صدمات مکانیکی سیب حین حمل و نقل و جابجایی

بنت الهدی قاسمی باغبادرانی*[۱]، عباس همت[۲]

۱–دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان کدپستی ۸۳۱۱۱– ۸۴۱۵۶

۲– استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان کدپستی ۸۳۱۱۱– ۸۴۱۵۶

b.ghasemibaghbadrani@ag.iut.ac.ir

چکیده

سیب یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران محسوب می‌شود که پس از مرکبات مقام دوم را از نظر میزان تولید در سطح کشور دارد. ایران با دارا بودن مقام چهارم تولید جهانی سیب، سهم عمده‌ای را در صادرات این محصول داشته و لازم است با افزایش کمیت و کیفیت میوه سیب، جایگاه خود را بین کشورهای تولید کننده این محصول حفظ نموده و ارتقا دهد. از مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش کمی و کیفی میوه سیب، مراقبت در حین و پس از برداشت به منظور کاهش صدمات مکانیکی آن می‌باشد. در این پژوهش دلایل ایجاد کوفتگی و عوامل موثر بر آن مورد بررسی قرار گرفته است. به علت خاصیت بیولوژیک سیب، تحقیقات انجام شده معمولاً دارای نتیجه گیری‌های مختلف و بعضاً متناقض بوده‌اند. بدین سبب نیاز به تحقیقات بیشتر و نتیجه گیری‌های محکم‌تری می‌باشد.

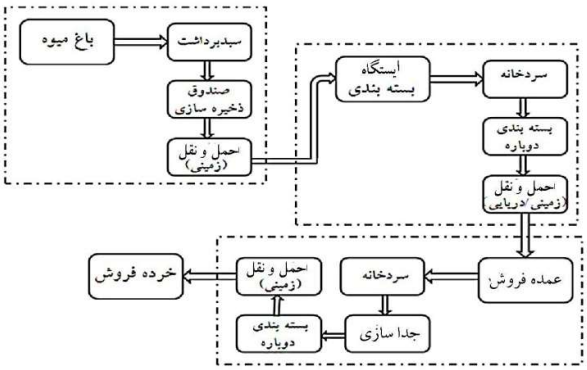
واژگان کلیدی: صدمات مکانیکی، سیب، کوفتگی

مقدمه

سیب یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران محسوب می‌شود که پس از مرکبات مقام دوم را از نظر میزان تولید در سطح کشور دارد. ایران با دارا بودن مقام چهارم تولید جهانی سیب، سهم عمده‌ای را در صادرات این محصول داشته و لازم است با افزایش کمیت و کیفیت میوه سیب، جایگاه خود را بین کشورهای تولید کننده این محصول حفظ نموده و ارتقا دهد. از مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش کمی و کیفی میوه سیب، مراقبت‌ها در حین برداشت و پس از برداشت به منظور کاهش صدمات می‌باشد. این مراقبت‌ها شامل شناخت بهترین زمان برداشت برای نگه‌داری طولانی مدت در انبار، جابجایی، درجه‌بندی، نگه‌داری، بسته‌بندی و حمل به بازارهای داخلی و خارجی به منظور کمینه نمودن تلفات آن می‌باشد.

همان‌طور که می‌دانیم بازار در سراسر دنیا و همچنین در کشور خودمان خواهان سیب سالم و با کیفیت می‌باشد و این در حالی است که سیب میوه‌ای بسیار آسیب پذیر و حساس می‌باشد. مسیر سیب از باغ تا فروشگاه مسیر پیچیده‌ای است (شکل ۱). در مراحل مختلف در این مسیر سیب تحت تأثیر فرایندهای مختلفی همچون برداشت، بسته بندی، جداسازی، درجه‌بندی، انبار و حمل و نقل می‌شود. طی این فرایندها سیب تحت بارگذاری‌های استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرد، که ممکن است منجر به صدمه شود. بارگذاری دینامیکی ممکن است یک ضربه[1] باشد، که می‌تواند در حین برداشت و افتادن آن‌ها در سبدهای برداشت اتفاق افتد، و یا به صورت ارتعاش که ممکن است طی حمل و نقل رخ دهد (Lewis *et al*., 2008).

آسیب مکانیکی در انواع میوه و سبزی در اثر تنش‌های تماسی تحت بارهای استاتیکی، شبه استاتیکی و ضربه‌ای ایجاد و موجب کاهش کیفیت محصول و ارزش اقتصادی آن می‌شود. کوفتگی در سیب در واقع شکست بافت آن (گوشت)، در نزدیکی رویه میوه تحت بارهای فشاری یا ضربه‌ای است. اثر اولیه‌ی نیروهای فشاری وارد شده به میوه، روی سیستم غشایی سلول‌های تشکیل دهنده‌ی گوشت سیب است (ASABE Standards., 2009). یک نقش مهم غشاء جداسازی اجزای مایع درون سلولی است. وقتی که یک قسمت گیاه صدمه فیزیکی می‌بیند، غشاها صدمه دیده و دیگر آن‌ها نمی‌توانند وظیفه خود را انجام دهند. در نتیجه، صدمه می‌تواند موجب مخلوط شدن آنزیم‌های موجود در سیتوپلاسم با مولکول‌های[2] موجود در واکوئول شود و این واکنش منجر به ایجاد لکه های قهوه‌ای رنگ مرتبط با کوفتگی می‌شود (Lewis *et al*., 2008).



شکل ۱. حرکت سیب از درخت تا فروشگاه (Lewis *et al*., 2008).

[1] impact
[2] phenolices

صدمات مکانیکی

تنش‌های مکانیکی باعث صدمات مکانیکی به میوه می‌گردد. این مهم‌ترین عامل کم شدن کیفیت میوه حین برداشت و پس از آن است. صدمه به گوشت میوه باعث افزایش تولید اتیلن و تنفس، فراهم کردن یک مکان برای ورود میکروارگانیسم فاسد کننده به محصول می‌باشد (Ceponis *et al*., 1962). این‌طور خسارت‌ها ناشی از کم شدن وزن در اثر تنفس و از دست دادن آب (فیزیولوژیکی) و آلودگی به علت ورود میکروارگانیسم‌های وارد شده به محصول (آسیب‌دیده) است.

به منظور کاهش صدمات ناشی از آسیب‌های مکانیکی به سیب، انرژی اعمال شده می‌تواند با آموزش کارگران سیب چین، کارکنان بسته‌بندی و یا پوشاندن سطوح سخت با مواد ضربه‌گیر، کاهش داد. اما احتمال گسیختگی سلولی مانند شکست یا کوفتگی با رسیدگی میوه می‌تواند افزایش یابد. زمانی که دیواره سلولی به علت جدا شدن سلول‌ها از هم شروع به شکست می‌کند، انرژی ضربه ذخیره شده در بافت میوه، می‌تواند به سلول‌های مجاور انتقال داده شود. احتمال شکست در انرژی‌های اعمال شده کم نسبت به ضربه بیشتر است (Knee and Miller., 2008). به علت خاصیت ویسکوالاستیک بافت میوه، میزان تغییر شکل(آسیب) به نرخ بارگذاری وابسته است. زمانی که تنش اعمال شده در بارگذاری آهسته، از حد الاستیک گذشت؛ باعث ایجاد تغییر شکل پلاستیک (ماندگار) می‌گردد (Mohsenin., 1986).

انواع بارهای مکانیکی وارده به میوه‌ها

ایجاد صدمات مکانیکی به سه روش عمده می‌تواند رخ دهد که آن سه روش شامل فشار، ضربه و نیروی ارتعاشی (یا سایشی) می‌باشد. نیروهای فشاری طی برداشت می‌تواند توسط بردارنده‌ها (انگشت‌ها) و زمان انبار میوه‌ها در ته صندوق اعمال شوند. صدمات خارجی می‌تواند به علت وزن سیب‌های انباشته شده در سبدهای برداشت در صندوق‌های عمیق یا زمان جابجایی میوه توسط چنگک‌های حمل و نقل اتفاق بیفتد. در ایستگاه‌های بسته‌بندی میوه، فشار، ضربه و ارتعاش می‌تواند در حین بسته بندی میوه در جعبه، بعلاوه زمان شست و شو و موم مالی میوه، رخ دهد. نیروهای فشاری معمولاً طی حمل و نقل و انبار کردن به میوه اعمال می‌شوند. در نهایت وقتی میوه به بازار می‌رسد، بعضی خریداران به منظور بررسی سفتی و تازگی میوه، آن را فشار می‌دهند که باعث تورفتگی در میوه می‌شود (Sherif., 1976).

سایش نتیجه حرکت سیب‌ها نسبت به یکدیگر است،که موجب خراشیدگی سطح می‌گردد. این صدمات معمولاً در تسمه درجه بندی و حین حمل و نقل اتفاق می‌افتند. زمان حمل و نقل و حرکت محصول، ارتعاش منتقل شده باعث صدمات سایشی روی پوست و لایه های زیرین سلول‌ها می‌شود. سطح بافت به علت اکسیداسیون آنزیمی محتویات سلول‌های آسیب دیده، تیره می‌شود. این محل یک درگاه ورودی برای قارچ و دیگر میکروارگانیسم‌های نا خواسته می‌گردد (Kampp and Nissen., 1990).

به منظور فهم صدمات مکانیکی و تنش در میوه‌ها و سبزیجات، بررسی تغییرات در سطح سلولی مهم است. وقتی سیب تحت فشار قرار می‌گیرد، سلول‌ها در جهت بار اعمال شده تغییر شکل می‌دهند.تغییر در نسبت حجمی سلول‌های سطحی موجب افزایش فشار تورژسانس می‌شود. برای متعادل کردن پتانسیل آب داخلی و خارجی، مقداری آب از سلول خارج می‌شود تا فشار تورژسانس برابر شود. اگر بار وارد شده کم و زمان اعمال آن کوتاه باشد، اکثر سلول‌ها تغییرشکل الاستیک داده و به شکل اصلی خود برمی گردند. فشار در مدت زمان طولانی سبب انتشار آب بیشتری شده و تعداد کمی از سلول‌ها قادر هستند به شکل اصلی خود بازگردند. اگر تنش خیلی بزرگ باشد، سلول‌ها گسیخته خواهند شد زیرا از حد استحکام دیواره‌ها تجاوز می‌کند. ون زیبروک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مشکل عمده صدمات مکانیکی پس از برداشت، برای بسیاری از میوه‌ها، کوفتگی[3] است (Van Zeebroeck *et al.*, 2007). کاهش حساسیت میوه‌ها به کوفتگی با بهبود شرایط برداشت، حمل و نقل، بسته بندی و انبارداری می‌تواند باعث کاهش حساسیت میوه به کوفتگی گردد (Kays., 1997).

عوامل موثر بر کوفتگی

فاکتورهای بسیار زیادی می‌توانند در حساسیت به کوفتگی میوه‌ها تأثیرگذار باشند (Kays., 1997). عوامل پیش از برداشت که بر حساسیت به ضربه تأثیر می‌گذارند عبارتند از: مرحله آبدار شدن، دما در دوره‌ی رشد، رقم، روش داشت (مثلاً آبیاری)، آب و هوا، اندازه میوه، فشار تورژسانس، شکل و سطح تنش‌های وارد بر میوه در طول فصل رشد. در میوه‌ها رسیدگی نیز یک عامل مهم است زیرا در بیشتر میوه‌ها همراه با رسیدگی تغییراتی مانند نرم شده گوشت اتفاق می‌افتد که پتانسیل به صدمات مکانیکی را بالا می‌برد. در بعضی موارد میوه قبل از رسیدگی کامل برداشت می‌شود تا صدمات ناشی از رسیده شدن کاهش یابد (Hyde and Ingle., 1968). در خصوص صدمات کوفتگی پس از برداشت، چندین محقق درباره ماهیت کوفتگی و عوامل موثر بر گسترش آن تحقیق کردند. بعضی از این عوامل خواص میوه، دما، روش و تاریخ برداشت، نوع صندوق، روش حمل و نقل، جداسازی و درجه بندی و چگونگی انبار کردن است (Aoyagi and Makino., 1981; Armstrong *et al.*, 1992; Ericsson., 1989; Van Bollen., 2005; Bollen *et al.*, 2001b; Bollen *et al.*, 1999; Bollen *et al.*, 2001a; Dedolph and Austin., 1962; Hyde and Ingle., 1968; Lancker., 1979). تعداد زیادی از مطالعات شکل‌های مختلف کوفتگی در سیب را گزارش کردند (

[3] Bruising

Saltveit., 1984; Thomson *et al*., 1996; Toivonen *et al*., 2007). بعضی واریته‌های سیب بیشتر از بقیه حساسند. عوامل محیطی مانند دما، غلظت اکسیژن و رطوبت نسبی زمان اعمال نیرو به میوه نیز بر حساسیت به آسیب‌ها اثر می‌گذارند. این عوامل ممکن است به طور مستقیم روی خواص مکانیکی میوه یا گسترش صدمات ایجاد شده، اثرگذار باشند (Kays., 1997). به طور کلی می‌توان گفت که حساسیت به کوفتگی میوه تحت تأثیر عوامل بسیار زیادی است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آن‌ها می‌پردازیم:

۱) تاریخ برداشت

رسیدگی میوه و بنابراین تاریخ برداشت بر روی حساسیت میوه به کوفتگی موثر است. برداشت با تأخیر، حساسیت سیب را افزایش داده البته به رقم سیب نیز وابسته است (Klein., 1987; Saltveit., 1984). مشاهده شده است که قابلیت آسیب پذیری در برداشت با تأخیر افزایش یافته است. کوفتگی نیز با تأخیر برداشت افزایش می‌یابد زیرا افزایش قند موجود در سلول هنگام رسیده شدن، باعث افزایش فشار تورژسانس سلول می‌گردد(Klein., 1987). در تحقیقی دیگر میوه در برداشت دوم و سوم میانگین کوفتگی بیشتری نسبت به برداشت اول نشان داده است.(با فاصله ۵ روز) (Hyde and Ingle., 1968). بر خلاف این نتایج، مشاهده شد که طرف سبزتر سیب در مقایسه با طرف قرمز(طرف رسیده تر) حساسیت بیشتری به کوفتگی دارد (Pang *et al*., 1992; Studman *et al*., 1997b). بر پایه این یافته‌ها می‌توان استدلال کرد که علاوه بر اثر تاریخ برداشت، اثر شیوه مدیریت باغ روی ویژگی‌های بیوفیزیکی میوه (مثل شعاع انحنا و فشار تورژسانس) و رسیدگی میوه نیز در حساسیت میوه به آسیب موثر است. به عنوان مثال در تحقیقی روی اثر شکل میوه و فاکتورهای دیگر بر کوفتگی ۲۲ واریته هلو، بدست آمد که میوه‌های کشیده تر حساسیت بیشتری به کوفتگی دارند (Blahovec and Paprstein., 2005). این نتیجه ممکن است به خاطر سطح تماس بیشتر سطح بارگذاری و سطح میوه باشد. برازویتز و همکاران (۱۹۹۱) هلوهای برداشت شده را به سه گروه با رسیدگی متفاوت طبقه بندی کردند و طبق نتایج آن‌ها حجم کوفتگی با رسیدگی، افزایش پیدا کرد (Brusewitz *et al*., 1991). درباره‌ی سیب‌ها، کاهش ۳۰٪ حجم کوفتگی برای سیب گلدن دلیشز با برداشت ۲۷ روز زودتر را گزارش شده است (Diener *et al*., 1979). همچنین افزایش ۱۰٪ در حجم کوفتگی در سیب‌های برداشت شده با تأخیر ۳۰ روز را گزارش شده است. محققانی نشان دادند که زمان برداشت می‌تواند به عنوان شاخص رسیدگی، بر عمق و شدت کوفتگی اثرگذار باشد (Klein., 1987). در تحقیقی فاکتورهای موثر بر خواص مکانیکی و میزان آسیب‌دیدگی سیب‌ها و گلابی‌ها را بررسی شد. تحلیل پاسخ ضربه نشان داد که تنش‌های بافت در میوه‌های آبدار بیشتر است و بنابراین آن‌ها حساسیت بیشتری نسبت به کوفتگی دارند. از متغیر فیزیکی" تغییرشکل پوست سیب هنگام سوراخ شدن " برای نشان دادن تغییرات فشار تورژسانس میوه استفاده شد و مشاهده گردید که با حساسیت به کوفتگی میوه رابطه دارد. تأثیر تورژسانس میوه بیشتر از سفتی آن بود. میوه‌هایی که زودتر برداشت می‌شوند نسبت به میوه‌هایی که بعداً برداشت می‌شوند حساسیت کمتری به کوفتگی دارند (Garcia *et al*., 1995).

۲) واریته

از اولین روزهای تحقیقات حساسیت به کوفتگی میوه‌ها، تفاوت مابین واریته های مختلف مد نظر بوده است. موت (۱۹۹۷) گزارش کرد که گرانی اسمیت حساس‌تر از رویال گالا[4] است (Mowatt., 1997). و پنگ (۱۹۹۳) نشان داد باربن[5] حساسیت کمتری نسبت به گرانی اسمیت، فوجی و اسپلندر[6] دارد. (گرانی اسمیت، فوجی و اسپلندر تفاوت معنی داری نداشتند.) (Pang.,1993). کلین (۱۹۸۷) تعدادی از سیب‌های تجاری مهم را بر پایه‌ی اندازه گیری درصد وزن کوفتگی[7] (BWP)، دسته بندی کرد. در این میان، گلدن دلیشز با کمترین حساسیت و گرانی اسمیت و باربن با حساسیت متوسط و رد دلیشز،گالا و پیپین[8] با بالاترین حساسیت به کوفتگی تقسیم بندی شدند. در تحلیل دیگری در همان پژوهش، نشان داده شد که تفاوت بین گرانی اسمیت و گالا معنی دار نیست (Klein., 1987). بولن (۲۰۰۱) انرژی صرف شده برای ۱ سانتی‌متر مربع کوفتگی را به عنوان معیار برای مقایسه حساسیت به کوفتگی اسپلندر، گرانی اسمیت، باربن و رویال گالا بکار برد. طبق نتایج آن‌ها اسپلندر و سپس گرانی اسمیت بیشترین حساسیت به کوفتگی را داشتند. حساسیت به کوفتگی رویال گالا اندکی کمتر از باربن بود (Bollen *et al*., 2001a) خلاصه نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خلاصه نتایج بررسی حساسیت به کوفتگی (حجم کوفتگی بر واحد انرژی) وابسته به واریته سیب.

نتیجه مهم	منابع	انرژی ضربه (J)	قطر نمونه (mm)
گلدن دلیشز (۹ml/J)، گرانی اسمیت (۹/۵ml/J)،جناتان NS (۸/۵ml/J)	Holt and Schoorl., 1984	۰/۷۸	–
گالا، گرانی اسمیت NS (۶/۱ml/J)	Klein., 1987	۰/۶۳–۰/۱۶	۴۰
گرانی اسمیت> رویال گالا، (مقدار انرژی صرف شده برای ۱۲٪ قطر کوفتگی)	Mowatt., 1997	۰/۲۱–۰/۱۳	–
باربن (۹/۳ml/J)، گرانی اسمیت (۱۰/۲ml/J)،اسپلندر (۱۰/۸ml/J)، فوجی NS (۱۱/۶ml/J)	Pang., 1993	۱/۳–۰/۱۵	۱۰۵

NS یعنی تفاوت بین حساسیت به کوفتگی آن‌ها معنی دار نبود.

[4] Royal Gala
[5] Braeburn
[6] Splendour
[7] Bruise Weight Percentage
[8] Cox's Orange Pippin

۳) ویژگی‌های میوه

۱.۳ سفتی میوه

نرم شدن یکی از پر اهمیت‌ترین تغییرات در فرآیند رسیدگی بافت میوه است (Kays., 1997). تغییر در گوشت بر قابلیت خورده شدن و مدت زمانی که میوه می‌تواند انبار شود، موثر است. در بعضی میوه‌ها نرم‌شدگی در ایجاد کیفیت بهینه مهم است. بیشینه ساختن کنترل روی تغییرات بافت، پیش‌گیری، همزمان‌سازی، و سرعت بخشیدن به رسیدگی میوه، موضوع مهمی در صنعت خوراک تازه است. بازارپسند گوشت میوه، محدوده کمی دارد که با گذشتن از این محدوده، کیفیت محصول کاهش می‌یابد. بجز تغییرات لایه میانی سلول‌ها، نرم شدن بسیاری از میوه‌ها فرآیندی برگشت ناپذیر است. نرم‌شدگی بخشی از رسیدگی میوه است که باعث تغییراتی در دیواره سلولی و تخریب آن می‌شود. آنزیمی که منجر به این فرآیند می‌شود، پلی‌گالاکتوروناز است. فعالیت آنزیم‌ها طی نرم‌شدگی در هلو، گلابی، انبه، خرما و گوجه زیاد می‌شود. حین رسیدگی تولید اتیلن در میوه افزایش می‌یابد که باعث آغاز تولید پلی گالاکتوروناز می‌شود. تجزیه آنزیمی لایه میانی سلول‌های پارانشیمی، چسبندگی سلول‌ها را تضعیف می‌نماید (Brett and Waldron., 1990). درجه‌ی سفتی با قابلیت کوفتگی میوه ارتباط دارد. راگنی و براردینلی (۲۰۰۱) اشاره کردند که سیب با یک سفتی بالا (اندازه گرفته شده با دستگاه مگنس–تیلور) دارای قابلیت کوفتگی بالایی است (Ragni and Berardinelli., 2001). این می‌توانست ناشی از ارتباط مثبت بین سفتی سیب و قابلیت کوفتگی آن باشد. این موضوع بعدها نیز توسط دیگران تایید شد(Van Zeebroeck *et al*., 2007a; Van Zeebroeck *et al*., 2007b) . بر خلاف این‌ها، هاید و اینگل (۱۹۶۸) مشاهده کرده بودند که در برخی رقم‌های سیب قابلیت کوفتگی به سفتی ارتباطی ندارد (Hyde and Ingle., 1968). این تناقضات توسط برخی پژوهشگران در مورد برداشت با تأخیر ذکر شده است، این‌گونه که افزایش درجه رسیدگی میوه قابلیت کوفتگی را افزایش می‌دهد (Brusewitz *et al*., 1991; Diener *et al*., 1979; Klein., 1987; Kvaale *et al*., 1968; Saltveit., 1984). ون زیبروک و همکاران (۲۰۰۷) چهار مدل با استفاده از رگرسیون غیرخطی برای پیش بینی حجم کوفتگی سیب جناگلد بر حسب رسیدگی، سفتی آکوستیک (اندازه‌گیری سفتی آکوستیک از طریق پاسخ آکوستیک هر میوه پس از ضربه زدن به آن و ضبط صدا توسط میکروفن، با استفاده از روش پردازش صدا انجام می‌گیرد.)، دما، شعاع انحنای سطح سیب در نقطه وارد شدن ضربه و

تاریخ برداشت بدست آوردند. در یکی از مدل‌های آن‌ها ضریب سفتی آکوستیک منفی و ضریب اثر متقابل سفتی آکوستیک و ماکزیمم نیروی تماسی مثبت بدست آمد. این مدل بیانگر این بود که اثر سفتی آکوستیک بر حجم کوفتگی در ضربه‌های کم و زیاد نتایج معکوسی داشته است. در ضربه‌های کم، حجم کوفتگی سیب‌های سفت کمتر بود اما برعکس آن در ضربه‌های زیاد سیب‌های سفت‌تر کوفتگی بیشتری را نشان دادند. این تغییر نتایج در اطراف نیروی ضربه ۳۴ نیوتونی مشاهده شد. در این نقطه سفتی آکوستیک اثر بسیار کمی بر حجم کوفتگی داشت (Van Zeebroeck *et al*., 2007b).

رابطه‌ای بین تغییرشکل پوست سیب هنگام سوراخ شدن[9] (DSP) و حجم کوفتگی نیز نشان داده شده است. بین میوه های آبدار آن‌هایی که DSP کمتری داشتند، کوفتگی بیشتری را نشان دادند مخصوصاً سیب گلدن دلیشز. میوه‌های آبدار در مقایسه با آن‌هایی که کمتر آبدارند، تغییرات بیشتری را در پاسخ به ضربه نشان می‌دهند. تفاوت در فشار تورژسانس (آبداری) می‌تواند توجیهی برای این باشد که چرا میوه های آزمون شده در هنگام برداشت نسبت به پس از مدتی انبارداری دارای قابلیت کوفتگی بیشتری می‌باشند. فشار تورژسانس سلولی بر حساسیت به کوفتگی بسیاری از میوه‌ها موثر است (Garcia *et al*., 1988b). فشار تورژسانس بالا موجب می‌شود که غشاء سلولزی سلول‌های گیاهی تحت یک پیش‌تنش باشد و به محض اعمال تنش خارجی به میوه موجب پارگی دیواره سلولزی شود. سیب‌های انبار شده شبیه سیب‌های تازه چیده شده از خود واکنش نشان نمی‌دهند زیرا زمان و دما بر سیب انبار شده اثر می‌گذارد. حجم کوفتگی در دماهای بالا در حین ایجاد کوفتگی و انبارداری افزایش می‌یابد(Saltveit., 1984). این ممکن است به علت افزایش فعالیت آنزیم‌هایی که باعث قهوه‌ای شدن بافت آسیب دیده می‌شوند؛ باشد. هوای گرم طی شش هفته اول رشد سیب، آن را هنگام برداشت نرم‌تر می‌سازد و قبل از برداشت نیز سفتی با سرعت بیشتری کاهش پیدا می‌کند (Viljoen *et al*., 1996). بنابراین کوفتگی می‌تواند به تازگی میوه (تازه برداشت شده یا انبار شده) نیز وابسته باشد.

۲.۳ شعاع انحنا

ون زیبروک و همکاران (۲۰۰۷) رابطه‌هایی برای تخمین حجم کوفتگی سیب جناگلد بر حسب رسیدگی، سفتی آکوستیک، دما، شعاع انحنای سطح سیب در نقطه وارد شدن ضربه و تاریخ برداشت بدست آورند. آن‌ها افزایش۵۰٪ کوفتگی برای سیب‌های دارای شعاع ۶۵ میلی‌متر با ضربه های کم و ۹٪ با ضربه های زیاد ، در مقایسه با سیب‌های دارای شعاع ۹۰ میلی‌متر گزارش کردند. آن‌ها همچنین بیان کردند که تفاوت ناچیزی ما بین سیب‌هایی با شعاع بین ۶۵ تا ۹۰ میلی‌متر در ضربه های کم مشاهده شد (Van Zeebroeck *et al*., 2007b).

[9] Deformation at Skin Puncture

احمدی و همکاران (۲۰۱۰) دو مدل برای پیش بینی حجم کوفتگی هلو با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ارائه دادند. در مدل اول، ماکزیمم نیروی تماسی و سه خواص میوه (سفتی آکوستیک، دمای میوه و شعاع انحنا) به عنوان متغیر مستقل استفاده شدند. در مدل دوم، ماکزیمم نیروی تماسی با انرژی ضربه جایگزین شد. نتایج نشان داد هلوهای با شعاع انحنای کوچک‌تر در محل وارد شدن ضربه، کوفتگی بیشتری داشتند. اثر متقابل معنی‌داری بین شعاع انحنا و ماکزیمم نیروی تماسی بدست نیامد. اختلاف حجم کوفتگی بین دو مقدار شعاع انحنا (۳۰ و ۵۰ میلی‌متر) در نیروهای ضربه کم و زیاد شبیه هم نبود. در ضربه‌های کم (۱۸/۴ نیوتون) حجم کوفتگی هلو با شعاع انحنای ۳۰ میلی‌متر ۱۹٪ بیشتر از هلوهای با شعاع انحنای ۵۰ میلی‌متر بود. در ضربه زیاد (۵۶/۷ نیوتون) حجم کوفتگی هلو با شعاع انحنای ۳۰ میلی‌متر فقط ۵٪ بیشتر از هلوی با شعاع انحنای ۵۰ میلی‌متر بود (Ahmadi *et al*., 2010).

معیارهای اندازه‌گیری حساسیت به کوفتگی

کوفتگی سیب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده مکانیزه و اتوماتیک کردن برداشت، جدا سازی و انتقال سیب است. لکه های تیره روی سطح سیب به علت تماس مکانیکی سیب با سیب‌های دیگر یا سطوح سخت ایجاد می‌شود. بارگذاری روی میوه ممکن است به شکل‌های مختلف استاتیکی یا دینامیکی باشد. مقدار کوفتگی معمولاً با حجم کوفتگی تعریف می‌شود. مهم‌ترین عامل کوفتگی در بسیاری از موارد بارگذاری است که معمولاً به صورت انرژی جذب شده تعریف شده است.

هولت و اسکورل (۱۹۷۷) رابطه بین حجم کوفتگی و انرژی جذب شده را به صورت تابع خطی ساده تعریف کردند به صورتی که جمله ثابت معادله را برابر صفر قرار دادند و شیب خط را ضریب مقاومت کوفتگی[10] (BRC) نام‌گذاری کردند (Holt and Schoorl., 1977) . فاکتورهای دیگر موثر بر کوفتگی ممکن است در BRC منعکس شده باشند. این ایده‌ی مفیدی بود که باز هم توسط دیگران مورد بحث قرار گرفت (Brusewitz and Bartsch., 1989; Holt and Schoorl., 1983; Holt and Schoorl., 1984; Kampp and Nissen., 1990; Schoorl and Holt., 1983). BRC متغیری است که با افزایش حجم کوفتگی، افزایش پیدا می‌کند. BRC در تغییر شکل‌های انجام شده در ناحیه الاستیک صفر است ولی برای تغییر شکل‌های بالاتر تا نقطه تسلیم زیستی، یک تابع صعودی در برابر تغییرشکل است. برای تغییر شکل‌های بالاتر از نقطه تسلیم زیستی، BRC در برابر تغییرشکل ثابت است یا کاهش می‌یابد.

[10] Bruise Resistance Coefficent

هاید و همکاران نیز از BRC استفاده کردند. آن‌ها همچنین مقاومت به کوفتگی[11] (BR) را تعریف کردند که به صورت نسبت انرژی کوفتگی به حجم کوفتگی بیان می‌شود. با این تعریف، مقاومت به کوفتگی بزرگ‌تر، نشان دهنده این است که میوه به آسانی کوفته نمی‌شود به عبارتی مقاومتش به کوفته شدن بیشتر است (Bajema and Hyde., 1998; Mathew and Hyde., 1997).

شبیه BRC، حساسیت به کوفتگی[12] (BS) به عنوان نسبت حجم کوفتگی به انرژی بارگذاری تعریف شده است. بلاهوک (۱۹۹۹) BRC و BS سیب انبار شده و گیلاس نارس را با بارگذاری شبه استاتیک آن‌ها بین دو صفحه تخت موازی مورد مطالعه قرار داد. طبق نتایج هر دو متغیر به مقدار نیروی فشاری وابسته بودند. در تغییر شکل‌های کم مقدار آن‌ها صفر بود. بعد از یک مقدار مشخص انرژی جذب شده یا انرژی بارگذاری،BRC و BS به ترتیب با افزایش انرژی جذب شده یا انرژی بارگذاری افزایش پیدا کردند (Blahovec., 1999). نشان داده شده است که هر دو مقدارBRC و BS در بارگذاری استاتیکی ثابت نیستند. حجم کوفتگی با افزایش انرژی جذب شده و بارگذاری به طور غیر خطی افزایش می‌یابد (Blahovec *et al*., 1995; Blahovec *et al*., 1997; Blahovec *et al*., 2002).

در پژوهش‌های قبلی نشان داده شده است که حساسیت به کوفتگی گلابی می‌تواند بر حسب انرژی پسماند تلف شده[13] (HL)و یا درجه الاستیسیته[14](DE) در بارگذاری شبه استاتیکی توسط دو صفحه موازی صلب، تعریف شود (Blahovec *et al*., 2003; Blahovec *et al*., 2002). از یک چند جمله‌ای درجه دو برای بیان رابطه بین حجم کوفتگی و HL و DE استفاده شده است. دو مقدار HL و DE با هم وابستگی منفی داشتند و به مقدار کمی به درجه رسیدگی گلابی وابسته بودند (Blahovec *et al*., 2003) و این باعث شد که شاخص کوفتگی[15] (BI) به صورت نسبتHL و DE به صورت شاخص مقاومت به کوفتگی واریته‌ها

[11] Bruising Resistance
[12] Bruise Sensitivity
[13] Hysteresis Losses
[14] Degree of Elasticity
[15] Bruising Index

استفاده شود(Blahovec *et al*., 2002). در پژوهشی دیگر شاخص دیگری با عنوان شاخص هارمونیک کوفتگی[۱۶] (BHI) تعریف شده است که میانگین هارمونیک متغیرهای HL و DE در حجم کوفتگی ۰/۵ سانتی‌متر مکعب بود و با رابطه بدون بُعد

بیان می‌کند (Blahovec and Paprstein., 2005).

اندازه صدمات ضربه‌ای یا فشاری معمولاً بر حسب اندازه کوفتگی خارجی (قطر و سطح) و داخلی (عمق و حجم) توصیف می‌شود (Bollen., 2002; Schoorl and Holt., 1986). از طرف دیگر حساسیت (یا پتانسیل) میوه به کوفته شدن در ضربه اغلب به صورت آستانه کوفتگی (ارتفاع سقوطی که آستانه کوفته شدن است که قبلاً به صورت حد غیر قابل قبول صدمه تعیین شده است)، مقدار کوفتگی بر واحد انرژی ($mm^3\ J^{-1}$= قابلیت کوفتگی) و یا مقدار انرژی که موجب یک واحد کوفتگی می‌شود (J mm^{-3}= مقاومت کوفتگی)؛ بیان می‌گردد [۱۶]. همان‌طور که گفته شد شاخص‌های دیگری نیز برای پتانسیل میوه به کوفتگی گزارش شده است مانند: احتمال کوفتگی (Bollen., 2002) ، ضریب مقاومت به کوفتگی (Blahovec., 1999; Holt and Schoorl., 1977)، شاخص کوفتگی (Blahovec *et al*., 2003) و شاخص هارمونیک کوفتگی (Blahovec and Paprstein., 2005). ازدیاد شاخص‌های مختلف به کاربرده شده توسط محققان پس از برداشت برای کمی کردن پتانسیل میوه به صدمات کوفتگی قابل توجه است و موجب مشاهدات مختلفی در مقایسه نتایج تحقیقات می‌گردد. زمانی که برای بررسی اثر کوفتگی بر میوه، روش‌های مختلفی برای اعمال نیرو استفاده شده است این وضعیت بیشتر تشدید می‌شود. صرف نظر از آن، معمولاً قابلیت (مقاومت) کوفتگی که مقدار صدمه ناشی از انرژی ضربه را گزارش می‌دهد؛کاربرد بیشتری دارد. اندازه‌گیری شاخص‌های دیگر حساسیت به کوفتگی برای دقیق‌تر شدن محاسبات ریاضی و آماری در ارتباط با فیزیولوژی، در مدیریت کیفیت پس از برداشت مورد نیاز است. بنابراین شاخص‌های پیشنهادی حساسیت میوه به کوفتگی اگر بینش جدیدی از مکانیسم کوفتگی و مدیریت استراتژیک ارائه دهد؛ در تحقیقات پس از برداشت مفید است.

[16] Bruising Harmonic Index

بحث

مساله صدمات مکانیکی به محصولات کشاورزی اگرچه در خصوص سیب‌های زرد و قرمز در دنیا تحقیقات زیادی انجام گرفته است، ولی در خصوص تعیین پارامترهایی که به عنوان معیار حساسیت سیب به صدمات مکانیکی (مخصوصاً صدمات حاصل از بارهای فشاری) استفاده شود، تا کنون کارهای تحقیقاتی کافی – به خصوص در ایران – انجام نشده است. در ضمن تحقیقات انجام شده معمولاً دارای نتیجه گیری‌های مختلف و بعضاً متناقض بوده‌اند. بدین سبب نیاز به تحقیقات بیشتر و نتیجه گیری‌های محکم‌تری می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که تحقیقات انجام شده در ایران بسیار ناچیز و انگشت شمار است، به همین علت برداشت، انتقال و بسته بندی سیب در کشورمان همچنان به صورت دستی انجام می‌گیرد. بنابراین تحقیق و پژوهش بیشتر در این زمینه می‌تواند باغداران را به یک آینده‌ی درخشان‌تری در خصوص مکانیزه کردن این مراحل و به طبع تولید سیب تجاری بیشتر و افزایش کسب درآمد برساند.

منابع

1- Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh., M. Sadeghi and M. Moghaddam. 2010. The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. Journal of Food Engineering. 97: 110–117.
2- Aoyagi, M and H. Makino. 1981. Effect of maturity at the harvest and low temperature distribution on keeping quality of strawberry fruits. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 49 (4):583-591.
3- Armstrong, P. R., N. L. Schulte., E. J. Timm and G. K. Brown. 1992. Bruising during truck transportation of apples in bulk bins. American Society of Agricultural Engineers. 92-*6035*.
4- ASABE Standards. 2009. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. *ASAE S368*.4 DEC 2000(*R*2008), 679-686.
5- Bajema, R. W and G. M. Hyde. 1998. Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. Transactions of the ASAE. 41: 1399-1405.
6- Blahovec, J. 1999. Bruise resistance coefficient and bruise sensitivity of apples and cherries. International Agrophysics. 13: 315–321.
7- Blahovec, J and F. Paprstein. 2005. Susceptibility of pear varieties to bruising. Postharvest Biology and Technology. 38: 231–238.
8- Blahovec, J., K. Patotka and F. Paprstein. 1996. Inelasticity and bruising of cherries. Journal of Texture Studies. 27**:** 391-401.
9- Blahovec, J., K. Patotka and J. BAREŠ. 1997. Low-level bruising of stored apples due to quasi-static loading up to constant compression strain. Journal of Texture Studies. 28: 87–89.
10- Blahovec, J., V. Mareˇs and F. Paprˇstein. 2003. Static low-level pear bruising in a group of varieties. Scientia Agricola. Bohemica 34: 140–145.
11- Blahovec, J., M. Vlˇckov´a and F. Paprˇstein., 2002. Static low-level bruising in pears. Journal of Agricultural Engineering Research. 48: 41–46.
12- Bollen, A. F. 2002. Techniques for predicting damage during postharvest handling of perishable products. Ph.D. Thesis in Natural Resources Engineering. Lincoln University, New Zealand.
13- Bollen, A. F. 2005. Major factors causing variation in bruise susceptibility of apples (*Malus domestica*) grown in New Zealand. N.Z. Journal of Crop and Horticultural Science. 33:201-210.
14- Bollen, A. F., E. J. Timm and B.T. Dela Rue. 2001b. Relations of individual forces on apples and bruising during orchard transport of bulk bins. Applied Engineering in Agriculture. 17:193-200.
15- Bollen, A. F., H. X. Nguyen and B.T. Dela Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. Journal of Agricultural Engineering Research. 74: 325-330.

16- Bollen, A. F., N. R. Cox., B. T. Dela Rue and D.J. Painter. 2001a. A description for damage susceptibility of a popular of produce. Journal of Agricultural Engineering Research. 78: 391-395.
17- Bourne, M.C. 1965. Studies on Punch Testing of Apples.Food Technology. 19, 413–415.
18- Brett, C and K. Waldron. 1990. Physiology and biochemistry of plant cell walls. Edited by M. a. J. C. Black. London: Unwin Hyman Ltd.
19- Brusewitz, G. H and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to post harvest bruising of apples. Transactions of the ASAE. 32: 953-957.
20- Brusewitz, G. H., T. G. McCollum and X. Zhang. 1991. Impact bruise resistance of peaches. Transactions of the ASAE. 34: 962-965.
21- Ceponis, M. J., J. Kaufman and S. M. Ringel. 1962. Quality of prepackaged apples in New York retail stores. Vol. AMS-461: USDA.
22- Dedolph, R. R and M. E. Austin. 1962. The evaluation of impact bruises on apple fruit. *Proc*. American Society for Horticultural Science. 80:125-129.
23- Diener, R. G., K. C. Elliott., P. E. Nesselroad., M. Ingle., R. E. Adams and S. H. Blizzard. 1979. Bruise Energy of peaches and apples. Transactions of the ASAE. 22: 287–290.
24- Ericsson, N. A. 1989. Possibilities for reduction of mechanical damages during distribution of apples. DGQ-XXIV. Vortragstagunta Qualitatsaspekte Von. Obst. Und. Gemuse. 13-14: 126-136.
25- Garcia, J. L and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears. Journal of Agricultural Engineering Research. 61: 11-18.
26- Holt, J. E and D. Schoorl. 1977. Bruising and energy dissipation in apples. Journal of Texture Studies. 7: 421-432.
27- Holt, J. E and J. Schoorl. 1983. Fracture in potatoes and apples. Journal of Materials Science. 18: 2017-2028.
28- Holt, J. E and J. Schoorl. 1984. Mechanical properties and texture of stored apples. Journal of Texture Studies. 15: 377-394.
29- Hyde, J. F., and M. Ingle. 1968. Size of apple bruises as affected by cultivar, maturity and time in stroage. *Proc.* American Society for Horticultural Science. 92: 733-738.
30- Kampp, J and G. Nissen. 1990. Impact damage susceptibility of Danish apples. Paper presented at International Work shop "Impact damage in fruit and vegetables". 28-29.
31- Kays, S. T. 1997. Postharvest physiology of perishable plant products. Athens, GA: Exon press.
32- Klein, J. D. 1987. Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. Journal of the American Society for Horticultural Science. 112: 113-118.
33- Knee, M and A. R. Miller. 2002. Mechanical injury. In Fruit quality and its biological basis, edited by M. K. (ed.). UK: Sheffield academic press. 157-179.
34- Kvaale, A., M. E. Patterson and R. B. Tukey. 1968. Lack of bruise recovery in golden delicious apples after storage. Paper read at Proc. Wash. State Hort. Ass.
35- Lewis, R., A. Yoxall., M. B. Marshall and L. A. Canty. 2008. Characterizing pressure and bruising in apple fruit. Wear. 264: 37–46.
36- Mathew, R and G. M. Hyde. 1997. Potato impact damage thresholds. Transactions of the ASAE, 40: 705–709.
37- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. Newyork.
38- Mowatt, C. M. 1997. Factors influencing the susceptibility of apples to bruising. Unpublished PhD thesis, Department of Horticultural Science, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
39- Pang, D. W. 1993. Prediction and quantification of apple bruising. Unpublished PhD thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
40- Pang, W., C. J. Studman and G.T. Ward. 1992. Bruising damage in apple-to-apple impact. Journal of Agricultural Engineering Research. 52: 229-240.
41- Ragni, L and A. Berardinelli. 2001. Mechanical behavior of apples, and damage during sorting and packing. Journal of Agricultural Engineering Research. 78: 273-279.
42- Saltveit, M. E. 1984. Effects of temperature on firmness and bruising of 'Starkrimson' and 'Golden Delicious' apples. Journal of Horticultural Science. 19(4): 550-551.
43- Schoorl, D and J. E. Holt. 1983. A practical method for tensile testing for apple tissue. Journal of Texture Studies. 14: 155-164.
44- Schoorl, D, J. E. Holt. 1986. Post-harvest energy transformations in horticultural produce. Agricultural Systems. 19: 127–140.
45- Sherif, S. M. 1976. The quasi-static contact problem for nearly incompressible agricultural products, Michigan State University, East Lansing.
46- Studman, C. J. 1997a. Factors affecting the bruise susceptibility of fruit. Paper read at Plant Biomechanics 1997 Conference Proceedings I, at University of Reading.
47- Studman, C. J., G. K. Brown., E. J. Timm., N. L. Shulte and M. J. Vreede. 1997b. Bruising on blush and non-blush sides in apple-to-apple impacts. Transactions of the ASAE. 40: 1655-1163.

48- Thomson, G. E., D. F. Cotter and P. A. Daly. 1996. Temperature effects in bruise darkness of 'Granny Smith', 'Golden Delicious', and 'Jonathan' apples. *N. Z. J. Crop* Journal of Horticultural Science. 24: 99-101.
49- P. M. A., C. Hampson., S. Stan., D. L. McKenzie and R. Hocking. 2007. Factors affecting severity of bruises and degree of apparent bruise recovery in a yellow-skinned apple. Postharvest Biology and Technology. 45: 276-280.
50- Van Lancker, J. 1979. Bruising of unpeeled apples and potatoes in relation with temperature and elasticity Lebensmittel-Wissenschaft_&_Technologie. 12: 157-161.
51- Van Zeebroeck, M., V. Van linden., H. Ramon., J. De Baerdemaeker., B. M Nicolai and E. Tijskens. 2007a. Impact damage of apples during transport and handling. Postharvest Biology and Technology. 45: 157-167.
52- Van Zeebroeck, M., V. Van linden., P. Darius., B. De Ketelaere., H. Ramon and E. Tijskens. 2007b. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. Postharvest Biology and Technology. 46: 10–19.
53- Viljoen, M., I. Mostert., C. Wepener and H. M. Griessel. 1996. The effect of harvest time on the bruisability of golden delicious apples. Decidious fruit grower. 46(2): 56-58.

Mechanical damage of apples during transport and handling

Bentolhoda ghasemibaghbadrani[1*] and Abbas Hemmat[2]

1- Graduated from the Masters, Department of Biosystems Engineering. Isfahan University of Technology
b.ghasemibaghbadrani@ag.iut.ac.ir
1- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

Apple, having the second ranking of country production after citrus, is one of the major orchard products of Iran. Iran, being forth apple producing country, has a large portion in exporting this product. Therefore, it is necessary for Iran to preserve and improve its place among apple producing countries by increasing quantity and quality of the fruit. Minimizing mechanical damage during harvest and postharvest operations is one of the main factors increasing apple fruit quality. In this paper, the factors affecting bruising were studied. Due to the biological properties of apple, result of previous researchs were different and occasionally contradictory. Hence, There is a need for more research and stronger conclusions.
Key words: apple, bruising, mechanical damage.