Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ/ ۲(۱۳۹۱) ۵۵-۴۳

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ

مروری بر کاربردهای بینایی ماشین و تصویرپردازی رنگی در صنایع غذایی و کشاورزی

سهیلا گرجی کندی[۱]، سعیده گرجی کندی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی شیمی، تهران، ایران، کد پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶

۲- استادیار، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۲ تاریخ بازبینی: ۹۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۴

چکیده

تشخیص انسانی، ملال‌آور، زمان‌بر، دشوار، غیرپایدار و به شدت تحت تاثیر شرایط روحی-روانی فرد است. در طول دهه‌های گذشته، پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، سبب تولید روش‌های دستگاهی برای کنترل کیفیت در صنایع مختلف شده است. هدف از این مقاله، مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه به‌کارگیری بینایی ماشین، برای کنترل کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی است. مطالعات مرتبط نشان می‌دهد که امروزه، سیستم‌های بینایی ماشین راه‌کاری به صرفه، پایدار، سریع و دقیق را برای کنترل کیفیت آنی محصولات در اختیار می‌گذارند. چنین روش‌هایی که امکان اندازه‌گیری غیرتماسی و غیرتخریبی را فراهم می‌آورند، به‌طور وسیع در صنایع کشاورزی و غذایی با هدف ارزیابی به‌کار گرفته می‌شوند. علاوه بر این، رنگ مشخصه مهمی برای ارزیابی است که به‌طور وسیع برای درجه‌بندی محصولات کشاورزی و غذایی به‌کار می‌رود. رنگ با خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی مرتبط می‌باشد و می‌تواند برای تخمین درجه رسیدگی، خرابی، زمان انبارداری، قدرت تغذیه و غیره به‌کار رود. پردازش تصاویر رنگی، امکان بالاتری برای رنگ‌سنجی، کنترل کیفیت و درجه‌بندی محصولات غذایی و کشاورزی در اختیار می‌گذارد که نتیجه آن هزینه کمتر نیروی انسانی و بالا بردن کیفیت دسته‌بندی محصولات می‌باشد. مطالعات فراوان منتشر شده در به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین برای کنترل کیفیت انواع مختلف محصولات غذایی و کشاورزی مؤید این مطلب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

بینایی ماشین، رنگ، صنایع غذایی، صنایع کشاورزی، کنترل کیفیت.

*Corresponding author: s.gorji@aut.ac.ir

۱- مقدمه

میوه‌ها، سبزیجات و دیگر محصولات غذایی، منبع تامین انرژی مورد نیاز بدن بوده و سرشار از ویتامین‌های ضروری، فیبرها، کربوهیدرات‌ها و فیتوکمیکال‌ها (فیتوکمیکال‌ها ترکیبات آلی هستند که علاوه بر ویتامین‌ها و مواد مغذی دیگر در گیاهان یافت می‌شوند) هستند که همواره نگرانی‌هایی درباره ایمنی بالقوه و مسائل مربوط به کیفیت آنها مطرح بوده است.

در سال ۱۹۸۳ کمیته‌های تخصصی در ایمنی مواد غذایی، به طور مشترک توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO)[1] و سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)[2] تشکیل شدند و به این نتیجه رسیدند که بیماری‌های ناشی از مواد غذایی گسترده‌ترین مشکل سلامت در جهان حاضر می‌باشد [۱]. از زمان مصرف مواد خام، کیفیت محصولات تازه به یک نگرانی مهم در مورد سلامت خوراک تبدیل شده است. آلودگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی می‌توانند در میوه‌ها و سبزیجات خام به دلایل طبیعی یا در مراحل تولید محصولات کشاورزی ایجاد شوند.

مسئله مهم دیگر در مورد محصولات غذایی و کشاورزی، نگرانی از کیفیت آن‌ها می‌باشد. کیفیت به خودی خود مجموع تمام آن ویژگی‌هایی است که وقتی با هم ترکیب می‌شوند می‌توانند باعث شوند محصولات تولیدی برای مشتری مورد قبول باشد. [۲].

ارزیابی این موارد کیفیت اغلب با ویژگی‌هایی از قبیل ظاهر، بو، بافتار و مزه عینی می‌شود که مکرراً توسط بازرسان انسانی آزمایش می‌شوند. به‌طور معمول کیفیت محصولات تازه، شامل ظاهر (اندازه، شکل، رنگ، براقی و بدون نقص بودن)، بافتار، استحکام، چروک[3]،آبدار بودن، مزه (شیرینی، عطر، طعم و بدون مزه) و ارزش غذایی (ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبرهای غذایی و غیره) می‌باشد.

اگر چه کیفیت پایین به‌طور مستقیم سبب بیماری نمی‌شود اما می‌تواند تاثیرات منفی روی عوامل بیولوژیکی داشته باشد (مانند آفات و بیماری‌های بعد از برداشت) که می‌توانند سبب تغییرات نامناسب به‌طور مثال در بافتار، مزه و ظاهر شوند ضمن اینکه تاثیرات نامطلوب اقتصادی را نیز به همراه دارند.

از طرف دیگر، نیاز به بهبود ارزش محصولات کشاورزی و غذایی به جهت رقابت‌های جهانی و تقاضای بازار به طور فزآینده‌ای افزایش پیدا کرده است. فرانسیس[4] عنوان نمود که درک انسانی می‌تواند به راحتی اشتباه کند [۳]. از طرفی با توجه به افزایش جمعیت، اتلاف در فرآیند حمل و نقل و پردازش، افزایش توقعات برای دستیابی به محصولات غذایی با کیفیت بالاتر و دارای استانداردهای لازم، به همراه هزینه‌های بالای نیروی کار، و ناهماهنگی و تغییرپذیری مربوط به بازرسی انسانی، نیاز برای رشد روش‌های دقیق و دستگاهی تخمین کیفیت و خصوصیات محصولات غذایی و کشاورزی را به وجود آورده است.

پیشرفت فناوری به تدریج کاربردهایی را در زمینه محصولات غذایی و کشاورزی سبب شد که یکی از دلایل آن پاسخ به مسئله افزایش جمعیت می‌باشد.

تلاش‌ها در جهت جایگزینی عامل انسانی با سیستم خودکار صورت گرفت چرا که آنها ناپایدار بوده و کارآیی کمی دارند. اتوماسیون به معنای هر فعالیتی است که برای کنترل فرآیند بهینه سازی نیاز است. سیستم‌های اتوماتیک در بیشتر حالات دقیقتر و سریعتر می باشند. با این وجود برخی مشکلات زیر ساختی در آنها وجود دارد که باید در اتوماسیون در نظر گرفته شود [۳].

بینایی ماشین و پردازش تصویر راه‌کارهای غیر تخریبی و با هزینه مناسب‌تر را برای درجه‌بندی محصولات غذایی و کشاورزی در اختیار می‌گذارد. با توجه به دستاوردهای مختلف شناخته شده در زمینه پردازش تصویر، کاربردهای مختلفی را در زمینه محصولات غذایی و کشاورزی می‌توان انتظار داشت که مطالعات انجام شده و حجم وسیع مقالات منتشر شده در این ارتباط نیز گویای این مطلب است.

هدف از این مقاله، بررسی مطالعاتی در مورد به‌کارگیری رنگ‌سنجی و پردازش تصویر در کنترل کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی است.

۲- بینایی ماشین در کنترل کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی

جهت تحویل یک محصول نهایی سالم و بی خطر از مزارع به دست مشتریان، تولیدکنندگان محصولات غذایی و کشاورزی، به دنبال ایده‌ها و روش‌هایی برای بهبود سلامت و کیفیت محصولاتشان در هر قدم در طول این زنجیره می‌باشند. به‌طور خاص، وجود یک سازوکار موثر تضمین کیفیت و سلامتی، در سراسر مراحل رسیدگی محصول و بعد از برداشت، حیاتی می‌باشد. از یک طرف، باید سطوح بالای بهداشت کارگری برای کاهش منابع آلودگی محتمل پس از برداشت، اجباری شود.

از سوی دیگر، برداشت با احتیاط، بسته‌بندی مناسب، انبار کردن و حمل و نقل، برای نگهداری کیفیت خوب محصول، باید مدیریت شود. روش‌های غیرمخرب به‌طور گسترده در تحقیقات و انجمن‌های توسعه برای نظارت بر ویژگی‌های کیفی و سلامت محصولات غذایی و کشاورزی، مورد استفاده قرار گرفته است.

بر طبق نوشته‌ها، روش‌های بازرسی غیرمخرب برای میوه‌هایی از قبیل سیب، پرتقال، توت‌فرنگی، گوجه، هلو، گلابی و غیره و همچنین سبزیجاتی از قبیل قارچ‌ها، سیب زمینی، هویج، پیاز، خیار و غیره به کار برده شده است [۴].

در دسترس بودن رایانه‌های کم هزینه و دستگاه‌های تصویربرداری مناسب، منجر به افزایش استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین به کمک رایانه، برای ایجاد روش‌های غیرمخرب قابل اطمینان‌تر و موثرتر جهت تضمین سلامت و کیفیت محصولات شده است.

[1] World health organization
[2] Food and agriculture organization
[3] Crispness
[4] Francis

۲-۱- سیستم بینایی ماشین[1]

فناوری پردازش تصویر به نسبت جوان می‌باشد و آغاز آن به دهه ۱۹۶۰ بر می‌گردد که البته رشد چشمگیری را از نظر تئوری و همچنین کاربردی داشته است. این روش امروزه کاربردهای زیادی را در زمینه‌های تشخیص پزشکی، مکانیزه نمودن خط تولید، نظارت هوایی، سنجش از راه دور و اخیراً در زمینه خوشه‌بندی و درجه‌بندی مکانیزه محصولات غذایی و کشاورزی داشته است. بینایی ماشین، فناوری نوینی است برای گرفتن و پردازش تصویر از یک صحنه واقعی با دوربین، رایانه و دیگر وسایلی که قادر به دریافت، کنترل یا پردازش اطلاعات می‌باشند [۵]. امروزه بینایی ماشین به‌طور گسترده برای آزمایش، نظارت و کنترل در حوزه وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین چالش‌های مهندسین بینایی ماشین، در بازرسی مواد طبیعی، تنوع این مواد است. برعکس قسمت‌های تولیدی در بسیاری از کاربردهای صنعتی، مواد طبیعی در تصاویر گرفته شده از نظر اندازه، شکل، رنگ و بافتار تفاوت دارند. ضمن اینکه انواع عیوب روی محصولات، برحسب سختی و شرایط تفاوت می‌کنند. این مشکل تغییرپذیری، در میان دیگر چالش‌ها، باید در طراحی یک سیستم بینایی ماشین در قسمت‌های مختلف نوری، الکترونیکی، مکانیکی و رویکردهای الگوریتمی در نظر گرفته شود. روش مناسب برای هر صنعت به خواص نمونه‌های مورد نظر آن، طبیعت نمونه‌ها، محیط اطراف و دیگر محدودیت‌ها نظیر زمان مورد نظر برای گرفتن تصویر، پردازش و غیره، بستگی دارد.

یک سیستم بینایی رایانه‌ای را می‌توان شامل گرفتن، پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر، برای تسهیل نمودن ارزیابی‌های غیر تخریبی و دستگاهی خواص کیفی، در محصولات غذایی و کشاورزی دانست [۶]. فناوری‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل تصاویر شامل پیش پردازش، تفسیر، کمی نمودن و دسته‌بندی تصاویر و مشخص نمودن اجزاء مورد توجه در آن می‌باشد.

۲-۱-۲- روش‌های پردازش تصویر

۲-۱-۲-۱- وسایل و تجهیزات

یک سیستم بینایی رایانه‌ای شامل دو بخش اساسی می‌باشد:

۱. قسمت گرفتن تصویر، شامل منبع روشنایی و وسیله گرفتن تصویر (نظیر دوربین)
۲. قسمت پردازش تصویر شامل ذخیره‌کننده و پردازش‌کننده

در شکل ۱ مجموعه آزمایشگاهی معمول برای پردازش تصویر نشان داده شده است.

۲-۱-۲-۲- سیستم بینایی ماشین

سخت‌افزارهای سیستم‌های بینایی ماشین معمولاً به‌صورت استاندارد تعریف شده‌اند. به‌طور معمول یک سیستم بینایی ماشین شامل موارد زیر می‌باشد:

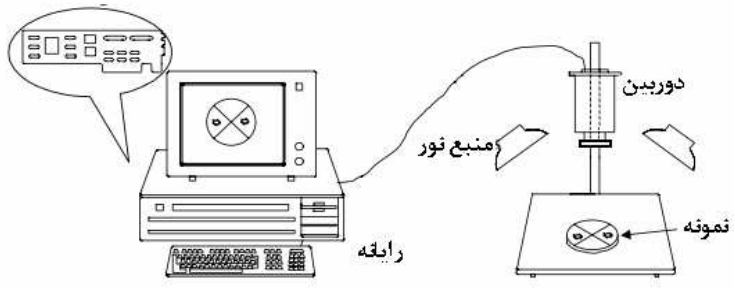
- منبع نوری که نمونه تحت آزمایش را روشن می‌کند.
- یک (CCD)[2] یا دوربین برای گرفتن تصویر
- قسمت تبدیل‌کننده (A/D)[3] آنالوگ به دیجیتال برای تشکیل تصویر به‌صورت ماتریسی از نقاط
- یک رایانه شخصی یا سیستم پردازش‌گر برای ذخیره تصویر و پردازش آن
- یک نمایشگر با قدرت تفکیک‌پذیری بالا برای نمایش تصاویر و بررسی و نشان دادن چگونگی پردازش تصاویر

۲-۱-۲-۳- نورپردازی

سیستم‌های بینایی ماشین همانند چشم انسان، به‌وسیله سطح و کیفیت روشنایی،تاثیر می‌پذیرند. سیستم روشنایی به‌طور قابل توجهی بر کیفیت تصاویر اثر گذاشته و نقش مهمی را در کارآیی نهایی و دقت سیستم بازی می‌کند. سیستم‌های نورپردازی منابع نوری می‌باشند. نور بر روی مواد (خصوصاً وقتی در حال استفاده هستند) متمرکز می‌شود تا روشنایی لازم برای گرفتن تصویر فراهم شود. نوع نور، موقعیت، کیفیت و رنگ آن، نقش مهمی را در ایجاد یک رنگ واضح از جسم فراهم می‌آورد [۸]. نحوه نورپردازی به دو دسته نورپردازی از جلو یا پشت تقسیم می‌شود. نورپردازی از رو به رو برای تشخیص بهتر خواص بیرونی سطح محصول استفاده می‌شود در حالیکه نورپردازی از پشت برای بهبود پس زمینه نمونه مفید می‌باشد. منابع نوری مورد استفاده می‌توانند لامپ‌های تنگستن، فلورسنت، لیزر، پرتو ایکس و لامپ‌های زیر قرمز نزدیک باشند.

[1] Machine vision system

[2] Charge coupled device
[3] Analog/digital



شکل ۱- شمای اجزاء یک سیستم بینایی ماشین.

۲-۱-۲-۴- تصویربرداری

وسایل تصویربرداری یا حس‌گرها برای مشاهده و تولید تصاویر نمونه استفاده می‌شوند. برخی از دستگاه‌ها یا گیرنده‌های مورد استفاده در تولید تصویر شامل اسکنرها، فرا صوت، پرتو ایکس و اسپکتروسکوپی زیر قرمز نزدیک هستند. اگر چه در بینایی ماشین گیرنده‌های تصویر اغلب CCD (به‌عنوان مثال دوربین‌ها) می‌باشند، تکنولوژی‌های اخیر دوربین‌های دیجیتال را پذیرفته‌اند که نیاز به وسایل جانبی برای تبدیل تصاویر فتوگرافی به فرمت‌های قابل استفاده در رایانه‌ها در آنها حذف شده است. تصاویر گرفته شده با دوربین‌های دیجیتال خصوصیات تصویر را با حداقل نویز حفظ می‌کنند.

۲-۱-۲-۵- پیش‌پردازش تصاویر

این مرحله شامل پردازش اولیه تصاویر خام[1] می‌باشد. تصاویر گرفته شده به رایانه منتقل و به تصاویر دیجیتالی تبدیل می‌شوند. تصاویر دیجیتالی که بر روی صفحه نمایش داده می‌شوند در واقع ارقامی هستند که به‌وسیله رایانه قابل خواندن بوده و با تبدیل به نقاط ریز از المان‌های تصویر، اجسام را نمایش می‌دهند. در برخی موارد پیش‌پردازش برای بهبود کیفیت تصویر به‌عنوان مثال رفع نویز یا افزایش خصوصیات خاصی نظیر تباین[2]، انجام می‌شود.

تصاویر دیجیتالی به‌عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار پردازش‌کننده انتقال می‌یابند تا پردازش مناسب روی داده‌ها صورت گیرد. هر یک رقم یا ترکیبی از چند رقم در هر تصویر دیجیتالی به‌عنوان پیکسل نامیده می‌شود. در تصاویر با سطوح خاکستری، تصاویر اجسام به‌صورت ماتریسی از اعداد توضیح داده می‌شوند که با ارقامی بین ۰ تا ۲۵۵ شناخته می‌شوند که ۰ بیانگر سیاه و ۲۵۵ نشان دهنده سفید می‌باشد.

هر پیکسل در تصاویر رنگی به‌وسیله ۳ رقم قرمز، سبز و آبی (RGB)[3] نشان داده می‌شود که هر یک بین ۰ تا ۲۵۵ می‌تواند متغیر باشد. کنار هم قرارگیری این ارقام در فرمت سطر- ستون ارائه دهنده از تصویر می‌باشد. با این نظم و با در نظر داشتن تئوری ماتریسی، پردازش تصاویر صورت می‌گیرد. جزئیات بیشتر در مراجع مختلف کتب مربوط به بینایی ماشین و پردازش تصویر وجود دارد [۹, ۱۰].

گرفتن تصویر و پیش‌پردازش آن به‌عنوان پردازش‌های سطح پایین شناخته می‌شوند حال آنکه مراحل میانی و بالایی از پردازش می‌تواند وجود داشته باشد که با توجه به کاربرد مورد نظر استفاده می‌شوند.

پردازش در سطح متوسط شامل تقطیع تصاویر[4]، ارائه تصویر و توصیف آن می‌باشد. تقطیع تصاویر فرآیندی است شامل بریدن، افزودن و آنالیز خواص تصاویر که هدف آن تقسیم تصویر به مناطقی است که همبستگی بالایی با اجسام و سطوح مورد نظر دارند. تقطیع می‌تواند با روش‌های مختلفی انجام شود از جمله: آستانه‌ای نمودن[5]، تقطیع بر پایه لبه[6] و تقطیع بر پایه منطقه[7]. آستانه‌ای نمودن زمانی استفاده می‌شود که مناطق تصویر بر پایه جذب یا انعکاس نور سطحی‌شان قابل جداسازی باشند. در این حالت مناطق با خواص یکسان می‌توانند با هم در یک منطقه قرار گیرند. این فرآیند در درجه‌بندی محصولات از حیث رنگ (رسیدگی) و خواص (خرابی‌ها و خسارات) مطلوب می‌باشد. تقطیع بر پایه لبه به‌وسیله اپراتورهای تشخیص لبه انجام می‌شود که ناپیوستگی‌ها را در سطوح خاکستری، نقاط، رنگ، بافتار و غیره تشخیص می‌دهند. تشخیص لبه در درجه‌بندی بر پایه شکل و اندازه مفید می‌باشد. از این روش برای تشخیص خرابی‌ها در نمونه‌های نان و بیسکویت در یک خط تولید استفاده می‌شود [۱۱]. تقطیع بر پایه منطقه، شامل گروه‌بندی با هم و استخراج نقاط مشابه، برای تشخیص مناطق تشکیل دهنده اجسام در تصویر می‌باشد. در این فرآیند، مناطق دیگر برای رسیدن به خواص مورد نظر، حذف می‌شوند.

پردازش در سطح بالا با هدف تشخیص و تفسیر می‌باشد که به‌طور معمول با استفاده از دسته‌یابی‌های آماری یا شبکه عصبی چند لایه انجام می‌شود. این مراحل اطلاعات لازم برای پردازش یا کنترل ماشین، جهت درجه‌بندی کیفی را فراهم می‌آورد.

تقابل تمامی این سطوح و دانش حاصل، برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر، لازم و ضروری است و یک بخش جدایی‌ناپذیر از پردازش تصویر می‌باشد. این تئوری‌ها زمانیکه بر روی تصاویر اعمال شوند می‌توانند برای استخراج ویژگی‌هایی که برای پردازش نیاز است به‌کار گرفته شوند. به‌طور معمول تشخیص لبه برای تشخیص شکل و استخراج ویژگی برای تخمین اختلاف رنگ در فرآیند درجه‌بندی و برداشت محصول مفید می‌باشد.

۲-۲- کاربردهای بینایی ماشین در صنایع کشاورزی و غذایی

جمع آوری محصول و بسته‌بندی آن بخش مهمی است از تلاش و هزینه‌ای که کشاورز برای تامین میوه تازه و سبزیجات بازار، متحمل می‌شود. بخش پردازش و تولید نیاز به درجه‌بندی و رتبه‌بندی محصولات برای اهداف تولیدی و تجاری دارد. رشد پیوسته‌ای در پیشرفت سیستم‌های مکانیکی برداشت محصول صورت گرفته که نیاز به تشخیص خودکار و سیستم‌های درجه‌بندی را به سبب کاهش اتلاف محصول طی برداشت، تولید و توزیع باعث می‌شود. با این تفاسیر نه تنها بالا بردن کیفیت محصول مهم می‌باشد بلکه برای دستیابی به بازار، بسته‌بندی مناسب و قابل قبول نیز ضروری است، که این مطالب بدون درجه‌بندی مناسب محصول حاصل نخواهد شد.

درجه‌بندی محصولات کشاورزی و غذایی بر پایه ظاهر، بر مبنای خصوصیاتی نظیر بافتار، رنگ، شکل و اندازه صورت می‌گیرد. درجه‌بندی

[1] Raw image
[2] Contrast
[3] Red, Green, Blue
[4] Image segmentation
[5] Thresholding
[6] Edge based segmentation
[7] Region based segmentation

دستی (انسانی) بر پایه تشخیص کیفیت بصری، که به‌وسیله عامل انسانی صورت می‌گیرد معمول بوده و بدیهی است ملالت‌آور، زمان‌بر، آهسته و ناپایدار می‌باشد. چنین روش ارزیابی نیاز به بازرسان آموزش دیده برای ارزیابی رنگ دارد که افزایش قیمت محصول را به دنبال خواهد اشت، ضمن اینکه خطای انسانی نیز در آن دخیل می‌باشد. درجه‌بندی دقیق، سریع، پایدار و کم‌هزینه می‌تواند با به‌کارگیری بینایی ماشین صورت گیرد. کاربرد رایانه در صنایع غذایی و کشاورزی در زمینه‌های مختلفی نظیر درجه‌بندی محصولات تازه، تشخیص عیب مانند ترک‌ها، نقاط تیره شده وکبود روی میوه و دانه‌ها، می‌باشد. هر چند تکنولوژی‌های نوین در پردازش تصویر و بینایی ماشین هنوز به‌طور کامل در صنایع غذایی و کشاورزی به‌کار گرفته نشده است لیکن دلایل زیادی وجود دارد که بینایی ماشین در حال کسب مقبولیت در سطح تجاری است [۱۲].

پتانسیل بینایی رایانه‌ای در صنعت غذایی از دیرباز شناخته شده است. در صنایع غذایی کشورهای پیشرفته، سیستم‌های خودکار با توجه به این حقیقت که نیروی کارگری گران بوده و دقت انسانی نیز محدود می‌باشد، گسترش بیشتری یافته است.

پیشرفت‌های اخیر در سخت‌افزار و نرم‌افزار با فراهم‌کردن راه‌حل‌های قدرتمند و کم‌هزینه به این گسترش کمک کرده است، که نتیجه آن مطالعات بیشتر روی پیشرفت سیستم‌های بینایی رایانه‌ای در صنعت غذایی بوده است [۱۳ ,۱۱]. در نتیجه، بازرسی خودکار تحت یک رشد اساسی در صنعت غذایی به علت مقرون به صرفه‌بودن، هماهنگی، سرعت و صحت بیشتر آن قرار دارد. بازرسی‌های کیفی قدیمی که توسط بازرسان انسانی انجام می‌شد این پتانسیل را دارد که در بسیاری از موارد توسط سیستم‌های بینایی رایانه‌ای جایگزین شوند.

پیشرفت در فناوری رایانه‌ای، موج بلندی از توجه به پردازش تصویر را در طول دهه گذشته باعث شده است و کارآیی این روش را برای کنترل محصولات غذایی و کشاورزی شناسانده است [۱۱]. مجموعه‌ای از مطالعات در سال‌های اخیر برای بررسی کاربردهای بینایی رایانه‌ای در درجه‌بندی محصولات تازه کشاورزی و غذایی صورت گرفته است.

برای مثال سیستم بینایی ماشین برای درجه‌بندی برخی از انواع سیب مورد استفاده قرار گرفته است [۱۵ ,۱۴]. برای این منظور از فضا رنگ HSI[1] استفاده شد و الگوریتم مورد استفاده روش بیزی[2] بود. عنوان شد که روش پیشنهادی با دقت ۹۰٪ قادر به درجه‌بندی محصول مورد نظر می‌باشد. مطالعه دیگری به تعیین درجه رسیدگی گوجه‌فرنگی با استفاده از تصویرپردازی طیفی و به‌کارگیری روش تحلیل اجزاء مستقل[3] پرداخته است [۱۶]. ادعا شده است که روش معرفی شده قابلیت به‌کارگیری در سیستم‌های آنی[4] را دارا می‌باشد. در تحقیق دیگری الگوریتم‌های پردازش تصویر برای تشخیص عیب در سیب‌ها به‌کار گرفته شده است [۱۷]، که با تصویربرداری از سیب‌های در حال حرکت و در کنار هم قراردادن تصاویر به‌دست آمده، صورت گرفت. عنوان شد که روش پیشنهادی قادر به دسته‌یابی و تشخیص موفق عیوب با دقتی در حدود ۹۶٪ بوده است. تشخیص تخم مرغ‌های ناقص و معیوب یکی از چالش‌های صنعت غذایی می‌باشد. در تحقیقی با به‌کارگیری بینایی ماشین و بررسی شکل تخم مرغ از روی تصاویر تهیه شده، به جداسازی مکانیزه تخم مرغ‌های معیوب از سالم پرداخته شده است و ادعا شده است نتایج حاصل رضایت بخش بوده است [۱۸].

استفاده از تصویربرداری پرتو ایکس برای شناسایی آسیب‌های داخلی پیازهای شیرین [۱۹]، برخی خرابی‌ها در هلو [۲۰]، آسیب هسته‌های آب‌دار در سیب‌ها [۲۱] و آسیب‌های سوراخ کردن در بادام‌ها [۲۲] نیز مورد بحث قرار گرفته است.

رنگ غذا یکی از اولین پارامترهای ارزیابی کیفیت، توسط خریدار می‌باشد. امروزه ابزار آزمایشگاهی مختلفی برای ارزیابی رنگ محصولات غذایی، به‌کار گرفته می‌شوند که جایگزینی برای روش‌های بصری بوده‌اند. وسایل معمول اندازه‌گیری شامل انواع رنگ‌سنجی و طیف‌سنجی می‌باشد که مشخصه‌های رنگی یا طیفی نمونه را در اختیار قرار می‌دهند. چنین دستگاه‌هایی، گران قیمت بوده و همچنین از نظر سرعت اندازه‌گیری رنگ غذا مناسب نمی‌باشند. مشکل دیگر چنین دستگاه‌هایی به دلیل دارا بودن روزنه نسبتاً کوچکی، میانگینی از سطح رنگی قرار گرفته تحت روزنه را گزارش می‌کنند لذا برای ارزیابی تغییرات و پراکندگی رنگی و یکنواختی کلی محصول مناسب نیستند. همچنین از دیگر مشکلات دستگاه‌های مذکور عدم کاربرد مطلوب برای نمونه‌های ناصاف، نمونه‌های نیمه شفاف مثل برگ درختان، و نیز نمونه‌های حساس به نور است.

اخیراً سیستم‌های بینایی ماشین اختصاصی، برای کاربردهای صنعتی فراوانی در دسترس می‌باشند و به‌طور خاص برای ارزیابی رنگ نمونه‌های منحنی شکل و سطوح نامنظم پیشنهاد می‌شوند هر چند تاثیر پارامترهای فیزیکی و اینکه چگونه باید مد نظر قرار گیرند تا اندازه‌گیری صحیحی به‌دست آید به‌درستی مشخص نیست.

درجه‌بندی رنگی، یک فرآیند مهم در صنعت کشاورزی بخصوص در درجه‌بندی محصولات غذایی، میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد. رنگ محصول معمولاً برای تخمین کیفیت و قیمت به کار گرفته می‌شود. مصرف‌کننده‌ها ارتباط واضحی بین رنگ و کیفیت کلی یک محصول قائل می‌باشند. صنایع، فناوری بینایی ماشین را برای درجه‌بندی محصولات بر پایه رنگ‌های سطحی شان برای تخمین کیفیت و قیمت به کار می‌گیرند. به‌علاوه، درجه‌بندی رنگی برای تخمین زمان فروش نیز به کار گرفته می‌شود. این مسئله برای دلایل تجاری مورد نیاز می‌باشد چرا که قرارگیری یک میوه فاسد در میان انوع مرغوب آن می‌تواند سبب خرابی کل محصول شود. در صنعت کشاورزی، کاربردهای زیادی از درجه‌بندی رنگی با استفاده از پردازش تصاویر رنگی گزارش شده است. پیشرفت درجه‌بندی رنگی بر پایه پیشرفت دوربین‌های دیجیتال می‌باشد. از آنجا که محصولات غذایی می‌توانند به‌وسیله رنگشان درجه‌بندی شوند، درجه‌بندی رنگی هلوها، سیب‌ها، سیب‌زمینی‌ها، خیارها، گوجه‌فرنگی‌ها،

[1] Hue, Saturation, Intensity
[2] Baysian
[3] Independent component analysis
[4] Online

انبه و پرتقال گسترش یافته است. سیستم درجه‌بندی می‌تواند برای ارزیابی میزان رسیدگی، با مقایسه هر رنگ با مرجع، به‌کار برده شود.
در تحقیقی با استفاده از یک روش پردازش تصویر ساده، رنگ سطحی غذا را اندازه‌گیری نمودند که این مطلب برای تحقیقات غذایی کفایت می‌کرد [۲۳]. از الگوریتم‌های بینایی ماشین برای درجه‌بندی محصولات تازه بر مبنای رنگشان نیز استفاده شده است [۲۴].
برای دسته‌بندی سیب‌زمینی، به‌جای استفاده رایج از تصاویر سیاه و سفید و در نظر داشتن خصوصیات هندسی، با استفاده از شبکه عصبی بر پایه دسته‌بندی و بینایی ماشین و با در نظر داشتن ویژگی‌های رنگی در کنار خواص هندسی، می‌توان به طور قابل توجهی دستیابی به دسته‌های جدا از هم را بهبود بخشید [۲۵].
در تحقیقی تشخیص آنی خرابی‌ها در میوه‌جات با استفاده از ابزار معمول و روش‌های پردازش تصویر بررسی شد [۲۶]. که در آن دو نوع میوه (شامل سیب و هلو) با سرعت پنج میوه در هر ثانیه برای ارزیابی کارآیی سیستم آزمایش شدند و الگوریتمی را برای تجزیه و تحلیل دو تصویر NIR ترکیبی، از هر میوه طراحی نمودند. نتایج نشان داد که سیستم قادر به اجرای الگوریتم درجه‌بندی با نرخ ۱۴ میوه در هر ثانیه می‌باشد که بالاتر از سرعت روش‌های معمول می‌باشد. این تحقیق نشان داد که به‌کارگیری دو تصویر از هر میوه با استفاده از شش منبع نوری می‌تواند خطای درجه‌بندی را برای سیب تا اندازه‌ای کاهش دهد حال آنکه در مورد هلو این بهبود بسیار چشم‌گیر بوده است.
الگوریتم‌هایی برای اندازه‌گیری خواص فرکتالی و ابعاد (طول، عرض، سطح و محیط) تصاویر مربوط به خوشه‌های ذرت برای متمایز نمودن اشکال مختلف، ابداع شد که نشان داد ترکیبی از خواص قادر است که تفاوت اشکال را تشخیص دهد [۲۷]. همچنین روشی برای تخمین سطح اجسام دو بعدی با پردازش تصویر ارائه شد که می‌تواند برای تشخیص نمونه‌های سالم باقی مانده در ضایعات طی برداشت، به‌کار رود [۲۸].
تحقیقات در مورد روش‌های پردازش تصویر برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی و یا خاکی از تصاویر فتوگرافی رو به افزایش می‌باشد. بیشتر مطالعات انجام شده با استفاده از پردازش تصویر تنها کل پوشش گیاهی نقشه را تخمین می‌زند. برای ارزیابی وضعیت مناطق مختلف و تخمین ارزش غذایی گیاهان برای موجودات اهلی و وحشی، نیاز به اندازه‌گیری درصد پوشش‌های گیاهی و بایر و همچنین ترکیب گیاهان زنده و مرده دارند. تخمین از روی نقشه زمین یک روش معمول اما وقت‌گیر و مشقت بار است. روش‌های بر پایه تصویر می‌توانند سریع‌تر نیز باشند ضمن اینکه قابلیت‌های دیگر نظیر کنترل سریع و نظارت همزمان را نیز به سیستم اضافه می‌کنند. همچنین، تصاویر به آسانی قابل بایگانی نمودن می‌باشند و بنابراین داده‌های لازم برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی را محفوظ می‌دارند [۲۹].
تحقیقات نشان می‌دهد که فرآیند تغییر رنگ بیسکویت از مرحله ابتدایی (خام) تا پخته‌شدن کامل آن یک ویژگی خاص برای هر نوع بیسکویت می‌باشد. داده‌های رنگی تصاویر بیسکویت در مراحل مختلف پخت آن، چنانچه در فضای RGB رسم شوند یک روند مشخص را نشان می‌دهند. این خصوصیت برای هر نوع از بیسکویت‌ها تحت عنوان "منحنی پختگی[1]" آن شناخته می‌شود. ادعا شده که منحنی پختگی برای یک نوع خاص از محصول، از نظر شکل و موقعیت قرارگیری در فضا رنگ، منحصر به فرد می‌باشد. تحقیقی برای ارائه و دسته‌بندی بیسکویت‌های پخته‌شده از روی رنگشان با استفاده از شبکه خود سازمانده (SOM)[2] و همچنین شبکه معروف پس انتشار خطا[3]، ارائه شده است. ادعا شده نتایج حاصل مطابقت مطلوبی با نتایج ارزیابی انسانی داشته است [۳۰]. در تحقیق دیگری یک روش پردازش تصویر، برای ارزیابی کمی رنگ میوه‌جات و سبزیجات در سه فضا رنگ RGB، HSV و L*a*b* مورد استفاده قرار گرفته است [۳۱]. شرایط گرفتن تصویر بر روی نتایج تاثیر می‌گذارد. این سه فضای رنگی، برای بیان رنگ سطوح منحنی شکل مقایسه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که sRGB برای تبدیل مقادیر وابسته به دستگاه دوربین RGB و سیستم مستقل از دستگاه CIEXYZ مناسب می‌باشد. قابل ذکر است که تغییر رنگ زمینه از سیاه به سفید به شدت نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین در این تحقیق نشان داده شد که، برای تحلیل رنگ نمونه‌های دارای سطوح منحنی، CIEL*a*b* مناسب‌تر می‌باشد. تاثیر انحناها، سایه و برق در این پروفایل‌های رنگی نسبت به RGB و HSV کمتر بوده و بنابراین برای اندازه‌گیری رنگ محصولات غذایی مناسب‌تر است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌های بینایی ماشین، ابزاری آسان و سریع رنگ بسیاری از محصولات غذایی با استفاده از ابزار در دسترس و با قیمت مناسب می‌باشند. با این وجود، میانگین رنگی سطوح منحنی شکل باید با احتیاط مد نظر قرار گیرد [۳۱].
دسته‌بندی میوه‌ها از نظر اندازه، از جهات مختلف نظیر ارزیابی محصولات کشاورزی، رسیدن به استانداردهای کیفیت و افزایش ارزش بازار مورد توجه می‌باشد. همچنین در تصمیم‌گیری برای بسته‌بندی، انتقال و بازار حائز اهمیت است. میوه‌هایی با شکل نامناسب معمولا در دسته‌بندی میوه‌جات بر مبنای استاندارد پذیرفته نمی‌شوند. مطالعه‌ای برای دسته‌بندی طالبی[4] بر مبنای اندازه آن ارائه شده است [۳۲]. خصوصیات هندسی و برخی خواص فیزیکی طالبی مثل طول، قطر کوچک و قطر بزرگ، جرم، حجم و چگالی بدین نحو اندازه‌گیری شد. برای رسیدن به نتایج واقعی و قابل تکرار، ارزیابی بر مبنای تجزیه و تحلیل خصوصیات هندسی پیشنهاد شد. اختلاف‌های اصلی در پارامترهای ظاهری میوه در مورد گردی و بیضوی بودن که با استفاده از نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک به‌دست می‌آیند، دیده شد. نتایج حاصل بیانگر آن بود که نسبت گردی و بیضوی بودن می‌تواند به طور موفقی برای دسته‌بندی میوه و تخمین نرمال و غیر نرمال بودن شکل آن به‌کار رود [۳۲].
ظاهر محصولات پخته‌شده، یک ویژگی کیفی مهم است که با مزه محصول ارتباط داشته و روی ادراک چشمی مشتریان تاثیر می‌گذارد و

[1] Baking curve
[2] Self organizing map
[3] Back propagation neural network
[4] Cantaloupe

پتانسیل خرید محصول را افزایش می‌دهد. مشخصه‌هایی از قبیل ظاهر داخلی و خارجی به کیفیت کلی محصول کمک می‌کند. چنین مشخصاتی با بینایی رایانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در تحقیقی سیستمی نشان داده شد که عیوب قرص‌های نان پخته شده با تحلیل بلندی و شیب سر نان اندازه‌گیری می‌شود [۳۳].

همچنین در مقاله دیگری ساختار داخلی (دانه‌های خرد شده) نان و کیک، توسط بینایی ماشینی مورد آزمایش قرار گرفت [۳۴]. روشنی، چگالی سلول، فضای سلول و یکنواختی دانه‌های تحلیل‌شده نشان می‌دهد که حتی کمترین انحرافات از مشخصات خواسته شده برای سیستم واضح بود این مطلب اندازه‌گیری‌های اصلاحی در نان و شیرینی‌پزی را در زمان کمتر ممکن می‌سازد.

در مطالعه دیگر، تصاویر دیجیتالی از شیرینی‌های شکلاتی برای تخمین مشخصه‌های فیزیکی از قبیل اندازه، شکل، رنگ خمیر پخته شده و قسمت بالای فضای سطح که تکه‌های شکلات در آن قرار می‌گیرد، استفاده شد [۳۵]. سپس چهار مدل فازی برای پیش‌بینی درجه‌بندی مشتری، بر پایه سه مشخصه مورد آزمایش، بسط داده شد.

احتمال استفاده از درجه‌بندی گوشت گاو بر پایه تصویرپردازی در بعضی از مطالعات انجام و مورد بررسی قرار گرفته است [۳۶]. آنها بخش‌های چربی‌دار و خالص را بر مبنای مشخصات انعکاسی متمایز کردند که به هرصورت نتایج ضعیفی گزارش شد. در مطالعه دیگر صحت بیشتری به‌دست آمد که ارزش R^2 (ضریب تعیین) برابر ۰/۸۶ و ۰/۸۴، به ترتیب برای ۶۰ استیک با استفاده از تحلیل تصویر برای رنگ خالص پیش‌بینی شده و ظاهر مرمرین[1] ثبت شده بود [۳۷]. در تحقیق دیگری از مشخصه‌های بافتار در تصویر به‌عنوان ی روشی برای پیش‌بینی تردی گوشت گاو استفاده کرده‌اند [۳۸]. مشخصه‌های رنگ، مرمرکاری و بافتار از تصاویر گوشت‌ها استخراج و با استفاده از رگراسیون آماری و شبکه عصبی مورد تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های آنها نشان می‌داد که مشخصه‌های بافتاری شاخصی مناسب برای تردی بود. تحلیل تصویر همچنین برای دسته‌بندی نوع عضله، نسل و سن گوشت گاوی استفاده شد.

روشی برای توصیف صفات اختصاصی تصویر طیفی لاشه‌های مرغ برای جداسازی لاشه‌های غده‌دار، کبود و با پوست پاره از لاشه‌های عادی معرفی شده است [۳۹]. لاشه‌ها توسط یک دوربین چند طیفی شامل فیلترهایی با طول موج‌های مختلف (۸۴۷-۵۴۲ nm) اسکن شدند. نتایج نشان می‌داد که نورهای با طول موج ۷۰۰ nm و ۵۴۲، مفیدترین منابع نوری برای دسته‌بندی مطلوب بودند. برای جداسازی لاشه‌های غده‌دار از لاشه‌های عادی، شبکه عصبی با صحت ۹۱٪ اجرا شد. برای شناسایی لاشه‌های مرغ ناسالم، روش ماتریس هم وقوعی[2] در شناسایی بافتار به‌کار گرفته شد [۳۹]. تشخیص عیوب نیز با استفاده از محتوای رنگی تصاویر تکه‌های مرغ مورد بررسی قرار گرفت [۴۰]. فضاهای معیوب محتمل در ابتدا توسط روش‌های ترمیم تصویر و تشخیص شیء[3] استخراج شدند و سپس بر طبق یک لیست از پیش تعریف شده عیوب دسته‌بندی شدند.

روش‌های طبقه‌بندی ماهی‌ها به صورت خودکار با استفاده از تحلیل تصویر برای کاهش بازرسی انسانی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال تعدادی از مشخصه‌های گونه‌های مختلف ماهی‌ها، در حالیکه آنها روی یک نوار نقاله با سرعت عمودی ۰/۲۱ m/s به سمت دوربین در حال حرکت بودند اندازه‌گیری شد و یک شبکه عصبی، گونه‌های مختلف ماهی‌ها را از داده‌های ورودی با صحت ۹۵٪ دسته‌بندی می‌نمود [۴۱].

از یک سیستم تصویر پرتو ایکس برای کشف استخوان‌ها در فیله‌های مرغ و ماهی استفاده شد [۴۲]. این سیستم تجاری بر این اساس عمل می‌کرد که ضریب‌های جذب دو ماده که در انرژی‌های پایین فرق می‌کنند اجازه نمایان شدن عیب‌ها را می‌دهند. سیستم توسعه یافته، توانایی عملیاتی ۱۰۰۰۰ فیله در ساعت دارد و می‌تواند به درستی استخوان‌های جامانده را با صحت ۹۹٪ شناسایی کند [۴۲]. همچنین استفاده از تصویربرداری پرتو ایکس و آستانه‌گذاری تطبیقی[4] برای بازرسی داخلی مرغ بدون استخوان ابداع شد [۴۳].

شکل، اندازه، رنگ، لکه‌ها و بیماری‌ها، جنبه‌های مهمی هستند که لازم است وقتی سیب زمینی‌ها درجه‌بندی و بازرسی می‌شوند در نظر گرفته شوند. در همین ارتباط، بینایی ماشین برای درجه‌بندی شکل سیب زمینی‌ها و همچنین جداسازی سیب زمینی‌های مورد قبول از نمونه‌های سبز، استفاده شده است [۴۴].

رنگ رفتگی قارچ‌ها در کارخانه‌های تولید قارچ، مطلوب نیست و ارزش آن را در بازار کاهش می‌دهد. رنگ و شکل کلاهک مهم‌ترین وجه قارچ‌های تازه است. بینایی رایانه‌ای با در نظر گرفتن مشخصه‌های رنگ، اندازه، بریدگی ساقه و دهانه پرده کلاهک برای بازرسی خودکار و درجه‌بندی قارچ‌ها به کار برده شد [۴۵]. دسته‌بندی غلط سیستم تصویر به طور میانگین ۲۰٪ بود که در مقایسه با نتایج چشمی حاصل از دو بازرس انسانی قابل قبول بود.

بینایی رایانه‌ای برای کارهایی از قبیل دسته‌بندی شکلی، کشف عیب، درجه‌بندی کیفی و دسته‌بندی نوع استفاده شد. در مورد به‌کارگیری بینایی ماشین در شناسایی عیوب و درجه‌بندی سیب‌های طلایی راه کارهایی گزارش شده است. در همین ارتباط، انتقالی برای تبدیل تصویر یک شیء کروی به یک تصویر سطحی معرفی شد که باعث سرعت استخراج مشخصه می‌شود و به سیستم، ظرفیت بازرسی ۳۰۰۰ سیب در دقیقه را با استفاده از سه دوربین می‌دهد، که هر کدام ۲۴ سیب را در میدان دید پوشش می‌دهند [۴۶]. نرخ موفقیت ۹۴ درصدی نیز برای طبقه‌بندی سیب‌های معیوب از سیب‌های خوب برای ۶۰۰ نمونه آزمایش شده، به‌دست آمد.

در تحقیق دیگری نتایج دو حسگر غیرمخرب برای پیش‌بینی محتوای قند سیب‌ها ترکیب شد. یک اسپکتروفتومتر و یک سیستم بینایی رایانه‌ای به‌صورت آنلاین به کار برده شد و منتج به صحت ۷۸ درصدی

[1] Marbling
[2] Co-occurren matrix
[3] Object recognition
[4] Adaptive thresholding

برای پیش‌بینی محتوای قند، با یک زمان پردازش ۳/۵ ثانیه برای هر میوه شد [۴۷]. با استفاده از تصویربرداری پرتو ایکس 2-D، آسیب هسته آبکی داخلی در سیب‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۴۸]. مجموعه‌ای از هشت مشخصه از تصاویر سیب‌های اسکن شده با پرتو ایکس، استخراج و با استفاده از شبکه عصبی برای دسته‌بندی نمونه‌های سیب، مورد استفاده قرار گرفت. سیب‌ها به دسته‌های تمیز و نامطلوب دسته‌بندی شدند و دسته‌ها مستقل از جهت قرارگیری سیب‌ها با خطای قابل قبولی جدا می‌شدند.

محتوای قند و اسید پرتقال با استفاده از یک سیستم بینایی ماشین ارزیابی شد [۴۹]. تصاویر ۳۰ پرتقال Iyokan توسط یک دوربین رنگی به‌دست آمد. مشخصه‌های نمایش‌دهنده رنگ میوه، اندازه و سختی سطح میوه از تصاویر استخراج شد. ضریب همبستگی بین ارزش‌های محتوای قند اندازه‌گیری شده و ارزش‌های محتوای قند پیش‌بینی شده ۰/۸۴ گزارش شد در حالیکه ضرایب همبستگی بین ارزش‌های pH اندازه‌گیری شده و ارزش‌های pH پیش‌بینی شده برای سیستم توسعه داده شده ۰/۸۳ بود.

برای ارائه یک محصول متحدالشکل به مشتری، جداسازی و دسته‌بندی آجیل‌های مخلوط به اندازه و اشکال همسان مطلوب است. یک روش بازرسی غیر مخرب با استفاده از بینایی ماشین برای شناسایی و حذف پسته‌های در بسته از جریان پردازش ارائه شد [۵۰]. همچنین تصویربرداری پرتو ایکس در ترکیب با بینایی ماشینی برای شناسایی آسیب وجود سوراخ در بادام‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۵۱].

یک سیستم بینایی ماشین برای درجه‌بندی شش نوع محصول تازه در فضای CIELAB و با به‌کارگیری الگوریتم بیزی معرفی شد [۵۲]. با استفاده از روش تقطیع منطقه‌ای بخش‌های براق سطح میوه و همچنین پس زمینه جدا شد. دو روش محاسباتی برای درجه‌بندی محصولات استفاده شد که در این بین روش بیزی تطابق بالاتری با نتایج بصری داشت.

یکی از شاخصه‌های مهم در صادرات انبه، وزن آن می باشد که فرآیند اندازه‌گیری آن بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. در همین ارتباط راه‌کاری با استفاده از بینایی ماشین برای تخمین وزن انبه پیشنهاد شده است [۵۳].

این تحقیق نشان داد بین حجم و وزن انبه همبستگی بالایی وجود دارد که نتیجه آن موفقیت الگوریتم‌های پردازش تصویر برای پیش‌بینی وزن از اندازه میوه می‌باشد.

با فراوانی غذاهای محتوای پنیر که در بازار موجود می‌باشند، لزوم ارزیابی خواص اساسی پنیر در حال افزایش است. بازرسی‌های حاضر بر پایه ارزیابی‌های تجربی و حسی، خسته‌کننده و سلیقه‌ای هستند که نتیجه آن به‌کارگیری بینایی رایانه‌ای برای انجام این امور را منجر شد.

آزمایش‌هایی روی خواص، قابلیت گداختن و برشته‌شدن پنیر چدار[1] و پنیر موزارلا[2] تحت شرایط پخت مختلف و اندازه‌های متفاوت نمونه‌ها با استفاده از بینایی ماشین گزارش شده است [۵۵-۵۴].

نوع، درصد و توزیع مواد روی پیتزا، عامل‌هایی هستند که ظاهر جذاب آن را سبب می‌شود و انواع مختلفی از پیتزاهای تجاری موجود را بوجود می‌آورند. در حال حاضر بازرسی این ویژگی‌های کیفی به صورت دستی انجام می‌شود، با استفاده از بینایی رایانه‌ای تحلیل این مشخصه‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۵۶].

یک روش قطعه‌بندی مبتنی بر ناحیه، بسط داده شد و هنگامی که نما و همواری مواد روی پیتزا مورد آزمایش قرار گرفت یک صحت ۹۰ درصدی به‌دست آمد. در آزمایش‌های دیگر بینایی رایانه‌ای و منطق فازی برای دسته‌بندی شالوده پیتزاها، نحوه توزیع سس و همواری مواد روی پیتزا برای تعیین نمونه‌های کیفی قابل قبول و معیوب مورد استفاده قرار گرفت.

شرایط مورد نیاز کیفی غلات نسبت به کاربردهای نهایی آن‌ها از قبیل آماده‌سازی انواع محصولات نان، کیک، کلوچه و پاستا تغییر می‌کند. روش کنونی دسته‌بندی بصری، حتی برای بازرسان آموزش دیده طاقت‌فرسا است و این به خاطر تنوع گسترده مشخصه‌هایی است که در مقایسه دسته‌ها، تاثیرات نوعی و محیطی ایجاد می‌شود. به‌عنوان مثال یک روش انتخاب مشخصه با استفاده از بینایی ماشین برای تفکیک گندم‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۵۷]. میزان دقت تشخیص گندم‌های durum و گندم‌های نانی برای نمونه‌های آزمایش شده به ترتیب ۸۲٪ و ۸۱٪ بود.

کیفیت، مهم‌ترین عامل در برنج برای استفاده خوراکی است. آسیابان‌های برنج، کیفیت برنج را برای ملاحظات تغذیه‌ای و اقتصادی درجه‌بندی می‌کنند، و بنابراین نیاز به یک سیستم درجه‌بندی سریع و صحیح دارند. یک سیستم بازرسی دانه خودکار آنی با استفاده از بینایی ماشینی معرفی شده است [۵۸].

مجموع ۱۶ مشخصه ظاهری برنج‌های سبوس‌دار مربوط به شکل، رنگ و عیوب دانه برای مطالعه عملکرد تشخیص کیفیت برنج‌ها، برای سه روش دسته‌بندی به‌کار گرفته شد. دانه‌های برنج سبوس‌دار سالم، ترک خورده، گچی، شکسته، کال، مرده، آسیاب نشده و آسیب دیده می‌تواند توسط این سیستم و با صحت ۹۱ درصدی در سرعت بالای ۱۲۰۰ دانه در دقیقه شناسایی و مرتب شود.

استفاده از فناوری تصویربرداری دیجیتالی برای نظارت خودکار بر پودر و دانه ریز شکر خشک، گزارش شده است [۵۹]. این سیستم داده اندازه ذره را برای عملگرهای خط تولید جهت کنترل فرآیند و بهبود کیفی محصول فراهم می‌کند. امروزه تعداد مقالات منتشر شده در زمینه به‌کارگیری پردازش تصویر و بینایی ماشین در صنایع کشاورزی و غذایی بسیار زیاد می‌باشد که به تعدادی از آنها اشاره شد، برای اطلاعات بیشتر می‌توان به مراجع مروری موجود نظیر مرجع ۶۰ مراجعه نمود.

[1] Cheddar
[2] Mozzarella

۳- تصویرپردازی زیر قرمز در کنترل کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی

کشف اولیه انرژی زیر قرمز منسوب به ویلیام هرشل[1] ستاره‌شناس سلطنتی بریتانیایی در ۱۸۰۰ است، زمانی که او نور خورشید را در میان یک منشور پراکنده کرد و سپس آنرا با یک دماسنج حساس آشکار نمود. او انرژی فرا انتهای قرمز نور قابل مشاهده را کشف، و ثابت کرد که ارتباطی بین دما و طول موج وجود دارد. از زمان کشف او، مطالعه زیر قرمز منجر به کشف تئوری‌های بنیادی و قوانین پرتوهای حرارتی شد و مشخص شد که خصوصیات زیر قرمز برای اکتشاف ساختار بالقوه مواد مختلف مهم است [۱,۶۱].

تمامی اجسام در دمای بالاتر از صفر درجه کلوین ۲۷۳/۱۵°C- امواج زیر قرمز را که بخشی از طیف الکترومغناطیس می‌باشد از خود منتشر می‌کنند. طیف الکترومغناطیس ترکیبی از امواج رادیو، امواج میکرو، امواج زیر قرمز، نور مرئی، تشعشعات فرابنفش، پرتو X، و پرتوهای گاما (شکل ۲) می‌باشد.

برد طیف الکترومغناطیسی زیر قرمز از تقریبا ۰/۷۵ تا ۱۰۰۰μm گسترده است. این برد معمولاً به زیر قرمز نزدیک، زیر قرمز میانه و زیر قرمز دور تقسیم می‌شود. اگر چه تخصیص دقیقی برای جداسازی گروه‌های زیر قرمز وجود ندارد، محدوده ۷۵۰ nm تا ۲۵۰۰ nm یا ۳۰۰۰ nm معمولاً به‌عنوان زیر قرمز نزدیک مورد قبول است، از ۲۵۰۰ nm تا ۶ μm یا ۷ زیر قرمز میانه نامیده می‌شود و پهنای باند از ۷ μm تا ۱۵ μm (یا ۱۶ μm) معمولاً به‌عنوان زیر قرمز دور در نظر گرفته می‌شود و زیر قرمز فوق‌العاده دور از ۱۶ μm تا ۱ mm می‌باشد.

[1] William Herschel

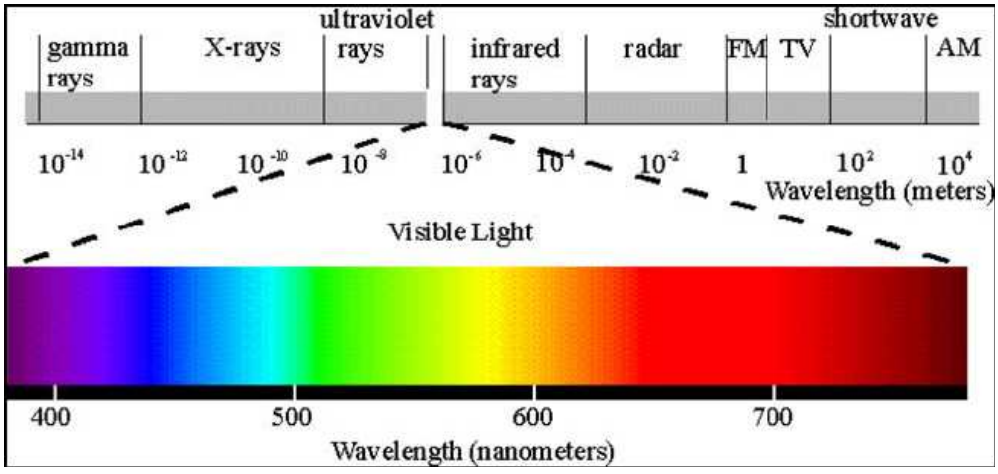
۳-۱- تصویرپردازی زیر قرمز

سنجش دما، موضوع مهمی در صنایع مختلف می‌باشد و گرمانگاری زیر قرمز نزدیک[2] انقلابی در سنجش و اندازه‌گیری دما به وجود آورد. اندازه‌گیری دما به‌طور معمول به‌وسیله ترمومترها[3]، ترموکوپل‌ها[4]، ترمیستورها[5] و ارزیابی‌های مقاومت دمایی[6]، انجام می‌شود.

چنین دستگاه‌هایی می‌توانند تنها برای تخمین دما در نقاط خاص به کار روند و بیشتر آنها نیاز به تماس داشتن با مواد دارند. در حالیکه تصویرپردازی گرمایی زیر قرمز یک روش غیر تماسی و غیر تخریبی است که نقشه دمایی ماده را تولید می‌کند. بنابراین استفاده از تصویرپردازی حرارتی زیر قرمز در زمینه‌های مختلف به‌طور وسیع به کار گرفته شده است.

تصویرپردازی حرارتی کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف نظیر مهندسی معدن، نگهداری صنعتی، هوافضا، پزشکی، داروسازی، و دامپزشکی دارد. کاربرد تصویرپردازی حرارتی در سال‌های اخیر در صنایع غذایی و کشاورزی عمومیت پیدا نموده است. مزایای بزرگ تصویرپردازی حرارتی غیرتماسی، غیر تخریبی و سریع بودن آن می‌باشد که می‌تواند در موارد آنی مفید باشد.

[2] Infrared thermography
[3] Thermometers
[4] Thermocouples
[5] Thermistors
[6] Temperature resistance detectors



شکل ۲- نمایی از طیف الکترومغناطیس در طول موج‌های مختلف [۶۱].

امروزه دوربین‌های حرارتی با کاربری آسان و دقت بالا برای اندازه‌گیری حرارت، در دسترس می‌باشند. تصویرپردازی حرارتی این امکان را فراهم می‌آورد که هر ناحیه مورد توجهی با توجه به زمان مورد نظر برای پاسخ، اندازه‌گیری حرارتی شود که این امر با ترموکوپل‌ها یا دیگر حسگرهای دمایی که تنها مناطق نقطه‌ای را اندازه‌گیری می‌کنند، امکان‌پذیر نمی‌باشد. تکرارپذیری اندازه‌گیری‌های دمایی در تصویرپردازی حرارتی بالا می‌باشد.

همچنین تصویرپردازی حرارتی مانند دیگر سیستم‌های تصویرپردازی، نیاز به منبع روشنایی ندارد. مدل‌های قدیمی دوربین‌های حرارتی نیاز به خنک‌کننده‌های حسگر داشتند تا بتوانند دقتی در حد $^{\circ}C$ ۰/۱داشته باشند حال آنکه دوربین‌های اخیر می‌توانند در دمای اتاق عمل کنند که کار با چنین دوربین‌هایی را ساده نموده و افزایش رشد به‌کارگیری تصویرپردازی حرارتی را در زمینه‌های مختلف به همراه داشته است.

۳-۱-۲ سیستم تصویرپردازی حرارتی

سیستم تصویرپردازی حرارتی زیر قرمز شامل یک دوربین حرارتی است که به حسگرهای زیر قرمز، یک واحد پردازش سیگنال و یک سیستم گیرنده تصویر، مجهز شده است. حسگرهای زیر قرمز، انرژی زیر قرمز ساطع شده از جسم را جذب نموده و به پالس‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند.

پالس‌های الکتریکی به واحد پردازشگر سیگنال فرستاده شده که این اطلاعات را به تصاویر حرارتی تبدیل می‌کند. بیشتر دستگاه‌های تصویرپردازی حرارتی با سرعتی حدود ۳۰ بار در هر ثانیه اسکن می‌کنند و محدوده دمایی از $^{\circ}C$ ۲۰ - تا $^{\circ}C$ ۱۵۰۰ را حس می‌کنند که این رنج دمایی همچنان می‌تواند با به‌کارگیری فیلترهایی افزایش یابد.

گیرنده‌ها[1] مهم‌ترین بخش سیستم تصویرپردازی حرارتی می‌باشند که انرژی طیفی را به نسبت مقدار پرتو وارد شده بر آنها، به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند. دو نوع گیرنده وجود دارد: گیرنده‌های حرارتی و فوتونی. در گیرنده‌های حرارتی، تابش زیر قرمز، المان‌های گیرنده را گرم می‌کند که نتیجه آن افزایش دما می‌باشد.

در حسگرهای فتونی، برخورد پرتوها در سطوح اتمی یا مولکولی با مواد موجود در حسگر تقابل نموده که نتیجه آن تولید شارژی است که ولتاژی را در طول المان‌های گیرنده ایجاد می‌کند یا مقاومت الکتریکی آن را تغییر می‌دهد. در مقایسه، حسگرهای فتونی حساسیت بیشتری را نسبت به حسگرهای حرارتی تولید می‌کنند.

دستگاه‌های تصویرپردازی حرارتی می‌توانند به دو دسته بدون خنک‌کننده و با خنک‌کننده تقسیم شوند. دستگاه‌های بدون خنک‌کننده که معمول‌تر نیز می‌باشند، دارای المان‌های گیرنده زیر قرمزی هستند که در دمای اتاق عمل می‌کنند. این دستگاه‌ها ارزان‌تر می‌باشند اما قدرت تفکیک‌پذیری[2] و کیفیت تصویر در آنها نسبت به دستگاه‌های دارای سیستم خنک‌کننده کمتر است [۱,۶۱].

۳-۲- کاربرد تصویرپردازی زیر قرمز در صنایع غذایی و کشاورزی

طیف‌سنجی NIR در بسیاری از حوزه‌ها شامل کنترل فرآیند صنعتی، شیمیایی، علوم پزشکی، و بازرسی‌های مواد غذایی و محصولات کشاورزی به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. فناوری‌های طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک در صنعت پلیمر و پلاستیک برای نظارت بر عکس‌العمل‌های شیمیایی و جریان محصول برای اهداف حفاظت محیطی و کیفی به کار برده می‌شوند.

علیرغم پیشرفت سریع ابزارهای طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف، اولین و بهترین کاربرد طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک مدرن در اداره کشاورزی آمریکا، در اواسط تا اواخر ۱۹۶۰، به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری ترکیب گندم، سویا و محصولات دیگر کشاورزی، بوده است. طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک مدرن نیازمند طیف سنج‌های کم نویز، کنترل رایانه‌ای طیف‌سنج‌ها، کسب داده، و استفاده از الگوریتم‌های رایانه‌ای آماری و ریاضیاتی چند متغیره برای تحلیل داده است. اکنون طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک به یک روش استاندارد و تحلیل معمول برای تعیین پروتئین، رطوبت، روغن و محتویات مورد علاقه دیگر در گندم، دانه‌های سویا، دانه‌ها، حبوبات، جو و دیگر محصولات کشاورزی تبدیل شده است [۶۴-۶۲].

به‌طور مشابه، طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک برای اندازه‌گیری کیفیت محصولات غذایی به‌کار می‌رود.

برای مثال، فناوری زیر قرمز نزدیک برای تعیین پروتئین، چربی، لاکتوز و سختی کلی[3] (مربوط به آب) در شیر، شناسایی رطوبت، پروتئین، روغن و نمک محتوی در گوشت ماهی، و نظارت بر تولید غذاهای فرآوری شده از قبیل پنیرها، کره کاکائویی و شکلات به‌کار برده می‌شود [۱, ۶۵, ۶۶].

میوه‌ها و سبزیجات به علت محتوای مرطوب و اندازه نسبتاً بزرگ برای اندازه‌گیری NIR نامناسب بودند. به هرحال، با پیشرفت ابزارهای NIR با کارآئی بالا، به‌کار بردن روش‌های زیر قرمز نزدیک برای نظارت کیفیت میوه‌ها و سبزیجات بی‌عیب، بیشتر و بیشتر عمومیت پیدا کرد.

بر طبق نوشته‌ها، طیف‌بینی زیر قرمز نزدیک برای اندازه‌گیری سفتی و محتوای قند گیلاس‌های شیرین، برای تعیین محتوای حل‌پذیری، سختی و قدرت اسیدی نوعی سیب، برای تعیین محتوای مواد جامد قابل حل هلوها، برای ارزیابی محتوای قند خربزه‌های تازه، و اندازه‌گیری‌های کیفی مشابه میوه‌ها و سبزیجات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

[1] Detectors

[2] Resolution

[3] Total hadness

علیرغم مسائل کیفی از قبیل بافتار، مزه و ظاهر، عامل مهم دیگری وجود دارد که فرآیندهای طبقه‌بندی و درجه‌بندی محصولات تازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و آن بازرسی عیب می‌باشد. طیف‌سنجی انعکاسی زیر قرمز نزدیک به‌طور وسیعی در بازرسی عیوب میوه‌ها به‌کار برده شده است. معمولاً سطح میوه فقط کسری از پرتو زیر قرمز نزدیک ضمنی را با عنوان انعکاس عادی، منعکس خواهد کرد، در حالیکه پرتو باقی مانده در طول سطح منتقل می‌شود. ساختار سلولی داخلی میوه قسمتی از پرتو ضمنی را به تمام جهت‌ها پراکنده می‌کند و یک بخش از انرژی زیر قرمز نزدیک در بعضی از طول موج‌ها را جذب می‌کند. اگر ساختار سلولی داخلی تغییر کند، جذب نیز تغییر می‌کند. در نتیجه، پرتو زیر قرمز نزدیک منعکس شده از یک میوه، مطابق آن دسته‌های جذب تغییر می‌کند. برای مثال، وقتی یک کبودی ظاهر می‌شود، خرابی دیواره سلول و تغییر شیمیایی در بافتار میوه ممکن است پراکندگی نور در ناحیه کبود شده را تغییر دهد، که منجر به یک تفاوت در انعکاس، در مقایسه با میوه غیرکبود می‌شود. استفاده از یک حسگر برای اندازه‌گیری پرتو زیر قرمز نزدیک منعکس شده می‌تواند اطلاعاتی فراهم کند که هر گونه تغییر ساختار داخلی سلول را نشان دهد، و این کیفیت پنهان شده پشت سطح یک میوه را آشکار می‌کند.

به کارگیری NIR برای شناسایی خرابی میوه و سبزی در دهه‌های اخیر یک روش عادی و معمول است. سیستم‌های حسی NIR به‌عنوان ابزار غیر مخرب برای شناسایی لکه‌های روی سیب، هلو، گوجه‌فرنگی و غیره به‌کار می‌روند. به دلیل سرعت بالا و نسبت سیگنال به نویز تقریباً زیاد، سیستم‌های حسی NIR برای صنایع بسته‌بندی میوه مناسبند، تا بدین وسیله کارآمدی و کیفیت آن‌ها را در حین بسته‌بندی با سرعت زیاد بهبود دهند .مشخصات غیرتماسی تصویربرداری زیر قرمز یک مزیت مهم دیگر است، مخصوصاً برای اندازه‌گیری دمای سطح مواد غذایی پخته‌شده و دیگر مواد غذایی. نظارت غیر مخرب، با سرعت زیاد، خودکار و صحت، تصویربرداری زیر قرمز میانه را تبدیل به روش مقدم در صنایع بازرسی غذا می‌کند. از آنجا که حسگرهای حرارتی قدیمی نمی‌توانند در گرمای مایکروویو به‌کار روند، یک روش تصویربرداری زیر قرمز حرارتی برای نظارت مستمر حرارت سطح غذا در یک مایکروویو معرفی شد.

همچنین روشی با استفاده از گرماسنجی IR برای اندازه‌گیری دمای سطح مایکروویو ارائه شد. از تصویربرداری IR حرارتی برای بررسی انتقال گرما در طول سطوح مشترک روغن/ آب و هوا/ آب استفاده کردند. هدف آن‌ها بررسی تاثیر تک لایه‌ای‌های فعال در سطح، روی فرآیند انتقال گرما در سرتاسر سطوح مشترک بود. یک روش با استفاده از تصویربرداری IR برای تخمین دمای پخت داخلی سینه‌های مرغ ایجاد کرد [۱]. روش تصویربرداری IR حرارتی برای سنجش عوامل مختلف در میوه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۶۱, ۶۷, ۶۸].

از یک دوربین IR vidicon برای اندازه‌گیری دمای سطح در میوه‌ها برای ارزیابی درجه رسیده بودن استفاده شده است. بر اساس تحلیل‌های عکس‌های زیر قرمز حرارتی، عنوان شده است که فرآیند انتقال به تغییرات دمای سطح میوه‌ها مرتبط است، و ارزش حداکثر پایداری انتقال با مرحله رسیده بودن هم‌زمان است [۱, ۶۱]. یک کار مهم روی کشف عیب سیب با استفاده از تصویربرداری حرارتی زیر قرمز توسط واریت[1] و همکارانش ارائه شد، تفاوت در رسانایی حرارتی، گرمای ویژه، ضریب پخش حرارتی، و قابلیت تشعشع بین بافتارهای کبود و سالم، باعث واگرا شدن دماهای سطح می‌شد.

همچنین نشان داده شده است که در کبودی‌ها، ضریب پخش حرارتی ۱۴/۳٪ بیشتر از بافتارهای سالم است، و چند ثانیه بعد از شروع گرما با سرعت بیشتری لهیده می‌شوند.

بعد از این مدت، دمای سطح بافتارهای کبود یا سالم به تعادل حرارتی می‌رسد. مشخص شد که کشف کبودی‌ها با استفاده از یک روش گرمایی، آسان‌تر از یک روش سرمایی است.

به هر حال، بیشتر مطالعات انجام شده، بر روی احتمال استفاده از تصویربرداری حرارتی زیر قرمز برای کشف موارد کبود شده تمرکز داشت و کمتر به مشکلات پایداری که در طی بازرسی عیوب آنی سیب رخ می‌داد توجه داشت [۶۹].

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله، مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه به‌کارگیری بینایی ماشین و رنگ سنجی در کنترل کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی بوده است. بدین منظور در ابتدا جمع‌آوری کتابخانه‌ای وسیعی انجام شد و بررسی روش‌های به‌کار گرفته شده در این ارتباط، مد نظر قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌داد که با توجه به افزایش جمعیت، اتلاف در فرآیند حمل و نقل و پردازش و همچنین افزایش توقعات برای دستیابی به محصولات غذایی با کیفیت بالاتر و استانداردهای لازم، نیاز برای رشد روش‌های دقیق و دستگاهی تخمین کیفیت و خصوصیات محصولات غذایی و کشاورزی وجود دارد.

تصویرپردازی و بینایی ماشین، راه کارهای سریع‌تر، دقیق‌تر، غیر تخریبی و با هزینه مناسب‌تر را برای درجه‌بندی محصولات غذایی و کشاورزی در اختیار می‌گذارد. امروزه بینایی ماشین در مقیاس وسیع برای ارزیابی کمی، کنترل کیفیت و درجه‌بندی انواع مختلف محصولات غذایی و کشاورزی به خدمت گرفته شده است. مقالاتی از درجه‌بندی میوه‌ها، کنترل کیفیت غلات و حتی بررسی شاخصه‌های انواع مختلف گوشت و ماهی، تخمین پارامترهایی چون رنگ، اندازه و وزن، بررسی شاخصه‌های کیفی محصولات پخته شده نظیر انواع نان و بیسکویت و غیره با پردازش تصویر گزارش شده است. چنین به نظر می‌رسد که بخش اعظم کنترل کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی در آینده‌ای نزدیک بصورت مکانیزه و با به‌کارگیری بینایی ماشین در سطح تجاری انجام شود.

[1] Varith

۵- مراجع

1. X. Cheng, "Hyperspectral imaging and pattern recognition thechnologies for real time fruit safety and quality inspection", PhD thesis, University of Maryland, **2004**.
2. R. L. Shewfelt, B. Bruckner, Fruit and vegetable quality: An integrated view. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing, **2000**.
3. F. J. Francis, "Colour quality evaluation of horticultural crops", HortScience, 15(1), 14–15, **1980**.
4. T. Brosnan, D. W. Sun, "Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems: A review", Comput. Electron. Agric., 36, 193- 213, **2002**.
5. D. W. Sun, "Computer vision: An objective, rapid and non-contact quality evaluation tool for the food industry", J. Food Eng., 61, 1-2, **2003**.
6. A. J. M. Timmermans, "Computer vision system for online sorting of pot plants based on learning techniques", Acta Horticulturae, 421, 91-98, **1998**.
7. H. H. Wang, andD. W. Sun, "Evaluation of the functional properties of cheddar cheese using a computer vision method", J. Food Eng., 49(1), 47–51, **2001**.
8. S. Gunasekaran, "Non-Destructive food evaluation techniques to analyze properties and quality", Food Sci. Technol. Vol. 105, Marcel Decker, New York, **2001**.
9. R. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital image processing", 2nd edition, Prentice-Hall, **2002**.
10. M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, "Image processing: Analysis and machine vision", 1st edition published by Chapman and Hall, **1993**.
11. A. O. Raji, A. A. Fagboun, M. K. Dania, "An approach to detecting defects in food products", Proceedings of the First International Conference of the Nigerian Institution of Agricultural Engineers, 36-39, **2000**.
12. P. Locht, K. Thomas, P. Mikkelsen, "Full colour image analysis as a tool for quality control and process development in the food industry", In 1997 ASAE AnnualInternational Meeting, Paper No 973006, St. Joseph, Michigan, USA, **1997**.
13. D. W. Sun, "Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method", J. Food Eng., 44, 245-249, **2000**.
14. G. El Masry, N. Wang, C. Vigneault, J. Qiao, A. El Saye, "Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging", LWT,41, 337–345, **2008**.
15. G. Feng, C. Qixin, "Study on color image processing based intelligent fruit sorting system", Proceedings of the 5th" World Congress on Intelligent Control s and Automation, June 15-19, Hangzhou, P.R. China, 4802-4805, **2004**.
16. G. Poldera, G. W. A. M. Van der Heijdena, I. T. Young "Tomato sorting using independent component analysis on spectral images", Real-Time Imaging, 9, 253-259, **2003**.
17. C. Puchalski, J. Gorzelany, G. Zaguła, G. Brusewitz, "Image analysis for apple defect detection", TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. -OL PAN, 8, 197-205, **2008**.
18. M. C. García-Alegre, A. Ribeiro, D. Guinea, G. Cristóbal, "Eggshell defects detection based on color processing", Proc. SPIE 3966, 380-387, **2000**.
19. E. W. Tollner, M. A. Shahin, B. W. Maw, R. D. Gilaitis, D. R. Summer, "Classification of onions based on internal defects using imaging processing and neural network techniques", 1999 ASAE International Meeting Paper No. 993165, **1999**.
20. Y. J. Han, S. V. Bowers, R. B. Dodd. "Nondestructive detection of split –pit peaches", Transactions of the ASAE, 35 (6), 2063 -2067, **1992**.
21. S. Kim, T. F. Schatzki., "Apple water core sorting using X-ray imagery: I Algorithm development", Transactions of the ASAE, 43 (6), 1695 -1702, **2000**.
22. T. Brosnan, D. W. Sun, "Improving quality inspection of food products by computer vision A Review and grading of agricultural and food products by computer vision systems A Review", J. Food Eng., 61, 3-16, **2004**.
23. K. L. Yam, E. P. Spyridon, "A simple digital imaging method for measuring and analyzing colour of food surfaces", J. Food Eng., 61, 137-142, **2003**.
24. F. A. Payne, S. A. Shearer, "Colour and defect sorting of bell peppers using machine vision", Transactions of the ASAE, 33(6), 2045-2050, **1990**.
25. V. Alchanatis, K. Peleg, M. Ziv, "Classification of tissue culture segments by colour machine vision", J. Agric. Eng. Res., 55, 299-311, **1993**.
26. M. J. Delwiche, T. G. Crowe, "Real-Time defect in food-part II: An algorithm and performance of a prototype system", Transactions of the ASAE, 39(6), 2309-2317, **1996**.
27. S. Panigrahi, M. K. Misra, "Feature extraction techniques for corn germplasm by colour computer vision", In 1990 ASAE International Summer Meeting, paper No 90-7050, St. Joseph, Michigan, USA, **1990**.
28. A. O. Raji, "Discrete element modeling of the deformation of bulk agricultural particulates", Unpublished Ph.D Thesis, University of Newcastle-upon-Tyne, **1999**.
29. A. S. Laliberte, A. Rango, J. E. Herrick, Ed L. Fredrickson, L. Burkett, "An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green", J. Arid. Environ., 69, 1-14, **2007**.
30. T. RayChaudhuri, J. Yeh, L. Hamey, S. Sung, T. Westcott, "A connectionist approach to quality assessment of food products", 8th Australian Joint Conf. Artificial Intelligence, 435-441, **1995**.
31. F. Mendoza, P. Dejmek, J. M. Aguilera, "Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis", Postharvest Biology and Technology, 41(3), 285-295, **2006**.
32. M. Rashidi, K. Seyfi, "Classification of fruit shape in cantaloupe using the analysis of geometrical attributes", World J. Agric. Sci., 3(6), 735-740, **2007**.
33. A. Scott, "Automated continuous online inspection, detection and rejection", Food Technol. Eur., 1(4), 86-88, **1994**.
34. H. D. Sapirstein, "Quality control in commercial baking: machine vision inspection of crumb grain in bread and cake products", In Food Processing Automation IV Proceedings of the FPAC Conference. St. Joseph, Michigan, USA: ASAE, **1995**.
35. V. J. Davidson, J. Ryks, T. Chu, "Fuzzy models to predict consumer ratings for biscuits based on digital features", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 9(1), 62–67, **2001**.
36. T. Mc Donald, Y. R. Chen, "Separating connected muscle tissues in images of beef carcass ribeyes", Transactions of the ASAE, 33(6), 2059-2065, **1990**.
37. D. E.Gerrard, X. Gao, J. Tan, "Beef marbling and colour score determination by image processing", J. Food Sci., 61(1), 145-148, **1996**.
38. J. Li, J. Tan, F. A. Martz, "Predicting beef tenderness from image texture features". In 1997 ASAE Annual International Meeting, Paper No. 973124. St. Joseph, Michigan, USA: ASAE, **1997**.
39. B. Park, Y. R. Chen, "Co-occurrence matrix texture features of multi-spectral images on poultry carcasses", J. Agric. Eng. Res., 78(2), 127–139, **2001**.
40. M. Barni, V. Cappellini, A. Mecocci, "Colour based detection of defects on chicken meat", Image Vision Comput., 15, 549-556, **1997**.
41. F. Storbeck, B. Daan, "Fish species recognition using computer vision and a neural network", Fisheries Research, 51, 11-15, **2001**.

42. V. Jamieson, "Physics raises food standards", Physics World, 1, 21-22, **2002**.
43. Y. Tao, Z. Chen, H. Jing, J. Walker, "Internal inspection of deboned poultry using X-ray imaging and adaptive thresholding", Transactions of the ASAE, 44(4), 1005-1009, **2001**.
44. Y. Tao, P. H. Heinemann, Z. Varghese, C. T. Morrow, H. J. Sommer, "Machine vision for colour inspection of potatoes and apples", Transactions of the ASAE, 38(5), 1995a, 1555-1561, **1995**.
45. P. H. Heinemann, R. Hughes, C. T. Morrow, H. J. Sommer, R. B. Beelman, P. J. Wuest, "Grading of mushrooms using a machine vision system", Transactions of the ASAE, 37(5), 1671-1677, **1994**.
46. Y. Tao, Z. Wen, "An adaptive spherical image transform for high-speed fruit defect detection", Transaction of the ASAE, 42(1), 241-246, **1999**.
47. V. Steinmetz, J. M. Roger, E. Molto, J. Blasco, "Online fusion of colour camera and spectrophotometer for sugar content prediction of apples", J. Agric. Eng. Res., 73, 207-216, **1999**.
48. S. Kim, T. F. Schatzki, "Apple watercore sorting using X-ray imagery: I. Algorithm development", Transactions of the ASAE, 43(6), 1695-1702, **2000**.
49. N. Kondo, U. Ahmad, M. Monta, H. Murase, "Machine vision based quality evaluation of Iyokan orange fruit using neural networks", Comput. Electron. Agric., 29(1-2), 135-147, **2000**.
50. T. Pearson, N. Toyofuku, "Automated sorting of pistachio nuts with closed shells", Appl. Eng. Agric., 16(1), 91-94, **2000**.
51. S. Kim, T. Schatzki, "Detection of pinholes in almonds through X-ray imaging", Transactions of the ASAE, 44(4), 997-1003, **2001**.
52. S. Somatilake, A. N. Chalmers, "An image-based food classification system", Proceedings of Image and Vision Computing, Hamilton, New Zealand, 260-265, **2007**.
53. S. Riyadi, M. M. Mustafar, A. Hussain, A. Hamzah, "Papaya fruit grading based on size using image analysis", Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 17-19, **2007**.
54. H.-H. Wang, D.-W. Sun, "Evaluation of the functional properties of cheddar cheese using a computer vision method". J. Food Eng., 49(1), 47-51, **2001**.
55. H.-H. Wang, D.-W. Sun, "Melting characteristics of cheese: analysis of the effects of cheese dimensions using image processing techniques", J. Food Eng., 52(3), , 279-284, **2002**.
56. D.-W. Sun, "Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method", J. Food Eng., 44, 245-249, **2000**.
57. H. Uthu, "Application of the feature selection method to discriminate digitised wheat varieties", J. Food Eng., 46(3), 211-216, **2000**.
58. Y. N. Wan, C. M. Lin, J.F. Chiou, "Adaptive classification method for an automatic grain quality inspection system using machine vision and neural network", In 2000 ASAE Annual International Meeting, Paper No. 003094. St. Joseph, Michigan, USA: ASAE, **2000**.
59. M. L. Strickland, "Online particle sizing aids in sugar production", Sugar Journal, 62(8), 14-20, **2000**.
60. Ch.-J. Du, D.-W. Sun, "Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review", J. Food Eng., 72, 39-55, **2006**.
61. R. Vadivambal, D. S. Jayas, "Applications of thermal imaging in agriculture and food industry: A Review", Food Bioprocess Technol., Review paper, 186 - 199, **2010**.
62. C. Miralbes, "Prediction chemical composition and alveograph parameters on wheat by near-infrared transmittance spectroscopy", J. Agric. Food. Chem51, 6335-6339, **2003**.
63. J. O. Bennett, A. H. Krishnan, W. J. Wiebold, "Positional effect on protein and oil content and composition of soybeans", J. Agric. Food. Chem, 5, 6882-6886, **2003**.
64. J. Fontaine, B. Schirmer, J. Horr. "Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) enables the fast and accurate prediction of essential amino acid contents. 2. Results for wheat, barley, corn, triticale, wheat bran/middlings, rice bran, and sorghum", J. Agric. Food. Chem 50(14), 3902-3911, **2002**.
65. L. Curda, O. Kukackova. "NIR spectroscopy: a useful tool for rapid monitoring of processed cheeses manufacture. J. Food Eng., 61, 557-560, **2004**.
66. H. Z. Zhang, W. Zeng, M. Rutman, "Simultaneous determination of moisture, protein and fat in fish meal using near-infrared spectroscopy", Food Sci. Technol. Res., 6(1), 19-23, **2000**.
67. D. M. Bulanon, T. F. Burks, V. Alchanatis, "Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection", Biosystems Eng., 101(2), 161-171, **2008**.
68. D. Stajnko, M. Lakota, M. Hočevar, "Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging", Comput. Electron. Agric., 42(1), 31-42, **2004**.
69. J. Varith, "Uses of thermal properties for non-destructive assessment of apple quality". Ph.D. Dissertation, Washington State University, Pullman, WA, **2001**.