



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پرديس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



پیش‌بینی سفتی میوه هلو با استفاده از سامانه تصویربرداری پس‌پراکنش نور لیزر

سینا احمدخانی^{۱*}، اصغر محمودی^۲، کاوه ملازاده^۳، حسین غفاری^۴

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و مربی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان

sina.ahmadkhani3@gmail.com

چکیده

ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی، از فعالیت‌های تاثیرگذار در عرصه تجارت، اقتصاد و سلامت جوامع می‌باشد. در همین راستا نیاز به روش‌های نوین در اندازه‌گیری کیفیت، روز به روز بیشتر می‌شود. از میان این روش‌ها، آزمون‌های غیرمخرب بیشتر مد نظر است. این مطالعه به امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان سفتی میوه هلو به صورت غیرمخرب با استفاده از روش تصویربرداری بر پایه نور لیزر که روشی نوین جهت بررسی و پیش‌بینی برخی شاخص‌های کیفی محصولات کشاورزی می‌باشد، پرداخته است. بدین منظور، سامانه‌ای جهت اخذ تصاویر پس‌پراکنش شامل یک دوربین تصویربرداری و یک دیود لیزری با طول موج ۶۵۰ نانومتر، پیاده‌سازی گردید. پس از اخذ تصاویر نمونه‌ها، به منظور ارزیابی عملکرد این سامانه در پیش‌بینی میزان سفتی میوه هلو، از روش پردازش تصویر جهت استخراج اطلاعات لازم برای ساخت مدل‌های کالیبراسیون، استفاده گردید. مدل‌های کالیبراسیون با روش‌های رگرسیون غیرخطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی بر اساس تحلیل‌های مبتنی بر شدت و بافت ساخته شدند. با ارزیابی مدل‌ها، بهترین نتایج برای روش رگرسیون غیرخطی بدست آمدند. در نهایت با ترکیب ویژگی‌های شدت و بافت و مدل‌سازی به روش رگرسیون غیرخطی ضریب همبستگی ۰/۸۹ برای پیش‌بینی سفتی میوه هلو بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کیفی، آزمون غیرمخرب، پردازش تصویر، پس از برداشت

مقدمه

روند رو به رشد جمعیت سبب افزایش روزافزون تقاضا برای محصولات کشاورزی شده است. در رابطه با میوه‌ها، سفتی به عنوان پارامتر اساسی کیفیت در صنایع کشاورزی مطرح می‌شود. تعداد بسیار زیادی از مصرف‌کنندگان تمایل به پرداخت هزینه بیشتر در ازای کیفیت بالاتر محصول مورد نظر خود را دارند. سفتی شاخصی مهم در تعیین بلوغ، کیفیت طبقه‌بندی و زمان برداشت میوه‌ها است. هم‌چنین این پارامتر بر روی تصمیم خریداران برای میزان پرداخت هزینه محصولات کشاورزی



تاثیر بسزایی دارد (Qing et al, 2007). طیف‌سنجی فرسرخ نزدیک^۱ و تصویربرداری ابرطیفی^۲ برای پیش‌بینی خواص کیفی برخی محصولات کشاورزی از قبیل آلو (Abu-Khalaf et al, 2002)، هلو (Lu et al, 2006)، سیب (fan et al, 2007)، نارنگی (liu et al, 2010)، کیوی (Moghimi et al, 2010)، در محدوده ۷۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است (romano et al, 2011). اگرچه در این روش‌ها همبستگی میان تغییرات ویژگی‌های بافت و خواص کیفی آن‌ها وجود دارد، اما تجهیزات مورد استفاده در آن‌ها بسیار گران و اغلب غیر قابل دسترس هستند (Qing et al, 2007). در این میان، تصویربرداری پس‌پراکنش نور لیزر که به تازگی در کشاورزی کاربرد یافته است، با قابلیت دسترسی آسان و ارزانی تجهیزات، اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. این روش بر پایه جذب و پراکنش نور در برخورد با یک نمونه می‌باشد. به هنگام برخورد نور، به عنوان بخشی از طیف الکترومغناطیس با یک ماده بیولوژیک، قسمتی از آن بازتابش، قسمتی عبور و مابقی در بافت نمونه جذب می‌گردد. تنها ۴ تا ۵ درصد از نور از سطح بازتاب و یا از درون بافت پس‌پراکنده می‌شود (molazadeh et al, 2012). میزان جذب نور وابسته به پارامترهای شیمیایی هم‌چون رنگ‌دانه‌ها، قند، میزان آب و غیره می‌باشد. از سوی دیگر پراکنش نور پدیده‌ای فیزیکی و بیشتر وابسته به اندازه سلول‌ها و مشخصه‌های داخلی و خارجی ماتریس بافت نمونه است (romano et al, 2010). (Qing et al, 2007)، و از تصویربرداری پس‌پراکنش ساطع شده نور لیزر (در طول موج‌های ۶۸۰، ۷۸۰، ۸۸۰، ۹۴۰ و ۹۸۰ نانومتر) جهت تحلیل مواد جامد حل شدنی و سفتی میوه سیب استفاده کردند. (romano et al, 2011) از پردازش تصاویر بدست آمده از لیزر (در طول موج ۶۳۵ نانومتر) برای نظارت بر میزان رطوبت و مواد جامد حل شدنی میوه سیب طی فرآیند خشک کردن استفاده نمودند. (molazadeh et al, 2013) تصاویر سیب، آلو، گوجه‌فرنگی و قارچ دکمه‌ای را که با استفاده از سامانه تصویربرداری با نور لیزر در طول موج ۶۶۰ نانومتر اخذ کرده بودند، به منظور پیش‌بینی سفتی و مدول الاستیسیته آن‌ها بررسی نمودند. (Udomkun et al, 2014) امکان استفاده از تحلیل پراکنش نور لیزر با استفاده از سه طول موج ۶۵۰، ۷۸۰ و ۸۳۲ نانومتر را در جهت پیش‌بینی میزان رطوبت، چروکیدگی و رنگ میوه انبه طی فرآیند خشک شدن، بررسی کردند. با توجه به سرعت بالا در مقابل هزینه اندک، روش تصویربرداری پس‌پراکنش نور لیزر تحولی نوین در عرصه ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی می‌باشد. لذا در این پژوهش روش فوق جهت بررسی امکان پیش‌بینی پارامتر سفتی میوه هلو، مد نظر قرار گرفت.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۲- نمونه‌های میوه

نمونه‌های هلو از رقم تکدانه و از مجموعه تحقیقاتی خلعت‌پوشان واقع در حومه شهر تبریز (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۶/۲۷ درجه شرقی و ۳۸/۰۳ درجه شمالی) تهیه گردید. برداشت در پنج مرحله و به فواصل زمانی ۲ یا ۳ روزه صورت پذیرفت (روزهای نهم، یازدهم، سیزدهم، شانزدهم و هجدهم شهریورماه ۱۳۹۳). در هر مرحله حدود ۲۰ تا ۳۰ عدد

¹- Near Infrared Spectroscopy

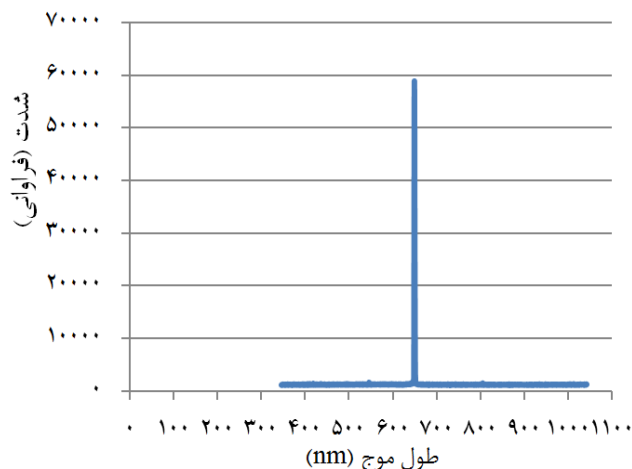
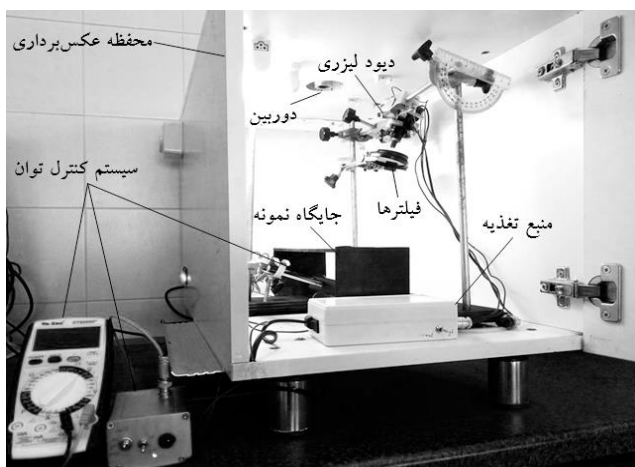
2- Hyper spectral imaging



و در کل ۱۴۰ عدد هلو برداشت شد. برداشت توسط دست و با احتیاط لازم جهت جلوگیری از هر گونه کوفتگی ناشی از فشار دست انجام گرفت. نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه خواص بیوفیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز انتقال یافت. پیش از انجام هر گونه عملیات، نمونه‌ها به مدت ۱۵ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری می‌شدند.

۲-۲- سامانه تصویربرداری

سامانه طراحی و ساخته شده برای این پژوهش از یک دوربین تصویربرداری CCD (ساخت شرکت سونی، کشور ژاپن، مدل DSC-W100)، یک دیود لیزری با طول موج ۶۵۰ نانومتر (که بر اساس طول موج‌های ویژه گزارش شده توسط پژوهشگران انتخاب گردید (molazadeh et al, 2012)). به عنوان منبع نوری، سیستمی جهت کنترل توان نور خروجی لیزر و محفظه تصویربرداری تشکیل یافت. با توجه به اساس کار این پژوهش که بر پایه اطلاعات شدت تصاویر اخذ شده حاصل از پس‌پراکنش نور لیزر می‌باشد، ثبات شدت لیزرها در تمامی مراحل آزمایشات اهمیت ویژه‌ای دارد. این ثبات از طرفی به جریان تغذیه دیود و از طرف دیگر به دمای کاری آن وابسته است. لذا فراهم آوردن این جریان یکنواخت و نیز تدابیری جهت کاهش اثرات دما الزامی است. برای این منظور یک منبع تغذیه جهت یکسوسازی و فراهم آوردن جریان مناسب و یکنواخت برای دیود، ساخته شد. برای کاهش حداکثر اثرات دما (که با گذشت زمان افزایش می‌یابد (بهجت، ۱۳۸۱)، یک خنک‌کننده بر روی دیود لیزر نصب گردید. برای حصول اطمینان بیشتر، یک سیستم به صورت مستقل ساخته شد و جهت کنترل توان نور خروجی لیزر در مراحل مختلف کاری مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد برای اطمینان از دقت طول موج ساطع شده توسط دیود لیزری، این دیود بوسیله یک طیف‌سنج مدل USB4000 ساخت شرکت Ocean Optics ایالات متحده آمریکا، تست گردید (شکل ۱). سیستم طراحی شده شامل اجزای دیگری نظیر پایه نگهدارنده دیود لیزری و نیز پایه جهت قرارگیری نمونه، فیلترها و محفظه‌ی تصویربرداری می‌باشد. با توجه به اهمیت اخذ تصاویر تحت تابش نور تک‌فام لیزر و در نتیجه بهبود کیفیت تصاویر، از محفظه‌ای که می‌توانست شرایط کاملاً تاریکی را فراهم آورد، استفاده شد. پس از آماده‌سازی و هم‌چنین فراهم آوردن تمام اجزای سیستم تصویربرداری، شرایط برای شروع فرآیند تصویربرداری از نمونه‌های اصلی در هر مرحله از برداشت مهیا شد. دیود لیزری تا حد امکان بر روی پایه اصلی بالا قرار گرفت تا زاویه بزرگتری از محیط تصویرگیری برای دوربین فراهم گردد. سپس لیزر بوسیله بازوی نگهدارنده خود و نقاله‌ی موجود روی آن، به اندازه ۲۵ درجه از حالت تابش عمودی نسبت به زمین، به سمت نمونه تغییر جهت داده شدند (شکل ۲). این مقدار از ۷ تا ۲۵ درجه پیشنهاد شده است (molazadeh et al, 2012). دوربین نیز دقیقاً در بالای نمونه‌ها تعبیه شد تا امکان تصویربرداری از نمونه‌ها تحت تابش نور لیزر ایجاد شود. لازم به ذکر است که تمامی تنظیمات سیستم از آغاز تا پایان آزمایشات ثابت و تنها فاکتور متغیر، نمونه بود. توان لیزرها نیز با توالی ۵ تصویربرداری، توسط دستگاه کنترل توان نور خروجی لیزر، کنترل شد.



شکل ۲: سامانه تصویربرداری

شکل ۱: نمودار طیف الکترومغناطیس دیود با طول موج ۶۵۰ نانومتر

۳-۲- پردازش تصویر

تصاویر پس‌پراکنش حاصل از برخورد نور لیزر با نمونه بصورت رنگی با استفاده از دوربین CCD اخذ گردید. سپس این تصاویر به یک رایانه به منظور انجام پردازش تصاویر انتقال یافت. قطعه‌بندی^۳ تصاویر پس‌پراکنش از جمله مهم‌ترین فرآیندهای پردازش است (molazadeh et al, 2012). اهمیت قطعه‌بندی برای این تصاویر، به علت وجود ناحیه اشباع (ناحیه‌ای از تصویر که فوتون‌ها به صورت مستقیم به لنز دوربین می‌رسند) و نیز پس‌زمینه آن، دو چندان می‌باشد. لذا قطعه‌بندی تصاویر پس‌پراکنش خود شامل دو بخش خواهد بود. برای این منظور، دستوری جهت حذف ناحیه اشباع و نیز پس‌زمینه تصویر در نرم‌افزار MATLABR2011a نوشته شد. این دستور ابتدا تصویر را فراخوانی و سپس برای انجام مراحل قطعه‌بندی به تصویر تک‌رنگ یا خاکستری تبدیل نموده و با اجرای یک حلقه اقدام به حذف نواحی مورد نظر از تصویر می‌کرد. لذا در این حلقه، دو آستانه برای انجام عملیات فوق در نظر گرفته شد. ابتدا برای حذف پس‌زمینه، آستانه پایین مورد استفاده قرار گرفت که در نتیجه از دو روش آستانه‌گذاری عمومی و اتسوز^۴ استفاده شد (Qing et al, 2007). آستانه بالا نیز برای حذف ناحیه اشباع، بصورت مستقیم از روی هیستوگرام تصاویر تشخیص و مقدار ۲۵۰ معین شد (Qing et al, 2007). روش‌های مختلفی جهت استخراج ویژگی از تصاویر پس‌پراکنش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این روش‌ها به دو دسته عمده تحلیل شدت و بافت تقسیم می‌شوند (molazadeh et al, 2012). در پژوهش حاضر هر دوی این روش‌ها بر اساس پارامترهای آماری مخصوص به خود، بکار گرفته شده است. روش اول بر پایه شدت پیکسل‌های تصویر می‌باشد. برای این منظور پس از قطعه‌بندی تصاویر، ویژگی‌های آماری آن‌ها مطابق جدول ۱ استخراج شدند. در روش مبتنی بر بافت که بر اساس احتمال

1- Segmentation

2- Otsu



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



رخداد هر یک از سطوح شدت می‌باشد، از هیستوگرام نرمال شده برای استخراج پارامترهای آماری استفاده می‌شود. برای این منظور، پس از قطعه‌بندی تصاویر، فراوانی رخداد هر یک از سطوح شدت توسط رابطه زیر نرمال شده است.

$$P(z_i) = \frac{h(z_i)}{n} \quad (1)$$

که در آن $h(z_i)$ تابع هیستوگرام، n تعداد کل پیکسل‌های تصویر و $P(z_i)$ احتمال رخداد سطوح شدت می‌باشد. حال با استفاده از مقادیر نرمال شده، پارامترهای مربوطه (مطابق جدول ۱) برای این روش، استخراج شدند (ملازاده و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۱: ویژگی‌های آماری مربوط به تحلیل‌های شدت و بافت

تحلیل	ویژگی آماری	توضیح
	مجموع شدت‌ها	مجموع شدت‌های غیر صفر
	حداکثر شدت	بیشترین مقدار شدت غیر صفر
	حداقل شدت	کم‌ترین شدت‌های غیر صفر
مبتنی بر شدت	میانگین هندسی	میزان تمایل به میانگین حسابی
	میانگین هارمونیک	میزان تمایل به میانگین حسابی
	انحراف معیار	فاصله شدت‌ها از میانگین
	واریانس	نحوه پراکندگی شدت‌ها حول میانگین
	میانگین حسابی	میانگین شدت بافت
	انحراف معیار	فاصله شدت‌های بافت از میانگین
مبتنی بر بافت	همواری	این مقدار برای ناحیه‌های با سطوح شدت ثابت صفر است.
	چولگی	میزان تقارن یک هیستوگرام
	کشیدگی	میزان قله‌ای بودن هیستوگرام تصویر
	ضریب تغییرات	نسبت انحراف معیار به میانگین

۲-۴- داده‌های مرجع

پس از اخذ تصاویر پس‌پراکنش از نمونه‌ها، سفتی آن‌ها، بلافاصله با استفاده از روش مگنس-تیلر، بوسیله دستگاه Instron1140 با نرخ بارگذاری ۵۰ mm/min و بکارگیری پروب ۷/۹ میلی‌متری جهت نفوذ به بافت نمونه‌ها بدست آمدند. قبل از شروع این آزمایش، ابتدا پوست میوه در محل مورد نظر به ضخامت ۲ میلی‌متر گرفته می‌شد. در نهایت حداکثر نیرو



در عمق نفوذ ۸ میلی‌متری به عنوان سفتی نمونه در آن نقطه ثبت گردید. با تکرار آزمایش در سه نقطه، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده به عنوان سفتی کلی میوه‌ها در نظر گرفته شد (Dobrzanski et al, 2006).

۲-۵- مدل‌های کالیبراسیون

استفاده از مدل‌های کالیبراسیون جهت ارائه روابط و نیز تاثیرات متقابل پارامترهای اندازه‌گیری شده، اجتناب ناپذیر است. برای این منظور روش‌های گوناگونی ابداع شده‌اند و بسته به نوع داده‌ها و اهداف مورد نظر می‌توانند نتایج متفاوتی را بدست آورند (اعلمی و همکاران، ۱۳۹۲). روش رگرسیون غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی از جمله این روش‌ها می‌باشند که به طور گسترده مورد استفاده پژوهشگران قرار می‌گیرند. برای ارائه شبکه‌های عصبی مصنوعی از نرم افزار MATLAB2011a و برای ساخت مدل رگرسیون از نرم افزار SPSS16 استفاده شد. نوع شبکه بر اساس هدف مورد نظر که در این پژوهش پیش‌گویی یک پارامتر (عدد) در هر مرحله می‌باشد، از نوع پرسپترون چند لایه (MLP) انتخاب شد. سپس دو لایه (یک لایه پنهان و یک لایه خروجی) و توابع مربوط به هر لایه تعیین گردید. برای این منظور تابع انتقال برای لایه پنهان \tansig و برای لایه خروجی $purelin$ انتخاب شد. در نهایت شبکه مطابق با تنظیمات فوق ایجاد گردید. پس از استخراج اطلاعات مربوط به تحلیل‌های مبتنی بر شدت و بافت از تمامی تصاویر، تعداد ۱۱۰ نمونه (حدود ۸۰ درصد) به طور تصادفی برای ساخت مدل‌ها و مابقی به منظور ارزیابی نهایی آن‌ها جدا گردید (از ۱۱۰ داده مذکور، میزان ۲۰ درصد نیز برای اعتبار سنجی مدل در روش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد). پیش از انتخاب پارامترهای مناسب به عنوان ورودی مدل‌ها در هر مرحله، نمودار پراکندگی آن‌ها در نرم افزار Excel2010 ترسیم و از انتخاب پارامترهای با تغییرات مشابه جلوگیری بعمل آمد. این کار علاوه بر کاهش زمان ایجاد مدل‌ها، مشکلات ناشی از هم‌پوشانی داده‌ها را نیز برطرف می‌کند.

۲-۶- ارزیابی مدل‌ها

به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های مختلف، از دو پارامتر ضریب همبستگی (R) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (molazadeh et al, 2013).

$$R = \frac{n \sum P.A - (\sum P)(\sum A)}{\sqrt{n(\sum P^2) - (\sum P)^2} \sqrt{n(\sum A^2) - (\sum A)^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (P - A)^2} \quad (3)$$

که در آن‌ها، P مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، A مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آزمون مخرب و n تعداد نمونه‌هاست.



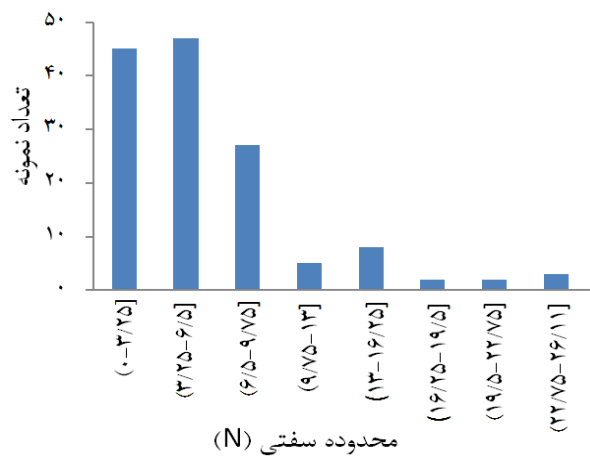
۳- نتایج و بحث

۱-۳- نتایج آزمون مخرب

نتایج حاصل از این آزمون برای ۱۴۰ نمونه مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۲ آمده است. این نتایج، محدوده وسیعی (۰/۹۷ تا ۲۶/۱۱ نیوتون) از تغییرات را برای این پارامتر نشان می‌دهند. انحراف معیار بالای این مقادیر نیز حاکی از پراکندگی زیاد داده‌های بدست آمده طی مراحل مختلف برداشت است. نمودار شکل ۳ به خوبی این توزیع غیریکنواخت را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ویژگی‌های آماری پارامتر سفتی نمونه‌ها

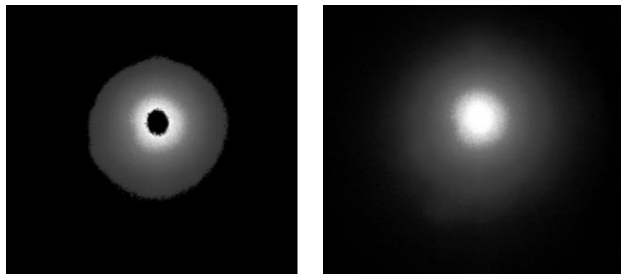
پارامتر کیفی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
سفتی (N)	۰/۹۷	۲۶/۱۱	۷/۴۸	۵/۸۰



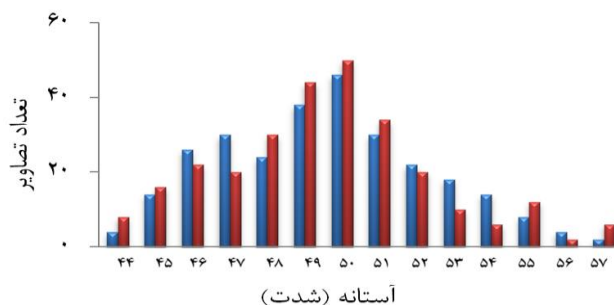
شکل ۳: نمودار توزیع سفتی نمونه‌ها

۲-۳- پردازش تصویر

به منظور قطعه‌بندی تصاویر پس‌پراکنش، مقدار آستانه بالا برابر ۲۵۰ و آستانه پایین بر اساس روش‌های آستانه‌گذاری عمومی و اتسو محاسبه گردید (Qing et al, 2007). در نتیجه مقادیر پایین آستانه برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شد. همان‌طور که از نمودار شکل ۳ مشخص است، مقادیر آستانه برای تصاویر مربوط به لیزر ۶۵۰ نانومتری محدوده‌های ۴۴ الی ۵۷ می‌باشد. لذا آستانه پایین، مقادیر دارای بیشترین فراوانی انتخاب شد. بدین ترتیب، آستانه ۵۰ برای لیزر ۶۵۰ نانومتر بدست آمد. در شکل ۵ نمونه‌ای از تصاویر قبل و بعد از عملیات قطعه‌بندی برای یک محصول ملاحظه می‌شود.



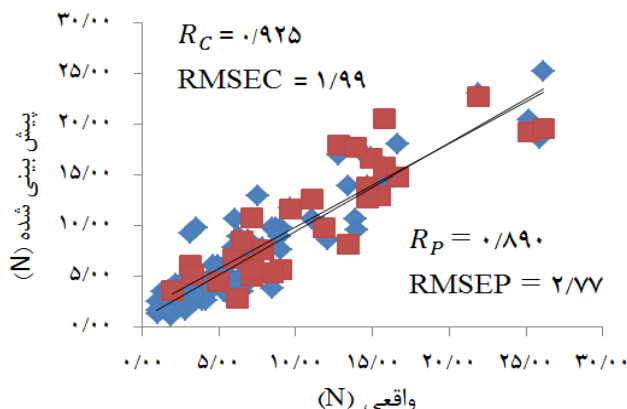
شکل ۵: نمونه‌ای از تصاویر پس‌پراکنش نور لیزر قبل از
قطعه‌بندی (سمت راست) و بعد از آن (سمت چپ)



شکل ۴: مقادیر آستانه برای لیزر ۶۵۰ نانومتر، ستون‌های سمت راست
مقادیر حاصل از روش اتسو و ستون‌های سمت چپ مقادیر حاصل از
روش آستانه‌گذاری عمومی می‌باشد.

۳-۳- مدل‌های کالیبراسیون

پارامترهای آماری تصاویر قطعه‌بندی شده، به منظور حذف پارامترهای با تغییرات مشابه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر این اساس ویژگی‌های مجموع شدت‌ها، حداقل شدت‌ها، انحراف معیار و میانگین هارمونیک برای روش مبتنی بر شدت و میانگین حسابی، همواری، چولگی و ضریب تغییرات برای روش مبتنی بر بافت انتخاب شدند. پس از انتخاب این ویژگی‌ها، از آن‌ها به عنوان ورودی مدل‌ها در هر یک از روش‌های تحلیلی شدت و بافت استفاده شد. ضرایب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا حاصل از تحلیل‌های مبتنی بر شدت و بافت شامل نتایج یک مدل رگرسیونی غیرخطی (NLR) و یک مدل بر اساس شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، در جدول ۳ ارائه شده است (لازم بذکر است که در مورد شبکه‌های عصبی مصنوعی از ضریب همبستگی مربوط به داده‌های اعتبارسنجی استفاده شد). با مقایسه مقادیر بدست آمده، روش رگرسیونی غیرخطی با ضرایب همبستگی بیشتر (۰/۹۱۷ و ۰/۹۱۵) در برابر RMSE کمتر (۳/۱۶۰ و ۲/۱۲۴)، به عنوان مدل برتر انتخاب گردید. بر این اساس، در مرحله بعد مدلی با روش رگرسیونی غیرخطی و ترکیب ورودی‌های مبتنی بر تحلیل‌های شدت و بافت ساخته شد. نتایج حاصل از این مدل ترکیبی، حاکی از افزایش ضریب همبستگی (۰/۹۲۵) و کاهش RMSE (۱/۹۹) می‌باشد. شکل ۶، نمودار مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی برای داده‌های کالیبراسیون و آزمون را نشان می‌دهد. این مقادیر در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش Liu et al, و پنگ (۲۰۰۶) برای پیش‌بینی سفتی دو رقم از میوه هلو با استفاده از تصویربرداری ابرطیفی، برتری محسوسی را نشان می‌دهد. بر این اساس ضرایب همبستگی برای پیش‌بینی داده‌های آزمون در مطالعه آن‌ها مقادیر ۰/۷۴ و ۰/۸۷ گزارش شده است. در حالی که این ضریب در پژوهش حاضر مقدار ۰/۸۹ بدست آمد.



شکل ۶: نمودار پراکندگی داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل ترکیبی در برابر مقادیر واقعی به همراه R و RMSE برای مرحله کالیبراسیون و ارزیابی مدل

جدول ۳: نتایج حاصل از مدل‌های کالیبراسیون

مدل کالیبراسیون	تحلیل مبتنی بر شدت		تحلیل مبتنی بر بافت	
	RMSE	R	RMSE	R
NLR	۳/۱۶۰	۰/۹۱۷	۲/۱۲۴	۰/۹۱۵
ANN	۳/۹۷۰	۰/۷۹۵	۴/۱۰۰	۰/۷۸۳

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از سامانه تصویربرداری پس‌پراکنش نور لیزر طراحی و ساخته شده در این پژوهش جهت پیش‌بینی پارامتر سفتی، رضایت بخش بود. از دلایل اصلی این امر می‌توان به انتخاب صحیح طول موج دیود لیزری، ثبات شدت نور ساطع شده توسط آن در تمامی مراحل کاری و نیز بکارگیری دوربین تصویربرداری مناسب، جهت ثبت تغییرات پس‌پراکنش دانست. تغییرات قابل توجه در ساختار سلولی (فیزیکی) بافت، افزایش میزان کاروتنوئیدها (romano et al, 2011) (کاهش میزان کلروفیل) طی مراحل رسیدگی و در نهایت تخلخل پایین نمونه، از جمله دیگر دلایل بدست آمدن این نتایج می‌باشد. تحلیل‌های مبتنی بر شدت و بافت، از آنجا که در این پژوهش هر دو بر پایه ویژگی‌های آماری صورت گرفت، برتری محسوسی نسبت به هم نداشتند. بکارگیری طول موج‌های موثر بیشتر و هم‌چنین بررسی سایر روش‌های تحلیلی پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

۱. بهجت، ع. ۱۳۸۱. لیزر، اصول و کاربردها (ترجمه). چاپ اول. انتشارات دانشگاه یزد. ۴۳۷ ص.
۲. اعلمی، م.ت. صادق فام، س. فاضلی فرد، م.ح. نقی پور، ل. ۱۳۹۲. مدل سازی سری داده‌ها. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز. ۲۹۹ ص.

3. Abu-Khalaf, N. Bennedsen, B.S. 2002. Plum-Tasting Using Near Infra-Red (Nir) Technology. International Agrophysics. 16, 83-89.



4. Dobrzanski, B. Rabcewicz, J. Rybczynski, R. 2006. Handling of Apple: Transport Techniques and Efficiency Vibration. Damage and Bruising Texture. Firmness and Quality. Institute of Agrophysics of Polish Academy of Sciences. 233 pp.
5. Fan, G. Zha, J. Du, R. Gao, L. 2009. Determination of Soluble Solids and Firmness of Apples by Vis/Nir Transmittance. Journal of Food Engineering. 93, 416-420.
6. Liu, Y. Sun, X. Zhang, H. Aiguo, O. 2010. Nondestructive Measurement of Internal Quality of Nanfeng Mandarin Fruit by Charge Coupled Device Near Infrared Spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture. 71, 10-14.
7. Lu, R. Peng, Y. 2006. Hyperspectral Scattering for Assessing Peach Fruit Firmness. Biosystems Engineering. 93(2), 161-171.
8. Moghimi, A. Aghkhani, M.H. Sazgarnia, A. Sarmad, M. 2010. Vis/Nir Spectroscopy and Chemometrics for the Prediction of Soluble Solids Content and Acidity (Ph) of Kiwifruit. Biosystems Engineering. 106, 295-302.
9. Mollazade, K. Omid, M. Akhlaghian, T.F. Mohtasebi, S. S. 2012. Principles and Applications of Light Backscattering Imaging in Quality Evaluation of Agro-Food and Products: A Review. Food Bioprocess Technology. 5, 1465-1485.
10. Mollazade, K. Omid, M. Akhlaghian, T.F. Rezaei, K.Y. Mohtasebi, S.S. Zude, M. 2013. Analysis of Texture-Based Features for Predicting Mechanical Properties of Horticultural Products by Laser Light Backscattering Imaging. Computers and Electronics in Agriculture. 98, 34-45.
11. Qing, Z. Ji, B. Zude, M. 2007. Predicting Soluble Solid Content and Firmness in Apple Fruit by Means of Laser Light Backscattering Image Analysis. Journal of Food Engineering. 82, 58-67.
12. Romano, G. Nagle, M. Argyropoulos, D. Muller, J. 2011. Laser Light Backscattering to Monitor Moisture Content, Soluble Solid Content and Hardness of Apple Tissue During Drying. Journal of Food Engineering. 104, 657-662.
13. Udomkun, P. Nagle, M. Mahayothee, B. Muller, J. 2014. Laser-Based Imaging System for Non-Invasive Monitoring of Quality Changes of Papaya During Drying. Food Control. 42, 225-233.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Prediction of Firmness in Peach Fruit by Means of Laser Light Backscattering Imaging System

Abstract

Quality evaluation is one of the effective activities in trade, economy and the health of communities. For this purpose, non-destructive methods are increasingly used, as they are faster and more economical in comparison with destructive ones. This study investigated the feasibility of predicting firmness by laser light backscattering imaging system, as a new non-destructive method for one cultivar of peaches. Thus, a laser imaging system was assembled for capturing backscattering images, which consisted of one laser diode at 650 nm. After taking images, essential information of intensity and texture based statistical features was obtained by image analysis techniques, to build two types of calibration models. Non-linear regression and artificial neural network were developed in order to find the best prediction models. Consequently, final models based on the non-linear regression, gave the highest correlation coefficient of $r = 0.89$ to predict firmness.

Keywords: Quality evaluation, Non-destructive test, Image analysis, Post-harvest