

مروری بر کاربردهای تصویربرداری گرمایی در تجزیه و تحلیل کیفی محصولات کشاورزی

امید دوستی ایرانی^{۱*}، محمود رضا گلزاریان^۲، محمد حسین آق خانی^۳

۱- دانشجوی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، omiddoostiirani@stu.um.ac.ir

۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

کنترل فرآیند و کنترل کیفیت محصولات تولید شده یکی از مهمترین و اصلی ترین مراحل در تولید و فرآوری می باشد. یکی از شیوه های غیر مخرب که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرد، پردازش و آنالیز تصاویر گرفته شده از محصولات در طیف های مختلف می باشد. در بسیاری از موارد اختلاف دما بین دو ناحیه عامل تعیین کننده جهت کنترل فرآیند می باشد، که شیوه دمانگاری با اشعه مادون قرمز توسط دوربین های ترموگرافی از شیوه های غیر مخرب و غیر تماسی برای ثبت این تفاوت گرمایی می باشد. در سالهای اخیر کاربرد دمانگاری به عنوان یکی از اصلی ترین شیوه های غیر مخرب توسعه یافته است و امروزه تصاویر تهیه شده از دوربین های ترموگرافی در رشته های مختلفی چون مهندسی عمران، مکانیک، تعمیر و نگهداری تاسیسات، صنایع غذایی و کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله کاربرد های دوربین های گرمایی در کشاورزی و صنایع غذایی می توان شناسایی عیوب میوه ها و مواد غذایی در کاربردهایی که آن عیوب در طیف مرئی قابل ثبت و رویت نیست، کنترل کیفی مواد غذایی، درجه بندی کیفی محصولات کشاورزی، جداسازی ناخالصی در غلات و حبوبات، مانیتورینگ خودکار و یافتن تلفات سرمای سرد خانه ها و انبار های ذخیره سازی میوه و مواد غذایی و تشخیص بیماری ها در گیاهان اشاره کرد. در این مطالعه در ابتدا به شناخت و نحوه عملکرد دوربین های گرمایی اشاره شده است. در ادامه اشاره ای به کاربردی بودن آن در صنعت شده است و پس از آن مطالعه ای بر کاربرد های آن در چهار زمینه مرتبط با کشاورزی صورت گرفته است. این زمینه ها عبارتند از: مانیتورینگ گیاه و گیاهپزشکی، برداشت خودکار محصولات کشاورزی، ارزیابی کیفی و کنترل دما. نتایج مرور مقالات در این مطالعه نشان از کارآمدی و رضایت بخش بودن روش گرمانگاری در تحقیقات بررسی شده دارد.

واژه های کلیدی: تصاویر گرمایی، گرمانگاری، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز دور، کنترل کیفیت

مقدمه

گرمانگاری یک فناوری مفید دو بعدی غیرتماسی برای اندازه گیری دمای سطح موادی است که نیازمند ارزیابی غیرمخربند. این فناوری قادر است تا افراد و اشیائی را که دمای سطح آنها با دمای پیش زمینه تفاوت دارد تشخیص دهد. از طرفی توزیع گرما در یک سطح مشخص را نیز می توان به کمک گرمانگاری ثبت نمود. به طور کلی موارد استفاده گرمانگاری در شاخه های



پزشکی، امنیتی، صنعت و کشاورزی بصورت مستند و تعریف شده در آمده است. یکی از مواردی که گرمانگاری می تواند نقش مهمی ایفا کند بخش صنعت و کشاورزی می باشد. در صنعت، در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، کنترل خودکار دما از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد که می توان از گرمانگاری برای این امر استفاده نمود. از دیگر موارد کاربرد شیوه های کنترل دما که مبتنی بر گرمانگاری هستند می توان به جلوگیری از هدر رفت انرژی، بررسی دقیق اختلاف دمای سطوح، تهویه و جریان صحیح هوا، توزیع مناسب دما، کنترل دمای کوره ها و نقاط دور از دست و همچنین شناسایی نقاط کور دمایی اشاره نمود. در کشاورزی نیز ثبت نقشه های گرمایی و گرمانگاری کاربردهایی یافته است. از جمله کاربرد های آن در کشاورزی به طور کلی می توان به کنترل کیفی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، کنترل دما و تشخیص بیماری های گیاهی اشاره نمود. فناوری گرمانگاری در کنترل کیفیت مواد غذایی و ایمنی غذایی برای کیفیت سنجی میوه ها و سبزی ها، تشخیص رسیدگی، اندازه و تعداد میوه ها بر روی درخت (برای برداشت مکانیکی) و تشخیص فساد به خاطر فعالیتهای میکروبی مورد استفاده قرار گرفته است (Manickavasagan, 2008). دوربینهای ثبت نقشه های توزیع گرمایی که باصطلاح دوربینهای ترموگرافی شناخته می شوند با اندازه گیری امواج گرمایی گسیل شده از سطح اشیاء دمای آنها را ثبت می کند. در تصویربرداری حرارتی، از اشعه ساطع شده برای تولید یک تصویر کاذب از توزیع حرارت سطح اشیاء بهره گرفته می شود. در این روش دمای تعداد زیادی از نقاط یک سطح، اندازه گیری و پردازش می شود تا به یک نقشه گرمایی سطح و یا دمانگاشت سطح تبدیل شود. بدلیل اینکه طیف امواج گرمایی ثبت شده مادون قرمز می باشد، تصاویر گرمایی تولید شده توسط دوربینهای گرمایی به نام تصاویر گرمایی مادون قرمز نیز شناخته می شوند. تصاویر گرمایی مادون قرمز اولین بار جهت فعالیت های نظامی مورد استفاده قرار گرفتند. ولی پس از آن کاربرد های گسترده ای در کشاورزی، مهندسی و پزشکی و صنعت پیدا کردند. از سایر کاربردهای تصاویر گرمایی مادون قرمز در کشاورزی می توان به ارزیابی، تشخیص بیماری در گیاهان، تشخیص مزارع میوه، تشخیص رسیدگی میوه، تشخیص کبودی در میوه و سبزیجات، اجسام خارجی در مواد غذایی و توزیع دما در زمان پخت غذا اشاره کرد. مزیت اصلی تصاویر گرمایی مادون قرمز، غیرمخرب بودن و غیرتماسی بودن این تکنیک می باشد. اندازه گیری دما عمدتاً با وسایلی چون ترمومتر، ترموکوپل، ترمیستور و مقاومت دمایی انجام می شود. ولی این وسایل تنها این قابلیت را دارند که دما را در نقاط خاصی اندازه گیری کنند و همواره از نوع تماسی می باشند. در حالی که تصاویر مادون قرمز بدون تماس و بدون تخریب در ساختار، یک نقشه گرمایی از هدف مورد نظر تعیین می کنند. طول موج امواج گرمایی در بازه $1000 - 0.78 \mu\text{m}$ می باشد که چند محدوده از نواحی مادون قرمز را شامل می شود. بازه مادون قرمز خود به نواحی مختلفی تقسیم می شود: مادون قرمز نزدیک با طول موج $3 - 0.75 \mu\text{m}$ ، مادون قرمز متوسط با طول موج هایی در دامنه $6 - 3 \mu\text{m}$ ، مادون قرمز دور که دامنه طول موج آن در محدوده $15 - 6 \mu\text{m}$ و مادون قرمز بی نهایت که طیف آن در محدوده $1000 - 15 \mu\text{m}$ طول موج قرار دارد (Meola and Carlomagno, 2004). علاوه بر مزایای گفته شده برای تصاویر گرمایی، قابلیت بالای تکرارپذیری اندازه گیری های دمایی در تصاویر گرمایی، عدم نیاز آنها به منبع نور برای ثبت تصاویر را می توان اضافه کرد. با توجه به کاربرد گسترده تصاویر به دست آمده از دوربین های گرمایی آشنایی با کاربرد های آن در صنعت و کشاورزی امری ضروری می باشد. با توجه به اینکه امروزه مباحثی چون کنترل کیفیت مواد غذایی به هنگام فرآیند تولید و بسته بندی و

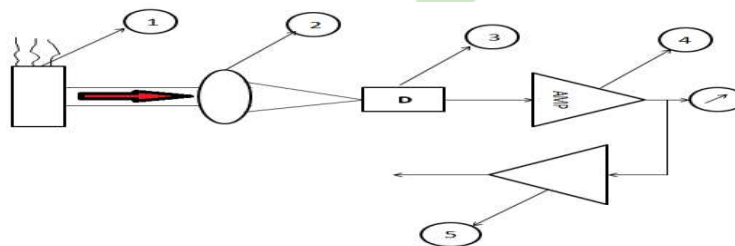


محصولات کشاورزی قبل و بعد از انبار داری که خود سبب کاهش ضایعات در بحث کشاورزی و صنایع غذایی می شوند، از اهمیت بالایی برخوردار می باشند. لذا این روش می تواند نقش مهمی در موضوعات مرتبط با کنترل کیفیت در کشاورزی و صنایع غذایی ایفا کند.

تئوری تحقیق

سامانه ثبت و پردازش تصاویر گرمایی

سیستم تصاویر گرمایی مادون قرمز شامل یک دوربین مجهز به آشکار ساز های مادون قرمز، واحد پردازش سیگنال و دریافت تصویر و یک کامپیوتر می باشد. آشکار ساز های مادون قرمز انرژی ساطع شده توسط اشیاء را جذب نموده و آن را به سیگنال های الکتریکی تبدیل می کنند. سیگنال های الکتریکی به واحد پردازش سیگنال ارسال شده که این اطلاعات را به تصاویر گرمایی تبدیل می کند. بیشتر دستگاههای تصویر برداری گرمایی این قابلیت را دارند که در هر ثانیه سطح مورد نظر را ۳۰ مرتبه نمونه برداری کرده، و همچنین قادر به فعالیت در رنج دمایی ۲۰- تا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می باشند و دامنه دمایی تنها با استفاده از فیلتر می تواند افزایش یابد (Meola and Carlomagno, 2004). آشکار ساز ها مهمترین قسمت سیستم تصاویر گرمایی بوده که انرژی را که به صورت امواج می باشد به سیگنال های الکتریکی مناسب تبدیل می کنند. آشکار ساز ها دودسته می باشند: نوع گرمایی و نوع فوتون (Willimas, 2009). دوربینهای ترموگرافی نوع توسعه یافته، مجهز تر دماسنج های غیر تماسی هستند. دماسنج غیر تماسی ابزاری است که به صورت غیر تماسی انرژی تابشی را دریافت و با توجه به مقدار آن دما یا درجه حرارت جسمی که به طرف آن نشانه روی شده را اعلام می کند. این دماسنجها دارای یک لنز هستند که انرژی مزبور از میدان دید خود را روی یک عدد سنسور متمرکز می کنند (شکل ۱). در دوربین ترموگرافی بجای یک سنسور از هزاران سنسور استفاده می شود که هر یک از سنسورها دمای بخش کوچکی از میدان دید لنز دوربین را اندازه گیری میکند. این سنسورها روی صفحه‌ای که به آن آشکار ساز^۱ میگویند به صورت سطری و ستونی در کنار هم چیده شده اند.



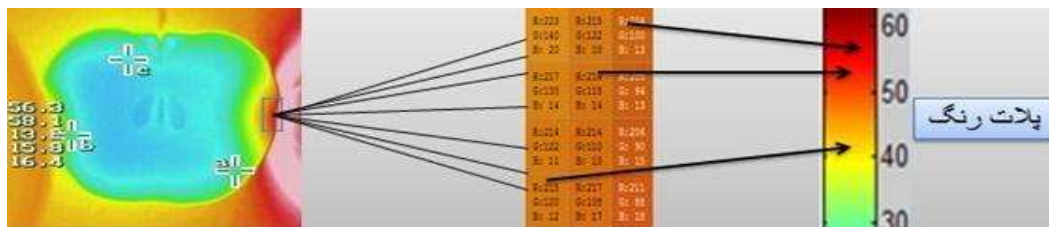
شکل ۱. دیاگرام یک دستگاه دماسنج مادون قرمز.

۱. منبع گرما ۲. لنز ۳. آشکار ساز ۴. تقویت کننده ۵. واحد آماده سازی سیگنال

¹ Detector



دوربین بعد از قرائت دما به هر دما رنگی را اختصاص می دهد و بدین ترتیب به هریک از خانه‌های جدول دما رنگی اختصاص می یابد. در نهایت جدول رنگها به صفحه نمایش ارسال می شود و آنچه ما در دوربین می بینیم در واقع یک جدول دماست که هر یک از خانه های آن بجای دمای اندازه‌گیری شده توسط سنسور مربوطه رنگ اختصاص داده شده به آن را منعکس میکند (شکل ۲).



شکل ۲. نحوه ایجاد تصویر در دوربین گرمایی

کاربرد تصاویر گرمایی در صنعت

آنالیز ترموگرافی که به نامهای گرمانگاری، ترموویژن و تصویربرداری حرارتی نیز شناخته می شود، شیوه مهمی است که دامنه کاربرد های آن بسیار گسترده و فراتر از بحث مراقبت از وضعیت (CM²) تجهیزات و ماشین آلات است. داده برداری به کمک دوربین ترموگرافی صورت می پذیرد. از این طریق کلیه اشکالاتی که منجر به تغییر در الگوی توزیع دمای سطحی می شوند، قابل شناسایی خواهند بود. از جمله کاربرد های تصاویر گرمایی در صنعت می توان به تشخیص اتصالات معیوب در پانل های الکتریکی، تشخیص نقاط کانونی داغ در تاسیسات برقی ساختمان و ترانس، کنترل مدار کنترل تابلو های برق، استفاده در پالایشگاه های گاز، تعیین سطح مایع در مخازن و تشخیص دماهای غیر عادی در نقاط مختلف موتور اشاره کرد (Digvir, 2010 and Vadivambal).

کاربرد تصاویر گرمایی در کشاورزی

تصاویر گرمایی کاربرد بالقوه ای در بسیاری از عملیات مرتبط با کشاورزی دارد. در ارزیابی قابلیت جوانه زنی بذر ، تخمین میزان رطوبت خاک، تخمین تنش آبی محصول، برنامه ریزی آبیاری، تعیین بیماری ها و گیاهان آسیب دیده، تخمین عمر میوه، ارزیابی رسیدگی میوه و سبزیجات کاربرد دارد. استفاده از ترموگرافی برای نمایش دمای تاج ، تشخیص تنش در گیاهان و تخمین در هدایت روزنه برای کمک به برنامه ریزی در روش های آبیاری مورد بررسی بسیاری از محققان قرار گرفته است (Leinonen and Jones, 2004).

² Condition Monitoring

کنترل و شناسایی آفات و تشخیص گیاهان و میوه های آلوده از جمله مسائل مهم در این شاخه می باشد. روش های فراوانی تا به امروز در این رابطه بیان و اثبات گردیده است. وجود فعالیت میکروبی در گیاهان و میوه های آلوده به خاطر تغییرات دمایی که در ناحیه آلوده ایجاد می کند، می تواند فاکتور مهمی جهت بررسی این موارد با استفاده از دوربین های حرارتی باشد. در زیر نمونه ای از این تحقیقات بیان شده است. پژوهشگران در تحقیقی از فناوری گرمانگاری برای طبقه بندی مغز پسته سالم و آلوده به قارچ اسپرژیلوس فلاووس استفاده کردند. در این تحقیق یک الگوریتم طبقه بندی بر اساس مقدار آستانه (TBC³) برای آنالیز تصاویر گرمایی و کلاسه بندی پسته های سالم و آلوده در نرم افزار متلب توسعه یافت. نتایج نشان داد که این الگوریتم قادر به تشخیص پسته های سالم و آلوده با دقت نسبتا خوبی می باشد (Kheiralipour et al., 2013). پتانسیل آبی برگ (LWP⁴) پارامتر به طور گسترده پذیرفته شده ای جهت نمایش میزان آب موجود در برگ و تنظیم یک برنامه زمانی برای آبیاری گیاهان می باشد، که با استفاده از روش ترموگرافی قابل تعیین است. بعنوان مثال، پژوهشگران با استفاده از تصاویر گرمایی و مرئی میزان رطوبت در برگ کتان را توسط یک دوربین حرارتی مدل SC2000 و یک دوربین دیجیتال معمولی (DSC- F717, Sony Inc., Japan, Tokyo) تخمین زدند. آنها نتیجه گرفتند که نقشه های پتانسیل آبی برگ می تواند در تنظیم برنامه آبیاری کمک کند و همچنین عیوب یک برنامه آبیاری را مشخص سازد (Sela et al., 2007). پژوهشگران بیان کردند که تصاویر گرمایی می تواند جهت نمایش تنش در گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. برای این منظور از یک دوربین حرارتی مدل TH7102MX برای تهیه تصاویر گرمایی استفاده کردند. نتایج نشان داد که توسعه تنش سبب افزایش دمای برگ در نقطه مورد نظر می گردد (Stoll and Jones, 2007). محققین قابلیت تشخیص آلودگی های گیاهی را با استفاده از تصاویر گرمایی در شرایط مزرعه و آزمایشگاه بررسی کردند. جهت تهیه تصاویر گرمایی از دوربین SC500 استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که دمای گیاهان آلوده کمتر از گیاهان سالم و در محدوده ۰/۷-۰/۲ می باشد. از این رو تشخیص گیاهان آلوده تحت شرایط آزمایشگاهی قابل تشخیص می باشد. در حالی که در شرایط مزرعه دمای متغیر خاک و گیاه سبب عدم نتیجه گیری با دقت کافی شد (Hellebrand et al., 2006).

۲- برداشت محصولات کشاورزی

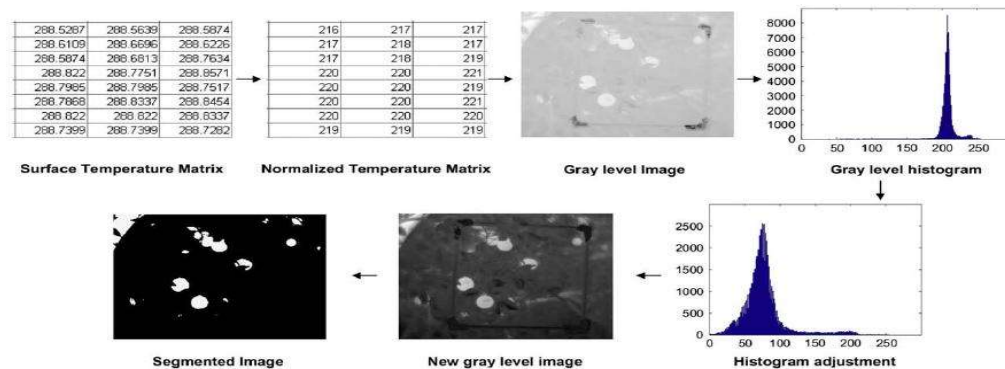
امروزه برداشت مکانیزه محصولات کشاورزی به خصوص محصولات باغی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. دلیل آن می تواند کاهش هزینه های برداشت در باغات وسیع باشد. از طرفی یکی از مشکلات امروزی باغداران کمبود نیروی کارگری و هزینه بالای آن می باشد. این امر سبب گرایش تحقیقات به سمت برداشت مکانیزه و رباتیک میوه ها شده است. در بحث برداشت رباتیک اولین گام شناسایی و تشخیص میوه بر روی درخت می باشد که این کار می تواند با دوربین های معمولی و یا دوربین های حرارتی انجام شود. عدم نیاز به منبع نوری در ثبت تصاویر گرمایی می تواند مزیتی جهت استفاده از این روش در برداشت رباتیک محصولات

³ Threshold based classification

⁴ Leaf Water Potential



در شب در نظر گرفته شود. تا به امروز تحقیقاتی در زمینه استفاده از این تصاویر صورت گرفته است. بعنوان نمونه، محققین از تصاویر گرمایی جهت تشخیص میوه پرتقال از شاخ و برگ جهت برداشت روباتیک این محصول استفاده کردند دوربین گرمایی مورد استفاده P65HS در فاصله ۲ متری از پوشش گیاهی مربوطه تصاویر را تهیه نمود. پس از تهیه تصاویر، آنها را با نرم افزار متلب آنالیز نموده و پارامتر مورد آنالیز در تصاویر به دست آمده متفاوت بودن دما در میوه و برگ می باشد. از این تضاد در عملیات قطعه بندی تصویر گرمایی بدست آمده و برای جداسازی میوه ها از باقی تصویر استفاده شد (شکل ۳). از ساعت ۱۶ عصر تا صبح زود دمای میوه ها از دمای برگ ها با اختلافی حدود $1/6^{\circ}C$ بیشتر بود. در حالیکه در سایر زمان ها این اختلاف دما حدود $0/6^{\circ}C$ بود. نتایج حاکی از رضایت بخش بودن روش گرمانگاری برای این هدف می باشد (Bulanon *et al.*, 2008).



شکل ۳. فرآیند پردازش تصویر گرمایی جهت شناسایی میوه

از تصاویر گرمایی جهت تعیین تعداد و ابعاد میوه های درخت سیب جهت محاسبات مزارع استفاده شده است. از دوربین گرمایی مدل (AGEMA 570) برای این آزمایش استفاده کردند. تصاویر در پنج مرحله از رشد محصول تهیه شد و تصاویر در بعد از ظهر جهت دستیابی به گرادیان دما بین میوه و زمینه تهیه شدند. نتایج نشان داد که ارتباط نزدیکی ($R^2=0/83-0/88$) بین روش شمارش دستی میوه ها و روش تصاویر گرمایی وجود دارد (Stajanko *et al.*, 2004).

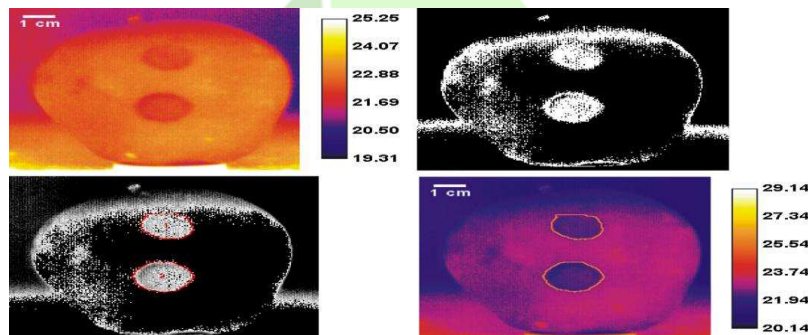
۳- ارزیابی کیفی

یکی از فاکتورهای مهم در بحث بازار یابی و فروش محصول تولید شده کیفیت بالا و شکل ظاهری مناسب آن می باشد. این امر برای محصولات کشاورزی نیز صادق می باشد. در بخش کشاورزی کنترل کیفیت قبل و بعد از انبارداری برای برخی محصولات و همچنین برای فروش مستقیم برخی دیگر می تواند تا حد چشمگیری سبب کاهش ضایعات و افزایش سود گردد. بنابراین روش های غیر مخرب جهت کنترل کیفی این محصولات از اهمیت خاصی برخوردار می باشند. یکی از این روش ها پردازش تصاویر در دو طیف مرئی و گرمایی می باشد. تصاویر گرمایی این پتانسیل را دارند که در بسیاری از عملیات پس از برداشت جهت ارزیابی کیفی میوه ها و سبزیجات، تست کیفیت



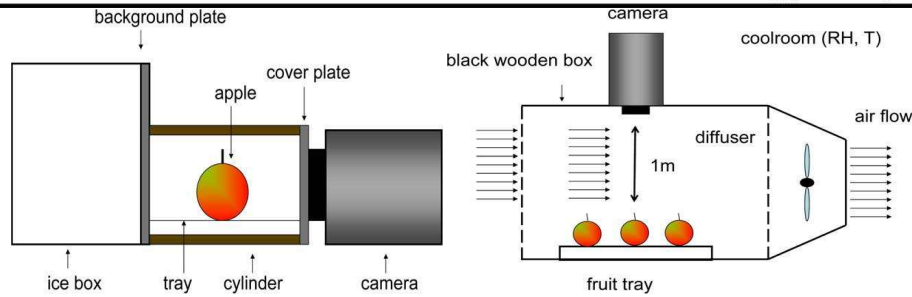
گوشت، تعیین مواد خارجی در غذا، نقشه دمایی به هنگام پخت غذا، خشک کردن و تشخیص نقص در بسته بندی مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه نمونه هایی از تحقیقات انجام شده در این رابطه بیان شده است.

در تحقیقی پژوهشگران برای تعیین کبودی سیب از دمانگاری استفاده کردند. گرمادهی سیب توسط یک پالس حرارتی انجام شد، و دمای پوسیدگی بر روی سطح برای هر پیکسل بر اساس ترکیبی از امواج هارمونیک آنالیز شد، که محاسبه فاز و دامنه را ممکن می سازد. از یک مدل سری فوریه جهت مشاهده تقویت و پیشرفت پاسخ گرمایی میوه در محل و عمق عیب استفاده شد. در این روش از دوربین حرارتی (VIGO) و دو لامپ هالوژن و یک سیستم برای کنترل دمای نواحی کبود شده که به طور متوسط بین $0/9-1/5^{\circ}C$ کمتر از نواحی سالم بودند، استفاده کردند (شکل ۴). به این نتیجه رسیدند که روش دمانگاری یک روش مناسب جهت تشخیص کبودی در سیب است (Baranowski *et al.*, 2009).

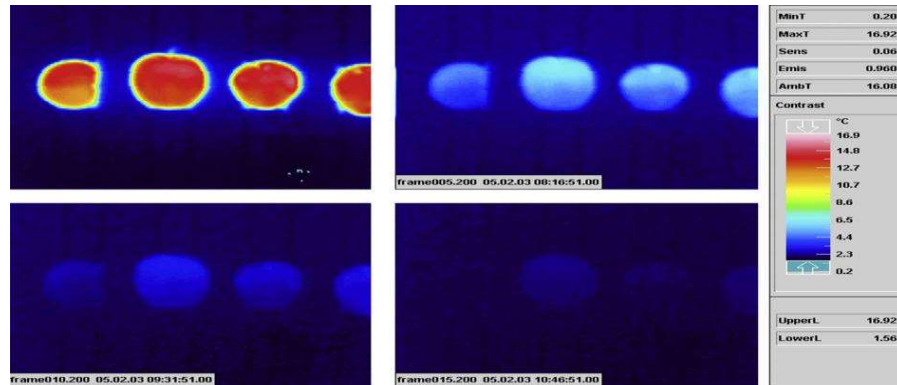


شکل ۴. تشخیص کبودی سیب با استفاده از تصاویر گرمایی

در تحقیقی دیگر، پژوهشگران جهت تعیین کیفیت سطحی دو رقم سیب (Elshof and Jonagored) از روش ترموگرافی استفاده کردند. قابلیت تشعشع برای سیب از طریق آزمایش برابر با $0/96$ به دست آمد. دمای هر دو رقم سیب را از 20 به 12 درجه سانتیگراد کاهش دادند. بعد از 4 تا 8 ماه انبار کردن سیب اقدام به تعیین پارامترهای کلی کیفیت (وزن، قطر) کردند. پس از تهیه تصاویر گرمایی نقشه های دمایی هر دسته از سیب ها متشکل از چهار سیب و هر رقم سیب به صورت جداگانه به دست آمد. نتایج نشان داد که تفاوت دمایی در میزان سرد شدن دو رقم سیب وجود دارد که ناشی از تفاوت در ساختار این دو رقم می باشد. و رقم (Elshof) سریعتر از رقم دیگر سرد می شود (Veraverbeke *et al.*, 2003). این محققین نتیجه گیری کردند که از این روش می توان جهت تعیین کیفیت سطحی سیب استفاده کرد (شکل ۵و۶).



شکل ۵. سمت راست، تصویربرداری گرمایی در شرایط انبارداری، سمت چپ تصویربرداری گرمایی از میوه به صورت انفرادی



شکل ۶. نمایش تغییرات دمایی در طول فرآیند سرد کردن

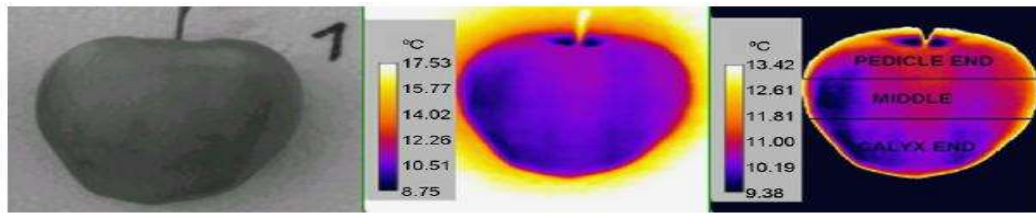
همچنین پژوهشگران از تصاویر گرمایی برای ارزیابی و تعیین آسیب‌های مکانیکی، کبودی و درجه رسیدگی سیب استفاده کردند آنها از دوربین مدل (VARIOSCAN 2011) استفاده کردند نتایج تحقیق آنها نشان داد که آسیب‌های مکانیکی توسط افزایش موضعی دما به دلیل اینکه کبودی سیب سبب تخریب سلول‌ها در سطح می‌شود، قابل تشخیص است. همچنین تغییرات دما در این نواحی کمتر از 1°C می‌باشد بنابر این کبودی با استفاده از تصاویر گرمایی قابل تشخیص نبود. آنها همچنین نتیجه گرفتند که درجه رسیدگی محصول با تصاویر گرمایی قابل تشخیص است (Hellebrand *et al.*, 2000).

محققین برای تشخیص بیماری آب‌گزیدگی یا نسج شیشه‌ای سیب از روش دمانگاری استفاده کردند (شکل ۷). در این تحقیق، درجه حرارت حاصل شده از یک جرم سیب بعنوان یک پارامتر مناسب جهت ارزیابی تفاوت در خواص دمایی بین سیب‌های مبتلا به این بیماری و سیب‌های سالم در نظر گرفته شد. شدت افزایش دما برای سیب‌هایی که در مراحل اولیه گرمادهی بودند، در سیب‌های آسیب‌دیده به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سیب‌های سالم بود. این محققین به این نتیجه رسیدند که یک ارتباط خوب بین تغییرات دمایی و تراکم میوه وجود دارد و تست ترموگرافی

⁵ watercore



از تغییرات تشعشعات دمایی در سطح میوه به هنگام گرما دادن می‌تواند جهت تشخیص این عیب داخلی مورد استفاده قرار گیرد (Baranowski *et al.*, 2009).



شکل ۷. آنالیز تصاویر گرمایی برای تشخیص آب گزیده بودن سیب. چپ: تصویر تهیه شده در ناحیه مرئی،

وسط: تصویر گرمایی متناظر با تصویر چپ و تصویر راست تصویر گرمایی قطعه بندی شده به سه ناحیه

پژوهشگران از تصاویر گرمایی جهت تعیین کیفیت گوشت خوک استفاده کردند در این تحقیق، از ۴۰ تصویر از ۴۰ لاشه چپ و راست خوک که با استفاده از دوربین گرمایی مدل P25 به دست آمد استفاده شد. نتایج پردازش این تصاویر نشان داد که تفاوت معنی داری بین دمای متوسط در پارامترهای مختلف مانند PH، ارزش رنگ، نقص در گوشت مانند رگه رگه شدن و یا قرمزی پوست وجود ندارد. اما گوشت‌های با لایه چربی کمتر دمای بیشتری را در سطح نمایش می‌دهد. آنها نتیجه گرفتند که ترموگرافی مادون قرمز می‌تواند یک روش سریع و غیر مخرب جهت تعیین محتوای چربی گوشت باشد. (Nanni Costa *et al.*, 2007)

۴- کنترل دما

کنترل دما در سردخانه‌ها و انبارها یکی از مهمترین فاکتورها می‌باشد. افزایش یا کاهش بیش از حد دما سبب کاهش کیفیت و عملاً غیر قابل مصرف شدن آن می‌گردد. علاوه بر روش‌هایی که تاکنون جهت کنترل خودکار دما در انبارهای محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است، در برخی تحقیقات استفاده از دوربین‌های ترموگرافی نیز استفاده شده است. مزیت عمده این روش این است که می‌توان همزمان نقشه دمایی محدوده وسیعی را به دست آورد و دما تنها در یک نقطه بررسی نمی‌شود. نمونه‌ای از این تحقیقات در ادامه بیان شده است. حفظ کردن دمای بهینه 5°C در انبار کردن سیب زمینی یک مشکل می‌باشد، و تصاویر گرمایی این امکان را به وجود می‌آورند تا از تغییرات دما در نقاط مختلف مانند گرم شدن یا سرد شدن در انبار با اطلاع شویم. امکان استفاده از تصاویر گرمایی جهت بهینه‌سازی کنترل انبار سیب زمینی توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت. از یک دوربین گرمایی (SC500) در این تحقیق استفاده شد. نتایج این آزمایش اطلاعات ارزشمندی در رابطه با توزیع گرمایی در یک جعبه بزرگ ذخیره‌سازی سیب ارائه داد. از این رو روش دمانگاری یک نمای مناسب از اختلاف دمایی را در اطراف جعبه‌های ذخیره سیب زمینی نشان می‌دهد، که می‌تواند جهت طراحی یک واحد سیستم کنترل دمایی انبار سیب زمینی مورد استفاده قرار گیرد (Geyer *et al.*, 2004). سطح میوه‌ها پس از شستشو نیاز به خشک کردن دارد. در یک



خشک کن مرکبات استفاده از هوای بیش از اندازه داغ و یا خشک کردن در مدت زمان طولانی سبب از دست دادن کیفیت حسی آنها و کاهش عمر مفید میوه می شود. بنابر این پژوهشگران از یک سیستم تصاویر مادون قرمز جهت کنترل مدت زمان خشک شدن سطح استفاده کردند در این تحقیق یک دوربین (AGEMA470) بر روی خشک کن جهت جذب امواج مادون قرمز که از سطح پرتقال انتشار یافته اند، نصب شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دوربین گرمایی مادون قرمز می تواند به عنوان یک روش غیر مخرب جهت تعیین پایان زمان خشک کردن و در نهایت افزایش کیفیت محصول مورد استفاده قرار گیرد (Fito et al., 2004).

نتیجه گیری

استفاده از تصاویر گرمایی نقش اصلی را در مانیتورینگ و کنترل فرآیند های ضروری و تولید در بسیاری از صنایع ایفا می کند و می تواند تحولی عظیم در کنترل کیفیت و فرآیندهای کشاورزی و صنایع غذایی به وجود آورد. بسیاری از کاربردهای این شیوه هم اکنون کاربردی شده است. ولی بسیاری دیگر هنوز در مرحله تحقیقات می باشند. غیر تماسی بودن، غیر مخرب بودن و ارائه نقشه های گرمایی همزمان با تغییر در دمای اشیاء از ویژگی های مهم این تصاویر می باشد. بسیاری از تحقیقات نشان می دهد که در موارد متعدد دقت این روش نسبت به طیف مرئی بالاتر می باشد. از مهمترین کاربردهای آن در بخش کشاورزی می توان به مانیتورینگ گیاه و گیاهپزشکی، برداشت محصولات کشاورزی، ارزیابی کیفی و کنترل دما اشاره نمود. تحقیقات نشان داد عوامل مهم در فیزیولوژی گیاهان مانند تنش و پتانسیل آبی برگ به روش های گرمانگاری قابل اندازه گیری است. علاوه بر این، از این روش برای شناسایی میوه به عنوان اولین گام در برداشت روباتیک و همچنین تخمین تعداد میوه بر روی درخت استفاده شده ، که نتایج رضایت بخشی هم در این زمینه گزارش شده است. ارزیابی کیفی نیز یکی دیگر از زمینه هایی است که روش گرمانگاری می تواند کاربرد وسیعی در آن داشته باشد. در بحث تعیین کیفیت درونی محصولات کشاورزی طیف مرئی عملاً ناتوان می باشد. از روش گرمانگاری برای شناسایی برخی بیماری ها

شده است. نتایج نشان می دهد که این روش می تواند به عنوان یک روش غیر مخرب جهت تعیین کیفیت درونی محصولات کشاورزی و همچنین تعیین کیفیت مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. البته این روش محدودیتهایی نیز در بخش کشاورزی دارد که از جمله مهمترین آن ها می توان به حساس بودن برخی محصولات کشاورزی به تغییرات دمایی اشاره نمود. انتظار می رود با تحقیقات بیشتر در این زمینه این روش به زودی جایگاه ویژه ای در بخش کشاورزی نیز پیدا کند

منابع:

- 1- Manickavasagan, A., D. S. Jayas , N. D. G. White and J. Paliwal. 2008. Wheat class identification using thermal imaging: Apotential innovative technique. Transactions of the ASABE 51(2): 649-651.
- 2- Meola, C. and G. M. Carlomagno. 2007. Recent advances in the use of infrared thermography. Measurement Science and Technology15(9): 27-58.



- 3- Leinonen, I. and H. G. Jones. (2004). Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany* 55(401): 1423–1431.
- 4- Kheiralipour, K., H. Ahmadi, A. Rajabipour, S. Rafiee, M. Javan-Nikkhah and D. S. Jayas. 2013. Development of a New Threshold Based Classification Model for Analyzing Thermal Imaging Data to Detect Fungal Infection of Pistachio Kernel. *Agricultural Research* 2: 127-131.
- 5- Sela, E., Y. Cohen, V. Alchanatis, Y. Saranga, S. Cohen and M. Möller. 2007. Thermal imaging for estimating and mapping crop water stress in cotton. In J. V. Stafford (Ed.): 365–371.
- 6- VADIVAMBAL, R. and D. S. JAYAS. 2010. Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry—A Review. *Food Bioprocess Technol* 4: 186–199.
- 7- Stoll, M. and H. G. Jones. 2007. Thermal imaging as a viable tool for monitoring plant stress. *International Journal of Vine and Wine Sciences* 41(2):77–84.
- 8- Hellebrand, H. J., W. B. Herppich, H. Beuche, K. H. Dammer, M. Linke, and K. Flath. 2006. Investigation of plant infections by thermal vision and NIR imaging. *International Agrophysics* 20(1): 1-10.
- 9- Bulanon, D. M., T. F. Burks and V. Alchanatis. 2008. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection. *Biosystems Engineering* 101(2): 161–171.
- 10- Stajniko, D., M. Lakota and Hočevár, M. 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(1): 31–42.
- 11- Baranowski, P., W. Mazurek, B. W. Walczak, and C. Sławiński. 2009. Detection of early apple bruises using pulsed-phase thermography. *Postharvest Biology and Technology* 53(3): 91–100.
- 12- Baranowski, P., J. Lipiecki, W. Mazurek, and R. T. Walczak. 2008. Detection of watercore in 'Gloster' apples using thermography. *Postharvest Biology and Technology* 47:358-366.
- 13- Veraverbeke, E. A., P. V. Erboven, J. Lammertyn, P. Cronje, J. D. Baerdemaeker, and B. M. Nicolai. (2003). Thermographic surface quality evaluation of apple. *Journal of Food Engineering* 77:162-168.
- 14- Hellebrand, H. J., M. Linke, H. Beuche, Herold, B. and M. Geyer. 2000. Horticultural products evaluated by thermography. In *AgEng 2000, 2–7 July 2000, Paper No. 00-PH-003, University of Warwick, UK.*
- 15- Nanni Costa, L., C. Stelletta, C. Cannizzo, M. Giancesella, D. Pietro Lo Fiego, and M. Morgante. 2007. The use of thermography on the slaughter-line for the assessment of pork and raw ham quality. *Italian Journal of Animal Science* 6(1): 704–706.
- 16- Geyer, S., K. Gottschalk, H. J. Hellebrand, and R. Schlauderer. 2004. Application of a thermal imaging measuring system to optimize the climate control of potato stores. In *AgEng 2004 Conference, 12, Leuven, Belgium.*
- 17- Fito, P. J., M. D. Ortolá, R. De los Reyes, P. Fito, and E. De los Reyes. 2004. Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography. *Journal of Food Engineering* 61(3): 287–290.
- 18- Willimas, T. 2009. Thermal imaging cameras and their component parts. In *T. Imaging (Ed.), Cameras: Characteristics and performance (pp. 7–34).*



The applications of thermal imaging for qualitative analysis and assessment of agricultural products – a review

Abstract:

Quality control and process control are considered as fundamental parts of any manufacturing and processing chain. One of the non-invasive methods used in process control is analysing images taken in various EM spectra. . In many cases, the measured temperature difference between the two surface regions of a product is seen as an important determining factor for process control. A thermographic camera (also known as infrared camera) is used to form a thermal map or an thermal image using infrared radiation (reflected from the surface of an object). Thermography is a non-invasive and non-contact method for recording these thermal differences. In recent years, the application of thermal imaging has been extended to several fields such as civil engineering and mechanical engineering, maintenance engineering, food and agricultural engineering. Example applications of thermal imaging in agriculture and food industry can include the detection of surface defects, which are not seen in visible spectrum, the quality control of foods, quality grading of foods and agricultural products, separation of impurities in grains, fruits and automatic monitoring and determining cold loss from refrigeration systems.. In this paper, the applications of thermal imaging in quality control of agricultural products are reviewed. The structure of the paper is such that the method is introduced and explained first. Then, the research projects are explained in four main categories of its application in agriculture. The categories are plant monitoring and plant pathology, automatic crop harvesting, quality assessment and temperature control. The main result of this review is that thermal imaging is an accurate and effective method in the presented research areas.

Keywords: Thermal imaging, Thermography, near-infrared, quality control.