



## مقاله پژوهشی

# تجزیه و تحلیل صدای حاصل از اعمال ضربه به میوه انار به منظور تعیین رسیدگی

سولماز جنتی<sup>۱</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۲\*</sup>، مختار حیدری<sup>۳</sup>

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی خوزستان

۲. استادیار دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. دانشیار دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۶/۱۲/۲۸، تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲)

## چکیده

یکی از آزمون‌های غیرمخرب توسعه یافته در تعیین رسیدگی میوه‌ها، تجزیه و تحلیل صدا و همچنین پردازش سیگنال حاصل از اعمال ضربه است؛ لذا در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت و رسیدگی میوه انار، سامانه ثبت پاسخ صوتی حاصل از ضربه، توسعه یافت. بدین منظور صدای حاصل از ضربه ۱۵۰ عدد انار، در سه مرحله رسیدگی (نارس، رسیده و بیش‌رس) ثبت شد. برای ارزیابی کیفیت انار، از میان ویژگی‌های مخرب، میزان مواد جامد محلول، میزان اسیدیته، ویتامین ث، آنتوسیانین، فنل کل و pH اندازه‌گیری شدند؛ همچنین جهت ثبت و استخراج ویژگی‌های صوتی (آزمون غیرمخرب)، برای قرارگیری میکروفن نسبت به محل اعمال ضربه (پشت، کنار و زیر میوه) و درجه ضربه‌زن (۵، ۱۰ و ۱۵ درجه) به‌عنوان متغیر مورد بررسی قرار گرفتند. برای طبقه‌بندی داده‌ها، از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری ترکیب‌شده با الگوریتم ژنتیک استفاده شد. بر اساس آنالیز آماری که در سطح احتمال خطای ۰.۵٪ صورت گرفت، مشخص شد که بهترین جهت قرارگیری میکروفن و زاویه ضربه‌زن، به ترتیب قرارگیری میکروفن در کنار میوه و درجه ضربه‌زن ۱۵ درجه است. نتایج طبقه‌بند نشان داد که بیشترین و کمترین دقت، به ترتیب ۹۶/۷٪ (در گروه رسیده)، ۷۳٪ (در گروه بیش‌رس) و در نهایت، دقت کلی ۸۹/۲٪ به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: انار، پارامترهای کیفی، آنالیز صدا، الگوریتم ژنتیک، طبقه‌بندی

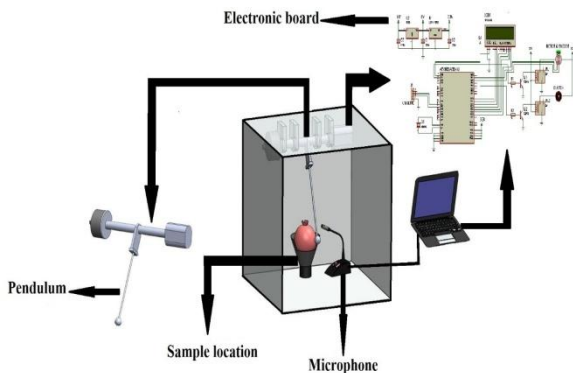
## ۱. مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum*، متعلق به خانواده انارسانان (*Punicaceae*) و یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین میوه‌های خوراکی و بومی ایران است [۱]. کشت انار، در بخش‌های مختلف و وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران رایج است. براساس آمار سازمان غذا و کشاورز (FAO)، ایران در رتبه اول تولید میوه انار در خاورمیانه و شمال آفریقا قرار دارد؛ چنان‌که از ۲/۷ میلیون هکتار باغ در ایران، تولید سالیانه ۱۶/۵ میلیون تن گزارش شده است [۲]. اندازه، رنگ پوست، اسیدیته قابل تیتراسیون، مقدار مواد جامد محلول و نسبت مواد جامد محلول به اسید از شاخصه‌های مهم در تعیین مرحله برداشت و رسیدگی میوه‌ها است [۳]. میوه انار نیز حاوی مقادیر قابل توجهی آنتوسیانین، ترکیبات فنولی، اسیدهای آلی و ویتامین‌ها است [۴].

پژوهش‌های متعددی در مورد روند تغییرات پارامترهای کیفی [۵] و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انار [۶] در طول دوره انبارداری یا رسیدگی انجام شده است. کامارنا و مارتینز [۷] دریافتند که انبارداری محصولات باغبانی به‌مدت طولانی، به منظور نگه‌داری، تکمیل دوره رسیدگی و توزیع برای فروش، باعث کاهش کیفیت محصول نسبت به رطوبت و تازگی اولیه آن‌ها می‌شود؛ بنابراین در صورتی که امکان تعیین کیفیت درونی میوه‌ها به صورت غیرمخرب فراهم شود، می‌توان به‌طور غیرمستقیم زمان برداشت محصول را پیش بینی کرد و ضایعات آن را کاهش داد. فاکتورهای پایه و عمده‌ای از جمله اندازه، شکل، رنگ، مزه، بافت، طعم و عاری بودن از عیب و مواد خارجی، به‌طور معمول از ویژگی‌های کیفی میوه محسوب می‌شوند. طی سال‌های اخیر، توجه بسیاری از پژوهشگران جهان به تعیین و توسعه کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی و روش‌های غیرمخرب معطوف شده است؛ چنان‌که محور اصلی تحقیقات پس از برداشت میوه‌ها و محصولات زراعی شده‌اند و حجم تحقیقات در این زمینه نیز به‌طور چشمگیری رو به افزایش است [۸]. آزمون‌های مخرب، دقیق و در عین حال زمان‌بر هستند، بنابراین روش‌های غیرمخربی که توانایی تشخیص بلادرنگ کیفیت مواد اولیه را داشته باشند، مورد توجه هستند.

اندازه‌گیری صدا، به‌عنوان یک فناوری جدید، برای تشخیص خواص محصولات کشاورزی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها به‌کار گرفته می‌شود. در این روش، میزان تغییر شاخص‌های صوتی مانند کاهش انرژی یا دامنه، میزان انعکاس امواج، فرکانس صوت و غیره در گذر یا انعکاس از مواد به کیفیت و یا چگونگی مواد ارتباط داده می‌شود. به‌منظور بررسی کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها، پژوهشگران سامانه‌هایی با بسامد کم و دامنه تحریک بسیار قوی را پیشنهاد دادند که در برخی از محصولات زراعی مانند سیب‌زمینی [۹] و [۱۰]، آوآکادو [۱۱] و [۱۲]، انبه [۱۳]، گوجه‌فرنگی [۱۴]، سیب و هلو [۱۵] و گلابی [۱۶] استفاده شده است [۱۷]. در پژوهشی، محققان به بررسی سفتی سیب به کمک روش پاسخ صوتی حاصل از ضربه در خلال انبارمانی پرداختند. بدین‌منظور مشخص شد که همبستگی بین تکنیک پاسخ صوتی نفوذسنج بر اساس رقم سیب و طراوت آن متفاوت است [۱۸]. در مطالعه‌ای دیگر، به ارزیابی استحکام میوه کیوی توسط دستگاه‌های سختی‌سنج و همچنین به صورت غیرمخرب (آنالیز ضربه) پرداختند. آزمایش‌ها نشان داد که سرعت برخورد در موقع اندازه‌گیری، می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر مقدار حاصل از اندازه‌گیری تأثیر بگذارد؛ به‌طوری که افزایش سرعت، سبب افزایش ۴۰ N مقدار استحکام اندازه‌گیری شده می‌شود [۱۹].

در تحقیقی دیگر، حسگری مبتنی بر پاسخ صوتی حاصل از ضربه، برای ارزیابی کیفی سیب و گوجه‌فرنگی، طی یک آزمایش ذخیره‌سازی توسعه یافت. نتایج نشان داد که حسگر توسعه‌یافته برای سیب، از تکرارپذیری خوبی برخوردار است و به‌طور کلی، همبستگی بین اندازه‌گیری مخرب و پاسخ صوتی نسبتاً بالا بود ( $R^2=0/88$ )؛ اما در مورد گوجه‌فرنگی، تکرارپذیری حسگر پایین‌تر از سیب بود، ولی ضریب همبستگی  $R^2=0/7$  مشاهده شد [۲۰]. با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از فاکتورهای کیفیت محصولات کشاورزی، به ویژگی‌های کیفیتی میوه، مانند قند، اسیدیته، pH، محتوای رطوبتی و میزان آب از دید مشتری پنهان است؛ لذا هدف از این پژوهش توسعه سامانه‌ای به‌منظور ایجاد ارتباط میان این ویژگی‌های کیفیتی با رسیدگی انار و طبقه‌بندی آن



شکل (۱) شماتیک سامانه تحریک صوتی انار

Fig (1) Schematic diagram of sound excitation of pomegranate

در این سامانه، تحریک صوتی انار توسط ضربه انجام می‌شود. با اعمال ضربه به سطح میوه، سیگنال صوتی تولیدی به درون میوه انار ارسال و سپس توسط یک گیرنده (دستگاه اندازه-گیری صدا مدل HT157، ساخت چین) میزان سیگنال خروجی اندازه‌گیری شد. این گیرنده در فاصله ۵ cm از محل اعمال ضربه T برای اندازه‌گیری تراز فشار صوت (SPL) از ۲۵dB تا ۱۴۰dB با فرکانس در محدوده ۱۰ Hz تا ۲۰ kHz طراحی شده است [۲۱]. سامانه، قابلیت ایجاد ضربه با شدت‌های مختلف تحت زوایای مختلف را برای مطالعه اثر تغییرات شدت ضربه به صورت خودکار را دارا بود. جنس ضربه‌زن در این پژوهش، پلاستیکی و محل دریافت کننده صدا در زوایای صفر، ۹۰ و ۱۸۰ درجه نسبت به ضربه زن در نظر گرفته شد [۲۲]. به‌منظور کاهش خطایی که بر اثر تغییرات شکل میوه‌های باغی به‌وجود می‌آید، انجام اندازه-گیری‌های صوتی در دو طرف مرکزی میوه و با سه تکرار صورت پذیرفت [۲۳]. بعد از ثبت صدا، ویژگی‌های آن در حوزه زمان و فرکانس مورد بررسی قرار گرفتند. در ضمن تمامی آنالیزهای صدا در نرم‌افزار 2016 MatLab انجام پذیرفت.

### ۲.۳ حذف نویز از سیگنال به کمک تبدیل موجک

در این پژوهش، برای حذف نویز، از تبدیل موجک و قانون آستانه‌گذاری در روش پیشنهادی [۲۴] استفاده شد. در این

بر اساس آنالیز صدای حاصل از ضربه در نظر گرفته شد.

## ۱. مواد و روش‌ها

### ۱.۲ تهیه نمونه‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۶، در گروه باغبانی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام پذیرفت. رقم میوه مورد استفاده در این پژوهش، انار ملس پوست‌زرد (از ارقام رایج منطقه باغملک خوزستان) است. تعداد ۱۵۰ عدد انار رقم ملس پوست‌زرد (۵۰ عدد نارس، ۵۰ عدد رسیده و ۵۰ درصد بیش‌رس) اوایل مهرماه از یک باغ تجاری در شهرستان باغملک برداشت و بعد از تحریک و اخذ صدا که توضیح آن متعاقباً خواهد آمد؛ تحت آزمون‌های مخرب (اسیدیته کل قابل تیتراسیون، محتوی مواد جامد محلول کل (TSS) و pH، آنتوسیانین کل (AC) و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای، ویتامین ث و فنل کل (TP))، به‌منظور تعیین کیفیت درونی قرار گرفتند.

### ۲.۲ سامانه اخذ و ثبت صدا

به منظور اخذ و ثبت صدا، یک محفظه شیشه‌ای با دیواره‌های عایق ساخته شد. مطابق شکل (۱)، سامانه اخذ صدا مجهز به محلی برای استقرار میوه انار در کف، مکانیزم ضربه‌زن، دریافت‌کننده سیگنال و مدار الکترونیک، به‌منظور تعیین کیفیت انار بود. در این پژوهش، به‌منظور ساخت مکانیزم ضربه‌زن، از موتورگیربکس DC ۲۴ ولت ۶ rpm بوهرلر آلمان، انکودر نوری ۲۰۰ پالس اتونیکس<sup>۱</sup> کره (به منظور تعیین زاویه ضربه‌زن و کنترل نیروی اعمالی به میوه)، کلاچ ۲۴ ولت دیسکی ساخت بوهرلر آلمان و برد کنترلی بر پایه میکروکنترلر ATXMEGA32A4U شرکت اتمل (Atmel) استفاده شد. فرکانس کاری این میکرو ۳۲ مگاهرتز بود و برد کنترل از طریق مبدل USB به سریال، به کامپیوتر متصل شد.

## ۲.۴. استخراج ویژگی

در این پژوهش، تحلیل‌ها روی سیگنال‌های رقمی و در دو حوزه زمان و فرکانس انجام شد. هدف از استخراج ویژگی، انتخاب خصوصیات معنی‌دار در سیگنال دریافتی، جهت ارزیابی رسیدگی است. از این رو از استخراج ویژگی در دو حوزه زمان و فرکانس استفاده شد. ویژگی‌های اولیه در حوزه زمان (رابطه ۱ تا ۱۸) از سیگنال صدا در جدول (۱) آورده شده‌اند [۲۶]. در ضمن بعد از اخذ تبدیل فوریه فرکانس<sup>۴</sup> طبیعی و آنتروپی طیفی از سیگنال‌ها استخراج شدند [۲۷].

روش، ابتدا آستانه‌ای سراسری<sup>۱</sup> (که برای تمام ضرایب موجک در زیرباندهای تبدیل مقداری واحد در نظر گرفته می‌شود) محاسبه و سپس بر روی ضرایب جزئیات تبدیل موجک، عمل آستانه‌گذاری انجام شد؛ بدین معنی که ضرایب کوچک‌تر از آستانه، صفر شده و ضرایب بزرگ‌تر نیز طبق قانون آستانه گذاری تغییر می‌کند. به منظور اعمال تبدیل موجک، از موجک‌های مادر مختلفی می‌توان استفاده کرد. در تحقیق حاضر، به دلیل نزدیکی موجک مادر Symlets با سیگنال‌های صدا، از این موجک با ضریب ۴، به منظور حذف نویز استفاده شد [۲۵]. پیاده‌سازی الگوریتم حذف نویز، در جعبه ابزار موجک، در نرم‌افزار MatLab 2016 صورت پذیرفت.

جدول (۱) روابط ویژگی‌های استخراج شده اولیه از سیگنال صدا

**Table (1)** The relations of the primary extracted features of the sound signal

روابط ویژگی‌ها Feature Relationships		
$T_1 = \frac{\sum_{n=1}^N x(n)}{N}$ (۱)	$T_7 = \frac{T_5}{T_1}$ (۷)	$T_{13} = \frac{1}{N} \sum (x_i - T_1)^5$ (۱۳)
$T_2 = \max x(n) $ (۲)	$T_8 = \frac{T_2}{T_5}$ (۸)	$T_{14} = \frac{1}{N} \sum (x_i - T_1)^6$ (۱۴)
$T_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x(n) - T_1)^2}{N-1}}$ (۳)	$T_9 = \frac{N}{\sum_{i=1}^N x_i}$ (۹)	$T_{15} = 10 * \log_{10} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)$ (۱۵)
$T_4 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{ x(n) }}{N} \right)^2$ (۴)	$T_{10} = \sqrt{\prod_{i=1}^N x_i}$ (۱۰)	$T_{16} = -\sum_{i=1}^N x_i \log_2(x_i)$ (۱۶)
$T_5 = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x(n))^2}{N}}$ (۵)	$T_{11} = \frac{\sum_{i=0}^{l-1} (x_i - T_1)^3}{\sigma^3}$ (۱۱)	$T_{17} = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - T_1)^4}{(N-1)T_4^4}$ (۱۷)
$T_6 = \frac{T_2}{T_1}$ (۶)	$T_{12} = \frac{\sum_{i=0}^{l-1} (x_i - T_1)^4}{\sigma^4}$ (۱۲)	$T_{18} = \sum_{n=1}^N (x(n))^2$ (۱۸)

X (n) نشان‌دهنده سیگنال صدا است.

های بهینه سازی کارا و پر کاربرد در یادگیری ماشین و شناسایی الگو است. به کمک این الگوریتم، می‌توان به طور هم‌زمان به جست‌وجو در چندین نقطه از فضای ویژگی پرداخت و بهینه‌ترین ترکیب با حداکثر دقت در طبقه‌بندی را به‌دست آورد. در این روش، ابتدا در فضای ویژگی‌ها، تعدادی

## ۲.۵. انتخاب ویژگی

در این پژوهش، از ترکیب الگوریتم ژنتیک (GA)<sup>۲</sup> و طبقه‌بند درخت تصمیم‌گیری (DT)<sup>۳</sup>، به‌منظور انتخاب ویژگی‌های صدا و طبقه‌بندی اطلاعات استفاده شد. GA از جمله الگوریتم

4. Fourier Transform

1. Universal Threshold  
2. Genetic Algorithm  
3. Decision tree classifier

یا غیر برگ، یک ویژگی را نشان می‌دهد که به تعداد ارزش (یا مقدار) آن ویژگی، شاخه‌ای از آن به گره‌های پایین‌تر وجود دارد. برای آموزش طبقه‌بند، از الگوریتم جست‌وجوی حریصانه<sup>۷</sup> بالا به پایین استفاده شد. این الگوریتم از معیار بهره اطلاعاتی<sup>۸</sup> که مبتنی بر مفهوم آنتروپی است، جهت رشد درختان از بالا به پایین کمک می‌گیرد. این معیار از رابطه (۲۰) قابل محاسبه است [۲۸]:

رابطه (۲۰)

$$\text{Gain}(S, A) = H(S) - \sum_{v \in \text{Values}(A)} \frac{|S_v|}{|S|} H(S_v)$$

که در آن  $\text{Gain}(S, A)$  بهره اطلاعاتی نمونه‌های  $S$  برای ویژگی  $A$  و  $H(S)$  مقدار آنتروپی نمونه‌های  $S$  است. اگر ویژگی دارای  $C$  مقدار مختلف باشد، آن‌گاه آنتروپی  $S$  نسبت به این دسته‌بندی  $C$  گانه به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۸]:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^C p_i \log_2 p_i \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

در این پژوهش به منظور آموزش و ارزیابی درخت تصمیم‌گیری به ترتیب، از ۷۰٪ (۱۰۰ عدد) و ۳۰٪ (۵۰ عدد) داده‌ها استفاده شد.

## ۲.۷. تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی میوه انار

### ۲.۷.۱. اسیدیت کل قابل تیتراسیون<sup>۹</sup>

برای اندازه‌گیری اسیدیت کل قابل تیتراسیون آمیوه از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال و معرف فنول فتالین استفاده شد. در این روش، ۵ mL از آب‌میوه و ۵ mL آب مقطر درون بشر ریخته شد و پس از اضافه نمودن ۳ قطره معرف فنول فتالین (یک درصد) تیتراسیون با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال انجام شد تا رنگ بنفش ظاهر شود. میزان سود مصرفی در رابطه (۲۲) قرار داده شد و میزان اسیدیت کل قابل تیتراسیون بر اساس درصد محاسبه شد [۲۹].

$$A = (S \cdot N \cdot F / C) \times 100 \quad \text{(۲۲)}$$

$A$  = مقدار اسید در عصاره میوه (درصد)؛  $F$  = فاکتور سود

از زیرمجموعه‌های ویژگی به‌عنوان جمعیت<sup>۱</sup> اولیه انتخاب می‌شود. طول جمعیت برابر تعداد کل ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال صدا (در اینجا ۲۰ ویژگی) است و به صورت باینری (۰ و ۱) وارد الگوریتم می‌شود. سپس، با اعمال یک تابع ارزیابی (مشهور به تابع برازندگی<sup>۲</sup> در ژنتیک)، جمعیت اولیه یا در واقع زیرمجموعه انتخاب شده اولیه، ارزش‌گذاری شد. اگر زیرمجموعه منتخب، معیار پیش‌تعریف شده را برآورد کند، به عنوان زیرمجموعه ویژگی بهینه گزارش می‌شود. در غیر این صورت، با استفاده از دو عملگر مهم ژنتیک، به نام عملگر لقاح<sup>۳</sup> و جهش<sup>۴</sup> فرزندان جدید یا همان زیرمجموعه ویژگی جدید انتخاب شده و دوباره با به‌کارگیری تابع ارزیابی، ارزش‌گذاری می‌شود. این مراحل تا رسیدن به جواب نهایی ادامه خواهد یافت. تابع برازندگی استفاده شده در روش پیشنهادی، مقدار دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی با الگوریتم DT روی نمونه‌های آزمایشی است؛ که این مقدار برای زیرمجموعه ویژگی بهینه انتخاب شده، می‌بایست بیشینه شود؛ به عبارت دیگر، اگر  $F_i$  زیرمجموعه ویژگی مورد نظر باشد،

تابع برازندگی یا ارزیابی آن، به صورت رابطه (۱۹) تعریف می‌شود:

رابطه (۱۹)

$$FF(F_i) = OA ; \quad \text{or} \quad FF(F_i) = 1 - OA$$

که در آن،  $FF$  تابع برازندگی و  $OA$  دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی است.

### ۲.۶. طبقه‌بندی داده‌ها

در یادگیری ماشین نظارت شده، الگوریتم DT از درختان برای نمایش بصری تصمیم‌ها استفاده می‌کند. DT، نمونه‌ها را به نحوی دسته‌بندی می‌کند که از گره ریشه<sup>۵</sup> به سمت پایین رشد کرده و در انتها، به گره‌های برگ<sup>۶</sup> که همان تصمیم‌ها یا برچسب نمونه‌ها هستند، می‌رسد. هر گره داخلی

1. Population
2. Fitness Function
3. Cross-over
4. Mutation
5. Root Node
6. Leaf Node

7. Greedy

8. Information Gain

9. Total Titratable Acidity

### ۲.۷.۵. اندازه‌گیری فنل کل (TP)

جهت اندازه‌گیری فنل کل آبمیوه از روش [۳۳] استفاده شد. ابتدا مقدار ۳۰۰ میکرولیتر آبمیوه رقیق شده با ۱/۵ mL محلول معرف فنل رقیق شده مخلوط شد، پس از ۵ min، مقدار ۱۲۰۰  $\mu\text{L}$  کربنات سدیم ۷/۵٪ به محلول اضافه شد و رنگ محلول تیره گشت. با ننگه‌داشتن ۹۰ min محلول در تاریکی، اندازه‌گیری با طول موج ۷۶۰ nm انجام شد. نمونه شاهد حاوی معرف فنول، آب مقطر و کربنات سدیم بدون عصاره بود.

### ۳. نتایج و بحث

شکل a ۲، نمونه‌ای از سیگنال اخذ شده توسط سامانه توسعه‌یافته را نمایش می‌دهد. با توجه به این که سیگنال‌های ضبط شده دارای نویز هستند، لذا ویژگی‌های استخراج شده حاوی اطلاعات رسیدگی و کیفیت درونی انار نبودند؛ در نتیجه، ابتدا عمل حذف نویز، به کمک تبدیل موجک بر روی سیگنال‌های حاصل از تحریک مکانیکی انجام شد که شکل b ۲ نمونه‌ای از این سیگنال فیلتر شده را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل c ۲ (نمای نزدیک سیگنال اصلی و فیلتر شده) مشخص شده است سیگنال اصلی دارای نویز بوده و به صورت دندان‌های است؛ که پس از اعمال فیلتر این دندان‌ها حذف شدند و سیگنال به دست آمده سیگنالی صاف و فاقد نویز بود.

(ضریب نرمال)؛ S= مقدار سود مصرفی (mL)؛ N= نرمالیته سود؛ C= مقدار عصاره میوه (mL)

### ۲.۷.۲. میزان مواد جامد محلول کل (TSS) و pH

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول آبمیوه، از دستگاه رفرکتومتر<sup>۱</sup> دیجیتالی (مدل MA882- ساخت کشور ژاپن) استفاده شد. تعیین pH عصاره میوه نیز توسط pH سنج (مدل P-755 قابل حمل، ساخت ژاپن) انجام شد.

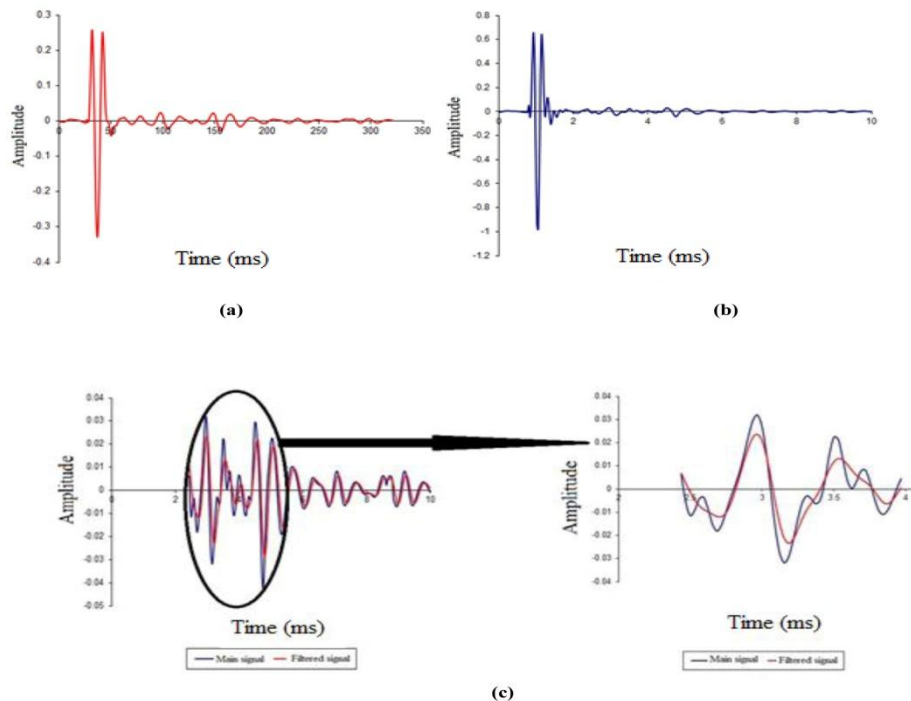
### ۲.۷.۳. آنتوسیانین کل (AC) و مواد ایجادکننده رنگ

#### قهوه‌ای در آبمیوه

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین و مواد ایجادکننده رنگ قهوه‌ای از روش پیشنهادی [۳۰] استفاده شد. ۱ mL آبمیوه به درون فالکون یا شیشه ریخته، سپس ۳ mL اسیدکلریدریک (۰/۵۵ mol/L) به آبمیوه اضافه شد و محلول در دمای آزمایشگاهی به مدت ۱۰ min ننگه‌داری و بعد از آن، میزان جذب در طول موج ۵۱۵ nm با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 Spectrophotometer (ساخت آمریکا) قرائت و دوباره نمونه به فالکون یا ظرف شیشه‌ای برگردانده شد و پس از پایان اندازه‌گیری مرحله قبل، این کار در طول موج ۷۰۰ nm آغاز شد.

### ۲.۷.۴. اندازه‌گیری ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین ث برای میوه توسط [۳۱] و [۳۲] تعیین شد. ۵ gr نمونه با ۹ mL EDTA-TCA مخلوط شد و در یک ظرف تیره اضافه شد، محلول حاصل به مدت ۵ min به حالت سانتریفوژ با سرعت ۳۰۰۰ rpm قرار گرفت. ۱۰ mL آبمیوه با ۱۰ mL یدورپتاسیم ۵٪ مخلوط و سپس ۵ mL نشاسته ۱٪ اضافه نموده و با سولفات مس ۰/۰۱ mol تیتراسیون شد و رنگ محلول تغییر کرد.



شکل (۲) (a) سیگنال صدا دارای نویز؛ (b) حذف نویز به کمک تبدیل موجک؛ (c) نمای نزدیک سیگنال اصلی صدا و سیگنال فیلتر شده  
**Fig (2)** a) Noisy-signal; b) Noise reduction using wavelet transform; c) Close view of the main signal of the sound and the filtered signal

پرداختند. در این پژوهش، اثر شدت ضربه و جهت اخذ داده مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس نتایج مشخص شد که جهت داده برداری اثر معنی داری بر روی فرکانس طبیعی به دست آمده از سیب‌های تحریک شده داشت. در پژوهشی دیگر، با استفاده از روش ارتعاشی، میزان استحکام و رسیدگی خریزه ارزیابی شد [۳۵]. در این پژوهش، تأثیر دو متغیر مستقل محل اعمال ضربه و شدت ضربه بر تغییرات ویژگی‌های سیگنال‌های صوتی مطالعه و ارتباط آن‌ها با تغییرات ویژگی‌های بیومکانیک میوه، از جمله ضریب سفتی، شاخص میزان رسیدگی میوه به عنوان متغیر وابسته بررسی شد که شکل میوه و محل اعمال ضربه با یکدیگر همبستگی خوبی داشته است. در تحقیقی، تحریک حاصل از ضربه برای تعیین سفتی کیوی تازه به کار رفت [۳۶]. بر اساس نتایج مشخص شد که با افزایش انرژی حاصل از ضربه، روابط توسعه یافته توانایی بالاتری در پیشگویی میزان سفتی در میوه کیوی را داشتند.

### ۳.۱. انتخاب جهت میکروفن و زاویه ضربه زن

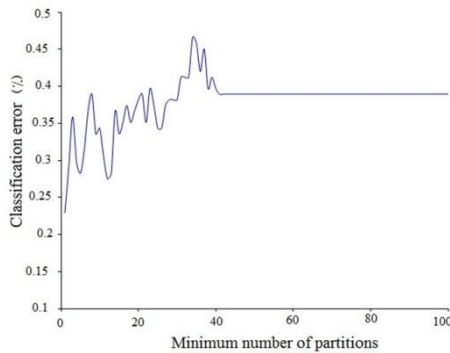
به منظور تعیین بهترین جهت میکروفن و زاویه ضربه زن آنالیز آماری بر روی ویژگی‌های استخراج شده از صدا صورت پذیرفت؛ این آنالیز با استفاده از نرم افزار SAS و براساس آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی، در سطح احتمال ۰.۵٪ انجام پذیرفت. بدین منظور جدول برش‌دهی اثر متقابل گروه در جهت میکروفن و گروه در زاویه ضربه زن صورت پذیرفت و تعداد ویژگی‌های معنی دار میان پارامترها شمارش گردید؛ بر این اساس، مشخص شد که جهت مناسب قرارگیری میکروفن در کنار انار و همچنین بهترین درجه برای اخذ صدا ۱۵ درجه، به ترتیب با ۱۲ و ۹ ویژگی معنی دار در گروه‌ها بودند. بر این اساس، برای طبقه‌بندی داده‌ها و آموزش درخت تصمیم‌گیری، به وسیله ویژگی‌های استخراج شده از صداهای اخذ شده حاصل از ضربه در ۱۵ درجه و قرارگیری میکروفن در کنار نمونه‌ها صورت پذیرفت. در پژوهشی [۳۴] به صورت غیرمخرب به بررسی سفتی سیب

جدول (۲) جدول برش‌دهی اثر متقابل جهت میکروفن در گروه و زاویه ضریه‌زن در گروه  
**Table (2)** Sliced of interaction effect between the direction of the microphone in the group and the angle

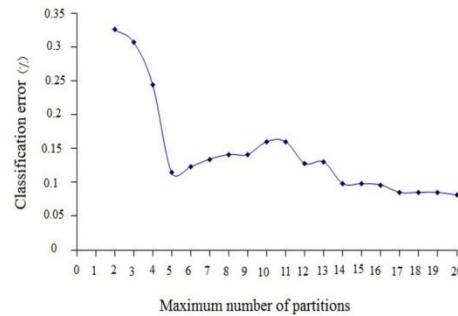
تغییرات Changes	جهت پشت (behind)				جهت زیر (under)				جهت کنار (next)				۵ درجه (degree 5)				۱۰ درجه (degrees 10)				۱۵ درجه (degrees 15)			
	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال immature	میانگین مربعات MS	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال immature	میانگین مربعات MS	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال immature	میانگین مربعات MS	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال Immature	میانگین مربعات MS	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال immature	میانگین مربعات MS	گروه رسیده ripe	گروه بیش-رس over-ripe	گروه کال immature	میانگین مربعات MS
T <sub>1</sub>	0.941	0.950	0.948	0.0006 n.s	0.912	0.927	0.922	0.0016 n.s	0.923	0.909	0.929	0.0030*	0.971	0.967	0.973	0.0002 n.s	0.918	0.929	0.924	0.0010 n.s	0.888	0.889	0.903	0.0022*
T <sub>2</sub>	1.278	1.265	1.302	0.0102 n.s	1.296	1.285	1.353	**	1.305	1.317	1.306	0.0013 n.s	1.347	1.343	1.361	0.0025 n.s	1.318	1.289	1.327	0.0117 n.s	1.214	1.235	1.272	0.0261**
T <sub>3</sub>	0.119	0.102	0.105	0.0022 n.s	0.176	0.147	0.156	0.0062 n.s	0.156	0.182	0.143	0.0114*	0.059	0.066	0.056	0.0009 n.s	0.167	0.144	0.155	0.0039 n.s	0.225	0.221	0.194	0.0083*
T <sub>4</sub>	0.857	0.883	0.879	0.0059 n.s	0.778	0.818	0.808	0.0128*	0.807	0.776	0.826	0.0194*	0.715	0.723	0.758	0.0155*	0.791	0.825	0.810	0.0084 n.s	0.936	0.929	0.945	0.0021 n.s
T <sub>5</sub>	3.647	3.680	3.674	0.0090 n.s	3.535	3.591	3.573	0.0243 n.s	3.575	3.523	3.600	0.0458*	3.763	3.749	3.769	0.0033 n.s	3.555	3.600	3.579	0.0150 n.s	3.439	3.445	3.449	0.0330*
T <sub>6</sub>	1.362	1.335	1.375	0.0121 n.s	1.426	1.391	1.474	**	1.419	1.456	1.409	0.0181 n.s	1.519	1.515	1.512	0.0004 n.s	1.438	1.390	1.438	0.0229 n.s	1.251	1.278	1.308	0.0247 n.s
T <sub>7</sub>	3.872	3.872	3.872	0	3.872	3.872	3.872	0	3.872	3.872	3.872	0	3.872	3.872	3.872	0	3.872	3.872	3.872	0	3.872	3.872	3.872	0
T <sub>8</sub>	0.713	0.344	0.355	1.319**	0.368	0.359	0.380	0.0034*	0.366	0.376	0.363	0.0012 n.s	0.323	0.330	0.337	0.0016 n.s	0.371	0.358	0.371	0.0015 n.s	0.753	0.391	0.390	1.3161**
T <sub>9</sub>	0.320	0.302	0.310	0.0024 n.s	0.400	0.363	0.374	0.0106 n.s	0.380	0.408	0.361	0.0169*	0.470	0.461	0.432	0.0122 n.s	0.402	0.368	0.386	0.0085 n.s	0.228	0.244	0.227	0.0028
T <sub>10</sub>	-0.977	-0.840	-0.911	0.1403 n.s	-1.249	-1.093	-1.006	0.4571 n.s	-1.344	-1.096	-0.988	0.9996*	-1.160	-1.023	-1.092	0.1420 n.s	-1.364	-1.169	-1.265	0.2851 n.s	-1.046	-0.837	-0.547	1.8834*
T <sub>11</sub>	3.295	3.291	3.712	1.7567 n.s	3.704	3.629	3.562	0.1525 n.s	4.406	3.368	3.358	*	3.189	3.159	3.481	0.9511 n.s	4.178	3.793	4.081	1.2017 n.s	4.038	3.336	3.070	7.5058 n.s
T <sub>12</sub>	-0.051	-0.040	-0.043	0.0010 n.s	-0.078	-0.065	-0.064	0.0019*	-0.069	-0.073	-0.061	0.0011 n.s	-0.096	-0.088	-0.081	0.0016 n.s	-0.079	-0.066	-0.072	0.0013 n.s	-0.023	-0.024	-0.014	0.0008 n.s
T <sub>13</sub>	0.049	0.038	0.042	0.0008 n.s	0.074	0.061	0.064	0.0012 n.s	0.067	0.072	0.058	0.0013 n.s	0.092	0.087	0.081	0.0008 n.s	0.075	0.062	0.069	0.0012 n.s	0.022	0.023	0.014	0.0007 n.s
T <sub>14</sub>	11.760	11.760	11.760	0	11.760	11.760	11.760	0	11.760	11.760	11.760	0	11.760	11.760	11.760	0	11.760	11.760	11.760	0	11.760	11.760	11.760	0
T <sub>15</sub>	-3.198	-2.930	-3.014	0.5611 n.s	-4.429	-3.845	-4.120	2.5588 n.s	-4.081	-4.763	-3.835	6.9633*	-5.675	-5.685	-5.047	4.0050 n.s	-4.275	-3.825	-4.067	1.5223 n.s	-1.758	-2.028	-1.855	0.6532 n.s
T <sub>16</sub>	1178.2 -3	-1174.69	-1178.53	136.91 n.s	-1192.78	1184.29	-1198.28	1488.85 n.s	-1191.03	-1203.35	-1184.10	*	-1220.95	-1222.14	-1214.49	508.15 n.s	-1193.80	-1187.46	-1192.08	323.12 n.s	-1147.29	-1152.74	-1154.34	406.86 n.s
T <sub>17</sub>	14.127	14.253	14.233	0.1355 n.s	13.694	13.910	13.841	0.3649 n.s	13.846	13.646	13.943	0.6884*	14.576	14.519	14.598	0.0496 n.s	13.771	13.944	13.865	0.2255 n.s	13.320	13.345	13.554	0.4960*
T <sub>18</sub>	1.232	1.200	1.223	0.0079 n.s	1.211	1.202	1.278	0.0658*	1.218	1.253	1.223	0.0108 n.s	1.291	1.299	1.319	0.0063 n.s	1.233	1.226	1.251	0.0047 n.s	1.136	1.131	1.164	0.0092 n.s
T <sub>19</sub>	2.622	2.642	2.640	0.0036 n.s	2.500	2.552	2.549	0.0256	2.535	2.485	2.569	0.0535**	2.719	2.693	2.270	0.0072 n.s	2.523	2.567	2.553	0.0153 n.s	2.415	2.420	2.484	0.0451*
T <sub>20</sub>	8.951	9.086	9.080	0.1753 n.s	8.271	8.569	8.576	0.9059*	8.488	8.235	8.650	1.3112*	9.477	9.357	9.525	0.2238 n.s	8.401	8.651	8.566	0.4826 n.s	7.832	7.883	8.215	1.2974*



بعد از ۴۰ عدد برگ ثابت شد (شکل ۳a)؛ خطای حاصل از اثر حداکثر تعداد تقسیم‌بندی در ۲۰ تقسیم‌بندی به کمترین مقدار خود رسید، اما از آنجایی که میان خطای طبقه‌بند در ۲۰ تقسیم‌بندی (۰/۰۹) و ۵ تقسیم‌بندی (۰/۱۱) اختلاف زیادی مشاهده نشد، لذا به منظور کاهش پیچیدگی و جلوگیری از بیش‌برازش، حداکثر تعداد تقسیم‌بندی، ۵ در نظر گرفته شد (شکل ۳a).



(a)



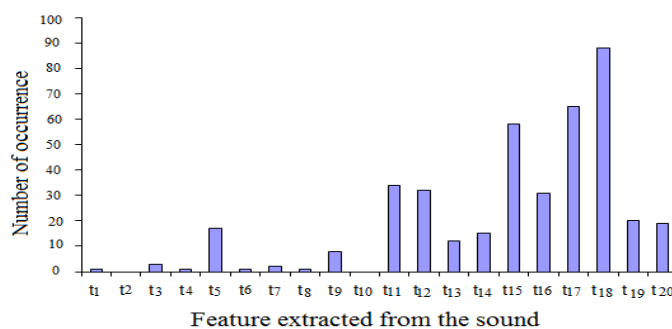
(b)

شکل (۳) تعیین حالت بهینه درخت تصمیم‌گیری؛ (a) حداقل تعداد برگ و (b) حداکثر تعداد تقسیم‌بندی  
**Fig (3)** Determining optimal decision tree (a) Minimum number of leaves (b) Maximum number of divisions

وقوع شمارش شد (شکل ۴). بر اساس شکل ۴، تعداد وقوع فرکانس طبیعی (T<sub>18</sub>)، آنتروپی طیفی (T<sub>17</sub>)، انرژی (T<sub>15</sub>)، چولگی (T<sub>11</sub>) و کشیدگی (T<sub>12</sub>)، به ترتیب با ۵۸، ۶۵، ۳۴ و ۳۲ وقوع، پرتکرارترین ویژگی‌ها بودند. بر این اساس، این پنج ویژگی، جهت توسعه درخت تصمیم‌گیری به کار رفتند.

### ۳.۳ انتخاب ویژگی

برای استخراج بهترین ویژگی، از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. بدین منظور دقت طبقه‌بندی با صدبار تکرار بررسی و ویژگی‌هایی که تعداد وقوع بالاتری، بدون تغییر در دقت طبقه‌بندی، داشتند ذخیره شدند، سپس در هر تکرار، تعداد



شکل (۴) نمودار وقوع ویژگی‌های استخراج‌شده از صدا در آموزش درخت تصمیم‌گیری

**Figure (4)** The occurrence diagram of the extracted features from the sound using in decision tree training



آزمون ضربه و یک مبدل پیزوالکتریک برای تعیین ضربه ایجاد شده استفاده شد. بر اساس نتایج، میان مدول الاستیسیته تمامی سیب‌ها با مدول الاستیسیته به‌دست آمده از آنالیز مخرب، همبستگی بالای ( $R^2 > 0.91$ ) مشاهده شد [۳۷]. در پژوهشی که توسط سوگیاما و همکاران [۳۸] انجام شد، یک دستگاه قابل حمل جهت اندازه‌گیری استحکام خربزه ساخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میان سرعت انتقال محاسبه‌شده از رابطه متقابل دو سیگنال صوتی و کشش معمول حاصل اندازه‌گیری از آزمون غیرمخرب و مخرب، همبستگی  $R^2 = 0.94$  وجود دارد. در پژوهشی دیگر، به بررسی ارتباط ویژگی‌های حسی و پاسخ مکانیکی - صوتی سیب پرداخته شد. بر اساس آنالیز همبستگی پیرسون به دست آمده مشخص شد که ارتباط معنی‌داری میان بیشینه پیک به‌دست آمده از صدای حاصل از ضربه با میزان آب میوه و اسیدیته وجود دارد [۳۹].

به منظور بررسی ویژگی‌های انتخاب شده از روش الگوریتم ژنتیک آنالیز همبستگی میان ویژگی‌های استخراجی از صدا-های حاصل از ضربه یا همان ویژگی‌های غیرمخرب و پارامتر-های شیمیایی یا همان ویژگی‌های مخرب صورت پذیرفت (جدول ۳ و ۴). شایان ذکر است که ویژگی  $T_{10}$  با توجه به عدم انتخاب در ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم وارد آنالیز آماری نشد و قبل از آنالیز از داده‌ها حذف گردید. بر اساس آنالیز همبستگی و ضرایب به‌دست آمده، مشخص شد که فرکانس طبیعی، آنتروپی طیفی، انرژی، چولگی و کشیدگی (ویژگی-های غیرمخرب) و ویتامین ث و TSS ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد که نشان از صحت انتخاب این ویژگی‌ها توسط الگوریتم ژنتیک دارد. در مطالعه‌ای روش غیرمخرب تحریک دینامیکی در اثر جرم کم و تعیین پاسخ آکوستیکی، در مقایسه با آزمون‌های فشرده‌سازی و نفوذ مخرب به‌منظور تعیین استحکام سیب، مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش، از یک چکش پلاستیکی برای انجام

جدول (۳) آنالیز همبستگی بین پارامترهای مخرب (ویژگی‌های شیمیایی) و غیرمخرب (ویژگی‌های استخراج شده از صدا)  
**Table (3)** Correlation analysis between destructive (chemical) and non-destructive parameters (extracted from sound)

اسید پنه	آنتوسیانین	فنل	ویتامین ث	TSS	pH	T <sub>10</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	
															1	T <sub>1</sub>
														1	-0.340**	T <sub>2</sub>
													1	0.343**	-1**	T <sub>3</sub>
												1	-0.992**	0.269**	0.993**	T <sub>4</sub>
											1	0.993**	-1**	-0.340**	1**	T <sub>5</sub>
										1	-0.601**	-0.539**	0.604**	0.956**	-0.601**	T <sub>6</sub>
									1	1**	-0.601**	-0.539**	0.604**	0.956**	-0.601**	T <sub>7</sub>
								1	0.633**	0.633**	-0.988**	-0.975**	0.990**	0.383**	-0.988**	T <sub>8</sub>
							1	-0.914**	-0.470**	-0.470**	0.889**	0.914**	-0.893**	-0.229**	0.889**	T <sub>9</sub>
						1	0.872**	-0.701**	-0.076 <sup>n.s</sup>	-0.076 <sup>n.s</sup>	0.676**	0.731**	-0.680**	0.156 <sup>n.s</sup>	0.676**	T <sub>10</sub>
					1	-0.013 <sup>n.s</sup>	0.061 <sup>n.s</sup>	-0.080 <sup>n.s</sup>	-0.063 <sup>n.s</sup>	-0.063 <sup>n.s</sup>	0.083 <sup>n.s</sup>	0.072 <sup>n.s</sup>	-0.082 <sup>n.s</sup>	-0.043 <sup>n.s</sup>	0.083 <sup>n.s</sup>	pH
				1	-0.043 <sup>n.s</sup>	0.200 <sup>o</sup>	0.166 <sup>n.s</sup>	-0.162 <sup>n.s</sup>	-0.126 <sup>n.s</sup>	-0.126 <sup>n.s</sup>	0.149 <sup>n.s</sup>	0.152 <sup>n.s</sup>	-0.150 <sup>n.s</sup>	-0.095 <sup>n.s</sup>	0.149 <sup>n.s</sup>	TSS
			1	0.186 <sup>o</sup>	-0.049 <sup>n.s</sup>	0.165 <sup>n.s</sup>	0.182 <sup>o</sup>	-0.213 <sup>o</sup>	-0.169 <sup>n.s</sup>	-0.169 <sup>n.s</sup>	0.183 <sup>o</sup>	0.165 <sup>n.s</sup>	-0.186 <sup>o</sup>	-0.132 <sup>n.s</sup>	0.183 <sup>o</sup>	ویتامین ث
		1	0.004 <sup>n.s</sup>	0.192 <sup>o</sup>	0.401**	0.026 <sup>n.s</sup>	-0.016 <sup>n.s</sup>	0.026 <sup>n.s</sup>	0.035 <sup>n.s</sup>	0.035 <sup>n.s</sup>	-0.046 <sup>n.s</sup>	-0.048 <sup>n.s</sup>	0.044 <sup>n.s</sup>	0.023 <sup>n.s</sup>	-0.046 <sup>n.s</sup>	فنل
	1	0.047 <sup>n.s</sup>	0.357**	0.246**	-0.042 <sup>n.s</sup>	0.035 <sup>n.s</sup>	0.063 <sup>n.s</sup>	-0.86 <sup>n.s</sup>	-0.124 <sup>n.s</sup>	-0.124 <sup>n.s</sup>	0.078 <sup>n.s</sup>	0.076 <sup>n.s</sup>	-0.078 <sup>n.s</sup>	-0.119 <sup>n.s</sup>	0.078 <sup>n.s</sup>	آنتوسیانین
1	0.113 <sup>n.s</sup>	0.157 <sup>n.s</sup>	-0.145 <sup>n.s</sup>	0.176 <sup>o</sup>	-0.085 <sup>n.s</sup>	-0.045 <sup>n.s</sup>	-0.072 <sup>n.s</sup>	0.089 <sup>n.s</sup>	0.127 <sup>n.s</sup>	0.127 <sup>n.s</sup>	-0.058 <sup>n.s</sup>	-0.034 <sup>n.s</sup>	0.061 <sup>n.s</sup>	0.128 <sup>n.s</sup>	-0.058 <sup>n.s</sup>	اسید پنه

جدول (۴) آنالیز همبستگی بین پارامترهای مخرب (ویژگی‌های شیمیایی) و غیرمخرب (ویژگی‌های استخراج شده از صدا)  
**Table (4)** Correlation analysis between destructive (chemical) and non-destructive parameters (extracted from sound)

اسید پنه	آنتوسیانین	فنل	ویتامین ث	TSS	pH	T <sub>19</sub>	T <sub>18</sub>	T <sub>17</sub>	T <sub>16</sub>	T <sub>15</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>11</sub>	
														1	T <sub>11</sub>
													1	-0.783**	T <sub>12</sub>
												1	-0.999**	0.792**	T <sub>13</sub>
											1	-0.879**	0.875**	-0.515**	T <sub>14</sub>
										1	0.760**	-0.584**	0.577**	-0.337**	T <sub>15</sub>
									1	0.699**	0.977**	-0.954**	0.954**	-0.618**	T <sub>16</sub>
								1	-0.475**	-0.780**	-0.519**	0.412**	-0.403**	0.300**	T <sub>17</sub>
							1	-0.199*	0.882**	0.667**	0.876**	-0.816**	0.818**	-0.481**	T <sub>18</sub>
						1	0.967**	-0.127 <sup>n.s</sup>	0.917**	0.526**	0.885**	-0.881**	0.884**	0.550**	T <sub>19</sub>
				1	0.094 <sup>n.s</sup>	0.108 <sup>n.s</sup>	-0.052 <sup>n.s</sup>	0.083 <sup>n.s</sup>	0.092 <sup>n.s</sup>	0.098 <sup>n.s</sup>	-0.055 <sup>n.s</sup>	0.055 <sup>n.s</sup>	0.007 <sup>n.s</sup>	0.007 <sup>n.s</sup>	pH
				1	-0.043 <sup>n.s</sup>	0.076 <sup>n.s</sup>	0.053 <sup>n.s</sup>	-0.163 <sup>n.s</sup>	0.149 <sup>n.s</sup>	0.103 <sup>n.s</sup>	0.137 <sup>n.s</sup>	-0.159 <sup>n.s</sup>	0.158 <sup>n.s</sup>	-0.201*	TSS
			1	0.186*	-0.049 <sup>n.s</sup>	0.165 <sup>n.s</sup>	0.172*	-0.146 <sup>n.s</sup>	0.183*	0.173*	0.212*	-0.152 <sup>n.s</sup>	0.149 <sup>n.s</sup>	-0.127 <sup>n.s</sup>	ویتامین ث
		1	0.004 <sup>n.s</sup>	0.192*	0.401**	-0.048 <sup>n.s</sup>	-0.081 <sup>n.s</sup>	0.023 <sup>n.s</sup>	-0.046 <sup>n.s</sup>	-0.102 <sup>n.s</sup>	-0.041 <sup>n.s</sup>	0.043 <sup>n.s</sup>	-0.042 <sup>n.s</sup>	-0.010 <sup>n.s</sup>	فنل
	1	0.047 <sup>n.s</sup>	0.375**	0.246**	-0.042 <sup>n.s</sup>	0.008 <sup>n.s</sup>	-0.007 <sup>n.s</sup>	-0.141 <sup>n.s</sup>	0.078 <sup>n.s</sup>	0.072 <sup>n.s</sup>	0.077 <sup>n.s</sup>	-0.070 <sup>n.s</sup>	0.071 <sup>n.s</sup>	-0.042 <sup>n.s</sup>	آنتوسیانین
1	0.113 <sup>n.s</sup>	-0.157 <sup>n.s</sup>	0.145 <sup>n.s</sup>	0.176*	-0.085 <sup>n.s</sup>	-0.060 <sup>n.s</sup>	-0.037 <sup>n.s</sup>	0.009 <sup>n.s</sup>	-0.058 <sup>n.s</sup>	0.004 <sup>n.s</sup>	-0.104 <sup>n.s</sup>	0.020 <sup>n.s</sup>	-0.013 <sup>n.s</sup>	0.040 <sup>n.s</sup>	اسید پنه

اتفاق افتاده و کمترین دقت در گروه انار بیش‌رس، با دقت ۷۳٪ دیده شد. بر اساس نتایج، علت اصلی این خطا در گروه بیش‌رس، اختصاص دادن ۳ عدد انار، به گروه انار رسیده بود که احتمالاً به علت نزدیکی صداهای اخذشده میان این گروه است. دقت کلی به‌دست آمده، از طریق طبقه‌بند نیز ۸۹/۲٪ بود.

بعد از انتخاب ویژگی‌های مناسب (فرکانس طبیعی، آنتروپی طیفی، انرژی، چولگی و کشیدگی) درخت تصمیم‌گیری با این ویژگی‌ها توسعه یافت. سپس به‌منظور ارزیابی طبقه‌بند توسعه‌یافته، از ۳۰٪ داده‌ها (این داده‌ها توسط طبقه‌بند دیده نشده بود) استفاده شد که نتایج طبقه‌بندی این داده‌ها در جدول (۵) آمده است. بر اساس جدول، درهم‌ریختگی بیشترین دقت طبقه‌بند در گروه رسیده، با دقت ۹۶/۷٪

جدول (۵) نتایج طبقه‌بند درخت تصمیم‌گیری

Table (5) Classification results of decision tree

دقت (%) (%)Accuracy	گروه رسیده Ripe pomegranate	گروه انار کال Immature pomegranate	گروه انار بیش‌رس Over-ripe pomegranate	
73	3	0	8	گروه انار بیش‌رس Over-ripe pomegranate
88.9	1	8	0	گروه انار کال Immature pomegranate
96.7	29	1	0	گروه رسیده Ripe pomegranate
89.2	87.9	88.9	100	دقت (%) (%)Accuracy

فرکانسی ۴۰ و ۵۰۰ هرتز اختلالات داخلی هندوانه را تشخیص دهد. در پژوهشی، بررسی امکان استفاده از تحلیل پاسخ آکوستیکی در طبقه‌بندی سیب رد دلپیش صورت گرفت. میانگین صحت طبقه‌بندی برای این پژوهش ۸۲/۱٪ و شاخص میانگین همساز دقت و حساسیت نیز ۰/۸۱ به دست آمد [۴۲]. دقت به‌دست آمده در این پژوهش، جهت تشخیص مراحل مختلف رسیدگی انار مناسب است؛ این روش می‌تواند جایگزین آزمون‌های مرسوم تعیین رسیدگی انار شود.

در تحقیقی قابلیت پاسخ سیگنال آکوستیکی به تغییرات سفتی نارنگی را در دوره انبارداری ارزیابی کردند. نتایج تحقیقات این محققان نشان داد که دقت تشخیص نارنگی رسیده و نارس، به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۱ به‌دست آمد [۴۰]. [۴۱] با کمک روش پاسخ آکوستیکی به ضربه، عیوب داخلی هندوانه بدون هسته، از قبیل وجود ترک یا حفره داخلی، رسیدگی بیش از حد و له‌شدگی ناشی از ضربه را شناسایی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان داد که ابزار آکوستیکی غیرمخرب می‌تواند با دقت کلی ۸۵٪ در بازه

## ۴. نتیجه‌گیری

طیفی، انرژی، چولگی و کشیدگی به ترتیب با ۵۸، ۶۵، ۸۸، ۳۴ و ۳۲ وقوع، به‌عنوان تأثیرگذارترین ویژگی‌ها انتخاب شد. همچنین برای ارزیابی کیفیت انار از میان ویژگی‌های مخرب، میزان مواد جامد محلول، میزان اسیدیته، ویتامین ث، آنتوسیانین، فنل کل و pH اندازه‌گیری شدند. بر اساس آنالیز همبستگی و ضرایب به‌دست آمده مشخص شد که فرکانس طبیعی، آنتروپی طیفی، انرژی، چولگی و کشیدگی (ویژگی‌های غیرمخرب) و ویتامین ث و TSS ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود داشت. صحت طبقه‌بندی برای مقاله مذکور ۸۹/۲٪ به‌دست آمد؛ بنابراین می‌توان از شاخص‌های صوتی برای تخمین رسیدگی و به‌تبع آن بازرسی کیفیت انار استفاده کرد.

در این پژوهش مراحل مختلف رسیدگی انار (کال، رسیده و بیش‌رس) با اندازه‌گیری صدای حاصل از ضربه و تکنیک پردازش سیگنال بررسی شدند. بر اساس آنالیز آماری، شاخص‌های صوتی میوه انار نشان داد که محل قرارگیری میکروفن و زاویه ضربه‌زن به صورت معنی‌داری در گروه‌های مختلف انار (کال، رسیده، بیش‌رس) تغییر می‌کنند. بر این اساس مشخص شد که جهت مناسب قرارگیری میکروفن در کنار انار و همچنین بهترین درجه برای اخذ صدا ۱۵ درجه بودند. به‌منظور طبقه‌بندی داده از طبقه‌بند درخت تصمیم‌گیری ترکیب‌شده با الگوریتم ژنتیک استفاده شد. از میان ویژگی‌های استخراج‌شده، فرکانس طبیعی، آنتروپی

## منابع

- [۱] Akbarpour, V., Hemmati, K., & Sharifani, M. (2009). Physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit in maturation stage. *Am Eurasian J Agric Environ Sci.*, 6, 411-416.
- [۲] FAO. (2015). Agricultural statistics. Available: [www.fao.org](http://www.fao.org).
- [۳] Fawole, O.A., Opara, U.L., & Theron, K.I. (2011). Chemical and phytochemical properties and antioxidant activities of three pomegranate cultivars grown in South Africa. *Food Bioprocess Technol.*, 5, 2934-2940.
- [۴] Paimard, F., Heidari, M., Daneshvar, M.H., & Moalemi, N.A. (2014). Effect of Different Harvest Stage on Physical and Bio-chemical Characteristics of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Fruit in Climatic Condition of 'Baghmalek' (Khuzestan Province). *Journal of Horticulture Science*, 28(1), 71-79. [In Persian]
- [۵] Maria, I., Gil, M.I., Slnchez, R., Marin, J.G., & Artes, F. (1996). Quality changes in pomegranates during ripening and cold storage. *Z Lebensm Unters Forsch.*, 22, 481-485.
- [۶] Al-Maiman, S.A., & Ahmad, D. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit maturation. *Food Chem.*, 76, 437-441.
- [۷] Camarena, F., & Martinez-Mora, J.A. (2006). Potential of ultrasound to evaluate turgidity and hydration of the orange peel. *J Food Eng.*, 75, 503-507.
- [۸] Butz, P., Hofmann, C., & Tauscher, B. (2005). Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable quality analysis. *J Food Sci.*, 70, 131-141.
- [۹] Cheng, Y., & Haugh, C.G. (1994). Detecting Hollow Heart in Potatoes Using Ultrasound. *Trans ASAE.*, 37, 217-222.
- [۱۰] Jivanuwong, S. (1998). Nondestructive detection of hollow heart in potatoes using ultrasonics. M.Sc. Thesis in Biological Systems Engineering. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [۱۱] Self, G.K., Ordozgoiti, E., Povey, M.J.W., & Wainwright, H. (1994). Ultrasonic evaluation of ripening avocado flesh. *Postharvest Biol Technol.*, 4, 111-116.
- [۱۲] Garreton, L.G., Hernandez, Y.V., Vidal, C.L., & Besnier, A.P. (2005). A Novel noninvasive ultrasonic method to assess avocado ripening. *J Food Sci.*, 70, 187-191.
- [۱۳] Hurng, H.Y., Lu, F.M., Ay, C. (2007). Evaluating and modeling physiological tissue

- texture of mango immersed in water by using ultrasonics. *E-journal – CIGR.*, 16, 1-13.
- [۱۴] Mizrach, A. (2007). Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage. *Postharvest Biol Technol.*, 46, 271-274.
- [۱۵] Kim, K.B., Jung, H.M., Kim, M.S., & Kim, G.S. (2004). Evaluation of fruit firmness by ultrasonic measurement. *Key Eng Mater.*, 270, 1049-1054.
- [۱۶] Memar.R., Minaei. S., & Khoshtaghaza. M.H. (2014). Quality analysis of pear fruit of shah miveh variety using nondestructive ultrasonic technique. *Journal of agricultural machinery.*, 324-334. [In Persian]
- [۱۷] Mizrach, A., Schmilovitch, Z., & Avidan, B. (2006). 858 A Maturity Measurements of Olive Fruits using Acoustic and Compression Methods. *VDI BERICHTE.*, 1958, 603.
- [۱۸] De Belie, N., Schotte, S., Coucke, P., & De Baerdemaeker, J. (2000). Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. *Postharvest Biol Technol.*, 18, 1-8.
- [۱۹] Li, H., Pidakala, P., Billing, D., & Burdon, J. (2016). Kiwifruit firmness: Measurement by penetrometer and non-destructive devices. *Postharvest Biol Technol.*, 120, 127-137.
- [۲۰] De Ketelaere, B., Howarth, M.S., Crezee, L., Lammert, J., Viaene, K., Bulens, I., & De Baerdemaeker, J. (2006). Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biol Technol.*, 41, 275-284.
- [۲۱] Costa, F., Cappellin, L., Longhi, S., Guerra, W., Magnago, P., Porro, D., Soukoulis, C., Salvi, S., Velasco, R., Biasioli, F., & Gasperi, F. (2011). Assessment of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biol Technol.*, 6, 21-28.
- [۲۲] Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., & Vaxelaire, J. (2010). Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field. *Biosyst Eng journal.*, 105, 266-272.
- [۲۳] Corollaro, M. L., Gasperi, F. L., & Grappadelli, L. C. (2014). An overview of sensory quality of apple fruit. *J. Am. Pomol. Soc.*, 68, 141-157.
- [۲۴] Donoho, D. L., & Johnstone, I. M. (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *BIOMETRIKA.*, 81, 425-455.
- [۲۵] Misiti, Y. M. (2002). Wavelet Toolbox for Use with Matlab., 1-934.
- [۲۶] Khazaei, M., Ahmadi, H., Omid, M., Banakar, A., & Moosavian, A. (2013). Feature-level fusion based on wavelet transform and artificial neural network for fault diagnosis of planetary gearbox using acoustic and vibration signals. *Insight Journal-Bindt.*, 55, 323-330.
- [۲۷] Abdanan Mehdizadeh, S., & Soltani Kazemi, M. (2017). Development and evaluation of a strawberry sorting system using machine vision technique. *JRMAM* ., 6, 31-44. [In Persian]
- [۲۸] Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition. *Mach Learn.*, 128, 1-58.
- [۲۹] Eksi, A., & Turkmen, I. (2011). Brix degree and sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*Punica granatum L.*) juice. *Food Chem.*, 127, 1404-1407.
- [۳۰] Fulki, T., & Francis, F.J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J Food Sci.*, 33, 72-77.
- [۳۱] Barakat, M.Z., Shahab, S.K., Darwin, N., & Zahemy, E.I. (1993). Determination of ascorbic acid from plants. *Anal. Biochem.*, 53, 225-245.
- [۳۲] Davidson, S., Passmore, R., & Brocks, J. A. (1972). Human Nutrition and Dieterics. Churchill, Livingstone, London 8th Edition AOAC 1980., 3, 746.
- [۳۳] Singleton, V.L., Joseph, A., & Rossi, J.R. (1965). Colorimetry of total phenolics with

- phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J Enol Vitic.*, 16, 144–153.
- [۳۴] Nourain, J., Ying, Y., Wang, J., & Rao, X. (2006). Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. *IJPTI.*, 1, 212-225.
- [۳۵] Shmulevich, I., Galili, N., & Howarth, M. S. (2003). Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biol Technol.*, 29, 287-299.
- [۳۶] Ragni, L., Berardinelli, A., & Guarnieri, A. (2010). Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *J Food Eng.*, 96, 591-597.
- [۳۷] Shmulevich, I., Galili, N., & Howarth, M. S. (2003). Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biol Technol.*, 29, 287-299.
- [۳۸] Sugiyama, J., Katsurai, T., Hong, J., Koyama, H., & Mikuriya, K. (1998). Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. *ASAE.*, 41, 121-127.
- [۳۹] Corollaro, M.L., Aprea, E., Endrizzi, I., Betta, E., Dematte, M.L., Charles, M., Bergamaschi, M., Costa, F., Biasioli, F., Grappadelli, L.C., & Gasperi, F. (2014). A combined sensory-instrumental tool for apple quality evaluation. *Postharvest Biol Technol.*, 96, 135-144.
- [۴۰] Gomez, A. H., Pereira, A. G., & Wang, J. (2006). Acoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. *Rev. Cie. Téc. Agr.*, 15, 24-30.
- [۴۱] Diezma-Iglesias, B., Ruiz-Altisent, M., & Barreiro, P. (2004). Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosyst Eng.*, 88, 221-230.
- [۴۲] Lashgari, M., & Mohammadigol, R. (2016). Red delicious apple classification based on acoustic response changes during storage using discrete wavelet transform and artificial neural networks. *JRIFST.*, 303-314. [In Persian]



*Research Article***Analysis of the the impact response of pomegranate fruit to determine its maturity stage****Janati, S.<sup>1</sup>, Abdanan Mehdizadeh, S.\*<sup>2</sup>, Heydari, M.<sup>3</sup>****1. Graduated Student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.****2\*.Assistant Professor of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural****Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.****3.Associate Professor of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.****Abstract**

One of the non-destructive tests developed for determining fruit maturity stage is the analysis of impact fruit response. Therefore, in this study, in order to evaluate the quality and maturity stages of pomegranate fruit, a system for recording acoustic responses was developed. For this purpose, the acoustic response of 150 pomegranates in three maturity stages (immature, ripe, and over-ripe) was recorded. To evaluate the destructive properties, the total soluble solids, acidity, ascoric acid, anthocyanin, total phenol and pH were measured; Also, in order to record and extract the acoustic features (non-destructive test), positions of microphone (behind, next to and under the fruit), as well as the hitting angle (5, 10 and 15 degrees) were evaluated as variables. In order to classify the data, a decision tree classifier combined with the genetic algorithm was utilized. Based on the statistical analysis, it was determined that the best orientation of the microphone and the hitting angle were the placement of the microphone next to hitting ball and 15 degrees, respectively. Based on the results of the classification, the highest, lowest and overall classification accuracy were 96.7% (in the ripe group), 73% (in the over-ripe group) and 89.2%, respectively.

**Keywords: Pomegranate, Quality Parameters, Sound Analysis, Genetic Algorithm, Classification**

---

\* Correspond Author: s.abdanan@ asnrukh.ac.ir