مروری بر روشهای تصویربرداری طیفی غیر مخرب برای ارزیابی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی

علی محمدزاده *[۱]، محمود رضا گلزاریان[۲] و محمد حسین عباسپور فرد[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ۲- و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
*Ali.Mohammadzadeh@stu.um.ac.ir

چکیده

در صنعت کشاورزی، فرآوری پس از برداشت و صنایع تولید مواد غذایی، بررسی ویژگیها و کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می باشد. در صنعت پس از برداشت، می توان از پردازش تصویر و به طور کلی از سامانه بینایی برای کنترل کیفیت مناسب محصولات مورد نظر از نظر سالم بودن و غیر معیوب بودن از نظر سطحی و داخلی می توان استفاده کرد. تکنیک های غیر مخرب[۱] برای آزمون و ارزیابی محصولات با استفاده از تصاویر در طیف های مختلف، امروزه به صورت چشم گیر گسترش یافته است. استفاده از روش های غیر مخرب باعث کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و افزایش دقت شناسایی آلودگی ها و لهیدگی در مراحل مختلف بسته بندی و نگهداری می شود. در این مقاله کاربرد ها و دقت انواع روش های تصویر برداری غیر مرئی MRI, NMR, TI, X-RAY که برای کنترل کیفیت محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند، مورد بررسی واقع شده است. دریافت تصاویر در طیف های مختلف سبب می شود که ویژگیهای خارجی و داخلی مختلفی از محصولات قابل استخراج و اندازه گیری شود. از این ویژگیها در صنایع غذایی برای شناسایی ناخالصی و ضایعات و آلودگی ها و در کشاورزی برای مرحله پس از برداشت شامل کنترل و نگهداری محصولات، شناسایی کوبیدگی های سطحی، لهیدگی های داخلی، درجه بندی میوه ها و در صنایع غذایی مانند شناسایی استخوانهای ماهی، میزان چربی موجود، توزیع رطوبتی و ویژگیهای شیمیایی مواد غذایی و ارزیابی کیفیت درونی محصولات و هم چنین ناخالصی در تولید می توان استفاده کرد.

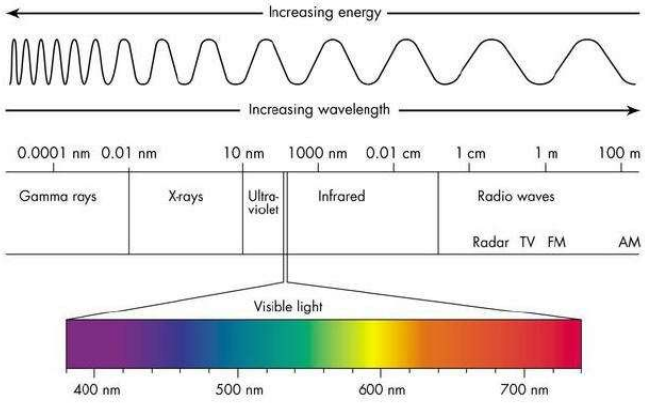
واژه های کلیدی: آزمون غیر مخرب، پردازش تصویر ، تصویربرداری غیر مرئی

مقدمه

تلاش های بسیاری در چند دهه گذشته برای بکاربردن شیوه های نوین برای کنترل غیر مخرب کیفی در زمینه های مختلف از جمله تولیدات مهندسی صنایع غذایی، شیمی و صنعت دارو سازی انجام شده است. با توجه به دسترسی به تجزیه و تحلیل کیفی ویژگی های تولیدات و اطلاعات می توان با استفاده از هر دو مورد ذکر شده اطمینان و رضایت مشتری و دوری از تکرار ضایعات را سبب شد (Facco *et al.*, 2013). چندین ویژگی فیزیکی و مکانیکی محصولات شامل سختی و ضخامت و اندازه را می توان با استفاده از ویژگیهای بصری، مانند شکل، رنگ و انداه گیری تعیین کرد. اما شیوه های پردازش تصویر و بینایی رایانه ای بمنظور

[1] Non-destructive technique

استخراج سریعتر و موثرتر ویژگیها ، تکرارپذیری، و روشی نسبتا ارزان برای اندازه گیری پارامترهای قابل اندازه گیری مهم، ویژگیهای کیفی و طبقه بندی محصول در درجه های مختلف می تواند توسعه بیابد. تصویر برداری مرئی[1] از شیوه های غیر مخرب برای کاربردهای کنترل کیفی می باشد که بیشتر بر مبنای سطوح مشاهده شده و تصویر برداری شده به کار برده می شود، که از روش مرئی، مطالعاتی در مورد شناسایی امراض روی سطح برگ درختان (K.Patil and Kumar, 2011)، اندازه گیری مشخصات ظاهری سیب اعم از محل ساقه، لکه و اندازه (Blasco *et al.*, 2003)، اندازه گیری حجم کیوی به روش پردازش تصویر (Rashidi *et al.*, 2007) و میزان رسیدگی گیلاس و درجه بندی آن را در محیط رنگی RGB (Balestani *et al.*, 2012) انجام دادند. با وجود تحقیات گسترده در این زمینه مشکلاتی در روش طیفی مرئی می باشد، اعم از عدم شناسایی کیفیت داخلی و یا عدم شناسایی لکه یا مریضی در داخل محصولات کشاورزی و در صنایع غذایی برای کنترل فرآیند های فرآوری ناتوان می باشد، لذا در کنار تصویر برداری مرئی از دیگر شیوه های تصویر برداری در محدوده ی طیفی نامرئی یا طیف های الکترومغناطیسی[2] (EMS) استفاده می شود، شکل(۱) نمونه ای از محدوده های مختلف طول موج برای طیف های غیر مرئی آورده شده است. تصاویر در طیف های مختلف اعم از MRI, X- RAY, UV[4], NIR[5], NMR,TI, CT[3] امروزه در صنعت کشاورزی به عنوان شیوه های غیر مخرب و کارآمد برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرد. تصاویر در طیف های مختلف ویژگیهای متفاوتی، مانند سرعت و عمق تشخیص و غیره را، قابل استخراج می کنند.



شکل **۱**– طیف های الکترو مغناطیس با طول موج های مشخص

[1] Visible Spectrum
[2] Electromagnetic Spectrum
[3] computed tomography
[4] Ultra Violet
[5] Near-Infrared

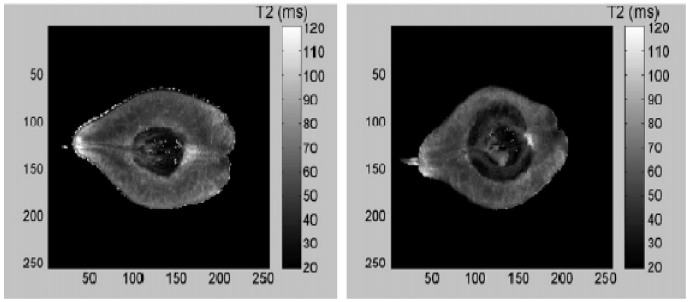
تئوری تحقیق

در این تحقیق سعی بر آن شده است روش ها و کاربرد های تصاویر در طیف های MRI, X-RAY, NMR, TI مورد بررسی قرار داده و پژوهشهایی که در زمینه کشاورزی و صنایع غذایی در چند سال اخیر به کار برده شده اند معرفی می شود.

تصویر برداری بر مبنای مقاومت مغناطیسی هسته NMR[1]

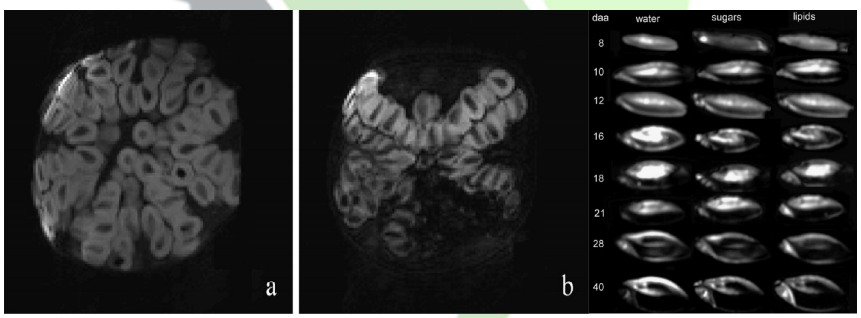
طیف سنجی تشدید مغناطیسی هسته شیوه ای برای تعیین خواص مغناطیسی هسته های اتمی است. با استفاده از طیف سنجهای NMR می توان خواص فیزیکی و شیمیایی اتم ها یا مولکول ها را مشخص کرد. روش NMR روشی برای تعیین ساختمان ترکیبات، بررسی و کنترل واکنش های شیمیایی می باشد. اصول کار بدین صورت است که ترکیب یک میدان مغناطیسی بسیار قوی و یک منبع سیگنال رادیویی می تواند باعث جذب هسته اتم ها شود و در مقادیر معینی از میدان مغناطیسی سیگنال های فرکانس رادیویی می تواند باعث جذب هسته اتمها شود، و در مقادیر معینی از میدان مغناطیسی، سیگنال های فرکانس رادیویی منتشر می شود. این نوع طیف سنجی، متکی بر تشدید مغناطیسی هسته است و اهمیت آن در این است که می تواند اطلاعاتی در باره ی ساختار، دینامیک، حالت واکنش و محیط شیمیایی مولکول ها ارائه داده و می توان سیگنال های دریافت شده را توسط کامپیوتر به شکل تصویری که در آن جزئیات قابل توجهی قابل نمایش است، تبدیل کرد (Pavia *et al.*, 2009). از این سیستم می توان کیفیت داخلی میوه ها و سبزی ها را با دقت کافی ارزیابی کرد. از دیگر کاربردهای NMR می توان به تعیین محتوی رطوبت موجود و توزیع رطوبت در مواد غذایی اشاره کرد. از این روش می توان برای تعیین میزان چربی موجود و اسید چرب و پروتئین و آمینو اسید ها و برای تعیین ویژگیهای شیمیایی و ساختاری محصولات صنایع غذایی نیز استفاده کرد(Marcone *et al.*, 2013). در تحقیقی محققان برای شناسایی کوبیدگی های داخلی گلابی (شکل۲) با رزولوشن بالا از تصاویر NMR و MRI استفاده کردند. تغییرات ساختار میکروسکوپیکی ایجاد شده در محصول را با استفاده از تصاویر NMR مشخص کردند. آنها توانستند در هر دقیقه تعداد ۳۰ گلابی را با موفقیت ۹۶ درصد طبقه بندی کنند. (Hern´ande -S´anchez *et al.*, 2007) .

[1] Nuclear magnetic resonance



شکل **۲**– گلابی سالم سمت چپ وسمت راست لکه کبودی داخلی

محققان برای پیدا کردن لکه سیاه داخل میوه ی انار (شکل۳–الف و ب) که یکی از مریضی های مرسوم در داخل آن می باشد، برای شناسایی، تصاویر NMR و MR را مورد استفاده قرار داند و نتایج قابل قبولی را ارائه دادند (Zhanga and McCarthya, 2012). در مطالعه ای دیگر محققان تصاویر NMR را برای دانه های جو بسط دادند (شکل۳– ج)، جو را از مراحل شکوفه کردن تا مرحله رسیدن مورد ارزیابی قرار دادند و هم چنین توانستند تغییرات شیمیایی در توزیع بافت آبی و لیپید ها و کربوهیدرات های حل شدنی را به صورت کمی روی تصویر نشان دهند (Glidewell, 2006). کاربرد های دیگر این طیف تصویری را می توان در دسته های نمایشی از مواد غذایی مانند ماهی، گوشت، سبزی ها، پنیر، نوشیدنی ها، روغن های خوراکی را نام برد (Marcone *et al.*, 2013).



(الف) (ب) (ج)

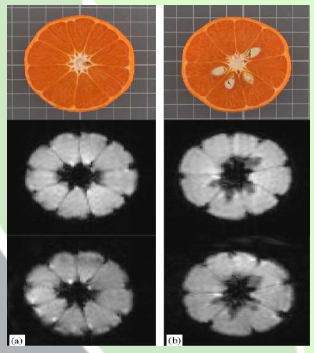
شکل**۳**– تصویر (الف) انار سالم و تصویر (ب) انار با لکه ی سیاه – تصویر (ج) نمونه هایی از پخش شدن ویژگیهای شیمیایی جو

تصویر برداری بر مبنای تشدید مغناطیسی MRI [1]

تصویرسازی بر مبنای تشدید مغناطیسی، روشی پرتونگارانه در تصویربرداری تشخیصی پزشکی و دامپزشکی است که در دهه‌های اخیر بسیار فراگیر شده‌است و در کشاورزی نیز کاربردهای زیادی پیدا کرده است. تصویر برداری MRI بر اساس اصل رزنانس مغناطیسی هسته کار می کند. تصاویر MRI در اصل برای دریافت تصاویر با کیفیت بالا استفاده می شود، این نوع تصویربرداری

[1] Magnetic Resonance Imaging

برای کاربردهای کشاورزی و صنایع غذایی در زمینه ی کنترل کیفی، نگهداری و مدت زمان ماندگاری و کنترل دما جهت جلوگیری از کاهش مشخصات کیفی محصولات مورد استفاده قرار می گیرد (Du and Sun, 2004). از این تصاویر در صنعت مواد غذایی برای بهینه کردن فرایند تولید و فرمولاسیون استفاده می کنند. محدودیت ها و تنگناهای موجود در روش MRI برای گیاهان و صنایع غذایی حاضر اساسا با مقدار T_2 (مدت زمان پخش شدگی که با اندازه سلول و نفوذ پذیری مغناطیسی) و منشا حساسیت مصنوعی از فضای هوای کوچک موجود در بافت مواد ارتباط دارد، بیان می شود (As and Duynhoven, 2013). در تحقیقی از تصاویر MRI برای پیدا کردن هسته ی میوه ی نارنگی استفاده کردند (شکل۴)، از تصاویر MRI، بیشترین شعاع محوری ناحیه و محیط مربوط به این ناحیه و ویژگیهای موثری را برای شناسایی میوه های هسته دار از غیر هسته دار را بدست آورده و طبقه بندی کردند. در این سیستم زمان دریافت تصویر ۷۰۳ میلی ثانیه گزارش شد (nchez *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر محققان با استفاده از تصاویر MRI خشک شدن دانه گندم در دماهای مختلف و رفتار اجزاء تشکیل دهنده ی دانه را مورد بررسی قرار داند (Ghosh *et al.*, 2007).



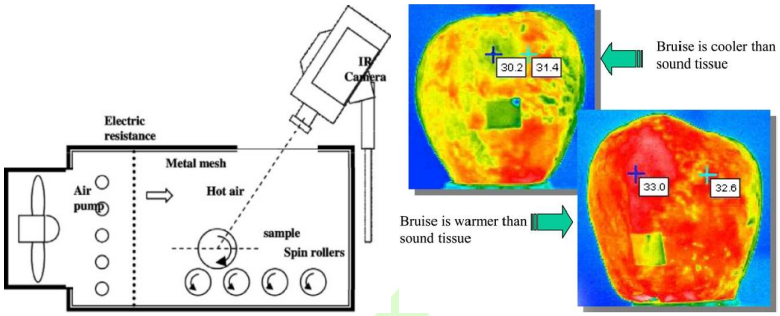
شکل۴- تصویر سمت چپ نارنگی بدون هسته و سمت راست دارای هسته

تصویربرداری حرارتی TI[1]

تصویربرداری حرارتی یا تصویربرداری مادون قرمز IR[2] شیوه ی غیر مخربی برای بررسی محصولات کشاورزی و مواد غذایی به حساب می آید. در این شیوه سیستم با ثبت و اندازه گیری پرتوهای مادون قرمز ساطع شده، کیفیت سطحی مواد را تشخیص می دهد (Arora *et al.*, 2008) . طیف مادون قرمز، طیفی نامرئی می باشد که طول موجی در ناحیه الکترومغناطیس بین ۰/۷۵ تا ۱۰۰ میکرومتر را دارد. کاربرد های تصاویر حرارتی را می توان در صنایع غذایی در شاخه های ارزیابی کیفی محصولات در مرحله پس از برداشت، کیفیت دانه ها و نگهداری با کنترل دما نام برد. از تصاویر حرارتی می توان برای تشخیص لهیدگی ها و آسیب دیدگی میوه ها وسبزیها نیز استفاده کرد. در مطالعه ای، پژوهشگران برای یافتن کبود شدگی سیب (شکل ۵) در دو روش که یکی تصویر برداری در محیطی که بافت سردتر از ناحیه کبود شده است و در روش دوم زمانی که بافت گرم تر از ناحیه کوبیدگی میباشد

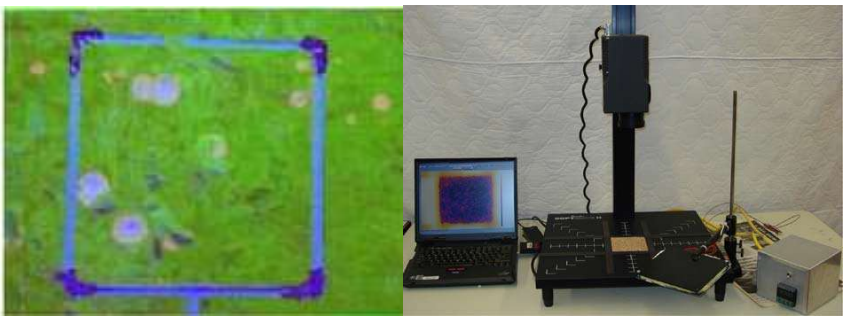
[1] Thermal imaging
[2] Infrared thermo graphy

توانستند اختلاف دمایی را در ناحیه کوبیده شده و سالم را نشان دهند و توزیع حرارتی را در سطح سیب نمایش دهند (Gowena *et al.*, 2010a).



شکل۵- سمت چپ نمای شماتیک از یک سیستم دوربین حرارتی – سمت راست اختلاف دمایی در قسمتی از سیب لهیده شده و سالم

هجوم آفت ها به دانه ها، آلودگی و ناخالصی مساله مهمی برای صنعت کشاورزی و غذایی به شمار می رود، محققان از تصاویر حرارتی برای یافتن حشرات در مراحل رشد از جنینی تا بلوغ بر مبنای اختلاف درجه ی حرارت مطابق با حرارت تولیدی که مربوط به تنفس حشرات در مقایسه با درجه ی حرارت دانه جو بود را مورد بررسی قرار داد (Emekci *et al.*, 2004).از دیگر کاربردهای تصاویر گرمایی، شناسایی و طبقه بندی محصولات مختلف حتی در سطح شناسایی رقم است، محققان با استفاده از تصاویر گرمایی ارقام مختلف گندم را شناسایی کردند، اختلاف درجه حرارت را بعد از گرما دادن و افت دما را پس از خنک کردن برای ارقام مختلف گندم (شکل۶- الف) به صورت چشم گیری مشاهده کردند. این اختلاف دما برای رقم های مختلف با گرمای یکسانی که به هر نمونه داده شده بود تفاوت داشت آنها اختلاف دما را ناشی از ساختار گندم و نوع آن معرفی کردند (Jayas *et al.*, 2010). از کاربردهای دیگر تصاویر حرارتی می توان در ماکیان در طی فرآیند مختلف پخت، شبیه سازی فرآیند فرآوری مواد غذایی (شامل کنترل چرخه ی خنک کردن و گرمایش)، نوع ارقام دانه گندم، آسیب دیدگی محصولات مانند سیب، گوجه فرنگی، سیب زمینی، گردو، گوشت و خشک کردن مرکبات را نام برد که تاکنون محققان زیادی در این زمینه پژوهش و بررسی انجام دادند که موجب گسترش یافتن این شیوه تصویربرداری در علوم کشاورزی گردیده است، از جمله ی این تحقیقات می توان به ترکیب کردن تصویر مرئی و تصویر حرارتی برای پیدا کردن مرکبات بر روی درخت(شکل۶ – ب) (Bulanon *et al.*, 2009)، استفاده از تصویر برداری حرارتی تعداد و قطر میوه ی سیب را در طی مراحل رشد برآورد کردند (Stajnko *et al.*, 2004)، برای گندزدایی و ضد عفونی کردن هویج در طی فرآیندی با دمای بالا که از سیستم های بخار برای حرارت دهی استفاده می شد از تصاویر حرارتی برای کنترل این فرآیند استفاده کردند (Gan-Mor *et al.*, 2011). در بیشتر تحقیق ها، پژوهشگران از تصاویر گرمایی برای مشخص کردن اختلاف دمایی بین هدف و محیط از یک منبع گرما یا سرما در این سیستم ها به عنوان یک محرک استفاده می کردند (Gowena *et al.*, 2010a).



(ب) (الف)

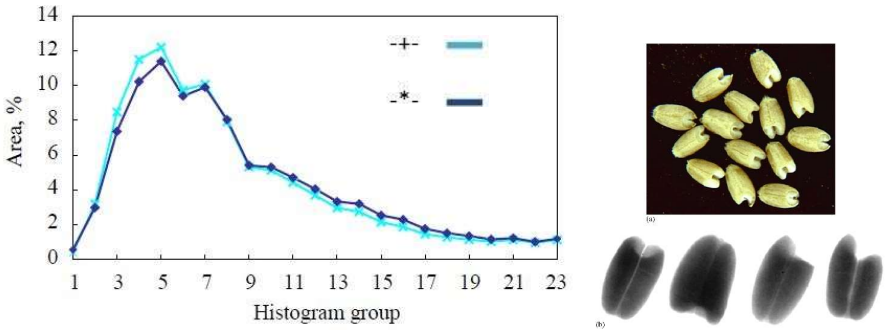
شکل ۶ – سیستم تصویر برداری برای کلاسه بندی ارقام گندم(الف)، ترکیب تصویر مرئی و حرارتی(ب)

تصویربرداری اشعه ایکس X-RAY[1]

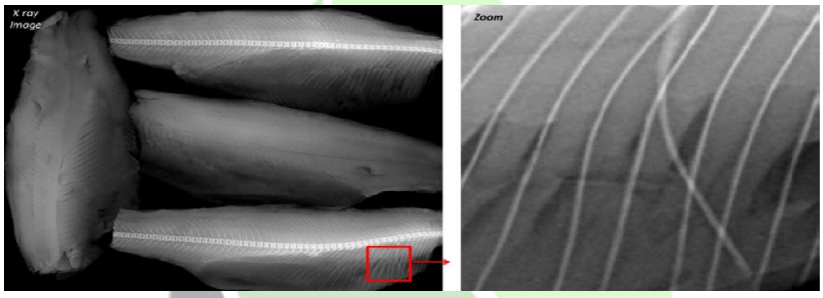
اشعه ایکس طیفی با طول موجهایی در دامنه ۱۰ nm– ۰/۰۱ را شامل می شود. قدرت نفوذ کم و توانایی آشکار کردن تغییرات تراکم داخلی برای کاربرد های کشاورزی از مزیت های مفید تصاویر تهیه شده توسط اشعه ی ایکس می باشد. این روش جزء روشهای سریع برای تهیه یک تصویر از ساختار داخلی محصول می باشد. مدت زمان تهیه یک تصویر در این طول موج ۳ تا ۵ ثانیه می باشد.

محققان در مطالعه ای آسیب های داخلی هسته ی گندم و پوکی هسته را که توسط سوسک (Tribolium castaneum) ایجاد شده بود را با استفاده از تصاویر اشعه ی ایکس گندم های آلوده را از سالم شناسایی کردند (شکل۷). این پژوهشگران هم چنین هیستوگرام ویژگیهای بافتی را پس از شناسایی آسیب های هسته گندم نمایش دادند و درصد آسیب دیدگی از مساحت هسته را نیز توانستند محاسبه کنند (Karunakaran *et al.*, 2004). محققان صنعت مواد غذایی برای شناسایی استخوان ماهی از پرتو های اشعه ی ایکس برای دریافت و نمایش تصاویر استفاده کردند (شکل۸)، صنعت گران از این شیوه برای کنترل کیفی فرآیند آماده کردن ماهی قزل آلا استفاده می کنند (Mery *et al.*, 2011).

[1] X-ray



شکل **۷** – تصویر سمت راست نمونه ناسالم از گندم با تصویر x-ray و سمت چپ مربوط به هیستوگرام دانه های ناسالم – +– و سالم –*–



شکل **۸**– تصویر x-ray ماهی بریده شده که در آن استخوان های ماهی نمایان است.

نتیجه گیری کلی

تصاویر تهیه شده از محصولات کشاورزی و غذایی در طیف مرئی اطلاعات بسیار زیادی از سطح قابل رویت آن محصولات در اختیار می گذارد و با مثالهایی که نشان دادیم می توان گفت از تصاویر تهیه شده در طیف های غیر مرئی از جمله، اطلاعات استخراج شده از تصاویر به سطوح غیرمرئی و داخلی و محصولات گسترش می یابد. جدول ۱ خلاصه ای از برخی کاربرد ها، مزیتها و معایب آزمون های غیر مخرب وتصویر برداری غیرمرئی که حاصل کارهای ذکر شده و برخی منابع دیگر است. نظر به بررسی های انجام شده، آزمون های غیر مخرب و بخصوص در زمینه تصویربرداری طیفی در ناحیه های غیر مرئی در کاهش ضایعات محصولات کشاورزی بسیار کاربرد دارد تا آنجا که امروزه پژوهش های زیادی در این زمینه در حال انجام است. همانطور که اشاره شد، جهت توسعه آزمون های غیر مخرب در ایران نیز تحقیات مختلفی در حال انجام می باشد. در این مقاله، تحقیقات و شیوه های مختلف ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر در طیف های مختلف مورد مرور و بررسی قرار گرفت و به مثالهایی در مورد کاربرد این تصاویر در شناسایی عوامل بیماری زا، نگهداری و کنترل، درجه بندی و بسته بندی محصولات کشاورزی اشاره گردید. در حالی که امروزه امنیت مواد غذایی از چالشهای مهم در جهان می باشد. از آنجا که بالا بودن کیفیت

محصولات کشاورزی و غذایی در جهان از جایگاه مهمی برخوردار می باشد، لذا برای توسعه ی کیفی این صنایع، بیش از پیش باید به توسعه تحقیقات در زمینه آزمون های غیرمخرب در صنعت کشاورزی پرداخت. هدف این مقاله شناساندن شیوه ها و روشهای مختلف کنترل کیفی مبتنی بر طیف می باشد تا بتوانیم به کمک این شیوه ها، از تولید ضایعات کشاورزی و مواد غذایی جلوگیری کرده یا در حد قابل قبولی از میزان آن کاهش دهیم.

جدول **۱**- برخی از کاربرد ها و ویژگی های آزمون های غیر مخرب

منابع	معایب	مزایا	کاربرد ها	تصویربرداریهای غیر مرئی
(As and Duynhoven, 2013), (Ghosh *et al.*, 2007)	هزینه بالا	کیفیت بالای تصاویر	میوه ها، سبزی ها گوشت، حبوبات	MRI
(Mathiassen *et al.*, 2011), (Marcone *et al.*, 2013)	هزینه بالا	سریع، آنالیز راحت تصویر، غیر تماسی	میوه ها،گوشت حبوبات، آبزیان	NMR
(Gowena *et al.*, 2010b), (Vadivambal and Jayas, 2011)	هزینه بالا از پیش تعلیم داده شود[1]	غیر تماسی، تشعشعات خطرناک ندارد، قابلیت سبکی و حمل، تصویر برداری زمان واقعی	میوه ها،گوشت حبوبات، آبزیان، بسته بندی	TI
(Neethirajan *et al.*, 2007)	زمان بر، خطرناک، غیر قابل کاربرد برای توده ای از جریان محصولات، عمق نفوذ کم	غیر تماسی	حبوبات، آبزیان	X-RAY

منابع

1. Arora, N., D. Martins, D. Ruggerio, E. Tousimis, A. J. Swistel and M. P. Osborne. 2008. Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer. The American Journal of Surgery 196: 523-526.

2. As, H. V. and J .v. Duynhoven. 2013. MRI of plants and foods. Journal of Magnetic Resonance 229: 25–34.

[1] Training

3. Balestani, A. M., P. AhmadiMoghaddam, A. M. motlaq and H. Dolaty. 2012. Sorting and Grading of Cherries on the Basis of Ripeness, Size and Defects by Using Image Processing Techniques. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 16: 1144-1149.

4. Blasco, J. and N. Aleixos and E. Molt! 2003. Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit. Biosystems Engineering 85: 415-423.

5. Bulanon, D. M. and T. F .Burks and V. Alchanatis. 2009. Image fusion of visible and thermal images for fruit detection. b i o s y stems e n g i n e e r i n g 103: 12-22.

6. Du, C.-J. and D.-W. Sun. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. Trends in Food Science & Technology 15: 230-249.

7. Emekci, M., S. Navarro, E. Donahaye, M. Rindner and A. Azrieli. 2004. Respiration of Tribolium castaneum (Herbst) at reduced oxygen concentrations. Journal of Stored Products Research 38: 413-425.

8. Facco, P. and A. Masiero and A. Beghi. 2013. Advances on multivariate image analysis for product quality monitoring. Journal of Process Control 23: 89-98.

9. Gan-Mor, S., R. Regev, A. Levia and D. Eshel. 2011. Adapted thermal imaging for the development of postharvest precision steam-disinfection technology for carrots. Postharvest Biology and Technology 59: 265-271.

10. Ghosh, P. K., D. S. Jayasa, M. L. H. Gruwel and N. D. G. White. 2007. A magnetic resonance imaging study of wheat drying kinetics .B I O S YSTEMS ENGINE E R I N G 97: 189-199.

11. Glidewell, S. M. 2006. NMR imaging of developing barley grains. Journal of Cereal Science 43: 70-78.

12. Gowena, A. A., B. K. Tiwaria, P. J. Cullenb, K. McDonnella and C. P. O'Donnell. 2010a. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment. Trends in Food Science & Technology 21: 190-200.

13. Gowena, A. A., B. K. Tiwaria, P. J. Cullenb, K. McDonnell and C. P. O'Donnell. 2010b. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment .Trends in Food Science & Technology 21: 190-200.

14. Hern´andez-S´anchez, N., B. P. Hills, P. Barreiro and N. Marigheto. 2007. An NMR study on internal browning in pears. Postharvest Biology and Technology 44: 260-270.

15. Jayas, A. M. D. S. and N. D. G. White and J. Paliwa. 2010. Wheat Class Identification Using Thermal Imaging. Food Bioprocess Technol 3: 450–460.

16. K.Patil, J. and R. Kumar. 2011. ADVANCES IN IMAGE PROCESSING FOR DETECTION OF PLANT. Advanced Bioinformatics Applications and Research 2: 135-141.

17. Karunakaran, C. and D. S. Jayas and N. D. G. White. 2004. Identification of Wheat Kernels damaged by the Red Flour Beetle using X-ray Images Biosystems Engineering 87: 267-274.

18. Marcone, M. F., S. Wang, W. Albabish, S. Nie, D. Somnarain and A. Hill. 2013. Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology. Food Research International 51: 729-747.

19. Mathiassen, J. R., E. Misimib, M. Bondø, E. Veliyulin and S. O. Østvik. 2011. Trends in application of imaging technologies to inspection of fish and fish products. Trends in Food Science & Technology 22: 257-275.

20. Mery, D., I. Lillo, H. Loebel, V. Riffo, A. Soto, A. Cipriano and J. M. Aguilera. 2011. Automated fish bone detection using X-ray imaging. Journal of Food Engineering 105: 485-492.

21. nchez, N. H. n.-S. and P. Barreiro and J. Ruiz-Cabello. 2006. On-line Identification of Seeds in Mandarins with Magnetic Resonance Imaging. Biosystems Engineering 4: 529-536.

22. Neethirajan, S. and D. S. Jayas and N. D. G. White. 2007. Detection of sprouted wheat kernels using soft X-ray image analysis. Journal of Food Engineering 81: 509-513.

23. Pavia, D. L., G. M. Lampman, G. S. Kriz and J. R. Vayvyan. 2009. INTRODUCTION TO SPECTROSCOPY. Western Washington Univercity. United States of America.

24. Rashidi, M. and K .Seyfi and M. Gholami1. 2007. DETERMINATION OF KIWIFRUIT VOLUME USING IMAGE PROCESSING. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 2: 17-23.

25. Stajnko, D. and M. Lakota and M. Ho¢§cevar. 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. Computers and Electronics in Agriculture 42: 31-42.

26. Vadivambal, R. and D. S. Jayas. 2011. Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry—A Review. Food Bioprocess Technol 4: 186-199.

27. Zhanga ,L. and M. J. McCarthya. 2012. Black heart characterization and detection in pomegranate using NMR relaxometry and MR imaging. Postharvest Biology and Technology 67: 96-101.

Review of spectrum-based non-destructive methods for the quality evaluation of agriculture products and food industry

Abstract

In agriculture and food industry, post harvest processing and food industry, the quality assessment of agriculture products and foods is very important. In post harvest industry, we can use vision systems to take and process images of products in order to control their quality at surfac and internal levels. The use of images taken in visible and non-visible portions of EMS spectrum is increasing for the non-destructive quality evaluation of agriculture and food products. These NDT optical methods are used to reduce agriculture waste and to increase the accuracy of detecting infection and decay during packaging and storage. In this paper, we reviewed several non-visible imaging methods used in this regard. The studied methods included MRI, NMR, TI and X-RAY. Other examples application of optical NDT methods in agriculture are fruit bruise detection, detection of fruits' internal decay and fruit sorting. These methods are used in food industry for bone detection in fish fillets, measurement of fat processing in meat stakes, determinat of food moisture distribution and chemical properties in food.

Keywords: Image processing, non-destructive testing, non-visible optical methods