# مروری بر روش های اندازه گیری کوفتگی در میوه ها

جواد رضائی فر [1*]، حسن صدرنیا[2]، علی رحیمی [3]

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی

* ایمیل نویسنده مسئول: j_rezaeifar@pnu.ac.ir

## چکیده

کوفتگی یکی از رایج ترین آسیب های مکانیکی است که محصول تازه باغی را تحت تاثیر قرار داده و کیفیت بازارپسندی و عمر انبارمانی آن را کاهش می دهد.کوفتگی می تواند در حین برداشت و یا در تمانی مراحل پس از برداشت، به خصوص در حین عملیات چیدن، بسته بندی، حمل و نقل و انبارداری اتفاق افتد. کوفتگی یکی از اصلی ترین عیوب فیزیکی در افت درجه بندی میوه هاست. تعیین کردن کوفتگی می تواند با استفاده از روش های دستی مخرب و تحلیل های بعدی آن و یا با استفاده از تکنیک های جدید غیرمخرب صورت گیرد.تکنولوژی های جدید برای اندازه گیری کوفتگی، شامل تصویربرداری ابرطیفی و تصویربرداری تشدید مغناطیسی هسته ای هستند. مدل های ریاضی گوناگونی نیز برای تخمین میزان کوفتگی گسترش یافته است.در این مقاله نخست به تعریف کوفتگی و عوامل بروز آن پرداخته می شود و سپس مطالعات انجام شده برای اندازه گیری و پیش بینی این آسیب مکانیکی، شرح داده خواهد شد. وجود کوفتگی، کیفیت محصولات تازه، از جمله میوه و سبزیجات را کاهش می دهد .اندازه گیری حجم کوفتگی، رایج ترین گزارش از میزان آسیب کوفتگی است .شاخص های عینی مختلف برای تعیین پتانسیل آسیب کوفتگی در محصول، تحت بارگذاری مکانیکی رخ می دهد. اما حساسیت به کوفتگی به عنوان میزان آسیب در هر واحد از جذب انرژی ضربه و فشرده سازی بیان شده است

**واژه‌های کلیدی:** آسیب مکانیکی، کوفتگی، میوه

**مقدمه**

همواره تقاضا برای محصولات با کیفیت در حال افزایش است.یکی از جنبه های کیفی میوه، اثر زیان بار صدمه ناشی از ضربه است که نه تنها ظاهر نامطلوبی به میوه می بخشد، بلکه ریسک آلودگی باکتریایی و قارچی محصول را بالا برده و عمر انبارمانی آن را کاهش می دهد. در بیشتر میوه ها از جمله سیب، کوفتگی[1] از مهم ترین و رایج ترین نوع صدمه مکانیکی پس از برداشت است.

کوفتگی معمولا در طی مراحل جابجایی، حمل و نقل،بسته بندی به دلیل ضربه رخ می دهد. ضربات مکانیکی بعنوان عامل موثر و اصلی در تلفات پس از برداشت محصولات شناخته شده اند. در طی مراحل پس از برداشت بارهای دینامیکی در ایجاد کوفتگی در محصولات بیشتر موثرند چون بارهای دینامیکی از لحاظ مقدار و وقوع اثری بیش از بارهای استاتیکی دارند (Kupferman, 2006; Mohsenin, 1986).

کوفتگی سیب می تواند منجر به افت بیشتر از ۵۰٪ گردد. گرچه این افت بسته به آگاهی مصرف کنندگان کی تواند به ۱۰ تا ۲۵٪ تقلیل یابد(Van zeebroeck *et al.*, 2007). علاوه بر این برخی از صدمات کوفتگی کوچک که در طی فرآیند درجه بندی قابل مشاهده نیستند، بعدا قابل رویت شده و به افت بیشتری در مغازه های میوه فروشی می انجامد. این عوامل باعث کاهش ماندگاری میوه ها می گردد. صدمه کوفتگی، یک صدمه داخلی بوده و تشخیص آن به مراتب مشکل تر از سایر صدمات است. همچنین عوامل ایجاد کوفتگی بسیار زیاد بوده و حذف آن ها بسیار مشکل است. از این روی اندازه گیری و پیش بینی میزان این کوفتگی ها، می تواند در کنترل بروز و شدت آن موثر باشد. محققین بسیاری در حوزه های مختلف به بررسی و اندازه گیری آسیب کوفتگی پرداخته اند.

محققانی فشار ضربه و کوفتگی را برای گلابی ((کورلا)) (Wu *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2014) و سیب (Lu *et al.*, 2010) اندازه گیری کردند. آنها با استفاده از تکنیک فیلم چسبناک، میوه ها را از ارتفاعات مختلف بر روی سطوح مختلف پرتاب کردند. تکنیک ها و مدل های رگرسیونی به دست آمده بر اساس نیروی ضربه، به ارزیابی ها کمک کرد و کوفتگی میوه ها و تاثیر بارهای ضربه ای که در حین حمل و نقل رخ می دهند، را پیش بینی کردند.

در تحقیقات دیگری سطوح تماس سیب و تنش های تحت بارهای الاستیکی در جعبه های حجیم انباری، در حین برداشت با استفاده از تکنیک فراصوت مطالعه شد (Lewis *et al.*, 2008). در اشاره به مطالعاتی بر روی فشارهای سطحی میوه ها، می توان تحقیقاتی را نام برد، که از سنسورهای تک اسکن برای اندازه گیری های استاتیکی و دینامیکی استفاده کردند (Stopa *et al.*,2014).

در آزمایش دیگری سنسورهای فشار برای تحلیل تنش در سطح مقطع های واریته های گوناگونی از خیار به کار برده شد و همچنین تصویر بافت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Dan *et al.*, 2007). محققین بسیاری اثر پارامترهای ضربه (نیروی

1 - Bruise

تماس، انرژی ضربه ارتفاع پرتاب)، بلوغ میوه و شرایط انبارداری پس از برداشت (دما، زمان انبارداری و غیره) را بر روی حساسیت به کوفتگی در میوه ها را بررسی کردند. (Ahmadi, 2012; Abedi and Ahmadi, 2013).

تحقیقات بر روی سیب نشان داده است که خواص مکانیکی میوه که به شکل قابل ملاحظه ای بین میوه ها متفاوت است، سهم عمده ای در حساسیت به کوفتگی دارد(Khan and Vincent, 1993).

در تحقیقی از یک دستگاه تست پاندول، برای تخمین حساسیت به کوفتگی استفاده شد. اکثر روش های به کار برده شده در این تحقیق مخرب بودند. ابتدا به تعریفی از آسیب مکانیکی کوفتگی پرداخته می شود و سپس روش های مخرب و غیرمخرب به کار برده شده برای اندازه گیری و پیش بینی این پارامتر دسته بندی می شود. (Opara *et al*., 2007).

## تعریف کوفتگی

کوفتگی در میوه در نتیجه آسیب های مکانیکی ناشی از فشرده سازی و یا تاثیر نیروهاست .گوشت کبود معمولا به عنوان یک ناحیه تاریک و نزدیک به محل برخورد، نشان داده می شود .این امر در پاسخ به دو فرایند متوالی در بافت میوه که در سطح سلولی رخ می دهد، گسترش می یابد :اختلال بافت با شکست دیواره سلولی وانتشار اجزای سیتوزولی از سلول ها، و فعالیت های آنزیمی در محیط آشفته از سلول ها و بافت ها(Linden and Baerdemaeker, 2005) کوفتگی، بر اثر نیروی بیش از حد بر روی سطح محصول تازه به وجود می آید. با این حال، عوامل تعیین کننده تفاوت در حساسیت محصول مانند میوه به یک نیروی داده شده، هنوز مشخص نیست (Topping and Luton, 1986). میوه ها زمانی به کوفتگی حساس هستند که در حین چیدن و یا فرآیندهای پس از برداشت، در طول حمل و نقل و در فروشگاه های خرده فروشی، به همدیگر یا به سطوح سخت، برخورد کنند. (Yurtlu and Erdogan, 2005)

## عوامل موثر بر کوفتگی

بروز و شدت کوفتگی تحت تاثیر عوامل متعدد پیش از برداشت و پس از برداشت مثل واریته، وضعیت بلوغ، بار محصول، آبیاری و درجه حرارت قرار می گیرند(Mohsenin, 1986 and Opara *et al*., 2007).

تحقیقات بر روی میوه نیز نشان داده است که عوامل خارجی مانند اندازه میوه، شکل، وضعیت آب، عوامل داخلی و سفتی، عوامل داخلی مانند قدرت دیواره سلولی، کشش، شکل سلول و ساختار داخلی، امکان و شدت کوفتگی را تحت تاثیر قرار می دهند (Van Linden *et al*., 2006 ) . ورم و سفتی میوه نیز، به عنوان عوامل موثر در حساسیت کوفتگی بر اثر ضربه در سیب و گلابی

گزارش شده است..(Garcıa *et al*., 1995) دمای میوه در زمان شروع کوفتگی و درجه حرارت انبارداری پس از کوفتگی، بر گسترش کوفتگی تاثیر می گذارد (Baritelle and Hyde, 2001) .

## روابط بین کوفتگی و پارامترهای مکانیکی

بسیاری از محققین تلاش کردند تا یک همبستگی بین سطح کوفتگی و پارامترهای مکانیکی مانند نیرو(Brusewitez, 1991)، ارتفاع پرتاب(Bollen, 1993)، سرعت و شتاب ضربه(Pang *et al*., 1994) و انرژی جذب شده(Jarimopus, 2007) بیابند. برخی از محققین دریافتند که زمانی که میوه در معرض ضربات کوچک باشد، ممکن است کوفتگی قابل ملاحظه ای از خود نشان ندهد، ولی کوفتگی قابل توجه زمانی رخ می دهد که سطح انرژی برخورد، از یک حد مجاز، تجاوز کند. مطالعات بسیاری نشان دادند که انرژی های مکانیکی اضافی در حین تماس، با فشردگی آرام یا با برخورد، بر بروز کوفتگی تاثیرگذار هستند(Mohsenin, 1986) و یک همبستگی خطی بین حجم کوفتگی و انرژی ذخیره شده نیز یافت شد.(Kitthawee *et al*., 2011).

## روش های شناسایی، اندازه گیری و پیش بینی کوفتگی

### روشهای شناسایی کوفتگی

تشخیص وجود آسیب های مکانیکی که عمدتا زیر پوست محصول قرار گرفته ، بسیار چالش برانگیز است، زیرا دقت تشخیص توسط عوامل بسیاری از جمله سن کوفتگی، نوع کوفتگی ، شدت کوفتگی، نوع و واریته محصول و قبل و پس از برداشت میوه تحت تاثیر قرار می گیرد(Lu *et al*., 2010) . تشخیص کوفتگی معمولا با استفاده از بازرسی دستی انجام می شود، و در برخی از کاربردهای طبقه بندی فعلی، توسط افراد آموزش دیده بر اساس استانداردهای ویژگی های با کیفیت محصول،انجام می گردد . بازرسی بصری که برای تشخیص وجود کوفتگی است، اغلب توسط یک تصمیم به قبول، درجه پایین و یا رد محصول، می انجامد. در حین پروسه کنترل کیفیت، طبقه بندی کنندگان به راحتی محصول مبتلا به آسیب مکانیکی مانند لهیدگی، ترک ها و یا سوراخ را شناسایی و حذف می کنند. اما ممکن است نتوانند کوفتگی های تازه را تشخیص دهند، چون کوفتگی معمولا به سرعت در محصول آسیب دیده گسترش نمی یابد و محصول معیوب ممکن است تشخیص داده نشود(Van Linden *et al*., 2008) . علاوه بر تشخیص بصری از حضور کوفتگی، می توان از نمودار مرجع نیز برای کمک به ارزیابی بصری کوفتگی بر اساس نمرات استاندارد برای توصیف اندازه و شدت آسیب، بهره گرفت(Toivonen *et al*., 2007) . پیشرفت در کامپیوتر و الکترونیک، منجر به توسعه و استفاده از روش های جدید تشخیص کوفتگی خودکار شده است. *بورتون*(۱۹۸۵) در مطالعه ای مشاهده شد که آسیب قابل مشاهده در قالب کوفتگی برای سیب همیشه بلافاصله آشکار نیست و بیشتر آن می تواند داخلی باشد (Burton *et al*., 1985) .

## روش های اندازه گیری کوفتگی

این روشها را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف)روش های مخرب با تست ضربه و پرتاب و اندازه گیری دستی از ابعاد بافت کوفتگی برای تخمین مساحت یا حجم،

ب) استفاده از روشهای غیر مخرب برای تشخیص در محل، اندازه گیری و تجزیه و تحلیل

روشهای مخرب(تست ضربه، پرتاب، ارتعاش)

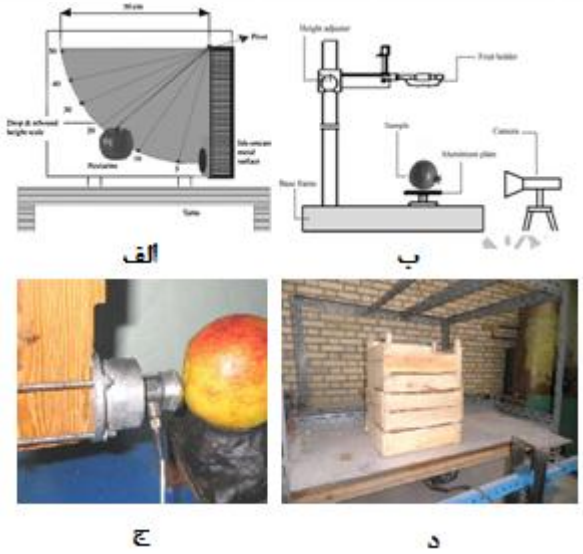
محققان بسیاری از آزمایش های رها کردن، فشرده سازی یا ضربه استفاده کرده اند تا آسیب کوفتگی کنترل شده ای را در طیف گسترده ای از محصولات تازه باغی، به دست آوردند.

در مطالعه ای تاثیر بارهای برخورد بر روی مقاومت به کوفتگی در میوه گلابی، با اندازه گیری فشارهای سطحی در ارتفاعات مختلف سقوط و تعداد مشخصی از ضربات، تحلیل شد (Komarnicki *et al*., 2016).

در یک مطالعه آزمایشی در زمان انبارمانی، دما و ناحیه ضربه مختلف، با پرتاب از سه ارتفاع مختلف بر روی یک سطح آلومینیومی انجام شد تا اثرات این عوامل بر روی کوفتگی میوه انار بررسی شود (Mohammad Shafie *et al*., 2015).

در تحقیق دیگری تاثیر فرکانس و شتاب ارتعاش بر آسیب های وارد شده به میوه کیوی در ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل جاده ای بررسی شد. برای این منظور یک دستگاه شبیه ساز ارتعاشات طراحی و ساخته شد (*تقی زاده مقدم* و همکاران۱۳۹۲).

در مطالعه دیگری بررسی دقیقی از اثر موقعیت های مکانی ضربه بر خواص دینامیکی میوه انجام شد.برای این منظور چهار موقعیت مکانی مختلف شامل سمت ساقه، سمت گل و دو سمت جانبی روی میوه سیب به عنوان محل بررسی اثر ضربه مورد مطالعه قرار گرفت (کفاشان و صدرنیا ۱۳۸۷). معمولا از یک ضربه زن پاندولی، برای تست ضربه استفاده می شود(شکل ۱ الف)و شامل نوسان یک قطعه از محصول در آرایش آونگ از ارتفاع های مختلف بر روی یک سطح سخت است.




**شکل۱: وسایل مختلف تست ضربه، پرتاب و ارتعاش،**

**الف: (Polat *et al.*, 2012)، ب: (Mohamad shafie *et al.*, 2015)،**

**ج: (کفاشان، صدرنیا ۱۳۸۷)، د: (تقی زاده مقدم و همکاران ۱۳۹۲ )**

چالش های این نوع تست های ضربه، سختی برآورد ارتفاع جهش بازگشتی،برای محاسبه تاثیر انرژی واقعی جذب شده توسط محصول آسیب دیده مورد نیاز است. برای حل این مشکل یک وسیله برای تعیین ارتفاع جهش در حین تست پاندول، برای حساسیت به کوفتگی طراحی و توسعه یافت (Opara *et al.*, 2007). یک دوربین فیلمبرداری با استاندارد به عنوان یک معیار عینی استفاده شد که می تواند به طور مطلوبی قابل مقایسه با دستگاه جدید، برای ارزیابی بصری از ارتفاع جهش باشد. *اخیرا*، یک دستگاه ضربه طراحی شده تا یک ضربه تجدید پذیر و کنترل شده، با پرتاب میوه بر روی یک صفحه فلزی ایجاد کند و پارامترهای ضربه توسط یک لودسل پیزوالکتریک متصل به صفحه فلزی، ثبت می شوند (Jiménez *et al.*, 2013).

پس از ضربه زدن، محصول در دمای اتاق نگهداری می گردد تا به گسترش کوفتگی ناشی از ضربه ها کمک کند. مدت نگهداری بین ۲ تا ۷۲ ساعت متفاوت است(Van Linden *et al.*, 2006; Opara, 2007) . وی همچنین ، تغییرات آناتومی مرتبط با کوفتگی را در لایه میانی دو رقم زیتون ۴ و ۲۴ ساعت پس از اعمال ضربه توصیف و سنجش کرد(Jimenez *et al*, 2015) .

## روشهای غیرمخرب

این روشها شامل تصویربرداری ابرطیفی، طیف سنجی مرئی و مادون قرمز نزدیک، تصویربرداری حرارتی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی هسته ای و سایر روش های در حال ظهور می باشد. استفاده از سیستم های ماشین بینایی با استفاده از یک دستگاه بار

جفت شده[۲] معمولی در طبقه بندی میوه با توجه به اندازه، رنگ و دیگر شاخص های ظاهر کوفتگی موفق بوده است (Van Zeebroeck *et al.*, 2007). طیف سنجی و تصویربرداری ابرطیفی باعث بهبود دقت طبقه بندی، به عنوان ویژگی های جزئی و یا ظریف و ترکیبات محصولاتی که تنها به طول موج خاصی حساس هستند ، به عنوان مثال در منطقه طول موج مادون قرمز نزدیک، می شود(Leemans and Destain, 2004).

در مطالعه ای یک مدل غیرخرب برای پیش بینی حساسیت به کوفتگی در سیب ها را با استفاده از تکنیک پراکنش ابرطیفی،توسعه یافت، تصاویر پراکنده طیفی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر برای ۳۰ عدد سیب از رقم گلدن دلیشز، به مدت سه هفته پس از برداشت، با استفاده از سیستم تصویربرداری ابرطیفی جمع آوری گردید (Zhu *et al.*, 2015).

در تحقیق دیگری دمای سطحی سیب های آسیب دیده ناشی از کوفتگی، با استفاده از نقشه های حرارتی و عمق کوفتگی تعیین شد (Doosti Irani *et al.*, 2016). همچنین با استفاده از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی[۳] کوفتگی گوشت میوه آووکادو هاس تعیین شد (Mazhar *et al.*, 2015). و با استفاده از روش تصویربرداری انعکاس روشنایی ساختاری،کوفتگی در سیب های تازه شناسایی شد (Lu *et al.*, 2016). شاخص کوفتگی بازتاب[۴] برای زیتون با استفاده از طول موج های مختلف، ۵۴۵، ۶۷۰ و ۸۰۰ نانومتر ، محاسبه گردید (Jiménez *et al.*, 2013).

اخیرا، علاقه به استفاده از تکنولوژی هوش مصنوعی حال ظهور، به عنوان ابزار مدل سازی در مواد غذایی و کشاورزی در حال افزایش است . یک روش برای طبقه بندی انواع توت ها ی قرمز بر اساس بروز کوفتگی در آن ها ارائه گردید (Lu *et al.*, 2010). ماشین بردار متکی بر مولفه (PC-SVM)و مدل ماشین بردار اتکا[۵] همراه با تجزیه و تحلیل فراکتال توسعه یافته و با مدل های طبقه بندی بر اساس مقادیر شدت RGB مقایسه می شوند. مدل های طبقه بندی بر اساس پارامترهای فراکتال رسیدن به ۱۰۰٪ میزان دقت، اما مدل های مبتنی بر مقادیر RGB تنها 85.29درصد بود.

## روش های پیش بینی کوفتگی

در این روش ها، از انواع برنامه های نرم افزارهای پیش بینی همچون شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون چندگانه، المان اجزای محدود و غیره استفاده شده است. در مطالعه ای ناحیه کوفتگی میوه گلابی در سه مرحله(نارس، رسیده و بیش رس)، و در دو جنس سطح برخورد و در دو جهت میوه، با تست سقوط تعیین شد و سپس با روش المان اجزای محدود[۶] با استفاده از نرم افزار Ansys ناحیه کوفتگی پیش بینی شد(Yousefi *et al.*, 2016) . همچنین روابط بین عمق کوفتگی و دمای سطحی سیب با استفاده از آنالیز رگرسیون چندگانه، پیش بینی شد (Doosti Irani *et al.*, 2016). در مطالعه دیگری از یک شبکه عصبی مصنوعی تابع

2- CCD
3- MIR
4 - BIR
5 - SVM
6 - FEM

پایه شعاعی در پیش بینی حجم کوفتگی سیب ، استفاده شد. در این مطالعه جهت ارزیابی مدل تابع پایه شعاعی و مدل رگرسیونی در پیش بینی حجم کوفتگی سیب، علاوه بر رگرسیون خطی، از بعضی آزمونهای آماری نظیر مقایسه میانگینها، واریانس و توزیع آماری بین داده های واقعی و داده های پیش بینی شده بوسیله مدل شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی استفاده گردید *(ظریف نشاط* و همکاران۱۳۹۱).

در پژوهشی دیگر دو مدل پیش بینی کوفتگی برای میوه های کیوی (با اندازه گیری انرژی جذب شده) با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی چندگانه به دست آمد .میوه های کیوی با استفاده از یک آونگ در حال بارگذاری پویا در سه سطح از ضربه قرار گرفتند .اثر معنی دار در سطح احتمال 5 درصد از سختی های صوتی، دما و شعاع انحنا به دست آمد (Ahmadi, 2012) .

## نتیجه گیری

وجود کوفتگی، کیفیت محصولات تازه، از جمله میوه و سبزیجات را کاهش می دهد .اندازه گیری حجم کوفتگی، رایج ترین گزارش از میزان آسیب کوفتگی است .شاخص های عینی مختلف برای تعیین پتانسیل آسیب کوفتگی در محصول، تحت بارگذاری مکانیکی رخ می دهد. اما حساسیت به کوفتگی به عنوان میزان آسیب در هر واحد از جذب انرژی ضربه /فشرده سازی بیان شده است .با این حال، در حال حاضر هیچ معیار پذیرفته شده ای بین پژوهش ها و صنعت که در آن بتوان میزان و یا پتانسیل ابتلا به کوفتگی محصولات تازه باغبانی را ارزیابی کرد، وجود ندارد. محققین بسیاری سعی کردند که با استفاده از روش های مخرب و غیرمخرب و یا حتی روش های پیش بینی، عوامل بروز یا توسعه این آسیب مکانیکی را شناسایی و اندازه گیری کنند. در حال حاضر روش های نوین و شبیه سازی هایی نیز از سوی محققین در حال انجام است که هر چه بیشتر و بهتر، بتوانند تلفات ناشی از کوفتگی در محصولات را کاهش دهند.

## منابع

تقی زاده مقدم، ق .هاشمی، ج .طباطبایی کلور، ر .شهبازی، ف .۱۳۹۲،" بررسی تاثیر فرکانس و شتاب بر آسیب های میوه کیوی در ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل جاده ای "، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد۱۴/شماره۳/ص ۱-۱۴

ظریف نشاط، س. روحانی، ع. اتفاق، م. سعیدی راد، م.ح. ۱۳۹۱. "پیش بینی حجم کوفتگی سیب با استفاده از شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBF) و مقایسه آن با مدل رگرسیونی" نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی/ جلد۴/شماره۲/ص ۴۵-۶۵

کفاشان، ج .صدرنیا، ح .رامون، ه .تیسکنین، ب .۱۳۸۷. " خواص دینامیکی نقاط مختلف میوه در آزمون ضربه" ،پنجمین کنکره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون.

Abedi, M., Ahmadi, E. 2013. "Bruise susceptibilities of Golden Delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties", J. Agric. Sci. 152: 439–447.

Ahmadi, E. 2012. "Bruise susceptibilities of kiwifruit as affected by impact and fruit properties", Res. Agric. Engine 58: 107–113.

Baritelle, A.L., Hyde, G.M. 2001. "Commodity conditioning to reduce impact bruising", Postharvest Biol. Technol. 21: 331–339.

Bollen, A.F. 1993." Apple-apple impact evaluation using an instrumented sphere", Journal Agricultural. Engineering. Res. 2: 1–14.

Brusewitz, G., McCollum, T., Zhang, X. 1991. "Impact bruise resistance of peaches", Trans. ASAE 34: 962–965.

Burton, C., Schulte-Pason, N. 1985. "Assaying fruit impact damage using an infrared CO2gas analyzer", ASAE Paper Number 18-1564

Dan, H., Azuma, T., Kohyama, K. 2007. "Characterization of spatiotemporal stress distribution during food fracture by image texture analysis methods", Journal Food Engineering. 81: 429–436.

Doosti Irani, O., Golzariyan, M. R., Sadrnia, H., Doosti Irani, M. 2016. "Development of multiple regression model to estimate the apple's bruise depth using thermal maps", Postharvest Biology and Technology116:75-79

Garcia, J., Ruiz-Altisent, M., Barreiro, P. 1995. "Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears", J. Agric. Eng. Res. 61:11–18.

Jarimopas, B., Singh, S.P., Sayasoonthorn, S., Singh, J. 2007. "Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples". Package.Technol. Sci. 20: 315–324.

Jiménez-Jiménez, F., Castro-Garcia, S., Blanco-Roldan, G.L., Ferguson, L., Rosa, U.A., Gil-Ribes, J.A. 2013. "Table olive cultivar susceptibility to impact bruising", Postharvest Biol. Technol. 86: 100–106

Khan, A.A., Vincent, J.F.V. 1993. "Anisotropy in the fracture properties of apple fleshes investigated by crack-opening tests", J. Mater. Sci. 28: 45–51.

Kitthawee, U., Pathaveerat, S., Srirungruang, T., Slaughter, D. 2011. "Mechanical bruising of young coconut", Biosyst. Eng. 109: 211–219.

Komarnicki, P., Stopa, R., Szyjewicz, D., Młotek, M. 2016. "evaluation of bruise resistance of pears to impact load", postharvest biology and technology114:36-44

Kupferman E. 2006.” Minimizing bruising in apples”, Postharvest Information Network, Washington State University, Tree Fruit Research and Extension Center

Leemans, V., Destain, M. F. 2004. “A real-time grading method of apples based on features extracted from defects”, J. Food Eng. 61: 83–89.

Lewis, R., Yoxall, A., Marshall, M.B., Canty, L.A. 2008. “Characterising pressure and bruising in apple fruit”, Wear 264, 37–46.

Linden, V.V., Baerdemaeker, J. 2005. “The phenomenon of tomato bruising: where biomechanics and biochemistry meet”, Acta Hortic. 682: 925–930.

Lu, F., Ishikawa, Y., Kitazawa, H., Satake, T. 2010. “Measurement of impact pressure and bruising of apple fruit using pressure-sensitive film technique”. J. Food Eng. 96: 614–620

Lu, Y., Li, R., Lu, R. 2016. “Detection of Fresh Bruises in Apples by Structured-Illumination Reflectance Imaging” Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety VIII, Proc. of SPIE Vol. 9864, 986406.

Mazhar, M., Joyce, D., Cowin, G., Breretonc, I., Hofmand, P., Collins, R., Gupta, M. 2015. “Non-destructive 1H-MRI assessment of flesh bruising in avocado cv. Hass”, Postharvest Biology and Technology100:33-40

Mohammad Shafie, M., Rajabipour, A., Castro-Garcia, S., Jiménez-Jiménez, F., Mobli, H. 2015. “Effect of fruit properties on pomegranate bruising”, International Journal of Food Properties, DOI: 10.1080/10942912.2014.948188

Mohsenin N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York

Opara, L.U., Al-Ghafri, A., Agzoun, H., Al-Issai, J., Al-Jabri, F. 2007. “Design and development of a new device for measuring susceptibility to impact damage of fresh produce”, N. Z. J. Crop Hort. Sci. 35: 251–345.

Pang, D., Studman, C., Banks, N. 1994. “Apple bruising thresholds for an instrumentedsphere”, Trans. ASAE 37: 893–897.

Polat, R., Aktas, T., Ikinci, A. 2012. “Selected mechanical properties and bruise susceptibility of nectarine fruit”, Int. J. Food Prop. 15: 1369–1380.

Stopa, R., Komarnicki, P., Młotek, M. 2014. “Distribution of surface pressures with regard to an avocado fruit at the constant load value”, Agric. Eng. 1: 209–220.

Sun, H.J., Wu, J., Feng, Z., Wang, Z.P. 2014. "Contact stress of drop impact to corrugated board and damage predication for Korla pear", Mod. Food Sci. Technol. 30 (2), 48–52.

Toivonen, P.M.A., Hampson, C., Stan, S., McKenzie, D.-L., Hocking, R. 2007." Factors affecting severity of bruises and degree of apparent bruise recovery in a yellow-skinned apple", Postharvest Biol. Technol. 45: 276–280.

Topping, A., Luton, M. 1986. "Cultivar differences in the bruising of English apples", J.Hortic. Sci. 61: 9–13.

Van Linden, V., Scheerlinck, N., Desmet, M., De Baerdemaeker, J. 2006. "Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact", Postharvest Biol. Technol. 42: 260–270.

Van Linden, V., Sila, D.N., Duvetter, T., De Baerdemaeker, J., Hendrickx, M. 2008. "Effect of mechanical impact-bruising on polygalacturonase and pectinmethylesterase activity and pectic cell wall components in tomato fruit", Postharvest Biol. Technol. 47: 98–106

Van Zeebroeck, M. , Van linden, V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M. Tijskens, E. 2007. "impact change of apples during transport and handling", postharvest biology and technology,45:157-167

Wu, J., Guo, K.Q., Ge, Y., Wang, Y.Y. 2012. "Contact pressure distribution characteristics of Korla pear fruit at moment of drop impact", Trans. CSAE 28 (1), 250–254.

Yousefi, S., Farsi, H., Kheiralipour, K. 2016. "Drop test of pear fruit: Experimental measurement and finite element modeling", biosystems engineering 147:17-25

Yurtlu, Y.B., Erdogan, D. 2005. "Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples", Turk. J. Agric. For. 29, 469.

Zhu, Q., Guan, J., Huang, M., Lu, R., Mendoza, F. 2015. "Predicting bruise susceptibility of 'Golden Delicious' apples using hyperspectral scattering technique", Postharvest Biology and Technology 114: 86–94