

تعیین رابطه بین حجم و وزن میوه گلابی با میزان کبودی در اثر اعمال بار ضربه‌ای با استفاده از روش غیرمخرب سی تی اسکن

محسن آزادبخت^{1*} - محمدجواد محمودی² - محمد واحدی ترشیزی²

تاریخ دریافت: 1397/02/07

تاریخ پذیرش: 1397/10/09

چکیده

ارزیابی کیفیت میوه‌ها و سبزیجات با استفاده از روش‌های غیرمخربی نظیر سی تی اسکن از جمله پرکاربردترین روش‌های ارزیابی می‌باشد. لذا در این پژوهش، مقدار کوفتگی گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی و ارتباط آن با حجم و وزن گلابی طی دوره انبارمانی با استفاده از روش غیرمخرب سی تی اسکن مورد بررسی قرار گرفت. قبل از بارگذاری تعداد 50 گلابی با استفاده از سی تی اسکن بررسی شده و تعداد 27 گلابی با درصد پوسیدگی صفر انتخاب شدند. تحت بارگذاری دینامیکی با استفاده از یک آونگ با سه وزنه 300، 350 و 400 گرمی قرار داده شد و به منظور بررسی حجم کل و حجم پوسیدگی نمونه‌ها، در دوره‌های انبارمانی 5، 10 و 15 روز، تصویرگیری با استفاده از سی تی اسکن نیز انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش حجم گلابی، درصد پوسیدگی کاهش پیدا کرد و برخلاف آن با افزایش وزن گلابی، مقدار درصد پوسیدگی نیز افزایش یافت. همچنین بین درصد کاهش حجم و وزن با درصد پوسیدگی یک رابطه مستقیم وجود داشت بدین صورت که با افزایش درصد کاهش حجم و وزن درصد پوسیدگی افزایش پیدا کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هرچه تغییرات حجم و وزن قبل و بعد از ضربه کمتر باشد میوه سالم‌تر بوده و درصد پوسیدگی کمتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گلابی، سی تی اسکن، غیرمخرب، کوفتگی، حجم

مقدمه

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 (Shahbazi and Rahmati, 2013) (Pathare *et al.*, 2012). خسارت وارد به 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 (Babic *et al.*, 2015) (Opara and Pathare, 2014) (Stropek and Gołacki, 2015). 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 کبودی قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. همچنین شواهد فیزیکی عبارتند از شکستگی سلول‌ها و تغییر رنگ در میوه مورد نظر است و زمانی اتفاق می‌افتد که تک تک سلول‌ها در دیواره سلولی میوه تحت فشار قرار گرفته باشند و در نهایت می‌شکنند که همین امر باعث تغییر رنگ قسمت مورد نظر می‌شود (Opara and Pathare, 2014). همچنین سطح و خصوصیات فیزیکی

بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی مانند جرم و حجم با دیگر خواص فیزیکی مانند ابعاد هندسی موضوع مطالعات محققان فراوانی بوده است (Soltani *et al.*, 2011). برای انجام برداشت، حمل و نقل و نگهداری مناسب از مواد کشاورزی، و فرایندهای تبدیل این مواد به مواد غذایی و خوراکی، نیاز به درک عمیقی از خواص فیزیکی میوه‌ها است. حجم، جرم، اندازه و شکل اغلب برای توصیف مواد کشاورزی استفاده می‌شود. ابعاد، شکل و اندازه فیزیکی در مرتب‌سازی و اندازه‌گیری میوه‌ها مهم هستند به طوری که با دانستن این خواص می‌توان میوه‌ها را در جعبه‌ها و پلاستیک‌های مناسب جهت حمل و نقل قرار داد (Sabzi *et al.*, 2013) (Habavi *et al.*, 2015). همچنین ویژگی‌های ظاهری میوه‌ها ارزش آنها را در بازار تحت تاثیر 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 (Ganiron, 2014). حجم و شکل میوه می‌تواند تعداد میوه‌هایی را که می‌توان آنها را در یک بسته با اندازه مشخص قرار داد، تعیین کند. همچنین حجم و سطح میوه در پیش‌بینی مطلوب میزان خشک شدن

* - نویسنده مسئول: (Email: azadbakht@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.72354

1 و 2- به ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

گلابی ضربه وارد می‌شود دچار آسیب‌هایی درونی در طی انبارداری می‌شوند که در این تحقیق به تعیین رابطه بین حجم و وزن میوه گلابی با میزان درصد کبودی این میوه در طی مدت انبارداری در اثر بارهای دینامیکی وارده با کمک آزمون غیر مخرب سی‌تی‌اسکن پرداخته شده است تا بتوان با افزایش کیفیت میوه گلابی بعد از آسیب فیزیکی آن به بهترین شکل انبارداری حفظ نموده در اختیار مشتریان قرار داد.

مواد و روش‌ها

گلابی‌های رقم اسپادانا از بازار استان گلستان - گرگان، ایران تهیه شدند و نمونه‌ها به آزمایشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد و پس از شستشو رطوبت آنها با استفاده از آون و روش استاندارد اندازه‌گیری شد (Azadbakht *et al.*, 2017). میزان رطوبت اندازه‌گیری شده برای گلابی بر مبنای وزن تر 77/92% بود.

تصویربرداری با روش سی تی اسکن آماده‌سازی گلابی

در این آزمایش تعداد 50 عدد گلابی برای آزمایش انتخاب گردید و از این گلابی‌ها با استفاده از روش غیرمخرب سی تی اسکن تصویربرداری گردید و تعداد 27 گلابی که هیچ کبودی در درون خود نداشتند انتخاب شد. سپس گلابی‌ها پس از بارگذاری‌های دینامیکی در سه دوره 5، 10 و 15 روز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انبار شد. شرایط محیطی انبار به‌صورتی بود که مشابه مراکز فروش قرار گرفتند تا بتوان میوه‌ها را در حین نگهداری تا مصرف مورد بررسی قرار داد. دمای هوای محیط برای نگهداری گلابی‌ها 14 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 66 درصد بود.

آزمون ضربه

ابتدا دستگاه پاندول و وزنه‌های مورد نیاز در کارگاه گروه مکانیک بیوسیستم گرگان ساخته شد (شکل 1). سپس میوه‌ها در محل مورد نظر قرار داده شد و بازوی دستگاه تا زاویه مورد نظر (90 درجه) بالا برده شد و در حالت کنترل شده بازو رها و به گلابی برخورد کرد. دستگاه آونگ دارای بازوی 200 گرمی و سه وزنه متصل مختلف 100، 150 و 200 گرم برای ضربه زدن بود. لازم به ذکر است از مقاومت هوا و اصطکاک صرف نظر شده است.

تصویربرداری

برای انجام تصویربرداری، گلابی‌ها به محل آزمایش برده شد و پس از راهاندازی دستگاه سی تی اسکن از طریق اتاق کنترل (شکل 2- شماره 1) در درون محفظه سی تی اسکن قرار داده شد (شکل 2- شماره 3) و از طریق لوله اشعه (شکل 2- شماره 4) اشعه‌های ایکس به سمت

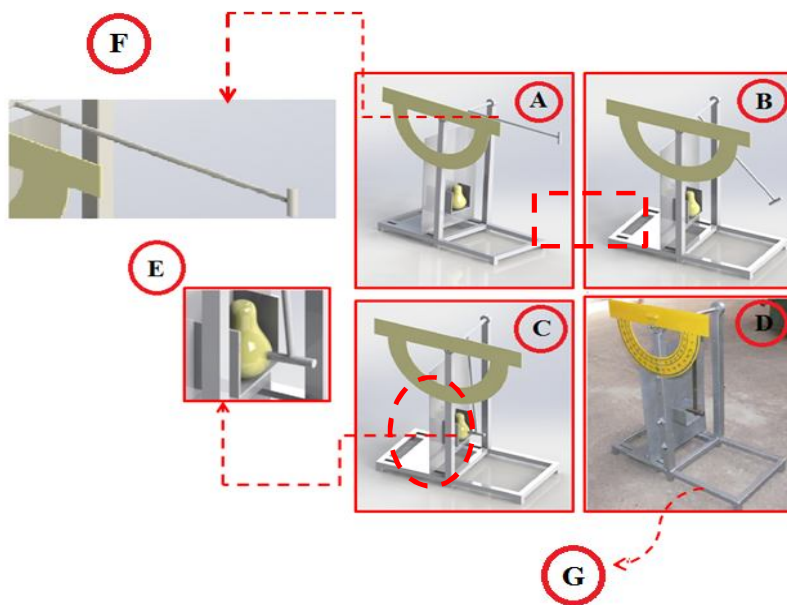
محصولات کشاورزی برای ذخیره‌سازی نیز اهمیت بسیار زیادی دارد از طرفی آسیب‌های سلولی و نیروهای وارده به میوه‌ها باعث می‌شود که کبودی در میوه‌ها رخ دهد که با بررسی خواص فیزیکی می‌توان این عامل را کنترل کرد (Abera *et al.*, 2014). با توجه به تولید برخی سبزیجات تازه و میوه‌ها در مناطق خاصی از جهان و نیاز به مصرف در مناطق دیگر، این موضوع به توزیع موثر نیاز دارد که مستلزم بررسی آسیب‌های مکانیکی به‌وجود آمده ناشی از بارهای خارجی در طول مسافت می‌باشد. اگرچه برآورد هزینه‌های پس از برداشت محصول بسیار دشوار است، با این حال تلفات در مناطق گرمسیری بین 50-70 درصد ارزیابی شده است. علت اصلی این تلفات آسیب مکانیکی (کبودی) به علت ضربه است که می‌تواند ناشی از لرزش و یا سقوط ناگهانی از ارتفاع‌های مختلف باشد. در طول سال‌ها، مطالعات متعددی برای ارزیابی خواص مکانیکی و حساسیت به کبودی میوه‌ها و سبزیجات انجام شده است که کبودی در میوه‌ها و سبزیجات را ناشی از اصطکاک و فشار یک محصول با محصول مجاور، ظروف بسته‌بندی، قسمت‌های تجهیزات پردازش و درخت می‌دانند (Idah *et al.*, 2007). ارزیابی کیفیت معمولاً با استفاده از ترکیبی از روش‌های مخرب و غیرمخرب، عموماً توسط تولیدکنندگان محصول و یا اولین خریداران انجام می‌شود و شامل جداسازی مواد بر اساس اندازه و وزن مخصوص می‌باشند (Kotwaliwale *et al.*, 2007). از جمله روش‌های غیرمخرب پرکاربرد می‌توان به استفاده از CT و اشعه ایکس اشاره کرد که این اجازه را به فرد محقق می‌دهد که کبودی را در بازه‌های زمانی مختلف در میوه بررسی کند زیرا اندازه‌گیری کبودی‌ها با این روش مشکلی برای اندازه‌گیری حتی در موارد پیچیده نیز به‌وجود نمی‌آورد (Diels *et al.*, 2017).

Kabas (2010) برای توصیف حجم کبودی در گلابی آنکارا، از پنج مدل ریاضی استفاده کرد و نتیجه گرفت حجم کبودی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر مجاز بوده و قابل تایید است. Peleg و Hinga (1986) طی تحقیقات گسترده‌ای بر روی میوه‌ها و سبزیجات نتیجه گرفتند که ممکن است 30-40 درصد محصولات تحت تاثیر کبودی و انواع آسیب‌های مکانیکی، از برداشت تا بازار قرار گیرند. Brusewitz و Bartsch (1989)، Brusewitz و همکاران (1991)، Zarifneshat و همکاران (2012) و Ahmadi و همکاران (2010) چندین پارامتر مربوط به کبودی مانند نیروی حداکثری ضربه، انرژی جذب شده، زمان تماس، منطقه تماس و زمان برای نیروی حداکثری را بررسی کردند و در نتایجی چگونگی ارتباط این پارامترها به حجم کبودی و نحوه استفاده از آن‌ها برای تخمین حجم کبودی به‌صورت خودکار را نشان دادند.

حجم و وزن میوه‌ها برای انبارداری، جابه‌جایی، بسته‌بندی و غیره از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تاثیر به‌سزایی بر روی میزان کبودی و پوسیدگی میوه‌ها داشته‌اند و زمانی که در حین برداشت و جابه‌جایی به

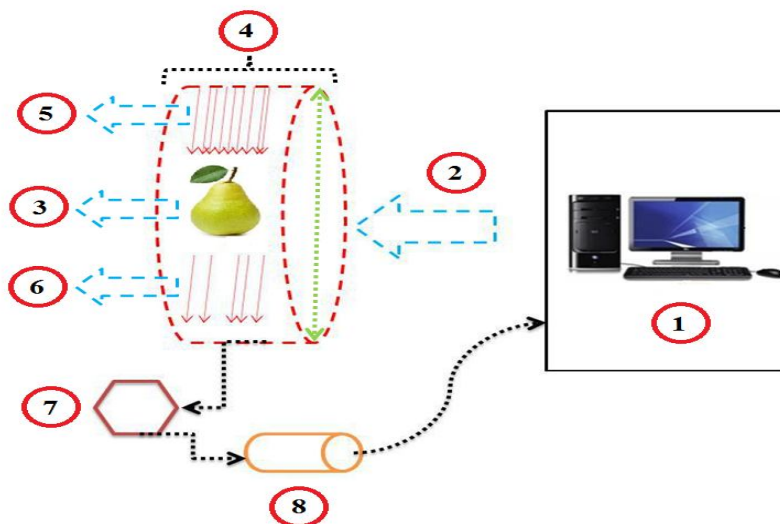
با استفاده از یک تبدیل کننده نوری به کدهای تصویر تبدیل (شکل 2- شماره 8) و به اتاق کامپیوتر برای بازسازی تصاویر ارسال گردید. در شکل 2 فرایند تصویربرداری سی تی اسکن نشان داده شده است.

گلابی‌ها تابیده شد (شکل 2- شماره 5). مقداری از این انرژی‌ها جذب گلابی گردید و مابقی اشعه‌های تابیده شده از گلابی رد شد (شکل 2- شماره 5 و 6) و نورهای رد شده از گلابی به وسیله کریستال‌های موجود در درون محفظه سی تی اسکن جذب گردید (شکل 2- شماره 7). سپس



شکل 1- شماتیک دستگاه ضربه

A: پاندول در زاویه 90 درجه B: پاندول در حال طی کردن مسیر C: برخورد پاندول به گلابی D: نمایی اصلی دستگاه E: محل قرار گیری گلابی F: پاندول ضربه زن G: بدنه دستگاه



شکل 2- فرایند تصویربرداری سی تی اسکن

1- اتاق کامپیوتر 2- محل ورودی دستگاه 3- محل قرار گیری محصول 4- لوله اشعه 5- اشعه پرتاب شده 6- اشعه رد شده از محصول 7- کریستال های گیرنده اشعه 8- تبدیل کننده نوری

ولتاژ 80 کیلوولت و جریان 120 میلی‌آمپر انجام شد و برای ایجاد تصاویر کامل از برش‌های 1 میلی‌متری استفاده شد. تصاویر ایجاد شده به وسیله نرم‌افزار ایجادکننده تصویر Syngo CT 2012 ثبت شده و تصاویر دو بعدی و سیاه سفید تهیه و استخراج گردید. Convolution kernel که میزان رزولوشن تصاویر را بیان می‌کند B31Smooth بوده و تصاویر به وسیله ماتریس‌های 512 در 512 تشکیل گردیده است.

5، 10 و 15 روز پس از بارگذاری دینامیکی هر گلابی، 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 360 درجه به دور گلابی‌ها به صورت متوالی گردش کرده تا تصویر ایجاد شود. همچنین پیچ دستگاه برای آزمایش 1 پیچ بود ثبت تصاویر نیز در



شکل 3- دستگاه سی تی اسکن استفاده شده در تحقیق

کم گردید و میزان اختلاف یا کاهش حجم به دست آمد. با تقسیم اختلاف حجم بر حجم قبل از بارگذاری گلابی درصد کاهش حجم گلابی در طی انبارداری محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نمونه‌ها پس از بارگذاری‌های دینامیکی در سه دوره 5، 10 و 15 روز انبار شدند. سپس عکس‌برداری انجام شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها بار روش LSD و در سطح احتمال 5 درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس درصد کاهش وزن، وزن گلابی قبل از ضربه، درصد کاهش حجم، حجم گلابی‌ها قبل از ضربه و درصد پوسیدگی در جدول نشان داده شده است. با توجه به جدول 1 اثر دوره انبارداری بر میزان حجم گلابی قبل از ضربه، درصد کاهش وزن و درصد پوسیدگی و همچنین نیروی بارگذاری نیز برای درصد کاهش وزن و درصد پوسیدگی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شده است. اثر دوره انبارداری برای وزن گلابی قبل از ضربه نیز در سطح 5 درصد معنی‌دار شده و بر درصد کاهش حجم معنی‌دار نشده است. اثر نیروی وزن گلابی قبل از ضربه، درصد کاهش حجم و حجم گلابی قبل از ضربه معنی‌دار نشده است. همچنین اثر متقابل نیروی بارگذاری و دوره انبارداری

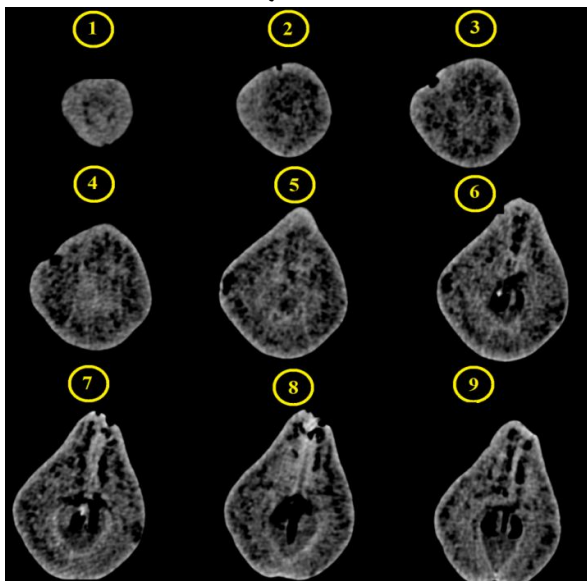
هدف از فاصله زمانی‌های بین کبودی و تصویربرداری به این دلیل بود که به کبودی اجازه تثبیت بهتر بر روی میوه را بدهد و رطوبت کبودی کاهش پیدا کند. این تفاوت رطوبت می‌تواند جذب اشعه ایکس بین بافت کبود و سالم را افزایش دهد. سپس با استفاده از نتایج دستگاه میزان حجم کل میوه، میزان حجم کبودی هر میوه و همچنین تصاویر دو بعدی رنگی برای هر کبودی در روی میوه اندازه‌گیری و ثبت گردید (Diels et al., 2017). نسبت حجم کبودی به حجم کل هر گلابی به دست آمده با سی تی اسکن محاسبه شد و با زمان بارگذاری در نرم‌افزار اکسل ثبت شد. در شکل 3 دستگاه مورد استفاده در این آزمایش و محل قرارگیری گلابی برای بررسی نشان داده شده است. همچنین طی تصویربرداری هر گلابی به‌طور میانگین از 70 تا 100 تصویر برای رسیدن به شکل کامل گلابی برای بازسازی سه بعدی تصویربرداری شد. مراحل تکمیل هر تصویر تا رسیدن به تصویر نهایی در شکل 4 نشان داده شده است. همچنین تصویر بازسازی شده دو بعدی گلابی نیز در شکل 5 نشان داده شده است که می‌توان این تصویر را به دو قسمت بافت سالم و بافت پوسیده تقسیم‌بندی کرد. در شکل 5 شماره 1 محل کوفتگی در گلابی و شماره 2 تصویر ایجاد شده توسط سی تی اسکن است.

درصد کاهش حجم

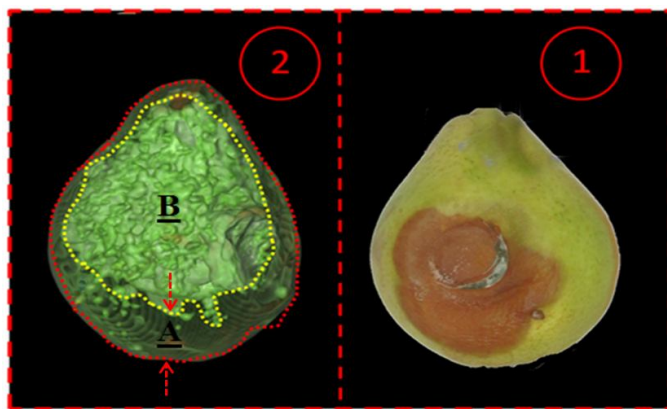
حجم گلابی‌ها قبل و بعد از بارگذاری با استفاده از سی تی اسکن اندازه‌گیری شد. سپس حجم بعد از بارگذاری از حجم قبل از بارگذاری

جدول 2 نشان دهنده رابطه همبستگی بین پارامترهای حجم قبل از ضربه، حجم بعد از ضربه، میزان کاهش حجم، درصد کاهش حجم و درصد پوسیدگی برای حالت ضربه‌ای با وزنه 300، 350 و 400 گرم بوده است.

برای درصد پوسیدگی و درصد کاهش حجم و وزن در سطح 5 درصد معنی دار شده است و برای حجم و وزن گلابی قبل از ضربه معنی دار نشده است.



شکل 4- مراحل ساخت تصویر سی تی اسکن



شکل 5- نمای دو بعدی گلابی قبل و بعد از از پردازش تصویر
1- پوسیدگی در تصویر واقعی 2- پوسیدگی در تصویر پردازش شده (A: بخش پوسیده B: بخش سالم)

جدول 1- آنالیز واریانس درصد کاهش وزن، وزن گلابی قبل از ضربه، درصد کاهش حجم، حجم گلابی ها قبل از ضربه و درصد پوسیدگی

درصد پوسیدگی		درصد کاهش وزن		وزن گلابی قبل ضربه		درصد کاهش حجم		حجم گلابی قبل از ضربه		
MS	FV	MS	FV	MS	FV	MS	FV	MS	FV	
1353/18	4/60**	80/84	2/63 ^{ns}	823/60	4/39*	334/04	176/44**	1936/44	39/72**	انبار
106/23	0/36 ^{ns}	21/93	0/71 ^{ns}	121/14	0/65 ^{ns}	166/04	87/70**	456/009	9/35**	نیرو
323/91	1/10 ^{ns}	92/27	3*	133/19	0/71 ^{ns}	13/98	7/38*	152/97	3/14*	نیرو* انبار
	294/24		30/78		187/77		1/89		48/75	خطا

جدول 2- رابطه همبستگی بین پارامترهای حجم قبل از ضربه، حجم بعد از ضربه، میزان کاهش حجم، درصد کاهش حجم و درصد پوسیدگی برای حالت ضربه‌ای با وزنه 300، 350 و 400 گرم

درصد پوسیدگی	درصد کاهش وزن	وزن گلابی قبل از ضربه	درصد کاهش حجم	حجم گلابی قبل از ضربه
300 g				
حجم گلابی قبل از ضربه	1	1	1	1
درصد کاهش حجم	0/728*	0/889**	0/251 ^{ns}	-0/251 ^{ns}
وزن گلابی قبل از ضربه	0/539 ^{ns}	0/786*	0/555 ^{ns}	0/555 ^{ns}
درصد کاهش وزن	1	0/607 ^{ns}	0/05 ^{ns}	-0/05 ^{ns}
درصد پوسیدگی	1	0/06 ^{ns}	0/607 ^{ns}	-0/607 ^{ns}
350 g				
درصد پوسیدگی	درصد کاهش وزن	وزن گلابی قبل از ضربه	درصد کاهش حجم	حجم گلابی قبل از ضربه
حجم گلابی قبل از ضربه	1	1	1	1
درصد کاهش حجم	0/838**	0/422 ^{ns}	0/789*	0/789*
وزن گلابی قبل از ضربه	0/406 ^{ns}	0/795*	0/399 ^{ns}	0/399 ^{ns}
درصد کاهش وزن	1	0/518 ^{ns}	0/518 ^{ns}	-0/518 ^{ns}
درصد پوسیدگی	1	0/680*	0/544 ^{ns}	-0/544 ^{ns}
400 g				
درصد پوسیدگی	درصد کاهش وزن	وزن گلابی قبل از ضربه	درصد کاهش حجم	حجم گلابی قبل از ضربه
حجم گلابی قبل از ضربه	1	1	1	1
درصد کاهش حجم	0/901**	0/652 ^{ns}	0/822**	0/822**
وزن گلابی قبل از ضربه	0/449 ^{ns}	0/601 ^{ns}	0/103 ^{ns}	0/103 ^{ns}
درصد کاهش وزن	1	0/585 ^{ns}	0/553 ^{ns}	-0/553 ^{ns}
درصد پوسیدگی	1	0/132 ^{ns}	0/585 ^{ns}	-0/585 ^{ns}

تاثیر حجم گلابی قبل از ضربه بر میزان پوسیدگی

با توجه جدول 1 حجم گلابی قبل از ضربه در دوره‌های انبارداری در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است و برای وزنه ضربه و اثر متقابل معنی‌دار نشده است.

وزنه 300 گرمی: با توجه به شکل 6 بیشترین میزان حجم

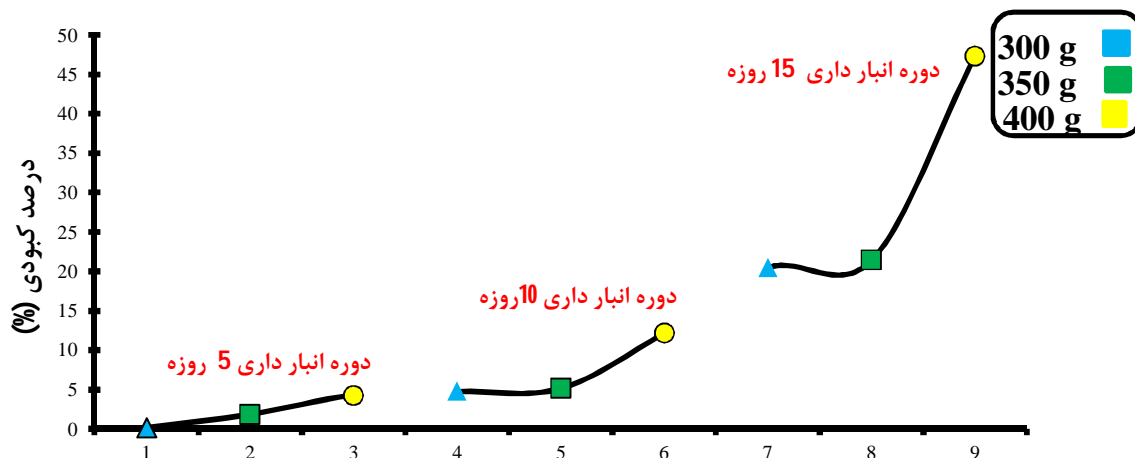
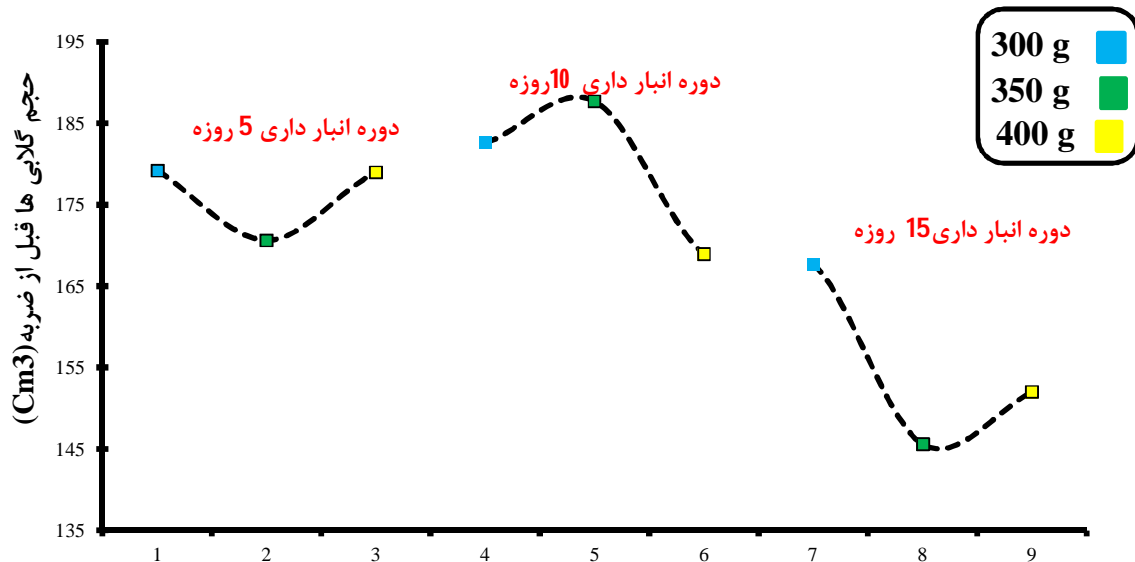
گلابی‌ها قبل از ضربه $182/6 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 10 روزه و کمترین مقدار در $145/63 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 15 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی، سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با حجم گلابی‌ها قبل از ضربه داشته است.

وزنه 350 گرمی: با توجه به شکل 6 بیشترین میزان حجم

گلابی‌ها قبل از ضربه $187/71 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 10 روزه و کمترین مقدار در $143/3 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 15 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی، سطح رویه و درصد کاهش حجم همبستگی مثبت و معنی‌داری با حجم گلابی‌ها قبل از ضربه داشته است.

وزنه 400 گرمی: با توجه به شکل 6 بیشترین میزان حجم گلابی‌ها قبل از ضربه $178/98 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 5 روزه و کمترین مقدار در $152/01 \text{ Cm}^3$ در دوره انبارداری 15 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی، سطح رویه و درصد کاهش حجم همبستگی مثبت و معنی‌داری با حجم گلابی‌ها قبل از ضربه داشته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از همبستگی (جدول 2) حجم گلابی‌ها قبل از ضربه با میزان درصد پوسیدگی برای هر سه وزنه همبستگی منفی و غیر معنی‌داری را داشته است. این همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که حجم گلابی قبل از ضربه با درصد پوسیدگی رابطه عکس دارد. همانطور که در شکل 6 نیز مشاهده می‌شود با افزایش حجم میوه‌ها در دوره 10 روزه میزان درصد پوسیدگی کمتر از دوره 15 روزه است یعنی میزان حجم گلابی‌های این دوره کمتر بوده است. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش حجم گلابی‌ها زمانی که ضربه به آنها وارد می‌شود ضربه در حجم بیشتری پخش شده و همین امر سبب می‌شود که میزان کمتری از بخش ضربه خورده دچار کبودی شود ولی در گلابی‌ها کوچکتر میزان ضربه در بخش کمتری از میوه پخش می‌شود

و همین امر سبب افزایش میزان کبودی در گلابی می‌گردد. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج عابدی و احمدی (2013) بر روی سیب است.



شکل 6- تاثیر حجم گلابی قبل از ضربه بر میزان پوسیدگی

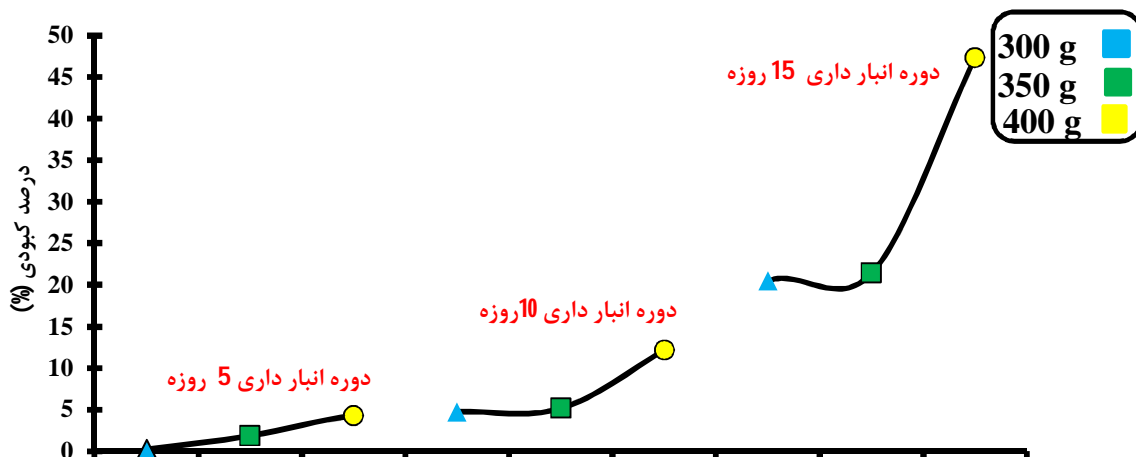
با توجه به جدول 2 وزن قبل از ضربه و درصد کاهش وزن همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد کاهش حجم گلابی داشته است.

وزنه 350 گرمی: با توجه به شکل 7 بیشترین درصد کاهش حجم گلابی 53/83% در دوره انبارداری 10 روزه و کمترین مقدار در 40/66% در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی، سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری و با درصد کاهش وزن همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد کاهش حجم گلابی داشته است.

تاثیر درصد کاهش حجم بر میزان پوسیدگی

با توجه جدول 1 اثر متقابل میزان وزنه ضربه در دوره انبارداری برای درصد کاهش حجم گلابی در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است و برای وزنه ضربه و دوره انبارداری به تنهایی معنی‌دار نشده است.

وزنه 300 گرمی: با توجه به شکل 7 بیشترین میزان حجم گلابی‌ها قبل از ضربه 48/12% در دوره انبارداری 15 روزه و کمترین مقدار در 39/19% در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین



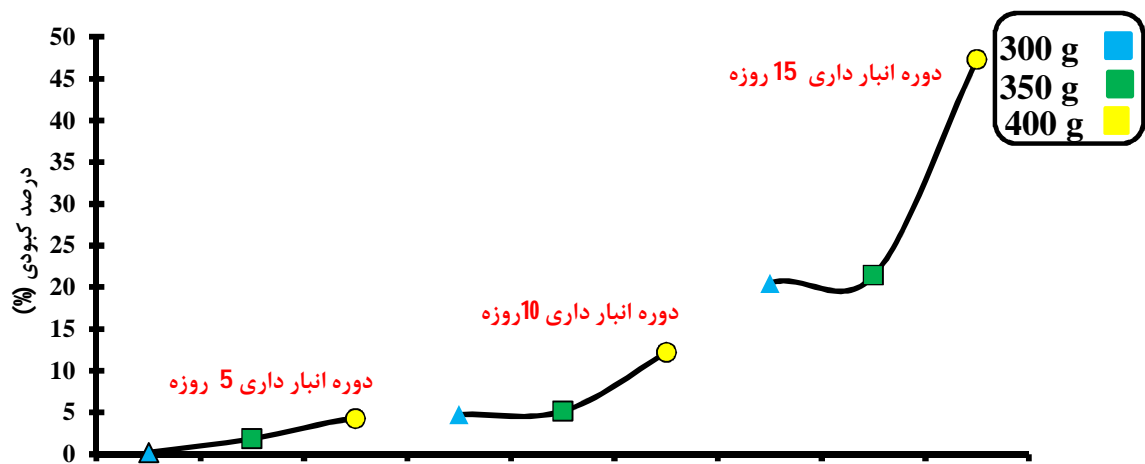
شکل 7- تاثیر درصد کاهش حجم بر میزان پوسیدگی

برای دو وزنه دیگر معنی‌دار نشده است. همانطور که در شکل 7 نیز مشاهده می‌شود با افزایش درصد کاهش حجم گلابی‌ها در دوره 15 روزه میزان درصد پوسیدگی افزایش یافته است. با افزایش میزان وزن وزنه‌ها، درصد آسیب‌های درونی به میوه گلابی افزایش یافته است و همین افزایش آسیب‌های درونی سبب انجام فعالیت‌های درونی میوه می‌گردد که همین امر سبب کاهش میزان حجم گلابی شده و این کاهش حجم نسبت به حجم اولیه نشان‌دهنده آسیب‌های درونی بیشتر می‌گردد که در طی انبارداری این کاهش به وضوح مشاهده می‌شود. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج شفیعی و همکاران (2015) بر روی انار بوده است

وزنه 400 گرمی: با توجه به شکل 7 بیشترین میزان درصد کاهش حجم گلابی 51/33% در دوره انبارداری 5 روزه و کمترین مقدار در 41/76% در دوره انبارداری 10 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 قطر هندسی، قطر معادل، قطر حسابی، سطح رویه همبستگی مثبت و معنی‌داری درصد کاهش حجم گلابی داشته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از همبستگی (جدول 2) درصد کاهش حجم گلابی با میزان درصد پوسیدگی برای هر سه وزنه همبستگی مثبت را داشته است و این همبستگی مثبت نشان‌دهنده این است که درصد کاهش حجم گلابی با درصد پوسیدگی رابطه مستقیم دارد. همچنین میزان همبستگی برای وزنه 350 گرمی معنی‌دار شده است و

وزنه 300 گرمی: با توجه به شکل 8 بیشترین میزان وزن گلابی‌ها قبل از ضربه 151/65 g در دوره انبارداری 15 روز و کمترین مقدار در 127/28 g در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 درصد کاهش حجم و درصد کاهش وزن یک همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن گلابی‌ها قبل از ضربه معنی‌دار داشته است.

تاثیر وزن گلابی قبل از ضربه بر میزان پوسیدگی
با توجه جدول 1 وزن گلابی قبل از ضربه در دوره‌های انبارداری در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است و برای وزنه ضربه و اثر متقابل معنی‌دار نشده است.



شکل 8- تاثیر وزن گلابی قبل از ضربه بر میزان پوسیدگی

وزنه 400 گرمی: با توجه به شکل 8 بیشترین میزان حجم گلابی‌ها قبل از ضربه 143/87 g در دوره انبارداری 15 روزه و کمترین مقدار در 123/03 g در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 هیچ کدام یک از پارامترها با وزن گلابی‌ها قبل از ضربه معنی‌دار نشده است.

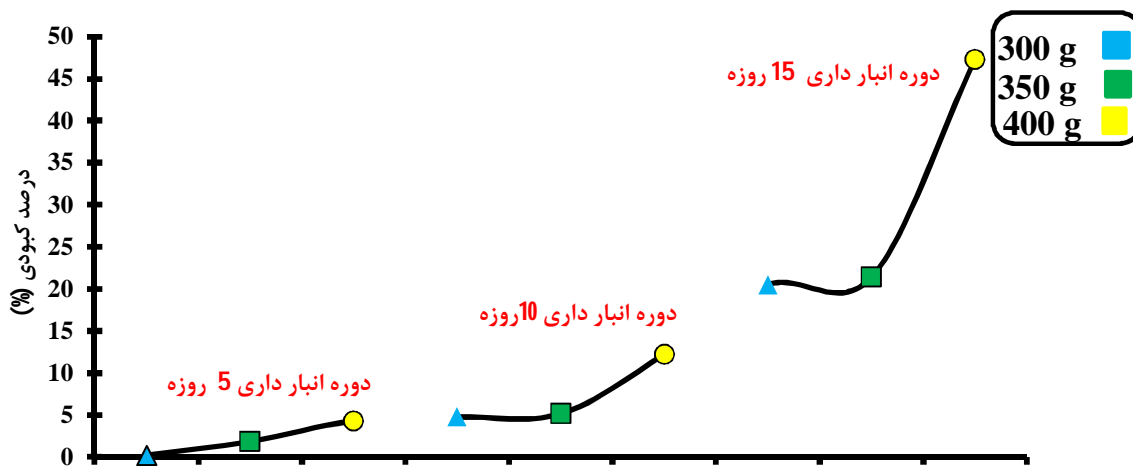
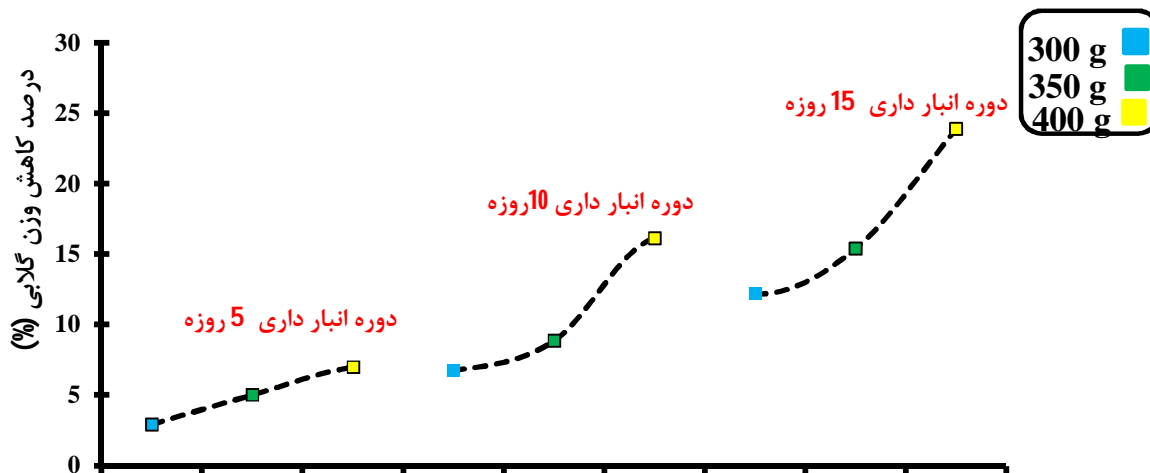
وزنه 350 گرمی: با توجه به شکل 8 بیشترین میزان وزن گلابی‌ها قبل از ضربه 134/9 g در دوره انبارداری 10 روزه و کمترین مقدار در 124/67 g در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 هیچ کدام یک از پارامترها با وزن گلابی‌ها قبل از ضربه معنی‌دار نشده است.

طی مدت انبارداری کاهش یابد و هرچه وزن گلابی بیشتر باشد نیز میزان آب بیشتری درون بافت میوه قرار دارد و در طی انبارداری میزان آب بیشتری از بافت آن خارج می‌شود که همین امر سبب کاهش میزان وزن گلابی‌ها شده است

تاثیر درصد کاهش وزن گلابی بر میزان پوسیدگی

با توجه جدول 1 درصد کاهش وزن گلابی در دوره‌های انبارداری و وزنه ضربه در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است و اثر متقابل آنها در سطح 5 درصد معنی‌دار شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول 2) وزن گلابی‌ها قبل از ضربه با میزان درصد پوسیدگی برای هر سه وزنه همبستگی مثبت و غیرمعنی‌داری را داشته است و این همبستگی مثبت نشان‌دهنده این است که وزن گلابی قبل از ضربه با درصد پوسیدگی رابطه مستقیم دارد. در شکل 8 رابطه بین درصد پوسیدگی و میزان وزن گلابی‌ها قبل از ضربه نشان داده شده است. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که با وجود ضربه به گلابی فعالیت‌های آنزیمی درونی درون میوه گلابی افزایش می‌یابد و همچنین در طی مدت انبارداری نیز میزان آب در درون بافت گلابی خارج شده و سبب می‌شود که میزان وزن گلابی در



شکل 9- تاثیر درصد کاهش وزن گلابی بر میزان پوسیدگی

پوسیدگی افزایش یافته که این امر سبب تغییر بافت میوه شده یعنی بافت میوه نسبت به حالت قبل سبکتر شده است که به همین دلیل وزن محصول گلابی کاهش یافته است. نتایج به دست آمده مشابه نتایج Abiso و همکاران (2016) بر روی انبارداری گوجه‌فرنگی گزارش کردند که میزان کاهش وزن با افزایش دوره انبارداری افزایش یافته است (Abiso et al., 2015).

نتیجه‌گیری

– با توجه به نتایج به دست آمده در بارگذاری دینامیکی یک رابطه غیرمستقیم بین حجم قبل از بارگذاری و درصد کبودی وجود داشته است و هرچه میزان حجم اولیه گلابی‌ها کمتر باشد میزان درصد کبودی نیز افزایش پیدا کرده است.

– در بارگذاری دینامیکی درصد کاهش حجم یک رابطه مستقیم با حجم قبل از بارگذاری داشته است. در واقع درصد کاهش تابعی از حجم اولیه گلابی بوده است.

– دوره انبارداری 5 روزه وزنه 300 گرمی تاثیر چشم‌گیری را بر درصد پوسیدگی نداشته است در واقع می‌توان این گونه بیان کرد که در این دوره میزان حجم و وزن گلابی‌ها تاثیر بر میزان کبودی نداشته است. و باید در دوره‌های 7 الی 10 روزه میزان تاثیر حجم و وزن قبل از ضربه بر میزان درصد کبودی را مقایسه کرد.

– وزن گلابی‌ها قبل از ضربه و درصد کاهش وزن با میزان درصد پوسیدگی یک رابطه مثبت را داشته است. با افزایش میزان وزن گلابی مقدار درصد پوسیدگی نیز افزایش یافته است. در واقع با افزایش دوره انبارداری میزان درصد کاهش وزن گلابی‌ها افزایش یافته است و در یک دوره انبارداری ثابت نیز با افزایش میزان وزن وزنه‌ها میزان درصد پوسیدگی نیز افزایش یافته است.

وزنه 300 گرمی: با توجه به شکل 9 بیشترین میزان درصد کاهش وزن 12/21% در دوره انبارداری 15 روزه و کمترین مقدار در 2/96% در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 درصد کاهش حجم و درصد کاهش وزن یک همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد کاهش وزن گلابی معنی‌دار داشته است.

وزنه 350 گرمی: با توجه به شکل 9 بیشترین میزان درصد کاهش وزن 14/25% در دوره انبارداری 10 روزه و کمترین مقدار در 9/80% در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 درصد کاهش حجم یک همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد کاهش وزن گلابی معنی‌دار داشته است.

وزنه 400 گرمی: با توجه به شکل 9 بیشترین میزان درصد کاهش وزن 23/80% در دوره انبارداری 15 روزه و کمترین مقدار در 6/95% در دوره انبارداری 5 روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول 2 هیچ کدام یک از پارامترها با درصد کاهش وزن گلابی معنی‌دار نشده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول 2) درصد کاهش وزن گلابی با درصد پوسیدگی برای هر سه وزنه همبستگی مثبت داشته است و برای وزنه‌های 350 و 400 گرم این همبستگی معنی‌دار و برای وزنه 300 گرمی این همبستگی معنی‌دار نشده است و این همبستگی مثبت نشان‌دهنده این است که درصد کاهش وزن با درصد پوسیدگی رابطه مستقیم دارد. در شکل 9 رابطه بین درصد پوسیدگی و میزان درصد کاهش وزن گلابی نشان داده شده است. دلیل این امر را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با افزایش میزان کبودی در میوه گلابی میزان رطوبت (محتویات آبی) درون گلابی خارج شده و محصول به سمت خشک تر شدن می‌رود و همچنین با افزایش زمان انبارداری هم میزان

منابع

- Abedi, G., and E. Ahmadi. 2013. Design and Evaluation a Pendulum Device to Study Postharvest Mechanical Damage in Fruits : Bruise Modeling of Red Delicious Apple. *Australian Journal of Crop Science* 7, no. 7: 962–968.
- Abera, M.K., P. Verboven, E. Herremans, T. Defraeye, S.W. Fanta, Q.T. Ho, J. Carmeliet, and B.M. Nicolai. 2014. 3D Virtual Pome Fruit Tissue Generation Based on Cell Growth Modeling. *Food and Bioprocess Technology* 7, no. 2 (February 25): 542–555.
- Abiso, E., N. Atheesh*, and H. Addisalem. 2015. Effect of storage methods and ripening stages on postharvest quality of tomato (*lycopersicom esculentum* mill) CV. Chali effect of storage methods and ripening stages on postharvest Tomato (*Lycopersicom Esculentum* L.) Is Botanically Classified as a Fr. *Annals. Food Science and Technology* 16, no. 1: 127–137.
- Ahmadi, E., H.R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam, and S.Z. Neshat. 2010. The Effect of Impact and Fruit Properties on the Bruising of Peach. *Journal of Food Engineering* 97, no. 1: 110–117.
- Azadbakht, M., H. Aghili, A. Ziaratban, and M. Vehedi Torshizi. 2017. Application of Artificial Neural Network (ANN) in Drying Kinetics Analysis for Potato Cubes. *Carpathian Journal Of Food Science And Technology* 17, no. 4: 167–180.
- Babic, L., S. Matic-Kekic, N. Dedovic, M. Babic, and I. Pavkov. 2012. Surface Area and Volume Modeling of the Williams Pear (*Pyrus Communis*). *International Journal of Food Properties* 15, no. 4: 880–890.

- Brusewitz, G.H., and J.A. Bartsch. 1989. Impact Parameters Related to Post Harvest Bruising of Apples. *Transactions of the ASAE* 32, no. 3: 953.
- Brusewitz, G.H., T.G. McCollum, and X. Zhang. 1991. Impact Bruise Resistance of Peaches. *Transactions of the ASAE* 34, no. 3: 962–965.
- Diels, E., M. van Dael, J. Keresztes, S. Vanmaercke, P. Verboven, B. Nicolai, W. Saeys, H. Ramon, and B. Smeets. 2017. Assessment of Bruise Volumes in Apples Using X-Ray Computed Tomography. *Postharvest Biology and Technology* 128: 24–32.
- Ganiron, T.U. 2014. Size Properties of Mangoes Using Image Analysis. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology* 6, no. 2: 31–42.
- Hazbavi, E., M.H. Khoshtaghaza, A. Mostaan, and A. Banakar. 2015. Effect of Storage Duration on Some Physical Properties of Date Palm (Cv. Stamaran). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14, no. 2: 140–146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.001>.
- Idah, P.A., E.S.A. Ajisegiri, and M.G. Yisa. 2007. An Assessment of Impact Damage to Fresh Tomato Fruits. *AU Journal of Technology* 10, no. 4: 271–275.
- Kabas, O. 2010. Methods of Measuring Bruise Volume of Pear (*Pyrus Communis* L.). *International Journal of Food Properties* 13, no. 5: 1178–1186.
- Kotwaliwale, N., P.R. Weckler, G.H. Brusewitz, G.A. Kranzler, and N.O. Maness. 2007. Non-Destructive Quality Determination of Pecans Using Soft X-Rays. *Postharvest Biology and Technology* 45, no. 3: 372–380.
- Mohammad Shafie, M., A. Rajabipour, S. Castro-García, F. Jiménez-Jiménez, and H. Mobli. 2015. Effect of Fruit Properties on Pomegranate Bruising. *International Journal of Food Properties* 18, no. 8: 1837–1846.
- Opara, U.L., and P.B. Pathare. 2014. Bruise Damage Measurement and Analysis of Fresh Horticultural Produce-A Review. *Postharvest Biology and Technology* 91: 9–24.
- Pathare, P.B., U.L. Opara, C. Vigneault, M.A. Delele, and F.A.J. Al-Said. 2012. Design of Packaging Vents for Cooling Fresh Horticultural Produce. *Food and Bioprocess Technology* 5, no. 6: 2031–2045.
- Peleg, K., and S. Hinga. 1986. Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation. *Transactions of the ASAE* 29, no. 2: 633–641.
- Sabzi, S., P. Javadikia, H. Rabani, and A. Adelkhani. 2013. Mass Modeling of Bam Orange with ANFIS and SPSS Methods for Using in Machine Vision. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 46, no. 9: 3333–3341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.06.005>.
- Shahbazi, F., and S. Rahmati. 2013. Mass Modeling of Sweet Cherry (*Prunus Avium* L) Fruit with Some Physical Characteristics. *Food and Nutrition Sciences* 4, no. January: 1–5.
- Soltani, M., R. Alimardani, and M. Omid. 2011. Modeling the Main Physical Properties of Banana Fruit Based on Geometrical Attributes. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering* 2, no. 2: 1–6. www.ijmse.org.
- Stropek, Z., and K. Gołacki. 2015. A New Method for Measuring Impact Related Bruises in Fruits. *Postharvest Biology and Technology* 110: 131–139.
- Zarifneshat, S., A. Rohani, H.R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, E. Ahmadi, and M. Zarifneshat. 2012. Predictions of Apple Bruise Volume Using Artificial Neural Network. *Computers and Electronics in Agriculture* 82: 75–86.



Determination of the relationship between volume and weight of pear fruit with bruise due to impact load loading using non-destructive CT scan

M. Azadbakht^{1*}, M. J. Mahmoodi², M. Vahedi Torshizi²

Received: 2018.04.27

Accepted: 2018.12.30

Introduction: The study of relationship between physical properties such as mass and volume and other physical properties, such as geometric dimensions, has been the subject of numerous studies by researchers. The fruit size, shape and mass are important in sorting and measuring fruits, and it determines that the fruits can be put in boxes of transport or plastic bags by a specific size. Damage to the fruit may be due to various causes, including Impact, pressure and vibration, all of which cause physical damage at moment or at storage time, the amount of damages depends on location of impact, the size and volume. Also, the volume and physical properties of agricultural products are very important for storage. On the other hand, cell damage and forces involved in fruits reason bruising in fruits, which can be controlled by physical properties. Quality assessment is usually carried out using a combination of destructive and non-destructive methods, generally done by the product manufacturers or the first purchasers, and includes the separation of materials based on specific size and weight. Among non-destructive methods used, the use of CT and X-rays, which allow a person to examine bruises at different times in the fruit, is increasing. Due to the fact that mass and volume of fruits for storage, transportation, packaging and etc are of great importance, in this research, the relationship between pear fruit volume and mass with bruise percentage during the storage period was studied using non-destructive CT scan tests due to dynamic loads.

Materials and methods: Firstly, the pendulum and the required masses were made in a workshop. The fruits were placed in the desired position and then the device arm was raised to the desired angle (90°), and in the controlled state of the arm impact the pear. The pendulum had a 200 g and three different attachment masses of 100, 150, and 200 g for knocking. It should be noted that air resistance and friction were neglected through this procedure. In this research, via CT scan, the relationship between mass and volume of pears (Before and after the impact) due impact loading and storage times with bruise was investigated. Before loading and storing, 50 pears were examined using Scan CT and 27 pears with zero bruise percentage were selected, the next chosen pears were subjected to impact loading with a pendulum with three weight of 300, 350 and 400 g and 5, 10 and 15 days storage was used to investigate the effect of impact on pears. Then, after impact and storing, with the use of CT scan in each period of storage, the rate of pear bruise was calculated.

Results and Discussion: The pears volume before impact with the bruise percentage for all three weights had a negative and non-significant correlation and the decrease pear mass percentage with the bruise percentage for all three weights has a positive correlation and pears mass before impact with the bruise percentage for all three weights had a positive and non-significant correlation. Any decrease in pear mass percentage had a positive correlation with caries percentage for all three weights. The correlation test showed that with the increase in pear volume, the bruise percentage was decreased and a direct correlation was found between the decreasing percentage volume and the bruise percentage. –also The effect of 5-day storage duration was found considerable on the bruise percentage subject to the exertion of 350 g and higher impact rates

Keywords: Pear, CT scan, Non-destructive, bruise, volume

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

(* Correspondence Author Email: azadbakht@gau.ac.ir)