پایش اثر آسیب‌های وارده بر کیفیت گوجه‌فرنگی در فضای مراقبت نشده انبار با آزمون فراآوایی غیرمخرب

حسن ذکی دیزجی*

گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

در دو دهه‌ی اخیر جهش قابل توجهی در توسعه و به کارگیری فن‌اوری غیرمخرب در زمینه‌ی کیفیت-سنجی محصول‌های کشاورزی پدید آمده است. آزمون فراآوایی، به‌عنوان یکی از روش‌های غیرمخرب در زمینه‌ی کیفیت-سنجی محصولات کشاورزی در حال توسعه می‌باشد. در میان سبزیجات بومی، گوجه‌فرنگی به دلایل بسیار زیاد، جایگاه ویژه‌ای دارد، اما مطالعات اساسی در مورد آسیب‌شناسی بافت آن انجام نشده‌اند. به همین دلیل، گوجه‌فرنگی برای انجام این پژوهش در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، از سامانه کیفیت-سنج فراآوایی (یوکیواِس) برای بررسی آسیب‌شناسی بافت گوجه فرنگی در اثر اعمال بار استفاده شد. این سامانه با پردازش علامت‌های ارسالی و دریافتی به صورت غیرپیوسته، شاخص‌های فراصدایی مانند سرعت عبور امواج، میزان تنکش (تضعیف) و غیره را تعیین می‌کند. در این پژوهش، تعداد ۳۶۰ نمونه گوجه‌فرنگی رسیده نوبرانه خوزستان، در چهار گروه نودتایی تقسیم‌بندی شدند. از میان آن‌ها، گروه چهار به عنوان گروه شاهد انتخاب شد و لذا عمل بارگذاری بر روی آن انجام نشد. سه تراز دیگر در سه سطح انرژی ۰٫۸، ۱ و ۱٫۲ ژول تحت بارگذاری ضربه‌ای به روش سقوط آزاد قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که مقیاس آسیب (انرژی) گوجه‌فرنگی و مدت زمان انبارداری آن بر سرعت امواج فراآوایی و سفتی اثر معناداری دارند. بنابراین، استفاده از روش فراآوایی، امکان تعیین و پیش‌بینی برخی مؤلفه‌های مرتبط با رسیدگی و آسیب‌دیدگی بافت گوجه‌فرنگی در خطوط تأمین این محصول، مانند عملیات جداسازی و درجه‌بندی میوه را فراهم می‌آورد.

کلیدواژه‌ها: کیفیت- سنج، گوجه‌فرنگی، آزمون غیرمخرب، شاخص‌های فراآوایی، ضریب تنکش (تضعیف)، سرعت موج.

۱. مقدمه

امروزه مفهوم «کیفیت محصول‌های کشاورزی»، موضوع بسیار مهم در کشاورزی نوین محسوب می‌شود. از طرفی برداشت هر کدام از کارشناسان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان، در مورد مفهوم کیفیت محصول‌های کشاورزی متفاوت می‌باشد. البته، هر کدام با توجه به موقعیت محصول در زنجیره‌ی توزیع و نیاز خود، تعریف روشنی از این مفهوم دارند. برخی آب‌دار بودن، برخی رسیدگی و برخی دیگر سفت بودن یک میوه را ملاک تصمیم و انتخاب خود قرار می‌دهند. اما به طور کلی، کیفیت محصول‌های کشاورزی را می‌توان با مشخصاتی چند، بیان کرد که ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود: ویژگی‌های حسی[1] (ظاهر، بافت، مزه و بو)، ارزش غذایی، خواص شیمیایی، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی و بی‌عیب‌بودن [۲،۱].

تعیین کیفیت بافت محصول با خواص مکانیکی شامل دو روش اصلی مخرب (بارگذاری، نفوذسنجی و ...) و غیرمخرب (امواج مکانیکی) است. روش‌های مخرب به دلیل اینکه منجر به تخریب جزئی یا کلی محصول می‌شوند، چندان مطلوب نمی‌باشند. به همین علت، تعیین کیفیت محصول با استفاده از روش‌های غیرمخرب به دلیل مزایای آن (سرعت کار و دقت عمل بالا) نسبت به روش‌های مخرب جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده اند [۳]. روش‌های غیرمخرب و غیرتهاجمی با ایجاد رابطه‌ای قوی بین اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم و مؤلفه‌های کیفی، کیفیت محصول را تعیین می‌کنند.

علم فراآوایی (فراآوائیات)[2] حوزه مطالعاتی رو به رشدی در صنعت است و به طور کلی در دو زمینه تحلیل و فرآوری مواد غذایی کاربرد دارد. از جمله مزایای عمده‌ی استفاده

* نویسنده پاسخگو: hzakid@scu.ac.ir

[1] Organoleptic

[2] Ultrasonics

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

از امواج فراصدایی[1] در فرآوری مواد غذایی می‌توان به بهبود کیفیت محصول، عدم استفاده از حرارت، افزایش بهره، کاهش انرژی مصرفی، کارایی بالا، قابلیت استفاده صنعتی، نصب راحت، هزینه انرژی کم‌تر، هزینه نگه‌داری پایین و عملکرد ساده اشاره نمود [۴]. از سوی دیگر کاربرد تحلیلی فراآوایی یکی از پرکاربردترین روش‌های استفاده شده در ارزیابی مواد است و کاربرد آن در صنایع مختلف از جمله صنایع کشاورزی و غذایی، برای تحلیل غیرتخریبی روز به روز در حال گسترش است. کاربردهای اصلی آزمایش فراآوایی، ردگیری و تعیین خصوصیات عیب‌های درونی مواد است. فراآوایی نه تنها برای ردگیری، بلکه برای ارزیابی نقایص، عیب‌ها و بازبینی رشد آن‌ها، مفید است [۵].

براساس اطلاعات سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو[2]) ایران رتبه هفتم تولید محصول گوجه‌فرنگی را در جهان دارد [۶]. اما در داخل کشور، استان خوزستان جایگاه مهمی در میزان تولید گوجه‌فرنگی دارد. میزان تولید گوجه‌فرنگی در استان خوزستان ۳۶۰۹۰۰ تن و سطح زیر کشت آن ۱۱۱۸۵ هکتار می‌باشند که ۲۷/۹ درصد از کشت سبزیجات را در استان به خود اختصاص داده است [۷]. این امر حکایت از مصرف بالای گوجه‌فرنگی در استان دارد که بخشی از آن را ضایعات تشکیل می‌دهد. گوجه‌فرنگی به دلیل آب‌دار بودن تا حد زیادی مستعد آسیب ناشی از ضربه به شکل پارگی می‌باشد [۸]. از این رو، کاهش هر چه بیش‌تر در ضایعات وزنی از خسارات بیش‌تر جلوگیری می‌کند. تاکنون، بیش‌تر مطالعات انجام شده در زمینه کیفیت-سنجی محصول‌های کشاورزی بر مبنای روش‌های پردازش تصویر، صوتی و روش‌های طیف‌سنجی فروسرخ (مادون قرمز) بوده است. در حالی‌که این روش‌ها به شکل صنعتی در آمده است اما روش فراآوایی از میان روش‌های غیرمخرب، هنوز به شکل جدی مورد توجه پژوهشگران جهان و ایران قرار نگرفته و این امر سبب شده که توسعه چندانی نیابد. پیشینه بکارگیری روش فراآوایی به منظور تعیین کیفیت محصول‌های کشاورزی به دو دهه قبل برمی‌گردد. نخستین نتایج مثبت این روش هم در دهه ۹۰ حاصل شده‌اند [۹]. در پژوهشی، به عملی بودن استفاده از امواج فراآوا در تعیین شاخص‌های فراآوایی محصول‌های کشاورزی صحه گذاشته شد [۱۰]. در سال‌های بعد محققان دیگری قدم در این راه گذاشتند، هر چند نتایج بدست آمده از این مطالعات در برخی موارد خلاف هم گزارش شده‌اند [۱۱]. با وجود این پژوهش‌ها، هنوز استفاده کاربردی چندانی از این فن‌اوری در کیفیت-سنجی محصولات نشده است. شاید علت آن ویژگی‌های امواج مکانیکی و مشکلات پردازش علامت آن‌ها است. به طور کلی هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی کیفیت گوجه‌فرنگی تحت بار وارده با به کارگیری روش غیرمخرب فراآوایی است. ایجاد ارتباط بین شاخص‌های فراآوایی محصول گوجه فرنگی و ویژگی‌های کیفی این محصول، موضوع مورد بحث در این پژوهش است.

۲. مواد و روش‌ها

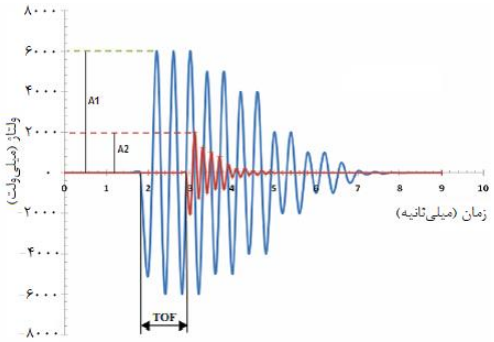
۲-۱. روش کلی آزمون

برای انجام آزمایش، تعداد ۳۶۰ نمونه گوجه‌فرنگی رسیده، بدون عیوب ظاهری، رقم نوبرانه خوزستان که در یک مرحله رسیدگی قرار داشتند، به صورت تصادفی از مزرعه‌ای در ۱۰ کیلومتری شهر شوشتر دست‌چین شدند و مواد اضافی آن‌ها، از قبیل خاک، ساقه و برگ گوجه‌فرنگی‌ها جدا گردیدند. پس از انتقال به آزمایشگاه فراآوایی دانشگاه شهید چمران اهواز، براساس طرح آزمایشی، برچسب‌گذاری و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ذخیره شدند. نمونه‌ها در چهار گروه ۹۰ تایی تقسیم‌بندی شدند. سپس یکی از گروه‌ها به عنوان گروه ناظر (گروه ۴) و ۳ گروه دیگر به روش سقوط آزاد در ترازهای انرژی انتخابی ۰/۸(گروه ۱)، ۱ (گروه ۲) و ۱/۲ (گروه ۳) ژول تحت بارگذاری ضربه‌ای قرار گرفتند. آزمایش غیرمخرب فراآوایی از بخشی از نمونه‌ها انجام گرفت که تحت بارگذاری قرار داشتند. ارتفاع سقوط برای هر نمونه با اندازه‌گیری وزن هر نمونه و نیز در اختیار داشتن مقدار شتاب گرانش زمین ($g=۹/۸\ m/s^2$) ، از رابطه $U=mgh$ بدست آمد. بارگذاری برای هر نمونه تنها یک بار انجام شد و رهاسازی هر نمونه گوجه‌فرنگی به گونه‌ای بود که ناحیه

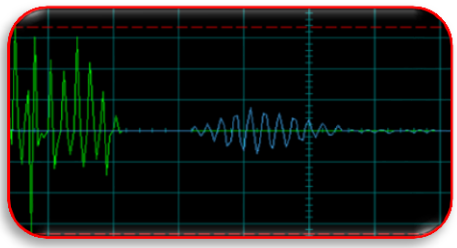
[1] Ultrasound
[2] FAOUN; Food and Agriculture Organization of the United Nations

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

پهلوی گوجه‌فرنگی در راستای بار ضربه‌ای قرار گیرد. از هر گروه، روزانه نُه نمونه تحت آزمایش قرار گرفتند. بدین‌گونه که ابتدا ضخامت و وزن هر یک از نمونه‌ها توسط کولیس رقومی (می‌تیوتویو[1] با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) و ترازوی رقومی (سِرگی‌اُ[2] نوع اِس‌دابلیوکِی- ۲۰[3] با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم) اندازگیری شده، سپس با قرارگیری هر یک از نمونه‌ها در قسمت نگه‌دارنده نمونه، زمان گذر امواج بر حسب میکروثانیه توسط نرم‌افزار کنترل سامانه تی‌اِن‌اِم[4] به صورت خودکار محاسبه و سرعت امواج اندازه‌گیری شد. این عمل برای هر نمونه به منظور کاهش خطای احتمالی، حداقل ۵۰ الی ۶۰ بار تکرار شد. سپس، با توجه به توانایی، سرعت نمونه‌برداری زیاد و دقت بالای نرم‌افزار تی‌اِن‌اِم، با اندازه‌گیری ضخامت نمونه و تعیین بیش‌ترین دامنه علامت ارسالی و دریافتی، ضریب تنکش (تضعیف) امواج برای هر نمونه محاسبه می‌شوند (شکل ۱).



(الف)



(ب)

شکل ۱ (الف): طرح‌واره تعیین زمان پرواز (تی‌اُف[5]) و دامنه علامت ارسالی و دریافتی و
(ب): خروجی نرم‌افزار دستگاه تی‌اِن‌اِم علامت دریافتی (سمت راست شکل ب) و علامت ارسالی (سمت چپ شکل ب).

[1] Mitutoyo
[2] Sergio
[3] SWK-20
[4] TNM
[5] TOF; Time of Flight

خصوصیات کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها با گذشت زمان تغییر می‌کنند. لذا اندازه‌گیری این خصوصیات، کمیت مهمی در تعیین کیفیت میوه‌ها محسوب می‌شود. از این‌رو، پس از انجام آزمون غیرمخرب بر روی نمونه‌ها، نوبت به انجام آزمون مخرب می‌رسد. ترتیب مراحل انجام این آزمون بدین ترتیب می‌باشد که ابتدا آزمایش اندازه‌گیری سفتی میوه توسط دستگاه سفتی‌سنج (لوترُن اِف‌جی- ۵۰۲۰، تایوان)[6] با ریزبینی ۰/۰۱N و دقت ۰/۱d±۰/۴ انجام شده و سپس میزان مواد جامد محلول (تی‌اِس‌اِس[7]) هر یک از نمونه‌ها توسط دستگاه انکسارسنج (واشکست‌سنج، رفرکتومتر) (پورتابل‌رِفرکتومتر، تایوان)[8] اندازه‌گیری و در نهایت پی‌اِچ[9] نمونه‌ها به وسیله پی‌اِچ‌سنج رقومی (اِی‌زِد ۸۶۸۶، تایوان)[10] ساخت کشور تایوان با دقت ۰/۰۵± پی‌اِچ محاسبه شد. مدت ده روز برای انجام آزمون‌های این پژوهش در نظر گرفته شده بود، ولی مشاهده شد که پس از گذشت هشت روز، نمونه‌های بارگذاری شده به طور کامل فاسد شده و دیگر امکان انجام آزمایش بر روی آن‌ها وجود نداشت. انجام آزمون مخرب منجر به دور ریختن کامل نمونه‌های گوجه‌فرنگی شد. تمامی تیمارها و سطوح آزمایشی انتخابی در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱ تیمارها و سطوح انتخابی آزمایش.

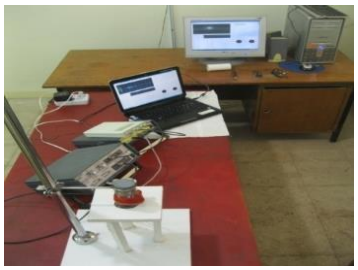
تیمارها	سطوح
مدت زمان انبارمانی (روز)	۱ الی ۱۰
سطح آسیب یا ترازهای انرژی (ژول)	۰، ۰/۸ ، ۱ و ۱/۲
عوامل اندازه‌گیری‌شونده	شاخص‌های فراآوایی (سرعت موج عبوری، میزان تنکش امواج) خصوصیات فیزیکی (ابعاد، جرم و سفتی) ویژگی‌های شیمیایی (میزان مواد جامد محلول، پی‌اِچ)

[6] Lutron FG-5020, Taiwan
[7] TSS
[8] Portabl Refractometer, Taiwan
[9] pH
[10] AZ 8686, Taiwan

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

۲-۲. سامانه آزمایش یوکیواِس[1]

در این پژوهش از سامانه‌ی کیفیت-سنجی فراآوایی (یوکیواِس) برای ارسال امواج به درون نمونه و دریافت آن استفاده می‌شود. این سامانه‌ها توانایی تراگسیل امواج تا بسامد ۲۰۰ کیلوهرتز را دارند و براساس پردازش علامت‌های عبوری از محصولات کشاورزی کار می‌کنند. شیوه کار سامانه براساس روش عبوری می‌باشد و از آزمون تماسی برای اندازه‌گیری شاخص‌های فراآوایی نمونه‌ها استفاده شده است. در این آزمون، سامانه یوکیواِس۱۰۰ با محدوده بسامد کاری ۲۰- ۱۰۰ کیلوهرتز مورد استفاده قرار گرفت. بخش‌های سخت‌افزاری این سامانه فراآوایی شامل واحد نگه‌دارنده نمونه، تپ‌ساز (مولد علامت)، تپ‌گیر (دریافت‌کننده علامت)، پروب‌ها (تراگذر سامانه)، اسیلوسکوپ (نوسان‌نما) و رایانه مجهز به نرم‌افزار پردازش علامت می‌باشند (شکل ۲). در این پژوهش از دو تراگذار با بسامد ۷۵ کیلوهرتز استفاده شد که یکی به عنوان تراگذار فرستنده امواج و دیگری به عنوان تراگذار گیرنده امواج عمل می‌کند. اندازه‌گیری زمان پرواز و دامنه علامت‌ها، هدف اصلی سامانه فراآوایی می‌باشند. توجه به این نکته ضروری است که علامت‌های ارسالی و دریافتی باید عاری از هر گونه اغتشاش و نوفه باشند تا پردازش صحیحی از آن‌ها صورت گیرد و سپس با حداقل خطای ممکن، زمان پرواز و دامنه علامت محاسبه شوند. این سامانه، امواج فراآوایی غیرپیوسته را به درون میوه ارسال می‌کند و امواج عبوری از بافت میوه، توسط گیرنده آن دریافت می‌شوند. در این مدت، واحد پردازش، زمان بین ارسال امواج تا دریافت امواج را بر حسب میکروثانیه اندازه‌گیری می‌کند [۱۲].



شکل ۲ سامانه فراآوایی مورد استفاده موجود در دانشگاه شهید چمران اهواز.

[1] UQS; Ultrasonic Quali-meter System

۲-۳. اندازه‌گیری خواص فراآوایی گوجه‌فرنگی

در روش ارزیابی عبوری و آزمون تماسی، دو شاخص فراآوایی سرعت عبور و ضریب تنکش (تضعیف) امواج فراآوایی نسبت به شاخص‌های فراآوایی دیگر مهم‌تر و از اهمیت بیش‌تری برخوردار هستند. مقادیر آن‌ها را نیز با داشتن زمان پرواز و تغییرات علامت‌های ارسالی و دریافتی می‌توان بدست آورد. سرعت امواج فراآوایی در محصول‌های کشاورزی، در واقع سرعت عبوری امواج فراآوایی است که به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی محصول‌های کشاورزی بستگی دارد. در عمل، سرعت امواج فراآوایی از طریق اندازه‌گیری زمان مورد نیاز برای عبور امواج فراآوایی از ضخامت مشخص ماده قابل تعیین است. برای محاسبه سرعت امواج فراآوایی، رابطه ۱ به کار برده می‌شود:

$$C = \frac{L}{TOF} \qquad (۱)$$

که در این رابطه C سرعت انتشار امواج بر حسب میلی‌ثانیه/۱، L ضخامت نمونه برحسب متر، TOF؛ زمان پرواز بر حسب ثانیه، می‌باشند.

محاسبه ضریب تنکش (تضعیف) با اندازه‌گیری ضخامت نمونه و دامنه علامت ارسالی و دریافتی توسط نرم‌افزار متلب بدست می‌آید. توجه به این نکته ضروری است که دامنه علامت ارسالی ثابت و مقدار آن ۴۰۰۰±۴ میلی‌ولت می‌باشد. برای محاسبه ضریب تنکش (تضعیف) بیش‌تر محصول‌های کشاورزی از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$a_{dB} = \frac{-۲۰}{\mathrm{L}} \log \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{A}_{.}} \qquad (۲)$$

در این رابطه، α_{dB} ضریب تنکش ($dBmm^{-1}$)، L ضخامت نمونه بر حسب متر، A و .A به ترتیب دامنه موج‌های گیرنده و فرستنده بر حسب میلی‌ولت می‌باشند [۱۲].

۳. نتایج و بحث

با مشاهده جدول ۲ مشخص می‌شود که عامل گروه (ترازهای انرژی) بر روی ویژگی‌های شیمیایی گوجه‌فرنگی و شاخص ضریب تنکش (تضعیف) امواج فراصدایی، اثر معناداری ندارد. این بدین معنی است که ترازهای انرژی متفاوت در میزان تنکش (تضعیف) امواج فراآوایی از نمونه‌های گوجه‌فرنگی و ویژگی‌های شیمیایی این محصول

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

تأثیرگذار نمی‌باشند. اما عامل روز جز بر روی مؤلفه‌های شیمیایی گوجه‌فرنگی، بر روی دیگر مؤلفه‌ها معنادار است. به عبارت دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که گذشت زمان بر روی مؤلفه‌های مورد نظر مانند شاخص‌های فراآوایی و سفتی تأثیرگذار است.

جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه با عامل گروه (۴ گروه آسیب وارده) و روز (۸ روز انبارداری) برای مؤلفه‌های مورد مطالعه.

مؤلفه	گروه	روز
وزن	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
سفتی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مواد جامد محلول	۰/۱۷۸	۰/۱۷۳
پی‌اچ	۰/۰۸	۰/۰۸
سرعت امواج فراآوایی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
ضریب تنکش امواج فراآوایی	۰/۴۶۸	۰/۰۰۰

۳-۱. مقایسه مؤلفه‌های فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و فراآوایی گوجه‌فرنگی

۳-۱-۱. ویژگی‌های فیزیکی

مقادیر میانگین مؤلفه‌های فیزیکی گوجه فرنگی در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. انحراف معیار نسبتاً بالای جرم میوه‌ها حاکی از این مطلب است که میوه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که محدوده وسیعی از جرم را در بر بگیرند.

۳-۱-۲. بررسی روابط بین مؤلفه‌های فراآوایی و ویژگی‌های شیمیایی

نتایج جداول تحلیل واریانس یک طرفه حاکی از عدم وجود رابطه معنادار بین شاخص‌های فراآوایی (ضریب تنکش و سرعت امواج) و مؤلفه‌های شیمیایی (پی‌اچ و میزان مواد جامد محلول) محصول گوجه‌فرنگی بود.

۳-۱-۳. ویژگی‌های مکانیکی

مقادیر میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های مکانیکی گوجه‌فرنگی در جدول ۳ بیانگر کاهش شاخص سفتی با افزایش تراز انرژی (گروه ۳ نسبت به ۱) است. با توجه به جدول ۲ و شکل ۳ مشخص می‌شود که کاهش سفتی به صورت خطی با ضریب همبستگی بالا و سطح معناداری $P<0/05$ طی هشت روز ذخیره‌سازی می‌باشد. دلیل آن کاهش آب گوجه‌فرنگی طی مدت انبارداری و نرم شدن پوست میوه است. طبق جدول ۴ نتایج آزمون دانکن موجود نیز نشان دادند که میانگین شاخص سفتی در ترازهای مختلف آسیب (انرژی) در دو طبقه (کلاس) قرار دارد. اما، طبق جدول ۵ تغییرات میانگین شاخص سفتی تحت تأثیر مدت زمان ذخیره‌سازی بیش‌تر بودند و در شش طبقه (کلاس) جداگانه قرار داشتند. این مطلب نشانگر آن است که در مدت زمان ذخیره‌سازی، گوجه‌فرنگی‌ها بسیار نرم شده‌اند و لذا میزان سفتی، کم شده است. تغییرات شاخص مکانیکی سفتی در مدت زمان ذخیره‌سازی نشان می‌دهند که با کاهش تازگی، سفتی گوجه‌فرنگی با ضریب همبستگی بالا به صورت خطی کاهش می‌یابد. این نکته با نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد آواکادو و انبه [۱۳]، آلو [۱۴] و گوجه فرنگی [۳]، مطابقت دارد. نتیجه دیگر اینکه مدت زمان انبارداری بیش‌تر از سطوح آسیب بر تغییرات شاخص سفتی اثرگذار است.

جدول ۳ مقادیر میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی طی هشت روز آزمایش.

خواص	مؤلفه	گروه ۱	گروه۲	گروه۳	گروه۴
فیزیکی	جرم (gr)	۹۹/۴±۱۰/۲	۱۱۲/۱±۱۰/۵	۹۴/۹±۱۱/۸	۶/۷ ±۸۵
مکانیکی	سفتی (N)	۱۸/۳۶±۳/۸۵	۱۸/۱۸±۴/۳۵	۱۷/۶۱±۳/۹۹	۱۹/۲۷±۴/۶۳
شیمیایی	تی‌اس‌اس (بریکس درصد)	۴/۶۸۷±۰/۷۵۲	۴/۵۵۹±۰/۴۷۱	۴/۷۸۷±۰/۶۷۸	۴/۶۵۸±۰/۵۳۴
	پی‌اچ	۴/۵۵۱±۰/۳۴۶	۴/۵۷۰±۰/۴۰۵	۴/۵۵۶±۰/۴۱۹	۴/۳۸۹±۰/۲۵۰

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

جدول ۴ نتایج آزمون دانکن و گروه‌بندی میانگین‌ها برای عامل گروه (سطح آسیب).

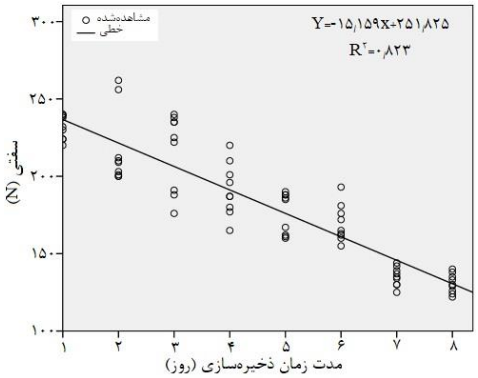
مؤلفه	گروه	N	۱	۲
سفتی	۳	۷۲	۱۷۶٫۱۳۸۹	
	۲	۷۲	۱۸۱٫۸۳۳۳	۱۸۱٫۸۳۳۳
	۱	۷۲	۱۸۳٫۶۱۱۱	۱۸۳٫۶۱۱۱
	۴	۷۲		۱۹۲٫۷۰۸۳
ضریب تنکش امواج	۱	۷۲	۰٫۵۷۴۱	
	۳	۷۲	۰٫۵۹۲۸	
	۴	۷۲	۰٫۶۱۴۶	
	۲	۷۲	۰٫۶۱۴۶	
سرعت امواج	۴	۷۲	۷۹٫۵۰۵۴	
	۳	۷۲		۸۱٫۰۲۵۸
	۱	۷۲		۸۱٫۹۷۵۲
	۲	۷۲		۸۴٫۸۴۱۳

جدول ۵ آزمون دانکن و گروه‌بندی میانگین‌ها برای عامل روز (مدت زمان ذخیره‌سازی).

مؤلفه	روز	N	۱	۲	۳	۴	۵	۶
سفتی	۸	۳۶	۱۳۲٫۹۴۴۴					
	۷	۳۶	۱۳۸٫۰۵۵۶					
	۵	۳۶		۱۶۹٫۱۳۸۹				
	۶	۳۶		۱۶۹٫۱۳۸۹				
	۴	۳۶			۱۸۳٫۴۱۶۷			
	۳	۳۶				۲۰۹٫۴۴۴۴		
	۲	۳۶					۲۲۵٫۳۰۵۶	
	۱	۳۶						۲۴۱٫۱۳۸۹
ضریب تنکش	۱	۳۶	۰٫۳۳۸۱	۰٫۳۳۸۱				
	۲	۳۶		۰٫۴۶۴۰	۰٫۴۶۴۰			
	۳	۳۶			۰٫۵۸۴۲			
	۴	۳۶			۰٫۶۱۰۸			
	۵	۳۶			۰٫۶۲۷۴	۰٫۶۲۷۴		
	۶	۳۶				۰٫۷۰۵۴		
	۷	۳۶				۰٫۷۲۳۹		
	۸	۳۶				۰٫۷۳۸۳		
سرعت امواج	۸	۳۶	۷۹٫۰۵۷۸					
	۷	۳۶	۸۰٫۵۱۴۹	۸۰٫۵۱۴۹				
	۶	۳۶		۸۱٫۴۹۵۱	۸۱٫۴۹۵۱			
	۵	۳۶		۸۱٫۵۱۳۷	۸۱٫۵۱۳۷			
	۴	۳۶		۸۲٫۰۷۷۸	۸۲٫۰۷۷۸			
	۲	۳۶			۸۲٫۸۱۷۳	۸۲٫۸۱۷۳		
	۳	۳۶			۸۲٫۹۴۳۲	۸۲٫۹۴۳۲		
	۱	۳۶				۸۴٫۲۷۵۷		

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]

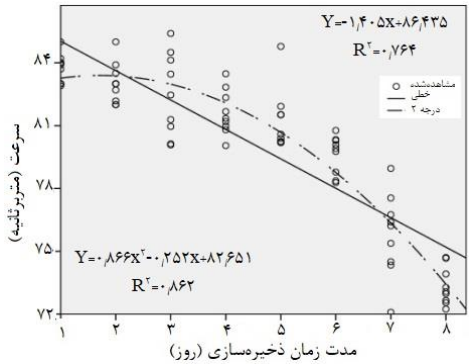
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]



شکل ۳ نمونه‌ای از تغییرات شاخص مکانیکی سفتی در طول مدت زمان ذخیره‌سازی.

۳-۲. شاخص سرعت امواج فراآوایی

با مشاهده مقادیر میانگین شاخص‌های فراآوایی گوجه‌فرنگی مشخص می‌شود که سرعت امواج فراآوایی دارای انحراف معیار کم و هم‌چنین، ضریب تنکش (تضعیف) دارای انحراف معیار زیادی می‌باشند (جدول ۶). مقادیر حاصل از آزمون دانکن موجود در جدول ۴، اختلاف میانگین سرعت موج در گروه‌های آسیب دیده و شاهد را معنادار نشان داد. به عبارت دیگر، میزان آسیب وارده بر سرعت موج اثری معنادار دارد. با در نظر گرفتن این امر، به نظر می‌رسد که با محاسبه سرعت موج می‌توان گوجه‌فرنگی‌ها را از نظر میزان آسیب وارده به آن‌ها، دسته‌بندی کرد. این نکته با نتایج بدست آمده پیشین در مورد اندازه‌گیری میزان آسیب وارده به میوه انار [۱۲] و میوه هلو [۱۵] مطابقت دارد. هم‌چنین، با توجه به نتایج حاصل از آزمون دانکن (جدول ۵)، تأثیر روز، بر روی سرعت امواج مشخص شد. بدین گونه که با گذشت مدت زمان ذخیره‌سازی، تأثیرگذاری روزها در کاهش سرعت امواج بیش‌تر می‌شد. نتایج حاصل از رسم نمودار سرعت- زمان نشان می‌دهند که مناسب‌ترین الگوی آماری براساس ضریب همبستگی، الگوی درجه ۲ هست. سرعت با گذشت زمان با ضریب همبستگی بالا طی هشت روز به صورت منحنی درجه ۲ کاهش می‌یابد (شکل ۴). این مطلب با نتایج گزارش شده دیگر بر روی میوه سیب، مبنی بر کاهش خطی سرعت امواج با ضریب هم‌بستگی ۰٫۹۵ [۱۶] هم‌خوان می‌باشد و با نتایج پژوهش دیگر بر روی میوه آواکادو مبنی بر افزایش سرعت امواج با گذشت زمان [۱۳] ناهم‌خوان است. علت این عدم مطابقت، استفاده از روش‌های فراآوایی متفاوت و نرم‌شدن سریع گوجه‌فرنگی می‌باشد.



شکل ۴ نمونه‌ای از ارتباط بین متغیر سرعت امواج فراآوایی و مدت زمان ذخیره‌سازی گروه ۱.

۳-۳. شاخص ضریب تنکش (تضعیف) امواج فراآوایی

با توجه به جدول ۵، مشاهده می‌شود که تأثیر گروه در ضریب تنکش (تضعیف) امواج در یک سطح نشان داده شده است.

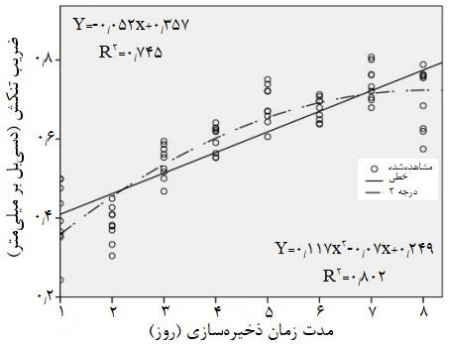
جدول ۶ مقادیر میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های فراآوایی گوجه‌فرنگی طی ۸ روز.

گروه		ضریب تنکش ($dBmm^{-1}$)	سرعت امواج عبوری (متر/ ثانیه)
۱		۰٫۵۷۴۱±۰٫۱۶۹۲	۸۱٫۹۷۵۲±۴٫۳۴۵۵
	بیشینه - کمینه	۰٫۴۰۴۹ و ۰٫۷۴۳۳	۷۷٫۶۲۹۷ و ۸۶٫۳۲۰۷
۲		۰٫۶۱۴۶±۰٫۲۰۸۶	۸۴٫۸۴۱۳±۳٫۸۳۳۸
	بیشینه - کمینه	۰٫۴۰۶۰ و ۰٫۸۲۳۲	۸۱٫۰۰۷۵ و ۸۸٫۶۷۵۱
۳		۰٫۵۹۲۸±۰٫۱۷۵۵	۸۱٫۰۲۵۸±۳٫۷۵۱۴
	بیشینه - کمینه	۰٫۴۱۷۳ و ۰٫۷۶۸۳	۷۷٫۲۷۴۴ و ۷۹٫۵۰۵۴
۴		۰٫۶۱۴۶ ±۰٫۱۶۳۲	۷۹٫۵۰۵۴±۳٫۶۸۹۴
	بیشینه - کمینه	۰٫۴۵۱۴ و ۰٫۷۷۷۸	۷۵٫۸۱۶ و ۸۳٫۱۹۴۸

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

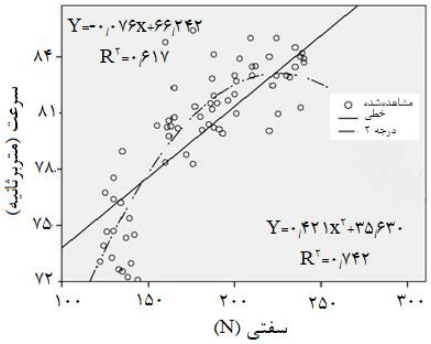
اما این تاثیر در روزها متفاوت می‌باشد و با گذشت هر روز از زمان ذخیره‌سازی، تأثیرگذاری روزها در افزایش ضریب تنکش (تضعیف) امواج فراآوایی بیش‌تر می‌شود. نتایج حاصل از رسم نمودارهای ضریب تنکش (تضعیف) امواج بر حسب مدت زمان ذخیره‌سازی روشن می‌سازد که مناسب‌ترین الگوی آماری براساس ضریب همبستگی، الگوی درجه ۲ می‌باشد که نشان می‌دهد، ضریب تنکش (تضعیف) با گذشت زمان طی هشت روز با سطح معناداری $P<۰/۰۵$ و با ضریب همبستگی بالا در هر چهار گروه به صورت منحنی درجه ۲ افزایش می‌یابد (شکل ۵). نتایج بدست آمده، با نتایج پژوهش‌هایی بر روی آواکادو [۱۷] و میوه سیب [۱۶] که منجر به افزایش ضریب تنکش (تضعیف) با گذشت زمان شده‌اند هم‌خوان هستند و هم‌چنین، نتایج بدست آمده با پژوهش‌هایی بر روی میوه انبه [۱۷] و آلو [۱۴] که منجر به کاهش ضریب تنکش (تضعیف) با گذشت زمان می‌شوند، ناهم‌خوانی دارند. دلیل این ناهم‌خوانی، متفاوت بودن ویژگی‌های مکانیکی هم‌چون ضریب کشسانی و وجود فضاهای هوایی بین یاخته‌ای (سلولی) است که بیش‌ترین تاثیر را بر خواص فراآوایی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گذارند.



شکل ۵ ارتباط بین متغیر ضریب تنکش امواج فراآوایی و مدت زمان ذخیره‌سازی گروه ۱.

۳-۴. ارتباط بین متغیر سرعت امواج فراآوایی و سفتی گوجه‌فرنگی

در بررسی تحلیل آماری تغییرات سرعت امواج نسبت به سفتی، مشخص شد که با افزایش سفتی گوجه‌فرنگی، سرعت امواج نیز افزایش می‌یابد. با رسم نمودارهای سرعت امواج فراآوایی بر حسب سفتی گوجه فرنگی دریافت شد که مناسب‌ترین الگوی رگرسیونی براساس ضریب همبستگی، الگوی درجه ۲ می‌باشد (شکل ۶). افزایش سفتی گوجه‌فرنگی موجب افزایش سرعت به صورت منحنی درجه ۲ با سطح معناداری $P<۰/۰۵$ برای هر چهار گروه شده است. این یافته با نتایج برخی از محققان که رابطه‌ای پیچیده و غیریکنواختی را جهت ارتباط بین سرعت امواج و سفتی میوه انبه و آواکادو به دست آوردند [۱۳، ۱۸] و نیز عدم وجود رابطه معنادار بین سرعت امواج و سفتی در میوه هلو [۱۵] مطابقت ندارد. دلیل این عدم مطابقت، متفاوت بودن بافت و ویژگی‌های محصولات کشاورزی است که سبب می‌شوند، سرعت امواج در برخی محصولات، عامل مناسبی در تعیین ویژگی‌های کیفی باشد و در برخی دیگر، تأثیرگذار نباشد.



شکل ۶ ارتباط بین شاخص سرعت امواج فراآوایی و مؤلفه مکانیکی سفتی گروه ۱.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق مؤلفه‌های فراآوایی میوه گوجه‌فرنگی و مؤلفه‌هایی از آن که در رابطه با میزان رسیدگی این محصول می‌باشند، اندازه‌گیری شدند و روابط معنادار موجود بین آن‌ها ارائه گردیدند. در بررسی شاخص‌های فراآوایی محصول گوجه‌فرنگی تحت آسیب وارده، دریافت شد که ترازهای انرژی متفاوت و میزان سفتی، بر سرعت امواج فراآوایی، اثر معناداری دارند. به طوری‌که، رابطه رگرسیونی مناسبی بین سرعت امواج فراآوایی و مؤلفه‌های مستقل یعنی مدت زمان انبارداری و سطوح آسیب (انرژی) به دست آمد. هم‌چنین، یافت شد هر چه میزان سفتی گوجه‌فرنگی افزایش یابد، سرعت امواج در بافت محصول نیز افزایش می‌یابد. لذا با توجه به روابط به دست آمده، ممکن است بتوان با استفاده از آزمایش فراآوایی به

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]

صورت یک آزمون غیرمخرب و اندازه‌گیری ضریب تنکش (تضعیف) و سرعت امواج فراآوایی ضمن عبور از بافت محصول، بسته به نوع بافت و تراکم آن، برخی مؤلفه‌های مرتبط با رسیدگی محصول را اندازه‌گیری و آن‌ها را پیش‌بینی کرد. بنابراین، ممکن است بتوان با استفاده از این روش در خطوط فرآوری محصول گوجه‌فرنگی، عملیاتی مانند جداسازی و درجه‌بندی میوه را براساس برخی مؤلفه‌ها به صورت غیرمخرب انجام داد.

۵. تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های این مقاله از طرح پژوهشی تحت عنوان «ساخت و ارزیابی دستگاه فراآوایی برای تعیین کیفیت محصولات کشاورزی (یوکیواس ۱۰۰ و یوکیواس ۲۰۰)» به شماره ۸۸/۳/۲/۷۵۱۳۹ تامین شده است و محل اجرای آن آزمایشگاه فراآوایی دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد. از آقای سعید توفیقیان در تهیه و اجرای آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

۶. فهرست منابع

[1] J.A. Abbott, "Quality measurement of fruits and vegetables," Postharvest Biology and Technology, vol. 15, no. 3, pp. 207 – 225, 1999.
[2] J.L. Rose, "Ultrasonic Waves in Solid Media," Cambridge university press, 2004.
[3] A. Mizrach, "Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage," Postharvest Biology and Technology, vol. 46, no.3, pp. 271–274. 2007,
[4] Z.J. Dolatowski, J. Stadnik, D. Stasiak, "Applications of ultrasound in food technology," Acta Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria, vol. 6, no. 3, pp. 89–99, 2007.
[5] R. Baldev, V. Rajendran, P. Palanichamy, "Science and Technology of Ultrasonics," AlpHa Science international, 2007.
[6] Anonymous, FAO, www.fao.org, 2013.
[7] M. Tawoosi, M. mohebbol- Alhojjah, "Tomato farming in Khuzestan province," Technical journal, Khuzestan Promotion and Operation System Publishing, no. 148, pp. 41, 2006 (in Persian).
[8] A.H. Afkari Sayyah, A. Asghari, S. Mohammadi, A.A. shokouhian, "Effect of temperature and size of fruit on the probability of injury of tomato under the influence of impact," Agricultural Engineering, Scientific Journal of Agriculture, vol. 33, no. 1, pp. 41-50, 2010 (in Persian).
[9] B.L. Ypchurch, G.E. Miles, R.L. Stroshine, E.S. Furgosen, F.H. Emerson, "Ultrasonic measurement for detecting apple bruise," Transaction of the ASAE, vol. 30, no. 3, pp. 803- 809, 1987.
[10] A. Mizrach, N.Galili, G. Rosenhouse, "Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation," Transaction of the ASAE, vol. 32, no. 6, pp. 2053- 2058, 1989.
[11] B.E. Verlinden, V.D. Smedt, B.M. Nicola, "Evaluation of ultrasonic wave propagation to measure chilling injury in tomatoes," Postharvest Biology and Technology, vol. 32, no. 1, pp. 109–113. 2004.
[12] H. Zaki Dizaji, S. Minaei, T. Tavakoli Hashtjin, M. Mokhtari Dizaji, "Measurement of Pomegranate Fruit Quality using its Peel by Transmitted Ultrasonic Technique," Journal of Agricultural Engineering, vol. 38, no. 1, pp. 43-57, 2015 (in Persian).
[13] A. Mizrach, "Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique," Ultrasonics, vol. 38, no. 1-8, pp. 717–722, 2000.
[14] A. Mizrach, "Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method," Food Research International, vol. 37, no. 6, pp. 627–631, 2004.
[15] R. Abolghasemi, B. Emadi, M.H. Aghkhani, S.H. Beyraghi Toosi, "Determination of peach maturity using ultrasonic waves," Iranian Food Science and Technology Research Journal, vol. 5, no. 1, pp. 63-74, 2009 (in Persian).
[16] K.B. Kim, S. Lee, M.S. Kim, B.K. Cho, "Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement," Postharvest Biology and Technology, vol. 52, no.1, pp. 44–48, 2009.
[17] A. Mizrach, U. Flitsanov, Z. Schmilovitch, Y. Fuchs, "Determination of mango physiological indices by mechanical wave analyses," Postharvest Biology and Technology, vol. 16, no. 2, pp. 179-186, 1999.
[18] A. Mizrach, N. Galili, S. Gan-mor, U. Flitsanov, I. Prigozin, "Model of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life," Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 65, no. 4, pp. 261- 267. 1996.

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1395.4.2.3.2]