نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

مروری بر کاربردهای ماشین بینایی، بینی الکتریکی و طیف سنجی مادون قرمز در ارزیابی غیر مخرب کیفیت پنیر

حسین نوری[۱*]. مهدی گلی زاده[۲]. محمود امید[۳].شاهین رفیعی[۳]

۱ ، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران ، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: h.nuri@ut.ac.ir

چکیده

پنیر از جمله فراورده‌های لبنی است که به دلیل داشتن مواد معدنی و مغذی، یک منبع غذایی مهم به شمار می‌آید. چون تضمین کیفی، یکی از مهم‌ترین اهداف هر صنعتی می‌باشد لذا نیازمند روشی معقول، کم‌هزینه و غیر مخرب برای سنجش کیفیت این محصول می‌باشیم. هدف این مقاله مروری بر روش‌های معمول و روشهای غیر مخرب شامل ماشین‌بینایی، بینی الکتریکی و طیف سنجی مادون قرمز (NIR) جهت ارزیابی کیفیت پنیر می‌باشد. سیستم‌های ماشین‌بینایی بر مبنای تصویربرداری از محصول قادر به اندازه‌گیری تغییر رنگ در طی دوره‌ی رسیدن، ارزیابی قابلیت گداختن، تعیین مساحت سوراخ‌های سطح و دیگر ویژگی‌های هندسی پنیر می‌باشند. همچنین استفاده از فناوری بینی الکتریکی برای درجه‌بندی پنیر با توجه به زمان بلوغ، ارزیابی کیفیت و درجه‌بندی بازاری، بررسی تغییرات طی رسیدن و ماندگاری پنیر گزارش شده است. طیف سنجی NIR بر اساس اصول اپتیکی، توانایی اندازه‌گیری مواد آلی و معدنی، ترکیبات فرار و ویژگی‌های حسی در پنیر و همچنین تعیین اسیدهای چرب و آمینه را دارد. نتایج این پژوهش روشنگر این است که استفاده از روش‌های غیرمخرب در ارزیابی کیفیت پنیر، قابل قیاس با روش‌های مخرب نبوده و روزبه‌روز در حال افزایش است.

واژه‌های کلیدی: پنیر، ارزیابی کیفیت، ماشین‌بینایی، بینی الکتریکی، طیف سنجیNIR

مقدمه

پنیر از جمله محصولات طبیعی است که ارزش غذایی فراوانی دارد. ارزش غذایی پنیر در درجه اول مربوط به مواد پروتئینی آن است. این ماده غذایی مغذی و انرژی‌زا بوده و حاوی کلسیم، منیزیم، گوگرد و همچنین ویتامین‌های B_1 و B_{12} می‌باشد. در

صنعت انواع مختلف پنیر تولید می‌شود که از عمده‌ترین آن می‌توان به پنیر چدار[۱]، امنتال[۲]، پکورینو [۳] و موزارلا[۴] اشاره کرد(حرفشنو و همکاران، ۱۳۹۳).

کیفیت یعنی مجموعه‌ای از تمام ویژگی‌هایی که وقتی با هم ترکیب می‌شوند، می‌تواند باعث رضایت مشتری شود. بدیهی است که همواره نگرانی‌هایی درباره ایمنی و مسائل مربوط به کیفیت این محصول وجود دارد(Shewfelt and Bruckner, 2000). ارزیابی کیفیت اغلب با ویژگی‌هایی از قبیل ظاهر، بو، بافت و مزه عینی می شود، که مکررا توسط بازرسان انسانی آزمایش می شوند. به طور معمول کیفیت پنیر شامل ظاهر (اندازه، رنگ، بدون نقض بودن و غیره)، مزه (عطر، طعم، لذیذ بودن)، بافت، استحکام و ارزش غذایی (پروتیین، ویتامین‌ها، مواد معدنی)، می‌باشد(Francis, 1980). این تنوع در کیفیت که به نوع شیر مورد استفاده و تفاوت در فرایند تولید وابسته است، منجر به تفاوت در شرایط نگه‌داری (دما، رطوبت، مدت زمان ذخیره سازی و غیره) می‌شود(Coker et al., 2005). اگرچه همگن نبودن کیفیت و کیفیت پایین این محصول سبب بیماری نمی‌شود، ولی تاثیرات نامطلوب اقتصادی و رقابت و تقاضای بازار و همچنین شرایط نگه‌داری متفاوت، موجب شده است که ارزیابی کیفیت و درجه‌بندی آن بیشتر مورد توجه قرار گیرد(Francis, 1980). پنیر نیز مانند سایر مواد غذایی و محصولات کشاورزی به دو روش مخرب[۵] و غیر مخرب[۶] تست می‌شود. روش مخرب در آزمایشگاه انجام شده و نمونه را مورد تجزیه و تحلیل شیمیایی قرار می‌دهد. به طوری که نمونه تست شده دیگر قابل مصرف نیست. ولی در روش غیر مخرب به محصول آسیب نرسیده و نمونه بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر مزایای روش غیر مخرب نسبت به روش مخرب می‌توان به هزینه کمتر، نیاز کمتر به افراد متخصص، صرفه‌جویی در وقت و غیره اشاره کرد. مهمترین سامانه‌های غیر مخرب در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و صنایع غذایی، ماشین‌بینایی[۷]، بینی الکتریکی[۸]، فراصوت[۹]، طیف‌سنجی مادون قرمز[۱۰] ((IR)) می‌باش Jha, 2010).

در این مقاله سامانه‌های غیر مخرب ماشین‌بینایی، بینی الکتریکی و طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک[۱۱] (NIR) و مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته شده با این روشها جهت ارزیابی کیفیت پنیر بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است.

[1] Cheddar cheese
[2] Emmental
[3] Pecorino
[4] Mozzarella
[5] Destructive
[6] Nondestructive
[7] Machine vision
[8] Electronic Nose
[9] ultrasonic
[10] Infrared spectroscopy
[11] Near Infrared spectroscopy

ماشین‌بینایی در ارزیابی کیفیت پنیر

ماشین بینایی

یک سامانه ماشین‌بینایی شامل سه بخش اصلی گرفتن تصویر، پردازش و تجزیه و تحلیل آن می باشد و از دو بخش سخت افزاری و نرم‌افزاری تشکیل می‌شود(Timmermans, 1998). عملکرد دستگاه‌های ماشین‌بینایی شبیه فعالیت هماهنگ چشم و مغز انسان بوده و معمولا شامل پنج جزء اساسی: واحد نورپردازی، حسگر یا دوربین، رقومی کننده[12]، رایانه و نمایشگر می باشد.

سامانه‌های ماشین‌بینایی همانند چشم انسان به شدت تحت تأثیر سطح و کیفیت نورپردازی قرار می‌گیرند و بخش نورپردازی تاثیر زیادی روی کیفیت و وضوح تصویر می‌گذارد و نیز نقش مهمی در کیفیت و بازده دستگاه ایفا می‌کند(Jha, 2010). در ماشین‌بینایی عمل تصویربرداری اغلب با استفاده از یک دوربین CCD انجام می‌شود. فناوری‌های اخیر دوربین‌های دیجیتال را ترجیح می‌دهند زیرا تصاویر گرفته شده با این دوربین‌ها ویژگی‌های تصویر را با حداقل خطا، حفظ می‌کنند.

سامانه‌ی ماشین بینایی با نام پردازش تصویر نیز معرفی می‌شوند. به مجموعه عملیات و پردازش‌هایی که در راستای آنالیز تصویر انجام می‌شود، علم پردازش تصویر می‌گویند. پردازش تصویر شامل سه مرحله می‌باشد. گرفتن تصویر و پیش‌پردازش آن که به عنوان پردازش سطح پائین شناخته می‌شوند. پردازش سطح متوسط، شامل قطعه‌بندی و ارائه تصاویر و توصیف آن بوده و پردازش در سطح بالا با هدف تشخیص و تفسیر تصاویر می‌باشد که به طور معمول با استفاده از دسته‌یابی‌های آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام می‌شود این مراحل اطلاعات لازم برای پردازش یا کنترل ماشین، جهت درجه‌بندی را فراهم می‌آورند(Gonzalez and Woods, 2002; Raji et al., 2000).

کاربرد ماشین بینایی در ارزیابی کیفی پنیر

در تحقیقی روش ماشین بینایی برای تعیین تغییر رنگ دو پنیر چدار و موزارلا در طی حرارت دادن در فرایند تولید توسعه داده شد(Wang and Sun, 2003). تصاویر با استفاده از یک دوربین گرفته شده و برای انجام مراحل بعدی در قالب فضای رنگی RGB ذخیره شدند. از تصاویر بدست آمده ارزش خاکستری[13] استخراج شده و شاخص قهوه‌ای شدن، نسبت ارزش خاکستری قبل و بعد از پخت تعریف گردید. همچنین آنالیز آماری[14] با استفاده از خطی عمومی[15] انجام گرفت. تأثیر درجه حرارت بین ۲۰۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان بین ۲۰-۰ دقیقه در تغییر رنگ دو پنیر قابل توجه بود. با افزایش درجه حرارت، تغییر رنگ در پنیر موزارلا در ۴-۲ دقیقه اول و پنیر چدار در ۱۲-۸ دقیقه اول خطی بود. تغییرات رنگ در دمای ۱۶۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بسیار زیاد گزارش شده است (Wang and Sun, 2003).

[12] Digitizer
[13] Grey value
[14] Statistical analysis
[15] General linear

از این روش در مطالعه‌ای دیگر برای ارزیابی قابلیت گداختن[۱۶]، در پنیرهای چدار و موزارلا استفاده شده است (Wang and Sun, 2002). آزمایشات در درجه حرارت بین ۲۰۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان بین ۲۰-۰ دقیقه انجام شد. قابلیت گداختگن با درجه گداختن[۱۷] و نرخ گداختن[۱۸] بیان می‌شود. بعد از اینکه مساحت قطعه پنیر از تصاویر استخراج شد، درجه‌ی گداختن با استفاده از نسبت مساحت قبل و بعد از حرارت دادن محاسبه شد. حداکثر میزان گداختن در دمای ۱۶۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. همچنین قابلیت گداختن در پنیر چدار با سرعت بیشتر از موزارلا اتفاق می‌افتد(Wang and Sun, 2002).

در تحقیق دیگری تأثیر ابعاد پنیر در قابلیت گداختن، مورد بررسی قرار گرفت. تست با پنیر چدار و موزارلا انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که این قابلیت با افزایش ابعاد افزایش داشته است(Wang and Sun, 2002).

با توجه به اینکه مساحت سوراخ‌های سطح پنیر با میزان تولید گاز از آن هنگام تولید پنیر رابطه‌ی مستقیم دارد، یک سامانه‌ی ماشین بینایی برای اندازه‌گیری مساحت اشغال شده توسط سوراخ‌ها در سطح پنیر توسعه داده شد. نتایج بدست آمده از کاربرد این سامانه برای پنیرهای چدار، امنتال و راگیوسانو[۱۹] نشان داد که می‌توان از این روش به عنوان یک ابزار کنترل کیفیت در تولید پنیر استفاده کرد(Caccamo et al., 2004).

همچنین استفاده از فناوری ماشین بینایی برای تشخیص ویژگی‌های هندسی خرده پنیر[۲۰] و اندازه‌گیری مساحت اشغال شده روی سطح پنیر توسط کریستال لاکتات کلسیم[۲۱] گزارش شده است (Ni and Guansekaran, 2004; Rajbhandari and Kindstedt, 2005).

بینی الکتریکی در ارزیابی کیفیت پنیر

بینی الکتریکی

بوها در واقع مولکول‌های فراری هستند که از سطح نمونه به اطراف پراکنده می‌شوند. بینی الکتریکی ابزاری است که حس بویایی سیستم‌های بیولوژیکی[۲۲]، مانند انسان و حیوان را شبیه‌سازی می‌کند. لذا از این وسیله برای تشخیص بوهای پیچیده استفاده می‌شود. دستگاه‌های بینی الکتریکی معمولا از سه بخش شامل سامانه‌ی نمونه‌برداری، سامانه‌ی تشخیص و سامانه‌ی پردازش داده‌ها تشکیل شده است.

[۱۶] Melting property
[۱۷] Melting degree
[۱۸] Melting rate
[۱۹] Ragusano
[۲۰] cheese shred
[۲۱] Calcium lactate crystal
[۲۲] Biological Systems

سامانه‌ی نمونه‌گیری یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در نتیجه‌ی کار یک دستگاه بینی الکتریکی می‌باشد. برای هدایت ترکیبات فرار موجود در فضای بالای نمونه از روش‌های تصفیه و حبس کردن[۲۳]، فضای فوقانی استاتیک[۲۴]، میکروفاز جامد[۲۵] و غیره استفاده می‌شود. قسمت تشخیص دهنده، همان حسگرها هستند. از مهم‌ترین حسگرهای به کار رفته در بینی الکتریکی، می‌توان به حسگرهای پلیمر هادی[۲۶]، حسگر نیمه هادی اکسید فلزی[۲۷] (MOS)، موج صوتی توده‌ای[۲۸] (BAW) و حسگر نوری[۲۹] اشاره کرد. یکی از پرکاربردترین این حسگرها، از نوع MOS می‌باشد که این حسگرها از یک ماده‌ی سرامیکی پوشیده شده با یک فیلم نازک از اکسید فلز نیمه هادی مانند اکسید قلع[۳۰] (SnO_2)، تشکیل شده است. تغییر مواد فرار، واکنش-های اکسایش را در سطح حسگر سبب شده که در نتیجه، موجب تغییر مقاومت عبوری از حسگر می‌شود(Jha, 2010).

واکنش‌هایی که حسگرها با عناصر و ترکیبات موجود در فضای نمونه می‌دهند، به صورت سیگنال‌هایی ثبت می‌شوند. پیش-پردازش ویژگی‌های مورد نیاز از پاسخ حسگرها را استخراج کرده و اطلاعات لازم را برای آنالیزهای تشخیص الگو[۳۱] آماده می‌کند(Pearce et al., 2003).

پرکاربردترین روش‌های آنالیز الگو، آنالیز مؤلفه‌های اصلی[۳۲] (PCA) و شبکه های عصبی مصنوعی[۳۳] (ANN) می‌باشد. PCA، وسیله‌ای برای کاهش درجه‌ی پیچیدگی طیفی از داده‌ها با حرکت به سوی کاهش پیچیدگی داده‌ها و انتخاب پراهمیت‌ترین مولفه ها است.

هنگامی که بینی الکتریکی رایحه‌ای را بو می‌کشد، تغییراتی در وضعیت حسگر ایجاد می‌شود که در اثر آن، مقاومت الکتریکی حسگر تغییر می‌کند. تغییرات مقاومت الکتریکی برای آنالیزهای دقیق‌تر به یک الگوریتم تشخیص الگو[۳۴] فرستاده می‌شود. از آنجا که هر یک از حسگرهای واقع در آرایه واکنش ویژه‌ای دارد هر حسگر یک الگوی بو برای هر رایحه ایجاد می‌کند. داده-های جمع‌آوری شده از حسگرها برای ایجاد یک پایگاه داده که مورد نیاز برای آموزش ماشین‌بویایی است مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های تشخیص الگو از این اطلاعات برای انجام عملیات شناسایی و دسته‌بندی استفاده می‌کنند. تکنیک‌های تشخیص الگو، اطلاعات دریافت شده از حسگر را تجزیه و تحلیل کرده و تغییرات مقاومتی آرایه‌ی حسگر را به مجموعه‌های پرقدرتی از اطلاعات تبدیل می‌کنند. با انتخاب روش صحیح آنالیز الگو، بینی الکتریکی می‌تواند برای شناسایی ترکیبات رایحه‌های گوناگون، انجام آنالیزهای ادراکی اولیه و حتی دسته‌بندی رایحه‌های ناشناخته به کار آید (Cho and Kang, 2011).

---

[۲۳] Purge and trap
[۲۴] Static headspace
[25] Solid-phase micro
[26] Conducting polymer
[27] Metal oxide sensor
[28] Bulk acoustic wave
[29] Optical sensor
[30] Tin oxide
[31] Pattern recognitionó analysis
[32] Principal components analysis
[33] Artificial Neural Networks
[34] Pattern recognition techniques

کاربرد بینی الکتریکی در ارزیابی غیر مخرب کیفیت پنیر

در تحقیقی از بینی الکتریکی برای درجه‌بندی پنیر پکورینو با توجه به زمان بلوغ استفاده گردید. بینی الکتریکی بر اساس مجموعه‌ای از شش حسگر MOS مهیا شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از PCA و ANN انجام شد و نتایج نشان داد که استفاده از روش PCA عملکرد بهتری دارد(Cevoli et al., 2011).

در مطالعه‌ای دیگر از بینی الکتریکی بر پایه‌ی حسگرهای MOS، برای ارزیابی کیفیت و درجه‌بندی بازاری[۳۵] پنیر چدار استفاده شد. نمونه‌ها داخل یک ظرف شیشه‌ای کوچک قرار داده شد و پس از به تعادل رسیدن فضای گازی بالای نمونه با استفاده از یک سرنگ گازبندی[۳۶] شده نمونه‌گیری انجام شد. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های PCA و آنالیز تفکیک کننده حداقل مربعات جزئی[۳۷] استفاده گردید(Oriordan and Delahunty, 2003).

همچنین برای بررسی تغییرات در طول بلوغ پنیر آبی دانمارکی[۳۸]، استفاده از بینی الکتریکی با حسگرهای MOS، گزارش شده است. ویژگی‌های پاسخ‌های دریافت شده از حسگرها زمانی که در تماس با فضای فوقانی نمونه قرار داشتند، با استفاده از آنالیز چند متغیره[۳۹] مدل شد. خطای کم در نتایج بدست آمده، نشان‌دهنده‌ی توانایی بالای بینی الکتریکی در این مورد می‌باشد(Trihaas, 2005).

در پژوهش‌هایی مشابه از این سامانه، برای تشخیص پنیر امتال بر مبنای مدت زمان نگه‌داری و منشأ جغرافیایی تولید، بررسی ماندگاری پنیر کریشنزا[۴۰] و تشخیص منشأ جغرافیایی پنیر آسیاگو[۴۱] استفاده شده است (Gursoy et al., 2009; Benedetti et al., 2005; Benedetti and Mannino, 2007).

طیف سنجی NIR در سنجش کیفیت پنیر

طیف سنجی NIR

محدوده طول موج مادون قرمز ما بین (IR) nm ۱۰^۶-۷۸۰ از امواج الکترومغناطیس می‌باشد که بر حسب نزدیکی آن به نور مرئی به سه بخش فروسرخ نزدیک[۴۲] NIR، فروسرخ میانه[۴۳] (MIR) و فروسرخ دور[۴۴] (FIR) تقسیم می‌شود. انرژی فوتون‌های

[۳۵] Market classification
[۳۶] Gas-tight syringe
[۳۷] partial least squares-discriminant analysis
[۳۸] Danish blue cheese
[۳۹] Multivariate analysis
[۴۰] Crescenza cheese
[۴۱] Asiago cheese
[۴۲] Near infrared
[۴۳] Mid-infrared
[۴۴] Far infrared

این نواحی در اتم‌ها و گروه‌هایی که پیوند کوالانسی[۴۵] دارند باعث ارتعاشات کششی (تغییر در طول پیوند) و خمشی (تغییر در زاویه‌ی پیوند) می‌شود(موثق، ۱۳۸۷؛ جوانبخت و همکاران، ۱۳۸۶).

به نقل از جمشیدی اسپکتروسکوپی[۴۶]، مطالعه‌ی تجربی طیف‌های جذبی یا نشری است. اسپکتروسکوپی NIR در مورد برهم-کنش تابش NIR با ماده بحث می‌کند که برای این منظور، اغلب از طیف‌های جذبی استفاده می‌شود. طیف NIR یک ترکیب می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد ساختار مولکولی و طبیعت شیمیایی ماده ارائه کند. به گونه‌ای که انرژی هر پیک[۴۷] که روی طیف ظاهر می‌شود با فرکانس ارتعاشی قسمتی از مولکول، مطابق است. البته همیشه استخراج داده‌ها به طور مستقیم از طیف-ها ممکن نیست. وجود اورتون‌ها و جذب‌های ترکیبی در طیف‌ها سبب ایجاد داده‌های اضافی و یا کم شدن داده‌های طیفی می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره برای استخراج اطلاعات مفید نیاز است(Nicolai et al., 2007; جمشیدی، ۱۳۹۱).

تجهیزات اسپکتروسکوپی NIR، اسپکتروفوتومتر[۴۸]، فیبرهای نوری[۴۹] و مدهای اسپکتروسکوپی[۵۰] می‌باشد. دستگاهی که اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری‌های عبوری یا بازتابی نمونه را به شکل یک طیف جذبی فراهم می‌کند، اسپکتروفوتومتر نامیده می‌شود. به طور کلی اسپکتروفوتومترها شامل یک منبع نور، تکفام‌ساز و آشکارساز هستند. منبع‌های نوری از نوع نوارگسترده [۵۱](حرارتی) و نواربارریک[۵۲] (غیر حرارتی) بوده که منبع‌های حرارتی تابش را در یک ناحیه‌ی طیفی پیوسته تولید می‌کنند(Wang and Paliwal, 2007). کار تکفام‌ساز جدا کردن نوار باریکی از طول موج‌ها از یک طیف پیوسته است. به عبارت دیگر تکفام ساز، وسیله‌ای است که نور چند رنگ را به نور تک‌رنگ تبدیل می‌کند(جوانبخت و همکاران، ۱۳۸۶). آشکارسازها وسایلی هستند که انرژی تابشی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند و به دو نوع حرارتی و فوتونی تقسیم می شوند(Wang and Paliwal, 2007). فیبرهای نوری دسته‌ای از مواد هستند که در آنها نور به دلیل شکست از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر، بدون آن که مسیر مستقیمی طی کند، منتقل می‌شود. این مواد به شکلی بوده که در ناحیه‌ی طول موج مورد نظر، شفاف باشند(جمشیدی، ۱۳۹۱).

به نقل از جمشیدی بر اساس توزیع تابش در یک نمونه بیولوژیک از سه مد اندازه‌گیری مختلف برای اسپکتروسکوپی NIR استفاده می شود که عبارتند از: مد بازتاب، مد عبور و مد برهم‌کنش. در مد بازتاب، منبع تابش و آشکارساز با یک زاویه‌ی ویژه نسبت به هم و در یک طرف نمونه قرار می‌گیرد(Schaare and Fraser, 2000). مد عبور برای اندازه‌گیری پرتوهای عبور کرده از نمونه و به دو شیوه‌ی عبورکامل و عبورنیمه به کار گرفته می‌شود. در مد عبورکامل، منبع نور درست در مقابل

[۴۵] Covalent Bond
[۴۶] Spectroscopy
[۴۷] Peak
[۴۸] Spectrophotometer
[۴۹] Optical Fibers
[۵۰] Spectroscopy modes
[۵۱] Broadband
[۵۲] Narrowband

آشکارساز و در سمت دیگر نمونه قرار داده می‌شود. و در در مد عبورنیمه راستای منبع تابش و آشکارساز عمود بر یکدیگر هستند(Noh and Choi, 2006). در مد برهم‌کنش، منبع نور و آشکارساز هر دو در یک طرف نمونه به شکل موازی با یکدیگر و به گونه‌ای قرار می‌گیرد که نور تابشی از بازتاب آینه‌ای نمی‌تواند به طور مستقیم به آشکارساز برسد(Nicolai et al., 2007; جمشیدی، ۱۳۹۱).

کاربرد NIR در ارزیابی کیفیت پنیر

در پژوهشی از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) برای بدست آوردن در صد شیر (گاو، بز و میش) به کار رفته در پنیر استفاده شده است. جهت تولید نمونه‌های پنیر ۲۲۴ نمونه شیر (۱۱۲ نمونه شیر از فصل زمستان و ۱۱۲ نمونه از فصل تابستان) به کار گرفته شد. و برای تحلیل داده‌های طیفی از مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی اصلاح شده[53] (MPLS) استفاده گردید. ضریب همبستگی[54] و درصد خطای استاندارد پیش‌گویی[55] به ترتیب برای شیر گاو ۰/۸۳۴ و ۱۱/۶، برای شیر بز ۰/۸۷۱ و ۹/۸ و برای شیر میش ۰/۸۸ و ۱۰/۶ گزارش گردید(Gonzalez-Martın et al., 2007) . نسبت انحراف عملکرد[56] مقادیر بدست آمده نشان می‌دهد که معادلات NIR را می‌توان به کل جامعه آماری تعمیم داد. در تحقیقی مشابه میزان پپتید[57] در پنیر با نمونه‌هایی که در بالا ذکر شده است، تعیین شد(Gonzalez-Martın et al., 2009).

در تحقیقی دیگر برای تعیین مقدار ترکیبات فرار در پنیر (استالدئید، اتانول، ۱-پروپانول، ۲-بوتانول، ۲-پنتانول، ۳-متیل-۱-بوتانول، ۲-بوتانون، ۲-پنتانون، ۲-هپتانون و ۲-نونانون) نیز از این روش استفاده گردید. ضریب همبستگی برای ۳-متیل-۱-بوتانول ۰/۶ و ۰/۹۰۳ برای ۲-نونانون بدست آمد. نتایج حاصل از آزمایش با روش کروماتوگرافی طیف سنجی جرمی[58] مطابقت داشت(Gonzalez-Martın et al., 2014) .

برای تعیین چربی، رطوبت، پروتئین و کلرید محتوای پنیر تولید شده با مخلوط شیر میش، گاو و بز با زمان‌های پخت مختلف نیز از NIR استفاده شد. مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از MPLS انجام شد. درصد چربی، رطوبت، پروتئین و کلرید به ترتیب بین ۵۲-۱۳، ۶۲-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۲/۹-۰/۷ بدست آمد. همچنین ضریب همبستگی و درصد خطای استاندارد پیشگویی به ترتیب برای چربی ۰/۹۷ و ۰/۹۹۵، رطوبت ۰/۹۶ و ۱/۶۴، پروتئین ۰/۷۸ و ۰/۷۶ و برای کلرید ۰/۸۹ و ۰/۱۱۲ گزارش شد(Gonzalez-Martın et al., 2008). همچنین در تحقیقی دیگر با تعیین چربی، پروتئین و مواد جامد به تازگی پنیر پی برده شده است(Filho and Volery, 2005). پژوهشگران برای تشخیص تقلبی نبودن پنیر زامورانو[59]، با بدست آوردن پارامترهای چربی، پروتئین و ماده‌ی خشک[60] به روش NIR به نتایج قابل قبولی رسیدند(Oca et al., 2012).

[53] Modified Partial Least Squares
[54] Correlation Coefficients
[55] Prediction Corrected Standard Errors
[56] ratio performance deviation
[57] peptide
[58] Chromatographic - Mass Spectrometric
[59] Zamorano
[60] dry matter

همچنین برای پیش‌بینی ویژگی‌های حسی ۲۰ نمونه پنیر از نقاط مختلف اروپا از این روش استفاده شد. برای این منظور از چهار ویژگی ظاهر و بافت (چسبندگی، شکنندگی، کشش و استحکام) و شش ویژگی بو و مزه (شدت عطر، شدت طعم، تلخی، شوری، اسیدیته و شیرینی)، توسط پانل‌های حسی[۶۱] انتخاب شدند. ضریب تبین پس از مدل‌سازی برای تلخی، شوری، اسیدیته، شیرینی، عطر، استحکام، چسبندگی و کشش بزرگتر از ۰/۵ بدست آمد(Karoui et al., 2006). در تحقیقاتی دیگر نیز ویژگی‌های حسی ، عطر و طعم و بافت به طور مشابه در پنیر اندازه‌گیری شد (Gonzalez-Martın et al., 2011; Downey et al., 2005). همچنین ویژگی‌های حسی و میزان رسیدگی پنیر چدار نیز با استفاده از NIR تعیین شد(Sørensen and Jepsen, 1998).

همچنین استفاده از NIR برای تشخیص خصوصیات شیمیایی پنیر امتال با انتخاب ۹۱ نمونه از شش منطقه در اروپا نیز گزارش شده است. ابتدا پارامترهای چربی، ازت، نیتروژن محلول در آب، نیتروژن غیر پروتئینی، سدیم‌کلرید و PH به روش مرجع[۶۲] بدست آمد. سپس بازتاب منتشر شده از نمونه‌ها توسط یک طیف‌سنج در محدوده‌ی طول موج ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که طیف‌سنجی NIR در تعیین همه‌ی خصوصیات شیمیایی به جز PH و نمک موفق بوده است(Karoui et al., 2006). برای تعیین مواد معدنی (سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم) در پنیر (گاو، بز و میش)، نیز استفاده از روش NIR گزارش گردیده است(Gonzalez-Martın et al., 2011) . محققین با تعیین ویژگی‌های شیمیایی به روش طیف سنجی NIR، قادر به تشخیص پنیر آسیاگو[۶۳] از پنیر دلیوو[۶۴] شدند(Ottavian et al., 2012).

در تحقیقاتی اسید چرب در پنیر تازه و منجمد و اسیدهای آمینه در طول رسیدن پنیر با استفاده از طیف‌سنجی NIR تعیین گردید(Lucas et al., 2008; Skeie et al., 2006).

در پژوهشی برای تجزیه و تحلیل بافت پنیر میش از شیر سه نژاد مختلف (چورا[۶۵]، کاستلانا[۶۶] و اساف[۶۷])، بر اساس اختلاف تعداد سلول‌های بافت از طیف‌سنجی NIR استفاده شد(Revilla et al., 2009).

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر این بود که تحقیقاتی که در زمینه روش‌های غیر مخرب ماشین‌بینایی، بینی الکتریکی و طیف سنجی مادون قرمز (NIR) جهت ارزیابی کیفیت پنیر انجام گرفته بصورت اجمال مرور و معرفی شده و سپس نتایج این پژوهش‌ها ارائه و بحث شوند. نتایج این پژوهش‌ها بیانگر این مسئله است که روش‌های غیر مخرب در ارزیابی کیفیت پنیر، قابل قیاس با روش‌های انسانی و مخرب نبوده و به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی همچون، سرعت و دقت بالا، صرفه‌ی اقتصادی و دخیل نبودن کاربر در صنعت جایگاه بهتری پیدا کرده است. با توجه به اینکه بینی الکتریکی، نسبت به ماشین بینایی به‌دلیل

[61] Test Sensory panel
[62] reference method
[63] Asiago cheeses
[64] d'allevo cheese
[65] Churra
[66] Castellana
[67] Assaf

وجود سنسورها پرهزینه و زمان‌بر بوده و تجهیزات بیشتری نیاز دارد لذا در ارزیابی غیر مخرب کیفیت پنیر ماشین بینایی نسبت به بینی الکتریکی ارجحیت دارد. روش ماشین بینایی نیز فقط خواص ظاهری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و با توجه به اینکه در ارزیابی کیفیت پنیر، شناخت ترکیبات و ویژگی‌های درون محصول اهمیت بیشتری دارد لذا استفاده از NIR در این زمینه بیشترین کاربرد را داشته است که پژوهش‌های ذکر شده نیز این نتیجه را تایید می‌کند و امید است که در آینده پژوهش-های گسترده‌تر و با نتایج بهتر صورت گیرد.

منابع و مآخذ

۱. جوانبخت م، گنجعلی م، نوروزی، پ. ۱۳۸۶. طیف‌بینی مادون قرمز. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۰۲ ص.

۲. جمشیدی، ب. ۱۳۹۱.تشخیص و تفکیک غیر مخرب مزه‌ی پرتقال با اسپکتروسکوپی مرئی–فروسرخ نزدیک (vis/NIR). پایان‌نامه دکتری. گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. حرفشنو، م. تقی‌نژاد، م. مؤمنی، ک. کرمانی، م. ۱۳۹۳. فراورده‌های دامی. چاپ یازدهم. انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.۱۸۲ ص.

۴. موثق ب، ۱۳۸۷. نگرشی بر طیف‌سنجی (ترجمه). چاپ هشتم. انتشارات علمی و فنی تهران. ۶۵۰ ص.

5. Benedetti, S. & Mannino, S. 2007.Procedure 19 Characterization of the PDO Asiago cheese by an electronic nose.Comprehensive Analytical Chemistry.Vol. 49, 131-138.
6. Benedetti, S. Sinelli, N. Buratti, S.& Riva, M. 2005.Shelf Life of Crescenza Cheese as Measured by Electronic Nose.Journal of Dairy Science. Vol. 88(9), 3044-3051.
7. Caccamo, M. Melilli, C. Barbano, D. M. Portelli, G. Marino, G.& Licitra, G. 2004.Measurement of Gas Holes and Mechanical Openness in Cheese by Image Analysis. Journal of Dairy Science. Vol. 87(3), 739-748.
8. Cevoli, C. Cerretani, L. Gori, A. Caboni, M. F. Toschi T. G. & Fabbri, A. 2011.Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GCMS analysis of volatile compounds. Food Chemistry. Vol. 129,1315-1319.
9. Cho Y. J. & Kang, S. 2011.Emerging technologies for food quality and food safety evaluation. Taylor & Francis. US.
10. Coker, C. J. Crawford, R. A. Johnston, K. A. Singh H. & Creamer, L. K. 2005.Towards the classification of cheese variety and maturity on the basis of statistical analysis of proteolysis dataa review. International Dairy Journal. Vol. 15, 631-643.
11. Downey, G. Sheehan, E. Delahunty, C. O'Callaghan, D. Guinee, T. & Howard, V. 2005. Prediction of maturity and sensory attributes of Cheddar cheese using near-infrared spectroscopy. International Dairy Journal. Vol. 15, 701-709.
12. Filho P. A. C. & Volery, p. 2005. Broad-based versus specific NIRS calibration: Determination of total solids in fresh cheese. Analitica Chimica Acta. Vol. 554, 82-88.
13. Francis, F. J. 1980.Colour quality evaluation of horticultural crops. HortScience. Vol. 15(1), 14-15.
14. Gonzalez R. & Woods, R. E. 2002.Digital image processing. 2nd edition. Prentice-Hall.
15. Gonzalez-Martın, I. González-Pérez, C. Hern´andez-Hierro J. M. & Gonz´ alez-Cabrera, J. M. 2008.Use of NIRS technology with a remote reflectance fibre-optic probe for predicting major components in cheese. Talanta.Vol. 75, 351-355.

16. Gonzalez-Martın, I. González-Pérez C., Revilla, I. Vivar-Quintana, A. M. Hernández-Hierro, J. M. González-Pérez, C. & Lobos-Ortega, I.A. 2011. Prediction of sensory attributes of cheese by near-infrared spectroscopy. Food Chemistry. Vol. 127, 256-263.
17. Gonzalez-Martın, I. Hernandez-Hierro, J. M. González-Pérez, C. Revilla, I. Vivar-Quintana A. & Lobos Ortega, I. 2014. Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of volatile components in cheeses. LWT - Food Science and Technology. Vol. 55, 666-673.
18. Gonzalez-Martın, I. Hernandez-Hierro, J. M. Mor´on-Sancho, R. Salvador-Esteban, J. Vivar-Quintana, A. & Revilla, I. 2007.Determination of the percentage of milk (cow's, ewe's and goat's) in cheeses with different ripening times using near infrared spectroscopy technology and a remote reflectance fibre-optic probe. Analitica Chimica Acta. Vol. 604, 191-196.
19. Gonzalez-Martın, I. Hernandez-Hierro, J. M. Revilla, I. Vivar-Quintana, A. Lobos Ortega, I. 2011.The mineral composition (Ca, P, Mg, K, Na) in cheeses (cow's, ewe's and goat's) with different ripening times using near infrared spectroscopy with a fibre-optic probe. Food Chemistry. Vol. 127, 147-152.
20. Gonzalez-Martın, I. Hernandez-Hierro, J. M. Vivar-Quintana, A. Revilla, I. and González-Pérez, C. 2009.The application of near infrared spectroscopy technology and a remote reflectance fibre-optic probe for the determination of peptides in cheeses (cow's, ewe's and goat's) with different ripening times. Food Chemistry. Vol. 114, 1564-1569.
21. Gursoy, O. Somervuo P. & Alatossava, T. 2009.Preliminary study of ion mobility based electronic nose MGD-1 for discrimination of hard cheeses. Journal of Food Engineering. Vol. 92, 202-207.
22. Jha, S. N. 2010.Nondestructive Evaluation of Food Quality. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. Acta Horticulturae. Vol. 421, 91-98.
23. Karoui, R. Mouazen, A. M. Dufour, E. Pillonel, L. Schaller, E. Baerdemaeker, J. D. & Bosset, J. 2006. Chemical characterisation of European Emmental cheeses by near infrared spectroscopy using chemometric tools. Int. Dairy Journal. Vol. 16, 1211-1217.
24. Karoui, R. Pillonel, L. Schaller, E. Bosset J.-O. & De Baerdemaeker, J. 2006. Prediction of sensory attributes of European Emmental cheese using near-infrared spectroscopy: A feasibility study.Food Chemistry. Vol. 101, 1121-1129.
25. Lucas, A. Andueza, D. Ferlay, A. & Martin, B. 2008. Prediction of fatty acid composition of fresh and freeze-dried cheeses by visible–near-infrared reflectance spectroscopy. Int. Dairy Journal. Vol. 18, 595-604.
26. Ni, H. & Guansekaran, S. 2004.Image processing algorithm for cheese shred evaluation. Journal of Food Engineering. Vol. 61, 37-45.
27. 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. Postharvest Biology and Technology. Vol. 46, 99-118.
28. Noh S. H. & Choi, K. H. 2006.Nondestructive quality evaluation technology for fruit and vegtables. International Seminar on Enhancing Export Comoetitivenes of Asian Fruit.Tailand.
29. Oca, M. L. Ortiz, M. C. Sarabia, L. A. Gredilla A .E. & Delgado D. 2012.Prediction of Zamorano cheese quality by near-infrared spectroscopy assessing false non-compliance and false compliance at minimum permitted limits stated by designation of origin regulations. Talanta. Vol. 99, 558-565.
30. Oriordan P. J. & Delahunty, C. M. 2003.Characterisation of commercial Cheddar cheese flavour.1: traditional and electronic nose approach to quality assessment and market classification. International Dairy Journal. vol. 13, 355-370.

31. Ottavian, M. Facco, P. Barolo, M. Berzaghi, P. Segato, S. Novelli, E. & Balzan, S. 2012. Near-infrared spectroscopy to assist authentication and labeling of Asiago d'allevo cheese. Journal of Food Engineering. Vol. 113, 289-298.
32. Pearce, T. Schiffman, S. Nagle H. & Gardner, J. 2003.Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology. Wiley-VCH Velag GmbH & Co. KGaA, UK.
33. Rajbhandari, P. & Kindstedt, P. S. 2005.Development and Application of Image Analysis to Quantify Calcium Lactate Crystals on the Surface of Smoked Cheddar Cheese. Journal of Dairy Science. Vol. 88(12), 4157-4164.
34. Raji, A. O. Fagboun A. A. & Dania, M. K. 2000. An approach to detecting defects in food products. Proceedings of the First International Conference of the Nigerian Institution of Agricultural Engineers. 36-39.
35. Revilla, I. Gonz´alez-Mart´ın, I. Hern´andez-Hierro, J. M. Vivar-Quintana, A. González-Pérez, C. &Lurueña-Martínez, M. A. 2009. Texture evaluation in cheeses by NIRS technology employing a fibre-optic probe. Journal of Food Engineering. Vol. 92, 24-28.
36. 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, 175-184.
37. Shewfelt R. L. & Bruckner B. 2000. Fruit and vegetable quality: An integrated view. Pennsylvania Technomic Publishing, Lancaster
38. Skeie, S. Feten, G. Almøy, T. Østlie, H. & Isaksson, T. 2006. The use of near infrared spectroscopy to predict selected free amino acids during cheese ripening. Int. Dairy Journal. Vol. 16, 236-242.
39. Sørensen L. K.& Jepsen, R. 1998. Assessment of Sensory Properties of Cheese by Near-infrared Spectroscopy. Int. Dairy Journal. Vol. 8, 863-871.
40. Timmermans, A. J. M. 1998.Computer vision system for online sorting of pot plants based on learning techniques.
41. Trihaas, J. Vognsen L. & Nielsen, P. V. 2005.Electronic nose: New tool in modelling the ripening of Danish blue cheese.International Dairy Journal Vol. 15, 679-691.
42. Wang H. H. & Sun, D. W. 2003.Assessment of cheese browning affected by baking conditions using computer vision. Journal of Food Engineering. Vol. 56(4), 339-345.
43. Wang H. H.& Sun, D. W. 2002.Melting characteristics of cheese: analysis of effect of cheese dimensions using computer vision techniques. Journal of Food Engineering. Vol. 52(3), 279-284.
44. Wang H. H. & Sun, D. W. 2002.Melting characteristics of cheese: analysis of effects of cooking conditions using computer vision technology. Journal of Food Engineering. Vol. 51, 305-310.
45. Wang W. & Paliwal, J. 2007.Near-infrared spectroscopy and imaging in food quality and safety. Food Qual. Vol. 1, 193-207.

Review of applications in machine vision, electric nose and infrared spectroscopy in non-destructive evaluation of quality cheese

Abstract

Cheese is one of the dairy products that due to having mineral and nutritional materials considering an important resource of food. As the quality assurance is on of the most significant goals of any industry, so it is required a rational. Affordable and non-destructive method to quality assessing of this main product. The substantial purpose of this study is representation an overview of common method s and non-destructive techniques that comprising machine vision, electronic nose and near infrared spectroscopy (NIR) to assess the quality of cheese. Machine vision system, based on imaging of product, can be able to measure colour alteration during the reaching period, assessment of melting capability, determining the area of surface holes and other geometric charactristics of cheese product. Hence, using of electronic nose technology has been reported to grade cheese with respect to maturity time, quality assessment and market grading, checking of changes in terms of reaching and insolubility of cheese. NIR spectroscopy performs based on optical principles, the capability of measuring organic and mineral material, volatile compounds and sensing feature of cheese and, also, determining of amino and fatty acid. The results of this research suggest that the utilizing of non-destructive methods for assessing the cheese quality is not comparable comparable with the destructive one, whereas the use of former method increasingly is on the rise.

Keywords: cheese, quality assessment, machine vision, electronic nose, NIR spectroscopy.