

امکانسنجی استفاده از تصویربرداری فراطیفی برای شناسایی کوفتگی در پرتقال

راضیه پوردربانی^{۱*}، سجاد سبزی^۲

*^۱- دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

^۲- دانش اموخته دکتری، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

ایمیل نویسنده مسئول: r_pourdarbani@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳

چکیده

پرتقال یکی از مرکبات قدیمی و پرمصرف است که با وجود مواد و ریز مغذی های بسیار مفید موجود در خود خواص زیادی بخصوص در تصفیه خون و بهبود و پیشگیری از بیماری های بسیاری را دارد. پرتقال سرشار از ویتامین های B, C دارای آهن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، سدیم و مس است. ویتامین C که از عوامل مهم مهارکننده سرطان است و پرتقال منبع اصلی این ویتامین محسوب می شود. ضربات مکانیکی بعنوان عامل موثر و اصلی در تلفات پس از برداشت محصول شناخته شده اند. در طی مراحل پس از برداشت بارهای دینامیکی در ایجاد کوفتگی در محصولات بیشتر موثرند. تحقیقات قابل توجهی در مورد خواص مکانیکی بافت میوه، مکانیسم های کوفتگی و روش های پیشگیری، کاهش و تشخیص کوفتگی گزارش شده است. در این تحقیق، هدف بررسی امکان استفاده از تصویربرداری فراطیفی برای پیشنهاد مدل غیرمخرب در شناسایی کوفتگی پرتقال می باشد. در این راستا، ابتدا تعداد کافی از پرتقالهای سالم تهیه شدند و تصاویر فراطیفی آنها اخذ شد. سپس به روش مصنوعی، کوفتگی در آنها ایجاد شد و مجدداً تصاویر فراطیفی پرتقالها ۱۲ و ۲۴ ساعت بعد از کوفتگی اخذ شد. برای انجام آزمون مخرب و سنجش سفتی پرتقال، ۴۰ عدد پرتقال از هر دسته (سالم، ۱۲ ساعت پس از کوفتگی و ۲۴ ساعت پس از کوفتگی) انتخاب شده و تحت آزمون مخرب قرار گرفت و مقادیر سفتی ثبت شد. آزمون دانکن برای مقایسه دسته ها انجام شد. نتایج نشان داد که در هر دو آزمون مخرب و غیرمخرب، اختلاف معنی دار آماری در بین هر سه دسته مورد مطالعه قرار داشت و بنابراین امکان شناسایی غیرمخرب کوفتگی پرتقال توسط تصاویر فراطیفی وجود دارد.

کلمات کلیدی

"پرتقال"، "سفتی سنج"، "تصویربرداری فراطیفی"، "امکانسنجی".

۱- مقدمه

مرکبات ایران از جمله تولیدات مهم داخلی و منبع درآمد کشاورزی کشور است؛ اما متأسفانه با کاهش قدرت رقابت در بازار جهانی شده است. علت آن هم بالا بودن هزینه تولید و حمل و نقل به خاطر گرانی های اخیر از یک سو و کاهش قیمت محصولات صادراتی کشورهای رقیب مانند ترکیه در این دوره زمانی بوده است. حمل و نقل نامناسب میوه ها باعث ایجاد آسیب های مکانیکی بر روی آنها و افزایش ضایعات می شود. شکل آسیب ها بستگی به ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی محصول و نوع بار وارده (بار استاتیکی، دینامیک و نوسانی) دارد. اگر وسیله حمل کننده مناسب نباشد، هنگام حمل و نقل باعث تکان خوردن شدید میوه و برخورد آن با سطوح ماشین حمل کننده و یا دیگر میوه ها شده و در نتیجه باعث تغییر شکل بافت های آن می شود. اگر این تغییر شکل از حد تسلیم بیولوژیکی تجاوز کند، بافت در مدت کوتاهی تغییر رنگ داده و فاسد می شود و بدین ترتیب مواد کاملاً از بین خواهند رفت. محصولات فاسد شده در هنگام نگه داری در انبار، مواد سالمی که با آنها در تماس هستند را نیز به خطر خواهند انداخت (Sitkei, ۱۹۸۶). میزان ضایعات میوه ها در فرآیند

حضور در بازارهای جهانی با توسل به شیوه های تجاری موفق و کارآمد، که خودنمادی از توانمندی اقتصادی کشورها را به تصویر می کشد، از جمله ضرورت های تطبیق با نظام بین الملل کنونی به لحاظ پیشرفت های حاصله در عرصه های اقتصادی و صنعتی آن است. دلایل متعددی از جمله کاهش درآمدهای حاصل از صدور نفت و نوسانات شدید آن، افزایش جمعیت کشور، کاهش قدرت خرید و غیره، سیاستگذاران و برنامه ریزان کشور را به این باور رسانده است که توسعه صادرات غیر نفتی ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در این بین، صادرات محصولات کشاورزی با توجه به توانایی های بالقوه این بخش نقش مهم و سرنوشت ساز در تأمین استقلال و توسعه داشته و جایگاه ویژه ای در اقتصاد کلان کشور دارد. تقویت بخش کشاورزی چه از بعد داخلی برای تأمین استقلال سیاسی و اقتصادی و چه از بعد خارجی برای اجرای سیاست های گسترش صادرات غیرنفتی جهت کسب منابع ارزی از اهم موارد به شمار می رود (Salari et al, ۲۰۱۰).

۲۰۱۰). تصویربرداری فراطیفی برای اولین بار در اواخر دهه هفتاد میلادی در ایالات متحده آمریکا انجام شد و به سرعت پیشرفت کرده و گسترش یافت. اصلی ترین بخش پیشرفت این فناوری، در سال ۱۹۸۹ می باشد که همزمان با ساخت سنجنده هوابرد آوبریس توسط مرکز جی بی ال ناسا صورت گرفت و قادر به نمونه برداری در ۲۲۴ باند طیفی بود که پس از آن انواع سنجنده های فراطیفی هوابرد و فضایی دیگر نیز طراحی و ساخته شدند. در تحقیقات مختلفی از PCA برای انتخاب چندین طول موج که می تواند به طور بالقوه در یک سیستم تصویربرداری چند طیفی روی خط مورد استفاده قرار گیرند، بهره گرفته شده است که می توان به شناسایی عیوب رایج مختلف پرتقال با استفاده از سیستم تصویربرداری فراطیفی در دامنه طیفی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ اشاره نمود. سیستم تصویربرداری شامل یک طیف نگار تصویربرداری، لامپ های هالوژن ۱۵۰ وات و یک دوربین CCD می باشد. پرتقال ها با عیوب آسیب حشره، زخم بادزدگی، زخم تریپس، آلودگی شپشک در نظر گرفته شدند. در الگوریتم مؤلفه های اصلی استفاده شده در این تحقیق، هر مؤلفه اصلی یک حاصل جمع خطی از تصاویر اصلی در طول موج های منحصر به فرد است که در ضرایب وزنی (طیفی) مربوطه ضرب شده اند. شش طول ۸۷۵، ۸۱۰، ۷۸۶، ۷۶۹، ۶۹۱، ۶۳۰ نانومتر در دامنه طول موج ۵۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر و طول موج های ۷۶۹ و ۶۹۱ نانومتر در دامنه طول موج مرئی به عنوان طول موج های بهینه برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند (Li et al., ۲۰۱۱). در تحقیقی دیگر نیز عیوب سطحی گریپ فروت با استفاده از تصاویر بازتابی در دامنه طیفی ۴۵۰ تا ۹۳۰ نانومتر شناسایی شدند. از روش طبقه بندی اختلاف طیفی که بر پایه کمی کردن شباهت های طیفی با استفاده از یک طیف مرجع از پیش تعیین شده می باشد، سطح سالم را از پنج بیماری پوستی دیگر جداسازی کردند. دقت طبقه بندی کلی آن ها ۹۶/۲ درصد بوده است (Qin et al., ۲۰۰۹). در تحقیقی برای انتخاب طول موج های بهینه به منظور شناسایی لهیدگی در کیوی از رسم نمودار Loading بر حسب طول موج برای تصویر PC استفاده گردیده است که فاکتورهای Loading در PCA فاکتورهایی هستند که با توجه به ضرایب همبستگی بین فاکتورها و نمونه ها تعیین می شوند (Lu et al., ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر، برای کاهش اطلاعات و انتخاب طیف های بهینه به منظور شناسایی آسیب سرمازدگی در سیب از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. مدل

حمل و نقل بین ۳۰ تا ۴۰ درصد گزارش شده است. مطالعات فراوانی از جمله گوجه (Olorunda and Tung, ۱۹۸۵)، زردآلو (Holt and Schoorl, ۱۹۸۵)، انگور و توت (Hinsch et al., ۱۹۹۳)، گوجه (Zeebroeck et al., ۲۰۰۸) گزارش شده است ضربات مکانیکی بعنوان عامل موثر و اصلی در تلفات پس از برداشت محصول شناخته شده اند. در طی مراحل پس از برداشت بارهای دینامیکی در ایجاد کوفتگی در محصولات بیشتر موثرند. کوفتگی میوه غالباً، در طی مراحل جابه جایی، حمل و نقل، بسته بندی به دلیل وارد شدن ضربه بر آن از طرف اجزاء متحرک ماشینها و دیگر عوامل رخ می دهد. چون بارهای دینامیکی از لحاظ مقدار و وقوع، اثری بیش تر از بارهای استاتیکی دارند (Mohsenin, ۲۰۰۶). میزان کوفتگی، نقش کلیدی در مرحله تفکیک محصولات سالم و درجه بندی آنها ایفا می کند. میزان تلفات میوه های مختلف متفاوت می باشد. برای مثال معمولاً میزان تلفات سیب بین ۱۰ تا ۲۵ درصد است. ولی در برخی از وارته ها این میزان تا ۵۰ درصد نیز گزارش شده است (Hinsch et al., ۱۹۹۳). تحقیقات قابل توجهی در مورد خواص مکانیکی بافت میوه، مکانیسم های کوفتگی و روش های پیشگیری، کاهش و تشخیص کوفتگی گزارش شده است. در حین حمل و ذخیره سازی، بار استاتیک بیش از حد بر روی برخی از پرتقال های موجود در ظرف میوه اعمال می شود. با این حال، بیشتر کوفتگی ها در اثر بار پویا به شکل ارتعاش یا ضربه ایجاد می شوند. اخیراً، فناوری سنسجش نوری به عنوان ابزار بالقوه برای تجزیه و تحلیل غیر مخرب و ارزیابی کیفیت و سلامت مواد غذایی به درجه ای از توسعه رسیده است که در دسترس و قابل استفاده می باشد. به خصوص، با ادغام هر دوی شیوه های طیف سنجی و تصویربرداری در یک سیستم که توانایی تهیه یک نقشه فضایی از تغییر طیفی را دارد، تصویربرداری فراطیفی به طور گسترده ای مورد مطالعه و توسعه قرار گرفته است و منتج به بسیاری از کاربردهای موفق در زمینه ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی مثل آسیب های مکانیکی، باکتریایی و آلودگی ها شده است (Wu and Sun, ۲۰۱۳). بازدهی این روش خیلی بهتر از دیگر روش های تصویربرداری است؛ زیرا که هر پیکسل بر روی سطح تصویر دارای اثر طیفی آن شی در آن پیکسل است (Li et al., ۲۰۰۶). محدوده کاربردهای این تکنیک از کاربرد در کشاورزی دقیق مثل تشخیص استرس گیاهان یا آلودگی محصول تا کاربردهای پزشکی و کیفیت محصولات کشاورزی گسترده است (Khazaii, ۲۰۱۳).



شکل ۱- جمع آوری داده و برچسب گذاری آنها

به منظور استخراج خصوصیات طیفی از هر نمونه یک سیستم سخت افزاری باید پیکربندی گردد. اجزای تشکیل دهنده این سیستم عبارتند از ۱- لپ تاپ با ویژگی ۴GB، ۳۳۰M at ۲,۱۳GHz، Intel Core i3، Windows ۱۰، RAM، جهت انتقال داده های طیفی از دوربین. ۲- دوربین فراتیفی ساخت شرکت فن آوران فیزیک نور که دوربین در گستره طیفی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر قرار داشت، ۳- منبع نور از جنس هالوژن تنگستن با توان ۱۰ وات و با مدل SLI-CAL (StellarNet, USA) - ۴ محفظه نورپردازی برای جلوگیری از مزاحمت نور طبیعی محیط که این محفظه از جنس MDF بوده که در یک سمت آن دوربین فراتیفی و در مقابل دوربین فراتیفی نمونه و در دو طرف دیگر لامپ هالوژن قرار گرفت. فاصله افقی دوربین از نمونه ها ۱ متر بود که این فاصله با توجه به زاویه دید دوربین و وضوح تصویر در نظر گرفته شد (شکل ۲).



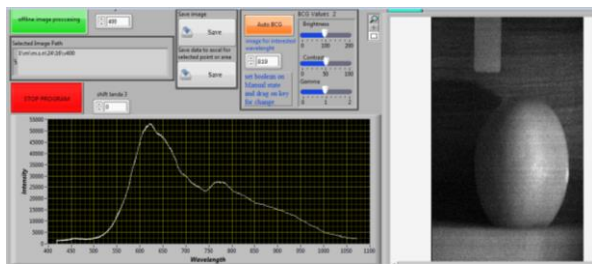
شکل ۲- دوربین تصویربرداری فراتیفی در محدوده ۴۰۰-۱۱۰۰ نانومتر

سختی سنج (سفتی سنج) میوه دستگامی است که امروزه توسط مراکز تحقیقاتی کشاورزی و صنایع غذایی جهت بررسی و تشخیص درجه رسیدگی انواع مختلف میوه به منظور بهبود کیفیت و تعیین زمان مناسب ذخیره سازی و

شبکه عصبی مصنوعی از سه لایه تشکیل شده است لایه ورودی ۸۲۶ گره که نشان دهنده پاسخ های طیفی از یک سیب در هر ۸۲۶ طول موج می باشد. با توجه به حجم داده ها فقط از یک لایه پنهان با ۵ گره استفاده شده است. تعداد گره در لایه خروجی با توجه به کلاس های مورد بررسی ۲ گره انتخاب شده که سیب های نرمال (کد ۱) و سیب های سرمازده (کد ۰) دو کلاس مورد بررسی هستند تابع سیگموئید به عنوان تابع انتقال بین لایه های ورودی و پنهان و یک تابع انتقال خطی بین لایه های پنهان خروجی مورد استفاده قرار گرفت. شبکه عصبی حداقل برای حداقل ۲۰۰۰۰ دور یا تا زمانیکه اندازه گیری خطا به ۰.۱٪ نزدیک گردید آموزش داده شد. از میان ۶۴ سیب، ۴۲ سیب بطور تصادفی برای آموزش و ۲۲ سیب دیگر برای آزمایش مدل شبکه عصبی استفاده شدند. این فرآیند ۳ بار بر روی ۶۴ سیب انجام شده است و در هر بار ۴۲ سیب مختلف بصورت تصادفی برای آموزش انتخاب شدند و باقیمانده نیز برای آزمایش استفاده شدند. خروجی این سه تکرار برای محاسبه اهمیت هر منغیر میانگین گیری شد. هرچه اهمیت منغیر بیشتر باشد در نتیجه طول موج بهتری است (EIMasry, ۲۰۰۹).

روش انجام تحقیق

در این تحقیق، ابتدا ۴۰ عدد پرتقال کاملاً سالم از باغ مرکبات چیده شد و در داخل فوم مخصوص میوه قرار داده شد و با دقت بصورت تک ردیف در داخل قوطی چیده شد تا در طول مسیر انتقال به آزمایشگاه، ضربات مکانیکی وارد نیاید. ابتدا نمونه ها برچسبگذاری شدند (شکل ۱). تصاویر فراتیفی تمام نمونه های سالم بعنوان تیمار سالم اخذ شد و سپس صدمه مکانیکی مصنوعی توسط سقوط آزاد ساچمه فولادی با قطر ۶ میلی متر و وزن ۱۵۰ گرم از ارتفاع ۴۵ سانتیمتری به تمام نمونه ها وارد شد تا ایجاد کوفتگی نماید. در نهایت، تصویر فراتیفی تمام نمونه ها در بازه زمانی ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از ایجاد کوفتگی مجدد اخذ شدند. بنابراین در مجموع ۱۲۰ نمونه در قالب سه دسته سالم، کوفته-۱۲ و کوفته-۲۴ حاصل شد.



شکل ۴- نحوه استخراج داده طیفی از دوربین فراطیفی توسط نرم افزار اختصاصی دوربین

۳- نتایج

برای دستیابی به روش غیرمخرب در شناسایی کوفتگی، ابتدا لازم بود تا حداقل یک ویژگی نمایانگر کوفتگی به صورت مخرب تحلیل و ارزیابی شود که آیا روش مخرب قادر به شناسایی تفاوت دسته های سالم و کوفته شده بود. برای این منظور، سفتی پرتقالهای هر دسته با استفاده از دستگاه پنترومتر یا سفتی سنج اندازه گیری شدند (جدول ۱-۳).

بر اساس جدول ۱، درمی یابیم که متوسط مقادیر سفتی برای پرتقال سالم ۰/۲۹ نیوتن بر سانتیمتر مربع بود. برای پرتقالهایی که سفتی آنها به ترتیب ۱۲ و ۲۴ ساعت بعد از کوفتگی اندازه گیری شدند ۰/۵۳ و ۰/۸۰ نیوتن بر سانتیمتر مربع گزارش شد. دلیل اینکه پرتقالهای سالم دارای سفتی بیشتری از کوفته داشتند شاید بتوان به بحث ترد بودن پوست پرتقال سالم نسبت به کوفته دانست. طبق جدول ۲، اختلاف بین پرتقالهای سالم و کوفته معنی دار بود که بر اساس جدول ۳ و آزمون دانکن درافته شد که این اختلاف بین هر سه دسته حاکم است.



شکل ۳- دستگاه سفتی سنج برای آزمون مخرب و تعیین سفتی پرتقالها

در نهایت، پس از حصول داده های مربوط به طیف بازتابی از پرتقالها و اندازه گیری میزان سفتی آنها، مقایسه بین دسته های سالم با کوفته شده توسط آزمون دانکن در نرم افزار SPSS انجام گردید. هدف از اینکار امکانسنجی استفاده از تصویربرداری فراطیفی در توسعه روش غیرمخرب در تشخیص کوفتگی پرتقال بود. نحوه استخراج داده های طیفی از تصاویر فراطیفی در شکل ۴ آمده است.

جدول ۱. مقادیر اندازه گیری شده سفتی پرتقال با سفتی سنج به تفکیک هر دسته و در قالب میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
Sound	۴۰	.۲۹۴۵	.۰۵۴۳۵	.۰۰۸۵۹
Bruised-۱۲	۴۰	.۵۳۳۰	.۰۵۴۵۵	.۰۰۸۶۲
Bruised-۲۴	۴۰	.۸۰۷۸	.۰۶۵۲۶	.۰۱۰۳۲
Total	۱۲۰	.۵۴۵۱	.۲۱۸۳۷	.۰۱۹۹۳

جدول ۲. تجزیه و تحلیل آنوا برای پارامتر سفتی پرتقال

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۵.۲۷۷	۲	۲.۶۳۹	۷۷۶.۹۹۲	...
Within Groups	.۳۹۷	۱۱۷	.۰۰۳		
Total	۵.۶۷۵	۱۱۹			

جدول ۳. آزمون دانکن برای مقایسه سفتی پرتقالها در هر دسته سالم، ۱۲ و ۲۴ ساعت بعد از کوفتگی

Treatment	N	Subset for alpha = ۰,۰۵		
		۱	۲	۳
Sound	۴۰	.۲۹۴۵		
Bruised-۱۲	۴۰		.۵۳۳۰	
Bruised-۲۴	۴۰			.۸۰۷۸
Sig.		۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰

جدول ۴ تا ۶ قابل استنباط است بین هر سه دسته مورد مطالعه اختلاف معنی دار آماری در سطح ۵٪ وجود دارد و بنابراین می توان نتیجه گرفت که روش تصویربرداری فراطیفی قابلیت شناسایی کوفتگی را در پرتقال دارد

حال که دانستیم که اختلاف معنی داری بین دسته های سالم و کوفته در روش مخرب وجود دارد، لازم است که اختلاف معنی داری هر سه دسته از نظر مقادیر طیفی نیز بررسی شود تا بتوان روشی اتومات و غیرمخرب را برای شناسایی کوفتگی پرتقال پیشنهاد داد. همانطور که از

جدول ۴. مقادیر طیفی پرتقال استخراج شده از تصاویر فراطیفی به تفکیک هر دسته و در قالب میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
Sound	۴۰	۳.۰۸۹۰E۴	۱۳۸۷.۱۱۶۶۳	۲.۱۹۳۲۲E۲
Bruised-۱۲	۴۰	۲.۷۲۶۵E۴	۴۶۱۹.۷۶۳۰۸	۷.۳۰۴۴۹E۲
Bruised-۲۴	۴۰	۱.۵۱۹۶E۴	۹۸۶.۵۱۶۱۹	۱.۵۵۹۸۲E۲
Total	۱۲۰	۲.۴۴۵۱E۴	۷۳۰۳.۰۸۰۰۳	۶.۶۶۶۷۷E۲

جدول ۵. تجزیه و تحلیل آنوا برای ارزش طیفی پرتقال

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۵.۴۰۲E۹	۲	۲.۷۰۱E۹	۳۳۴.۲۵۹	.۰۰۰
Within Groups	۹.۴۵۳E۸	۱۱۷	۸۰۷۹۸۳۹.۲۲۵		
Total	۶.۳۴۷E۹	۱۱۹			

جدول ۶. آزمون دانکن برای مقایسه ارزش طیفی پرتقالها در هر دسته سالم، ۱۲ و ۲۴ ساعت بعد از کوفتگی

Treatment	N	Subset for alpha = ۰,۰۵		
		۱	۲	۳
Bruised-۲۴	۴۰	۱.۵۱۹۶E۴		
Bruised-۱۲	۴۰		۲.۷۲۶۵E۴	
Sound	۴۰			۳.۰۸۹۰E۴
Sig.		۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰

۴- نتیجه گیری

نویدبخش در امکان شناسایی غیرمخرب کوفتگی پرتقال توسط تصاویر فراطیفی داشت.

هدف این تحقیق، امکانسنجی استفاده از تصاویر فراطیفی برای شناسایی کوفتگی پرتقال بود. ابتدا، آزمون مخرب و سنجش سفتی ۴۰ عدد پرتقال از هر دسته (سالم، ۱۲ ساعت پس از کوفتگی و ۲۴ ساعت پس از کوفتگی) انجام شد. آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی دار آماری در بین هر سه دسته مورد مطالعه قرار داشت. سپس داده های طیفی همان پرتقالها توسط تجزیه و تحلیل آنوا و آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفتند. اختلافات داده های طیفی هر سه دسته معنی دار بودند. نتایج حاکی از نتایج

- Hinsch, G. ۱۹۹۳. Ultrastructure of spermatogonia, spermatocytes, and sertoli cells in the testis of the crayfish, *Procambarus paeninsulanus*, *Tissue and Cell*, Volume ۲۵, Issue ۵, Pages ۷۳۷-۷۴۲
- Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F. ۱۹۹۳. Vibration of Fresh Fruits and Vegetables during Refrigerated Truck Transport. *Trans. ASAE*, ۳۶: ۱۰۳۹-۱۰۴۲
- Li, Norman & Bailey, J. & Kenrick, Douglas & Linsenmeier, Joan. (۲۰۰۲). The Necessities and Luxuries of Mate Preferences: Testing the Tradeoffs. *Journal of personality and social psychology*. ۸۲. ۹۴۷-۵۵. ۱۰.۱۰۳۷//۰.۰۲۲-۳۵۱۴,۸۲,۶,۹۴۷.
- Li, Y. L. ; McAllister, L. T. A. ; Beauchemin, K. A. ; He, M. L. ; McKinnon, J. J. ; Yang, W. Z., ۲۰۱۱. Substitution of wheat dried distillers grains with solubles for barley grain or barley silage in feedlot cattle diets: Intake, digestibility, and ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.*, ۸۹ (۸): ۲۴۹۱-۲۵۰۱
- Lu, Yaobin & Chau, Patrick & Cao, Yuzhi. (۲۰۱۱). Dynamics between the Trust Transfer Process and Intention to Use Mobile Payment Services: A Cross-Environment Perspective. *Information & Management*. ۴۸. ۳۹۳-۴۰۳. ۱۰.۱۰۱۶/j.im.۲۰۱۱.۰۹.۰۰۶.
- Mohsenin, N.N. (۱۹۷۰) *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- OLORUNDA, A.O., & TUNG, M.A. ۱۹۸۵. Simulated transit studies on tomatoes; effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. *International of food science and technology*. Vol. ۲۰, No. ۶, pp. ۶۶۹-۶۷۸
- Qin, G., Lapidot, S., Numata, K., Hu, X., Meirovitch, S., Dekel, M., Podoler, I., Shoseyov, O., Kaplan, D.L. (۲۰۰۹). Expression, cross-linking, and characterization of recombinant chitin binding resilin. ۱۰(۱۲): ۳۲۲۷-۳۲۳۴.
- Salari, M., Khalilian, S., Mousavi, H. ۲۰۱۵. Investigating the factors affecting the trade of agricultural products with an emphasis on oil revenues. *Agricultural Economics Research*, Vol. ۹, No. ۳, pp. ۳۶-۵۵.
- Schoorl, D., Holt, J.E. ۱۹۸۵. A methodology for the management of quality in horticultural distribution, *Agricultural Systems*, Volume ۱۶, Issue ۴, Pages ۱۹۹-۲۱۶,
- Sitkei, G. ۱۹۸۶. *Mechanics of agricultural materials*, Elsevier Science Pub Co.
- Wu, D. and Sun, W.D. ۲۰۱۳. Colour measurements by computer vision for food quality control – A review, *Trends in Food Science & Technology*, Volume ۲۹, Issue ۱, Pages ۵-۲۰
- Zeebroeck, M. & Lombaert, Geert & Dintwa, Edward & Ramon, Herman & Degrande, Geert & Tjiskens, Engelbert. (۲۰۰۸). The simulation of the impact damage to fruit during the passage of a truck over a speed bump by means of the discrete element method. *Biosystems Engineering - BIOSYST ENG*. ۱۰۱. ۵۸-۶۸. ۱۰.۱۰۱۶/j.biosystemseng.۲۰۰۸.۰۶.۰۰۳.

Feasibility of using Hyperspectral Imaging to Detect Bruising in Oranges

Razieh Pourdarbani^{۱*} ; Sajad Sabzi^۲

^۱ Associate Professor, Faculty of Agriculture, Department of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^۲ PhD graduate , Faculty of Agriculture, Department of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Orange is one of the old and widely used citrus fruits, which, despite the presence of very useful substances and micronutrients, has many properties, especially in blood purification and healing and prevention of many diseases. Oranges are rich in vitamins B, C, iron, calcium, phosphorus, potassium, sodium and copper. Vitamin C, which is one of the important factors in inhibiting cancer, and oranges are the main source of this vitamin. Mechanical shocks are known as effective factor in post-harvest losses. During post-harvest stages, dynamic loads are more effective in causing bruises. Considerable research has been reported on the mechanical properties of fruit tissue, the mechanisms of bruising and the methods of prevention, reduction and detection of bruising. In this research, the aim is to investigate the possibility of using hyperspectral imaging to propose a non-destructive model in identifying bruised oranges. In this regard, first a sufficient number of sound oranges were prepared and their hyperspectral images were taken. Then, bruises were artificially created in them, and hyperspectral images of oranges were taken again ۱۲ and ۲۴ hours after bruising. To perform the destructive test and measure the firmness of oranges, ۴۰ oranges from each class (sound, ۱۲ and ۲۴ hours after bruising) were selected and subjected to the destructive test and the hardness values were recorded. Duncan's test was performed to compare classes. The results showed that in both the destructive and non-destructive tests, there was a statistically significant difference among all the three studied categories, and therefore it is possible to non-destructively identify bruised oranges by hyperspectral images.

Introduction

Iran's citrus fruits are one of the important domestic products and a source of agricultural income of the country; But unfortunately, with the decrease in competition in the global market. The reason for this is the high cost of production and transportation due to the recent high prices on the one hand and the decrease in the price of export products of competing countries such as Turkey in this period of time. Improper transportation of fruits causes mechanical damage to them and increases waste. The form of damage depends on the physical and biological structure of the product and the type of load (static, dynamic and fluctuating load). If the transporter is not suitable, during transport, the fruit will shake violently and collide with the surfaces of the transporter or other fruits, and as a result, it will change the shape of its tissues. If this deformation exceeds the biological submission limit, the tissue will be discolored and decayed in a short period of time, and thus the material will be completely destroyed. Rotten products during storage in the warehouse will also endanger the healthy materials that are in contact with them (Sitkei, ۱۹۸۶). The amount of fruit waste in the transportation process has been reported between ۳۰ and ۴۰%. Many studies of Tomato (Olorunda and Tung, ۱۹۸۵), apricot (Holt and School. ۱۹۸۵), grape and berry (Hinsch et al., ۱۹۹۳), peach (Zeebroeck et al., ۲۰۰۸) have been reported. Mechanical loads are known as the main and effective factor in post-harvest losses. During the post-harvest stages, dynamic loads are more effective in causing bruises in the products. Fruit bruises often occur during the stages of moving, transportation, and packaging due to impact from the moving parts of machines and other factors. . Because dynamic loads have more effect than static loads in terms of quantity and occurrence (Mohsenin, ۲۰۰۶). The amount of bruising plays a key role in the separation stage of healthy products and their grading. The loss rate of different fruits is different. For example, apple losses are usually between ۱۰ and ۲۰ percent. But in some varieties, this amount has been reported up to ۵۰% (Hinsch et al, ۱۹۹۳).

Considerable research has been reported on the mechanical properties of fruit tissue, the mechanisms of bruising and the methods of prevention, reduction and detection of bruising. During transportation and storage, excessive static load is applied to some oranges in the fruit container. However, most

bruises are caused by dynamic load in the form of vibration or impact. Recently, optical measurement technology as a potential tool for non-destructive analysis and evaluation of food quality and health has reached a level of development that is available and usable. Hyperspectral imaging was first performed in the late ۱۹۷۰s in the United States of America and has rapidly developed and expanded. The main part of the development of this technology is in ۱۹۸۹, which took place at the same time as the Aviris airborne sensor was built by NASA's GPL center and was able to sample in ۲۲۴ spectral bands, after which other types of airborne and space hyperspectral sensors were designed and built. In various researches, PCA has been used to select several wavelengths that can potentially be used in a multispectral imaging system on the line, which can be used to identify different common defects of oranges using a hyperspectral imaging system in the spectral range of ۴۰۰-۱۰۰۰ mentioned. The imaging system includes an imaging spectrograph, ۱۵۰ watt halogen lamps and a CCD camera. The oranges were considered to have insect damage, wind damage, thrips damage, and aphid contamination. In the principal components algorithm used in this research, each principal component is a linear summation of principal images at unique wavelengths that are multiplied by the corresponding (spectral) coefficients. ۶ wavelengths of ۶۳۰, ۶۹۱, ۷۶۹, ۷۸۶, ۸۱۰, ۸۷۵ nm in the wavelength range of ۵۵۰-۹۰۰ nm and wavelengths of ۶۹۱ and ۷۶۹ nm in the visible wavelength range were selected as optimal wavelengths for further analysis (Li et al, ۲۰۱۱).

Methodology

In this research, first, ۴۰ sound oranges were picked from the citrus garden and placed inside the special fruit foam and carefully arranged in a single row inside the can so as not to get mechanical shocks during the transfer to the laboratory. First, the samples were labeled (Figure ۱). Hyperspectral images of all sound samples were taken as a sound category, and then artificial mechanical damage was applied to all samples by free fall of a steel ball with a diameter of ۶ mm and a weight of ۱۵۰ grams from a height of ۴۵ cm to cause bruises. Finally, the hyperspectral image of all samples was taken again at ۱۲ and ۲۴ hours after bruising. Therefore, a total of ۱۲۰ samples were obtained in the form of three categories. In order to extract spectral characteristics from each sample, a hardware system must be configured. The components of this system are ۱- laptop, ۲- hyperspectral camera, ۳- light source. A penetrometer is a device that is widely used by agricultural and food industry research centers to check and detect the degree firmness of different types of fruit in order to improve quality and determine the appropriate time for storage and transportation. (Figure ۳). Finally, after obtaining the data related to the reflection spectrum of oranges and measuring their firmness, a comparison between healthy and stuffed groups was made by Duncan's test in SPSS software. The purpose of this work was the feasibility of using hyperspectral imaging in the development of a non-destructive method in the detection of bruised oranges.

Conclusion

In order to achieve a non-destructive method in identifying bruises, it was first necessary to analyze at least one characteristic of bruises destructively and evaluate whether the destructive method was able to identify the difference between healthy and bruised categories. For this purpose, the hardness of the oranges of each batch was measured using a penetrometer or a hardness tester (Tables ۱-۳). Based on Table ۱, we find that the average hardness values for healthy oranges were ۰,۲۹ N/cm^۲. For oranges whose hardness was measured ۱۲ and ۲۴ hours after crushing, respectively, ۰,۵۳ and ۰,۸۰ N/cm^۲ were reported. The reason why healthy oranges were more firm than meatballs can be attributed to the crispness of the skin of healthy oranges compared to meatballs. According to Table ۲, the difference between healthy oranges and meatballs was significant, based on Table ۳ and Duncan's test, it was drawn that this difference prevails between all three categories. Now that we know that there is a significant difference between healthy and meatball categories in the destructive method, it is necessary to check the significant difference of all three categories in terms of spectral values so that an automatic and non-destructive method can be proposed to identify orange meatballs. As can be deduced from Tables ۴ to ۶, there is a statistically significant difference at the level of ۵% between all three studied categories, and therefore it can be concluded that the hyperspectral imaging method is capable of identifying bruises in oranges.

Keywords

