



## امکان‌سنجی استفاده از حسگر خازنی در تشخیص لهیدگی میوه انار

راضیه احمدی<sup>۱\*</sup>، کاظم جعفری نعیمی<sup>۲</sup>، مجتبی بر خورداری یزدی<sup>۳</sup>، سپیده روحی<sup>۴</sup>

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار بخش مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آمار زیستی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

ایمیل مکاتبه کننده: [razieh\\_am2004@yahoo.com](mailto:razieh_am2004@yahoo.com)

### چکیده

یکی از مسائل مهم در نگهداری و انبارداری میوه‌ها تشخیص میزان لهیدگی آنها است، زیرا لهیدگی موجب کاهش زمان انبارداری و هم‌چنین جلوگیری از فساد و پوسیدگی زودرس میوه‌ها می‌شود. هدف از انجام این پژوهش استفاده از یک سنسور خازنی، به عنوان یک وسیله سنجش غیرمخرب لهیدگی میوه انار بوده است. در این طرح از یک خازن با صفحات موازی استفاده شده که میوه‌ها بخشی از دی الکتریک آن را تشکیل می‌دهند. در این راستا بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، اثرات اندازه صفحات خازن در سه سطح  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$  و  $20 \times 20$  سانتی متر مربع، فاصله بین صفحات در دو سطح  $10$  و  $15$  سانتی متر و سالم بودن یا لهیدگی آنها و هم‌چنین اثر متقابل آنها بر تغییرات ظرفیت خازن مورد بررسی قرار گرفت. اثر هر یک از فاکتورها و اثرات متقابل آنها بر ظرفیت خازن، در سطح  $5$  درصد بررسی شد. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مشخص شد، سطوح مختلف فاکتورها، اختلاف معنی داری در سطح  $5$  درصد دارند. هم‌چنین مشخص شد که با افزایش لهیدگی، ثابت دی الکتریک میوه‌ی انار افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: انار، حسگر خازنی، سنجش غیر مخرب، لهیدگی.

### مقدمه

امروزه نگرانی درباره‌ی کیفیت میوه‌ها در سراسر جهان رو به افزایش است. مفهوم کیفیت در غذاها با درک و ذائقه‌ی مصرف‌کننده ارتباط مستقیم دارد. درک مصرف‌کننده بر اساس حواس پنج‌گانه است و به همین دلیل بهترین سنجش توسط حواس پنج‌گانه صورت می‌گیرد (Gomez et al., 2006). ضمانت کیفی بالای میوه‌ها، مسئله‌ای است که به‌طور مستقیم با سلامت افراد در ارتباط است. افراد به ضمانت کیفی میوه‌ها توجه بیشتری می‌کنند و امیدوارند که میوه‌هایی با کیفیت بالا را بخرند (Huang et al., 2011). مدیریت کیفیت محصولات در ترویج مصرف میوه‌ها و سبزیجات و ارائه محصولات با کیفیت



بالا اهمیت زیادی دارد. برای رسیدن به این هدف، ابزارهای مدیریت کیفیت باید طراحی شده و یا توسعه یافته و به صورت هماهنگ میوه را از مزرعه به مصرف‌کننده برسانند (Valente et al., 2013).

تکنیک‌های متفاوت زیادی برای اندازه‌گیری مشخصات کیفی میوه‌ها توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند. برخی از آنها در راستای شناسایی جنبه‌های فیزیکی نمونه‌ها (مانند استحکام، رنگ پوست، شکل و اندازه، نواقص و آسیبها) به کار گرفته شده و بقیه بر شناسایی شیمیایی (مانند مقدار ترکیبات اصلی، پس مانده‌های شیمیایی و جذب اشعه در طول موج‌های معین) متمرکز شده‌اند. یکی از محدودیت‌های این تکنیک‌ها، این است که فقط می‌تواند یکی از پارامترهای کیفی را شناسایی کند، بنابراین برای به دست آوردن اطلاعات کاملی از کیفیت میوه باید مجموعه‌ای از سنسورها را به کار گرفت (Valero et al., 2004).

از آنجا که فاکتورهای کیفی زیادی از محصولات کشاورزی با خصوصیات فیزیکی آنها مرتبط هستند، توسعه روش‌های غیرمخرب<sup>۱</sup> برای سنجش رسیدگی بر اساس این خصوصیات امری ضروری است (Jaren and Pardo, 2002). روش‌هایی غیرمخرب هستند که اثرات مخرب فتوفیزیکی، حرارتی، شیمیایی، مکانیکی و فتوشیمیایی بر روی نمونه نداشته باشند (نیکبخت و همکاران، ۱۳۸۷). این روش‌ها برای رسیدگی به دو مسئله عمده در صنعت میوه، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند: (۱) شناسایی زمان بهینه چیدن محصول (۲) کنترل فرآیند نرم شدن میوه برای ارائه به مصرف‌کنندگان با کیفیت بالای عطر و طعم. سنجش غیرمخرب کیفیت داخلی میوه‌ها، باعث ارائه بهتر محصولات به مصرف‌کنندگان، سوددهی بیشتر و بهبود رقابت صنعتی می‌شود (Valente et al., 2013).

انار (با نام علمی *Punica granatum*) درخت کوچکی است، که در اقلیم‌های خشک و نیمه‌گرمسیری و مدیترانه‌ای دارای رشد و باردهی خوبی می‌باشد. یکی از مسائل مهم در انبار کردن و نگهداری میوه‌ی انار، میزان لهیدگی این میوه است. انار لهیده یعنی اینکه دانه‌های داخل پوست میوه انار در اثر ضربه و یا عوامل دیگر شکسته شده‌اند و آب آزاد درون آن وجود دارد. لهیدگی میوه‌ها باعث کاهش زمان انبارداری و فساد زودرس آنها می‌شود. بنابراین تشخیص لهیدگی آنها، امری ضروری در انتخاب زمان نگهداری آنها در انبار می‌باشد. وارد شدن ضربات مکانیکی به میوه‌ها در حین برداشت و انتقال به انبار، می‌تواند باعث ایجاد لهیدگی در میوه‌ها شود. یکی دیگر از عوامل ایجاد لهیدگی در انار قارچ *Nematospora* می‌باشد که توسط سن‌های آلوده در باغات انار به میوه‌ها منتقل می‌شود. هم‌چنین بعضی از انواع قارچ‌ها، بیشتر به میوه‌هایی حمله کرده و آسیب می‌رسانند که با ضربه‌های مکانیکی صدمه دیده باشند. ضایعات انار در مرحله انبارداری بیش از ۲۵ درصد برآورد شده است (شناسنامه تصویری انار، ۱۳۸۹). نکات ذکر شده بر اهمیت وجود یک روش غیرمخرب برای تشخیص لهیدگی نسبی در انبارداری تاکید می‌کنند.

<sup>۱</sup>Non-destructive



در میان روش‌های غیرمخرب فیزیکی، در زمینه روش‌های بصری (نوری) و طیف‌سنجی در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی انجام شده است. به عنوان مثال، روش طیف‌سنجی فرو سرخ تقریبی<sup>۲</sup> (NIRS) برای ارزیابی غیرمخرب اجزای اصلی تشکیل‌دهنده میوه‌ها و سبزیجات (درصد مواد جامد محلول، درصد ماه خشک، قندها، اسیدهای آلی و غیره) پیشنهاد شده است (Nicolai et al., 2007) و (Norris and Hart, 1965). روش طیف‌سنجی<sup>۳</sup> (NIR) در کشاورزی، برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ توسط نوریس برای اندازه‌گیری رطوبت حبوبات استفاده شد. از این روش هم‌چنین برای تشخیص سختی<sup>۴</sup> (Lammertyn et al., 1998) و آسیب‌های داخلی (Clark et al., (a,b), 2003) استفاده شده است. هوانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با استفاده از این روش به بررسی کیفیت داخلی میوه توت، به عنوان یک میوه با سطح ناهموار پرداختند.

والرو و همکارانش در سال ۲۰۰۴، برای اولین بار از طیف‌سنجی دامنه زمانی بازتاب لیزر<sup>۵</sup> (TRS)، برای سنجش کیفیت داخلی میوه‌ها استفاده کردند. در این روش با استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی شده، میوه‌ها بر اساس سفتی، مقدار ماده جامد محلول و اسیدیته‌شان، به سه دسته (پایین، متوسط و بالا) تقسیم شدند.

سنجش بویایی یکی دیگر از روش‌های ارزیابی غیرمخرب کیفی میوه‌هاست. گومز و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای تعیین وضعیت رسیدگی میوه‌ها، از سنجش ترکیبات فرار معطر آنها با استفاده از سیستم بویایی الکترونیکی استفاده کردند. لبرون و همکارانش در سال ۲۰۰۸ از این روش برای تشخیص مراحل مختلف رسیدگی انبه استفاده کردند.

در سال ۲۰۰۴ برای پیش‌بینی درجه رسیدگی موز از روش ماشین‌بینایی استفاده شد. در این پژوهش از ۱۴۰ نمونه موز که توسط شخص خبره در ۷ گروه جداگانه بر اساس مقدار رسیدگی دسته‌بندی شده بودند، استفاده شد و مرحله رسیدگی بیش از ۹۴ درصد نمونه‌ها به درستی پیش‌بینی شد (Mendoza and Aguilera, 2004). در سال ۲۰۱۳، پوردربانی و همکاران با استفاده از پردازش تصویر توانستند خرما را در حالات مختلف رسیدگی (خلال، رطب و تمر) طبقه‌بندی کنند. هم‌چنین، آنها برای جلوگیری از خراب شدن نوع خلال بر اثر فعالیت‌های آنزیمی، آن را از انواع دیگر جدا کردند.

خواص دی‌الکتریک محصولات کشاورزی سال‌هاست که موضوع تحقیقات بسیاری از دانشمندان می‌باشد. از اولین کاربرد-های این خواص تخمین سریع میزان رطوبت غلات بوده است. اولین آزمایشات در رابطه با خواص دی‌الکتریک در سال ۱۹۴۵ روی هویج و در بسامد ۱۸ کیلوهرتز تا ۵ مگاهرتز انجام شد. در نتیجه‌ی این آزمایشات رابطه ثابت دی‌الکتریک و هدایت الکتریکی با ابعاد، رطوبت محصول، بسامد و دما بررسی شده و مشخص شد که ثابت دی‌الکتریک و هدایت الکتریکی تا رطوبت ۸ درصد ثابت بوده و سپس رشد سریعی یافته است (Dunlap and Macower, 1945).

<sup>2</sup> Near Infrared Spectroscopy

<sup>3</sup> Near Infrared

<sup>4</sup> Stiffness

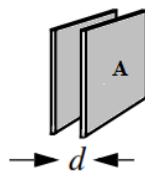
<sup>5</sup> Time Domain Laser Reflectance Spectroscopy



در سال ۱۹۹۷ از روش خازنی برای تشخیص کیفیت هندوانه استفاده شد. در این پژوهش ابتدا رابطه بین چگالی و کیفیت داخلی (پوکی داخلی و میزان مواد جامد محلول) هندوانه بررسی شد. در این پژوهش روش جدیدی برای جداسازی میوه-های کروی بر اساس چگالی آنها ارائه شد که حجم میوه را توسط خازن و جرم آن را با ترازو اندازه گیری کردند. بر اساس این طرح درجه پوکی و مواد جامد محلول میوه بر اساس چگالی تخمین زده شد (Kato, 1997).

در سال ۱۳۸۹ از روش غیرمخرب خازنی برای تشخیص میزان رسیدگی میوه موز استفاده شد. رابطه میزان رسیدگی با ثابت دی‌الکتریک میوه در بسامد یک کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز بررسی شد. در نهایت مشخص شد که ثابت دی‌الکتریک با افزایش رسیدگی میوه کاهش می‌یابد (سلطانی، ۱۳۸۹).

همان‌گونه که اشاره شد، یکی از روش‌های غیرمخرب ارزیابی کیفی میوه‌ها استفاده از خازن می‌باشد. خازن عبارت است از اجتماع دو یا چند صفحه که در بین آنها یک ماده عایق به نام دی‌الکتریک قرار گرفته، به صورتی که بار الکتریکی بر روی صفحات ذخیره می‌شود. پتانسیل ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی یک خازن، ظرفیت، بر حسب واحدی به نام فاراد بیان می‌شود. خازن یک فارادی می‌تواند یک کولن بار را در یک ولت ذخیره کند. یک فاراد واحد بزرگی است و مشخص کننده ظرفیت بسیار بالا می‌باشد. بنابراین از واحدهای کوچکتر در خازن‌ها استفاده می‌شود. ظرفیت خازن با صفحات موازی (شکل ۱) بر حسب فاراد از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Reitz et al., 2008).



شکل ۱- خازن با صفحات موازی

$$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1)$$

که در آن:

k: ثابت دی‌الکتریک ماده،

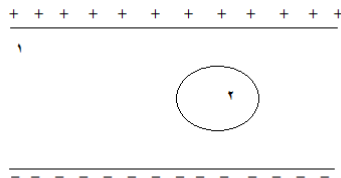
$\epsilon_0$ : ضریب گذردهی خلا  $(\frac{F}{m})$  که مقدار آن برابر  $8.85 \times 10^{-12}$

A: سطح مشترک صفحات خازن  $(m^2)$ .



d: فاصله صفحات خازن (m) می‌باشد.

اگر یک جسم نارسانا یا نیمه رسانا در بین صفحات خازن مطابق شکل (۲) قرار گیرد، با توجه به انرژی پتانسیل الکتریکی دو سر خازن و میدان الکتریکی بین صفحات خازن می‌توان رابطه (۲) را بدست آورد.



شکل ۲- نمایی از یک جسم در میدان الکتریکی بین صفحات خازن

$$\frac{1}{C} = \frac{Ad - V_2}{A^2 \epsilon_0} + \frac{V_2}{K \epsilon_0 A^2} \quad (2)$$

که در آن:

$V_2$ : حجم دی‌الکتریک بین صفحات خازن ( $m^3$ ),

A: مساحت موثر صفحات خازن ( $m^2$ ),

d: فاصله بین صفحات خازن (m),

k: ثابت دی‌الکتریک جسم ۲،

c: ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F),

$\epsilon_0$ : ضریب گذردهی خلا ( $\frac{F}{m}$ ) که مقدار آن برابر  $8.85 \times 10^{-12}$  می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش ساخت و ارزیابی سنسور خازنی برای تشخیص لهیدگی انار بر پایه تغییرات خواص دی-الکتریک این میوه در طی این فرآیندها می‌باشد.



سامانه خازنی مورد نظر در این پژوهش از دو قسمت تشکیل شده است:

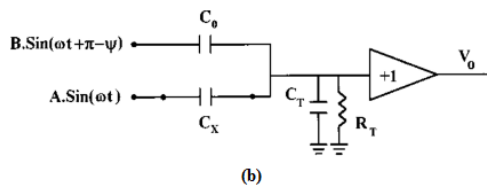
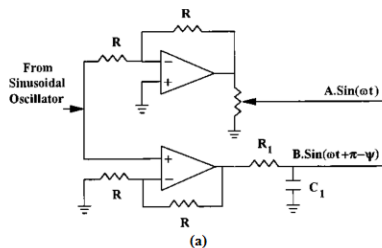
- سنسور خازنی،
- مدار اندازه گیر تغییرات ظرفیت خازنی.

### ساخت سنسور خازنی

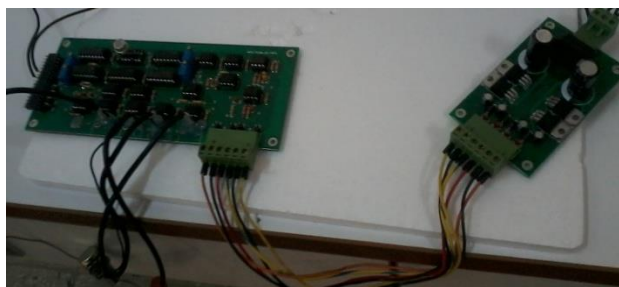
جنس صفحات خازن از آلومینیوم انتخاب شد. این فلز پایداری زیادی دارد و با گذشت زمان اکسید نمی‌شود یا به عبارتی فسادناپذیر است. به همین دلیل بر اندازه گیری‌ها اثر نامطلوب نمی‌گذارد. ابعاد صفحات خازن و همچنین فاصله صفحات خازن از هم متناسب با اندازه میوه در نظر گرفته شد. ابعاد صفحات خازن  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$  و  $20 \times 20$  سانتی متر مربع و فاصله صفحات  $10$  و  $15$  سانتی متر در نظر گرفته شد. پس از انجام آزمایشات اندازه بهینه برای هر کدام انتخاب گردید. در طول مدت انجام آزمایشات برای جلوگیری از خطای ناشی از تماس میوه با صفحات خازن، از هر گونه تماس میوه‌ها با صفحات جلوگیری شد.

### مدار اندازه گیر ظرفیت خازنی

پس از انجام آزمایشات اولیه مشخص شد که تغییرات ظرفیت خازنی بر اساس تغییر ماهیت دی‌الکتریک خازن، بسیار اندک است. بنابراین از یک مدار اندازه گیر ظرفیت خازنی، که برای اندازه‌گیری تغییرات ظرفیت بسیار کوچک بر اساس تبدیل ظرفیت به تغییر زاویه فاز طراحی شده است، استفاده شد. این مدار در سال ۱۹۹۹ برای اولین بار ارائه شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود مدار (a) موج سینوسی ورودی را تقویت کرده، اعوجاج آن را کاهش می‌دهد. پس از آن دو سیگنال با اختلاف فاز  $180^\circ$  درجه و دامنه متفاوت تولید می‌کند. در مدار (b) اندازه خازن  $C_0$  به دلخواه تعیین می‌گردد. در اینجا اندازه آن برابر  $12 \text{ pF}$  انتخاب شده است. خازن  $C_x$  همان سنسور خازنی است که اندازه گیری ظرفیت آن مورد نظر ما می‌باشد. خازن  $C_T$  نیز هیچ اثری بر روی فاز سیگنال ندارد و فقط دامنه سیگنال خروجی را تغییر می‌دهد. مقدار خازن  $C_T$  برابر  $12 \text{ pF}$  و مقدار مقاومت  $R_T$  برابر  $22 \text{ مگا اهم}$  است. در نهایت خروجی به صورت ولتاژ  $V_0$  می‌باشد، که متناظر با تغییرات ظرفیت خازن است (اشرفی، ۱۳۷۸). در هنگام ساخت مدار اولیه مشکلاتی از قبیل وجود اختلال و پارازیت پیش آمد که با قرار دادن خازن‌هایی مناسب در ورودی تقویت‌کننده‌ها و همچنین تغییر و حذف بعضی قطعات، این مشکلات مرتفع شدند. در شکل (۴) نمایی از برد ساخته شده این مدار دیده می‌شود.



شکل ۳- مدار اندازه‌گیر ظرفیت خازنی



شکل ۴- نمایی از برد ساخته شده مدار اندازه‌گیر ظرفیت خازنی

### روش انجام آزمایش

این آزمایشات در پاییز سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه بخش ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد (شکل ۵). نمونه‌های انار مورد آزمایش، از یک رقم میخوش یزد بودند. متوسط دمای محیط در طی زمان انجام آزمایش ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. سایر شرایط انجام آزمایش نیز یکسان در نظر گرفته شد. در این آزمایشات فاکتورهای اندازه صفحات خازن، فاصله بین صفحات، سلامت یا لهیدگی انارها مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۵- سامانه اندازه‌گیری ظرفیت خازنی



در طول مدت زمان انجام آزمایشات، داده‌های نهایی با استفاده از یک ولت متر دیجیتال خوانده شده و ثبت گردیدند. نمونه‌ها هر کدام در وسط صفحات خازن قرار داده شده و پس از گذشت چند ثانیه و ثابت شدن ولتاژ، مقدار آن ثبت شد. هم‌چنین از تماس نمونه‌ها با صفحات خازن جلوگیری شده است. با توجه به اینکه حجم نمونه‌ها متغیر است و در میزان ظرفیت خازنی موثر است، حجم هر کدام از نمونه‌ها با استفاده از یک ظرف مدرج و فرو بردن نمونه‌ها به زیر آب با یک جسم سبک و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شدند.

$$V = \frac{M_{dw}}{\rho_w} \quad (3)$$

که در آن:

$V$ : حجم جسم ( $cm^3$ ).

$M_{dw}$ : تفاضل جرم انار در هوا و انار در ظرف آب (gr).

$\rho_w$ : چگالی آب ( $\frac{gr}{cm^3}$ ).

پس از انجام آزمایش‌ها، نمونه‌ها برش داده شده و درون آنها مشاهده شد. انارهایی که بیش از چهل درصد دانه‌های درونشان شکسته شده بود، به عنوان نمونه‌های لهیده ثبت شدند. انتظار می‌رود نمونه‌های لهیده به دلیل وجود آب آزاد درونشان ثابت دی‌الکتریک بزرگتری نسبت به نمونه‌های سالم داشته باشند.

برای بررسی، تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایشات، از نرم افزار SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. با استفاده از چند خازن سرامیکی و خواندن ولتاژ متناظر با ظرفیت آنها توسط سامانه، رابطه ای برای کالیبره سازی سامانه با بهره‌گیری از نرم‌افزار Excel ارائه شد. هم‌چنین با استفاده از رابطه (۲) ضریب دی‌الکتریک برای انارهای سالم و لهیده بدست آمد.

نتایج و بحث

برای تحلیل آزمایشات در این پژوهش از تحلیل واریانس چهار عاملی استفاده شده است. این فاکتورها عبارتند از:

فاکتور A: مساحت صفحات خازن، در سه اندازه  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$  و  $20 \times 20$  سانتی‌مترمربع.

فاکتور d: فاصله بین صفحات خازن، در دو اندازه ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر.

فاکتور C: وضعیت سلامت انارها در دو سطح: سالم بودن یا لهیدگی میوه‌ها.





جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. از مقدار  $P$  در این جدول مشخص می‌شود اندازه صفحات خازن (A)، فاصله بین صفحات خازن (d) در میزان ظرفیت خازن موثر هستند، که مطابق انتظار ما می‌باشد. فاکتور سلامت میوه-های انار (C)، نیز معنی‌دار می‌باشد و بر نتایج آزمایشات اثر مستقیم دارد. نتایج تجزیه واریانس این پارامترها نشان داد اثرات دو گانه مساحت صفحات خازن و فاصله بین آنها، مساحت صفحات خازن و وضعیت سلامت میوه‌ها، فاصله صفحات و وضعیت سلامت میوه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند. اما اثر سه گانه فاکتورها در این سطح معنی‌دار نمی‌باشد.

با استفاده از نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن، مشخص شد سطوح مختلف فاکتورهای اندازه صفحات خازن و فاصله صفحات از یکدیگر، با هم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند و روابط (۱) و (۲) نیز آن را تایید می‌کنند. هم‌چنین وضعیت سلامت یا لهیدگی میوه‌ها نیز با هم اختلاف معناداری داشتند.

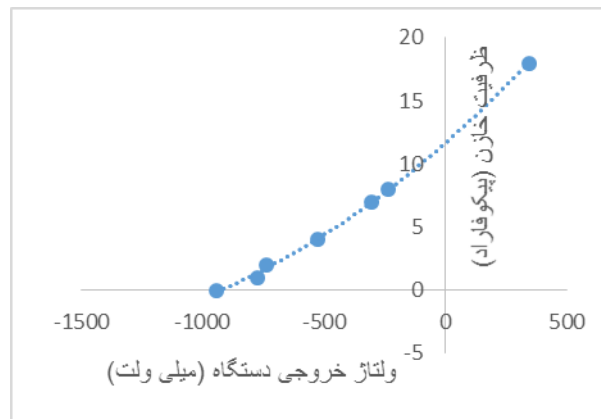
جدول ۱- نتایج تحلیل واریانس فاکتوریل داده‌های آزمایش

P-value	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۰۱	۲۴۰۲/۲۷۱	۳/۳۰۰	۶/۶۰	۲	<b>A</b>
۰/۰۰۰۱	۳۹۷/۲۰۱	۰/۵۴۶	۰/۵۴۶	۱	<b>D</b>
۰/۰۰۰۴	۸/۹۵۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۱	<b>C</b>
۰/۰۰۰۱	۱۴۴۳/۹۰۲	۱/۹۸۴	۳/۹۶۷	۲	<b>d × A</b>
۰/۰۰۰۱	۵۵/۰۱۸	۰/۰۷۶	۰/۱۵۱	۲	<b>C × A</b>
۰/۰۰۰۸	۷/۴۶۸	۰/۱۰۰	۰/۰۱۰	۱	<b>C × d</b>
۰/۱۲۶	۲/۶۴۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۲	<b>A × d × C</b>
		۰/۰۰۱	۰/۱۳۴	۸۴	خطاها
			۳۹۷/۵۰۷	۹۶	کل

رابطه بین ولتاژ خروجی دستگاه و ظرفیت خازن بدست آمد و نمودار ظرفیت خازن بر حسب ولتاژ خروجی دستگاه به صورت شکل (۶) رسم شد. رابطه (۴) نشان دهنده رابطه بین متغیر وابسته ظرفیت خازن بر حسب پیکو فاراد و متغیر



مستقل ولتاژ خروجی دستگاه بر حسب میلی ولت می‌باشد. هم چنین ضریب همبستگی برای رابطه ارائه شده برابر ۰/۹۹ می‌باشد.



شکل ۶- نمودار تغییرات ظرفیت خازن بر حسب ولتاژ خروجی دستگاه

$$C = 5 \times 10^{-6} \times V^2 + 0.0168 \times V + 11.66 \quad (۴)$$

که در آن:

C: ظرفیت خازن بر حسب پیکوفاراد،

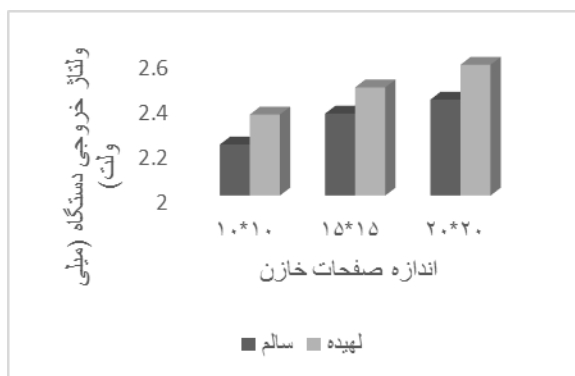
V: ولتاژ خروجی دستگاه بر حسب میلی ولت.

بررسی اثر متقابل وضعیت سلامت میوه‌ها در دو سطح سالم و لهیده و اندازه صفحات خازن در سه سطح ۱۰ × ۱۰، ۱۰ × ۱۵ و ۱۵ × ۲۰ و ۲۰ × ۲۰ در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش ابعاد صفحات خازن، ولتاژ خروجی دستگاه افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود ولتاژ خروجی دستگاه برای انارهای لهیده بیشتر از انارهای سالم می‌باشد (شکل ۷).



جدول ۲- مقایسه میانگین‌های بدست آمده در اثر متقابل وضعیت سلامت میوه‌ها و اندازه صفحات خازن

مساحت صفحات خازن ( $cm^2$ )			
	۲۰ × ۲۰	۱۵ × ۱۵	۱۰ × ۱۰
سالم	۲/۴۲۵	۲/۳۶۳	۲/۲۶۶
لهیده	۲/۵۷۹	۲/۴۷۹	۲/۳۵۹

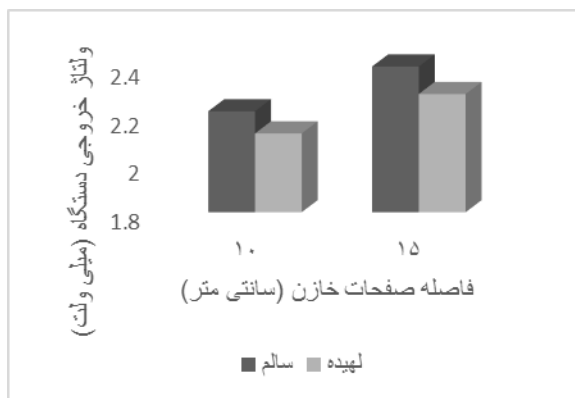


شکل ۷- تاثیر اندازه صفحات خازن در سطوح مختلف وضعیت سلامت میوه‌ها بر میزان ولتاژ خروجی دستگاه

بررسی اثر متقابل وضعیت سلامت میوه‌ها در دو سطح سالم و لهیده و فاصله بین صفحات خازن در دو سطح ۱۰ و ۱۵ سانتی متر در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش فاصله بین صفحات خازن، ولتاژ خروجی دستگاه کاهش می‌یابد. هم چنین مشاهده می‌شود ولتاژ خروجی دستگاه برای انارهای لهیده بیشتر از انارهای سالم می‌باشد (شکل ۸).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ولتاژ بدست آمده در اثر متقابل وضعیت سلامت میوه‌ها و فاصله صفحات خازن

فاصله بین صفحات خازن (cm)		
	۱۵	۱۰
سالم	۲/۱۲۴	۲/۲۱۵
لهیده	۲/۲۸۶	۲/۳۹۹



شکل ۸- تاثیر فاصله صفحات خازن در سطوح مختلف وضعیت سلامت میوه ها بر میزان ولتاژ خروجی دستگاه

می توان با استفاده از ولتاژ به دست آمده از آزمایشات و رابطه (۲) ظرفیت معادل خازن را برای هر کدام از حالات خازن تعیین نمود و سپس با استفاده از رابطه (۱) مقادیر ثابت دی الکتریک را برای انارهای سالم و لهیده بدست آورد. با استفاده از نتایج بدست آمده مشخص شد با افزایش لهیدگی در میوه انار، ثابت دی الکتریک آن نیز افزایش می یابد، که با توجه به اینکه با افزایش لهیدگی میزان آب آزاد درون میوه افزایش می یابد، قابل پیش بینی است.

## منابع و مآخذ

۱. اشرفی، ۱۳۷۸. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران.
۲. شناسنامه تصویری انار. ۱۳۸۹. وزارت جهاد کشاورزی، دفتر امور میوه ها.
۳. سلطانی، م. ۱۳۸۹. طراحی و روش ساخت دستگاه سنجش خازنی رسیدگی میوه موز. پایان نامه. دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه تهران. ایران.
۴. نیکبخت ع،، توکلی هشتجین ت،، ملک فر ر،، قبادیان ب. ۱۳۸۷. استفاده از طیف سنجی رامان برای بررسی غیر مخرب پارامترهای کیفی میوه گوجه فرنگی. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی، مشهد.
5. Clark, C., et al. 2003. Detection of Brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 28(1): 87-96.
6. Clark, C., et al. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 29(3): 301-308.
7. Dunlap, W.C. and Macower, B. 1945. Radio frequency dielectric properties of dehydrated carrots, *Journal of Physical Chemistry* 49: 601-622.
8. Gómez, A. H., et al. 2006. Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and electronics in agriculture* 54(1): 44-52.



9. Huang, L., et al. 2011. Internal quality determination of fruit with bumpy surface using visible and near infrared spectroscopy and chemometrics: A case study with mulberry fruit. *Biosystems Engineering* 109(4): 377-384.
10. Jaren, C. and E. García-Pardo 2002. Using non-destructive impact testing for sorting fruits. *Journal of Food Engineering* 53(1): 89-95.
11. Kato, K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67: 161-170.
12. Lammertyn, J., et al. 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Transactions of the ASAE* 41(4): 1089-1094.
13. Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M. N. & Baldwin, E. 2008. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology and Technology* 48, 122-131.
14. Lu, R. 2004. Prediction of apple fruit firmness by near infrared multispectral scattering. *Journal of texture studies* 35(3): 263-276.
15. Mendoza, F. and J. Aguilera 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of food science* 69(9): E471-E477.
16. Nicolai, B. M., et al. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46(2): 99-118.
17. Norris, K. H. and Hart, J. R. 1965. Direct spectrophotometric determination of moisture content of grain and seeds. *Proceedings 1963 International Symposium on Humidity and Moisture* (4): 19-25.
18. Pourdarbani, R., et al. 2013. Study on an automatic sorting system for Date fruits. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
19. Reitz, J. R., Milford, F. J. and Christy, R. W. 2008. *Foundations of Electromagnetic Theory*. Pearson/Addison-Wesley. 4<sup>th</sup> edition.
20. Valente, M., et al. 2013. Potential use of physical measurements including ultrasound for a better mango fruit quality characterization. *Journal of Food Engineering* 116(1): 57-64.
21. Valero, C., et al. 2004. Detection of internal quality in kiwi with time-domain diffuse reflectance spectroscopy. *Applied engineering in agriculture* 20(2): 223-232.
22. Walsh, K. B. 2006. Setting and meeting objective standards for eating quality in fresh fruit. *IV International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality* 712.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## The feasibility by means of the capacitance sensor in distinguishing pomegranate crushing

### Abstract

One of the most important issues to keep and store fruits is to recognize how much they have been crushed because of being crushed decreases the period of storing and it prevents them from spoiling too. In this study, a capacitive sensor was used to determine the crushing of pomegranate nondestructively. For this purpose, a high precision circuit was optimized and built for measuring very small capacitance changes. A parallel plate capacitor was used that its dielectric included fruit as well. The experiment was conducted at three different capacitor plates (100, 225 and 400  $cm^2$ ). The distances between capacitor plates were 10 and 15 cm, and two states of fruits (health or crushed). Based on the variance analysis, the effects of these factors and the interaction of them were investigated at the level of 5%. It was found that pomegranate dielectric is increased by crushing enhancement.

**Keywords:** pomegranate, capacitance sensor, nondestructive measurement, crushing.