



صدمه انباشته در بارگذاری دینامیکی میوه گوجه فرنگی

حسین غفاری^۱، حمیدرضا قاسم زاده^۲، خسرو محمدی قرمزگلی^{۳*}

^۱استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز، Ghaffari@tabrizu.ac.ir

^۲استاد، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز، Ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir

^۳استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز، mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir، نویسنده مسئول

چکیده

پدیده ضربه یکی از علل متداول صدمه مکانیکی در محصول‌های کشاورزی به‌هنگام عملیات مکانیزه می‌باشد. ضربه یکی از انواع بارگذاری دینامیکی می‌باشد که در آن نیرو به صورت آنی بر جسم وارد می‌شود و در صورتی که در یک نقطه به دفعات وارد شود موجب صدمه انباشته در محصول می‌شود. در ابتدا برخی خواص فیزیکی و مکانیکی میوه گوجه فرنگی تحت مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و سپس برای مطالعه صدمه انباشته روی میوه گوجه فرنگی از آونگ مجهز به انکودر جهت تعیین میزان انرژی ضربه ای استفاده شد. جهت تعیین میزان سطوح انرژی ضربه‌ای از سطح انرژی آستانه کوفتگی استفاده گردید. منحنی صدمه انباشته بر حسب تعداد ضربه و انرژی ضربه‌ای بدست آمد. منحنی صدمه انباشته به عنوان یک راهنما برای شرایط بارگذاری ضربه ای در یک نقطه و کوفته شدن و یا عدم کوفتگی حاصل از آن می‌تواند بکار رود بطوری که اگر شرایط ضربه مورد نظر (با مختصات تعداد ضربه و انرژی ضربه‌ای) در پایین منحنی قرار گیرد محصول کوفته نخواهد شد و در غیراین صورت کوفتگی روی می‌دهد.

کلمات کلیدی: آونگ، بارگذاری دینامیکی، صدمه انباشته، میوه گوجه فرنگی

Accumulated Damage in Dynamic Loading of Tomato Fruit

Hossein Ghaffari, Hamid Reza Ghassemzadeh, Khosro Mohammadi Ghermezgoli

Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Ghaffari@tabrizu.ac.ir

Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir

Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz,

Mohammadi.Khosrow@tabrizu.ac.ir, corresponding Author.

ABSTRACT

Impact phenomena is one of the usual mechanical damage reasons during mechanical operations in agricultural products. It is a kind of dynamic loading in which the force exerted on the body instantly and cause the accumulated damage in product if repeated at many times. At first, some physical and mechanical attributes of tomato fruits were determined. Then a pendulum equipped with encoder was used for studying the accumulated Damage on the tomato fruit as well as determining and applying the levels of impact energy. The threshold bruising energy was used to gain the different levels of impact energy levels. Accumulated damage curve was obtained based on the number of impacts and impact energies. It can be used as a guidance to determine bruising and not bruising under conditions of impact loading at one point in many times so that if the conditions of given impact (such as the number of impact and impact energy) placed under the curve, the product will be bruised and vice versa.

Keywords: Accumulated damage, Dynamic loading, Pendulum, Tomato Fruit.



صدمه‌های مکانیکی ناشی از ضربه می‌تواند در خطوط پس از برداشت گوجه‌فرنگی روی دهند. در مدت دو تا سه روز پس از اعمال ضربه، کوفتگی به‌صورت نقاط نرم در روی سطح میوه و هم‌زمان با رسیدن آن به مراکز خرده‌فروشی ظاهر می‌شود. از این‌رو تشخیص صدمه کوفتگی نیازمند ارزیابی دقیق میوه در روزهای پس از وقوع ضربه می‌باشد. وقوع و شدت کوفتگی اکثراً مبتنی بر یک نمره ذهنی برای صدمه کوفتگی قرار دارد که ناحیه ضربه خورده را پس از دو تا سه روز ارزیابی می‌کند. نمره‌ها مبتنی بر ارزیابی حسی است. نواحی که به‌صورت نقاط نرم حس می‌شوند، به‌عنوان کوفتگی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در شبیه‌سازی صدمه‌های مکانیکی ناشی از ضربه در آزمایشگاه، محصول دو تا سه روز پس از تیمار ضربه مورد بررسی قرار می‌گیرد (Allende et al., 2004; M Desmet, Lammertyn, et al., 2004; MichÈLe Desmet et al., 2002; Van linden, Scheerlinck, et al., 2006).

با فرض این‌که مواد بیومهندسی رفتار مکانیکی مشابه سایر مواد مهندسی از خود نشان دهند، تئوری صدمه انباشتگی بر فرضیاتی به شرح ذیل در مورد این مواد که تحت تأثیر تنش‌های معکوس‌شونده یا تنش‌های سیکلی قرار می‌گیرند بیان می‌گردد.

۱- گسیختگی مواد بر اساس کل انرژی جذب شده توسط آن‌ها بیان می‌گردد.

۲- کل انرژی مورد نیاز جهت گسیختگی (انرژی شکست) بستگی به تنش اعمال شده و یا میزان بارگذاری دینامیک دارد.

۳- جذب انرژی در هر سیکل بارگذاری بر واحد حجم ماده متناسب با توان n ام میزان فرورفتگی دارد (Ghaffari, 1997).

در صورتی‌که میزان نیروی اعمال شده $F_c(t)$ و میزان فرورفتگی $X(t)$ باشد در این صورت میزان انرژی جذب شده (انرژی میرا شده) برابر است با:

$$E_a = \int_0^T F_c(t) \cdot X(t) dt \quad 1$$

T : مدت زمان ضربه

میزان انرژی جذب شده یا میرا شده بستگی به نیروی ضربه دارد. نیروی ضربه را می‌توان بر اساس مدل‌های نیروی تماسی نرمال عموماً بر حسب تابعی از جابجایی به‌صورت معادله زیر بیان کرد:

تخمین پارامتر نیروی تماسی

داده‌های آزمایشگاهی شامل نیروی تماسی در نرمال $F_c(t_i)$ جابجایی ضربه زن $X(t_i)$ و نرخ جابجایی $\dot{X}(t_i)$ در زمان‌های نمونه‌گیری t_i ($i=1,2,\dots,n$) می‌باشد. مدل‌های نیروی تماسی نرمال عموماً بر حسب تابعی از جابجایی x و نرخ جابجایی \dot{x} و تعدادی پارامتر P_j ($j=1,2,\dots$) بیان می‌شود (Van Zeebroeck et al., 2003):

$$F_c^* = \gamma F_c^*(x, \dot{x}; p_1, p_2, \dots) \quad 2$$

۷- فاکتور هندسی است که شعاع‌های انحنا دو جسم برخورد کننده را تداعی می‌کند. از آنجایی‌که مواد مورد استفاده در این آزمایش‌ها می‌توانند همان کره‌های ویسکوالاستیک در نظر گرفته شود، در این حالت مدل مناسب می‌تواند روشی شبیه به مدل اصلی هرگز برای تماس بین دو کره الاستیک کامل باشد که نیروی تماسی ذیل برای کره‌های ویسکوالاستیک صادق است (Goro & Kimitoshi, 1987; Van Zeebroeck et al., 2003):

$$F_c^* = -Kx^{\frac{3}{2}} - cx^{\frac{1}{2}}\dot{x} \quad 3$$

k : ثابت فنر

c : ثابت میرایی که به شعاع‌های انحنا کره‌ها و ضریب ویسکوزیته حجمی آن‌ها ارتباط دارد.

در عمل ضربه‌های وارد به مواد ویسکوالاستیک مانند میوه‌ها را می‌توان به‌صورت زیر تقسیم نمود:

الف- ضربه‌هایی که نیروی ناشی از آن کمتر از نقطه تسلیم بیولوژیک می‌باشد

ب- ضربه‌هایی که نیروی ناشی از آن فراتر از نقطه تسلیم بیولوژیک بوده و موجب تغییر شکل پلاستیک می‌شود (Ahmadi, 2009)

بر اساس نظریه صدمه انباشتگی می‌توان گسیختگی مواد بیومهندسی را بر اساس کل انرژی جذب شده آن‌ها بیان کرد. کل انرژی مورد نیاز برای ایجاد گسیختگی (انرژی شکست) بستگی به سطوح انرژی اعمال شده و تعداد اعمال آن دارد (Ghaffari, 1997).

هنگامی‌که یک جسم در یک نقطه تحت تأثیر بارگذاری ضربه ای قرار می‌گیرد مقداری از انرژی ضربه‌ای در آن باقی می‌ماند. صدمه مکانیکی که در میوه ایجاد می‌شود به عنوان صدمه انباشته شناخته می‌شود میوه در این حالت در فشاری کمتر از فشار تسلیم دینامیکی آسیب می‌بیند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



مطالعات اندکی در مورد کوفتگی و مدل‌های مربوطه در محصولات کشاورزی انجام شده است ولی مطالعه‌ای جهت بررسی صدمه انباشته ناشی از چند ضربه روی یک نقطه از محصول صورت نگرفته است. هدف این مطالعه بررسی صدمات انباشته ناشی از بار ضربه‌ای در یک نقطه روی کوفتگی میوه گوجه‌فرنگی است

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه

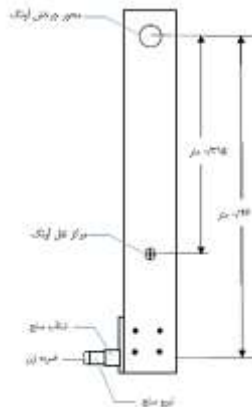
برای انجام آزمایش به تعداد کافی گوجه‌فرنگی وارپته کورال از ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان که در مرحله پیش‌رسیدگی و رسیدگی و هم‌چنین تازه، عاری از امراض و صدمه بودند، برداشت و به آزمایشگاه خواص مهندسی مواد بیولوژیکی گروه مهندسی بیوسیستم منتقل و در درون انکوباتور با دمای چهار درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار داده شدند.

۲-۲- اندازه‌گیری خواص فیزیکی مکانیکی و شیمیایی

تنوع بسیار زیادی در اندازه و ابعاد محصول‌های کشاورزی مشاهده می‌شود. روش متداول برای توصیف اندازه میوه‌ها، غلات، بذرها و سبزی‌ها تعریف سه بعد جسم (بعد بزرگ، بعد متوسط و بعد کوچک) می‌باشد. بعدها بزرگ، متوسط و کوچک به وسیله یک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر ساخت شرکت موتویو ژاپن اندازه‌گیری شد. جرم جسم M ، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم ساخت شرکت ADAM اندازه‌گیری شد (Aydın & Özcan, 2002; Mohammadi Ghermezgoli et al., 2014). سفتی آکوستیک (s) با استفاده از روش پیشنهادی شوانه و همکاران بدست آمد (Schotte et al., 1999). برای تعیین پارامتر TSS از رفرکتومتر مدل RHB 0-80 ساخت چین استفاده شد. ابتدا رفرکتومتر توسط آب مقطر کالیبره گردید و سپس مقدار کافی از عصاره گوجه‌فرنگی بر روی سطح منشور آن ریخته و عدد مربوطه به‌عنوان TSS ثبت شد (Anonymous, 2008).

۲-۳- آونگ و تجهیزات آن

بار دینامیکی کنترل شده با سطوح انرژی معین توسط آونگ بر میوه وارد شد. آونگ دارای یک چهارچوب فلزی می‌باشد؛ که بر روی آن یک محور چرخان توسط دو یاتاقان سوار شده‌است و به این محور چرخان، بازوی چوبی آونگ وصل شده بود (شکل ۱). مطابق شکل ۱، مشخصات بازوی آونگ عبارتند از: طول بازوی آونگ (فاصله مرکز ضربه‌زن تا محور چرخش، برابر با ۰/۴۵۰ متر)، شعاع چرخش بازوی آونگ (فاصله مرکز ثقل بازوی آونگ تا محور چرخش، برابر با ۰/۳۱۵ متر) و جرم بازوی آونگ (جرم بازو به‌همراه حسگرها، برابر ۰/۳۱۵ کیلوگرم).



شکل ۱: ابعاد و تجهیزات پاندول

به انتهای محور چرخان یک انکودر مدل SICK STEGMANN GmbH-DFS60B – S4PK 10000 ساخت آلمان با دقت ۰/۰۳۶ درجه نصب شد. لازم به ذکر است که با قرار دادن یک مدار الحاقی در خروجی انکودر دقت آن به ۰/۰۰۹ درجه ارتقا یافت.

مطابق شکل ۲ یک حسگر نیرو و یک شتاب‌سنج ساخت شرکت PCB آمریکا با حساسیت به ترتیب ۱۰/۷۱ mV/N و ۱۰/۵ mV/g به هم‌دیگر متصل و بر روی بازوی آونگ نصب شدند. علاوه بر آن به سر حسگر نیرو، یک نیم‌کره‌ی آلومینیومی به‌عنوان ضربه‌زن پیچ شد. به‌منظور نگه‌داشتن میوه جهت اعمال ضربه، یک میز فلزی در پایین محور چرخان قرار داشت که روی آن دو عدد فک چوبی قابل تنظیم پوشیده شده با فوم لاستیکی نصب شده بود.

میزان جابه‌جایی زاویه‌ای و جهت چرخش محور آونگ به‌صورت تابعی از زمان و نیز سیگنال‌های ارسالی دو حسگر توسط تحلیل‌گر سیگنال مدل Econ-AVANT series MI-7016 ثبت شدند. برای اعمال دقیق سطوح انرژی مورد نظر، یک شمارنده دیجیتال ملحق به مدار الحاقی استفاده شد. این شمارنده تعداد پالس‌های ارسالی (به ازای هر دور، ۴۰۰۰۰ پالس) از انکودر را نشان می‌داد. تحلیل‌گر سیگنال، شمارنده دیجیتال و مدار الحاقی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تحلیل‌گر سیگنال، شمارنده دیجیتال و مدار الحاقی



شکل ۲: حسگرهای نیرو و شتاب

۲-۴- تعیین سطوح اعمال انرژی و تعداد ضربه‌ها بر یک نقطه

با توجه به مطالعه‌های صورت گرفته در خصوص تعیین اوج نیروی تماسی در حین عملیات مکانیزه با استفاده از میوه الکترونیکی PMS-60 که توسط دزمت و همکاران (M Desmet, Hertog, et al., 2004) در شرایط مختلف سامانه مکانیزه انجام یافته بود، انرژی ضربه‌ای متناظر با اوج نیروی تماسی به‌دست آمده از میوه الکترونیکی به‌عنوان حداکثر انرژی ضربه‌ای انتخاب شده بود (Van Zeebroeck et al., 2003). بنابراین با لحاظ کردن اوج نیروی تماسی ۵۴/۵ نیوتن در سخت‌ترین شرایط عملیات مکانیزه، انرژی ضربه‌ای متناظر با آن در وارپته مورد مطالعه گوجه‌فرنگی، ۰/۵ ژول تعیین شد و به‌عنوان سطح انرژی ضربه‌ای پایه به‌کار رفت.

حال با توجه به سطوح انرژی تعیین شده، میزان زاویه‌های چرخش بازوی آونگ از حالت تعادل متناظر با سطوح انرژی با استفاده از روابط ۴، ۵ و ۶ تعیین گردید:

$$E_i = M_p g l (1 - \cos \alpha_i) \quad ۴$$

$$\cos \alpha_i = 1 - \frac{E_i}{M_p g l} \quad ۵$$

$$\alpha_i = \cos^{-1} \left(1 - \frac{E_i}{M_p g l} \right) \quad ۶$$

که در آن:

$$i = ۱, ۲, ۳$$

E_i : سطوح انرژی اعمالی به ژول،

M_p : جرم آونگ به کیلوگرم،

g : شتاب ثقل به متر بر مجذور ثانیه،

l : شعاع چرخش آونگ به متر و

α_i : زاویه چرخش بازوی آونگ متناظر با E_i .

تعداد پالس‌های انکودر (n_i) متناظر با α_i با استفاده از رابطه ۳-۸ محاسبه شد. برای اعمال سطوح انرژی E_i به میوه گوجه‌فرنگی، بازوی آونگ تا جایی بالا برده شد که شمارنده دیجیتال تعداد پالس‌های مفروض (n_i) را نشان دهد و سپس برای اعمال ضربه رها گردید.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



$$n_i = \alpha_i \times \frac{N}{36}$$

۷

که در آن:

n_i : تعداد پالس متناظر با α_i و

N : تعداد پالس به ازای هر دور چرخش انکودر (۴۰۰۰۰).

۲-۵- تشخیص صدمه کوفتگی

صدمه کوفتگی پس از سه روز از اعمال ضربه بر اساس روش حسی ارزیابی شد. کوفتگی به صورت یک پاسخ دو دویی در صورت وجود، یک، عدم، صفر، ذخیره شد. فشار آرام انگشت بر روی نقطه ضربه خورده با فشار انگشت به بافت سالم مقایسه گردید. هنگامی که معلوم شد نقطه ضربه دیده نرم و یا صدمه دیده است (آبکی شدن) عدد یک به آن اختصاص یافت. هنگامی که هیچ گونه نرم شدگی موضعی بافت کشف نشد، پارامتر کوفتگی صفر منظور گردید. تغییر شکل پلاستیک خالص سطح به عنوان صدمه کوفتگی در نظر گرفته نشد (Van linden, De Ketelaere, et al., 2006)

۲-۶- آزمون صدمه انباشته

ابتدا آزمون‌های اولیه با استفاده از روش آزمون و خطا جهت تعیین سطح انرژی کوفتگی بر روی میوه‌های یکسان انجام و میزان انرژی کوفتگی آستانه (E_0) تعیین شد. سپس این انرژی به عنوان معیاری جهت تعیین سطوح پایین‌تر انرژی برای مطالعه صدمه انباشته مورد استفاده قرار گرفت. سطوح انرژی جهت مطالعه صدمه انباشته و ترسیم منحنی انرژی-تعداد ضربه‌ها (مشابه منحنی S-N در فلزات) با استفاده از ضرایب $\frac{1}{2^4}$ ، $\frac{1}{2^3}$ ، $\frac{1}{2^2}$ ، $\frac{1}{2^1}$ در انرژی کوفتگی آستانه تعیین شدند. لازم به ذکر است که برای بررسی کوفتگی در سطح اول انرژی ($E_1=E_0/2$) دو بار ضربه، در سطح دوم انرژی ($E_2=E_0/4$) چهار بار ضربه، در سطح سوم انرژی ($E_3=E_0/8$) هشت بار ضربه و در سطح چهارم انرژی ($E_4=E_0/16$) شانزده بار ضربه در یک محل به گوجه‌فرنگی اعمال شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی

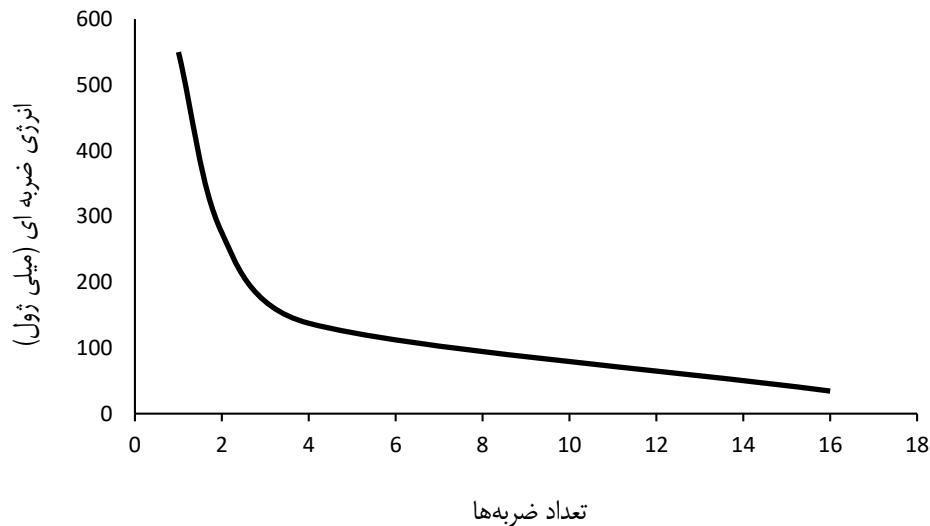
در جدول ۱ خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به دست آمده برای گوجه‌فرنگی‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی‌های مورد مطالعه

خاصیت	متوسط	کمینه	بیشینه	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (درصد)
L (میلی‌متر)	۶۱/۹۲	۴۰/۷۳	۷۶/۱۰	۶/۰۷	۹/۸۰
W (میلی‌متر)	۵۳/۸۶	۳۹/۳۰	۷۲/۱۵	۷/۲۳	۱۳/۴۳
T (میلی‌متر)	۵۳/۴۴	۴۰/۷۹	۶۷/۵۸	۶/۶۴	۱۲/۴۳
M (گرم)	۱۰۰/۷۸	۴۸/۱۵	۱۶۷/۵۶	۳۲/۰۲	۳۱/۷۷
Mwb (درصد)	۶۵/۹۰	۲۳/۹۸	۹۰/۴۹	۱۹/۴۴	۲۹/۵۰
R* (میلی‌متر)	۳۶/۵۲	۲۵/۳۷	۶۰/۶۸	۶/۹۷	۱۹/۰۸
S _g (گرم بر سانتیمتر مکعب)	۱/۰۲	۰/۵۹	۱/۱۶	۰/۰۶	۵/۵۷
S, 10 ⁶ m ² Hz ^{2/3}	۸/۸۴	۶/۶۴	۱۰/۶۴	۱/۲۹	۱۳/۸۱
μ	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۰۱۸	۷/۵۳
E، مگاپاسکال	۰/۳۵۱۳	۰/۱۲۸۷	۰/۶۰۸۳	۰/۰۸۹۷	۲۵/۵۴
TSS، درصد	۳/۵۸	۱/۵	۵/۹	۱/۰۳	۲۸/۷۴
TA	۴/۰۰	۳/۴	۵/۲۵	۰/۴۹	۱۲/۹۸



آزمون‌های اولیه همراه با سعی و خطا برای تعیین سطح انرژی کوفتگی آستانه (E_0) روی گوجه فرنگی‌های یکسان انجام و میزان انرژی ۰/۵۵ ژول به دست آمد. بنابراین چهار سطح انرژی ضربه‌ای ۰/۲۷۵، ۰/۱۳۷۵، ۰/۰۶۸۷ و ۰/۰۳۴۳۷ ژول به ترتیب با تعداد ضربه‌های ۲، ۴، ۸ و ۱۶ بر یک محل روی میوه گوجه‌فرنگی اعمال و کوفتگی نمونه‌ها پس از ۷۲ ساعت تعیین شد. شکل ۴ منحنی تعداد ضربه‌ها - انرژی ضربه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۴: منحنی صدمه انباشته گوجه‌فرنگی

شکل ۴ نشان می‌دهد که اگر شرایط ضربه مورد نظر (با مختصات تعداد ضربه و انرژی ضربه‌ای) در پایین منحنی قرار گیرد محصول کوفته نخواهد شد و در غیراین صورت کوفتگی روی می‌دهد. همچنین اگر در یک سامانه جابه‌جایی، دسته‌بندی و درجه‌بندی تعداد نقاط بحرانی (مکان‌هایی که محصول از یک سطحی به سطح دیگر می‌افتد) معلوم باشد، می‌توان از این نقاط برای برآورد تعداد ضربه‌های وارده به محصول استفاده کرد؛ با مراجعه به منحنی صدمه انباشته و با رسم خطی به صورت قائم از محور افقی نقطه تقاطع با منحنی مشخص و با ترسیم خطی موازی با محور افقی، مقدار انرژی ضربه‌ای را می‌توان به دست آورد. سپس با معلوم‌بودن جرم گوجه‌فرنگی ارتفاع نظیر انرژی سقوط مشخص می‌شود که اگر این ارتفاع، کم‌تر از ارتفاع سقوط در سامانه باشد محصول کوفته نشده و در غیر این صورت احتمال کوفتگی وجود دارد. در این حالت شاید بتوان با نصب مواد بالشتکی از کوفتگی جلوگیری نمود.

۴- نتیجه‌گیری

بازارهای امروزی خواستار گوجه‌فرنگی‌های با کیفیت بالا و تازه به‌همراه بافت رنگی و عطر مناسب هستند. بارهای ضربه‌ای روی یک نقطه از محصول ممکن است منجر به صدمه انباشته و در نتیجه کوفتگی محصول شود. در این مطالعه منحنی صدمه انباشته گوجه‌فرنگی مورد مطالعه بدست آمد تا به‌عنوان یک راهنما برای طراحی و ساخت تجهیزات مکانیزاسیون گوجه‌فرنگی بکار رود. اگر شرایط اعمال ضربه (تعداد ضربه و انرژی ضربه‌ای) در پایین منحنی قرار گیرد محصول کوفته نخواهد شد و غیراینصورت کوفتگی رخ خواهد داد.

۵- مراجع

- Ahmadi, E. (2009). Investigation of bruising mechanism in mechanized handling of peach: Mathematical modeling of peach in the box using discrete element method (DEM). (PhD), University of Tabriz .
- Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., Verlinden, B. E & , Nicolai, B. M. (2004). Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 34(2), 131-141. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.05.007>
- Anonymous. (2008). Compression test of food materials of convex shape. *ASAE S368.4 DEC2000 (R2008)* .
- Aydın, C., & Özcan, M. (2002). Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 97-101 .doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00145-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00145-5)
- Desmet, M., Hertog, M., Verlinden, B., De Baerdemaeker, J., & Nicolai, B. (2004). Instrumented sphere prediction of tomato

¹ Threshold bruising energy



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



- stem-puncture injury. *Postharvest Biology and Technology*, 34(1), 81-92 .
- Desmet, M., Lammertyn, J., Verlinden, B., Darius, P., & Nicolai, B. (2004). The relative influence of stem and fruit properties on stem puncture injury in tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 33(2), 101-109 .
- Desmet, M., Lammertyn, J., Verlinden, B .E., & Nicolai, B. M. (2002). Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. *Journal of Texture Studies*, 33(5), 415-429. doi: 10.1111/j.1745-4603.2002.tb01357.x
- Ghaffari. (1997). *design of a shaker for mechanical harvesting of citrus fruit*. Ms Thesis, University of Tehran .
- Goro, K., & Kimitoshi, K. (1987). Restitution Coefficient in a Collision between Two Spheres. *Japanese journal of applied physics*, 26(8R), 1230 .
- Mohammadi Ghermezgoli, K., Ghassemzadeh, H. R., Navid ,H., Moghaddam, M., & Ghaffari, H. (2014). Evaluation of Walnut Kernel Quality (as Degree of Crushing) Obtained Under Impact Loading. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(1), 11-20. doi: 10.22067/jam.v4i1.33160
- Schotte, S., De Belie, N., & De Baerdemaeker ,J. (1999). Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17(2), 105-115. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00041-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00041-1)
- Van linden, V., De Ketelaere, B., Desmet, M & ,De Baerdemaeker, J. (2006). Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest Biology and Technology*, 40(1), 7-14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.008>
- Van linden, V., Scheerlinck, N., Desmet, M., & De Baerdemaeker, J. (2006). Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact. *Postharvest Biology and Technology*, 42(3), 260-270. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.001>
- Van Zeebroeck ,M., Tijssens, E., Liedekerke, P. V., Deli, V., Baerdemaeker, J. D., & Ramon, H. (2003). Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using a pendulum device. *Journal of sound and vibration*, 266(3), 465-480 .

مکانیزاسیون و مهندسی مکانیک (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران