

Determination of Pear Bruises Due to Impact Loading via Computed Tomography Scan Method and Relation Them with Physical Properties Pear

MOHSEN AZADBAKHT¹, MOHAMMAD VAHEDI TORSHIZI², MOHAMMAD JAVAD MAHMOODI³

1. Associate Professor, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. MSc. Student, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. MSc. Student, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: Apr. 22, 2018- Revised: March. 19, 2019- Accepted: March. 26, 2019)

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 dynamic loading force and storing, 45 pears were examined using Scan CT and 27 pears with zero bruise percentage were selected and 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, next selected pears were subjected to dynamic loading with three mass of weights 300, 350 and 400 g and 5, 10 and 15 days storage was used to investigate the effect of impact on pears. Then, after dynamic 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 diameter, equivalent diameter and surface area with the bruise percentage. Also a direct and unreasonable relationship between the spherical coefficient and aspect ratio and the percentage of bruising was absorbed. Also, according to the results obtained for mass weighing 300 g or less in 5-day storage period, the amount of geometric diameter, arithmetic and equivalent diameter, spherical and aspect ratio on percentage of bruising were not significantly affected and percentage of bruising can be almost zero and with increasing amount mass weighing and storage, the above parameter's will affect the percentage of bruising.

Key words: Pear, Computed Tomography Scan, Dynamic loading force, physical Properties, bruise

تعیین کبودی گلابی در اثر بار ضربه‌ای با روش توموگرافی رایانه‌ای و ارتباط آن با مشخصه‌های فیزیکی گلابی

محسن آزادبخت^{۱*}، محمد واحدی ترشیزی^۲، محمد جواد محمودی^۳

۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱/۱۶)

چکیده

در این پژوهش با کمک آزمون غیر مخرب توموگرافی رایانه‌ای به بررسی ارتباط بین مشخصه‌های فیزیکی گلابی در اثر نیروی بارگذاری دینامیکی و دوره انبارداری با مقدار کبودی پرداخته شده است. قبل از بارگذاری و انبارداری تعداد ۴۵ گلابی با استفاده از سی تی اسکن بررسی شده و تعداد ۲۷ گلابی که درصد کبودی آن‌ها صفر بود انتخاب شدند و ابعاد گلابی‌ها (طول، عرض، ضخامت) اندازه‌گیری شد و مشخصه‌های فیزیکی مانند قطر معادل، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، مساحت سطح رویه و ضریب رعنائی محاسبه گردید، سپس گلابی‌های انتخابی تحت بارگذاری دینامیکی با وزنه‌های به جرم ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ گرم قرار گرفت و انبارداری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه برای بررسی تأثیر ضربه‌های وارده بر گلابی‌ها انتخاب شد. سپس بعد از بارگذاری و انبارداری با استفاده از سی تی اسکن در هر دوره از انبارداری میزان کبودی گلابی‌ها محاسبه گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بین قطر هندسی، حسابی و قطر معادل و نیز سطح رویه با درصد کبودی یک رابطه معکوس برقرار است. همچنین برای ضریب کرویت و رعنائی با درصد کبودی یک رابطه مستقیم و غیر معنی‌دار برقرار است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده برای جرم وزنه‌های ۳۰۰ گرم و کمتر از آن 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 تقریباً می‌توان درصد کبودی را صفر در نظر گرفت و با افزایش میزان جرم وزنه‌ها و دوره انبارداری میزان موارد فوق بر روی میزان درصد کبودی تأثیرگذار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گلابی، توموگرافی رایانه‌ای، بارگذاری دینامیکی، مشخصه‌های فیزیکی

مقدمه

مقداری عددی که به آن‌ها داده می‌شود باعث کنترل راحت‌تر محصولات کشاورزی می‌گردد (Chakespari, et al., 2010). 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 و میوه‌ها با ظاهری مناسب سبب افزایش صادرات می‌گردد (Ganiron 2014). بررسی روابط بین مشخصه‌های فیزیکی مانند جرم، حجم و ابعاد میوه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و موضوع تحقیق بسیاری از محققین بوده است (Soltani, et al., 2011). با توجه به اینکه گلابی محصولی است که حساس به ضربه می‌باشد و دارای خصوصیات آسیب‌پذیری است، دانستن برخی از مشخصه‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن برای بهینه‌سازی ساخت تجهیزات کشاورزی، حمل‌ونقل و همچنین بسته‌بندی ضروری

یک برداشت خوب، حمل‌ونقل و انبارداری محصولات کشاورزی و فرایندهای تبدیلی این مواد نیازمند اطلاعات عمیقی درباره مشخصه‌های فیزیکی محصولات کشاورزی دارد. اندازه و شکل اغلب در محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. اندازه و مشخصه‌های فیزیکی برای جداسازی بسیار مهم هستند (Hazbavi, et al., 2015). از این رو در دهه‌های اخیر مطالعات متعددی برای انجام روش دقیق ارزیابی محصولات غذایی انجام شده است و دلیل این امر افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان و توجه ویژه آن‌ها به کیفیت داخلی میوه، از جمله طراوت، شیرینی و محتوای تغذیه‌ای است (Liu and Ying, 2007; Massah, et al., 2017). از سوی دیگر محصولات کشاورزی خصوصیات منحصر به فردی دارند که آن‌ها را از مواد مهندسی مجزا می‌کند. این خصوصیات کیفی میوه‌ها و

گلابی‌های رقم Santa Maria بیشتر از رقم دیگر است (Ozturk, et al., 2009).

تحقیقات مشابهی بر روی سایر محصولات کشاورزی انجام شده است که برخی از آن‌ها در ذیل آمده است: در تحقیقی بر روی بارگذاری ضربه‌ای و مشخصه‌های میوه هلو بر میزان کبودی، گزارش کردند که شعاع انحنای میوه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر کبودی اثر داشته است (Ahmadi, et al., 2010). در تحقیقی دیگر با مطالعه بر روی ارقام و اندازه میوه بر حساسیت کبودی سیب و برخی از مشخصه‌های فیزیکی میوه سیب به این نتیجه دست یافتند که با افزایش میزان اندازه و حجم سیب‌ها میزان کبودی‌ها افزایش یافته و این امر باعث کاهش کیفیت در سیب‌ها می‌گردد (Gharaghani and Shahkoomahally 2018). همچنین در آزمایش بر روی سطح ضربه و خصوصیات میوه سیب بر میزان کبودی گزارش کردند که شعاع انحنای سیب بر میزان کبودی در سطح ۵ درصد تأثیرگذار است (Zarifneshat et al., 2010). دیگر محققین بر روی میزان حساسیت کبودی و مشخصه‌های مهندسی هلو گزارش کردند که رقم دارای تأثیر معنی‌دار 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 (Tabatabaekoloor, 2013).

هدف از انجام این تحقیق تعیین رابطه مشخصه‌های 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 بار ضربه‌ای با کمک آزمون غیر مخرب توموگرافی رایانه‌ای می‌باشد تا بتوان ارتباط بین ابعاد هندسی میوه‌ها و ضربه با درصد کبودی برآورد شود که این امر باعث بهبود زمان انباری داری میوه‌ها در فروشگاه‌ها و یا انبارهای ذخیره‌سازی میوه‌ها می‌گردد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

میوه‌های گلابی رقم اسپادانا از بازارهای گرگان - استان گلستان - ایران تهیه شدند و نمونه‌ها به آزمایشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان آورده و شسته شدند. نمونه‌ها در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت درون آون قرار گرفتند و سپس رطوبت آن‌ها در این آزمایش بر اساس استانداردها اندازه‌گیری (Azadbakht et al., 2017) شد. میزان رطوبت گلابی‌ها ۷۷/۹۲٪ بود.

در این آزمایش تعداد ۴۵ عدد گلابی برای آزمایش انتخاب گردید و از این گلابی‌ها با استفاده از روش غیر مخرب توموگرافی

است (Ozturk et al., 2009). همچنین اطلاعات مربوط به مشخصه‌های فیزیکی گلابی در ذخیره‌سازی و تبدیل آن به فراورده‌های مختلف مانند مربا، کنسرو، پودر شربت و... مختلف بسیار مهم است. خسارت ناشی از برداشت، بارگیری، حمل و مرتب‌سازی میوه‌ها به‌عنوان یک منبع عمده کاهش کیفیت میوه‌ها و در نتیجه از دست دادن سود برای کشاورزان و صنعت میوه بوده است (Ganai, et al., 2016).

همچنین خسارت ناشی از میوه ممکن است به دلایل مختلفی از جمله ضربه، فشار و ارتعاش باشد که تمامی این موارد باعث خسارت فیزیکی در همان لحظه و یا در زمان انبارداری می‌گردد. میزان خسارت وارد ه بستگی به محل واردسازی ضربه، اندازه و بلوغ میوه ارتباط دارد (Babic, et al., 2012; Opara and Pathare, 2014). 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 به‌منظور بررسی تأثیر شرایط بارگذاری ضربه و شبه استاتیکی در طی برداشت و پس از برداشت از میوه، سبزی‌ها و دیگر مواد منشأ زیستی بر آسیب‌های مکانیکی انجام شده است (Stropek and Gołacki, 2015). همچنین برخی از محققان معتقد هستند که شاید بر اثر ضربات با نیروی کم اتفاقی در میوه موردنظر نیافتد اما زمانی که بخشی از میوه موردنظر در حین ضربه آسیب فیزیکی می‌بینید در طی فرایند نگهداری مسلماً کبودی قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود (Opara and Pathare, 2014). همچنین سطح و خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی برای ذخیره‌سازی نیز اهمیت بسیار زیادی دارد از طرفی آسیب‌های سلولی و نیروی‌های وارده به میوه‌ها باعث می‌شود که کبودی در میوه‌ها رخ دهد که با بررسی مشخصه‌های فیزیکی می‌توان این عامل را کنترل کرد (Abera, et al., 2014).

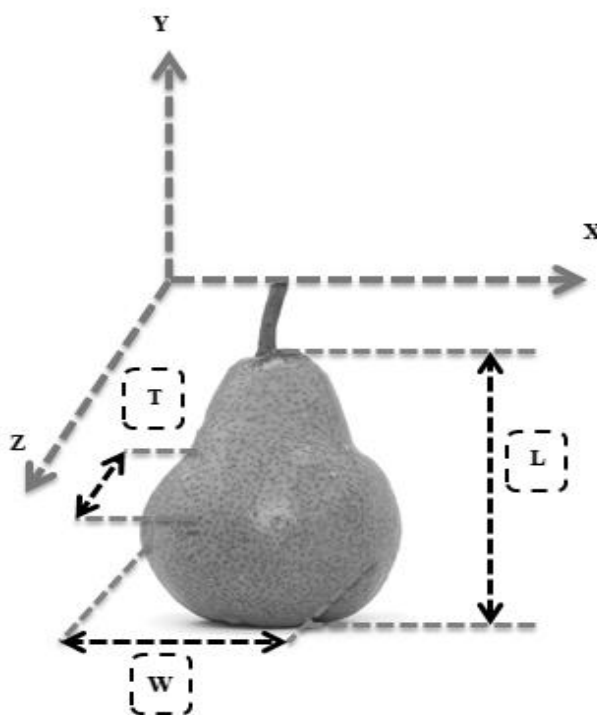
تحقیقاتی به شرح زیر برای مشخصه‌های فیزیکی گلابی انجام شده است:

محققین بر روی مشخصه‌های فیزیکی گلابی گزارش کردند که با کاهش محتویات رطوبتی گلابی از ۸۹/۹۱ درصد به ۴۴/۹۹٪، طول گلابی از ۷۱/۹۳ به ۶۳/۲۷، عرض از ۵۷/۵۷ به ۴۸/۱۰ mm و ضخامت از ۵۲/۰۸ به ۴۴/۹۹ mm کاهش یافته است. همچنین این کاهش در قطر میانگین هندسی ۵۹/۶۸ به ۰۸/۵۱ mm و ضریب گردی ۰/۸۳۱ به ۰/۸۰۹ مشاهده شده است (Kabas, et al., 2006).

محققین دیگر بر روی خصوصیات فیزیکی دو رقم گلابی به این نتیجه رسیدند که جرم، رقم، طول، عرض، حجم و جرم

تعیین مشخصه های فیزیکی

برای تعیین مشخصه های فیزیکی گلابی قبل و بعد از ضربه نمونه های انتخاب شده با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. برای اندازه گیری میانگین ابعاد گلابی های 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 اندازه گیری شد. در شکل زیر نحوه محاسبه قطر گلابی ها نشان داده شده است.



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

رایانه ای تصویربرداری گردید و تعداد ۲۷ گلابی که هیچ کبودی در درون خود نداشتند انتخاب شد. سپس گلابی ها پس از ضربه وارده در سه دوره ۵، ۱۰ و ۱۵ روز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انبار شدند. میوه ها تحت شرایط محیطی انبارداری 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، رطوبت نسبی ۶۶ درصد بود.

قطر معادل D_p ، قطر میانگین هندسی D_g ، ضریب کرویت Θ ، مساحت سطح رویه S و ضریب گردی \emptyset و R ضریب رعنائی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

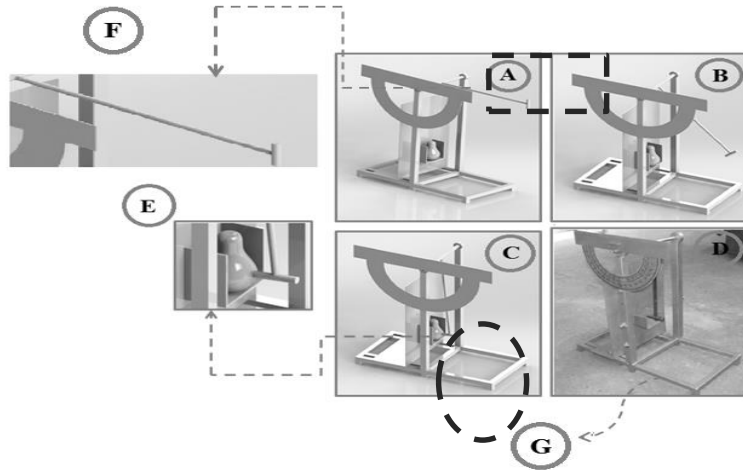
جدول ۱. روابط قطر معادل D_p ، قطر میانگین هندسی D_g ، ضریب کرویت Θ ، مساحت سطح رویه S و ضریب گردی \emptyset و R ضریب رعنائی برای گلابی

منبع	شماره فرمول	فرمول
Busari and Olaoye 2016	(۲)	$D_p = \left(\frac{L(W+T)^2}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$
Seifi and Alimardani 2010	(۳)	$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}}$
Obi and Offorha 2015	(۴)	$\emptyset = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L}$
Kheiralipour et al. 2008	(۵)	$S = \frac{\pi B L^2}{2L - B}$
Li, Li, and Liu 2010	(۶)	$B = (WT)^{0.5}$
Karababa 2006	(۷)	$R = \left(\frac{W}{L} \right) \times 100$

درجه) بالا برده شد و در حالت کنترل شده بازو رها و به گلابی برخورد کرد. دستگاه آونگ دارای بازوی ۲۰۰ گرمی و سه وزنه متصل مختلف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ گرم برای ضربه زدن بود. لازم به ذکر است از مقاومت هوا و اصطکاک صرف نظر شده است.

آزمون ضربه

ابتدا پاندول و وزنه‌های مورد نیاز در کارگاه گروه مکانیک بیوسیستم گرگان ساخته شد (شکل ۲). سپس میوه‌ها در محل مورد نظر قرار داده شد و بازوی دستگاه تا زاویه مورد نظر (۹۰



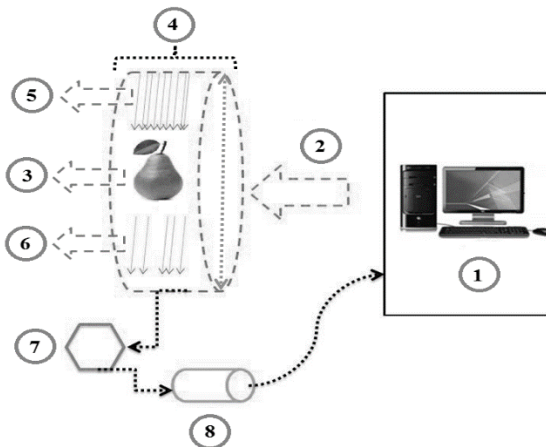
شکل ۲. طرحواره دستگاه ضربه

A: پاندول در زاویه ۹۰ درجه B: پاندول در حال طی کردن مسیر C: برخورد پاندول به گلابی D: نمایی اصلی دستگاه E: محل قرارگیری گلابی F: پاندول ضربه زن G: بدنه دستگاه

تابیده شده از گلابی رد شد (شکل ۳ - شماره ۵ و ۶) و نورهای رد شده از گلابی به وسیله بلوره‌های موجود در درون محفظه توموگرافی رایانه‌ای جذب می شود (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 می شود. در شکل ۴ فرایند تصویربرداری توموگرافی رایانه‌ای نشان داده شده است.

تصویربرداری با روش توموگرافی رایانه‌ای

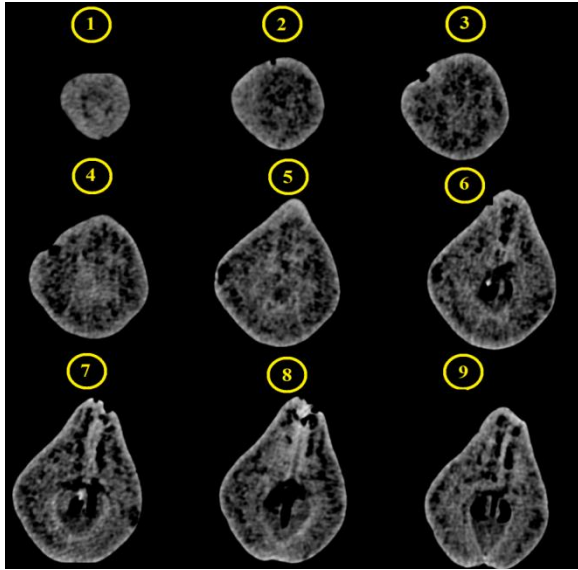
برای انجام تصویربرداری، ۵، ۱۰ و ۱۵ روز پس از بارگذاری دینامیکی گلابی‌ها به محل آزمایش برده شد و پس از راه اندازی دستگاه توموگرافی رایانه‌ای از طریق اتاق کنترل (شکل ۳ - شماره ۱) به درون محفظه توموگرافی رایانه‌ای قرار داده شد (شکل ۳ - شماره ۳) و از طریق لوله اشعه (شکل ۳ - شماره ۴) اشعه‌های ایکس به سمت گلابی‌ها تابیده شد (شکل ۳ - شماره ۵). مقداری از این انرژی‌ها جذب گلابی گردید و مابقی اشعه‌های



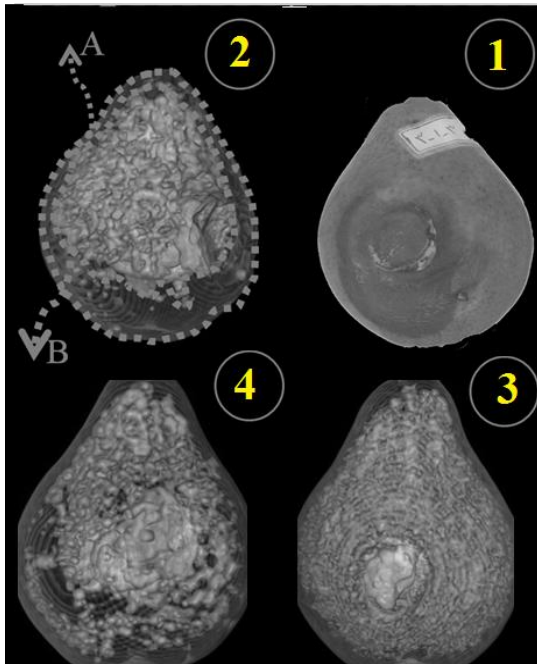
شکل ۳. فرایند تصویربرداری توموگرافی رایانه‌ای

۱- اتاق کامپیوتر ۲- محل ورودی دستگاه ۳- محل قرارگیری محصول ۴- لوله اشعه ۵- اشعه پرتاب شده ۶- اشعه رد شده از محصول ۷- کریستال‌های گیرنده اشعه ۸- تبدیل کننده نوری

تصویر تا رسیدن به تصویر نهایی در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین تصویر بازسازی شده دوبعدی گلابی نیز در شکل ۶ نشان داده شده است که می توان این تصویر را به دو قسمت بافت سالم و بافت کبود تقسیم بندی کرد. در شکل ۶ شماره ۱ محل کبودی در گلابی و شماره ۲ تصویر ایجاد شده توسط توموگرافی رایانه ای است.



شکل ۵. مراحل ساخت تصویر توموگرافی رایانه ای



شکل ۶. نمای دوبعدی گلابی قبل و بعد از پردازش تصویر

کبودی در تصویر واقعی ۲ - کبودی در تصویر پردازش شده (A): بخش پوسیده گلابی (B): بخش سالم گلابی) ۳- تصویر میوه در روز اول بارگذاری ۴- تصویر بعد از انبار داری

هر گلابی با دستگاه Computed Tomography (CT) Siemens Somatom Emotion 16 slice مدل اسکن شد. این دستگاه ساخت کشور المان بوده و از دستگاه های CT نسل سوم محسوب می شود که در آن تونل^۱ و آشکارگر^۲ 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 کیلو ولت 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 بیان می کند B31Smooth بوده و تصاویر به وسیله ماتریس های ۵۱۲ در ۵۱۲ تشکیل گردیده است.



شکل ۴. دستگاه توموگرافی رایانه ای استفاده شده در تحقیق

هدف از فاصله زمانی های 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 می تواند 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 اندازه گیری و ثبت گردید (Diels et al. 2017). همچنین درصد کبودی هر گلابی با استفاده از نسبت حجم کبودی به حجم کل هر گلابی محاسبه شد و با زمان ضربه در نرم افزار صفحه گستر اکسل ثبت شد. در شکل ۵ 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 سه بعدی تصویربرداری شد. مراحل تکمیل هر

هندسی در گلابی‌ها ۶۹/۹۶ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۶۸/۲۷ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۳۵۰ گرمی: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها ۷۱/۰۹ mm در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۶۵/۲۷ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۴۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان قطر هندسی در گلابی‌ها ۶۹/۹۱ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۶۶/۱۱ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر معادل، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر هندسی گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر هندسی با میزان درصد کبودی برای هر سه وزنه ضربه معنی دار نشده و همبستگی منفی داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که قطر هندسی با درصد کبودی رابطه عکس دارد و با افزایش میزان قطر هندسی در گلابی‌های ضربه ضربه‌ای میزان درصد کبودی کاهش پیدا کرده است.

تجزیه و تحلیل آماری

نمونه‌ها پس از بارگذاری‌های در سه دوره ۵، ۱۰ و ۱۵ روز انبار شدند. 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 نرم افزار آماری SAS تحلیل شدند. همچنین آنالیز همبستگی نیز با استفاده از همین نرم افزار انجام شد.

نتایج و بحث

مشخصه‌های فیزیکی

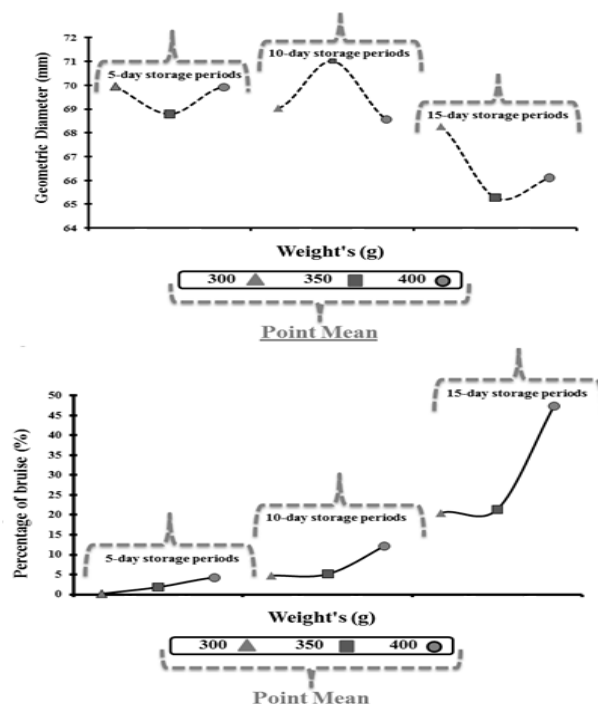
نتایج تجزیه واریانس مشخصه‌های فیزیکی گلابی شامل قطر هندسی، معادل، سطح رویه، ضریب رعنایی و ضریب کرویت در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۳ نشان دهنده رابطه همبستگی بین پارامترهای قطر هندسی، معادل، حسابی، ضریب کرویت و رعنایی، سطح رویه و درصد کبودی برای حالت ضربه‌ای با وزنه ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ گرم بوده است.

تأثیر قطر هندسی بر درصد کبودی

با توجه به جدول ۲ اثر قطر هندسی بر درصد کبودی گلابیدر دوره‌های انبارداری در سطح پنج درصد معنی دار شده است و برای وزنه ضربه و اثر متقابل قطر هندسی معنی دار نشده است.

وزنه ۳۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان قطر



شکل ۷. درصد کبودی و میزان قطر هندسی گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر مشخصه های فیزیکی بر روی درصد کبودی گلابی

ضریب کرویت	قطر متوسط حسابی		قطر متوسط هندسی		ضریب رعنائی		سطح رویه		قطر معادل		انبار
	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	
۰/۸۵ ^{ns}	۰/۰۰۱۱	۵/۰۸*	۲۷/۴۱	۴/۹۸*	۲۶/۸۵۱	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۰۰۱۳	۴/۷۹*	۴۷۸۴۷۴۶/۰۶۰	۴/۸۰*	۹۹۹/۱۵
۱/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱۴	۰/۳۸ ^{ns}	۲/۰۷۳	۰/۳۷ ^{ns}	۲/۰۱۵	۱/۴۲ ^{ns}	۰/۰۰۴	۰/۳۷ ^{ns}	۳۶۶۸۷۷/۹۷۶	۰/۳۸ ^{ns}	۷۹/۱۰
۰/۸۲ ^{ns}	۰/۰۰۱۱	۱/۲۸ ^{ns}	۶/۹۰۵	۱/۰ ^{ns}	۵/۷۷۰	۱/۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۳	۱/۰۹ ^{ns}	۱۰۸۵۰۲۱/۴۳۴	۱/۰۹ ^{ns}	۲۲۲/۹۵
۰/۰۰۱۳		۵/۳۹۴		۵/۳۹۱		۰/۰۰۳۱		۹۹۸۸۸۳		۲۰۸/۱۸	

** معنی داری در سطح آماری ۱ درصد، ** معنی داری در سطح آماری ۵ درصد، ns نشان دهنده عدم معنی داری

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

۳۰۰ g						
درصد کبودی	سطح رویه	ضریب رعنائی	ضریب کرویت	قطر هندسی	قطر حسابی	قطر هندسی
						۱
						۰/۹۹۹**
					۱	۰/۹۹۸**
			۱	-۰/۵۱۳ ^{ns}	۵۶۳ ^{ns} -۰/	-۰/۵۱۶ ^{ns}
		۱	۰/۹۲۲**	-۰/۴۹۳ ^{ns}	-۰/۵۳۸ ^{ns}	-۰/۵۰۱ ^{ns}
	۱	-۰/۵۰۰	-۰/۵۱۵ ^{ns}	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۸**	۰/۹۹۹**
		۰/۳۴۸ ^{ns}	۰/۳۵۱ ^{ns}	-۰/۶۲۹ ^{ns}	۰/۷۱۵*	-۰/۶۳۸ ^{ns}
۱	-۰/۶۲۱ ^{ns}					
۳۵۰ g						
درصد کبودی	سطح رویه	ضریب رعنائی	ضریب کرویت	قطر هندسی	قطر حسابی	قطر هندسی
						۱
						۰/۹۹۵**
					۱	۰/۹۹۹**
			۱	-۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۹۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}
		۱	۰/۹۴۳**	۰/۱۱۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۱۱۵ ^{ns}
	۱	۰/۱۰۶ ^{ns}	-۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۵**	۰/۹۹۹**
		۰/۱۶۲ ^{ns}	۰/۴۵۱ ^{ns}	-۰/۵۵۳ ^{ns}	-۰/۵۹۰ ^{ns}	-۰/۵۵۵ ^{ns}
۱	-۰/۵۵۰					
۴۰۰ g						
درصد کبودی	سطح رویه	ضریب رعنائی	ضریب کرویت	قطر هندسی	قطر حسابی	قطر هندسی
						۱
						۰/۹۹۵**
					۱	۰/۹۹۹**
			۱	۰/۱۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}
		۱	۰/۹۴۸**	۰/۳۳۸ ^{ns}	۰/۳۳۹ ^{ns}	۰/۳۲۹ ^{ns}
	۱	۰/۳۳۹ ^{ns}	۰/۱۲۱۹۹ ^{ns}	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۹**
		۰/۱۵۵ ^{ns}	۰/۱۸۲ ^{ns}	-۰/۵۸۳ ^{ns}	-۰/۶۰۵ ^{ns}	-۰/۵۸۹ ^{ns}
۱	-۰/۵۸۷ ^{ns}					

وزنه ۳۵۰ گرمی: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۲۹۹/۳۴ mm در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۲۶۳ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۴۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۲۹۲/۳۷ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۲۶۹/۱۵ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی،

تأثیر قطر معادل بر درصد کبودی

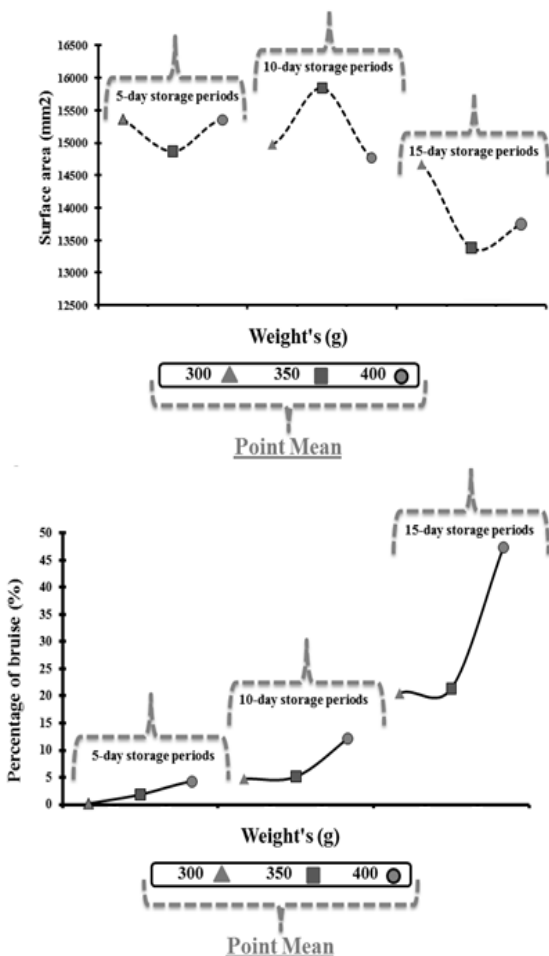
با توجه جدول ۲ قطر معادل گلابی در دوره‌های انبارداری در سطح ۵ درصد معنی دار شده است و برای وزنه ضربه و اثر متقابل قطر معادل معنی دار نشده است.

وزنه ۳۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۸ بیشترین میزان قطر معادل در گلابی‌ها ۲۹۲/۵۶ mm در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۲۸۲/۶۱ mm در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل و قطر حسابی همبستگی مثبت و معنی داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۴۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۹ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها 153531 mm^2 در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار 13748 mm^2 در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل و قطر حسابی همبستگی مثبت و معنی داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از همبستگی (جدول ۳) سطح رویه با میزان درصد کبودی برای هر سه وزنه ضربه معنی دار نشده و همبستگی منفی داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که قطر معادل با درصد کبودی رابطه عکس دارد، یعنی با افزایش میزان قطر معادل در گلابی‌های ضربه ضربه‌ای میزان درصد کبودی کاهش پیدا کرده است.



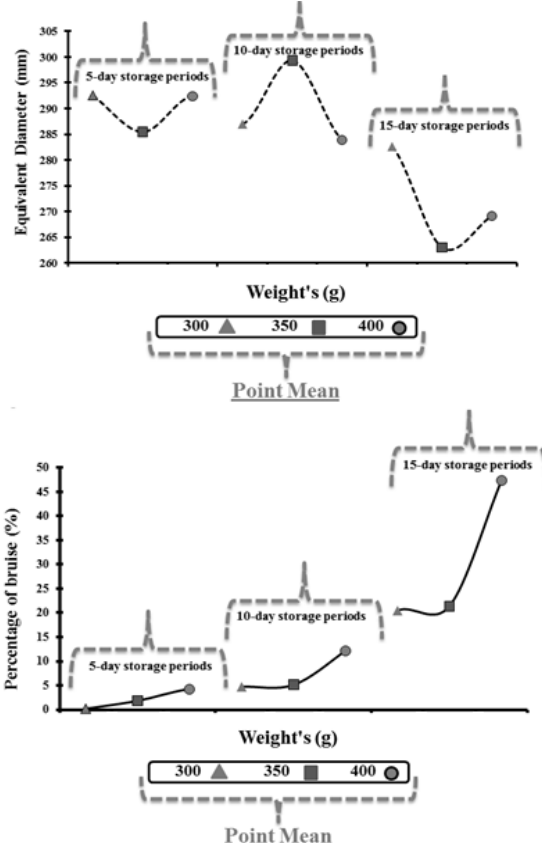
شکل ۹. درصد کبودی و میزان سطح رویه گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی

تأثیر ضربه رعنائی بر درصد کبودی

با توجه جدول ۲ ضربه کروییت برای هیچ کدام از پارامترهای دوره انباری داری، وزنه‌ی ضربه و اثر متقابل آن‌ها معنی دار نشده است.

قطر حسابی و سطح رویه همبستگی مثبت و معنی داری با قطر معادل گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از همبستگی (جدول ۳) قطر معادل با میزان درصد کبودی برای هر سه وزنه ضربه معنی دار نشده و همبستگی منفی داشته است که این همبستگی منفی نشان دهنده این است که قطر معادل با درصد کبودی رابطه عکس دارد، یعنی با افزایش میزان قطر معادل در گلابی‌های ضربه ضربه‌ای میزان درصد کبودی کاهش پیدا کرده است.



شکل ۸. درصد کبودی و میزان قطر معادل گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی

تأثیر سطح رویه بر درصد کبودی

با توجه جدول ۲ سطح رویه گلابی در دوره‌های انبارداری در سطح پنج درصد معنی دار شده است و برای وزنه ضربه و اثر متقابل قطر هندسی معنی دار نشده است.

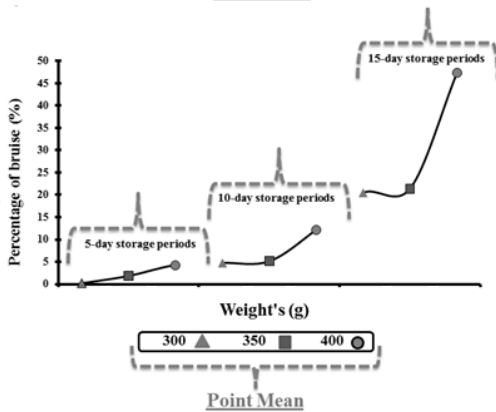
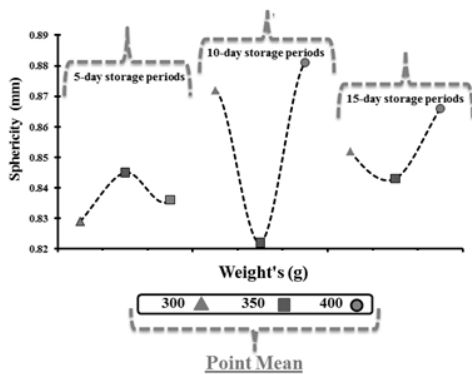
وزنه ۳۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۹ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها 215365 mm^2 در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار 14669 mm^2 در دوره انباری داری ۱۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ قطر هندسی، قطر معادل و قطر حسابی همبستگی مثبت و معنی داری با سطح رویه گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۳۵۰ گرمی: با توجه به شکل ۹ بیشترین میزان سطح رویه در گلابی‌ها 158444 mm^2 در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار 13383 mm^2 در دوره انباری داری ۱۵ روزه

تأثیر ضریب کرویت بر درصد کبودی

با توجه جدول ۲ ضریب کرویت برای هیچ کدام از پارامترهای دوره انباری داری، وزنه‌ی ضربه و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشده است. وزنه ۳۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۱ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۷۲ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۰/۸۲۹ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب رعنائی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۳۵۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۱ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۴۵ در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۰/۸۲۲ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب رعنائی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.



شکل ۱۱. درصد کبودی و میزان ضریب کرویت گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی

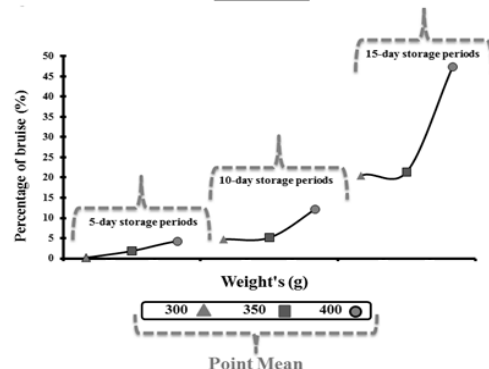
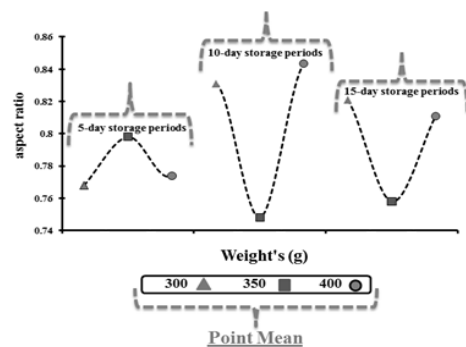
وزنه ۴۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۱ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۸۱ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۰/۸۳۶ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب رعنائی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی (جدول ۳)

وزنه ۳۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۰ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۳۱ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۰/۷۶۰ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب کرویت همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۳۵۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۰ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۷۹۸ در دوره انبارداری ۵ روز و کمترین مقدار ۰/۷۴۸ در دوره انباری داری ۱۰ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب کرویت همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

وزنه ۴۰۰ گرمی: با توجه به شکل ۱۰ بیشترین میزان ضریب رعنائی در گلابی‌ها ۰/۸۴۳ در دوره انبارداری ۱۰ روز و کمترین مقدار ۰/۷۷۴ در دوره انباری داری ۵ روزه مشاهده شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ فقط ضریب کرویت همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رعنائی گلابی‌ها داشته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از همبستگی (جدول ۳) ضریب رعنائی با میزان درصد کبودی برای هر سه وزنه ضربه معنی‌دار نشده و همبستگی مثبت داشته است اما با توجه به شکل زیر می‌توان مشاهده کرد که باینکه این میزان برای وزنه‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ گرمی دوره ۱۰ روزه بیشترین مقدار است اما درصد کبودی برای دوره ۱۵ روزه بیشتر بوده است که می‌توان این‌گونه این امر را توضیح داد که دوره انبارداری تأثیر بیشتری را بر میزان درصد کبودی داشته است.



شکل ۱۰. درصد کبودی و میزان ضریب رعنائی گلابی در اثر بارگذاری دینامیکی

و ضریب کرویت و رعنائی هیچ همبستگی معنی‌داری نسبت به درصد کبودی نداشته است.

سطح رویه با میزان کبودی یک همبستگی منفی داشته است و با افزایش سطح رویه میزان درصد کبودی کاهش یافته است. این همبستگی نیز معنی‌دار نشده است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که میزان قطر هندسی، قطر حسابی، قطر معادل، سطح رویه، ضریب گردی و ضریب رعنائی برای وزنه‌های زیر ۳۰۰ گرم تفاوت چندانی در دوره انبارداری کوتاه‌مدت (کمتر) برای درصد کبودی ایجاد نمی‌کنند.

در دوره انبارداری طولانی میزان قطر هندسی، قطر حسابی، قطر معادل، سطح رویه، ضریب گردی و ضریب رعنائی در وزنه‌های بارگذاری مختلف بر میزان درصد کبودی گلابی تأثیر دارد.

REFERENCES

- Abera, M. K., Verboven, P., Herremans, E., Defraeye, T., Fanta, S. W., Ho, Q. T., ... Nicolai, B. M. (2014). 3D Virtual Pome Fruit Tissue Generation Based on Cell Growth Modeling. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 542–555. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1127-3>
- Ahmadi, E., Ghassemzadeh, H. R., Sadeghi, M., Moghaddam, M., & Neshat, S. Z. (2010). The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.024>
- Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., & Vehedi Torshizi, M. (2017). Application of Artificial Neural Network (ANN) in Drying Kinetics Analysis for Potato Cubes. *CARPATIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 17(4), 167–180. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19981100164>
- Babic, L., Matic-Kekic, S., Dedovic, N., Babic, M., & Pavkov, I. (2012). Surface area and volume modeling of the williams pear (*Pyrus Communis*). *International Journal of Food Properties*, 15(4), 880–890. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.506020>
- Busari, R. A., & Olaoye, J. O. (2016). Selected physical properties of African pear seed for considering in design of mechanical expeller. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(8), 5463–5468.
- Chakespari, Ag., Rajabipour, A., & Mobli, H. (2010). Mass modeling of two apple varieties by geometrical attributes. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 1(3), 112
- Diels, E., van Dael, M., Keresztes, J., Vanmaercke, S., Verboven, P., Nicolai, B., ... Smeets, B. (2017). Assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. *Postharvest Biology and Technology*, 128, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.013>
- Ganai, S. A., Ahsan, H., Tak, A., Mir, M. A., Rather, A. H., & Wani, S. M. (2016). Effect of maturity stages and postharvest treatments on physical properties of apple during storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(2), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.001>
- Ganiron, T. U. (2014). Size properties of mangoes using image analysis. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, 6(2), 31–42. <https://doi.org/10.14257/ijbsbt.2014.6.2.03>
- Gharaghani, A., & Shahkoomahally, S. (2018). Cultivar and fruit size influence bruise susceptibility and some physical properties of apple fruit. *Iran Agricultural Research*, 37(1).
- Hazbavi, E., Khoshtaghaza, M. H., Mostaan, A., & Banakar, A. (2015). Effect of storage duration on some physical properties of date palm (cv. Stamaran). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2), 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.001>
- Kabas, O., Ozmerzi, A., & Akinci, I. (2006). Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus india* L.) grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.016>
- Karababa, E. (2006). Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.028>
- Kheiralipour, K., Tabatabaeefar, A., Mobli, H., Rafiee, S., Sharifi, M., Jafari, A., & Rajabipour, A. (2008). Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple (*Malus domestica* Borkh L.). *Int. Agrophysics*, 22(1), 225–229. Retrieved from www.international-agrophysics.org

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت برای وزنه‌های ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ گرم میزان قطر هندسی، حسابی، معادل یک همبستگی منفی با درصد کبودی داشته است همچنین برای این وزنه‌های ضریب گردی و ضریب رعنائی یک همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری را داشته است. برای قطر هندسی، حسابی، معادل

- Li, Z., Li, P., & Liu, J. (2010). Effect of tomato internal structure on its mechanical properties and degree of mechanical damage. *Journal of Biotechnology*, 9(12), 1816–1826.
- Liu, Y., & Ying, Y. (2007). Noninvasive Method for Internal Quality Evaluation of Pear Fruit Using Fiber-Optic FT-NIR Spectrometry. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 877–886. <https://doi.org/10.1080/10942910601172042>
- Massah, J., Hajiheydari, F., & Derafshi, M. H. (2017). Application of Electrical Resistance in Nondestructive Postharvest Quality Evaluation of Apple Fruit. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 1031–1039.
- Obi, O. F., & Oforha, L. C. (2015). Moisture-dependent physical properties of melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seed and kernel relevant in bulk handling. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1020743>
- Opara, U. L., & Pathare, P. B. (2014). Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.009>
- Ozturk, I., Ercisli, S., Kalkan, F., & Demir, B. (2009). Some chemical and physico-mechanical properties of pear cultivars. *Journal of Biotechnology*, 8(4), 687–693
- Seifi, M. R., & 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(5), 170–178.
- Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2011). Modeling the Main Physical Properties of Banana Fruit Based on Geometrical Attributes. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 2(2), 1–6. Retrieved from www.ijmse.org
- Stropek, Z., & Gołacki, K. (2015). A new method for measuring impact related bruises in fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.005>
- Tabatabaekolour, R. (2013). Engineering properties and bruise susceptibility of peach fruits (*Prunus persica*). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(4), 244–252.
- Zarifneshat, S., Ghassemzadeh, H. R., Sadeghi, M., Abbaspour-Fard, M. H., Ahmadi, E., Javadi, A., & Shervani-Tabar, M. T. (2010). Effect of impact level and fruit properties on golden delicious apple bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(2), 114–121. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>