

ارزیابی رسیدگی هندوانه با استفاده از تحلیل صوت حاصل از اعمال ضربه به آن

محمد سعادت‌نی^۱ - باقر عمادی^{۲*} - حسن صدرنیا^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

یکی از روش‌های غیر مخرب برای ارزیابی کیفیت درونی برخی میوه‌ها، پردازش و تحلیل سیگنال‌های صوتی حاصله از ایجاد ضربه روی آن‌ها می‌باشد. بر این اساس، امکان کاربرد این روش برای ارزیابی کیفیت درونی میوه هندوانه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، تأثیر دو متغیر مستقل محل اعمال ضربه (دو طرف خط مرکزی هندوانه و مقابل محل اتصال به ساقه) و شدت ضربه (۱۵/۰۸، ۱۲/۰۹ و ۱۷/۱۱ kg mm s^{-1}) بر تغییرات خواص سیگنال‌های صوتی حاصله، مطالعه و ارتباط آن‌ها با تغییرات خواص بیومکانیک بافت گوشت و پوست از جمله ضریب سفتی شاخص میزان رسیدگی هندوانه به‌عنوان متغیر وابسته بررسی گردید. نتایج نشان داد سطوح مختلف شدت و محل اعمال ضربه تأثیر معنی‌داری روی نتایج آزمون صوتی داشت، به‌گونه‌ای که اعمال ضربه به اطراف خط مرکزی هندوانه و شدت ضربه $17/11 \text{ kg mm s}^{-1}$ بهترین نتیجه را نشان داد. بین خواص بیومکانیک پوست میوه‌های نارس، رسیده و بیش‌رس تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد و لذا پیش‌بینی می‌شود که تفاوت مشاهده شده در خواص صوتی هندوانه‌ها بیشتر به دلیل تفاوت در خواص گوشت باشد تا پوست.

واژه‌های کلیدی: خواص صوتی، شدت ضربه، محل ضربه، هندوانه

مقدمه

بافت، رنگ و ویژگی‌های شیمیایی محصولات در حال رشد را اندازه‌گیری نماید (Crochon, 1999). اندازه‌گیری سفتی بافت میوه یکی از روش‌های مخرب جهت تعیین میزان سفتی بافت محصولات و بررسی کیفیت درونی آن‌ها می‌باشد (Harker et al., 1996). در این روش، به‌منظور اندازه‌گیری سفتی بافت میوه، از نفوذسنج دستی استفاده شده است. بدین صورت که یک پروب استوانه‌ای شکل با فشار به داخل میوه مورد آزمایش رانده شده و نیروی لازم برای نفوذ آن به یک عمق معین تعیین می‌شود. انجام این آزمایش سریع بوده ولی نتایج به‌دست آمده وابستگی زیادی به شخص انجام دهنده آزمایش (اپراتور) دارد تا حدی که اختلاف‌های مشاهده شده تا حدود ۲۰٪ برای اپراتورهای مختلف گزارش شده است (Bourne, 1960). سیستم‌های آزمون خودکار این اختلاف‌های ناشی از اپراتور را تا حدودی حذف کرده‌اند. به‌رحال به دلیل مخرب بودن آزمون نفوذ، از این روش برای ارزیابی بافت درونی هندوانه نمی‌توان استفاده نمود.

یکی از روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت درونی و یا رسیدگی میوه‌هایی مثل هندوانه، بررسی رفتار صوتی آن‌ها است. ضمناً تکنیک‌های غیر مخرب مبتنی بر آنالیز سیگنال‌های صوتی، برای ارزیابی کیفیت درونی میوه‌هایی مثل سیب، گلابی، آووکادو، خربزه و هندوانه استفاده شده‌اند (Shmulevich et al., 2003; De, 2000; Sugiyama et al., 1996). در همه این

بسیاری از ویژگی‌های پس از برداشت هندوانه مانند زمان ماندگاری و کیفیت خوراکی آن، وابسته به مناسب بودن زمان برداشت می‌باشند. بنابراین در صورتی که امکان تعیین کیفیت درونی میوه فراهم گردد، می‌توان به‌طور غیر مستقیم زمان برداشت محصول را پیش‌بینی نمود. روش‌های متداول برای بررسی کیفیت درونی میوه‌ها شامل بصری، حسی و یا روش مخرب می‌باشند (Studman, 2001). به‌طوری که ارزیابی رنگ، شکل و سفتی مکانیکی در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Thompson, 1996). به دلیل اینکه شکل و اندازه میوه و سبزیجات در طی دوره رشد تغییر می‌کند، بررسی تغییرات این پارامترها یکی از ساده‌ترین روش‌های سنجش کیفیت درونی محصول محسوب می‌گردد. بر این اساس، در سال ۱۹۹۹ یک دست الکترونیکی ساخته شد که توانست میزان سفتی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول: (Email: emadi-b@um.ac.ir)

۳- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

هندوانه اختلاف معنی‌داری با دیگر نقاط نشان دادند. در این روش نیز بررسی تنها با اعمال ضربه در یک سطح شدت و به یک طرف هندوانه انجام گرفت.

همان‌طور که اشاره شد آزمون‌های صوتی مبتنی بر اصول ضربه در بسیاری از مطالعات به‌منظور تعیین کیفیت درونی میوه‌ها انجام شده است ولی در همه این تحقیقات، تغییرات محل اعمال ضربه و شدت ضربه مورد بررسی قرار نگرفته است. به‌منظور کاهش خطایی که بر اثر تغییرات شکل میوه‌های باغی به‌وجود می‌آید، انجام اندازه‌گیری‌های صوتی در دو طرف خط مرکزی میوه و حتی الامکان با سه تکرار توصیه شده است (Chen and Sun, 1993). آنالیزهای کیفی انجام گرفته روی محصولات کروی شکل نشان داده است که بهترین سیگنال تولیدی زمانی به‌دست می‌آید که دریافت‌کننده فرکانس صوتی با فاصله‌ای معادل صفر و یا ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه قرار داشته باشد (Huang et al., 1993). همه این مطالعه‌ها بیانگر اهمیت دو متغیر محل اعمال ضربه و شدت ضربه در آزمون‌های صوتی می‌باشد.

در حین انجام آزمون‌های تعیین کیفیت درونی هندوانه، پارامترهای مختلفی روی رفتار صوتی تأثیرگذار می‌باشند که بر این اساس اهداف این تحقیق مطالعه و بررسی اثر پارامترهای مهم شدت و محل اعمال ضربه، روی آزمون صوتی هندوانه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، تعداد ۲۴ عدد هندوانه رقم کریمسون سوئیت جهت انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند. نمونه‌ها از میدان تره بار مشهد و به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه در دما و رطوبت محیط نگهداری شدند. در ابتدا آزمایش‌های صوتی با استفاده از سامانه آزمون ضربه‌ای انجام شد (شکل ۱). این سامانه از یک محفظه چوبی با دیواره‌های عایق ساخته شد. سامانه در داخل، مجهز به یک محل استقرار میوه در کف، مکانیزم ضربه‌زن و دریافت‌کننده سیگنال می‌باشد. در این سامانه، تحریک صوتی هندوانه توسط ضربه انجام شد. با اعمال ضربه به سطح میوه، سیگنال صوتی تولیدی به درون میوه ارسال گردیده و سپس توسط یک گیرنده (میکروفون) که در فاصله ۵ میلی‌متر نسبت به نمونه نصب شده، میزان سیگنال خروجی اندازه‌گیری شد. سامانه قابلیت ایجاد ضربه با شدت‌های مختلف را برای مطالعه اثر تغییرات شدت ضربه دارا بود. در این سامانه، تغییر شدت ضربه بر اساس تغییر فاصله طولی نوک ضربه‌زن چوبی تا سطح بالایی میوه انجام گرفت. با توجه به سه تکرار ضربه در هر محل، به‌منظور حذف اثرات لهیدگی محل ضربه، از ضربه‌زن چوبی به شکل نیم‌کره و با وزن ۳۰/۸۵ گرم استفاده گردید (Nourain et

روش‌ها، تفاوت‌های موجود بین خواص صوتی میوه‌های رسیده و نارس قابل استفاده خواهند بود (Sun et al., 2010). محققان پی بردند که سیگنال‌های صوتی موجی شکل ایجاد شده حاصل از ضربه پاندول به میوه هندوانه، در طول خط مرکزی و در یک سرعت ثابت جابه‌جا می‌شوند، این سیگنال‌ها می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های سفتی و رسیدگی به کار روند (Sugiyama et al., 1996). یکی از مهم‌ترین خصوصیات مکانیکی هندوانه سفتی بافت درونی آن می‌باشد که همبستگی زیادی با پارامترهای صوتی بافت دارد (Abbott, 1999). بعضی محققین ضریب همبستگی میان سرعت امواج صوتی و سفتی بافت هندوانه را ۰/۸۳ به‌دست آوردند (Hayashi et al., 1992). به‌منظور انجام آزمون صوتی مبتنی بر اصول ضربه، تاکنون ابزارهای مختلفی ابداع گردیده است. یکی از اولین ابزارها در پی تقاضای کشاورزان ژاپنی برای بررسی زمان برداشت هندوانه ساخته شد (Sugiyama et al., 1996). آن‌ها دریافتند همبستگی معنی‌داری بین سرعت انتقال امواج صوتی و استحکام بافت هندوانه وجود دارد. در حقیقت، با افزایش مقدار رسیدگی میوه، سرعت انتقال امواج کاهش می‌یابد. بر همین اساس، برای ارزیابی کیفیت درونی میوه هندوانه، ابزار قابل حملی ساخته شد که بر مبنای سرعت انتقال موج در داخل میوه کار می‌کرد. البته آن‌ها در این مطالعه، تفاوت خواص صوتی (شاخص استحکام) میوه در نقاط مختلف اعمال ضربه و شدت ضربه‌های متفاوت را مورد بررسی قرار ندادند.

استون و همکاران (۱۹۹۶) نیز برای تعیین کیفیت درونی میوه هندوانه، یک دستگاه قابل حمل صوتی مبتنی بر اصول ضربه ساختند. آن‌ها دریافتند که ضریب همبستگی بین خواص صوتی میوه با استحکام بافت، جرم و درصد مواد جامد موجود در بافت هندوانه به‌ترتیب معادل ۰/۵۳، ۰/۶۲ و ۰/۶۴ بود.

در تحقیقی دیگر، با استفاده از روش ارتعاشی، میزان استحکام و رسیدگی میوه خربزه ارزیابی گردید (Nourain et al., 2004). از جمله خواص مکانیکی مورد مطالعه سفتی و ضریب الاستیسیته بود. بهترین محل اعمال ضربه با استفاده از روش المان محدود و توسط نرم افزار ANSYS تعیین گردید. آن‌ها دریافتند که اعمال ضربه در راستای خط مرکزی میوه، بهترین نتایج در ارزیابی خواص درونی آن را به‌دنبال داشت.

استفاده از روش‌های صوتی- ارتعاشی علاوه بر تعیین کیفیت درونی هندوانه به‌منظور ارزیابی مقدار رسیدگی آن، برای ارزیابی نقص‌ها و خرابی‌های داخلی آن نیز قابل کاربرد است. به‌عنوان مثال با استفاده از روش صوتی مبتنی بر ضربه، علاوه بر تعیین زمان رسیدگی، نقاط پوچی و خرابی میوه هندوانه بدون دانه تعیین شده است (Diezma-Iglesias et al., 2004). در این مطالعه پس از اعمال ضربه به نقاط مختلف هندوانه، نمودارهای فرکانس خروجی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نمودارهای مربوط به نقاط خرابی

سرعت میله ضربه‌زن با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

آزمون‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل و با متغیرهای مستقل محل اعمال ضربه روی هندوانه (سه سطح، دو طرف خط مرکزی هندوانه و طرف مقابل محل اتصال میوه به ساقه) (شکل ۲) و شدت ضربه با سه سطح (I_1, I_2, I_3) انجام گرفت. در این آزمایش‌ها، فاصله عمودی ضربه‌زن تا سطح میوه در سه سطح ۱۳۳/۳، ۹۹/۷۲ و ۶۶/۶۵ میلی‌متر تنظیم شد که مقادیر شدت ضربه I_1 تا I_3 متناظر آن‌ها به ترتیب معادل ۱۲/۰۹۷، ۱۵/۰۸۶ و $17/11 \text{ kg mm s}^{-1}$ بودند. لذا با توجه به انجام آزمایشات با سه تکرار در این مطالعه، به هر هندوانه تعداد ۲۷ ضربه وارد و سیگنال‌های صوتی حاصله، توسط میکروفون دریافت و سپس تقویت و فیلترینگ شدند.

(al., 2004). ارتفاع قرارگیری هندوانه طوری تنظیم شد که در صورت قرارگیری نوک ضربه‌زن روی سطح آن، زاویه میله ضربه‌زن نسبت به سطح افق 10° (زیر خط افق) باشد. در این حالت برای تغییر شدت ضربه، فقط کافی بود تا فاصله نوک ضربه‌زن تا سطح میوه (با توجه به زاویه ضربه‌زن نسبت به سطح افق) تغییر داده شود. ضربه در سه سطح به هندوانه اعمال شد که در آن زاویه قرارگیری میله ضربه‌زن نسبت به سطح افق به ترتیب ۰، ۵ و ۱۰ درجه بالای سطح افق بود. در این تحقیق، برای محاسبه شدت ضربه وارده، از رابطه (۱) استفاده شد.

$$I = m.V \quad (1)$$

I: شدت ضربه (kg mm s^{-1})

m: جرم میله ضربه‌زن (kg)

V: سرعت میله ضربه‌زن (mm s^{-1})



شکل ۱- (a) سامانه آزمون ضربه‌ای مورد استفاده، (b) نحوه قرارگیری نمونه‌ها در سامانه آزمون صوتی
Fig.1. (a) Schematic of the applied impact apparatus, (b) Sample location in the acoustic testing system



شکل ۲- سطوح مختلف محل اعمال ضربه روی هندوانه

Fig.2. Different levels of impact location

طبقه‌بندی نمونه‌ها در گروه‌های سه‌گانه فوق انجام گرفت. بنابراین پس از انجام آزمون صوتی، با استفاده از آزمون حسی، هندوانه‌ها در سه گروه فوق طبقه‌بندی گردیدند. این آزمون یکی از راه‌های مطمئن و مورد اعتماد برای تعیین کیفیت داخلی میوه می‌باشد که مطابق با استاندارد ملی ایران (آب میوه‌ها و روش‌های آزمون به شماره ۲۶۸۵) انجام گرفت. در آزمون حسی از تعداد پنج نفر آزمونگر آموزش دیده استفاده گردید. آزمون حسی شامل پارامترهای تردی، شیرینی، آبداری، ترشی، طعم، رنگ، ظاهر، فیبری بودن، سفتی، بوی خوش و مقبولیت کلی بود و به هر پارامتر از ۱ تا ۵ (بسیار بد تا بسیار خوب) امتیاز داده شد. گروه‌های نارس، رسیده و بیش‌رس به ترتیب زیر ۲۵، ۲۵ تا ۴۰ و بیش از ۴۰ امتیاز داشتند.

برای نشان دادن تغییرات بافت هندوانه (گوشت و پوست آن)، از آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه تست فشار (Hounsfield مدل H5K ساخت انگلستان) با ظرفیت ۵ kN، دقت نیروسنج ۰/۵ kN و دقت جابه‌جایی ۰/۰۱ mm استفاده شد. مطابق با استاندارد ASAE S368.4، پروب با قطر ۸ mm و سرعت بارگذاری ۲۵ mm min⁻¹ استفاده شد. نمونه قطعات پوست و گوشت از محل‌های واقع بر قطرهای کوچک و بزرگ هندوانه تهیه گردید و معدل نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

در نهایت، سیگنال‌های صوتی به دست آمده توسط نرم افزار تحلیل فرکانس (Sound Analyzer) آنالیز شدند. وظیفه اصلی این نرم افزار، نمایش دادن سیگنال‌های دریافتی در حوزه‌های زمان و فرکانس می‌باشد به طوری که نمودار سیگنال‌هایی که در حوزه زمان دریافت می‌شد با استفاده از فرمول‌های سری فوریه، در حوزه فرکانس نمایش داده می‌شد (شکل ۳).

تجزیه و تحلیل اطلاعات خروجی از نرم‌افزار تحلیل فرکانس انجام گردید، به طوری که پس از دریافت طیف فرکانسی مربوط به هر ضربه، فرکانس تشدید (منظور اولین فرکانسی که بیشترین دامنه را در هر طیف فرکانسی دارد) استخراج شد. با استفاده از فرکانس تشدید و با توجه به رابطه (۳)، ضریب سفتی هندوانه در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه، محاسبه گردید (Terasaki et al., 2001).

$$S = f^2 \cdot m^{2/3} \quad (3)$$

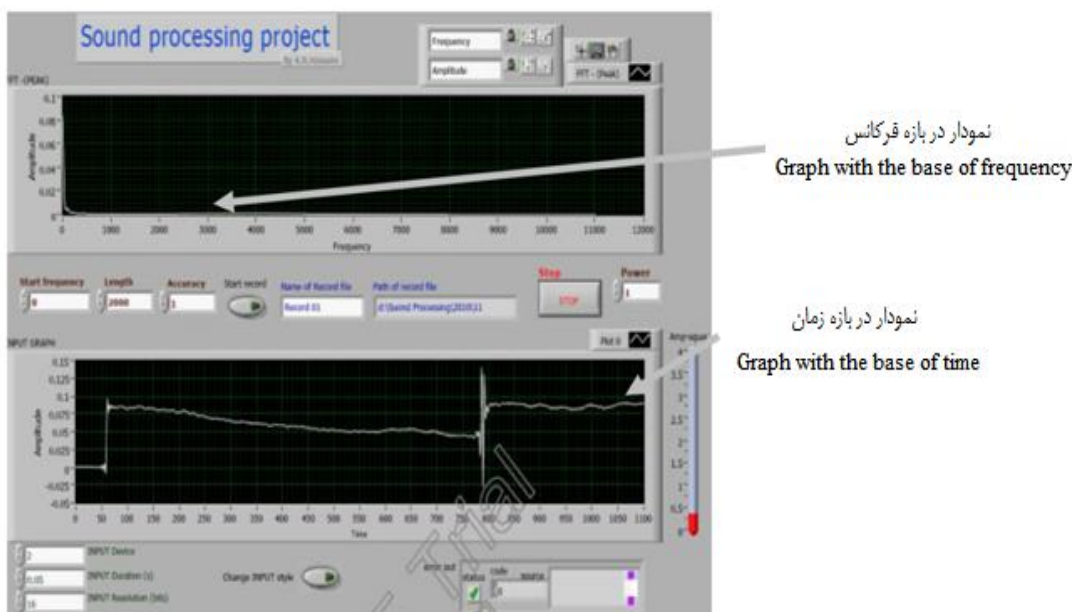
S: ضریب سفتی

f: فرکانس تشدید (Hz)

m: جرم نمونه (g)

در شکل ۳ نمونه‌ای از طیف فرکانسی که در آن فرکانس تشدید نشان داده شده، آمده است.

به منظور تحلیل بهتر، نتایج آزمایشات در سه گروه رسیده، نیمه‌رس و بیش‌رس از هندوانه‌ها بررسی گردید. بدین منظور



شکل ۳- نمونه‌ای از نمودار نرم افزار آنالیز فرکانسی (محور عمودی: دامنه)
 Fig.3. Sample of sound analyzer software graph (vertical axis: amplitude)

نیروی گسیختگی لازم برای نفوذ در بافت گوشت و پوست هندوانه، اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۲ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است سفتی گوشت هندوانه مطابق با تقسیم‌بندی هندوانه‌ها از نارس به بیش‌رس کاهش می‌یابد. این نتیجه با توجه به در نظر گرفتن روند تغییر بافت درونی هندوانه (گوشت) از نارس به رسیده و بیش‌رس، کاملاً منطقی می‌باشد. اکثر محققان از آزمون نفوذ به‌عنوان یک تست مرجع برای تعیین رسیدگی استفاده نموده‌اند و گزارش نموده‌اند که با افزایش رسیدگی، نیروی لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد. در مورد تغییر سفتی پوست هندوانه، روند خاصی مشاهده نگردیده است (Sugiyama *et al.*, 1996; Diezma-Iglesias *et al.*, 2004).

پس از اعمال هر ضربه به هندوانه (در هر یک از سطوح شدت ضربه و محل اعمال ضربه)، با استفاده از رابطه (۳)، ضریب سفتی (خروجی آزمون صوتی) محاسبه گردید.

تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP 4.0 و Statistica 8.0 انجام گردید.

نتایج و بحث

همه نمونه‌های هندوانه مورد آزمایش در هر روز توسط افراد انتخاب شده، از لحاظ پارامترهای حسی ذکر شده در جدول شماره ۱، مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار هر یک از پارامترها تعیین گردید. این نتایج در جدول شماره ۱ آمده است.

نتایج به‌دست آمده از آزمون حسی نشان می‌دهد هندوانه‌ها با کیفیت‌های مختلف انتخاب شده است. با استفاده از نتایج و امتیاز اختصاص داده شده به هر میوه در آزمون حسی، هندوانه‌ها به سه گروه اصلی نارس، رسیده و بیش‌رس تقسیم‌بندی شدند. علت این تقسیم‌بندی، بررسی اثر تیمارهای شدت و محل اعمال ضربه در گروه‌های رسیدگی می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون حسی روی نمونه‌ها

Table 1- Results of the sensory test

انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداقل (۱-۵) Minimum (1-5)	حداکثر (۱-۵) Maximum (1-5)	پارامترها Parameters
0.82	2.98	1	4.2	تردی (Brittleness)
0.89	3.00	1	4.4	شیرینی (Sweetness)
0.83	2.94	1	4.4	آبداری (Juicy)
0.86	2.94	1	4.2	ترشی (Acidity)
0.91	2.77	1	4.2	طعم (Taste)
1.02	2.72	1	4.2	رنگ (Color)
0.96	2.62	1	4.2	ظاهر (External face)
0.79	2.67	1	4.3	فیبری بودن (Fiber content)
0.84	2.74	1	4.4	سفتی (Firmness)
0.78	2.64	1	3.8	بوی خوش (Good smell)
0.88	2.76	1	4.0	مقبولیت کلی (Acceptability)

جدول ۲- میزان نیروی لازم برای نفوذ در بافت گوشت و پوست هندوانه

Table 2- The value of penetration force on texture of flesh and peel of watermelon

انحراف از معیار Standard deviation	میانگین (N) Mean (N)	حداقل (N) Minimum (N)	حداکثر (N) Maximum (N)	گروه Group	نمونه Sample
2.06	3.90	2.50	7.50	نارس (Unripe)	گوشت Flesh
1.68	3.75	1.50	6.65	رسیده (Ripe)	
1.36	2.52	0.50	4.00	بیش‌رس (Over ripe)	
45.79	83.05	26.55	121.50	نارس (Unripe)	پوست Peel
43.55	67.75	24.50	148.80	رسیده (Ripe)	
42.69	73.72	35.00	143.10	بیش‌رس (Over ripe)	

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شدت و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی

Table 3- Variance analysis of impact levels and its location effects on stiffness factor

ردیف Order	منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
1	محل اعمال ضربه Impact location	2	14281621*
2	شدت ضربه Impact value	2	744239067**
3	محل اعمال ضربه × شدت ضربه Impact location × impact value	4	173344073*

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

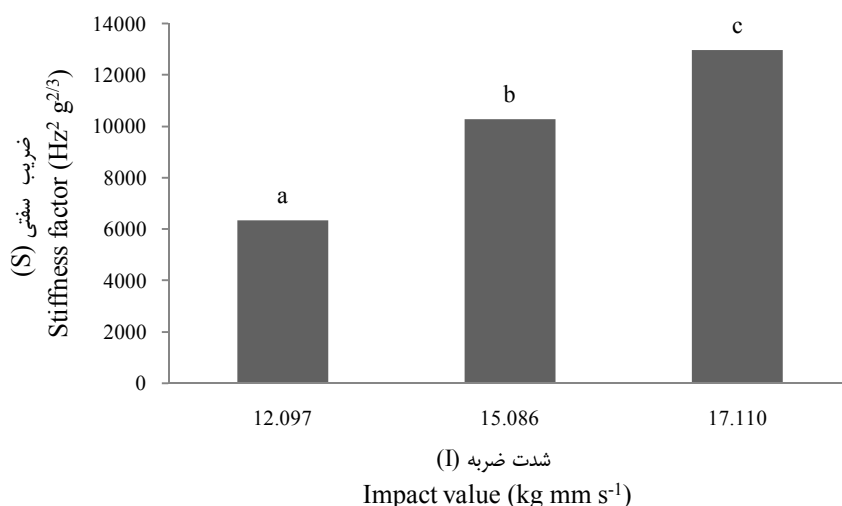
ضربه و محل اعمال ضربه بررسی گردید که نتایج آن در شکل های ۴ و ۵ آمده است.

مقادیر ضریب سفتی در هر سه سطح شدت ضربه، اختلاف معنی داری دارد به گونه ای که با تغییر مقدار شدت ضربه از سطح یک ($I_1 = 12/097 \text{ kg mm s}^{-1}$) به سطح دو ($I_2 = 15/086 \text{ kg mm s}^{-1}$)، ضریب سفتی از $6343/648$ به $10284/62$ ($\text{Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$) تغییر می کند. همچنین با تغییر شدت ضربه از سطح دو به سطح سه ($I_3 = 17/110$) ضریب سفتی به $12974/49$ ($\text{Hz}^2 \text{ g}^{2/3}$) افزایش داشته است.

همان طور که در شکل ۵ آمده است، محل های اعمال ضربه یک و سه (دو طرف خط مرکزی هندوانه) اختلاف معنی داری ندارند، ولی محل اعمال ضربه دو (محل مقابل اتصال میوه به ساقه) دارای اختلاف میانگین معنی داری با دو محل دیگر می باشد.

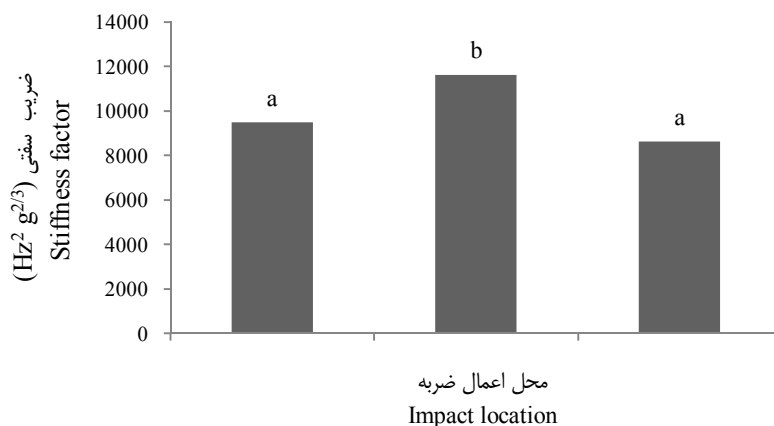
به منظور بررسی اثر تغییرات شدت ضربه و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی، اختلاف میانگین مربعات فاکتور ضریب سفتی در اثر تغییر پارامترهای شدت ضربه و محل اعمال ضربه بررسی گردید که نتایج در جدول ۳ آمده است.

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، اثر تغییرات محل اعمال ضربه و شدت ضربه روی ضریب سفتی به ترتیب با سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی دار شده است. این نتیجه موافق با نتیجه به دست آمده توسط هورنگ و همکاران (۱۹۹۳) می باشد. وی نیز ثابت نمود اعمال ضربه حول خط مرکزی میوه سیب به نسبت اعمال ضربه به طرفین میوه، نتیجه متفاوتی دارد. با توجه به اثر متقابل شدت ضربه و محل اعمال ضربه، می توان نتیجه گرفت که اثر شدت ضربه روی ضریب سفتی به محل اعمال ضربه نیز ارتباط دارد. به منظور بررسی دقیق تر اثرات تیمارهای مذکور روی ضریب سفتی، با استفاده از آزمون دانکن، اختلاف میانگین ضریب سفتی در سطوح مختلف شدت



شکل ۴- تأثیر شدت ضربه بر ضریب سفتی بافت داخلی هندوانه

Fig.4. Effect of impact on the stiffness factor of internal texture of watermelon



شکل ۵- تأثیر محل اعمال ضربه بر ضریب سفتی بافت داخلی هندوانه

Fig.5. Effect of impact's location on the stiffness factor of internal texture of watermelon

گردید که نتایج به صورت ذیل می‌باشد. با توجه به اینکه اثر متقابل شدت ضربه و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی معنی‌دار شده است، میانگین مربعات هر یک از مقادیر ضریب سفتی در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه در نتیجه تأثیر گروه‌های رسیدگی محاسبه شده و نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس در جدول ۴ بیان شده است.

این بدین معنی است که اعمال ضربه به هر نقطه از اطراف خط مرکزی هندوانه نتیجه یکسانی را به همراه دارد. این امر با توجه به متفاوت بودن بافت هندوانه در محل ساقه و اطراف خط مرکزی آن، قابل انتظار بوده است.

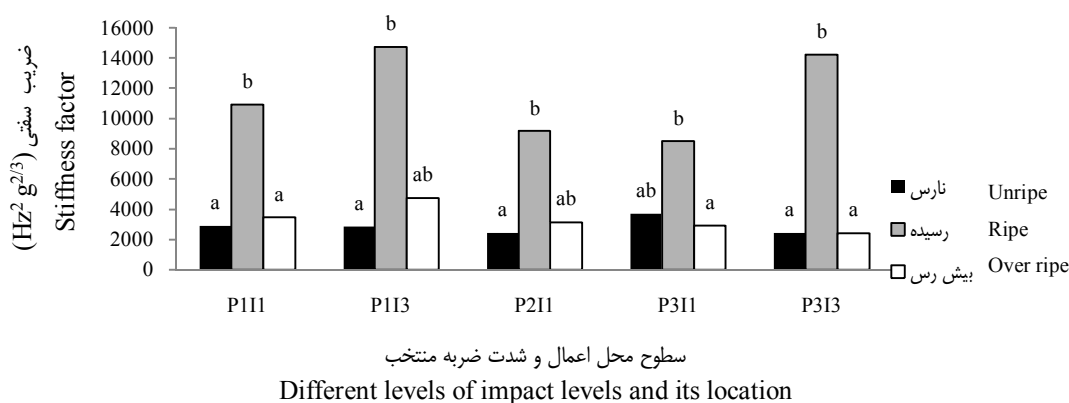
به منظور تعیین کیفیت درونی هندوانه با استفاده از خصوصیات صوتی آن و توسط سامانه آکوستیکی، اثر تغییر پارامتر صوتی (ضریب سفتی) میان گروه‌های رسیدگی نارس، رسیده و بیش‌رس بررسی

جدول ۴- میانگین مربعات ضریب سفتی در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه

Table 4- Mean of squares of stiffness factor in different levels of impact levels and its location

خطا Error	گروه های رسیدگی Ripeness groups	منبع تغییر Source of variation	میانگین مربعات Mean of square
15	2	درجه آزادی Degree of freedom	
19247616.7	134142117.0**	ضریب سفتی در P111 *** Stiffness factor in P111 ***	
49050896.1	44778854.2 ^{ns}	ضریب سفتی در P112 Stiffness factor in P112	
29108994.4	268468236.0**	ضریب سفتی در P113 Stiffness factor in P113	
23630935.6	91061433.1 ^{ns}	ضریب سفتی در P211 Stiffness factor in P211	
37588798.3	67387977.0 ^{ns}	ضریب سفتی در P212 Stiffness factor in P212	
37359496.5	59581581.9 ^{ns}	ضریب سفتی در P213 Stiffness factor in P213	
15480533.4	62817392.8*	ضریب سفتی در P311 Stiffness factor in P213	
27784229.0	71069643.2 ^{ns}	ضریب سفتی در P312 Stiffness factor in P312	
21028330.0	248091026.0**	ضریب سفتی در P313 Stiffness factor in P313	

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار، *** محل اعمال ضربه (P) یک و شدت ضربه (I) یک
* ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant



شکل ۶- اختلاف میانگین ضرایب سفتی گروه‌های رسیدگی
Fig.6. The mean variance of stiffness factor values in different maturity groups

نمود. مقادیر اختلاف میانگین ضرایب استحکام در سطوح مختلف رسیدگی در شکل ۶ آمده است. لازم به توضیح است با توجه به کثرت داده‌ها، تیمارهایی که اثر آن‌ها معنی‌دار شده به همراه تیمار ضریب سفتی در P2I1 در شکل ۶ آمده است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است ضریب سفتی میان گروه‌های رسیدگی متفاوت بوده است و این اختلاف در گروه رسیده به وضوح معنی‌دار شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اعمال ضربه به هندوانه در سطوح مختلف شدت ضربه و محل اعمال ضربه، تأثیر معنی‌داری روی ضریب سفتی و نتیجه آزمون صوتی دارد. لذا پاسخ‌ها و رفتارهای صوتی هندوانه می‌تواند تابعی از شدت ضربه و محل اعمال ضربه باشد. بررسی نمودارهای اختلاف میانگین ضریب سفتی در سطوح مختلف شدت ضربه و محل اعمال ضربه، نشان داد در محل اعمال ضربه یک (حول خط مرکزی هندوانه) و شدت ضربه سه ($I_3 = 17/11 \text{ kg mm s}^{-1}$)، بهترین نتیجه برای ضریب سفتی حاصل می‌شود.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد اثر گروه‌های رسیدگی روی ضریب سفتی در محل اعمال ضربه یک و سه و با شدت ضربه‌های یک ($I_1 = 12/097 \text{ kg mm s}^{-1}$) و سه ($I_3 = 17/11 \text{ kg mm s}^{-1}$) معنی‌دار شده است. البته در هر دو محل اعمال ضربه یک و سه (دو طرف خط مرکزی هندوانه)، ضریب سفتی در شدت ضربه دو معنی‌دار نشده است. این مورد با توجه به نتیجه به‌دست آمده مبنی بر وجود اختلاف ضریب سفتی میان محل اعمال ضربه دو با محل‌های یک و سه، منطقی بوده و نشان می‌دهد محل اعمال ضربه دو (روبه‌روی نقطه اتصال هندوانه به ساقه)، محل مناسبی برای اعمال ضربه نمی‌باشد. لذا نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در مورد ضریب سفتی، بهترین محل اعمال ضربه اطراف خط مرکزی هندوانه می‌باشد. جمال و همکاران (۲۰۰۴) نیز با استفاده از روش المان محدود، بهترین محل اعمال ضربه در آزمون صوتی را دو طرف خط مرکزی معرفی نمودند.

با توجه به اینکه اثر گروه‌های رسیدگی روی ضریب سفتی در هر دو محل اعمال ضربه یک و سه، در شدت ضربه سه در سطح ۹۹٪ معنی‌دار گردید، لذا بهترین شدت ضربه در مورد ضریب سفتی، ($I_3 = 17/11 \text{ kg mm s}^{-1}$) پیشنهاد می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد اثر گروه‌های رسیدگی روی اکثر پارامترهای ضریب سفتی معنی‌دار شده است. لذا از ضریب سفتی به‌عنوان پارامتر مناسبی برای ارزیابی غیر مخرب کیفیت هندوانه می‌توان استفاده

منابع

- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology Technology* 15: 207-225.
- ASAE Standards. 2000. ASAE S368.4: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agriculture Engineering

3. Bourne, M. C. 1960. Theory and application of the puncture test in food texture measurement. In: Sherman, P. (Ed.), *Food Texture and Rheology*. Academic Press, New York, pp. 95-142.
4. Chen, P., and Z. Sun. 1993. A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. *Journal of Agricultural Engineering Research* 49: 85-98.
5. Crochon, M. 1999. Glove instrumentation for fruit testing. In: *European Construct DG-VI-F. Annual Progress Report*. Cemagraf, Montpelir.
6. De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2000. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77: 183-191.
7. Diezma-Iglesias, B., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 2004. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosystems Engineering* 88: 221-230.
8. Harker, F. R., J. H. Maindonald, and P. J. Jackson. 1996. Penetrometer measurement of apple and kiwi fruit firmness: operator and differences. *Journal of American Society of Horticultural Science* 121: 927-936.
9. Hayashi, S., J. Sugiyama, K. Otobe, Y. Kikiuchi, and S. Usui. 1992. Nondestructive measurement for maturity of muskmelons by analysis of acoustic- signals. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology- Nippon Shokuhin Kagaku Kagaku Kaishi* 39 (6): 465-470.
10. Huarng, L., P. Chen, and S. Upadhayaya. 1993. Determination of acoustic vibration modes in apples. *Transaction of ASAE* 36: 1423-1429.
11. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 1386. Fruit juices – Test methods, ISIRI NO.2685, 1st.revision.
12. Nourain, J., Y. B. Ying, J. P. Wang, X. Q. Rao, and C. G. Yu. 2004. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. *Journal of Zhejiang University Science B* 6: 483-490.
13. Shmulevich, I., N. Galili, and M. S. Howarth. 2003. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 29: 2287-299.
14. Stone, M. L., P. R. Armstrang, X. Zhang, G. H. Brusewitz, and D. D. Chen. 1996. Watermelon maturity determination in the field using acoustic impulse impedance techniques. *Transaction of ASAE* 39 (6): 2325-2330.
15. Studman, C. J. 2001. Computers and electronics in postharvest technology- A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 30: 109-124.
16. Sugiyama, J., T. Katurai, J. Hong, H. Koyama, and K. Mikuriya. 1996. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. *American Society of Agricultural Engineers* 41: 121-127.
17. Terasaki, S., N. Wada, N. Sakurai, N. Muramatsu, R. Yamamoto, and D. J. Nevins. 2001. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser doppler vibrometer. *Tranactions of the ASAE* 44: 81-87.
18. Thompson, A. K. 1996. *Postharvest technology of fruit and vegetable*. Iowa State Pr. Blackwell, Oxford.
19. Sun, T., K. huang, H. Xu and Y. Ying. 2010. Research advance in nondestructive determination of internal quality in watermelon/melon: A review. *Journal of Food Engineering* 100: 569-577.