مجله مهندسي بيوسيستم ايران (۴۳) ۱, ۱۳۹۱ (۱۷-۹)

# تعيين و مقايسه حساسيت ارقام مختلف سيب (منطقه خراسان) به بارهاي ضربه‌اي

حسن صدرنيا[۱]* و باقر عمادي[۲]
استادياران دانشكده كشاورزي دانشگاه فردوسي مشهد
(تاريخ دريافت: ۱۳۹۰/۷/۱۷- تاريخ تصويب: ۱۳۹۱/۲/۲)

## چكيده

يكي از موارد لازم جهت توسعه سامانه‌هاي جابه‌جايي و پس از برداشت ميوه‌هاي تازه، داشتن اطلاعات كافي در خصوص نحوه كاهش آسيب‌هاي مكانيكي براي هر محصول است. تحقيق حاضر به منظور تعيين و مقايسه حساسيت پنج رقم سيب توليدي منطقه خراسان به بار ضربه‌اي صورت پذيرفته است. بدين منظور ۵ رقم سيب منطقه خراسان (شامل ارقام عروس، عباسي، لبناني‌زرد، لبناني‌قرمز، گلشاهي) توسط دو سطح ضربه زننده تخت و گرد با سه سطح انرژي ضربه‌اي (۰/۹۷۶، ۰/۵۹۰، ۰/۲۷۶ ژول) با پنج تكرار توسط دستگاه ضربه نوع آونگي تحت بارگذاري ضربه‌اي قرار گرفت. در هر آزمايش متغيرهاي عمق و قطر لهيدگي اندازه‌گيري و حجم و حساسيت به لهيدگي با استفاده از روابط برآورد شدند. نتايج به صورت آزمايش فاكتوريل در قالب طرح كاملاً تصادفي مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. نتايج نشان داد تأثير فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و نوع سطح ضربه زننده در سطح احتمال ۱% بر قطر و عمق لهيدگي معني‌دار است. رقم عروس با ميانگين ۲۵ ميلي‌متر بيشترين قطر لهيدگي و رقم گلشاهي با ميانگين ۱۱ ميلي‌متر بيشترين عمق لهيدگي را نشان داد. همچنين به طور ميانگين حجم لهيدگي‌هاي ايجاد شده در برخورد با سطح تخت بيشتر از سطح گرد بود. نتايج تجزيه واريانس داده‌هاي حساسيت به لهيدگي نشان داد تأثير فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و انحناي سطح ضربه زننده در سطح احتمال ۱% بر حساسيت به لهيدگي معني‌دار است. مقايسه مقادير ميانگين حساسيت به لهيدگي در رقم‌هاي مختلف نشان داد بين رقم‌هاي عباسي، لبناني‌قرمز و لبناني‌زرد به ترتيب با مقادير ميانگين ۳/۷۱، ۳/۹۵ و ۴/۱۲ ميلي ليتر بر ژول اختلاف معني‌داري در سطح ۱% وجود ندارد، ليكن رقم گلشاهي و عروس به ترتيب با مقادير ميانگين ۵/۲۹ و ۶/۲۳ ميلي ليتر بر ژول حساسيت به لهيدگي بالاتري داشتند. با توجه به استاندارد درجه‌بندي سيب آمريكا، لهيدگي رقم‌هاي عباسي و لبناني‌قرمز در ضربه با انرژي ۰/۲۷۶ ژول در محدوده مجاز درجه يک است، در حالي كه ساير ارقام در اثر اعمال اين ضربه از محدوده مجاز خارج مي‌شوند.

واژه‌هاي كليدي: حجم لهيدگي، قطر لهيدگي، سيب، صدمه ضربه‌اي، سطح برخورد.

## مقدمه

توليد ميوه و سبزي به طور قابل توجهي در سال‌هاي اخير افزايش يافته است. براساس آمار سازمان خواربار و كشاورزي ملل متحد (فائو) ميوه و سبزي توليد شده ايران، در سال ۱۳٤۰ حدود ۲/۷ ميليون تن بوده است در حالي كه اين مقدار در سال ۱۳۸۷ بالغ بر ۲۹ ميليون تن گرديده است(FAO ,2009). با اين حال در بخش پس از برداشت، اقدامات قابل ملاحظه‌اي به منظور بهبود سامانه‌هاي جابه‌جايي و عرضه محصول صورت نپذيرفته است. يكي از موارد لازم براي توسعه اين بخش تهيه اطلاعات، مشخصات و خواص محصولات باغباني توليد شده در كشور است.

بايد توجه داشت كه از ويژگي‌هاي مهم و مشترک بين محصولات كشاورزي، به خصوص ميوه‌ها و سبزي‌هاي تازه، حساسيت در برابر آسيب و صدمات مكانيكي است. آسيب ديدگي باعث افت كيفيت محصول، كاهش ارزش اقتصادي و در بسياري از موارد نابودي كامل آن مي‌شود. البته عيوب ثانويه در محصول نيز از قبيل رشد كپک‌ها و آلودگي‌هاي حاصل از عوامل بيماري زا، توسط آسيب مكانيكي شروع و يا تشديد مي‌گردند (Rahemi, 2005). شرايط سردخانه نيز بر شدت قهوه‌اي شدن، رشد بافت آسيب ديده و نمايان شدن آن موثر است (Toivonen *et al*, 2007). از ساير اثرات لهيدگي ميوه به كاهش رطوبت آن مي‌توان اشاره نمود، كاهش رطوبت در يک سيب لهيده شده ممكن است تا ٤۰۰ برابر بيشتر از يک سيب سالم باشد (Wilson *et al*., 1999).

ساختار مورفولوژيكي و حساسيت بافت هر ميوه به آسيب مكانيكي بسيار متفاوت است. بر اين اساس در هر مورد بايد اندازه‌گيري‌هاي مناسب براي تعيين حساسيت به آسيب مكانيكي صورت پذيرد تا علاوه بر لحاظ نمودن جنبه هاي

* نويسنده مسئول: hassan.sadrnia@yahoo.com

اقتصادي در حمل و نقل محصول، كيفيت نهايي آن نيز حفظ گردد. به منظور جلوگيري از آسيب‌هاي مكانيكي، بزرگي نيروهاي استاتيكي و ديناميكي (مانند ضربه) وارد شده به محصول بايد كمتر از مقداري باشد كه سلول‌هاي بافت ميوه پاره شوند. تحقيقات نشان داده است نيروهاي ديناميكي حين حمل و نقل و جابه‌جايي بيشتر از نيروهاي استاتيكي باعث لهيدگي مي‌شوند، زيرا اين نيروها از لحاظ مقدار بزرگتر و از نظر تعداد وقوع، بيشتر از بارهاي استاتيكي هستند (Mohsenin, 1986).

در سال‌هاي گذشته تحقيقات زيادي در زمينه آسيب مكانيكي ميوه‌ها به خصوص روي سيب انجام شده است (Hammerle & Mohsenin, 1966; Nelson & Mohsenin, 1968; Horsfield *et al*, 1972; Holt & Schoorl, 1983; Khan & Vincent, 1991; Pang, 1996; Menessatti *et al*., 2002; Van Zeebroeck *et al*., 2007-b). از تحقيقات انجام شده در كشور مي‌توان به موارد زير اشاره نمود. Afkari Sayyah *et al*. (2008) با استفاده از يک دستگاه آزمون ضربه آونگي تاثير بارهاي مكانيكي بر آسيب‌هاي وارده بر دو رقم سيب گلدن دليشز (زرد) و رد دليشز(قرمز) توليد شده در استان اردبيل را پس از مرحله انبارداري بررسي كرده و گزارش نمودند كه با افزايش مدت انبارداري در هر دو رقم قابليت كوفتگي(حساسيت به لهيدگي) كاهش مي‌يابد به عبارت ديگر مقاومت سيب‌هاي مورد مطالعه نسبت به ضربه با گذشت زمان انبارداري افزايش مي‌يابد. Zarifneshat *et al*. (2010) با استفاده از دستگاه مشابه به بررسي فاكتورهاي دما، انحناي سطح ميوه و سفتي صوتي بر حجم لهيدگي رقم گلدن دليشز منطقه شبستر در بار ضربه‌اي پرداختند و گزارش نمودند افزايش دماي محصول موجب كاهش لهيدگي و كاهش سطح انحناي ميوه باعث افزايش لهيدگي مي‌گردد. Masoudi *et al*. (2006) خواص مكانيكي سه رقم سيب صادراتي(منطقه دماوند) را پس از پنج ماه انبارداري توسط بارگذاري شبه استاتيكي و به وسيله يک دستگاه آزمون كشش و فشار يونيورسال مورد مطالعه قرار دادند و نتيجه گرفتند كه رقم گلدن دليشز (زرد) نسبت به دو رقم رد دليشز (قرمز) و گراني اسميت داراي كرنش گسيختگي بيشتري است لذا انعطاف پذيري آن در برابر نيروهاي اعمالي نسبت به دو رقم ديگر بيشتر است و در اثر اعمال بارهاي خارجي تا تغيير شكل‌هاي زيادي آسيب نمي‌بيند.

Ragni & Berardinelli (2001) رفتار مكانيكي انواع سيب كشور ايتاليا و آسيب ديدگي آنها را حين درجه‌بندی و بسته بندي به وسيله يک دستگاه آزمون ضربه سقوطي[1] مورد مطالعه قرار دادند و گزارش نمودند كه در بين ارقام گلدن دليشز، استارک دليشز، گراني اسميت و روم بيوتي، رقم استارک دليشز حساسيت بيشتري به لهيدگي نشان مي‌دهد. Van Zeebroeck *et al*. (2007a) به كمک روابط رگرسيون فاكتورهاي موثر بر آسيب‌هاي مكانيكي سيب‌ها را شامل حجم لهيدگي، حين حمل و جابجايي مورد بررسي قرار دادند. در اين تحقيق كه به كمک يک دستگاه آزمون ضربه آونگي انجام شد، زمان برداشت، دما، انحناي سطح و سفتي ميوه بر ميزان لهيدگي مؤثر تشخيص داده شد. Kafashan *et al*. (2008) خواص ديناميكي نقاط مختلف ميوه سيب رقم جوناگلد را در آزمون ضربه آونگي مورد بررسي قرار داده و گزارش نمودند كه اثر موقعيت مكاني ضربه بر قطر لهيدگي موثر است.

به طور كلي نتايج تحقيقات بالا مي‌تواند در منطقه مورد مطالعه مفيد بوده و كاربرد داشته باشد. ليكن در صورت تغيير شرايط از قبيل محل پرورش، رقم، سطح رسيدگي، اندازه و ساير عوامل موثر حساسيت به لهيدگي تغيير خواهد داشت. لذا به منظور دسترسي به پارامترهاي مورد نياز بايد مطالعات ويژه و به صورت مجزا انجام شود. هدف از اين پژوهش تعيين و مقايسه حساسيت به آسيب مكانيكي ناشي از بارهاي ضربه‌اي در رقم‌هاي سيب محلي توليد استان خراسان است.

## مواد و روش‌ها

### تهيه و آماده سازي نمونه‌ها

در اين پژوهش از ۵ رقم سيب تازه محلي به نام‌هاي عروس، عباسي، لبناني زرد، لبناني قرمز و گلشاهي استفاده گرديد. ارقام مذكور به طور گسترده‌اي در اغلب نقاط خراسان كشت مي‌شوند. انتخاب نمونه‌ها در هر رقم بر اساس شاخص‌هاي رسيدگي موجود در منابع به گونه‌اي صورت پذيرفت كه تمام ارقام در سطح رسيدگي يكسان قرار داشتند، به عنوان مثال شاخص‌های رسيدگي سيب لبناني زرد عبارت است از: تغيير رنگ پوست از سبز تيره به زرد روشن، مقايسه با چارت رنگي، سپري شدن ۱۳۵ الي ۱۵۰ روز از گلدهي (Mitcham *et al*., 2009). علاوه بر اين، آزمايش حسي و مقدار قند بر روي نمونه‌ها انجام گرفت تا اطمينان لازم براي رسيده بودن ميوه‌ها حاصل گردد. در زمان انجام آزمايش تمام نمونه‌ها از لحاظ سلامتي و آسيب ديدگي بررسي گرديدند و در صورت مشاهده آسيب ديدگي فيزيكي، فيزيولوژيكي، عوامل بيماري‌زا و فعاليت آفات، نمونه حذف مي‌شد.

1. Drop test

ابزار و روش انجام آزمايش ضربه

براي انجام آزمايش‌هاي ضربه دستگاه آزمون ضربه آونگي مشابه دستگاه مورد استفاده توسط Van Zeebroeck *et al.* (2003) طراحي و ساخته شد (شكل ۱). بر اساس اصول ديناميک، آونگ دستگاه طوري طراحي شد كه مركز ضربه در سر ضربه زننده و مركز دوران در محل محور قرار داده شد تا از انتقال نيرو و ايجاد عكس‌العمل حاصل از ضربه در محور جلوگيري شود. رابطه انرژي ضربه‌اي[1] ايجاد شده توسط آونگ با زاويه آن توسط معادله (۱) مي‌باشد (Halliday *et al.*, 2001):

$$IE = mgh(1-\cos\theta) \qquad (۱)$$

كه در آن:

IE= انرژي ضربه (ژول)

m= جرم كل آونگ (كيلو گرم)

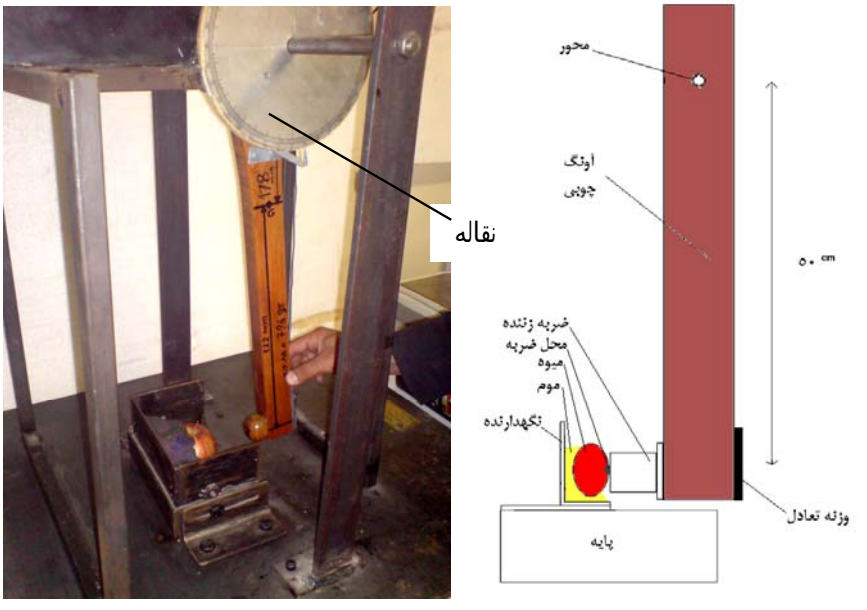
g= شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانيه، $m/s^2$ ۹/۸۱)

h= فاصله مركز دوران تا مركز جرم آونگ (متر)

θ= زاويه آونگ (درجه)

براي انجام آزمايش، ابتدا نقطه‌اي در قسمت مياني ميوه به طور تصادفي علامت گذاري مي‌گرديد. سپس ميوه با استفاده از موم به خوبي در نگهدارنده ثابت مي‌شد به طوري كه محل برخورد ضربه زننده دقيقاً بر روي نقطه مشخص شده قرار مي‌گرفت. با دوران آونگ تا زاويه مشخص و رها كردن آن، ضربه با انرژي مورد نظر اعمال مي‌گرديد. ضربه زننده به دو صورت تخت و گرد (با شعاع انحناي ۳ سانتي‌متر) مورد استفاده قرار گرفت. دليل انتخاب سطوح تخت و گرد بررسي برخورد سيب‌ها با سطح ماشين‌ها و تجهيزات با انحناي‌هاي مختلف است. براي اعمال ضربه در سطوح انرژي ۰/۲۷۶، ۰/۵۹۰ و ۰/۹۷۶ ژول به ترتيب زواياي ٤٠، ٦٠ و ٨٠ انتخاب گرديد كه معادل سقوط يک سيب ۱۸۰ گرمي به ترتيب از ارتفاع ۱۵، ۳۳ و ۵۵ سانتي‌متري است. انتخاب سطوح انرژي ضربه براساس گزارش Lewis *et al.* (2007) است كه متوسط ارتفاع سقوط قرار دادن سيب‌ها در جعبه‌هاي حمل را ٦٠ سانتي‌متر گزارش نمودند.

1. Impact Energy




(الف) (ب)

شكل ۱ – (الف)طرح‌واره و (ب)تصوير دستگاه آزمون ضربه نوع آونگي مورد استفاده.

نحوه اندازه‌گيري و محاسبه صدمه ايجاد شده

پس از پايان آزمايش براي مشخص شدن بهتر ميزان لهيدگي، نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در سردخانه با دماي ۵ درجه سلسيوس نگهداري گرديد. در نهايت ميوه‌ها از سردخانه خارج و محل لهيدگي با دقت پوست گيري شد. با استفاده از كوليس ديجيتالي با دقت ۰/۰۱ ميلي‌متر بزرگترين قطر محل آسيب ديده و سپس با برش طولي عمق آن اندازه گيري و ثبت شد (شكل۲).

براي تعيين حساسيت به بار ضربه‌اي براي هر نمونه، حجم لهيدگي[2] توسط رابطه (۲) برآورد گرديد(Chen & Sun, 1981):

2. Bruise Volume

$$BV = \frac{\pi}{6} hd^2 \qquad (۲)$$

که در آن:

BV= حجم ناحيه لهيدگي (ميلي‌متر مکعب)

h= عمق لهيدگي (ميلي‌متر)

d= قطر لهيدگي (ميلي‌متر)

از تقسيم حجم لهيدگي برآورد شده بر مقدار انرژي ضربه ميزان حساسيت به لهيدگي[1] (صدمه) توسط رابطه (۳) محاسبه گرديد(Studman, 1997).

$$BS = \frac{BV}{1000 \times IE} \qquad (۳)$$

که در آن:

BS= حساسيت به لهيدگي (ليتر بر ژول)

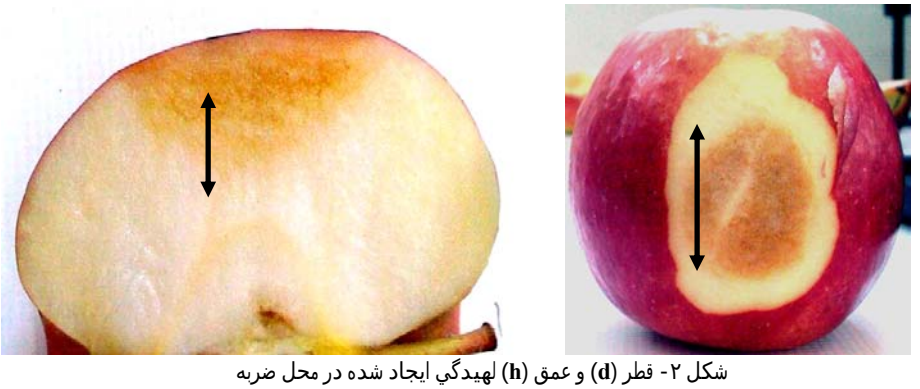
BV= حجم ناحيه لهيدگي (ميلي‌متر مکعب)

IE= انرژي ضربه (ژول)

روش تجزيه و تحليل نتايج

آزمايش‌ها به صورت فاکتوريل در قالب طرح کاملاً تصادفي با ۵ تکرار انجام گرديد و اثرات رقم در ۵ سطح (عروس، عباسي، لبناني زرد، لبناني قرمز و گلشاهي)، انرژي ضربه در سه سطح (۰/۲۷۶، ۰/۵۹۰ و ۰/۹۷۶ ژول) و انحناي سطح ضربه در دو سطح (تخت، گرد) بر قطر و عمق لهيدگي مورد مطالعه قرار گرفت.

1 Bruise Susceptiblity



شکل ۲- قطر (**d**) و عمق (**h**) لهيدگي ايجاد شده در محل ضربه

در اين تحقيق ميزان لهيدگي مشاهده شده در ارقام مختلف سيب خراسان با لهيدگي مجاز استاندارد درجه بندي آمريکا (USDA, 2002) مقايسه شدند. با توجه به اينکه در اين استاندارد سه سطح لهيدگي ۴۲۸، ۱۲۶۷ و ۴۴۰۳ ميلي‌متر مکعب به ترتيب حداکثر مقدار مجاز براي درجه ممتاز، درجه يک و درجه دو وجود دارد، لهيدگي ايجاد شده در نمونه‌ها با اين سه سطح بررسي و مقايسه شده است.

## نتايج و بحث

بررسی قطر، عمق و حجم لهيدگی

مقادير ميانگين و انحراف معيار قطر و عمق لهيدگي آزمايش‌هاي ضربه در جدول‌هاي ۱ و ۲ به ترتيب براي ضربه با صفحه تخت و گرد نشان داده شده است. بيشترين قطر لهيدگي مربوط به ضربه زننده تخت با ميانگين قطر ۳۲/۲۰ ميلي‌متر در سطح انرژي ۰/۹۷۶ ژول براي رقم عروس مشاهده شد. در حالي که بيشترين عمق لهيدگي مربوط به ضربه زننده گرد مي‌باشد که داراي ميانگين عمق ۱۴/۶۶ ميلي‌متر در سطح انرژي ۰/۹۷۶ ژول براي همان رقم است. کمترين قطر لهيدگي مربوط به ضربه زننده گرد با ميانگين قطر ۱۶/۳۰ ميلي‌متر در سطح انرژي ۰/۲۷۶ ژول براي رقم لبناني زرد رخ داد. کمترين عمق لهيدگي مربوط به ضربه زننده تخت با ميانگين عمق ۶ ميلي‌متر در سطح انرژي ۰/۲۷۶ ژول براي رقم لبناني قرمز است.

جدول ۱- مقادير ميانگين و انحراف معيار قطر و عمق لهيدگي در سطوح مختلف انرژي ضربه با ضربه زننده سطح تخت

| رقم | قطر لهيدگي d(mm) | | | عمق لهيدگي h(mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | انرژي ضربه (J) | | | انرژي ضربه (J) | | |
| | ۰/۲۷۶ | ۰/۵۹۰ | ۰/۹۷۶ | ۰/۲۷۶ | ۰/۵۹۰ | ۰/۹۷۶ |
| لبناني زرد | ۲۰/۲۶±۰/۹۰ | ۲۳/۸۶±۱/۶۷ | ۲۷/۳۶±۱/۶۰ | ۶/۵۴±۱/۶۱ | ۷/۵۶±۱/۱۶ | ۱۰/۰۰±۱/۸۴* |
| لبناني قرمز | ۱۸/۱۴±۲/۶۵ | ۲۴/۴۰±۳/۸۰ | ۲۷/۹۶±۲/۶۸ | ۶/۰۰±۰/۹۴ | ۸/۹۰±۰/۷۴ | ۹/۵۶±۰/۹۳ |
| عباسي | ۱۹/۵۲±۱/۴۸ | ۲۳/۳۲±۲/۲۹ | ۲۶/۴۸±۱/۴۲ | ۵/۸۶±۰/۸۳ | ۷/۲۱±۰/۸۱ | ۹/۷۰±۱/۴۲ |
| عروس | ۲۳/۲۶±۳/۴۹ | ۲۸/۲۰±۲/۲۴ | ۳۲/۳۰±۱/۷۰ | ۶/۰۶±۱/۲۶ | ۹/۴۴±۱/۲۳ | ۱۱/۷۸±۱/۳۵ |
| گلشاهي | ۲۰/۳۸±۱/۲۶ | ۲۴/۶۰±۱/۶۸ | ۲۷/۴۰±۱/۱۱ | ۸/۱۴±۰/۶۰ | ۱۱/۲۲±۱/۳۴ | ۱۳/۲۰±۱/۱۰ |

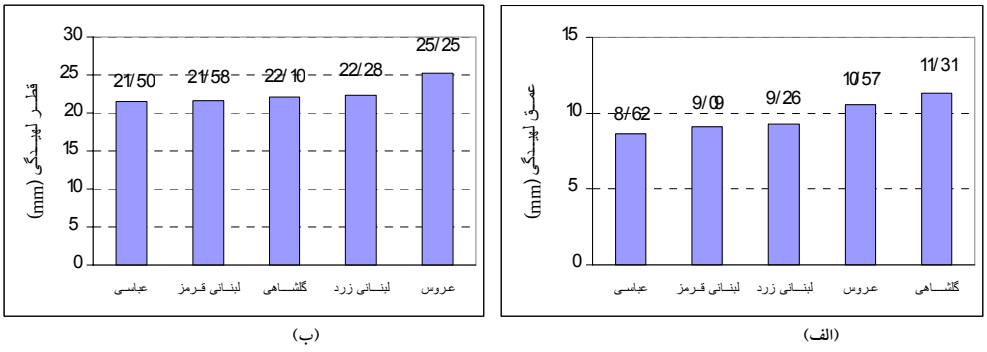
*ارقام پس از ±، انحراف معيار مي‌باشد.

جدول ۲- مقادير ميانگين و انحراف معيار قطر و عمق لهيدگي در در سطوح مختلف انرژي ضربه با ضربه زننده سطح گرد

| رقم | قطر لهيدگي d(mm) | | | عمق لهيدگي h(mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | انرژي ضربه (J) | | | انرژي ضربه (J) | | |
| | ۰/۲۷۶ | ۰/۵۹۰ | ۰/۹۷۶ | ۰/۲۷۶ | ۰/۵۹۰ | ۰/۹۷۶ |
| لبناني زرد | ۱۶/۹۴±۱/۲۳ | ۲۱/۱۰±۱/۶۳ | ۲۴/۱۶±۰/۵۹ | ۸/۷۸±۰/۹۶ | ۱۰/۱۰±۰/۹۲ | ۱۲/۵۶±۱/۹۰ |
| لبناني قرمز | ۱۶/۳۰±۰/۴۵ | ۲۱/۶۰±۱/۲۹ | ۲۱/۹۰±۲/۴۱ | ۷/۵۰±۱/۲۲ | ۱۰/۸۰±۰/۹۷ | ۱۱/۸۰±۱/۴۸ |
| عباسي | ۱۸/۵۸±۰/۵۷ | ۲۰/۶۱±۱/۹۴ | ۲۲/۴۸±۱/۹۱ | ۷/۵۸±۱/۱۸ | ۱۰/۵۰±۰/۹۷ | ۱۰/۸۴±۱/۰۳ |
| عروس | ۱۹/۰۶±۲/۱۰ | ۲۳/۲۶±۱/۴۳ | ۲۵/۴۰±۲/۵۳ | ۹/۶۲±۰/۹۱ | ۱۱/۸۸±۰/۶۲ | ۱۴/۶۶±۱/۳۸ |
| گلشاهي | ۱۷/۵۰±۰/۸۳ | ۲۰/۱۵±۰/۷۶ | ۲۲/۶۴±۰/۷۹ | ۱۰/۴۲±۰/۸۶ | ۱۰/۷۲±۰/۹۲ | ۱۴/۱۶±۱/۷۲ |

*ارقام پس از ±، انحراف معيار مي‌باشد.

بررسي مقادير ميانگين قطر لهيدگي ايجاد شده در مجموع ضربات نشان مي‌دهد رقم عروس با مقدار۲۵/۲۵ ميلي‌متر و رقم عباسي با ۲۱/۵۰ ميلي‌متر به ترتيب بيشترين و كمترين قطر لهيدگي را در مقايسه با ساير رقم‌ها دارند(شكل ۳). ليكن اين وضعيت در عمق لهيدگي تغيير يافته است به طوري كه بيشترين مقدار عمق لهيدگي با ميانگين ۱۱/۳۱ ميلي‌متر در رقم گلشاهي مشاهده شده است. با اين وجود كمترين عمق لهيدگي با مقدار ميانگين ۸/۶۲ ميلي‌متر همچنان متعلق به رقم عباسي مي‌باشد. Lewis *et al*., (2007) رقم لبناني زرد را تحت آزمايش بارگذاري ضربه‌اي قرار دادند و قطر لهيدگي را در ضربه با انرژي ۰/۳۹ و ۰/۷۸ ژول به ترتيب ۲۶ و ۳۴ ميلي‌متر مشاهده نمودند. مقايسه نتايج آنها با نتايج تحقيق حاضر (جدول ۲) كه قطر لهيدگي را در انرژي ضربه ۰/۵۹۰ و ۰/۹۷۶ ژول به ترتيب ۲۴ و ۲۷ ميلي‌متر بدست آمده است به طور نسبي بيشتر است. اين اختلاف مي تواند به علت شرايط متفاوت توليد باشد.




شكل ۳- مقادير ميانگين (الف) عمق و (ب) قطر لهيدگي تيمارها در ارقام مختلف سيب خراسان.

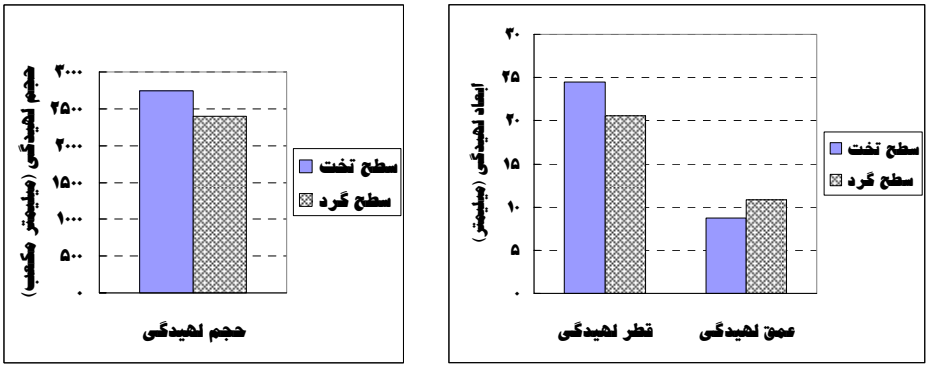
نتايج تجزيه واريانس تاثير فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و نوع سطح ضربه زننده بر قطر، عمق و حجم لهيدگي در جدول (۳) ارائه شده است. نتايج نشان مي‌دهد فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و نوع ضربه زننده در سطح يک درصد بر قطر، عمق و حجم لهيدگي معني‌دار است. ميانگين قطر لهيدگي در ضربه با سطح تخت و گرد به ترتيب ۲۴/۴۸ و ۲۰/۶۰ ميلي‌متر و ميانگين عمق لهيدگي به ترتيب ۸/۷۴ و ۱۰/۷۹ ميلي‌متر بدست آمده است لذا مي‌توان نتيجه گرفت قطر لهيدگي ايجاد شده بر روي سيب در برخورد با سطح تخت به طور معني داري بيشتر از سطح گرد است و بالعكس عمق لهيدگي ايجاد شده بر روي سيب در برخورد با سطح تخت كمتر از سطح گرد است (شكل ۴). همچنين محاسبه حجم لهيدگي ايجاد شده در تمام آزمايش‌ها نشان مي‌دهد، ميانگين حجم لهيدگي‌هاي ايجاد شده در برخورد با سطح تخت بيشتر از سطح گرد است. لذا توصيه مي‌شود سطوح برخورد ميوه در دستگاه‌ها و تجهيزات پس از برداشت حتي الامكان داراي انحنا باشد و از بكارگيري سطوح تخت پرهيز شود.

نتايج نشان داد كه اثر متقابل رقم×انرژي ضربه و رقم×انحناي ضربه زننده بر عمق لهيدگي در سطح ۵ درصد معني‌دار بوده است. اين نشان مي‌دهد كه ميزان افزايش عمق لهيدگي در ضربات با انرژي مختلف تحت تاثير رقم قرار گرفته است. شكل ۵ نشان مي‌دهد ميزان افزايش عمق لهيدگي با انرژي ضربه در ارقام مختلف يكسان نبود. در رقم لبناني زرد و عباسي روند افزايش عمق لهيدگي با انرژي ضربه متفاوت و كمتر از ساير ارقام مشاهده مي‌شود. علاوه بر اين تغييرات عمق لهيدگي در دو سطح ضربه زننده تخت و گرد تحت تاثير رقم مي‌باشد. به عبارت ديگر شكل ناحيه لهيدگي در ارقام مختلف تحت تاثير انحناي ضربه زننده و انرژي ضربه تغيير مي‌كند. Bollen *et al*., (1999) گزارش نمودند شكل (عمق و قطر) ناحيه لهيدگي تحت تاثير انرژي ضربه است.

جدول ۳- نتايج تجزيه واريانس تاثير رقم، انرژي ضربه و نوع سطح‌ضربه زننده بر قطر و عمق لهيدگي ارقام مختلف سيب خراسان

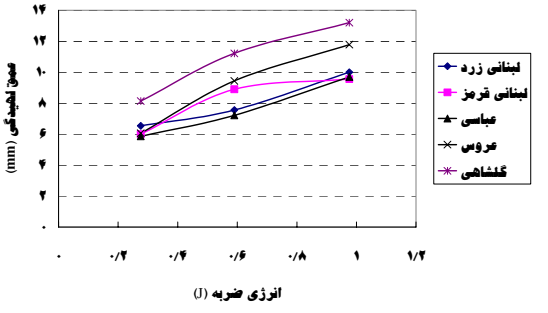
| منابع تغييرات | درجه آزادي | قطر لهيدگي | | عمق لهيدگي | | حجم لهيدگي | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مجموع مربعات | مقدار F | مجموع مربعات | مقدار F | مجموع مربعات | مقدار F |
| رقم (A) | ۴ | ۲۸۷ | ۲۰/۵۱** | ۱۵۲ | ۲۵/۱۸** | ۴۶۵۲۵۱۴۹ | ۲۶/۷۵** |
| انرژي ضربه (B) | ۲ | ۱۲۵۰ | ۱۷۸/۴۴** | ۴۳۶ | ۱۴۴/۴۲** | ۱۸۸۵۳۲۸۰۳ | ۲۱۶/۷۶** |
| اثر متقابلA*B | ۸ | ۱۶ | ۰/۵۹ns | ۲۵ | ۲/۰۷* | ۱۲۱۲۱۰۵۲ | ۳/۴۸** |
| نوع ضربه زننده (C) | ۱ | ۵۶۳ | ۱۶۰/۶۸** | ۱۵۷ | ۱۰۴/۳۱** | ۷۰۹۳۱۱۲ | ۱۶/۳۱** |
| اثر متقابلA*C | ۴ | ۲۴ | ۱/۷۶ns | ۱۷ | ۲/۸۶* | ۴۱۳۶۷۰۹ | ۲/۳۹ ns |
| اثر متقابلB*C | ۲ | ۲۴ | ۳/۵۵* | ۰/۸ | ۰/۲۸ns | ۴۵۷۲۳۰۹ | ۵/۲۶** |
| اثر متقابل ABC | ۸ | ۱۵ | ۰/۵۶ns | ۱۷ | ۰/۷۸ns | ۲۹۳۸۵۳۸ | ۰/۸۴ ns |
| خطا | ۱۲۰ | ۴۲۰ | | ۱۸۱ | | ۵۲۱۸۷۵۸۴ | |

** اختلاف معني‌دار در سطح ۱٪ * اختلاف معني‌دار در سطح ۵٪، ns اختلاف معني‌دار وجود ندارد




(الف) (ب)

شكل۴- تغييرات ميانگين (الف)ابعاد(قطر و عمق) و (ب)حجم لهيدگي سيب‌هاي منطقه خراسان در برخورد با صفحات تخت و گرد.




شكل ۵- روند تغييرات عمق لهيدگي با انرژي ضربه در ارقام مختلف سيب خراسان

بررسی حساسيت به لهيدگي

در جدول (٤) نتايج تجزيه واريانس تاثير فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و نوع سطح ضربه زننده بر حساسيت به لهيدگي سيب ارائه شده است. اعداد جدول نشان مي‌دهد فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و انحناي سطح ضربه زننده بر حساسيت به لهيدگي در سطح يک در صد معني دار است. مقايسه ميانگين‌هاي حساسيت به لهيدگي در رقم هاي مختلف به روش آزمون چند دامنه‌اي دانكن در شكل ٦ نشان داده شده است. همانطور كه در اين نمودار مشخص است بين رقم‌هاي عباسي، لبناني قرمز و لبناني زرد از لحاظ حساسيت به لهيدگي اختلاف معني داري وجود ندارد ليكن رقم گلشاهي و عروس به ترتيب با مقادير ميانگين ۵/۲۹ و ٦/۲۳ ميلي ليتر بر ژول بيشترين حساسيت به لهيدگي را نشان دادند. Zhang & Hyde (1992) حساسيت به لهيدگي سيب گلدن دليشز(زرد) و رد دليشز(قرمز) را ٦/٦ و ۸/۲ ميلي ليتر بر ژول گزارش كردند كه بيشتر از نتايج بدست آمده در تحقيق حاضر است. لازم به ذكر است آنان در محاسبه حساسيت به لهيدگي از انرژي جذب شده استفاده كرده‌اند و همين امر مي‌تواند يكي از دلايل وجود اختلاف بين مقادير بدست آمده توسط ايشان و تحقيق حاضر باشد. دليل ديگر اين تفاوت مي‌تواند ناشي از اختلاف در شرايط منطقه، نهاده‌هاي توليد نمونه‌هاي مورد آزمايش و محدوده انرژي استفاده شده باشد.

جدول ۴- نتايج تجزيه واريانس تاثير رقم، انرژي ضربه و انحناي سطح ضربه بر حساسيت به لهيدگي ارقام مختلف سيب خراسان

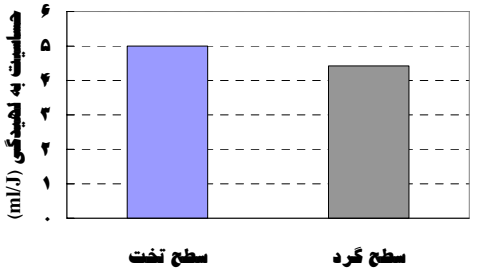
| منابع تغييرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | مقدار F |
|---|---|---|---|
| رقم (A) | ۴ | ۳۲/۱۴ | ۲۴/۲۳** |
| انرژي ضربه (B) | ۲ | ۹/۹۲ | ۷/۴۸** |
| اثر متقابلA*B | ۸ | ۱/۶۱ | ۱/۲۲ns |
| نوع ضربه زننده (C) | ۱ | ۱۲/۳۱ | ۹/۲۸** |
| اثر متقابلA*C | ۴ | ۲/۰۱ | ۱/۵۲ns |
| اثر متقابلB*C | ۲ | ۱/۶۰ | ۱/۲۰ ns |
| اثر متقابل ABC | ۸ | ۰/۸۸ | ۰/۶۶ns |
| خطا | ۱۲۰ | ۱/۳۳ | |

** اختلاف معني‌دار در سطح ۰/۰۱، ns اختلاف معني‌دار وجود ندارد

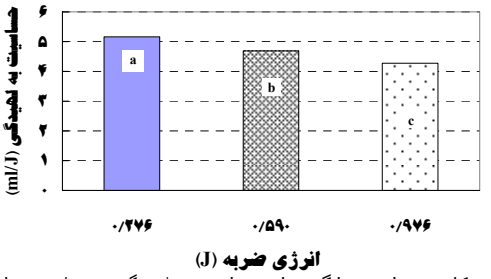

ارقام مختلف سيب درختی منطقه خراسان

شكل ۶ – مقايسه ميانگين‌هاي حساسيت به لهيدگي بر حسب ميلي ليتر بر ژول± انحراف معيار در رقم‌هاي مختلف سيب.

مقايسه ميانگين نشان داد حساسيت به لهيدگي در ضربه با سطح تخت بيشتر از سطح گرد است (شكل ۷). تغييرات سطوح انرژي ضربه بر حساسيت به لهيدگي معني دار شده است. مقايسه ميانگين نشان مي‌دهد با افزايش انرژي ضربه حساسيت به لهيدگي بطور معني داري كاهش مي‌يابد (شكل ۸). براساس تعريف حساسيت به لهيدگی در رابطه ۳ می‌توان نتيجه گرفت، بافت ميوه در ضربات با انرژي بالاتر مقدار انرژي بيشتر به ازاي هر واحد از حجم اش جذب كرده است لذا با افزايش انرژي ضربه حساسيت به لهيدگي كاهش يافته است.




شكل ۷- مقايسه ميانگين‌هاي حساسيت به لهيدگي در دو وضعيت سطح‌ضربه‌زننده.




شكل ۸- مقايسه ميانگين هاي حساسيت به لهيدگي در سطوح مختلف انرژي ضربه به روش آزمون دانكن (α=۰/۰۵).

بررسی مقايسه وضعيت لهيدگی با استاندارد درجه بندی سيب

نمودارهاي شكل (۹) وضعيت لهيدگي را در مقايسه با استاندارد درجه بندي براي تيمارهاي مختلف در هر رقم نشان مي‌دهد. نمودارها نشان مي‌دهد كه همه نمونه‌ها در اثر ضربات آزمايش از محدوده مجاز لهيدگي درجه ممتاز (۴۲۸ ميلي‌متر مكعب) خارج شده‌اند. در انرژي ضربه ۰/۲۷۶ ژول فقط لهيدگي رقم‌هاي عباسي و لبناني قرمز مي‌تواند در محدوده مجاز درجه يک باقي بماند، در حالي كه ساير ارقام در اثر اعمال ضربه ۰/۲۷۶ ژول از محدوده درجه يک خارج مي‌شوند. در انرژي ضربه ۰/۹۷۶ ژول رقم عروس در برخورد با سطح تخت دچار لهيدگي معادل ۶۴۸۰ ميلي‌متر مكعب مي‌شود كه بيش از ۱۴۵ درصد لهيدگي مجاز درجه ۲ است، لذا اين نمونه قابل عرضه به بازار مصرف نخواهد بود و به عنوان ضايعات بايد تفكيک شود. البته در نتيجه گيري از اين نمودارها بايد توجه داشت كه لهيدگي داراي اثر تجمعی است. به طوري كه در صورت اعمال ضربات با انرژي كم بايد مجموع نواحي لهيدگي روي ميوه براي مشخص كردن درجه استفاده گردد. بر اين اساس به عنوان مثال در صورتي كه دو ضربه با انرژي ۰/۵۹۰ ژول طي حمل و نقل به رقم لبناني زرد وارد شود و لهيدگي ايجاد شده در هر ضربه با توجه به نتايج به دست آمده در اين تحقيق معادل ۲۲۶۰ ميلي‌متر مكعب باشد، در مجموع ۴۵۲۰ ميلي‌متر مكعب در سطح ميوه لهيدگي به وجود مي‌آيد كه باعث خارج شدن ميوه از محدوده مجاز درجه ۲ مي‌شود.

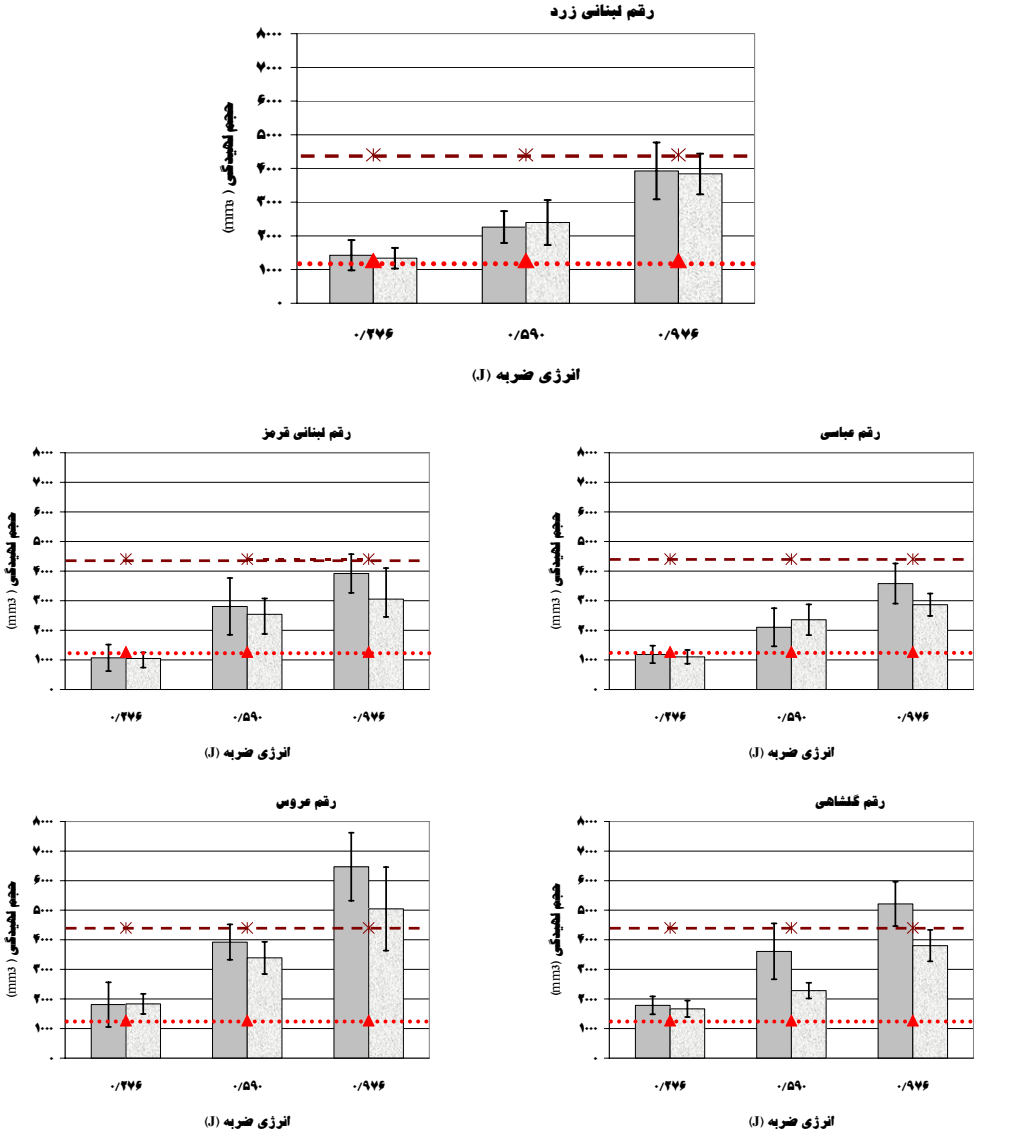
نتيجه گيري

۱. رقم عباسي با ميانگين عمق لهيدگي ۸/۶ ميلي‌متر و قطر لهيدگي ۲۱/۵ ميلي‌متر در مجموع آزمايش‌هاي ضربه داراي كمترين مقدار قطر و عمق لهيدگي نسبت به ساير ارقام مورد بررسي است.
۲. رقم گلشاهي با ميانگين عمق لهيدگي ۱۱/۳ ميلي‌متر و رقم عروس با ميانگين قطر لهيدگي ۲۵/۲ ميلي‌متر در مجموع آزمايش‌هاي ضربه داراي بيشترين مقدار قطر و

عمق لهيدگي نسبت به ساير ارقام مورد بررسي هستند.

۳. تاثير فاكتور انحناي سطح ضربه زننده، انرژي ضربه و رقم در سطح يک درصد بر قطر، عمق و حجم لهيدگي معني دار شد. مقايسه ميانگين‌هاي قطر و عمق لهيدگي در سطوح انحناي ضربه زننده نشان داد قطر لهيدگي ايجاد شده بر روي ميوه سيب در برخورد با صفحه تحت بطور معني داري بيشتر از سطح گرد است در حالي كه عمق لهيدگي ايجاد شده در ضربه با سطح گرد بطور معني داري بيشتر از سطح تخت است.

۴. فاكتورهاي رقم، انرژي ضربه و انحناي سطح ضربه زننده بر حساسيت به لهيدگي در سطح يک در صد معني دار است. مقايسه ميانگين‌هاي حساسيت به لهيدگي نشان داد رقم عروس بيشترين و رقم عباسي كمترين حساسيت به لهيدگي را دارا مي باشند.




شكل ۹ – مقايسه وضعيت لهيدگي تيمارهاي مختلف در ارقام سيب خراسان با استاندارد درجه بندي سيب آمريكا

ضربه با سطح تخت ، ضربه با سطح گرد ، محدوده مجاز لهيدگي درجه ۱ ، محدوده مجاز لهيدگي درجه ۲ .

## REFERENCES

Afkari Sayyah, A. H., Esmailiyan, M., Minaei, S. & Pirayesh, A. (2008). The effect of mechanical loads on apple damage after storage. *Journal of Food Science and Technology*, 5(2), 37-44. (In Farsi)

Bollen, F., Nguyen, H. X. & Dela Rue, B. T. (1999).

Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 74, 325-330.

Chen, P. & Sun, Z. (1981). Impact parameters related to postharvest bruising of apples. *ASAE Paper* No. 81-3041, St. Joseph, Michigan.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). *FAOSTAT*, http://faostat.fao.org.

Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. 2001. *Fundamentals of physics*. (6th ed.) John Wiley & Sons. New York.

Hammerle, J.R. & Mohsenin, N.N. (1966). Some dynamic aspects of fruit impacting hard and soft materials. *Transactions of the ASAE*, 9, 484–488.

Holt, J. E. & Schoorl, D. (1983). The robustness of a model predicting bruising in impacted multilayered apple packs. *J. Agric. Engng. Res.*, 28, 97–105.

Horsfield, B.C., Fridley, R.B. & Claypool, L.L. (1972). Application of theory and elasticity to the design of fruit harvesting and handling equipment for minimum bruising. *Transactions of the ASAE* 15, 746–750.

Kafashan, J., Sadrnia, H., Ramon, H. & Tijskens, B. (2008). Dynamical properties of different locations of fruit during impact test. In: Proceedings of *5th National Congress on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*, 27-28 August, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Khan, A.A. & Vincent, J.F.V. (1991). Bruising and splitting of apple under uni-axial compression and the role of skin in preventing damage. *J. Texture Stud.* 22, 251–263.

Lewis, R., Yoxall, A., Canty, L.A. & Reina Romo, E. (2007). Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering*, 83, 356–365

Masoudi, H., Tabatabaeefar, A. & Borghei A. M. (2006). Mechanical properties of three varieties of apple after five months storage. *J. Agric. Engng. Res.*, 7(27), 61-74.(In Farsi)

Menesatti, P., Paglia, G., Solaini, S., Zanella, A., Stainer, R., Costa, C. & Cecchetti, M. 2002. Non-linear multiple regression models to estimate the drop damage index of fruit. *Biosystems Engineering*, 83, 319–326.

Mitcham, E. J., Crisosto, C. H., & Kader, A. A. (2009). Department of Plant Sciences. University of California. http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/golden.shtml .

Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of food and agricultural materials*, 2nd Revised and Update Edition, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Nelson, C.W. & Mohsenin, N.N. (1968). Maximum allowable static and dynamic loads and effect of temperature for mechanical injury in apples. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 13, 305–317.

Pang, D.W., Studman, C.J., Banks, N.H. & Baas, P.H. (1996). Rapid assessment of the susceptibility of apples to bruising. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 64, 37–48.

Ragni, L. & Berardinelli, A. (2001). Mechanical behaviour of apples, and damage during sorting and packaging. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 78 (3), 273-279.

Rahemi, M. (2005). *Postharvest An Introduction to the Physiology & Handling of Fruit, Vegetables & Ornamentals*. Shiraz University Press.(In Farsi)

Studman, C. (1997). Factors affecting the bruise susceptibility of fruit. In: Jeronimidis, G.J., Vincent, J.F.V. (Eds.), *Plant Biomechanics 1997 Conference Proceedings*, vol. I. University of Reading, pp. 273–281.

Toivonen, P. M.A., Hampson, C., Stan, S., McKenzie, D. & Hocking R.(2007). Factors affecting severity of bruises and degree of apparent bruise recovery in a yellow-skinned apple. *Postharvest Biology and Technology*. 45, 276–280.

USDA (United States Department of Agriculture), 2002. United States Standards for Grades of Apples. Washington, D. C.

Van Zeebroeck, M., Tijskens, E., Van Liedekerke, P., Deli, V., De Baerdemaeker, J. & Ramon, H. 2003. Determination of the dynamical behaviour of biological materials duringimpact usinga pendulum device. *Journal of Sound and Vibration*, 266, 465–480.

Van Zeebroeck, M., Van linden, V., Darius, P., De Ketelaere, B., Ramon, H. & Tijskens E. (2007-a). The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 10–19.

Van Zeebroeck, M., Van linden, V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicolaı, B.M. & Tijskens, E. (2007-b). Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 157–167.

Wilson, L.G., Boyette, M.D. & Estes, E.A. (1999). Part III: Handling. In: Postharvest handling and cooling of fresh fruit, vegetables, and flowers for small farms, *North Carolina cooperative extension service*, Horticulture information leaflet 804.

Zarifneshat, S., Ghassemzadeh, H. G., Sadeghi, M. & Abbaspour-Fard M. H. (2010). Effect of Impact Level and Fruit Properties on Golden Delicious Apple Bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5 (2), 114-121.

Zhang, W. & Hyde, G. M. 1992. Apple bruising research update: Effects of Moisture, Temperature, Cultivar. *Tree Fruit Postharvest Journal*, 3, 10-11.