



## بررسی آسیب مکانیکی در میوه‌های هسته دار مطالعه موردی گیلاس تک دانه مشهدی

حسن صدرنیا<sup>۱\*</sup>، حمید محمدی نژاد<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*نویسنده مسئول: email:hassan.sadrnia@um.ac.ir

۲- کارشناس گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

با تعیین و اعمال حداقل نیروی فشاری در طی عملیات جابجایی میوه‌ها می‌توان آسیب مکانیکی را به طور قابل توجهی کاهش داد. آسیب مکانیکی باعث افزایش نرخ تنفس و تسریع در اضمحلال میوه‌ها می‌گردد. حساسیت میوه‌های هسته‌دار به دلیل وجود هسته سخت در دورن آنها بسیار بیشتر از سایر میوه‌ها است. در این تحقیق ابتدا خواص فیزیکی و مکانیکی گیلاس شامل وزن، قطرهای اصلی، شکل، مدول الاستیسیته، تنش شکست، کرنش شکست پوست و گوشت میوه بر اساس استانداردهای موجود با ۲۰ تکرار تعیین گردید. سپس بارگذاری فشاری شبه استاتیکی با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه بر روی نمونه‌های کامل میوه گیلاس در سطوح ۴، ۲، ۶، ۸ و ۱۰ نیوتن صورت گرفت و ناحیه لهیدگی پس از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. همچنین مدل‌های اجزای محدود میوه برای بررسی لهیدگی داخلی در بارگذاری‌های مختلف بررسی شدند. نتایج نشان داد گیلاس تک دانه مشهدی با میانگین ابعاد اصلی به ترتیب قطر بزرگ  $28 \pm 0.8$  mm، قطر کوچک  $23 \pm 1.0$  mm و ارتفاع  $25 \pm 1.1$  mm و وزن  $10.6 \pm 0.8$  گرم نسبت به سایر ارقام گیلاس دارای اندازه و وزن بسیار بالاتری است. نتایج آزمون مکانیکی نشان داد مقدار مجاز بارگذاری فشاری بر روی هر گیلاس  $2/8$  نیوتن است.

**واژه‌های کلیدی:** تنش شکست بافت، مدول الاستیسیته، پوست میوه، مدل اجزای محدود.

### مقدمه

گیلاس یکی از محصولات استراتژیکی و صادراتی شهرستان مشهد است. این محصول از جمله میوه‌های ناخودرس است که به عملیات پس از برداشت حساس بوده و دارای عمر پس از برداشت کوتاهی است. یکی از دلایل پایین بودن عمر پس از برداشت این محصول حساسیت زیاد آن به آسیب مکانیکی است. علت این امر بافت نرم و وجود هسته سخت در قسمت مرکزی آن است. باید توجه داشت که لهیدگی سر آغاز و یا تشدید کننده عوامل بیماری‌زا نیز است. به منظور جلوگیری از آسیب به بافت نرم میوه در حین حمل و نقل و ایجاد شرایط ایمن لازم است بارهای وارده به محصول از مقدار مجاز تجاوز ننماید.

بلاهوک ۱۹۹۹ ضریب مقاومت به لهیدگی و حساسیت به لهیدگی را در دو رقم گیلاس کوردیا<sup>۱</sup> و سم<sup>۲</sup> مورد مطالعه قرار دادند. ایشان گزارش دادند مقاومت به لهیدگی گیلاسهای مورد مطالعه در محدوده ۹۳-۱۸ سانتی متر مکعب بر ژول و حساسیت به

<sup>۱</sup> Kordia



لهیدگی آنها ۷۳-۱۲ سانتی متر مکعب بر ژول انرژی جذب شده است. در مقایسه با مقاومت به لهیدگی و حساسیت به لهیدگی سیب، گیلان حداقل شش برابر کمتر از سیب دارای مقاومت به لهیدگی و حساسیت به لهیدگی است. این نکته از تحقیق ایشان قابل تامل است که گیلان به مراتب نسبت به آسیب‌های مکانیکی حساس تر از سایر میوه‌ها است لیکن به دلیل تیرگی رنگ پوست و گوشت گیلان، لهیدگی آن به سرعت قابل تشخیص نمی‌باشد.

تیم و همکاران (۱۹۹۶) دستگاه غیرمخرب پرتابلی را برای اندازه‌گیری سفتی بافت گیلان طراحی و ساختند. ایشان با استفاده از این دستگاه توانستند گیلانهای آسیب دیده را با دقت بسیار خوبی از گیلانهای سالم جدا نمایند. این دستگاه همچنین توانایی تشخیص سطح رسیدگی و بلوغ گیلان را دارا بود. نتایج تحقیق ایشان نشان داد میوه گیلان سالم دارای سفتی معادل ۴۸۹ نیوتن بر متر و گیلانهای تحت تیمار سقوط بر سطح پلاستیکی دارای سفتی ۴۲۱، ۳۴۵ و ۲۹۹ نیوتن بر متر به ترتیب برای یکبار، دوبار و سه بار سقوط از ارتفاع ۷۵ سانتیمتری بودند. در تحقیقی دیگر یونس و دیویس (۱۹۹۵) یک سنسور دینامیکی برای تعیین سفتی گیلان ساختند و گزارش نمودند سفتی اندازه‌گیری شده توسط سنسور مطابقت خوبی با آزمایش‌های نیرو-تغییر شکل و حس انسان دارد.

عمادپور و همکاران (۲۰۰۹) تاثیر گراندولهای نانوزئولیت حاوی پرمنگنات پتاسیم بر افزایش عمر انبارمانی و خصوصیات کیفی گیلان تک دانه مشهدی را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش نمودند سفتی گیلانهای شاهد پس از ۳۰ روز انبارمانی از ۱۶/۵ به ۲/۶۱ نیوتن کاهش یافت در حالی که سفتی نمونه‌های تحت تیمار پرمنگنات پتاسیم پس از طی این مدت به ۶/۰۴ نیوتن کاهش یافت که در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر بود. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد پرمنگنات پتاسیم موجب حفظ سفتی طی دوره انبارمانی شده است.

بررسی منابع نشان داد در خصوص آسیب مکانیکی میوه گیلان تحقیقات کمی صورت گرفته است. از طرفی تعیین آستانه آسیب دیدگی گیلان تحت فشارهای مکانیکی برای حمل و نقل ایمن محصول مورد نیاز است. هدف از این تحقیق انجام آزمایشات دقیق مکانیکی بر روی بخشهای مختلف میوه گیلان (پوست، گوشت و هسته) و توسعه مدل اجزای محدود برای تعیین حد آستانه بارهای مکانیکی است.

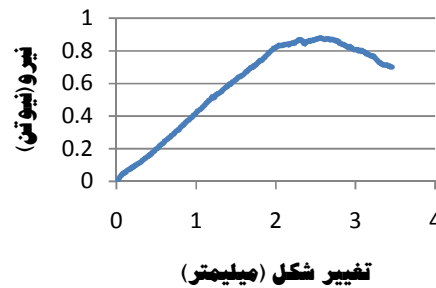
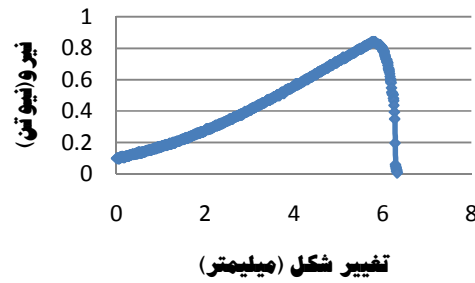
## مواد و روش‌ها

دو سری آزمایش عملی در این تحقیق بر روی گیلان انجام شد. سری اول آزمایش‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌ها برای ایجاد مدل اجزای محدود بود. این آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری ابعاد (سه قطر عمود بر هم؛ قطر بزرگ، قطر کوچک و ارتفاع) و خواص مکانیکی گوشت و پوست (مدول الاستیسیته، تنش شکست و کرنش شکست) هستند. طبق استاندارد آزمون مواد غذایی انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE, 2003) بیست تکرار برای هر آزمایش در نظر گرفته شد. ابعاد به کمک کولیس

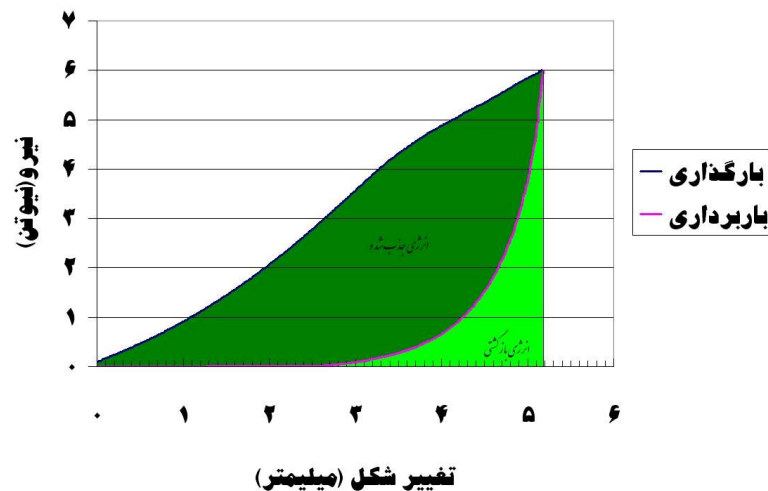
<sup>2</sup> Sam



دیجیتالی با دقت  $0.05/0$  میلی متر اندازه‌گیری شد. آزمایش تعیین خواص مکانیکی با استفاده از دستگاه تست یونیورسال و بر روی سه قسمت پوست، گوشت و هسته انجام شد (شکل ۱). سری دوم آزمایش‌ها با هدف جمع‌آوری داده‌هایی برای ارزیابی مدل المان محدود انجام شد. این آزمایشها شامل بارگذاری در محدوده مختلف از ۲ نیوتن تا پاره شدن پوست انجام شد و نمودارهای نیرو-تغییر شکل و لهیدگی بافت داخلی مورد بررسی قرار خواهند گرفت (شکل ۲ و ۳).



شکل ۱- سمت بالا: آزمون کشش پوست گیلان به ضخامت  $0.3/0$  و ابعاد  $12 \times 8$  میلیمتر سمت پایین: آزمون فشار بر روی گوشت گیلان به قطر ۸ و ارتفاع ۸ میلیمتر

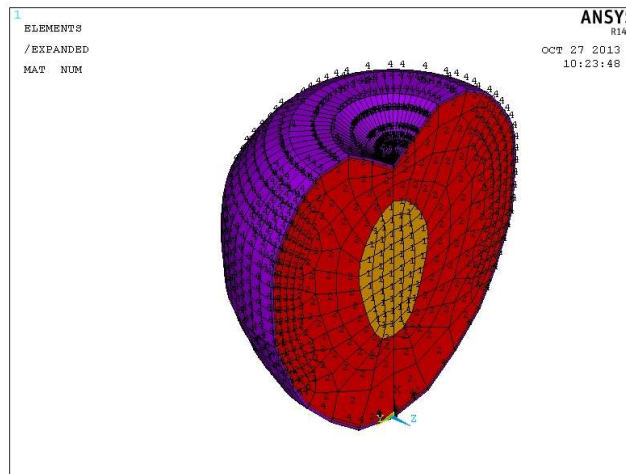


شکل ۲- آزمون بارگذاری و باربرداری بر روی نمونه کامل گیلان به قطر ۲۸ میلیمتر



شکل ۳- لهیدگی داخلی گیلان در اثر بارگذاری فشاری استاتیکی به ترتیب از بالا ۱۰، ۸، و ۶ نیوتن

نرم افزار شبیه سازی مهندسی انسیس (نسخه ۱۴/۰) جهت مدل سازی و انجام تحلیل اجزای محدود مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴). در میان قابلیت‌های نرم افزار مذکور در تحلیل اجزای محدود، شاخص‌ترین آنها با توجه به اهداف این تحقیق توانایی انجام تحلیل‌های غیر خطی است. مسائلی مانند بارگذاری میوه شامل سه عامل غیر خطی مادی، غیر خطی هندسی (تغییر شکل بزرگ) و غیر خطی شرایط مرزی (تماس) هستند. لذا جهت انجام تحلیل‌های غیرخطی باید بارگذاری به صورت نموی بر روی میوه صورت گرفته و سپس شرایط تعادل در هر نمو لحاظ گردد.



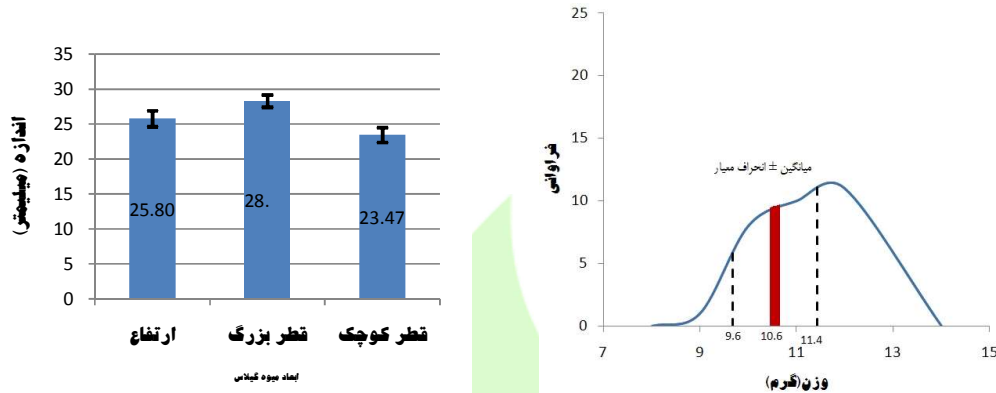
شکل ۴- مدل کامل اجزای محدود گیلان با تفکیک بافتهای اصلی میوه شامل پوست، گوشت و هسته

### نتایج و بحث

بررسی وزن و ابعاد نمونه‌های گیلان مشهدی نشان داد وزن نمونه‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. میانگین وزن نمونه‌ها ۱۰/۶ گرم با انحراف معیار ۰/۸۸ است (شکل ۵). نادری بلداجی وزن شش رقم گیلان را به طور میانگین ۴/۵، ۷/۴، ۵/۴، ۹/۸، ۵/۴ و ۶/۱ گرم به ترتیب برای ارقام مشهد، سیاه مشهد، دورگه کرج، شبستر، سیاه دانشکده و قزوین گزارش نمود. مقایسه وزن



نمونه‌های این تحقیق با نمونه‌های گزارش شده توسط نادری‌بلداجی نشان می‌دهد که وزن نمونه‌های گیل‌اس تک دانه مشهدی بسیار بیشتر از سایر ارقام موجود در ایران است.



شکل ۵- سمت راست: پراکندگی وزنی گیل‌اس تک دانه مشهدی

سمت چپ: میانگین و انحراف معیار قطرهای اصلی گیل‌اس رقم تک دانه مشهدی (تعداد نمونه ۳۰)

نمودار شکل ۵ وضعیت ابعاد اصلی میوه گیل‌اس رقم مورد بررسی در این تحقیق را نشان می‌دهد. میانگین قطر بزرگ ۲۸/۳۳، قطر کوچک ۲۳/۴۷ و ارتفاع نمونه‌ها ۲۵/۸۰ میلیمتر بدست آمد که نسبت به اندازه‌های گزارش شده برای سایر نمونه‌ها در تحقیقات سایر محققین بسیار بیشتر است.

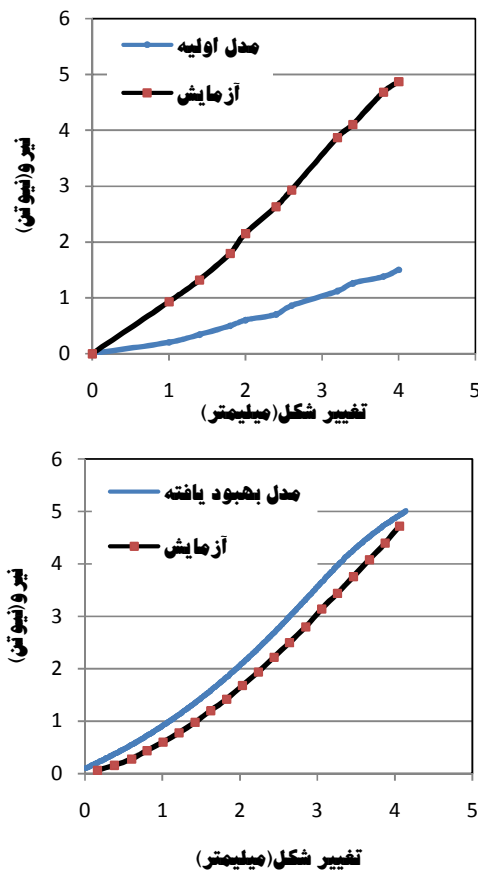
نتایج آزمون مکانیکی روی پوست، گوشت و هسته گیل‌اس در جدول ۱ نشان داده شده است. در تحقیقی که بارگل و همکاران (۲۰۰۴) انجام دادند مدول الاستیسیته گیل‌اس را با استفاده از آزمون کشش دوبعدی  $18 \pm 171$  مگاپاسکال گزارش نموده اند که با نتایج تحقیق حاضر اختلاف زیادی دارد. همچنین در تحقیق ونزیبروک (۲۰۰۵) مدول الاستیسیته پوست سیب ۱۲ مگاپاسکال گزارش شده است. رجبی پور (۱۹۹۵) تنش شکست را برای پوست گوجه فرنگی ۱۰ مگاپاسکال، کرنش شکست و مدول الاستیسیته آن را به ترتیب ۰/۱۱ و ۱۱۰ مگاپاسکال گزارش نمود. با توجه به اینکه تعیین ضخامت پوست نتایج خواص مکانیکی آن را به طور قابل توجهی تغییر می‌دهد می‌توان علت این اختلاف‌ها را در روش تعیین ضخامت پوست دانست.

جدول ۱. خواص مکانیکی پوست و گوشت گیل‌اس تک دانه مشهدی

| خواص مکانیکی بافت     |                |           | خواص مکانیکی پوست     |                |           |              |
|-----------------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------|--------------|
| مدول الاستیسیته (KPa) | تنش شکست (KPa) | کرنش شکست | مدول الاستیسیته (KPa) | تنش شکست (KPa) | کرنش شکست |              |
| ۵۶/۹۲                 | ۱۵/۵۹          | ۰/۲۳      | ۴۹۷                   | ۳۳۲            | ۰/۶۶      | میانگین      |
| ۲۰/۴۹                 | ۵/۸۸           | ۰/۰۶      | ۱۲۳                   | ۱۰۰            | ۰/۱۲      | انحراف معیار |
| ۱۱۷/۸۴                | ۲۶/۵۸          | ۰/۳۵      | ۸۴۶                   | ۵۲۷            | ۰/۸۸      | بیشینه       |
| ۳۰/۱۵                 | ۵/۵۷           | ۰/۱۱      | ۲۹۰                   | ۱۵۶            | ۰/۴۱      | کمینه        |



نتایج بارگذاری بر روی مدل‌های اجزای محدود بدست آمده از پارامترهای هندسی و خواص مکانیکی جدول ۱ در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در مدل اجزای محدود که از میانگین مدول الاستیسیته و تنش شکست استفاده شده است اختلاف مدل با آزمایش واقعی بسیار زیاد است. علت این امر را می‌توان نحوه محاسبه مدول الاستیسیته ارائه شده در استاندارد ASAE (ASAE,2003) دانست. برخی محققین دیگر نیز گزارش دادند مدول الاستیسیته و تنش محاسبه شده توسط روابط ارائه شده استاندارد ASAE دارای اشکال است. در مواردی گزارش شده است که باید مدول الاستیسیته تا  $2/5$  برابر مقدار محاسبه شده در نظر گرفته شود. در این تحقیق مدل بهبود یافته با استفاده از ضریب ۳ در مدول الاستیسیته و تنش شکست محاسبه شده در جدول ۱ ایجاد شد.

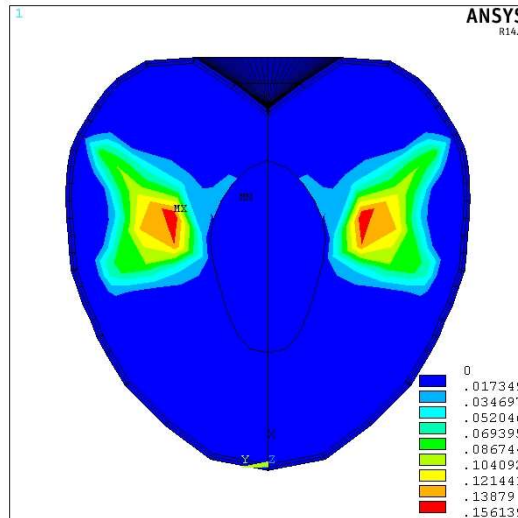


شکل ۵- مقایسه نتایج مدل اولیه و مدل بهبود یافته با آزمایش عملی بارگذاری استاتیکی بر گیلان رقم تک دانه مشهدی

همچنین باید توجه داشت که در نمونه‌های استفاده شده برای تعیین مدول الاستیسیته و تنش شکست با توجه به کوچک بودن نمونه‌ها و آسیب سولهای محیط بیرونی استوانه، سطح مقطع در نظر گرفته شده باید کمتر از سطح مقطع استوانه نمونه‌گیر باشد.



با استفاده از مدل بهبود یافته سطح ناحیه لهیدگی در بارگذاریهای مختلف بدست آمد (شکل ۶). نتایج نشان داد اولین آثار لهیدگی داخلی در تغییر شکل ۲/۵ میلیمتر و نیروی ۲/۸ نیوتن اتفاق می افتد که حجم لهیدگی آن معادل ۱۹۵ میلیمتر مکعب است. لذا در عملیات پس از برداشت گیلاس باید حداکثر نیروی فشاری با استفاده از ضریب اطمینان مناسب کمتر از ۲/۸ نیوتن بر روی هر گیلاس باشد.



شکل ۶- بررسی لهیدگی داخلی با استفاده از مدل بهبود یافته. سمت راست نمونه واقعی بارگذاری شده و سمت چپ ناحیه کرنش پلاستیک (لهیدگی) در مدل بهبود یافته

## منابع

- ۱- عمادپور م، ب. قره یاضی، ی. رضایی کلج، آ. عمرانی و س. محمدی. ۱۳۸۸. تاثیر گرانول‌های نانوزئولیت حاوی پرمنگنات پتاسیم بر افزایش عمر انبارمانی و خصوصیات کیفی گیلاس تکدانه مشهد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۱۰:۱۱-۲۶.



- 2- American Society of Agricultural Engineering (ASAE). 2003. ASAE standard, Compression Test of Food Material of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC00.
- 3- Bargel, H., H.C. Spatz, T. Speck and C. Neinhuis. 2004. Two-dimensional tension tests in plant biomechanics--sweet cherry fruit skin as a model system. *Plant Biology*, 6:432-439.
- 4- Blahovec, J. 1999. Bruise resistance coefficient and bruise sensitivity of apples and cherries. *Int. Agrophysics*, 13:315-321.
- 5- Naderiboldaj, M., A. Khadivi khub, A. Tabatabaeefar, M. Ghasemi Varnamkhasti and Z. Zamani. 2008. Some Physical Properties of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Fruit. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3: 513-520.
- 6- Timm, E. J., G. K. Brown, P. R. Armstrong, R. M. Beaudry and A. Shirazi. 1996. Portable instrument for measuring firmness of cherries and berries. *Applied Engineering in Agriculture*. 12:71-77.
- 7- Van Zeebroeck, M. 2005. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling. PhD thesis no. 643. Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven.
- 8- Younce, F. L. and D. C. Davis. 1995. A dynamic sensor for cherry firmness. *Transactions of the ASAE*. 38:1467-1476.





## Mechanical Damage in Stone Fruit in Case Study Mashhad Sweet Cherry Cultivar

Hassan Sadrnia <sup>\*1</sup>, Hamid Mohamadinezhad<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

\*Corresponding author: hassan.sadrnia@um.ac.ir

2- Member of Technical Staff, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad  
 mohamadinezhad@um.ac.ir

### Abstract

Mechanical damage could be considerably reduced by acting minimum compression during handling operations. Mechanical damage increases rate of respiration and senescence processes in plant tissues. Because of hard core, susceptibility of stone fruits are more than others. In this research, some physical and mechanical properties of cherry such as weight, main dimensions, shape, modulus of elasticity, failure stress, failure strain (skin and flesh) were determined according to standard with 20 replications. Then the whole cherry was squeezed by quasi-static load at five levels and after 24 hours its bruise was measured. Also finite element models were developed to estimate internal bruise at different load. The results show that mashhad sweet cherry cultivar have mean major diameter  $28 \pm 0.88$  mm, minor diameter  $23 \pm 1.0$  mm, height  $25 \pm 1.1$  mm and weight  $10.6 \pm 0.88$  grams which are much more than other cherry cultivars. The mechanical results indicate that the threshold compression load is 2.8 N for one cherry.

**Keywords:** failure stress of texture, modulus of elasticity, skin of fruit, finite element model.