

مقاله پژوهشی

تعیین میزان کبودی میوه گلابی در اثر بار فشاری لبه نازک با روش سی‌تی‌اسکن

محسن آزادبخت^{۱*}، محمد واحدی ترشیزی^۲ و محمدجواد محمودی^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۱۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۰)

چکیده

در این پژوهش با کمک آزمون غیر مخرب سی‌تی‌اسکن به بررسی ارتباط بین خواص فیزیکی گلابی و دوره انبارداری با مقدار کبودی در اثر نیروی بارگذاری پرداخته شده است. قبل از بارگذاری و انبارداری تعداد ۵۰ گلابی با استفاده از سی‌تی‌اسکن بررسی شده و تعداد ۲۷ گلابی که درصد کبودی آن‌ها صفر بود انتخاب شدند و ابعاد گلابی‌ها شامل طول، عرض و ضخامت اندازه‌گیری شد و خواصی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، مساحت سطح رویه و ضریب رعنائی محاسبه گردید. سپس گلابی‌های انتخابی تحت بارگذاری شبه استاتیکی با فشار لبه نازک با سه نیروی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ N قرار گرفت و انبارداری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه برای بررسی تأثیر نیروهای وارده بر گلابی‌ها انتخاب شد. بعد از بارگذاری و انبارداری میزان کبودی گلابی‌ها محاسبه گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بین قطر هندسی، حسابی و قطر معادل، ضریب کرویت و رعنائی با درصد کبودی رابطه معکوس برقرار است. همچنین برای سطح رویه و درصد کبودی رابطه مستقیم و غیر معنی‌دار برقرار است. همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده در دوره انبارداری ۵ روزه زیاد یا کم بودن میزان قطر هندسی، حسابی و قطر معادل، ضریب کرویت و رعنائی بر روی درصد کبودی تأثیر خاصی نداشته است و به‌طور تقریبی می‌توان درصد کبودی را صفر در نظر گرفت و با افزایش دوره انبارداری میزان موارد فوق بر روی میزان درصد کبودی تأثیرگذار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گلابی، سی‌تی‌اسکن، غیر مخرب، خواص فیزیکی، کبودی.

۱. مقدمه

یافتند که با افزایش میزان اندازه و حجم سیب‌ها میزان کبودی‌ها افزایش یافته و این امر باعث کاهش کیفیت در سیب‌ها می‌گردد [۸]. احمدی بر روی میزان خصوصیات میوه کیوی و میزان بارگذاری گزارش کردند که شعاع انحنای کیوی بر میزان کبودی در سطح ۵٪ تأثیرگذار است [۱۱]. در تحقیق دیگری ظریف - نشاط و همکاران بر روی سطح ضربه و خصوصیات میوه سیب بر میزان کبودی گزارش کردند که شعاع انحنای سیب بر میزان کبودی در سطح ۵٪ تأثیرگذار است [۱۲]. طباطبایی کلور نیز با تحقیق بر روی میزان حساسیت کبودی و خواص مهندسی هلو گزارش کرد که رقم دارای تأثیر معنی دار بر پارامترهای مهندسی معینی مانند ابعاد، حجم، جرم، سطح رویه، ضریب مقاومت و استحکام هلو داشته است اما اثر رقم بر حجم کبودی آن معنی‌دار نشده است [۱۳].

هدف از انجام این تحقیق تعیین رابطه خواص فیزیکی میوه گلابی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، مساحت سطح رویه و ضریب گردی با مقدار کبودی گلابی در طی مدت انبارداری در اثر بارهای خارجی با کمک آزمون غیر مخرب سی‌تی‌اسکن می‌باشد تا بتوان بهترین شرایط فیزیکی گلابی به منظور افزایش کیفیت میوه در انبارداری و فروش بهتر و با کیفیت‌تر این محصول سنجیده شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. آماده‌سازی نمونه

گلابی‌های رقم اسپادانا از بازارهای استان گلستان-گرگان، ایران تهیه و در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان شست و شو شدند و سپس برای اندازه‌گیری رطوبت در درون آن قرار گرفت و رطوبت اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت اندازه‌گیری شده برای گلابی ۷۷/۹۲٪ بود [۱۴].

۲.۲. تعیین خواص فیزیکی

برای اندازه‌گیری میانگین ابعاد گلابی مورد مطالعه، پارامترهای هندسی مورد نیاز شامل، قطر بزرگ یا طول L ، قطر متوسط، یا عرض W و قطر کوچک، ارتفاع یا ضخامت T با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۵ اندازه‌گیری شد. در شکل (۱) قطر گلابی‌ها نشان داده شده است.

در دهه‌های اخیر مطالعات متعددی برای انجام روش دقیق ارزیابی محصولات غذایی انجام شده و دلیل این امر افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان و توجه ویژه آن‌ها به کیفیت داخلی میوه، از جمله طراوت، شیرینی و محتوای تغذیه‌ای است [۱، ۲]. با توجه به این‌که گلابی محصولی حساس به ضربه و دارای خصوصیات آسیب‌پذیری می‌باشد، دانستن برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن برای بهینه‌سازی ساخت تجهیزات کشاورزی، حمل و نقل و همچنین بسته‌بندی ضروری است [۳]. همچنین اطلاعات مربوط به خواص فیزیکی گلابی در ذخیره‌سازی و تبدیل آن به فراورده‌های مختلف مانند تولید مربا، کنسرو و پودر شربت بسیار مهم است. خسارت ناشی از برداشت، بارگیری، حمل و درجه‌بندی میوه‌ها به‌عنوان یک منبع عمده کاهش کیفیت میوه‌ها و در نتیجه از دست دادن سود برای کشاورزان و صنعت میوه بوده است [۴]. همچنین خسارت ناشی از میوه ممکن است به دلایل مختلفی از جمله ضربه، فشار و ارتعاش باشد که تمامی این موارد باعث خسارات فیزیکی در همان لحظه و یا در زمان انبارداری می‌گردد که میزان خسارات وارده بستگی به محل واردسازی ضربه، اندازه و بلوغ میوه ارتباط دارد [۵، ۶]. کبودی ناشی پس از برداشت یک مشکل معمول در بخش بازاریابی بلند مدت بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها است، زیرا انتخاب مصرف‌کنندگان به‌شدت تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد. آسیب مکانیکی هم‌چنین فرایندهای فیزیولوژیکی را تسریع می‌کند که منجر به پیری و فساد می‌شود [۷]. کبودی نیز به‌عنوان آسیب به بافت گیاهی توسط نیروهای خارجی تعریف شده که باعث تغییر فیزیکی در بافت و یا تغییرات شیمیایی تغییر رنگ، طعم و بافت می‌شود کبودی با شکستن غشای سلولی شروع می‌شود و اجازه می‌دهد تا آنزیم‌های سیتوپلاسمی بر روی زیربنای جداشده عمل کنند [۸]. تحقیقات بر روی عوامل مؤثر بر حساسیت کبودی میوه، از جمله گونه، بافت، بلوغ، درجه حرارت، شکل، انرژی ضربه، تاریخ برداشت و سطح ضربه، متمرکز شده است [۹].

احمدی و همکاران بر روی بارگذاری ضربه‌ای و خواص میوه هلو بر میزان کبودی گزارش کردند که شعاع انحنای میوه‌ها در سطح احتمال ۵٪ بر کبودی اثر داشته است [۱۰]. قرقانی و همکاران با مطالعه بر روی ارقام و اندازه میوه بر حساسیت کبودی سیب و برخی از خواص فیزیکی میوه سیب به این نتیجه دست

با حرکت دادن فک متحرک، عملیات فشار تا جایی انجام شد که نیرو به مقدار مورد نظر رسیده (۲۰،۱۵ و ۲۵ N) و از کامپیوتر قرائت و سپس نیروی وارده متوقف گردید.

به ترتیب قطر معادل D_p ، قطر میانگین هندسی D_g ، ضریب کرویته ϕ ، مساحت سطح رویه S و ضریب گردی R و ϕ ضریب رعنائی با استفاده از روابط جدول (۱) محاسبه گردید.

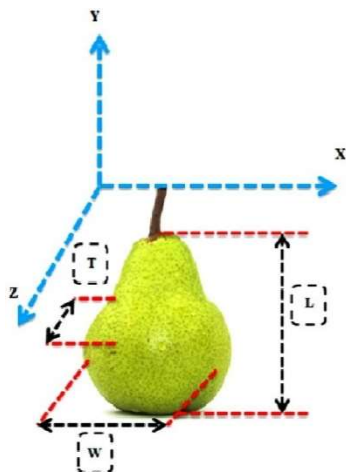
۳.۲. آزمون شبه استاتیکی

برای انجام آزمون مکانیکی فشار لبه نازک از ماشین آزمون چندکاره بانام تجاری سنتام Santam-STM5 (دستگاه تست کشش و فشار یونیورسا- شرکت طراحی و مهندسی سانتام، ساخت ایران) با لودسل 500 N استفاده شد. برای آزمون فشاری از دو صفحه دایره‌ای شکل استفاده شد. این آزمون در سرعت 5 mm بر دقیقه با سه نیروی 20 ، 15 و 25 N انجام شد (شکل ۲). برای این آزمایش گلابی به صورت افقی در بین دو صفحه قرار گرفته و فشار داده شد.

۴.۲. تصویربرداری با روش سی تی اسکن

۱.۴.۲. آماده سازی گلابی

در این آزمایش تعداد ۵۰ نمونه گلابی برای آزمایش انتخاب و از این گلابی‌ها با استفاده از روش غیر مخرب سی تی اسکن تصویربرداری گردید و تعداد ۲۷ گلابی که هیچ کبودی در درون خود نداشتند انتخاب شد. سپس گلابی پس از بارگذاری‌های شبه استاتیکی در سه دوره ۵، ۱۰ و ۱۵ روز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انبارداری شد. شرایط محیطی انبار مشابه مراکز فروش بوده تا بتوان میوه‌ها را در حین نگهداری تا مصرف



شکل (۱) L: طول W: عرض T: ضخامت در نظر گرفته شده برای گلابی

Fig. 1. L: Length W: Width T: Thickness for pear

جدول (۱) روابط قطر معادل، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویته، مساحت سطح رویه، ضریب گردی و ضریب رعنائی برای گلابی.

Table 1 Equivalent Diameter, Geometric Mean Diameter, Surface Area, Sphericity Coefficient, and aspect coefficient Relationships for Pear.

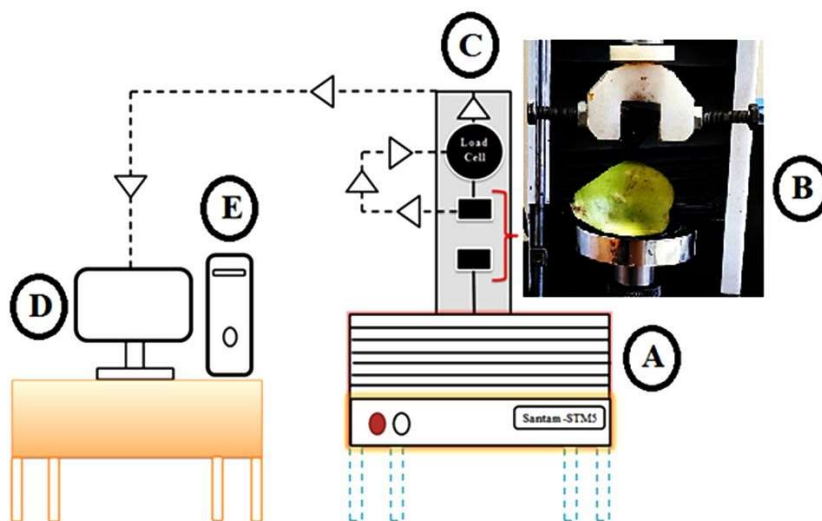
رابطه Formula	شماره فرمول Formula number	منبع References
$D_p = \left(\frac{L(W+T)^2}{4}\right)^{\frac{1}{3}}$	(1)	[16]
$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}}$	(2)	[17]
$\phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L}$	(3)	[18]
$S = \frac{\pi BL^2}{2L - B}$	(4)	[19]
$B = (WT)^{0.5}$	(5)	[20]
$R = \frac{W}{L} \times 100$	(6)	[21]

تابیده شد (شکل ۳-ع). مقداری از این انرژی‌ها جذب گلابی گردید و مابقی اشعه‌های تابیده شده از گلابی رد شد (شکل ۳-ف) و نورهای رد شده از گلابی به وسیله کریستال‌های موجود در درون محفظه سی‌تی‌اسکن جذب گردید (شکل ۳- شماره g). سپس با استفاده از یک تبدیل‌کننده نوری به کدهای تصویر تبدیل (شکل ۳-h) و به اتاق رایانه برای بازسازی تصاویر ارسال گردید. در شکل (۳) فرایند تصویربرداری سی‌تی‌اسکن نشان داده شده است.

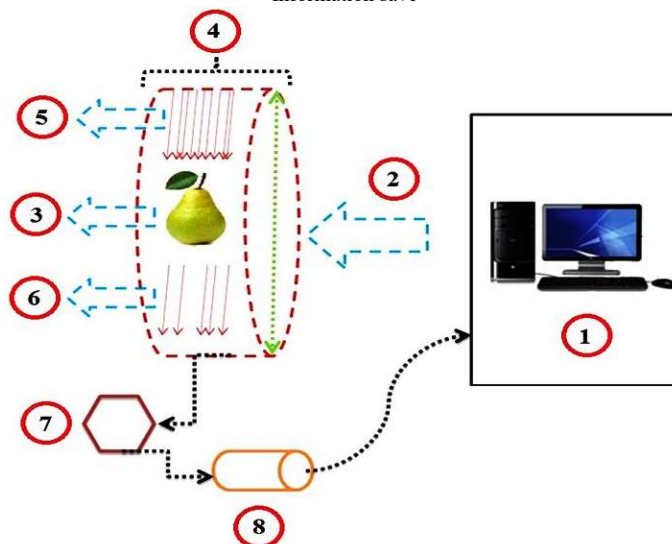
مورد بررسی قرارداد. دمای هوای محیط برای نگهداری گلابی‌ها ۱۴ °C و رطوبت نسبی ۶۶٪ بود.

۲.۴.۲. تصویربرداری

برای انجام تصویربرداری، گلابی‌ها به محل آزمایش برده شد و پس از راه‌اندازی سامانه سی‌تی‌اسکن از طریق اتاق کنترل (شکل ۳-a) به درون محفظه سی‌تی‌اسکن قرار داده شد (شکل ۳-c) و از طریق لوله اشعه (شکل ۳-d) اشعه ایکس به سمت گلابی‌ها



شکل (۲) دیاگرام بارگذاری‌های شبه استاتیکی گلابی. A: دستگاه اینسترون؛ B: فک‌های لبه نازک؛ C: نیروسنج؛ D: کامپیوتر؛ E: ذخیره اطلاعات
Fig. 2. Static quasi-load diagram of pear. A: The force-deformation device (Indestrone), B: Jaw's thin edges C: Load Cell D: Computer E: Information save



شکل (۳) فرایند تصویر برداری سی تی اسکن (۱) اتاق کامپیوتر، (۲) محل ورودی دستگاه، (۳) محل قرار گیری محصول، (۴) لوله اشعه، (۵) اشعه پرتاب شده، (۶) اشعه رد شده از محصول، (۷) کریستال‌های گیرنده اشعه و (۸) تبدیل کننده نوری

Fig. 3. CT scan imaging process. 1) Computer room, 2) Entry of device, 3) Position of the product, 4) Ray tube, 5) Throwing ray, 6) Radiation passed through the product, 7) Radiation Receptor Crystals, 8) Light converter



شکل (۴) دستگاه سی تی اسکن استفاده شده در تحقیق
Fig. 4. The device used in the research

۱۰ و ۱۵ روز انبار و سپس عکس برداری انجام شد. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS تحلیل شدند. هم‌چنین با همین نرم افزار آزمون همبستگی برای یافتن ارتباط بین قطر هندسی، معادل، سطح رویه، ضریب رعنائی و ضریب کرویت با درصد کبودی تحلیل شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس خواص فیزیکی گلابی شامل قطر هندسی، معادل، سطح رویه، ضریب رعنائی و ضریب کرویت در جدول (۲) نشان داده شده است. جدول (۳) نشان دهنده رابطه همبستگی بین پارامترهای قطر هندسی، معادل، حسابی، ضریب کرویت و رعنائی، سطح رویه و درصد کبودی برای فشار لبه نازک در سه نیرو بارگذاری ۱۵ N، ۲۰ و ۲۵ می‌باشد.

۱.۳. تأثیر قطر هندسی بر درصد کبودی

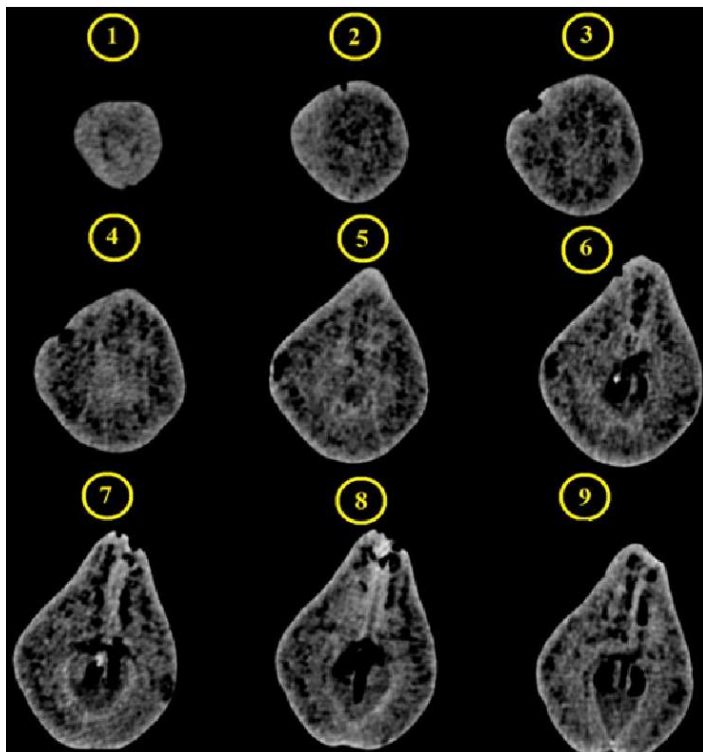
با توجه جدول (۲) قطر هندسی گلابی‌های در دوره‌های انبارداری در سطح پنج درصد معنی‌دار شده و اثر متقابل قطر هندسی گلابی‌های نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است. نیروی بارگذاری ۱۵ N: با توجه به شکل (۷) بیش‌ترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها ۶۶/۲۷ mm در دوره انبارداری ۱۰ روز و کم‌ترین مقدار ۶۵/۴۵ mm در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول (۳) قطر معادل، قطر حسابی، ضریب رعنائی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

پس از بارگذاری شبه استاتیکی در هر دوره انبارداری با دستگاه Computed Tomography (CT) Scans siemens somotam emotion 16 slice اسکن شد. این دستگاه ساخت کشور آلمان بوده و از دستگاه‌های CT نسل سوم محسوب می‌شود که در آن Tube و Detector رو به روی یکدیگر قرار داشته که به صورت ۳۶۰ درجه به دور گلابی‌ها به صورت متوالی گردش کرده تا تصویر ایجاد شود. هم‌چنین پیچ دستگاه برای آزمایش ۱ پیچ بود. ثبت تصاویر نیز در ولتاژ ۸۰V و جریان ۱۲۰μA انجام شد و برای ایجاد تصاویر کامل از برش‌های ۱ میلی‌متری استفاده شد. تصاویر ایجاد شده به وسیله نرم‌افزار ایجادکننده تصویر Syngo CT 2012 ثبت شده و تصاویر دوبعدی و سیاه سفید تهیه و استخراج گردید. Convolution kernel که میزان رزولوشن تصاویر را بیان می‌کند B31Smooth بوده و تصاویر به وسیله ماتریس‌های ۵۱۲ در ۵۱۲ تشکیل گردید.

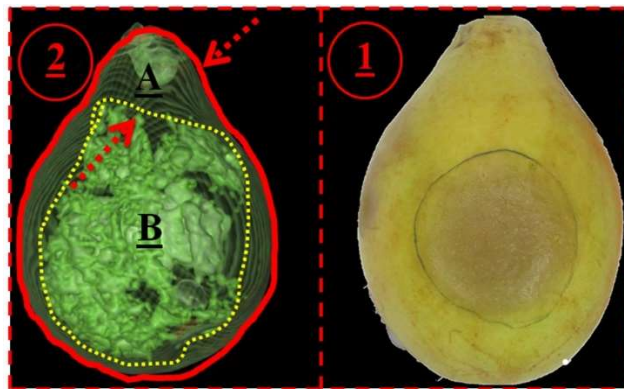
هدف از فاصله زمانی بین کبودی و تصویربرداری به این دلیل بود که به کبودی اجازه تثبیت بهتر بر روی میوه را بدهد و رطوبت کبودی کاهش پیدا کند. این تفاوت رطوبت می‌تواند جذب پرتو ایکس بین بافت کبود و سالم را افزایش دهد. سپس با استفاده از دیتاهای دستگاه میزان حجم کل میوه، میزان حجم کبودی هر میوه و هم‌چنین تصاویر دو بعدی رنگی برای هر کبودی در روی میوه اندازه‌گیری و ثبت گردید [۱۵]. نسبت حجم کبودی به حجم کل هر گلابی به دست آمده با سی تی اسکن محاسبه شد و با زمان بارگذاری در نرم‌افزار صفحه گستر اکسل ثبت شد. در شکل (۴) دستگاه مورد استفاده در این آزمایش و محل قرارگیری گلابی برای بررسی نشان داده شده است. هم‌چنین طی تصویربرداری هر گلابی به طور میانگین از ۷۰ تا ۱۰۰ تصویر برای رسیدن به شکل کامل گلابی برای بازسازی سه‌بعدی تصویربرداری شد. مراحل تکمیل هر تصویر تا رسیدن به تصویر نهایی در شکل (۵) نشان داده شده است. هم‌چنین تصویر بازسازی شده دو بعدی گلابی نیز در شکل (۶) نشان داده شده است که می‌توان این تصویر را به دو قسمت بافت سالم و بافت پوسیده تقسیم‌بندی کرد. در شکل (۶) شماره ۱ محل کبودی در گلابی و شماره ۲ تصویر ایجاد شده توسط سی تی اسکن است.

۵.۲. تجزیه و تحلیل آماری

نمونه‌ها پس از بارگذاری‌های شبه استاتیکی در سه دوره ۵،



شکل (۵) مراحل ساخت تصویر سی‌تی‌اسکن
 Fig. 5. The CT scan imaging process



شکل (۶) نمای دوبعدی گلابی قبل و بعد از پردازش تصویر (۱) کبودی در تصویر واقعی، (۲) کبودی در تصویر پردازش‌شده
 (A: بخش پوسیده گلابی B: بخش سالم گلابی)

Fig. 6. Two-dimensional view of pear prior to and following image processing 1) Bruise in the real image, 2) Bruise in the processed image
 (A: Bruise part in pear, B: healthy part of pear)

نیروی بارگذاری ۲۵N : با توجه به شکل (۷) بیش‌ترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها ۶۸/۴۲ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۶۱/۹۴ mm در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۳ قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه مثبت و معنی‌داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۰N : با توجه به شکل ۷ بیش‌ترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها ۶۹/۷۵ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۶۳/۳۹ mm در دوره انبارداری ۱۰ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۳ قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

جدول (۲) آنالیز واریانس قطر هندسی، معادل، سطح رویه، ضریب رعنائی و ضریب کرویت گلابی در سطح بارگذاری دوره انبارداری.

Table 2 Analysis of variance of Geometric Diameter, Equivalent, Surface area, aspect coefficient and Spherical Coefficient Pear under loading and storage period.

قطر هندسی Geometric Diameter		قطر معادل Equivalent Diameter		درجه آزادی DF	
Mean Square	F value	Mean Square	F value		
1050.632057	5*	28.262	4.99*	2	دوره انبارداری Storage period
54.418	0.26ns	1.404	0.25 ^{ns}	2	نیروی بارگذاری × دوره انبارداری Loading Force
672.93	3.20*	18.265	3.22*	4	نیروی بارگذاری × دوره انبارداری Storage period × Loading Force
5.6662349		210.282143		18	خطا Error
سطح رویه Surface area		کرویت Sphericity			
Mean Square	F value	Mean Square	F value		
4933879	5*	5×10 ⁻⁴	0.56 ^{ns}	2	دوره انبارداری Storage period
263078	0.27 ^{ns}	20×10 ⁻⁴	2.21 ^{ns}	2	نیروی بارگذاری Loading Force
3091582	3.17*	11×10 ⁻⁴	1.26 ^{ns}	4	نیروی بارگذاری × دوره انبارداری Storage period × Loading Force
975843.58		0.00090587		18	خطا Error
ضریب رعنائی aspect ratio					
Mean Square	F value				
0.0012	0.62 ^{ns}			2	دوره انبارداری Storage period
0.0014	0.18 ^{ns}			2	نیروی بارگذاری Loading Force
0.001	0.6 ^{ns}			4	نیروی بارگذاری × دوره انبارداری Storage period × Loading Force
0.00257951					خطا Error

**و * نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵٪ (LSD) و ns نشان دهنده عدم تفاوت معنادار

**and * represent significant difference within probability level of 1% and 5% (LSD) and ns represents the lack of significant difference

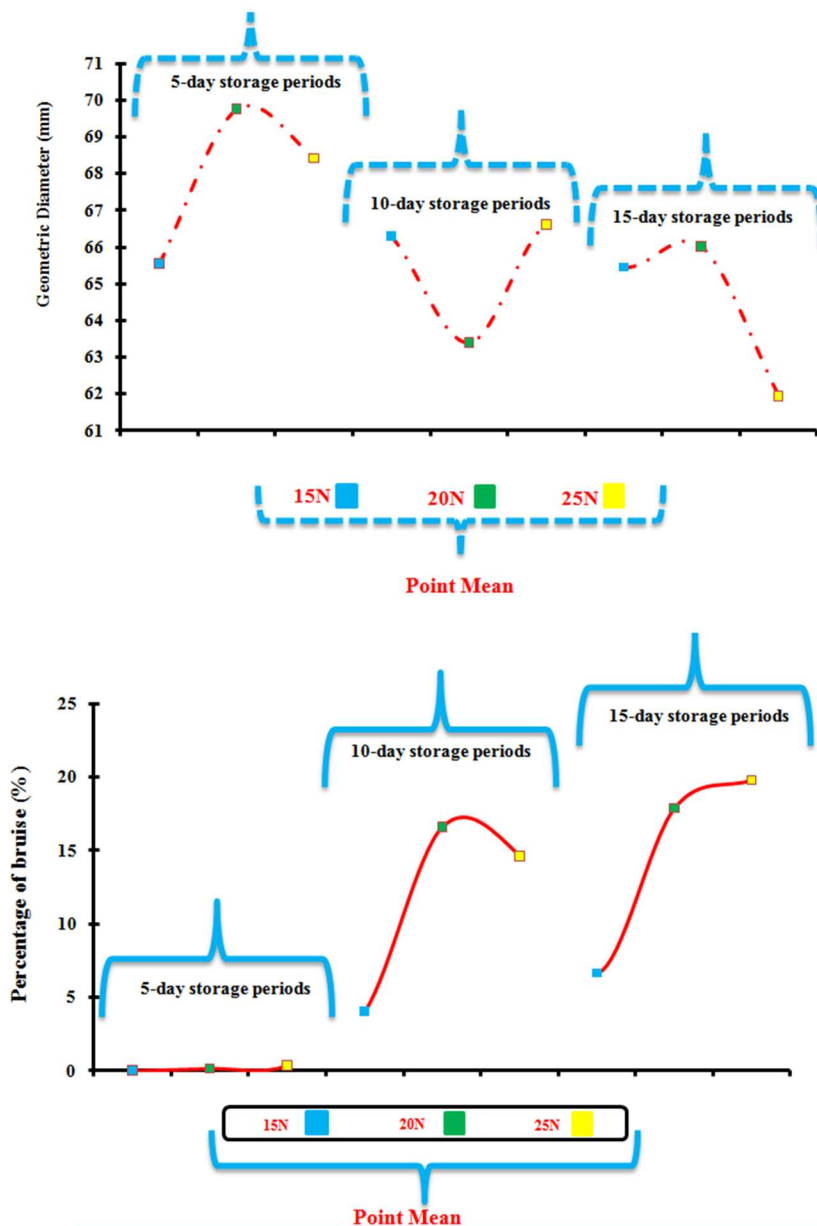
است که قطر هندسی با درصد کبودی رابطه عکس دارد و برای نیروی ۲۰ N همبستگی مثبتی داشته است یعنی با افزایش قطر هندسی میزان درصد کبودی افزایش یافته است. نتایج در شکل (۷) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر هندسی با میزان کبودی در فشار لبه نازک برای هر سه نیروی بارگذاری معنی دار نشده و برای نیروی ۱۵ N و ۲۵ همبستگی منفی را داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این

جدول (۳) همبستگی بین پارامترهای قطر هندسی، معادل، حسابی، ضریب کرویت و رعنائی، سطح رویه و درصد کبودی.

Table 3 Correlation between geometric diameter, equivalent, surface area, aspect coefficient and spherical coefficient pear and percentage of a bruise.

15 N						
درصد کبودی Percentage of bruise	سطح رویه surface area	ضریب رعنائی aspect ratio	ضریب کرویت sphericity	قطر معادل Equivalent Diameter	قطر حسابی Arithmetical Diameter	قطر هندسی Geometric Diameter
						1 قطر هندسی Geometric Diameter
					1	0.991** قطر حسابی Arithmetical Diameter
				1	0.991**	0.99** قطر معادل Equivalent Diameter
			1	-0.469 ^{ns}	-0.851**	-0.486 ^{ns} ضریب کرویت sphericity
		1	0.967**	-0.423 ^{ns}	-0.531 ^{ns}	-0.421 ضریب رعنائی aspect ratio
	1	-0.419 ^{ns}	-0.465 ^{ns}	0.999**	0.999**	0.999** سطح رویه surface area
1	-0.04 ^{ns}	-0.402 ^{ns}	-0.389 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.015 ^{ns}	-0.03 ^{ns} درصد کبودی Percentage of bruise
20 N						
						1 قطر هندسی Geometric Diameter
					1	0.998** قطر حسابی Arithmetical Diameter
				1	0.998**	0.999** قطر معادل Equivalent Diameter
			1	0.030 ^{ns}	-0.023 ^{ns}	0.024 ^{ns} ضریب کرویت sphericity
		1	0.931**	0.174 ^{ns}	0.122 ^{ns}	0.167 ^{ns} ضریب رعنائی aspect ratio
	1	0.184 ^{ns}	0.036 ^{ns}	0.999**	0.997**	0.999** سطح رویه surface area
1	-0.180 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.434 ^{ns}	-0.175 ^{ns}	0.192 ^{ns}	0.172 ^{ns} درصد کبودی Percentage of bruise
25 N						
						1 قطر هندسی Geometric Diameter
					1	0.999** قطر حسابی Arithmetical Diameter
				1	0.999**	0.999** قطر معادل Equivalent Diameter
			1	-0.480 ^{ns}	-0.506 ^{ns}	-0.479 ^{ns} ضریب کرویت sphericity
		1	0.887**	-0.214 ^{ns}	-0.221 ^{ns}	-0.213 ^{ns} ضریب رعنائی aspect ratio
	1	-0.211 ^{ns}	-0.478 ^{ns}	0.999**	0.999**	0.999** سطح رویه surface area
1	-0.751*	-0.04 ^{ns}	0.361 ^{ns}	-0.750*	-0.749*	-0.750* درصد کبودی Percentage of bruise



شکل (۷) رابطه بین درصد کبودی و قطر هندسی گلابی

Fig. 7. Relationship between Bruise percentage and geometric diameter of pear

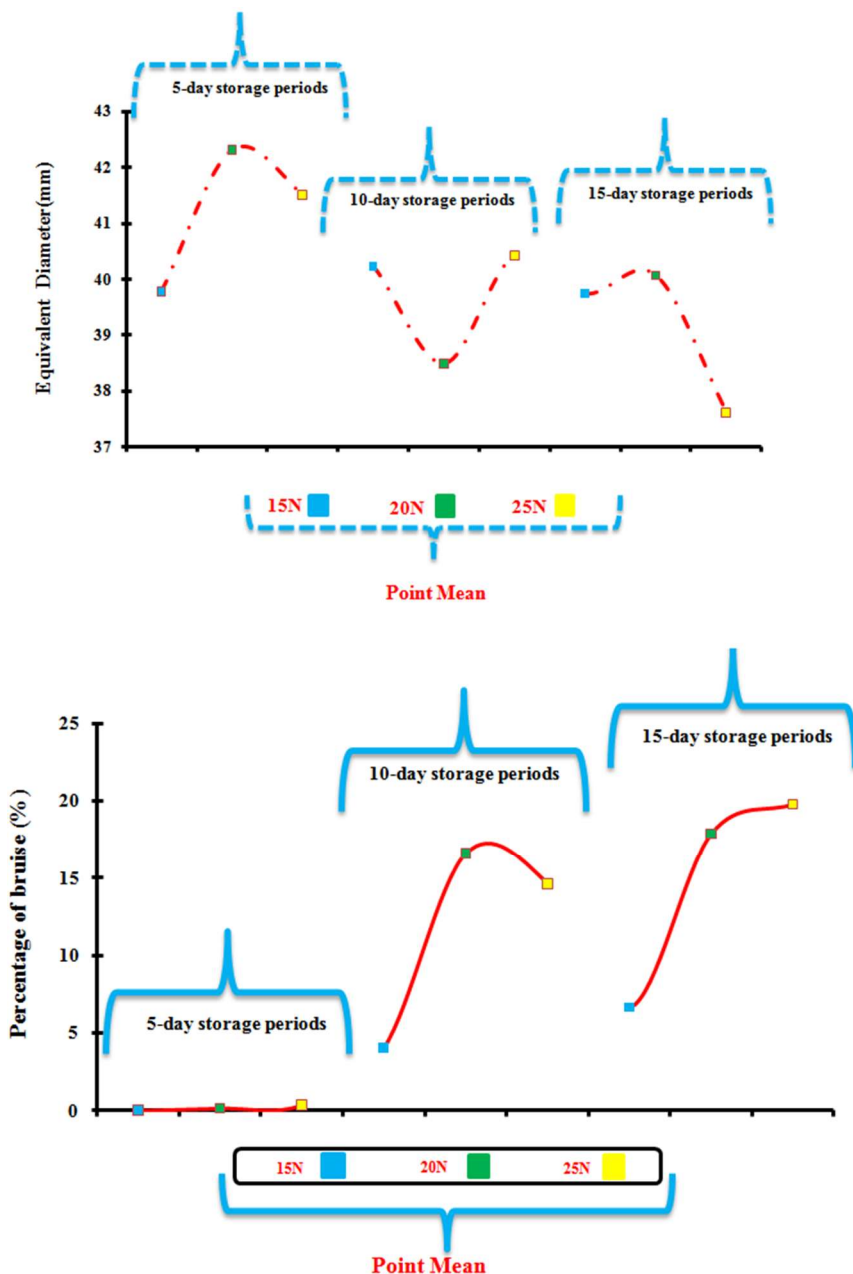
۳.۲. تأثیر قطر معادل گلابی بر درصد کبودی

با توجه به نتایج جدول (۲) هیچ کدام از عامل‌های دوره انباری داری و نیروی بارگذاری برای قطر معادل معنی دار نشده است.

نیروی بارگذاری ۱۵N: با توجه به شکل (۸) بیش‌ترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۴۰/۲۳ mm در دوره انبارداری ۱۰ روز و کم‌ترین مقدار ۳۹/۷۴ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول (۳) قطر هندسی، قطر حسابی، ضریب رعنائی و سطح رویه همبستگی مثبت و

معنی‌داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۰N: با توجه به شکل (۸) بیش‌ترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۴۲/۳۱ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۳۸/۴۹ mm در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی، ضریب رعنائی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.



شکل (۸) رابطه بین درصد کبودی و قطر معادل گلابی

Fig. 8. Relationship between Bruise percentage and Equivalent diameter of pear

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر معادل با میزان کبودی در فشار لبه نازک برای نیروی ۱۵ N همبستگی منفی و غیر معنی داری را داشته است همچنین برای نیروی ۲۵ N یک همبستگی منفی و معنی داری را داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که قطر معادل با درصد کبودی رابطه عکس دارد و برای نیروی ۲۰ N همبستگی مثبتی و غیر معنی داری داشته است که با افزایش قطر معادل

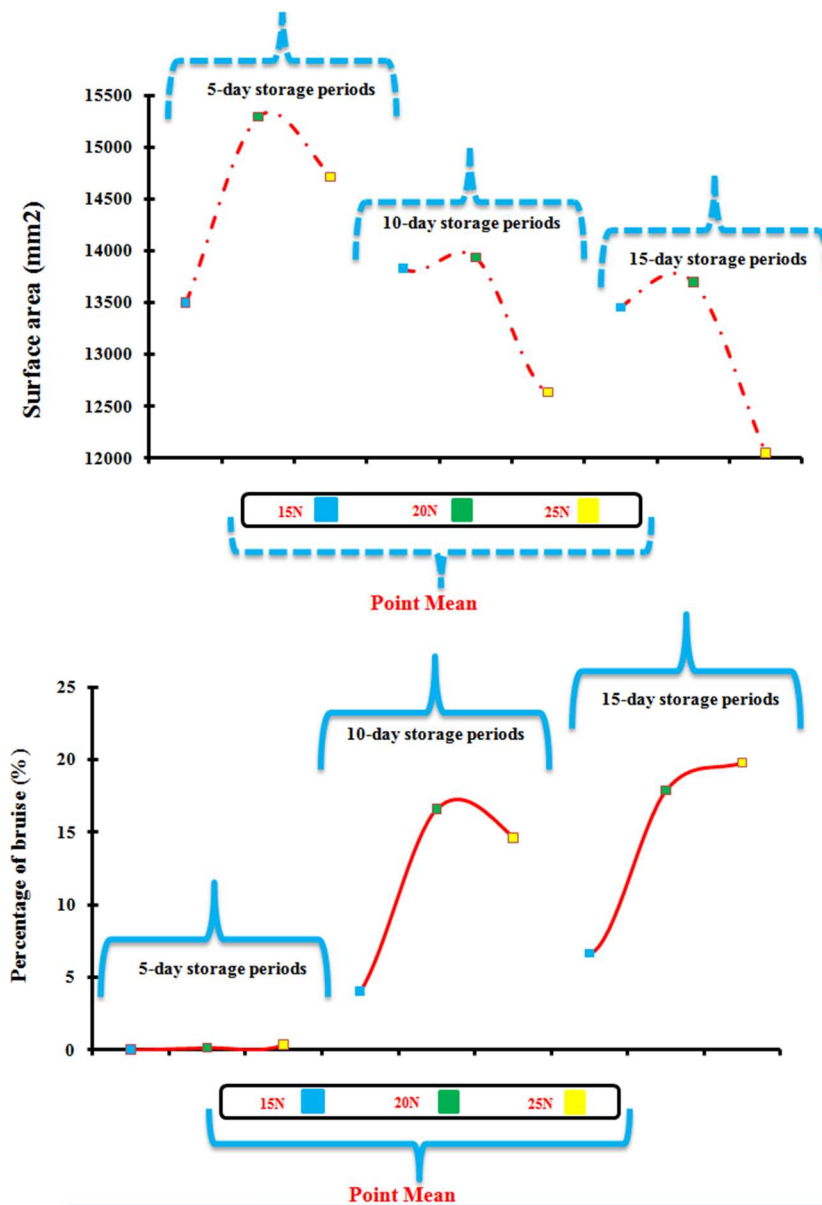
نیروی بارگذاری ۲۵N: با توجه به شکل (۸) بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۴۱/۵۱ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۳۲/۵۶ mm در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی، ضریب رعنائی و سطح رویه همبستگی مثبت و درصد کبودی همبستگی منفی و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

و کمترین مقدار 13455 mm^2 در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. با توجه به شکل (۹) می توان مشاهده کرد که این سه میزان سطح رویه تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. میزان سطح رویه دوره ۱۰ روزه بیش تر از دوره ۱۵ روزه است و همین امر سبب شده که میزان درصد کبودی دوره ۱۰ و ۱۵ اختلاف کمی با یکدیگر داشته باشد. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با سطح رویه گلابی ها داشته است.

میزان درصد کبودی افزایش یافته است. نتایج در شکل (۸) نشان داده شده است.

۳.۳. تأثیر سطح رویه بر درصد کبودی

با توجه جدول (۲) قطر هندسی گلابی های در دوره های انبارداری در سطح پنج درصد و اثر متقابل قطر هندسی گلابی های نیز در سطح پنج درصد معنی دار شده است. نیروی بارگذاری 15 N : با توجه به شکل (۹) بیشترین میزان سطح رویه در گلابی ها 13832 mm^2 در دوره انبارداری ۱۰ روز



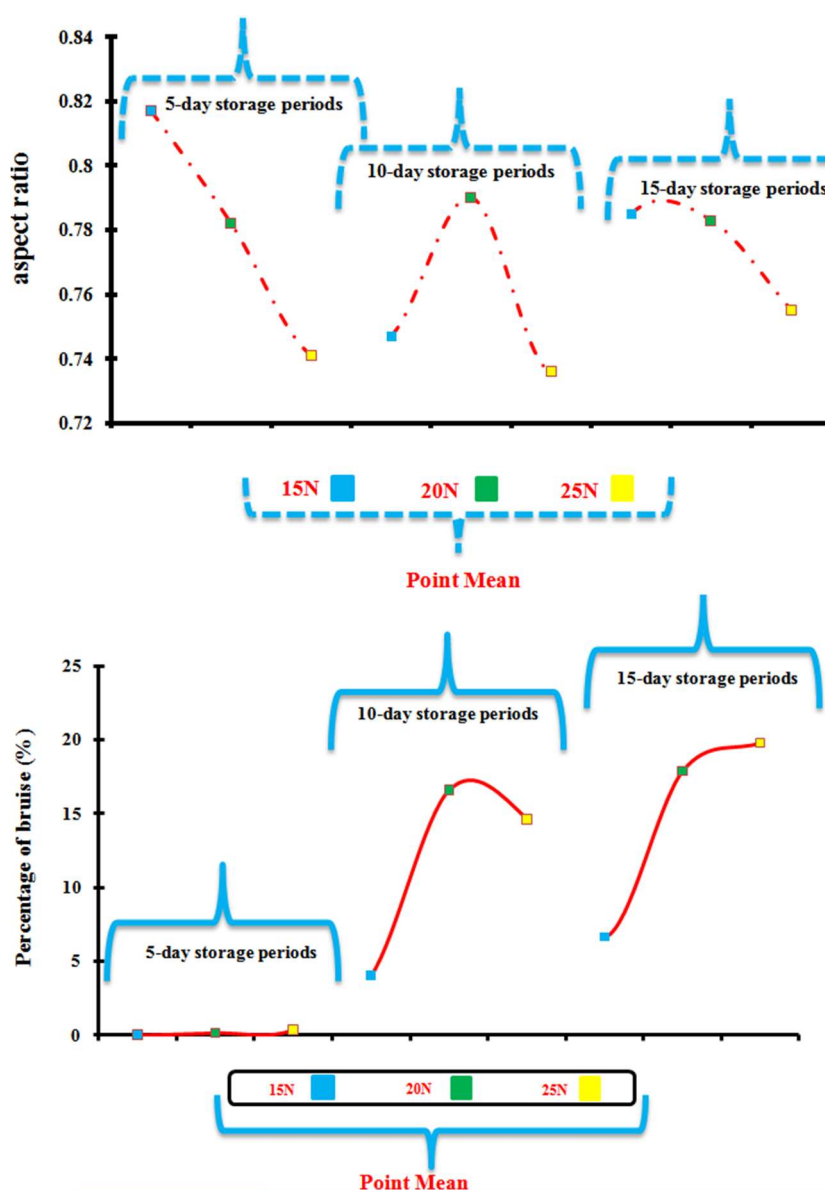
شکل (۹) رابطه بین درصد کبودی و سطح رویه گلابی

Fig. 9. Relationship between Bruise percentage and Surface area of pear

حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۵N: با توجه به شکل (۹) بیش‌ترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها 14714 mm^2 در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار $12051/6 \text{ mm}^2$ در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که در دوره ۵ روزه میزان بالای سطح رویه اثری بر میزان درصد کبودی گلابی نداشته از طرفی میزان سطح رویه دوره ۱۰ روزه بیش‌تر از دوره ۱۵ روزه است و همین امر سبب شده که میزان درصد از دوره ۱۵ روزه است و همین امر سبب شده که میزان درصد

نیروی بارگذاری ۲۰N: با توجه به شکل (۹) بیش‌ترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها $15293/8 \text{ mm}^2$ در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار $13699/3 \text{ mm}^2$ در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که در دوره ۵ روزه میزان بالای سطح رویه اثری بر میزان درصد کبودی گلابی نداشته از طرفی میزان سطح رویه دوره ۱۰ روزه بیش‌تر از دوره ۱۵ روزه است و همین امر سبب شده که میزان درصد کبودی دوره ۱۰ و ۱۵ اختلاف کمی با یکدیگر داشته باشد. هم‌چنین با توجه به جدول (۳) قطر هندسی، قطر معادل، قطر



شکل (۱۰) رابطه بین درصد کبودی و ضریب رعنائی گلابی

Fig. 10. Relationship between Bruise percentage and aspect ratio of pear

سلول‌هایی گلابی در یک سطح مشخص آسیب وارد کرده ولی فشار لبه نازک به‌طور گسترده و در مقدار سطح بیش‌تری این آسیب را وارد می‌کند، این اتفاق رخ نداده است. هم‌چنین با توجه به جدول (۲) ضریب گردی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۵N: با توجه به شکل (۱۰) بیش‌ترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۷۵۵ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۷۴۱ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد که به دلیل این‌که میزان ضریب رعنائی دوره ۱۵ روزه بیش‌تر از دوره ۱۰ روزه است از این‌رو درصد کبودی افزایش یافته است. هم‌چنین با توجه به جدول (۲) ضریب گردی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از همبستگی (جدول ۳) ضریب رعنائی با میزان درصد کبودی در فشار لبه نازک برای نیروی N ۱۵ و ۲۵ همبستگی منفی و غیر معنی‌داری را داشته که این همبستگی منفی نشان می‌دهند که ضریب رعنائی با درصد کبودی رابطه عکس دارد. هم‌چنین برای نیروی N ۲۰ یک همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری را داشته که این نشان‌دهنده یک رابطه مستقیم است (شکل ۱۰).

۳.۵. تأثیر ضریب کرویت بر درصد کبودی

با توجه به نتایج جدول (۲) هیچ فاکتورهای دوره انباری داری و نیروی بارگذاری برای ضریب کرویت معنی‌دار نشده است. نیروی بارگذاری ۱۵N: با توجه به شکل (۱۱) بیش‌ترین میزان ضریب کرویت در گلابی‌ها ۰/۸۸۰ در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۸۲۸ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. با توجه این‌که مقدار ضریب گردی در گلابی‌های دوره ۱۵ روزه بیش‌تر از دوره ۱۰ روز بوده، میزان درصد کبودی گلابی افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۲ قطر حسابی و ضریب رعنائی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب گردی گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۰N: با توجه به شکل (۱۱) بیش‌ترین میزان ضریب کرویت در گلابی‌ها ۰/۸۴۱ در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۸۲۲ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۲ ضریب رعنائی

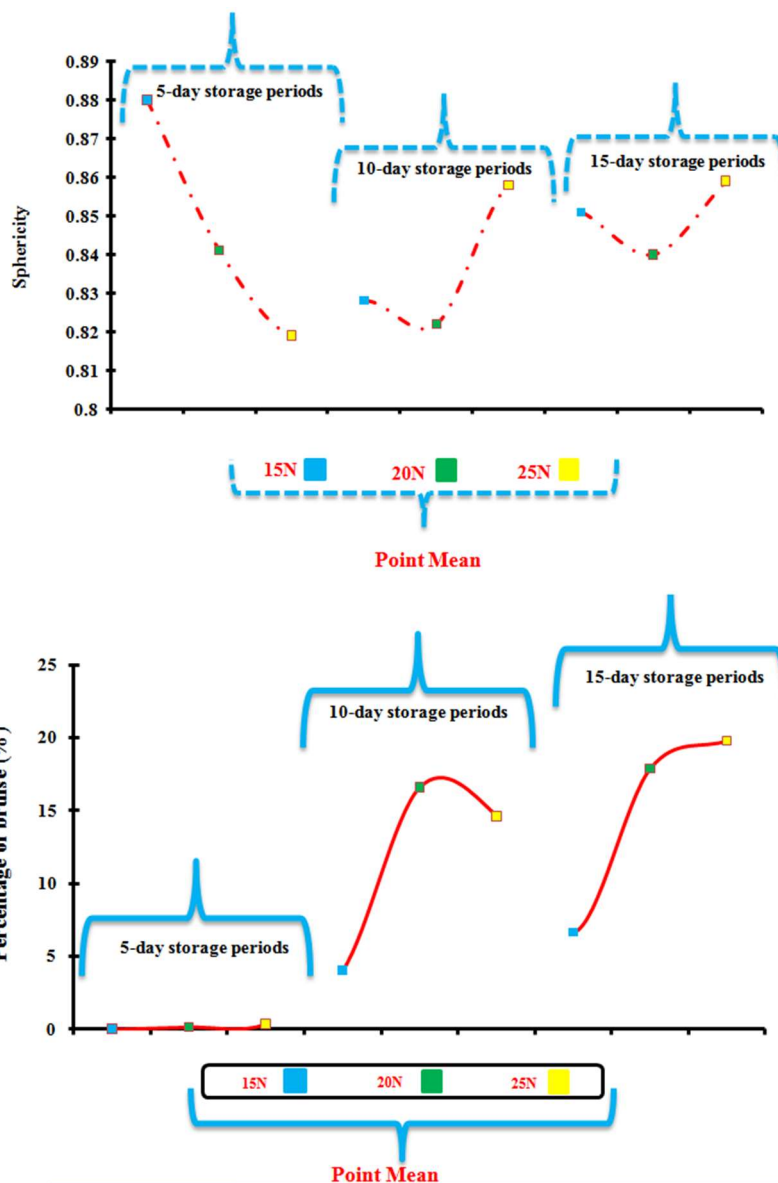
کبودی دوره ۱۰ و ۱۵ اختلاف کمی با یکدیگر داشته باشد. در این حالت می‌توان این‌گونه بیان کرد که دوره انبارداری تأثیر بیش‌تری را بر روی گلابی‌ها گذاشته تا این‌که گلابی‌ها تحت تأثیر ابعاد خود قرار بگیرند. البته این ناهماهنگی‌ها در میزان سطح رویه را می‌توان به بافت درونی گلابی‌ها نیز ارتباط داد که هر گلابی دارای بافت متفاوت بوده و همین امر سبب واکنش‌های متفاوت می‌گردد. هم‌چنین با توجه به جدول (۳) قطر هندسی، قطر معادل و قطر حسابی، سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از همبستگی (جدول ۳) سطح رویه با میزان درصد کبودی در فشار لبه نازک برای نیروی N ۱۵ و ۲۰ همبستگی منفی و غیر معنی‌داری را داشته است هم‌چنین برای نیروی N ۲۵ یک همبستگی منفی و معنی‌داری را داشته است که این همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که سطح رویه با درصد کبودی رابطه عکس دارد. نتایج در شکل (۹) نشان داده شده است.

۳.۴. تأثیر ضریب رعنائی بر درصد کبودی

با توجه به نتایج جدول (۲) هیچ فاکتورهای دوره انباری داری و نیروی بارگذاری برای ضریب رعنائی معنی‌دار نشده است. نیروی بارگذاری ۱۵N: با توجه به شکل (۱۰) بیش‌ترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۱۷ در دوره انبارداری ۵ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۷۴۷ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. ضریب رعنائی گلابی‌ها در دوره ۵ روزه تأثیر بر روی میزان درصد کبودی نداشته و دلیل این امر در شکل (۱۰) کاملاً نشان داده شده است. با توجه به بزرگ‌تر بودن میزان ضریب رعنائی گلابی‌های دوره ۱۵ روزه نسبت به دوره انبارداری ۱۰ روزه، میزان درصد کبودی در این گلابی‌ها نیز بیش‌تر بوده است. هم‌چنین با توجه به جدول (۲) ضریب گردی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۰N: با توجه به شکل (۱۰) بیش‌ترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۷۹۰ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۷۸۲ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده شده است. با توجه به شکل میزان ضریب رعنائی دوره ۱۰ روزه بیش‌تر از دوره انبارداری ۱۵ روزه است و باید مقدار درصد کبودی آن نیز بیش‌تر باشد، ولی به این دلیل که بارگذاری لبه نازک فقط به



شکل (۱۱) رابطه بین درصد کبودی و ضریب گردی گلابی

Fig. 11. Relationship between Bruise percentage and sphericity of pear

رعنایی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب گردی گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از همبستگی (جدول ۳) ضریب گردی با میزان درصد کبودی در فشار لبه نازک برای نیروی ۱۵ N همبستگی منفی و غیر معنی‌داری را داشته است که این همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که ضریب گردی با درصد کبودی رابطه عکس دارد. هم‌چنین برای نیروی ۲۰ N و ۲۵ N یک همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری را داشته است که این

همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب گردی گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۲۵N: با توجه به شکل (۱۱) بیش‌ترین میزان ضریب کرویت در گلابی‌ها ۰/۸۵۹ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کم‌ترین مقدار ۰/۸۱۹ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده‌شده است. با توجه این‌که مقدار ضریب گردی در گلابی‌های دوره ۱۵ روزه بیش‌تر از دوره ۱۰ روز بوده، میزان درصد کبودی گلابی افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین با توجه به جدول (۲) ضریب

بیش تر از دو دوره دیگر بوده و در نتیجه میزان درصد کبودی کاهش پیدا کرده است. همچنین برای نیرو ۱۵ N ضریب رعنائی و کرویت یک همبستگی منفی و برای نیروهای ۲۰ N و ۲۵ یک همبستگی مثبت داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده دوره انبارداری ۵ روزه تأثیر چندانی بر میزان درصد کبودی نداشته و در واقع با انبارداری ۵ روزه در این نوع بارگذاری نمی توان میزان ارتباط بین قطر هندسی، حسابی و قطر معادل، ضریب کرویت و رعنائی با درصد کبودی را دریافت و با افزایش زمان انبارداری می توان به ارتباط بین فاکتورهای فوق پرداخت. همچنین میزان نیروی بارگذاری برای دوره ۵ روزه تأثیر چندانی بر میزان کبودی نداشته و برای نیروهای بارگذاری پایین میزان دوره انبارداری است که می تواند تفاوت بین آن ها را با قطر هندسی، حسابی و قطر معادل، ضریب کرویت و رعنائی بر روی درصد کبودی نشان دهد.

نشان دهنده یک رابطه مستقیم بوده است. نتایج در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

۴. نتیجه گیری

قطر هندسی یک رابطه معکوس برای نیروهای ۱۵ N و ۲۵ با درصد کبودی دارد که همین زیاد بودن قطر هندسی سبب شده که درصد کبودی افزایش پیدا کند. قطر معادل هر ۳ نیرو بارگذاری در فشار لبه نازک یک رابطه معکوس با درصد کبودی داشته و با افزایش قطر معادل میزان درصد کبودی کاهش پیدا کرده است. به دلیل این که قطر هندسی، قطر معادل و سطح رویه گلابی ها در دوره ۵ روزه از دوره ۱۰ و ۱۵ روزه بیش تر است، میزان درصد کبودی در این دوره مقدار بسیار ناچیزی است. همچنین به دلیل بیش تر بودن قطر هندسی، معادل، سطح رویه در گلابی ها بارگذاری ۲۵N و دوره ۱۵ روزه، میزان درصد کبودی افزایش یافته است. همچنین ضریب رعنائی و کرویت در دوره اول

منابع

- (2015). A novel system for measuring damaging impacts on table olives. *Chem Eng Tran.*, 44, 1–6.
- [8] Gharaghani, A., S. Shahkoomahally. (2018). Cultivar and fruit size influence bruise susceptibility and some physical properties of apple fruit. *Iran Agric Res.*, 37, 49-56.
- [9] Li, Z., P. Li., J. Liu. (2011). Effect of mechanical damage on mass loss and water content in tomato fruits. *Int. Agrophys.*, 77–83.
- [10] Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh., M. Sadeghi., M. Moghaddam., S. Z. Neshat., (2010). The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. *J. Food Eng.*, 97, 110–117.
- [11] Ahmadi, E. (2012). Bruise susceptibilities of kiwifruit as affected by impact and fruit properties. *Res. Agri Eng.*, 58, 107–113.
- [12] Zarifneshat, S., H. R. Ghassemzadeh., M. Sadeghi., M. H. Abbaspour-Fard., E. Ahmadi., A. Javadi., M. T. Shervani-Tabar. (2010). Effect of impact level and fruit properties on golden delicious apple bruising. *Am. J. Agri. Biol Sci.*, 5, 114–121.
- [13] Tabatabaekolour, R. (2013). Engineering properties and bruise susceptibility of peach fruits (*Prunus persica*). *Agricultural Engineering International: CIGR J.*, 15, 244–252.
- [14] Azadbakht, M., H. Aghili., A. Ziaratban., M. Massah, J., F. Hajiheydari., M. H. Derafshi. (2017). Application of Electrical Resistance in Nondestructive Postharvest Quality Evaluation of Apple Fruit. *J. Agri Sci. Tech.*, 19, 1031–1039.
- [2] Liu, Y., Y. Ying. (2007). Noninvasive Method for Internal Quality Evaluation of Pear Fruit Using Fiber-Optic FT-NIR Spectrometry. *Int. J. Food Prop.*, 10, 877–886.
- [3] Ozturk, I., S. Ercisli., F. Kalkan., B. Demir. (2009). Some chemical and physico-mechanical properties of pear cultivars. *J. Biotechnol.*, 8, 687–693.
- [4] Ganai, S. A., H. Ahsan., A. Tak., M. A. Mir., A. H. Rather., S. M. Wani., (2016). Effect of maturity stages and postharvest treatments on physical properties of apple during storage. *J. Saudi Soc. Agri Sci.*, 15, 1–6.
- [5] Opara, U. L., P. B. Pathare. (2014). Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. *Postharvest Biol. Technol.*, 91, 9–24.
- [6] Babic, L., S. Matic-Kekic., N. Dedovic., M. Babic., I. Pavkov. (2012). Surface area and volume modeling of the williams pear (*Pyrus Communis*). *Int. J. Food Prop.*, 15, 880–890.
- [7] Catania, P., P. Febo., M. Alleri., M. Vallone.

- Vehedi Torshizi. (2017). Application of Artificial Neural Network (ANN) in Drying Kinetics Analysis for Potato Cubes. *Carpathian J. Food Sci. Tech.*, 17, 167–180.
- [15] Diels, E., M. van Dael., J. Keresztes., S. Vanmaercke., P. Verboven., B. Nicolai., W. Saeys., H. Ramon., B. Smeets. (2017). Assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. *Postharvest Biol. Technol.*, 128, 24–32.
- [16] Busari, R. A., J. O. Olaoye. (2016). Selected physical properties of African pear seed for considering in design of mechanical expeller. *ARN J. Eng. Appl Sci.*, 11, 5463–5468.
- [17] Seifi, M. R., R. Alimardani., (2010). Comparison of moisture-dependent physical and mechanical properties of two varieties of corn (Sc 704 and Dc 370). *Aust J. Agri Eng.*, 1: 170–178.
- [18] Obi, O. F., L. C. Offorha. (2015). Moisture-dependent physical properties of melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seed and kernel relevant in bulk handling. *Cogent Food. Agri.*, 1, 1–14.
- [19] Kheiralipour, K., A. Tabatabaeefar., H. Mobli., S. Rafiee., M. Sharifi., A. Jafari., A. Rajabipour. (2008). Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple (*Malus domestica* Borkh L.). *Int. Agrophysics.*, 22, 225–229.
- [20] Li, Z., P. Li., J. Liu. (2010). Effect of tomato internal structure on its mechanical properties and degree of mechanical damage. *J. Biotechnol.*, 9, 1816–1826.
- [21] Karababa, E. (2006). Physical properties of popcorn kernels. *J. Food Eng.*, 72, 100–107.

Research Article

**Determination of Pear Bruises due to a Thin Edge Compression Load
by CT Scan Method**

Mohsen Azadbakht^{1*}, Mohammad Vahedi Torshizi², Mohammad Javad Mahmoodi²

1. Associate Professor, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Msc. Student, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Abstract

In this research via CT scan, the relationship between physical properties of pears and storage times with bruise due to loading force was investigated. Before loading and storing, 50 pears were examined using CT scan and 27 pears with zero bruise percentage were selected. Dimensions of pears (length, width, thickness) were measured, then properties such as the equivalent diameter, geometric mean diameter, spherical coefficient, surface area and aspect ratio of calculus were calculated, then selected pears were subjected to quasi-static loading with a thin edge pressure with three forces of 15, 20 and 25 N and 5, 10 and 15 days storage was used to investigate the effect of forces on pears. Then, after loading and storing, using the CT scan in each period of storage, the rate of pear bruise was calculated. The results of the experiments showed that there is an inverse relation between geometric diameter, arithmetic and equivalent diameter, spherical coefficient and aspect ratio with the bruise percentage. Also, a direct and unreasonable relationship between the level of the surface area and the percentage of bruising was obtained. Also, according to the obtained results, during the 5-day storage period, the amount of geometric diameter, arithmetic and equivalent diameter, spherical and aspect ratio on the percentage of bruising were not significantly affected and percentage of bruising can be almost zero and with increasing storage, the above parameter's will affect the percentage of bruising.

Keywords: Pear, CT scan, Non-destructive, Physical Properties, Bruise.

* Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir