

## بررسی ارتباط مقدار کوفتگی میوه گلابی در اثر فشار لبه پهن با روش سی‌تی‌اسکن و بعضی از خواص فیزیکی گلابی

محسن آزادبخت<sup>۱\*</sup>، محمد جواد محمودی<sup>۲</sup>، محمد واحدی ترشیزی<sup>۲</sup>

۱ دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۹)

### چکیده

بررسی روابط بین خواص فیزیکی مانند جرم، حجم و ابعاد میوه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق مقدار کوفتگی گلابی در اثر بار فشاری لبه پهن با کمک آزمون غیرمخرب سی‌تی‌اسکن تعیین شد و به بررسی ارتباط مقدار کوفتگی با خواص فیزیکی گلابی و دوره انبارداری پرداخته شد. قبل از بارگذاری تعداد ۵۰ گلابی با استفاده از سی‌تی‌اسکن بررسی شده و تعداد ۲۷ گلابی که درصد پوسیدگی آن‌ها صفر بود انتخاب شدند و ابعاد گلابی‌ها (طول، عرض، ضخامت) گلابی‌ها اندازه‌گیری شد و خواصی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی و مساحت سطح رویه محاسبه گردید. سپس گلابی‌های انتخابی تحت بارگذاری شبه استاتیکی با فشار لبه پهن با سه نیروی ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ نیوتن قرار گرفتند و انبارداری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه برای بررسی تأثیر نیروهای وارده انتخاب شد. سپس بعد از بارگذاری و انبارداری با استفاده از سی‌تی‌اسکن در هر دوره از انبارداری میزان پوسیدگی محاسبه گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که یک رابطه معکوس و غیر معنی‌دار بین قطر معادل و قطر میانگین هندسی با درصد پوسیدگی برقرار بود. همچنین برای سطح رویه و درصد پوسیدگی یک رابطه مثبت و غیر معنی‌دار برقرار است. در نهایت مشخص شد که هرچه گلابی سطح بیشتری را داشته باشند میزان درصد پوسیدگی نیز افزایش می‌یابد.

کلید واژگان: خواص فیزیکی، سی‌تی‌اسکن، غیر مخرب، گلابی، کوفتگی.

## ۱- مقدمه

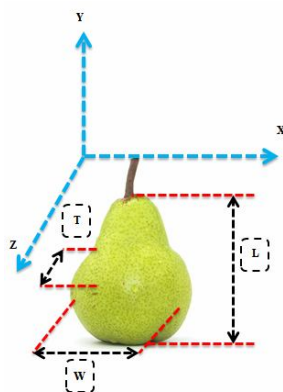
محصولات کشاورزی خصوصیات منحصر به فردی دارند که آن‌ها را از مواد مهندسی مجزا می‌کند. این خصوصیات کیفی میوه‌ها و مقداری عددی که به آن‌ها داده می‌شود باعث کنترل راحت‌تر محصولات کشاورزی می‌گردد [۱]. همچنین خصوصیات ظاهری میوه‌ها ارزش آن‌ها را در بازار تحت تأثیر قرار می‌دهد از این رو مهم است که پس از برداشت میوه‌ها را به خوبی کنترل کرد. همچنین خصوصیات فیزیکی میوه‌ها باعث افزایش صادرات می‌گردد و بررسی روابط بین خواص فیزیکی مانند جرم، حجم و ابعاد میوه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و موضوع تحقیق بسیاری از محققین بوده است [۳، ۲]. حجم و شکل میوه می‌تواند تعداد میوه‌هایی را که می‌توان آن‌ها را در یک بسته با اندازه مشخص قرارداد، تعیین کند. همچنین حجم و سطح میوه در پیش‌بینی مطلوب میزان خشک شدن و در نتیجه در کاهش زمان خشک شدن خشک‌کن مفید است. در میان این ویژگی‌های فیزیکی، جرم، حجم، سطح میوه در تعیین سیستم‌های اندازه‌گیری بسیار اهمیت دارند [۵، ۴]. همچنین شکل محصولات باغبانی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال گرما در ساختارهای گیاهی و یا تبادل با محیط اطراف است. بنابراین مدل‌های دقیق هندسی مورد نیاز در هنگام استفاده از مدل‌های عددی برای تجزیه و تحلیل فرایندهای فیزیولوژیکی مانند خنک‌سازی تولید مورد نیاز است [۶]. اطلاعات کافی پیرامون خواص فیزیکی، شیمیایی و خواص مکانیکی محصولات کشاورزی برای پرورش دهندگان، مهندسان، تولیدکنندگان ماشین‌آلات، دانشمندان علوم غذایی، پردازنده‌ها ماشینی و مصرف‌کنندگان اهمیت بسیار بالایی دارد. همچنین در حین برداشت میوه‌ها از روی درخت نیروی‌های مختلفی مانند افتادن روی زمین، روی تنه درخت و غیره اتفاق می‌افتد که باعث ضررهای اقتصادی می‌گردد [۷] و با دانستن خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی محصولات کشاورزی می‌توان کشاورزی را از زمان برداشت محصول تا مرحله حمل و نقل، بسته‌بندی و غیره مورد بررسی و مراقب قرارداد [۸]. همچنین برخی از خواص فیزیکی مانند سطح رویه دراز دست دادن آب، نفوذپذیری گاز و وزن در واحد سطح، انتقال حرارت، مقدار استفاده از آفت‌کش‌ها، نرخ تنفس، ارزیابی رشد و کیفیت میوه، نرخ تنفس و شاخص

رسیدگی و همچنین پیش‌بینی زمان برداشت بهینه بسیار از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۳]. همچنین یکی از روش‌های معمول برای اندازه‌گیری تفاوت‌ها در شکل میوه‌ها، سبزیجات و دانه‌ها و ایجاد تفاوت بین یک رقم با رقم‌های دیگر یک محصول محاسبه ضریب کروویات آن می‌باشد [۹]. در تحقیقی کاباس و همکاران (۲۰۰۶) بر روی خواص فیزیکی گلابی ترکیه‌ای گزارش کردند که محتویات رطوبتی گلابی از ۸۹/۹۱ درصد به ۴۴/۹۹ درصد در طول گلابی ۷۱/۹۳ به ۶۳/۲۷، عرض ۵۷/۵۷ به ۴۸/۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۵۲/۰۸ به ۴۴/۹۹ میلی‌متر کاهش یافته است. همچنین این کاهش در قطر میانگین هندسی ۵۹/۶۸ به ۵۱/۰۸ میلی‌متر مشاهده شده است [۱۰].

اوزترک و همکاران (۲۰۰۹) بر روی خصوصیات فیزیکی دو رقم (Deveci.-Santa Maria) گلابی به این نتیجه رسیدند که جرم، رقم، طول، عرض، حجم و جرم گلابی‌های رقم Santa Maria بیشتر از رقم دیگر است [۱۱].

از طرفی آسیب‌های مکانیکی باعث خرابی کیفیت محصول می‌شوند و این امر زیان‌های اقتصادی برای کشاورزان و مصرف‌کنندگان به همراه دارد. برای به حداقل رساندن این زیان‌ها، برخی از تحقیقات به منظور بررسی تأثیر شرایط بارگذاری ضربه و شبه استاتیکی در طی برداشت و پس از برداشت از میوه، سبزیجات و دیگر مواد منشأ زیستی بر آسیب‌های مکانیکی انجام شده است [۱۲]. همچنین برخی از محققان معتقد هستند که شاید بر اثر ضربات با نیروی، کم اتفاقی در میوه مورد نظر نیافتد اما زمانی که بخشی از میوه مورد نظر در حین ضربه آسیب فیزیکی می‌بیند در طی فرایند نگهداری مسلماً کبودی قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. همچنین شواهد فیزیکی عبارت‌اند از شکستگی سلول‌ها و تغییر رنگ در میوه مورد نظر است و زمانی اتفاق می‌افتد که تک‌تک سلول‌ها در دیواره سلولی میوه تحت فشار قرار گرفته باشند و در نهایت می‌شکنند که همین امر باعث تغییر رنگ قسمت مورد نظر می‌شود [۱۳]. همچنین سطح و خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی برای ذخیره‌سازی نیز اهمیت بسیار زیادی دارد از طرفی آسیب‌های سلولی و نیروی‌های به میوه‌ها باعث می‌شود که کبودی در میوه‌ها رخ دهد که با بررسی خواص فیزیکی می‌توان این عامل را کنترل کرد [۱۴].

هدف از انجام این تحقیق تعیین رابطه خواص فیزیکی میوه گلابی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی و مساحت سطح رویه با مقدار کوفتگی گلابی در طی مدت انبارداری در اثر فشار خارجی با کمک آزمون غیر مخرب سی تی اسکن می باشد تا با تعیین بهترین شرایط فیزیکی گلابی، ضمن افزایش کیفیت میوه در انبارداری و عرضه بهتر و باکیفیت تر این محصول حاصل شود.



**Fig 1** L: Length; W: Width; T: Thickness intended for pears

به ترتیب قطر معادل ( $D_p$ )، قطر میانگین هندسی ( $D_g$ ) و مساحت سطح رویه ( $S$ ) با استفاده از روابط جدول ۱ محاسبه گردید:

**Table 1** Relations of Equivalent Diameter ( $D_p$ ), Geometric Mean Diameter ( $D_g$ ), and Procedure Surface Area ( $S$ ) for Pears

Formula	Formula number	References
$D_p = \left( \frac{L(W+T)^2}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$	(1)	[16]
$D_g = \frac{1}{3} (LWT)$	(2)	[17]
$S = \frac{\pi BL^2}{2L - B}$	(3)	[18]

(ساخت ایران) با لود سل ۵۰۰ نیوتنی استفاده شد. برای تست فشاری از دو صفحه دایره‌ای شکل استفاده شد. این آزمون در سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه با سه نیروی ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ نیوتون با سه تکرار انجام شد (شکل ۲). برای این آزمایش گلابی

هدف از انجام این تحقیق تعیین رابطه خواص فیزیکی میوه گلابی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی و مساحت سطح رویه با مقدار کوفتگی گلابی در طی مدت انبارداری در اثر فشار خارجی با کمک آزمون غیر مخرب سی تی اسکن می باشد تا با تعیین بهترین شرایط فیزیکی گلابی، ضمن افزایش کیفیت میوه در انبارداری و عرضه بهتر و باکیفیت تر این محصول حاصل شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی نمونه

گلابی‌های رقم اسپادانا از بازارهای استان گلستان- گرگان، ایران تهیه شدند و نمونه‌ها به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان آورده و شستشو شدند و سپس برای اندازه‌گیری رطوبت در درون آن قرار گرفت. نمونه‌ها در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت درون آن قرار گرفت و سپس رطوبت آن‌ها در این آزمایش بر اساس استانداردها اندازه‌گیری شد [۱۵]. میزان رطوبت اندازه‌گیری شده برای گلابی بر پایه تر ۷۷/۹۲٪ بود.

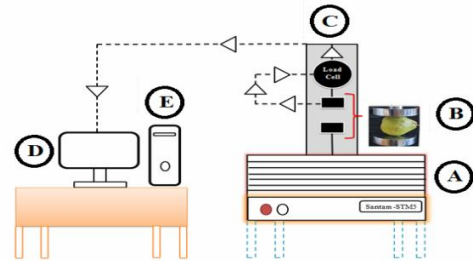
### ۲-۲- تعیین خواص فیزیکی

برای تعیین خواص فیزیکی گلابی قبل از بارگذاری نمونه‌های انتخاب‌شده با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل EK 610i و

### ۲-۳- آزمون شبه استاتیکی

برای انجام آزمون مکانیکی فشار لبه پهن از دستگاه نیرو-تغییرشکل با نام تجاری اینسترون سنتام Santam-STM5

به صورت افقی در بین دو صفحه قرار گرفته و فشار داده شد و مدت زمان اندازه گیری این فرآیند ثبت گردید.



**Fig 2** Diagram of pears quasi-static loading  
A: The force-deformation device (Indestron), B: Jaw wide edge C: Load Cell D: Computer E: Information Extract

## ۲-۴- تصاویربرداری با روش سی تی اسکن

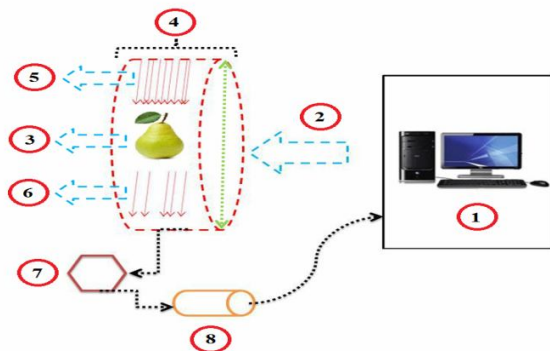
### ۲-۴-۱- آماده سازی گلابی

در این آزمایش تعداد ۱۲۰ عدد گلابی برای آزمایش انتخاب گردید و از این گلابی ها با استفاده از روش غیر مخرب سی تی اسکن تصویربرداری گردید و تعداد ۲۷ گلابی سالم و یکدست انتخاب شدند. سپس گلابی پس از بارگذاری های شبه استاتیکی در سه دوره ۵، ۱۰ و ۱۵ روز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انبارداری شد. شرایط محیطی انبارداری به صورتی بود که مشابه مراکز فروش قرار گرفتند تا بتوان میوه ها را در حین نگهداری تا مصرف مورد بررسی قرارداد. دمای هوای محیط برای نگهداری گلابی ها ۱۴ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۶ درصد بود.

### ۲-۴-۲- تصویربرداری

برای انجام تصویربرداری، گلابی ها به محل آزمایش برده شد و پس از راه اندازی دستگاه سی تی اسکن (زیمنس مدل OMATOM Emotion 16-slice و ساخت کشور آلمان) از طریق اتاق کنترل (شکل ۳- شماره ۱) به درون محفظه سی تی اسکن قرار داده شد (شکل ۳- شماره ۳) و از طریق لوله اشعه (شکل ۳- شماره ۴) اشعه های ایکس به سمت گلابی ها تابیده شد (شکل ۳- شماره ۵). مقداری از این انرژی ها جذب

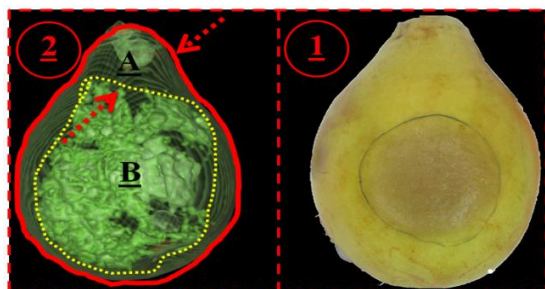
گلابی گردید و مابقی اشعه های تابیده شده از گلابی رد شد (شکل ۳- شماره ۵ و ۶) و نورهای رد شده از گلابی به وسیله کریستال های موجود در درون محفظه سی تی اسکن جذب گردید (شکل ۳- شماره ۷). سپس با استفاده از یک تبدیل کننده نوری به کدهای تصویر تبدیل (شکل ۳- شماره ۸) و به اتاق کامپیوتر برای بازسازی تصاویر ارسال گردید. در شکل ۳ فرآیند تصویربرداری سی تی اسکن نشان داده شده است.



**Fig 3** CT Scan Imaging Process

- 1- Computer room
- 2- Device input location
- 3- Product location
- 4- Ray tube
- 5- Shot radiation
- 6- Rejected rays of the product
- 7- Radiation receiving crystals
- 8- Light Converter

۵، ۱۰ و ۱۵ روز پس از بارگذاری شبه استاتیکی و دینامیکی هر گلابی، با دستگاه Computed Tomography (CT) Scans سیمنس مدل somotam emotion 16 slice اسکن شد. این دستگاه ساخت کشور آلمان بوده و از دستگاه های CT نسل سوم محسوب می شود که در آن Tube و Detector رو به روی یکدیگر قرار داشته که به صورت ۳۶۰ درجه به دور گلابی ها به صورت متوالی گردش کرده تا تصویر ایجاد شود. همچنین پیچ دستگاه برای آزمایش ۱ پیچ بود. ثبت تصاویر نیز در ولتاژ ۸۰ کیلوولت و جریان ۱۲۰ میلی آمپر انجام شد و برای ایجاد تصاویر کامل از برش های ۱ میلی متری استفاده شد. تصاویر ایجاد شده به وسیله نرم افزار ایجاد کننده تصویر Syngo CT 2012 ثبت شده و تصاویر دوبعدی و سیاه سفید تهیه و استخراج گردید. Convolution kernel که میزان رزولوشن تصاویر را



**Fig 5** Two-dimensional view of pear before and after image processing

1- Bruise in real image 2- Bruise in processed image  
(A: Bruised pear section B: Healthy pear section)

### ۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

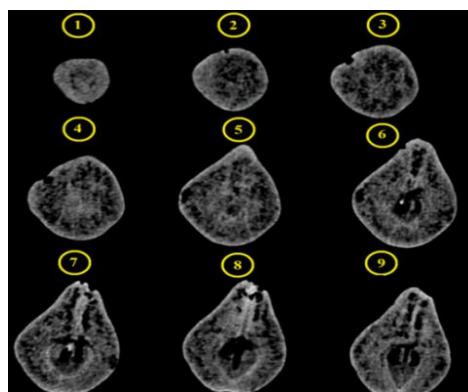
نمونه‌ها پس از بارگذاری‌های شبه استاتیکی در سه نیروی بارگذاری ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ نیوتن در سه دوره ۵، ۱۰ و ۱۵ روز انبار شدند که نیروی بارگذاری و دوره انبارداری به عنوان فاکتورهای مستقل در نظر گرفته شد و فاکتورهای قطر هندسی، معادل و سطح رویه گلابی به عنوان فاکتورهای وابسته برای این آزمایش در نظر گرفته شد. سپس عکس برداری انجام شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تحلیل شدند. همچنین با استفاده از نرم افزای آماری SAS آزمون همبستگی برای یافتن ارتباط بین قطر هندسی، معادل و سطح رویه با درصد پوسیدگی تحلیل شد.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس خواص فیزیکی گلابی شامل قطر هندسی، معادل و سطح رویه در جدول ۲ نشان داده شده است که با توجه به نتایج به دست آمده از جدول می‌توان بیان کرد که هیچ‌یک از مقایسه میانگین‌های فاکتورهای وابسته تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشته است و از این رو آنالیز واریانس برای فاکتورهای وابسته معنی‌دار نشده است. همچنین جدول ۳ نشان‌دهنده رابطه همبستگی بین پارامترهای قطر هندسی، معادل و سطح رویه درصد پوسیدگی برای فشار لبه پهن در سه نیروی بارگذاری ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ نیوتن بوده است.

بیان می‌کند B31Smooth بوده و تصاویر به وسیله ماتریس‌های ۵۱۲ در ۵۱۲ تشکیل گردیده است.

هدف از فاصله زمانی‌های 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 اشعه 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 دوبعدی رنگی برای هر کبودی در روی میوه اندازه‌گیری و ثبت گردید [۱۹]. نسبت حجم کبودی به حجم کل هر گلابی به دست آمده با سی‌تی‌اسکن محاسبه شد و با زمان بارگذاری در نرم‌افزار صفحه گستر اکسل ثبت شد. همچنین طی تصویربرداری هر گلابی به‌طور 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 ۴ نشان داده شده است.



**Fig 4** The steps of making a CT scan image

همچنین تصویر بازسازی شده دوبعدی گلابی نیز در شکل ۵ نشان داده شده است که می‌توان این تصویر را به دو قسمت بافت سالم و بافت پوسیده تقسیم‌بندی کرد. در شکل ۵ شماره ۱ محل کوفتگی در گلابی و شماره ۲ تصویر ایجاد شده توسط سی‌تی‌اسکن است.

**Table 2** Analysis of geometric diameter, equivalent and procedure surface area of pear at wide loading level

	df	Geometric Diameter		Equivalent Diameter	
		Mean Square	F value	Mean Square	F value
Storage period	2	1.590	0.14 <sup>ns</sup>	0.0017	1.25 <sup>ns</sup>
Loading force	2	1.378	0.12 <sup>ns</sup>	0.006	0.46 <sup>ns</sup>
Storage period×Loading force	4	6.30	0.56 <sup>ns</sup>	0.001	1.19 <sup>ns</sup>
Error	18	11.24		0.0013	

	df	Surface Area	
		Mean Square	F value
Storage period	2	219816	0.13 <sup>ns</sup>
Loading force	2	574519	0.33 <sup>ns</sup>
Storage period×Loading force	4	1247088	0.72 <sup>ns</sup>
Error	18	1726015	

ns indicates no significance

**Table 3** Correlation between geometric diameter parameters, procedure surface area and percentage of bruise

70 N				
	Geometric Diameter	Diameter	Surface	Bruise
Geometric Diameter	1			
Diameter	0.999 <sup>**</sup>	1		
Surface	0.999 <sup>**</sup>	0.999 <sup>**</sup>	1	
Bruise	-0.108 <sup>ns</sup>	-0.090 <sup>ns</sup>	0.106 <sup>ns</sup>	1

100 N				
	Geometric Diameter	Diameter	Surface	Bruise
Geometric Diameter	1			
Diameter	0.999 <sup>**</sup>	1		
Surface	0.999 <sup>**</sup>	0.997 <sup>**</sup>	1	
Bruise	0.018 <sup>ns</sup>	-0.013 <sup>ns</sup>	0.010 <sup>ns</sup>	1

130 N				
	Geometric Diameter	Diameter	Surface	Bruise
Geometric Diameter	1			
Diameter	0.996 <sup>**</sup>	1		
Surface	0.999 <sup>**</sup>	0.996 <sup>**</sup>	1	
Bruise	-0.162 <sup>ns</sup>	-0.129 <sup>ns</sup>	-0.161 <sup>ns</sup>	1

ns indicates no significance. \*\* Significance at 1% statistical level. \* Significance at 5% statistical level.

### ۳-۱- تأثیر قطر هندسی بر درصد پوسیدگی

نیروی بارگذاری ۷۰ نیوتون: با توجه به شکل ۶ بیشترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها میلی‌متر ۶۷/۷۸ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر ۶۴/۹۱ در دوره انباری داری 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.

نیروی بارگذاری ۱۰۰ نیوتون: با توجه به شکل ۶ بیشترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها میلی‌متر ۶۵/۹۷ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر ۶۴/۹۱ در دوره انباری داری 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.

۱۰۰ نیوتن همبستگی مثبتی داشته است و با افزایش قطر هندسی میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. این نتیجه به دلیل از دست دادن رطوبت میوه در طول مدت انبارمانی و کاهش قطر میانگین هندسی و وجود رابطه معکوس بین رطوبت و پوسیدگی می‌باشد؛ به طوری که در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش قطر میانگین هندسی مقدار پوسیدگی کاهش می‌یابد [۱۰]. نتیجه این تحقیق مشابه با تحقیق آزادبخت و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گلابی بوده است که در این تحقیق نیز با افزایش زمان انبارمانی، مقدار پوسیدگی افزایش می‌یابد [۲۰]. همچنین کاهش قطر میانگین هندسی مشابه با تحقیق کاباس و همکاران بر روی میوه گلابی بود [۱۰].

نیروی بارگذاری ۱۳۰ نیوتن: با توجه به شکل ۶ بیشترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها میلی‌متر ۶۷/۳۹ در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر ۶۴/۲۴ در دوره انبارداری ۱۵ 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.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر هندسی با میزان پوسیدگی در فشار لبه پهن برای هر سه نیروی بارگذاری معنی‌دار نشده و برای نیروی ۷۰ و ۱۳۰ نیوتن همبستگی منفی را داشته است که این همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که قطر هندسی با درصد پوسیدگی رابطه عکس دارد و برای نیروی

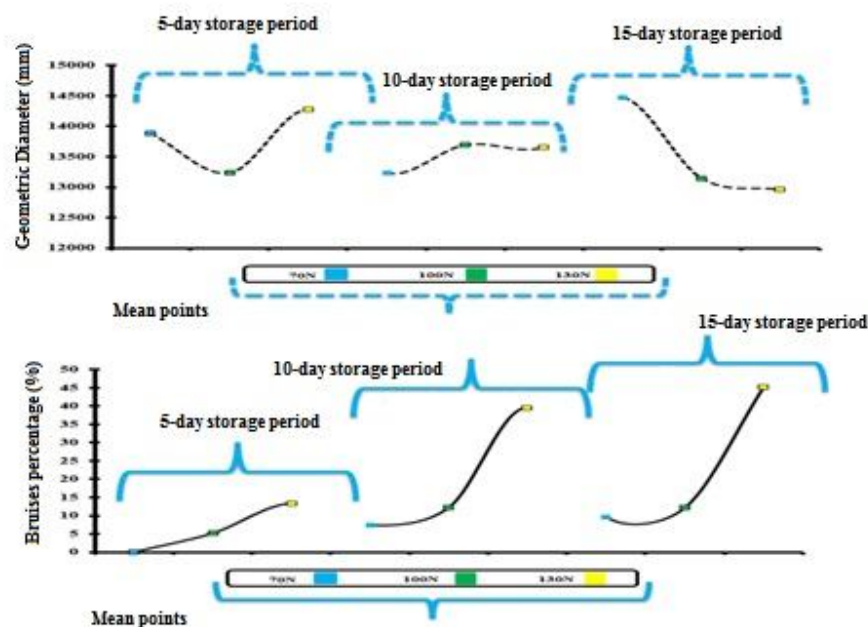


Fig 6 Bruise percentage and geometric diameter of pears in static loading

این‌گونه بیان کرد که چون سطح رویه در دوره ۱۵ روزه بیشتر از دوره ۱۰ روزه بوده است به همین دلیل میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۱۰۰ نیوتن: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها میلی‌متر مربع ۱۳۶۹۷ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار میلی‌متر مربع ۱۳۱۴۷ در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به شکل

### ۳-۲- تأثیر سطح رویه بر درصد پوسیدگی

نیروی بارگذاری ۷۰ نیوتن: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها میلی‌متر مربع ۱۴۴۷۳ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر مربع ۱۳۲۳۴ در دوره انبارداری ۱۰ روزه مشاهده شده است. با توجه به درصد پوسیدگی که در شکل زیر نشان داده شده است می‌توان این‌گونه بیان کرد که با افزایش دوره انبارداری میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است و برای دوره ۵ روز سطح رویه و درصد پوسیدگی از رابطه خاصی پیروی نکرده‌اند. همچنین با توجه به شکل ۷ می‌توان

افزایش دوره انبارداری میزان درصد پوسیدگی و فعالیت آنزیمی میوه آسیب‌دیده افزایش یافته که همین امر باعث میزان بیشتر درصد پوسیدگی گردیده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) سطح رویه با میزان پوسیدگی در فشار لبه پهن برای هر سه نیروی بارگذاری معنی‌دار نشده و برای نیروی ۷۰ و ۱۳۰ نیوتن همبستگی منفی را داشته است که این همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که سطح رویه با درصد پوسیدگی رابطه عکس دارد و برای نیروی ۱۰۰ نیوتن همبستگی مثبتی داشته است که با افزایش سطح رویه میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. با در نظر گرفتن رابطه مستقیم بین سطح رویه و محتوای رطوبتی و رابطه معکوس بین محتوای رطوبتی و مقدار درصد پوسیدگی می‌توان نتیجه گرفت که رابطه معکوسی بین سطح رویه و مقدار پوسیدگی وجود دارد [۲۰][۲۲].

می‌توان این‌گونه بیان کرد که چون سطح رویه در دوره ۱۰ روزه بیشتر از دوره ۱۵ روزه بوده است به همین دلیل میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. در واقع می‌توان این‌گونه این امر را توضیح داد که سطح تماس هرچه بزرگ‌تر باشد میزان آسیب وارده به محصول موردنظر بیشتر خواهد بود [۲۱]. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

نیروی بارگذاری ۱۳۰ نیوتن: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها میلی‌مترمربع ۱۴۲۷۶ در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار میلی‌مترمربع ۱۲۹۶۰ در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است مقدار سطح رویه در دوره ۱۰ روزه بیشتر از دوره ۱۵ روزه است و از این رو مقدار درصد پوسیدگی برای نیروی ۱۳۰ نیوتن در دوره ۱۰ و ۱۵ روزه تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته است و می‌توان این تفاوت را به زمان انبارداری ارتباط داد چراکه با

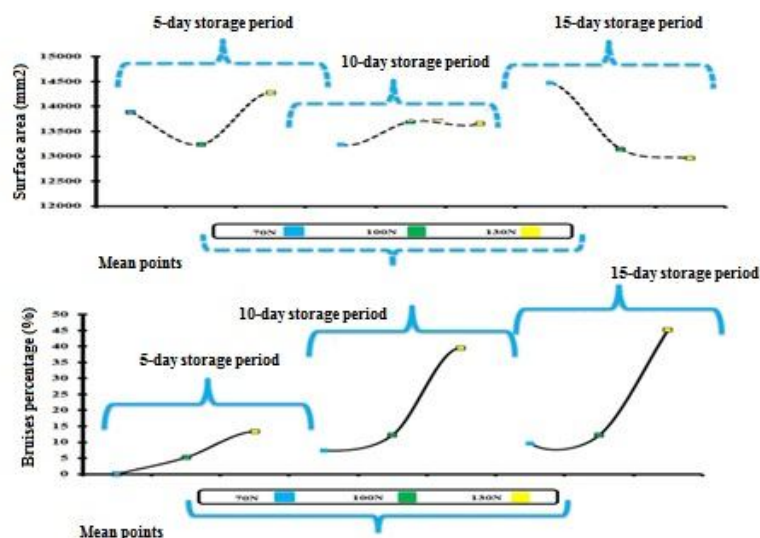


Fig 7 Bruise percentage and surface area of pear in static loading

مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است. نیروی بارگذاری ۱۰۰ نیوتن: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها میلی‌متر ۴۱/۱۳ در دوره انبارداری ۱۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر ۳۹/۴۲ در دوره انبارداری ۱۰ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به

### ۳-۳- تأثیر قطر معادل گلابی بر درصد

#### پوسیدگی

نیروی بارگذاری ۷۰ نیوتن: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها میلی‌متر ۴۰/۹۱ در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار میلی‌متر ۳۹ در دوره انبارداری ۱۵ روزه



با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر معادل با میزان پوسیدگی در فشار لبه پهن برای هر سه نیروی بارگذاری معنی دار نشده و برای نیروی ۷۰ و ۱۳۰ نیوتن همبستگی منفی را داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که قطر معادل با درصد پوسیدگی رابطه عکس دارد و برای نیروی ۱۰۰ نیوتن همبستگی مثبتی داشته است که با افزایش قطر معادل میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. نتیجه این مورد مشابه با تحقیق آزادبخت و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گلابی بوده است [۲۳].

جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است. نیروی بارگذاری ۱۳۰ نیوتن: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها میلی‌متر  $40/30$  در دوره انبارداری ۱۰ روزه و کمترین مقدار میلی‌متر  $39/24$  در دوره انبارداری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی و سطح رویه مثبت و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

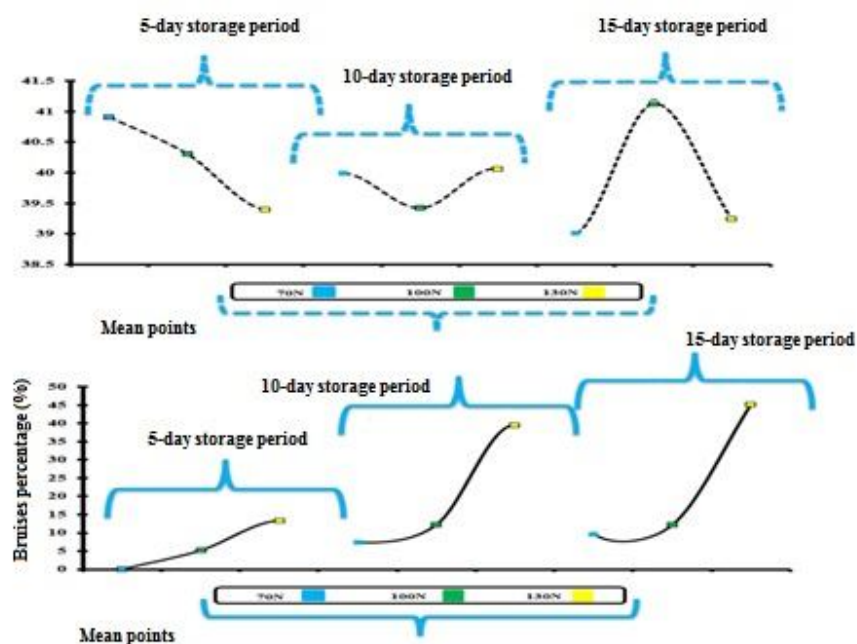


Fig 8 Bruise percentage and equivalent diameter of pears in static loading

#### ۴- نتیجه گیری

۱۰۰ نیوتن تفاوت چندانی در دوره انبارداری کوتاه مدت (کمتر) برای درصد پوسیدگی ایجاد نمی‌کنند. در دوره انبارداری طولانی میزان قطر هندسی، قطر حسابی، قطر معادل و سطح رویه در نیروی‌های بارگذاری مختلف بر میزان درصد پوسیدگی گلابی تأثیر دارد.

#### ۵- منابع

- [1] Chakespari, Ag., Rajabipour, A., and Mobli, H. 2010. Mass modeling of two apple varieties by geometrical attributes. *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 1: 112–118.
- [2] Ganiron, T. U. 2014. Size properties of mangoes using image analysis. *International*

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که برای نیروهای بارگذاری ۷۰ و ۱۳۰ نیوتن میزان قطر هندسی، حسابی و معادل یک همبستگی منفی با درصد پوسیدگی داشته است و برای نیرو ۱۰۰ نیوتن یک همبستگی مثبت برای موارد بالا به جزء قطر حسابی با درصد پوسیدگی وجود داشته است. برای قطر هندسی، حسابی و معادل هیچ همبستگی معنی داری نسبت به درصد پوسیدگی نداشته است. سطح رویه برای فشار لبه پهن یک همبستگی مثبت داشته است و با افزایش سطح رویه میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. این همبستگی نیز معنی دار نشده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که میزان قطر هندسی، قطر حسابی، قطر معادل و سطح رویه برای نیروهای زیر

- Defraeye, T., Fanta, S. W., Ho, Q. T., Carmeliet, J., and Nicolai, B. M. 2014. 3D virtual pome fruit tissue generation based on cell growth modeling. *Food and Bioprocess Technology*. 7: 542–555.
- [15] Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., and Vehedi Torshizi, M., 2017. Application of artificial neural network (ann) in drying kinetics analysis for potato cubes. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*. 17: 167–180.
- [16] Busari, R. A., and Olaoye, J. O. 2016. Selected physical properties of African pear seed for considering in design of mechanical expeller. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11: 5463–5468.
- [17] Seifi, M. R., and Alimardani, R. 2010. Comparison of moisture-dependent physical and mechanical properties of two varieties of corn ( *Sc 704 and Dc 370* ). *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 1: 170–178.
- [18] Kheiralipour, K., Tabatabaefar, A., Mobli, H., Rafiee, S., Sharifi, M., Jafari, A., and Rajabipour, A. 2008. Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple ( *Malus domestica Borkh L.* ). *International Agrophysics*. 22: 225–229.
- [19] Diels, E., van Dael, M., Keresztes, J., Vanmaercke, S., Verboven, P., Nicolai, B., Saeys, W., Ramon, H., and Smeets, B. 2017. Assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. *Postharvest Biology and Technology*. 128: 24–32.
- [20] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., and Mahmoodi, M. J. 2019. The relation of pear volume and its bruised volume by CT scan imaging. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 1–11.
- [21] Li, H., Pordesimo, L. O., Igathinathane, C., and Vinyard, B. 2009. Physical property effects on drying of chile peppers. *International Journal of Food Properties*. 12: 316–330.
- [22] Lownds, N. K., Banaras, M., and Bosland, P. W. 1993. Relationships between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit ( *Capsicum annuum L.* ). *American Society for Horticultural Science*. 28: 1182–1184.
- [23] Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., Mahmoodi, M.J. 2019. The use of CT scan imaging technique to determine pear bruise level due to external loads. *Food Science & Nutrition*. 7, 273–280.
- Journal of Bio-Science and Bio-Technology*. 6: 31–42.
- [3] Soltani, M., Alimardani, R., and Omid, M. 2011. Modeling the main physical properties of banana fruit based on geometrical attributes. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*. 2: 1–6.
- [4] Shahbazi, F., and Rahmati, S. 2013. Mass modeling of sweet cherry ( *Prunus avium L.* ) Fruit with Some Physical Characteristics. *Food and Nutrition Sciences*. 4: 1–5.
- [5] Pathare, P. B., Opara, U. L., Vigneault, C., Delele, M. A., and Al-Said, F. A. J. 2012. Design of packaging vents for cooling fresh horticultural produce. *Food and Bioprocess Technology*. 5: 2031–2045.
- [6] Dehghannya, J., Ngadi, M., and Vigneault, C. 2010. Mathematical modeling procedures for airflow, heat and mass transfer during forced convection cooling of produce: A review. *Food Engineering Reviews*. 2: 227–243.
- [7] Ozkan, Y., Altuntas, E., Ozturk, B., Yildiz, K., and Saracoglu, O. 2012. The effect of NAA ( *I-naphthalene acetic acid* ) and AVG ( *aminoethoxyvinylglycine* ) on physical, chemical, colour and mechanical properties of braeburn apple. *International Journal of Food Engineering*. 8.
- [8] Altuntas, E., Ozturk, B., Özkan, Y., and Yildiz, K. 2012. Physico-mechanical properties and colour characteristics of apple as affected by methyl jasmonate treatments. *International Journal of Food Engineering*. 8.
- [9] Riyahi, R., Rafiee, S., Dalvand, M. J., and Keyhani, A. 2011. Some physical characteristics of pomegranate, seeds and arils. *Journal of Agricultural Technology*. 7: 1523–1537.
- [10] Kabas, O., Ozmerzi, A. and Akinci, I. 2006. Physical properties of cactus pear ( *Opuntia ficus india L.* ) grown wild in Turkey. *Journal of food Engineering*. 73: 198–202.
- [11] Ozturk, I., Ercisli, S., Kalkan, F., and Demir, B. 2009. Some chemical and physico-mechanical properties of pear cultivars. *African journal of Biotechnology*. 8: 687–693.
- [12] Stropek, Z., and Gołacki, K. 2015. A new method for measuring impact related bruises in fruits. *Postharvest Biology and Technology*. 110: 131–139.
- [13] Opara, U. L., and Pathare, P. B. 2014. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. *Postharvest Biology and Technology*. 91: 9–24.
- [14] Abera, M. K., Verboven, P., Herremans, E.,

## Determination amount of pears bruises due to wide edge pressure via CT scan method and relation them with some physical properties pears

Azadbakht, M. <sup>1\*</sup>, Mahmoodi, M. J. <sup>2</sup>, Vahedi torshizi, M. <sup>2</sup>

1. Associate Professor, Department of Biosystem mechanical engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
2. MSc Student, Department of Biosystem mechanical engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(Received: 2019/06/14 Accepted:2019/11/10)

The study of the relationships between physical properties such as mass, volume and size of fruits is very important. In this research via CT scan, the relationship between physical properties of pears and storage times with bruise due to the 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 70, 100 and 130 N and 5, 10 and 15 d 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. Overall, it was found that, the pears have a higher surface area, the higher the percentage of a bruise.

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

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: azadbakht@gau.ac.ir