اثر دما و اندازه ی میوه بر تابع احتمال آسیب دیدگی گوجه فرنگی تحت اثر ضربه

امیر حسین افکاری سیاح*[۱]، علی اصغری[۲]، سلام ا... محمدی آیلار[۳] و علی اکبر شکوهیان[۴]

*۱- **نویسنده مسئول**: استادیار گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی (ahafkari@gmail.com)

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی

۴ - عضوهیات علمی گروه باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۲۰

چکیده

گوجه فرنگی تاحد قابل ملاحظه‌ای به دلیل آب دار بودن، مستعد آسیب ناشی از ضربه به شکل پارگی می‌باشد. در این پژوهش به منظور تعیین سطوح انرژی ضربه‌ای بحرانی منجر به گسیختگی و بررسی عوامل موثر بر آن، اثر دمای نگهداری (۲ سطح)، انرژی سینتیک (٦ سطح) و اندازه ی میوه (۳ سطح)، با انجام ۳٦۰ آزمون ضربه بر روی نمونه های گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. سپس منحنی S- شکل « احتمال گسیختگی- انرژی سینتیک» بر اساس تابع احتمال منطقی استخراج گردید. بر اساس سطح احتمال ۵۰٪ ، گوجه های با اندازه ی بزرگ، بیشترین مقاومت و اندازه‌های کوچک کمترین مقاومت را نسبت به بار ضربه‌ای از خود نشان دادند. کاهش دمای نگهداری از ۲۰ به ٤ درجه سلسیوس در نمونه های کوچک، سبب کاهش مقاومت به پارگی به میزان ۲۷٪ گردید و در نمونه های متوسط و بزرگ نتیجه معکوس به دست آمد. نتایج نشان داد که می‌توان به طور میانگین محدوده انرژی سینتیکی در حدود ۰/۸۷ تا ۲ ژول را به عنوان محدوده بحرانی که عبور از آن احتمال آسیب به صورت گسیختگی را در گوجه فرنگی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد، معرفی نمود. نتایج این تحقیق مشخص نمود که با افزایش سطح انرژی سینتیک به طور خطی درصد پارگی از بخش دمگل افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که بر اساس مدل خطی مقادیر کمینه و بیشینه انرژی منجر به پارگی، هر دو در دمای ٤ درجه سلسیوس، به ترتیب معادل ۰/٤۳ و ۲/٤ ژول برآورد گردید.

کلید واژه ها: گوجه فرنگی، مقاومت به ضربه، احتمال پارگی، انرژی سینتیک

مقدمه

در بین سبزی های میوه‌ای، گوجه فرنگی یکی از حساس ترین محصولات نسبت به آسیب مکانیکی است؛ به طوری‌که پارگی پوست در چنین میوه‌هایی در کنار افزایش فساد، منجر به خروج آب میوه می‌گردد، که این مسأله به مراتب بیش از انواع دیگر آسیب‌ها نظیر کوفتگی منجر به کاهش وزن میوه می‌شود. هم اکنون میزان تولید گوجه فرنگی در کشور حدود پنج میلیون تن است (۹)، لذا هر مقدار کاهش در ضایعات وزنی می‌تواند از خسارات بیشتر جلوگیری کند. یکی از علل ایجاد آسیب مکانیکی در گوجه فرنگی، اعمال نیرو به صورت بارهای ضربه‌ای است که به واسطه سقوط محصول بر روی سطوح سخت و یا برخورد با گوجه‌های دیگر ایجاد می‌گردد. نتیجه چنین پدیده‌ای گسیختگی در سطح سلولی است که عموما" به شکل کوفتگی یا پارگی پوست پدیدار می‌شود. در هر دو حالت، بویژه پارگی پوست، قرار گرفتن بافت در معرض هوا، پژمردگی، تغییررنگ و فساد سریع محصول را در پی خواهد داشت. در این ارتباط، برای طراحی یا بهینه سازی یک سامانه جابجایی ایمن، از مرحله برداشت تا رساندن میوه به دست مصرف کننده، به اطلاعات فنی اولیه‌ای نیاز است که یکی از مهم ترین آنها

تعیین حساسیت به آسیب دیدگی محصول[1] در شرایط مختلف و شناخت عوامل موثر بر آن است. در دو دهه گذشته اغلب تحقیقاتی که در زمینه بررسی آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی انجام شده‌اند بر پیش بینی شرایط منجر به ضایعه معطوف بوده و برای این منظور از پارامترهایی همچون آستانه کوفتگی[2] و میزان تخریب بافت در واحد انرژی سینتیک (میزان انرژی اعمال شده برای تخریب واحد حجم بافت) استفاده شده است. مشخص گردیده است که حساسیت به آسیب در انواع میوه و سبزی به عوامل مختلفی مانند شدت بار اعمالی، رقم، نوع بافت، میزان رسیدگی، دما، اندازه و شکل میوه بستگی دارد (۱۲). این پژوهش‌ها از بررسی ویژگی های مکانیکی پوست گوجه، به واسطه اهمیت آن در پدیده پارگی (۱۰)، تا بررسی میوه کامل متغیر بوده‌اند (۶). برای تعیین مقادیر بحرانی منجر به گسیختگی در زنجیره جابه جایی و حمل و نقل، دسمت و همکاران[3] (۷) به جمع آوری اطلاعات اولیه مربوط به بارهای ضربه‌ای وارد بر گوجه فرنگی از طریق گوی اندازه-گیری اقدام کردند. در پژوهشی دیگر ون زی بروک و همکاران[4] (۱۴) نیز تلاش نمودند این فرض را مورد بررسی قرار دهند که در یک رقم خاص و یک سطح معین از انرژی سینتیک، هرچه انرژی جذب شده ناشی از ضربه بیشتر باشد، آسیب مکانیکی وارد شده به آن بیشتر خواهد بود. در تحقیقی دیگر، مشخص شد که رنگ میوه در زمان برداشت نمی-تواند شاخصی از حساسیت یا عدم حساسیت گوجه به گسیختگی باشد. بر اساس این تحقیق، گسیختگی در گوجه فرنگی (به شکل گسیختگی ناشی از نفوذ) عمدتا" به خصوصیات مکانیکی گوجه بستگی دارد تا ویژگی های ساقه یا دمچه (۸). با این وجود، در پژوهش‌هایی که هدف آنها بررسی پدیده گسیختگی در میوه و سبزی به حالت «گسیخته شد»، «گسیخته نشد» است، تحلیل نتایج به سختی صورت می‌گیرد؛ زیرا وجود پراکندگی در نتایج و عدم وجود یک روش آماری مناسب، تعیین دقیق سطوح انرژی منجر به گسیختگی را مشکل می‌سازد (۱۳). به همین منظور بولن و همکاران[5] (۵) شاخص دیگری را به نام احتمال کوفتگی[6] برای تعیین حساسیت یک محصول به آسیب مکانیکی معرفی نمودند. دسمت و همکاران (۸)، با استفاده از روشی مشابه، احتمال گسیختگی را در گوجه فرنگی تعیین نمودند و مشخص کردند که با گذشت زمان طی انبارداری حساسیت به گسیختگی گوجه افزایش می‌یابد.

بر این اساس، در تحقیق حاضر هدف تعیین نحوه تاثیر دمای نگهداری میوه و اندازه میوه بر حساسیت به (احتمال) گسیختگی گوجه فرنگی می-باشد که تاکنون به طور عمده مورد بررسی قرار نگرفته است.

مواد و روش ها

برای انجام آزمایش ها حدود ۱۸۰ کیلوگرم گوجه فرنگی از رقم محلی که در یک مرحله از رسیدگی قرار داشتند، از منطقه اردبیل تهیه و سپس تعداد ۳۶۰ عدد از آنها در سه سطح جرمی (کمتر از ۶۰گرم (کوچک)، ۶۰ تا ۱۱۰ گرم (متوسط) و بیشتر از ۱۱۰ گرم (بزرگ)) به طور کاملا تصادفی برای انجام آزمون‌ها جدا شدند. نمونه ها پس از پیچیده شدن درون پارچه و قرار گرفتن در کارتن به محل آزمایشگاه منتقل و بر اساس طرح آزمایشی برچسب گذاری و برای مدت ۶ روز در دو دمای ۴ و ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. آزمون‌های ضربه با استفاده از دستگاه ضربه آونگی، که پیش از این توسط افکاری سیاح و همکاران (۱) ساخته شده بود،

1- Crop damage susceptibility
2- Bruise Threshold
3- Desmet *et al.*
4- Van Zeebroeck *et al.*
5- Bollen *et al.*
6- Bruise Probability

انجام پذیرفت. تمامی نمونه ها در زمان آزمایش در داخل یک گیره قرار داده شدند؛ به طوری که همواره بخش سینه گوجه در راستای بار ضربه‌ای قرار می‌گرفت. سپس با قرار دادن نمونه و گیره در زاویه مناسب و رهاسازی آن، بارگذاری ضربه‌ای تنها برای یک بار بر روی هر نمونه انجام شد. پس از اندازه گیری ابعاد سه گانه و وزن، هریک از نمونه‌ها متناسب با وزن نمونه تحت ۶ سطح انرژی سینتیک (۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶۵ و ۲ ژول) قرار گرفتند. این محدوده انرژی ضربه‌ای، پدیده سقوط گوجه در بسیاری از مراحل جابجایی و حمل و نقل را پوشش می‌دهد (۱۴). با توجه به سطوح انرژی سینتیک، در شرایطی که عملا استفاده از دستگاه ضربه آونگی امکان پذیر نبود، برای نمونه‌های کوچک، از روش سقوط آزاد استفاده شد. تعداد تکرار در هر آزمون ۱۰ بار لحاظ گردید که با در نظر گرفتن ۲ دمای نگهداری، ۳ سطح اندازه و ۶ سطح انرژی سینتیک در مجموع ۳۶۰ آزمون ضربه در این پژوهش انجام شد.

در آزمون هایی که نتایج آن به صورت باینری[1] و غیر کمّی است، می‌توان از روش احتمال باینومیال[2] برای ارائه نتایج قابل استنتاج استفاده نمود. در این صورت می‌توان بین یک متغیّر باینری (به شکل "گسیخته شد" و " گسیخته نشد" در آزمون ضربه) و یک متغیّر پیوسته (نظیر انرژی سینتیک) رابطه‌ای غیر خطی برقرار نمود (۸). بر این اساس، تابع منطقی احتمال گسیختگی R(r) به شکل معادله (۱) تعریف می شود (۵):

$$R(r) = \frac{e^{k+mE}}{1+e^{k+mE}} \qquad (۱)$$

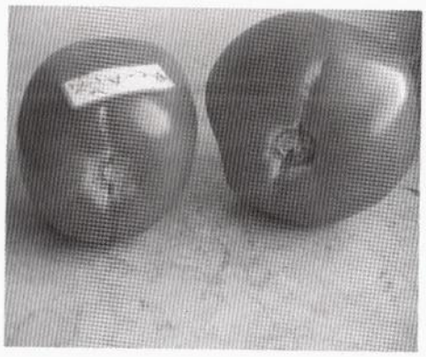
که در آن E انرژی ضربه‌ای بر حسب J، و k و m به ترتیب میزان فاصله از مبداء و شیب خط رگرسیونی بین انرژی سینتیک و فراوانی گسیختگی است. در منحنی حاصل شده که عموما" به صورت S- شکل می‌باشد، دو عامل موقعیت و خوابیدگی منحنی دارای اهمیت هستند؛ به طوری که با بررسی نقطه عطف منحنی در سطح احتمال ۵۰٪ می‌توان (با رسم خطی عمود بر محور افقی که از نقطه عطف می‌گذرد) معیار مناسبی از سطح انرژی بحرانی منجر به گسیختگی (به عنوان آستانه گسیختگی) ارائه نمود. درحالی که انتخاب این حد بحرانی بدون منحنی S- شکل فراوانی امکان پذیر نیست؛ زیرا در حالت عادی داده‌ها دارای پراکندگی بوده و نقطه عطفی در آنها قابل تشخیص نیست. همچنین، میزان خوابیدگی منحنی نشان دهنده میزان پراکندگی در ویژگی های مکانیکی بافت میوه در شرایط مختلف تیماری خواهد بود (۵). برای بررسی اختلاف بین سه اندازه و دو دمای مورد آزمایش، برای هر ترکیب تیماری تعداد گوجه های گسیخته شده در هر سطح انرژی در ده بار آزمون به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد (۶ تکرار برای هر ترکیب تیماری) و داده های حاصل به صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ در قالب طرح کاملا تصادفی تجزیه گردید. در این پژوهش دسته بندی داده ها و اطلاعات جمع آوری شده از آزمایش های و همچنین ارائه نتایج به صورت گراف و نمودار با کمک نرم افزار Excel انجام گرفت. تحلیل نتایج نیز به کمک تابع احتمال منطقی آسیب دیدگی با انجام تست پروبیت[3] به وسیله نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس مشاهدات عینی، گسیختگی بواسطه ضربه غالباً در محل اتصال ساقه به میوه (دمگل) ایجاد گردید. این مشاهدات با نتایجی که پیش از این توسط محمدی آیلار (۲) انجام گرفت، مطابقت

1- Binary
2- Binomial
3- Probit Test

می کند. این نتیجه همچنین این فرضیه را که پوست گوجه از استحکام لازم برای محافظت از میوه برخوردار است، تایید می کند (۴) و به نظر می رسد وجود دمگل در واقع پیوستگی پوست را در میوه از بین برده و شرایط گسیختگی را تسهیل می کند. (شکل۱).



شکل۱- نحوه گسیختگی در گوجه فرنگی در محل اتصال ساقه به میوه تحت اثر ضربه

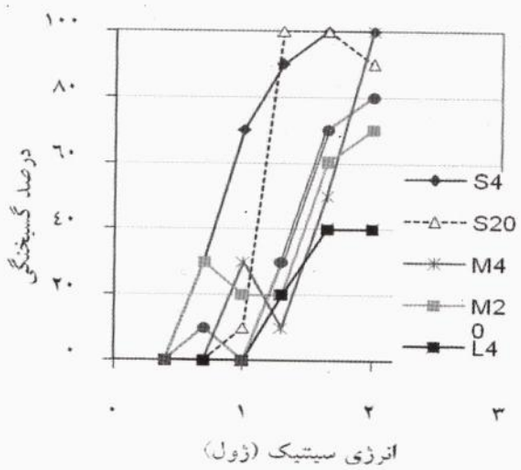
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که بین سه اندازه مختلف گوجه و دو دمای نگهداری از لحاظ میزان گسیختگی اختلاف معنی دار وجود دارد. بیش ترین مقدار گسیختگی به طور میانگین مربوط به گوجه های کوچک (۵/۰۸ گسیختگی) و کم ترین تعداد مربوط به گوجه های بزرگ (۲/۲۵ گسیختگی) بود. تعداد نمونه های گسیخته برای اندازه متوسط معادل ۴/۰۸ بود که با اندازه کوچک اختلاف معنی دار نداشت. همچنین متوسط تعداد گوجه های گسیخته شده در دمای ۴ درجه معادل ۱/۱۱ و دمای ۲۰ درجه معادل ۶/۵ بود.

شکل۲ مقادیر میانگین درصد گسیختگی را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که انتخاب سطوح انرژی برای تعیین حساسیت به گسیختگی مناسب بوده است؛ زیرا از صفر تا بیش از۵۰٪ گسیختگی، به استثنای یک تیمار، در تمام موارد مشاهده می‌شود. ملاحظه می-گردد که به واسطه پراکندگی در نتایج امکان مقایسه نمودارهای درصد گسیختگی در تیمارهای مختلف وجود ندارد و عملاً به مبنایی برای تعریف معیار گسیختگی نیاز است (شکل۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس بر اساس اندازه و دما

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات تعداد گوجه های گسیخته شده
اندازه	۲	۱/۹۱**
دما	۱	۱۸/۷۷**
اندازه × دما	۲	۰/۰۱۵ns
خطا	۳۶	۰/۳۴۱
ضریب تغییرات	-	۳۱

** معنی دار در سطح ۰/۰۱ و ns عدم اختلاف معنی دار

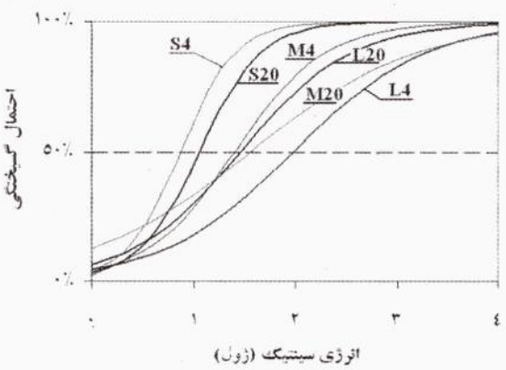


شکل۲- درصد گسیختگی در گوجه فرنگی تحت اثر ضربه در تیمارهای مختلف

(S، M و L به ترتیب معرف اندازه کوچک، متوسط و بزرگ و اعداد ۲ و ۲۰ نشان دهنده درجه حرارت نگهداری است)

به کارگیری تابع احتمال منطقی

شکل۳ نحوه رفتار مدل تابع احتمال منطقی را بر اساس داده‌های حاصل از آزمون ضربه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که احتمال گسیختگی از صفر تا۱۰۰٪ در محدوده انرژی ضربه‌ای مورد بررسی گسترده شده است. استفاده از مدل امکان پیش بینی تا ۱۰۰٪ گسیختگی را در تمام سطوح مختلف از اندازه و دما فراهم می سازد؛ به همین علت دامنه پیش بینی شده برای چنین شرایطی تا بیش از ۴ ژول افزایش یافته است. بر اساس منحنی S- شکل حاصله (شکل۳)، اگر سطح احتمال ۵۰٪ را که غالبا" بر نقطه عطف منحنی‌ها قرار می‌گیرد، به عنوان شاخصی از آستانه گسیختگی درنظر بگیریم، می‌توانیم تاثیر تیمارهای مختلف را بر حساسیت به آسیب پذیری میوه نسبت به ضربه تعیین کنیم؛ درحالی که چنین بررسی از طریق منحنی شکل۱، امکان پذیر نیست.



شکل۳- منحنی S-شکل گسیختگی در گوجه فرنگی تحت اثر ضربه

با توجه به شکل ۳، هر چه روی محور افقی به سمت چپ حرکت می‌کنیم، حساسیت به گسیختگی بیشتر می شود، زیرا در سطوح انرژی پایین تری گسیختگی رخ می‌دهد. بر این اساس، بالاترین میزان حساسیت به گسیختگی مربوط به گوجه های با اندازه کوچک در دمای ۴ درجه سلسیوس و بعد از آن گوجه‌های کوچک ۲۰ درجه می‌باشد. به عبارت دیگر در گوجه های با اندازه کوچک و در سطوح انرژی کم نیز احتمال گسیختگی بیش از ۵۰٪ است. با توجه به خط افقی ۵۰٪ ، نمونه‌های بزرگ در سمت راست و در بالاترین میزان انرژی سینتیک قرار می‌گیرند. جدول ۲ مقادیر سطوح انرژی سینتیک منجر به گسیختگی را (بر اساس تابع احتمال گسیختگی)، در تیمارهای شش‌گانه نشان می‌دهد. به طور مشخص نمونه‌های کوچک در سطوح انرژی پایین و نمونه‌های بزرگ در سطوح انرژی بالاتر گسیخته شده‌اند. این نتیجه، منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا سطوح انرژی سینتیک در تمام نمونه‌ها (بزرگ، متوسط و کوچک) به طور یکسان اعمال شده است و در واقع انرژی ویژه‌ی به مراتب بیش تری (بر حسب J/cm^3) بر نمونه‌های کوچک تر وارد شده است. ضمن این که نمونه های بزرگ ۴ درجه، از کمترین حساسیت به گسیختگی و به عبارتی بیشترین استحکام برخوردار بوده‌اند.

جدول۲- میزان انرژی سینتیک منجر به ۵۰٪ گسیختگی (بر اساس شکل۳)

تیمار	انرژی سینتیک (J)
کوچک ۴°	۰/۸۷
کوچک ۲۰°	۱/۰۷
متوسط ۴°	۱/۴۱
بزرگ ۲۰°	۱/۴۶
متوسط ۲۰°	۱/۵۷
بزرگ ۴°	۱/۹۹

بر مبنای میزان خوابیدگی (شیب) منحنی‌ها، که نشان دهنده میزان پراکندگی در حساسیت به آسیب پذیری آنها است، میوه‌های بزرگتر از پراکندگی بیشتری برخوردار بوده‌اند؛ به طوری که برخی از آنها

از استحکام بالا و برخی از استحکام کمتری برخوردار بودند. این شرایط را می‌توان به وجود پراکندگی در نمونه‌ها از لحاظ میزان رسیدگی و به طور کلی به میزان اتیلن تولید شده توسط هر نمونه نسبت داد. در حالی که بر اساس شکل۳ حساسیت به گسیختگی در نمونه های کوچک یک نواخت‌تر از نمونه‌های متوسط و بزرگ بوده است. در نمونه-های متوسط نیز میزان پراکندگی قابل ملاحظه بود، به طوری که خوابیدگی منحنی در نمونه‌های متوسط ۲۰ درجه، حتی بیشتر از نمونه های بزرگ ۴ درجه می‌باشد. میزان خوابیدگی را بر اساس مدل احتمال منطقی و به طور کمی می‌توان از طریق ضریب خوابیدگی k از معادله ۱ بدست آورد. در این ارتباط می‌توان مشخص نمود که میزان پراکندگی در نمونه های بزرگ ۴ درجه، بیش از ۲ برابر نمونه های کوچک ۴ درجه است. جدول ۳ مقادیر شیب منحنی و فاصله از مبداء منحنی‌ها را بر اساس معادله ۱ برای تمام تیمارها نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز تجزیه آماری مربوط به معنی‌دار بودن یا عدم معنی‌دار بودن مولفه‌های منحنی احتمال گسیختگی را بر اساس آزمون پروبیت نشان می دهد.

جدول۳- مقادیر میانگین ضرایب خوابیدگی (k) و فاصله از مبداء (m) در شرایط مختلف تیماری

	فاصله از مبداء	شیب خط
کوچک ۲۰°	-۳/۸۵	۳/۲۹
کوچک ۴°	-۳/۲۲	۳/۶۹
متوسط ۲۰°	-۱/۹۳	۱/۲۳
متوسط ۴°	-۳/۱۹	۲/۲۶
بزرگ ۲۰°	-۲/۶۸	۱/۸۳
بزرگ ۴°	-۳/۰۶	۱/۵۴

بر اساس نتایج این تحلیل هرچند اختلاف مشخصی از لحاظ شیب منحنی و عرض از مبداء در تیمارهای مختلف وجود دارد؛ اما تنها برخی از آنها از لحاظ آماری معنی دار بودند. بر این اساس به طور معنی‌دار میزان خوابیدگی در گوجه های کوچک ۴ درجه به مراتب کمتر و در نمونه های متوسط ۴ درجه بیش تر از تیمارهای دیگر است؛ اما در مقایسه تیمارها از نظر احتمال گسیختگی تفاوت معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد.

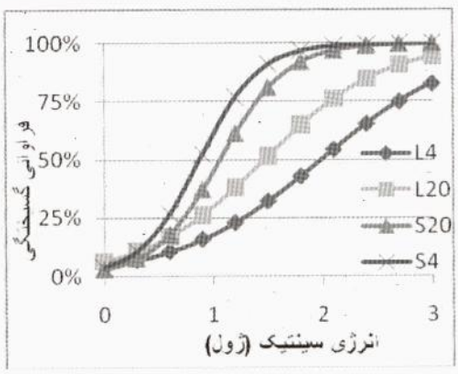
جدول ٤- آنالیز احتمال منطقی منحنی گسیختگی در تیمارهای مختلف

	۲۰ درجه			٤ درجه		
	بزرگ	متوسط	کوچک	بزرگ	متوسط	کوچک
شیب خط	۰/۰۸۳**	۰/۱۳ ns	۰/۰۳۳**	۰/۰۵۳**	۰/۰۴۵**	۰/۱ ns
وسط	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷
فاصله از مبداء	۰/۹۸ ns	۰/۵۸ ns	۳/۷۴ ns	۵/۴۵ ns	۲/۸۲ ns	۰/۴۴ ns
P	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۴۶
خطای معیار	۰/۰۴۵	۰/۱	۰/۰۲۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۴	۰/۰۹۱
R^2	۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/۷۶	۰/۵۰

** معنی دار در سطح ۰/۰۱ ، ns معنی دار نیست

تاثیر دمای نگهداری بر حساسیت به گسیختگی

نتایج نشان داد که کاهش دما در نمونه‌های کوچک، حساسیت به گسیختگی را در گوجه‌ها حدود ۲۷٪ افزایش داده است (شکل۴)؛ اما در نمونه‌های متوسط و بزرگ تاثیر سرد کردن نمونه‌ها بر حساسیت به آسیب دیدگی آنها برعکس نمونه‌های کوچک بود. به طوری که در نمونه‌های متوسط و بزرگی که در دمای ۴ درجه نگهداری شده بودند، مقاومت به گسیختگی به ترتیب ۱۰ و ۲۰٪ افزایش یافته بود. به همین ترتیب کاهش دما در نمونه‌های بزرگ درصد گسیختگی را در سطح انرژی ۲ ژول حدود ۵۰٪ کاهش داده است (شکل ۴).

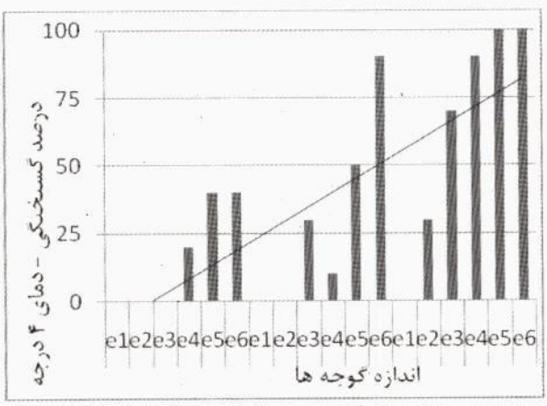


شکل٤- تاثیر دما بر حساسیت به گسیختگی در گوجه فرنگی های کوچک و بزرگ

تاثیر دما از لحاظ آماری معنی دار بود و لذا روند تغییرات منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا می‌دانیم که دما بر تغییرات آنزیمی و تعادل دینامیکی قند و نشاسته موثر است، به طوری که در دمای پایین قند به نشاسته تبدیل می‌گردد و عکس این پدیده نیز صادق است (۳)؛ اما در اینجا تاثیر دما بر کاهش میزان تنفس، به ویژه در دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس، اهمیت دارد. بر این اساس، در نمونه‌های بزرگ که در دمای کمتر از ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده‌اند، سرعت رسیدن میوه کاهش پیدا کرده، نمونه ها نسبت به مواردی که در دمای بالای ۲۰ درجه نگهداری شدند از مقاومت بیشتری نسبت به گسیختگی برخوردار بوده اند.

تاثیر اندازه میوه بر حساسیت به گسیختگی

عامل اندازه میوه به طور معنی‌داری بر میزان آسیب ناشی از ضربه موثر است (جدول ۱)؛ به طوری که در نمونه‌های نگهداری شده در هر دو دمای ۴ و ۲۰ درجه، می‌توان تاثیر آن را به وضوح مشاهده نمود (شکل ۵). توضیح این که برای نمونه های ۲۰ درجه نیز روند مشابه‌ای مشاهده شد. بر اساس نتایج این تحقیق، نمونه‌های کوچکتر در یک سطح انرژی سینتیک یک سان از استحکام کمتری نسبت به میوه های بزرگتر برخوردار بودند.

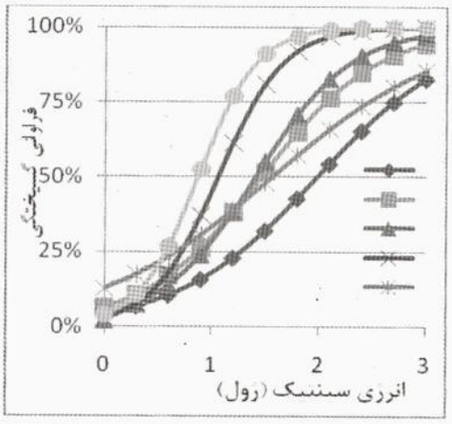


شکل۵- تاثیر اندازه بر حساسیت به گسیختگی در گوجه فرنگی در دمای ٤ درجه سلسیوس

(e_1 تا e_6 به ترتیب معرف سطوح انرژی ضربه ای ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶۵ و ۲ ژول می باشند)

هر چند این نتیجه با توجه به تاثیر دما بر نمونه های کوچک که در مرحله بلوغ تجاری برداشت شده‌اند و تا حدی نابالغ مانده اند، قابل توجیه است؛ اما بررسی مجدد این پدیده بر اساس انرژی ویژه (انرژی بر واحد حجم) ضروری به نظر می‌رسد. در واقع تصور می شود، در صورتی که در واحد حجم میوه، انرژی یکسانی بر نمونه‌ها وارد گردد، احتمالا میوه‌های کوچک تر مقاومت بیشتری از خود نشان خواهند داد. این پدیده پیش از این در مورد

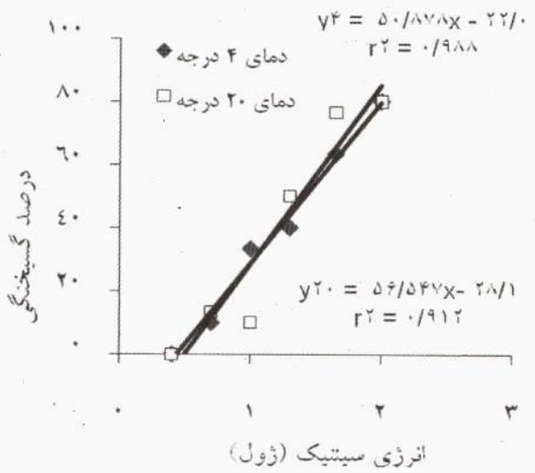
محصولات دانه ای نظیر غلات گزارش شده است (۱۱)؛ به طوری که چقرمگی دانه های ریز تر معمولا بیشتر از دانه های درشت می باشد. در دانه ها این پدیده عموما بر اساس افزایش احتمال وجود ترک در دانه های درشت تر قابل توجیه است؛ اما در میوه هایی نظیر سیب (۱) و بویژه گوجه فرنگی به عنوان یک محصول آب دار نیاز به بررسی دقیق تر ساختمان داخلی و حتی ویژگی‌های پوست خواهد بود. با این وجود، تفاوت های مشاهده شده از لحاظ آماری معنی‌دار نبود که می‌توان آنرا به محدود بودن سطوح انرژی ضربه‌ای نسبت داد (شکل ۶).



شکل٦- تاثیر اندازه میوه بر حساسیت به گسیختگی در دو دمای ٤ و ٢٠ درجه سلسیوس

تاثیر انرژی سینتیک بر حساسیت به گسیختگی

همان گونه که انتظار می رفت، افزایش سطح انرژی سینتیک، منجر به افزایش میزان آسیب در نمونه های مورد بررسی شد. این نتیجه پیش از این توسط محققان دیگر نیز تایید شده است (۱۴). این پدیده در هر دو دمای ۴ و ۲۰ درجه به صورت خطی برازش شد. بر اساس این مدل کمینه و بیشینه انرژی ضربه‌ای به میزان ۰/۴۳ و ۲/۴ ژول هر دو در نمونه های ۴ درجه، منجر به گسیختگی تیمارها شد (شکل ۷).



شکل۷- رابطه خطی بین درصد گسیختگی و انرژی سینتیک

نتیجه گیری و پیشنهاد ها

- گوجه فرنگی محصول آبداری است که آسیب مکانیکی (ناشی از ضربه) در آن به شکل گسیختگی و تماما از بخش دمگل بروز می کند.
- با توجه به پراکندگی نتایج از لحاظ ایجاد گسیختگی در نمونه ها، نیاز به معیاری است که بر اساس آن بتوان سطح انرژی سینتیک مشخصی را برای یک محصول در شرایط خاص تیماری معرفی نمود. از این نظر استفاده از تابع احتمال منطقی در آزمون هایی نظیر آزمون ضربه، می تواند نتایج قابل استنتاج را برای محقق فراهم کند. بر اساس نتایج این تحقیق، برای هر تیمار یک سطح انرژی سینتیک بر حسب معیار ۵۰٪ گسیختگی، از ۰/۸۷ ژول در نمونه های کوچک ۴ درجه سلسیوس تا ۲ ژول در نمونه های بزرگ ۲۰ درجه سلسیوس به دست آمد.
- در یک سطح انرژی سینتیک یکسان، گوجه فرنگی های بزرگ از استحکام بیشتری نسبت به گوجه های کوچک تر برخوردار هستند که این پدیده را می توان به ساختمان درونی گوجه و به ویژه استحکام (ضخامت) پوست نسبت داد.

- با افزایش سطح انرژی سینتیک، میزان آسیب دیدگی (به صورت گسیختگی) در گوجه فرنگی به طور خطی افزایش می‌یابد؛ به طوری که با دو برابر کردن انرژی سینتیک درصد گسیختگی در نمونه ها ۳ برابر می‌شود.
- تغییر دمای میوه در مدت زمان نگهداری، تاثیر معنی داری بر استحکام گوجه فرنگی نسبت به بار ضربه ای داشت؛ اما تاثیر آن در تیمارهای مختلف از روند ثابتی پیروی نمی کرد.
- پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی، بررسی بر اساس دانسیته انرژی سینتیک (انرژی در واحد حجم نمونه) به منظور تعیین دقیق تر اثر اندازه میوه بر حساسیت به آسیب مکانیکی انجام گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حوزه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی به دلیل تامین بودجه لازم برای انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

۱. افکاری سیاح، ا.ح.، مینایی، س. و گل محمدی، ع. ۱۳۸۵. بررسی ضایعات مکانیکی در سیب پس از مرحله انبارداری. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۳۷ ص.

۲. محمدی آیلار، س. ۱۳۸۵. تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی ارقام متداول گوجه فرنگی در ارتباط با ضایعات مکانیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، صص ۴۷-۵۷.

۳. ویلز، ر. ۱۳۸۴. فیزیولوژی پس از برداشت. ترجمه: راحمی، م. نشر دانشگاه شیراز، ۴۶۰ ص.

4. Bargel, H., and Neinhuis, C. 2005. Fruit growth and ripening as related to biomechanical properties of fruit skin and isolated cuticul. Journal of Experimental Botany, 56: 1049-1060.

5. Bollen, A.F., Cox, N.R., Dela Rue, B.T., and Painter D.J. 2001. A descriptor for damage susceptibility of a population of produce. Journal of Agricultural Engineering Research, 78(4): 391-395.

6. Desmet, M., Lammertyn, J., Van linden, V., Verlinden, B.E; Darius, P., and Nicola, B. M. 2004a. The relative influence of stem and fruit properties on stem puncture injury in tomatoes. Postharvest Biology and Technology, 33: 101–109.

7. Desmet, M., Van linden, V., Hertog, M.L.A.T.M., Verlinden, B.E., De Baerdemaeker, J., and Nicola, B. M. 2004b. Instrumented sphere prediction of tomato stem-puncture injury. Postharvest Biology and Technology, 34: 81–92.

8. Desmet, M., Lammertyn, J., Scheerlinck, N., Verlinden, B.E., and Nicolai, B.M. 2003. Determination of puncture injury susceptibility of tomatoes. Postharvest Biology and Technology, 27: 293-303

9. FAO 2009. FAO International Statistical Software. Available at: *http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx*.

10. Hershko, V., Rabinowitch, H.D., and Nussinovitch, N. 1994. Tensile characteristics of ripe tomato skin. Research Note: Lehensm Wins. U. Technol., 27:386-389.

11. Hoseney, R.C., and Faubion, J.M. 1992. Physical properties of cereal grains. In: Storage of Cereal Grains and Their Products. 4th edn. American Association Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, M.N, 1-35.

12. Mohsenin, N.N. 1978. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon & Breach Science Publishers, New York, NY. 391-392.

13. Van linden, V., De Ketelaere, B., Desmet, M., and De Baerdemaeker, J. 2006. Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. Postharvest Biology and Technology, 40: 7-14.

14. Van Zeebroeck, E., Van linden, V., Darius, P., De Ketelaere, B., Ramon, H., and Tijskens, M. 2007. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. Postharvest Biology and Technology, 45: 168-175.