایی مفید از نمونه‌ها با استفاده از روش‌های ریاضی و آماری پیشرفته بکار برده‌اند.

کالیبراسیون شامل هر دو مراحل فیزیکی و الکترونیکی است. این فرآیند با بدست آوردن یک مجموعه نمونه از ماده مورد نظر مثل خشکبار (پسته، فندق، گردو، بادام) شروع می‌شود. مجموعه کالیبراسیون باید به خوبی توزیع گردد، به گونه‌ای که نماینده طیف وسیعی از تغییرات مورد انتظار در ترکیب (جزء) مورد نظر باشد. این تغییرات می‌تواند ۱)، زمانی، به¬عنوان مثال تاریخ و یا زمان جمع‌آوری ۲) مکانی، به عنوان مثال سایت یا موقعیت جغرافیایی مختلف و ۳) بیولوژیکی یعنی رقم و یا مرحله رشد باشد. هنگامی که داده‌های طیف و داده‌های مربوط به روش آزمایشگاهی مرجع به دست آمد و تطبیق داده شد، روش‌های آماری و ریاضی جهت ایجاد معادله کالیبراسیون انجام می‌شود. سپس اعتبار سنجی معادله برای ارزیابی توانایی پیش‌بینی معادله کالیبراسیون انتخاب شده، صورت می‌گیرد. اعتبارسنجی، مستلزم پیش‌بینی با یک مجموعه مستقل از نمونه‌ها، یعنی از یک جامعه متفاوت نسبت به مجموعه کالیبراسیون با مقادیر مرجع شناخته‌شده و یا حذف تعداد معینی از نمونه‌ها از مجموعه کالیبراسیون و عدم استفاده آن‌ها در فرآیند کالیبراسیون است. خطای استاندارد پیش بینی (SEP) برای قضاوت در مورد توانایی پیش‌بینی یک معادله کالیبراسیون استفاده می‌شود. همانند اشتباه معیار کالیبراسیون (SEC)، این (PES) نیز تا حد امکان باید کوچک و مشابه SEC باشد. اعتبارسنجی متقابل که به موجب آن هر نمونه یا یک نسبت از پیش تعیین‌شده از نمونه‌ها، به طور متوالی از مجموعه کالیبراسیون حذف شده و به وسیله یک معادله توسعه‌یافته با نمونه‌های باقی‌مانده پیش‌بینی می‌شود نیز راه دیگری برای ارزیابی عملکرد معادله است. این روش به عنوان بهترین برآوردکننده از قابلیت پیش‌بینی یک معادله NIR توصیف شده است. اگر جامعه تعریف شده، تنوع مورد انتظار را در رزیم غذایی در معادله نشان دهد، پس اعتبار سنجی متقابل، بهترین اعتبارسنجی خواهد بود.

۳-نتیجه‌گیری

کیفیت و ایمنی مواد غذایی پارامتر بسیار مهم در انتخاب و خرید و مصرف مواد غذایی از جانب مشتریان بوده و افزایش کیفیت و عدم وجود تقلب در

محصولات کشاورزی و دامی و فرآورده‌های آن‌ها از جانب تولیدکنندگان و فروشندگان، ارتباط مستقیمی با مقدار و حجم فروش آنها خواهد داشت. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد، طیف‌سنج مادون قرمز می‌تواند به عنوان یک روش قدرتمند برای بازرسی مواد غذایی و کشاورزی به کار رود. کاربرد طیف‌سنج مادون قرمز تشخیصی در کیفیت‌سنجی صنایع غذایی از تعیین رسیدگی و زمان صحیح برداشت میوه تا تشخیص میزان پارمترهای کیفی در داخل مواد غذایی بسته‌بندی شده و کیفیت گوشت یا تخمین تازگی تخم‌مرغ و..... به صورت غیر مخرب و در کمترین زمان قابل حصول باشد. نتایج بررسی‌های گذشته نشان می‌دهد فراصوت برای ارزیابی و تشخیص کیفی محصولات کشاورزی –مواد غذایی با بیشترین دقت و در کمترین زمان جایگزینی مطمئن نسبت به روش‌های پر هزینه موجود باشد.

٤- منابع

[1]. Aboonajmi, M., Jahangiri, M., & Hassan-Beygi, S. R. 2015. A Review on Application of Acoustic Analysis in Quality Evaluation of Agro-food Products. Journal of food processing and preservation, 39(6), 3175-3188

[2]. Butz, P., C. Hofmann, and B. Tauscher. 2005. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. Journal of Food Science. 70 (9), 131-141.

[3]. Clark, C. J., McGlone, V. A. and Jordan, R. B. 2003. Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 28(1), 87- 96

[4]. Jafari, A.B., Fazayeli, A., Zarezadeh, MR. 2014. Estimation of orange skin thickness based on visual texture coarseness. Biosystems engineering 117, 73-82.

[5]. Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E. and Ghassemian, H. (2014) Effect of Spectral PreProcessing Methods on Non-Destructive Quality Assessment of Oranges Using NIRS. Journal of Agricultural Engineering Research. 15(2), 27-44.

[6]. Lammertyn, J., Nicolaï, B. M., Ooms, K., De Smedt, V. and De Baerdemaeker, J. (1998). Nondestructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 41(4), 1089–1094.

[7]. Moghimi, A., Aghkhani, M. H., Sazgarnia, A. and Sarmad, M. 2010. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of-

kiwifruit. Biosystems Engineering, 106(3), 295-302.

[8]. Nicolar, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A.,Saeys, W., Theron, K. I. and Lammertyn, J.(2007a). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology, 46(2), 99-118.

[9]. Nikbakht, A. M., Tavakkoli Hashtjin, T., Malekfar, R., and Ghobadian, B. (2011). Nondestructive determination of tomato fruit quality parameters using Raman spectroscopy. Journal of Agricultural Science and Technology, 13(4), 517-526.

[10]. Roggo Y., Duponchel, L., and Huvenne, J.P. (2004).Quality Evaluation of Sugar Beet (Beta vulgaris) by Near-Infrared Spectroscopy. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52(5), 1055-1061.

[11]. Totschnig, G., Winter, F., Pustogov, V., Faist, J., and Müller, A. (2002). Mid-infrared external-cavity quantum-cascade laser. Optics letters, 27(20), 1788-179.

Journal of New Approaches in Iranian Scientific Laboratories

ILRS
Iranian Laboratory Research Society

Methods of non-destructive analysis by near NIR infrared spectroscopy in some food products

Shirin Taghipour[1], Hossein Hatami[2*]

Article Info:

NAISL
Volume 5, Number 2, 2021
Pages: 23-30
Print ISSN: 2588-6401
Online ISSN: 2588-641X
Website: shaajournal.msrt.ir
Date Received: 2021/04/17
Acceptance date: 2021/09/05
Online publishing: 2022/08/17

Shirin Taghipour

Hossein Hatami

Abstract

Spectroscopic methods have been very successful in controlling the quality of the food industry. These methods are very desirable for food analysis because most of them do not require sample preparation or require minimal preparation, providing fast and online analysis (for process intermediates and final products). These allow the user to perform several tests on a single sample without destroying the sample after spectrometry. These advantages are especially true for near-infrared (NIR) spectroscopy. The increasing growth of the population and the increase in the demand for food products have made the importance of modern agriculture more visible. In recent years, the application of near-infrared spectroscopy (NIR) as a non-destructive method, in combination with chemometric methods, has been widely considered to evaluate the quality of agricultural and food products. The percentage of protein, moisture, fat, oil, starch, fiber, amino acids, root sugar level are among the main quality parameters of food products such as grains, legumes, and beets. Also, these methods play a role in the non-destructive measurement of a wide range of internal characteristics of fruits and vegetables, such as texture firmness, internal damage, and sensory characteristics that play a significant role in product processing. In this regard, we will have an overview of the non-destructive analysis method with NIR near-infrared spectroscopy to determine some internal quality characteristics and nutritional value of some agricultural products.

Key Words: .

Authors:
1. Ph. D. Candidate, Department of Horticulture, Central laboratory expert of Lorestan University, Khorramabad, Iran.
E-mail: Sh.taghipour71@ gmail.com
Tel: 09160813391
2*. Associated professor, Department of Mechanical Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
E-mail: hatami.h@lu.ac.ir
Tel: 09127110278
*.Corresponding author