

امکان‌سنجی استفاده از روش خازنی در تشخیص رسیدگی موز

محمود سلطانی فیروز^{۱*}، رضا علیمردانی^۲ و محمود امید^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، ^۲ استاد و ^۳ استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۶/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۲۵)

چکیده

درجه‌بندی محصولات کشاورزی همواره موضوع تحقیق دانشمندان بوده است. یکی از زمینه‌های مورد مطالعه درجه‌بندی میوه براساس میزان رسیدگی آن است. روش‌های مختلفی برای تشخیص میزان رسیدگی میوه به کار گرفته شده است که بعضی از این روش‌ها مخرب و برخی دیگر غیر مخرب هستند. در این تحقیق از روش غیرمخرب خازنی برای تشخیص میزان رسیدگی میوه‌ی موز استفاده شده است. رابطه میزان رسیدگی با ثابت دی‌الکتریک میوه در بسامد یک کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز بررسی شد. نتایج نشان داد که ثابت دی‌الکتریک میوه به شدت تحت تاثیر ابعاد و حجم میوه قرار دارد. به منظور حذف اثرات این متغیرها مدلی برای تخمین ثابت دی‌الکتریک میوه پیشنهاد شد. این مدل تابعی از ثابت دی‌الکتریک معادل، حجم میوه، طول موثر و ضخامت میوه می‌باشد. ثابت دی‌الکتریک با افزایش رسیدگی میوه کاهش پیدا می‌کند. در بسامد یک مگاهرتز این کاهش واضح‌تر است. از این بسامد برای واسنجی سامانه استفاده شد. استحکام میوه به عنوان یک شاخص کیفی اندازه‌گیری و رابطه بین استحکام و ثابت دی‌الکتریک میوه بررسی شد. نتایج پیش‌بینی مقدار رسیدگی تقریباً قابل قبول بود. ضریب همبستگی بین میزان رسیدگی واقعی میوه و مقدار پیش‌بینی شده ۰/۸۵۳ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: حسگر خازنی، بسامد، رسیدگی، موز.

مقدمه

میزان قند و روش‌های غیرمخرب مانند روش آکوستیک و ماشین‌بینایی، بسامد رادیویی و... اشاره کرد. واضح است که روش‌های مخرب را نمی‌توان به شکل تجاری و مفید به کار بست، زیرا باعث تخریب میوه و صرف زمان و هزینه می‌شود. قابلیت کاربری این روش‌ها در آزمایشگاه‌ها می‌باشد. امروزه دانشمندان در پی ابداع روش‌های غیر مخرب هستند که ساده، ارزان قیمت و قابل دسترس بوده، همچنین توانایی تشخیص دقیق و سریع میزان رسیدگی و قابلیت تجاری‌سازی را داشته باشد.

روش‌های جدید غیرمخرب کیفیت‌سنجی میوه‌های تازه و میوه‌های انبارشده قبل از مصرف می‌تواند برای تولیدکننده‌ها و مصرف‌کننده‌ها مفید باشد. روش‌های ماشین‌بینایی و فرسرخ برای بسیاری از محصولات که کیفیت آنها وابسته به ویژگی‌های سطح میوه است، مناسب می‌باشند. پرتو ایکس، امواج صوت و فراصوت برای محصولات که ویژگی‌های درونی آنها با کیفیت میوه در ارتباط است، می‌تواند به کار گرفته شوند، البته شاخص کیفیت برای محصولات مختلف متفاوت است. همچنین افراد مختلف می‌توانند تعریف متفاوتی برای کیفیت یک محصول بیان کنند. در بعضی از میوه‌ها بهترین شاخص کیفی میزان سفتی و استحکام میوه می‌باشد که در طی رسیدن میوه دچار تغییر می‌شود (Abbott, 1999). البته اندازه‌گیری استحکام نیاز به تخریب

درجه‌بندی میوه‌ها بر اساس میزان رسیدگی آنها امری لازم و ضروری است. یکنواختی رسیدگی میوه‌ها به هنگام حمل و نقل، باعث کاهش تلفات و زیان‌های مالی ناشی از آن می‌شود، همچنین میوه‌هایی که از لحاظ رسیدگی یکسان هستند، از بازارپسندی بیشتری برخوردارند. تشخیص میزان رسیدگی میوه به آسانی صورت نمی‌پذیرد، در نتیجه درجه‌بندی میوه بر اساس رسیدگی نیز به راحتی انجام‌پذیر نیست، به خصوص در مواردی که رنگ ظاهری میوه رابطه‌ای با میزان رسیدگی ندارد. البته افراد ماهر و با تجربه می‌توانند میزان رسیدگی محصول را مشخص کنند، ولی برای بازرسی مقادیر زیاد میوه بر اساس درجه رسیدگی آنها به تعداد زیادی از افراد خبره نیاز است که باعث افزایش چشمگیر هزینه‌ها خواهد شد. بنابراین درجه‌بندی خودکار و دقیق میوه بر پایه میزان رسیدگی می‌تواند برای مکانیزه کردن صنعت کشاورزی در بخش فرآوری و بسته‌بندی و افزایش سودآوری مفید باشد. روش‌های مختلفی برای تعیین رسیدگی میوه ابداع شده است که می‌توان به روش‌های مخرب نظیر روش‌های مکانیکی (استحکام) و شیمیایی (اندازه‌گیری

* نویسنده مسئول: mahmoodsoltani39@yahoo.com

موازی مستطیلی استفاده کردند و ظرفیت خازن (Dc) و ولتاژ خروجی (Dv) را اندازه گرفتند. نتایج تفاوت معنی داری از نسبت Dc/Dv را در طول دوره انبارداری نشان داد. این پارامتر با همه شاخص‌های کیفی تخم مرغ (ارتفاع سلول هوایی، ارتفاع آلبومین و ...) رابطه خوبی داشت.

Sirikulrat & Sirikulrat (2008) خواص دی‌الکتریک سویا را در پنج سطح مختلف رسیدگی بررسی کردند و گزارش دادند که ثابت دی‌الکتریک سویا با میزان پروتئین موجود در آن رابطه معکوس دارد.

به نظر می‌رسد که روش خازنی قادر به تشخیص میزان رسیدگی میوه موز باشد، زیرا در فرآیند رسیدن میوه مقدار ترکیبات موجود در میوه و همچنین ساختمان میوه دچار تغییراتی می‌شود. Wills et al. (1998) این تغییرات را بررسی نموده و مقدار ترکیبات موجود در موز سبز (نرسیده) و موز زرد (رسیده) را اندازه گرفتند. نتایج این اندازه‌گیری در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه بعضی مواد موجود در بافت موز در دو حالت نرسیده و رسیده (g/100g برای مواد خوراکی و mg/100g برای ویتامین‌ها)

ترکیب	موز نرسیده	موز رسیده
آب	۷۱/۹	۷۵/۲
پروتئین	۱/۹	۱/۷
چربی	۰/۱	۰/۱
قند	۱/۳	۱۷/۳
نشاسته	۲۱/۲	۳/۱

این ایده بر پایه تغییر خواص دی‌الکتریک میوه در طی رسیدن مطرح شده است. ثابت دی‌الکتریک در سطوح مختلف رسیدگی با استفاده از روش خازنی اندازه‌گیری و رابطه آن با رسیدگی بررسی می‌شود. در این ایده میوه به عنوان ماده دی‌الکتریک بین صفحات خازن قرار می‌گیرد و میزان رسیدگی آن مشخص می‌شود. دستگاهی که بر پایه این روش عمل می‌کند می‌تواند جایگزین افراد خبره شود و ضرورتی ندارد که برای درجه‌بندی میوه در هر واحد یک فرد خبره حضور داشته باشد و یک شخص غیرخبره به کمک دستگاه سنجش خازنی قادر به درجه‌بندی میوه‌ها خواهد بود.

هدف از این تحقیق امکان‌سنجی استفاده روش خازنی در تشخیص میزان رسیدگی میوه می‌باشد. علت انتخاب موز در تشخیص راحت میزان رسیدگی با توجه به رنگ ظاهری آن است. با استفاده از نگاره رنگ (شکل ۱) و مقایسه میوه با نگاره به راحتی می‌توان مرحله رسیدگی آن را تشخیص داد.

میوه دارد که مطلوب نیست. به نظر می‌رسد که استفاده از روش دی‌الکتریک و واسنجی آن برای میوه‌های مختلف، می‌تواند در تشخیص درجه رسیدگی غیرمخرب محصولات مناسب باشد.

انواع روش‌های غیرمخرب که تا کنون ابداع شده‌اند گران‌قیمت و پیچیده هستند و یا به صورت تجاری قابل استفاده نیستند (Abbott, 1999). پس باید به دنبال روشی ارزان و ساده در تشخیص رسیدگی محصول بود. روش خازنی از این نظر ایده‌آل به نظر می‌رسد. البته این روش در زمینه‌های مختلف کشاورزی به کار گرفته شده است. اولین گزارش‌ها در مورد خواص دی‌الکتریک به حدود ۸۰ سال پیش برمی‌گردد که بر پایه اندازه‌گیری مقاومت دی‌الکتریک و استفاده از جریان مستقیم بود که به منظور تعیین محتوای رطوبتی غلات انجام شد (Debye, 1929). در سال‌های بعد جریان متناوب مورد استفاده قرار گرفت (Nelson, 2006).

Kato (1997) از روش خازنی برای تشخیص کیفیت هندوانه استفاده کرد. او ابتدا رابطه بین چگالی و کیفیت داخلی (پوکی داخلی و میزان مواد جامد محلول) هندوانه را بررسی نمود و گزارش داد میزان قند هندوانه را می‌توان به کمک چگالی و جرم میوه و با استفاده از رگرسیون دومتغیره تخمین زد. همچنین دریافت که هندوانه‌هایی که چگالی آنها در محدوده ۰/۹۴ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد، مواد جامد محلول بیشتر و پوکی کمتری دارند.

Eubanks & Birrell (2001) محتوای رطوبتی یونجه را با استفاده از خازن صفحه موازی اندازه گرفتند. آنها دریافتند که مقدار علوفه یونجه قرار داده شده بین صفحات اثری بر میزان رطوبت پیش‌بینی شده ندارد، اما لازم بود که این روش برای هر محصول به طور جداگانه واسنجی شود (Eubanks & Birrell, 2001).

Thakur & Holmes (2001) خواص خازنی دانه برنج را با استفاده از روش سه بعدی المان محدود (FEM) استخراج و از رابطه زیر برای محاسبه ثابت دی‌الکتریک برنج استفاده کردند:

$$e^{\alpha \varepsilon_{eff}} = \nu_1 \cdot e^{\alpha \cdot \varepsilon_1} + (1 - \nu_1) \cdot e^{\alpha \cdot \varepsilon_2} \quad (1)$$

که ε_1 ثابت دی‌الکتریک دانه برنج، ε_2 ثابت دی‌الکتریک هوا و ε_{eff} ثابت دی‌الکتریک معادل، ν_1 نسبت حجمی دانه‌های برنج و α مقدار ثابت -0.3363 برای دانه برنج می‌باشد. آنها ثابت دی‌الکتریک دانه برنج را بین ۱ تا ۷ و ضریب اتلاف را بین ۰/۰۱ و ۱ به دست آوردند.

Ragni et al. (2006) پارامترهای کیفی تخم‌مرغ را با استفاده از خواص خازنی آن پیش‌بینی کردند. آنها از یک ولتاژ سینوسی ۴ ولتی با بسامد ۱۲۰ مگاهرتز و یک خازن صفحه-

بود. فاصله بین صفحات ۴۰ میلی‌متر انتخاب شد تا نمونه‌ها به راحتی درون خازن و بدون تماس با صفحات قرار گیرند. جنس بدنه از چوب انتخاب شد تا اثری بر میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات القا نکند. از روش تعلیق میوه بدون هیچ‌گونه تماس با خازن استفاده شد تا از اثرات ناشی از نیروی تماسی در آزمایش جلوگیری شود. آزمایش در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳۵٪ انجام شد.

مدار اندازه‌گیری

شکل (۲) مدار اندازه‌گیری ظرفیت حسگر خازنی را نشان می‌دهد. ظرفیت حسگر خازنی در این مدار با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C = \frac{1}{2\pi R f} \frac{V_O}{\sqrt{V_i^2 - V_O^2}} \quad (2)$$

که در این رابطه :

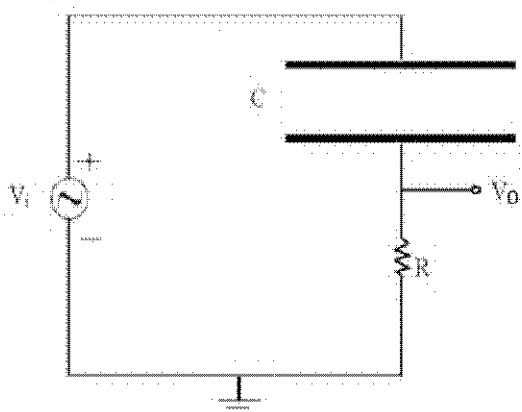
R مقدار مقاومت (Ω)

f بسامد ولتاژ ورودی (Hz)

V_i ولتاژ ورودی (V)

V_O ولتاژ خروجی (V)

C ظرفیت خازن (F) می‌باشد.

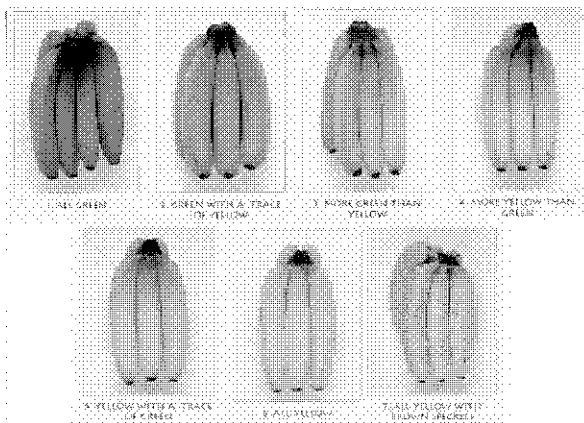


شکل ۲- مدار اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک موز

برای محاسبه ثابت دی‌الکتریک معادل، مقدار ظرفیت خازن در حالتی که موز بین صفحات حسگر آویزان است بر ظرفیت خازن بدون حضور میوه تقسیم می‌شود. برای محاسبه ظرفیت خازن بدون میوه نیز ولتاژ خروجی اندازه‌گیری و از رابطه (۲) استفاده شد.

ثابت دی‌الکتریک معادل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{V_O}{V'_O} \times \frac{\sqrt{V_i^2 - V_O^2}}{\sqrt{V_i^2 - V'^2_O}} \quad (3)$$



شکل ۱- نگاره رنگ مورد استفاده در تشخیص مرحله رسیدگی میوه موز

مواد و روش‌ها

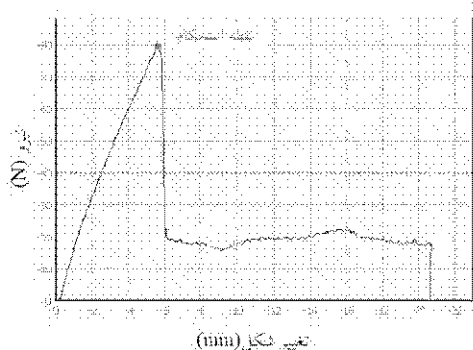
در این تحقیق میوه‌های موز از واریته کیوندیش (*Cavendish variety*) انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفت. میوه‌ها در دمای ۱۴ درجه سلسیوس در سردخانه انبار شده و با استفاده از گاز اتیلن رسانده شدند. عملیات اتیلن‌دهی با غلظت ۱۰۰۰ ppm و در مدت ۲۴ ساعت انجام شد. روز اول میوه‌ها در مرحله یک (به طور کامل سبز) و روز آخر که به بازار عرضه شدند، در مرحله شش رسیدگی (به طور کامل زرد) قرار داشتند. با استفاده از نگاره رنگ (شکل ۱) و به کمک شخص خبره سه عدد موز به عنوان نمونه از هر شش گروه رسیدگی به طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای بررسی اثر ابعاد میوه بر ثابت دی‌الکتریک، طول، عرض و ضخامت نمونه‌ها با استفاده از یک کولیس اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه نمونه‌های موز دارای خمیدگی‌اند، طول خارجی و طول داخلی آنها ثبت شد. حجم نمونه‌ها نیز با استفاده از روش جابه‌جایی آب (پس از انجام آزمایش دی‌الکتریک) اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی، ۱۸ نمونه در شش گروه رسیدگی و با سه تکرار (به کمک شخص خبره) تهیه شد.

مکانیزم اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک

دو صفحه خازنی از جنس آلومینیوم انتخاب شد، زیرا این فلز دارای پایداری زیادی است و در مجاورت رطوبت و هوا اکسید نمی‌شود و به همین دلیل بر اندازه‌گیری‌ها اثر نامطلوب نمی‌گذارد. برای قرار گرفتن کل موز درون خازن ابعاد آن ۲۵×۱۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. بدنه خازن طوری ساخته شد که قابلیت تنظیم فاصله بین صفحات را داشته باشد. بر روی شاسی دو ریل تعبیه و یک صفحه بر روی بدنه ثابت شد، در حالی که صفحه دیگر درون ریل‌ها حرکت می‌کرد. پس از تعیین فاصله مورد نظر، صفحه متحرک نیز با پیچ‌های پلاستیکی ثابت شد. با توجه به اینکه بیشترین ضخامت نمونه‌ها ۳۷/۳ میلی‌متر

نتایج و بحث

رابطه بین k و پارامترهای ابعادی میوه در جدول زیر در بسامدهای مختلف آورده شده است. ضریب تبیین رابطه‌ها نشان می‌دهد که حجم، طول و ضخامت میوه اثر مستقیمی بر مقدار k دارد. برای حذف اثرات این پارامترها و استخراج ثابت دی‌الکتریک موز از رابطه (۴) استفاده شد. عرض میوه هیچ رابطه‌ای با پارامتر k نداشت.



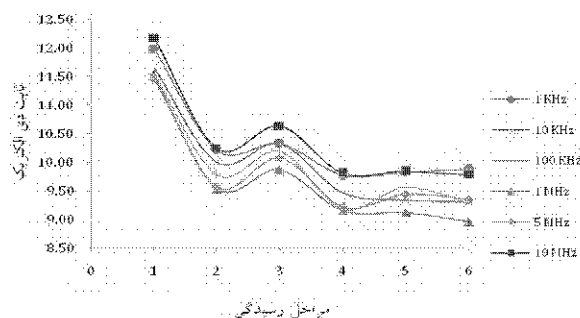
شکل ۳- نمودار نیرو - تغییر شکل رسم شده توسط دستگاه تست اینسترون

جدول ۲- رابطه بین k و خواص ابعادی موز در بسامدهای مختلف.

ضریب تبیین	تابع	بسامد
۰/۹۱	$k = ۰/۰۰۷ V - ۰/۰۰۵ L + ۰/۰۳ d + ۰/۲۵$	۱ kHz
۰/۹	$k = ۰/۰۰۷ V - ۰/۰۰۶ L + ۰/۰۲ d + ۰/۱۸$	۱۰ kHz
۰/۹۴	$k = ۰/۰۰۶ V - ۰/۰۰۶ L + ۰/۰۲ d + ۰/۱۸۷$	۱۰۰ kHz
۰/۸۵	$k = ۰/۰۰۶ V - ۰/۰۰۶ L + ۰/۰۲ d + ۰/۱۸$	۱ MHz
۰/۹۱	$k = ۰/۰۰۵ V - ۰/۰۰۳ L + ۰/۰۳ d - ۰/۰۹$	۵ MHz
۰/۹	$k = ۰/۰۰۶ V - ۰/۰۰۷ L - ۰/۰۲ d + ۰/۱۶$	۱۰ MHz

V : حجم میوه (cm^3), L : طول میوه (mm), d : ضخامت میوه (mm).

تغییرات ناشی از مقدار رسیدگی موز بر ثابت دی‌الکتریک میوه در بسامدهای ۱ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز بررسی شده و نتایج این تغییرات در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴- تغییرات ثابت دی‌الکتریک میوه ناشی از مرحله رسیدگی میوه و بسامد ولتاژ ورودی.

همان‌طور که از شکل (۴) پیداست، در همه بسامدها

که k ثابت دی‌الکتریک معادل و V_0 ولتاژ خروجی حسگر بدون حضور موز است.

مقداری که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود، تحت تاثیر حضور هوا بین صفحات خازن است و ثابت دی‌الکتریک موز را نشان نمی‌دهد، به عبارت دیگر ماده دی‌الکتریک درون حسگر ترکیبی از دو ماده هوا- موز است. همچنین رابطه بین k و پارامترهای ابعادی میوه (حجم، طول و ضخامت) بررسی شده و مدل زیر برای محاسبه ثابت دی‌الکتریک موز پیشنهاد شد:

$$e^{kb} = e^{k.\alpha} + e^{k.\beta} + e^{k.\gamma} \quad (4)$$

که در رابطه فوق k_b ثابت دی‌الکتریک میوه، k ثابت دی‌الکتریک معادل، α نسبت حجم میوه به حجم خازن، β نسبت طول موثر میوه (میانگین طول داخلی و طول خارجی میوه) به طول خازن و γ نسبت ضخامت میوه به فاصله بین صفحات خازن می‌باشد.

استحکام

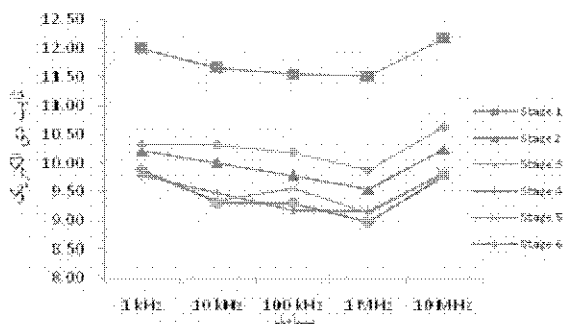
یکی از مهمترین شاخص‌های رسیدگی، میزان استحکام میوه است که معمولاً با رسیده‌تر شدن میوه‌ها مقدار آن کاهش پیدا می‌کند. منظور از استحکام حداکثر نیرویی است که به میوه وارد و باعث تخریب بافت آن می‌شود (Abbott, 1999). استحکام میوه با استفاده از دستگاه تست اینسترون قابل اندازه‌گیری است. در این روش یک میله به قطر استاندارد و با سرعت ثابت به طور عمود بر سطح میوه درون آن نفوذ می‌کند و حداکثر نیروی اندازه‌گیری شده به عنوان استحکام در نظر گرفته می‌شود.

پس از اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ها، استحکام آنها با استفاده از دستگاه تست اینسترون مدل SANTAM ST-5 به دست آمد. این دستگاه مجهز به سیستم جمع‌آوری داده و رایانه است و می‌تواند به طور خودکار داده‌ها را جمع‌آوری نموده، محاسبات را انجام داده و نمودار نیرو - تغییر شکل را رسم نماید. یک پروب استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر برای دستگاه اینسترون ساخته شد (Ahmad et al., 2006). سرعت نفوذ پروب در میوه ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و نقطه نفوذ در قسمت پهلویی میوه و ۲ سانتی‌متر دورتر از قسمت میانی به سمت دم میوه انتخاب شد (Caussiol, 2001). آزمایش نفوذسنجی روی نمونه‌ها انجام و نمودار نیرو - تغییر شکل رسم و استحکام میوه استخراج گردید (شکل ۳).

از روش تجزیه واریانس (ANOVA) و طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار (گروه‌های رسیدگی) و سه تکرار برای تحلیل داده‌ها و از آزمون چند دامنه دانکن (Duncan's multiple range test) برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

در فرآیند رسیدن، میزان رطوبت تقریباً ثابت است و فند موجود در میوه افزایش می‌یابد، این در حالی است که میزان نشاسته میوه به شدت کاهش می‌یابد (جدول ۱). تغییرات در مقادیر این مواد ناشی از آب‌کافت نشاسته به آب و فند است (Marriot & Lancaster, 1993). تغییر در مقدار مواد تشکیل‌دهنده میوه و به تبع آن تغییر در ساختمان میوه باعث می‌شود که ثابت دی‌الکتریک میوه در طی رسیدن کاهش پیدا کند.

شکل (۵) تغییرات ثابت دی‌الکتریک میوه را در بسامدهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۵- تغییرات ثابت دی‌الکتریک در مقابل بسامد ولتاژ ورودی

ثابت دی‌الکتریک موز در همه مراحل به عنوان تابعی از بسامد ولتاژ ورودی نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که در همه مراحل رسیدگی میوه مقدار ثابت دی‌الکتریک تابعی درجه دو از بسامد ورودی باشد. در همه مراحل رسیدگی کمترین مقدار مربوط به بسامد یک مگاهرتز و بیشترین مقدار مربوط به بسامد ۱۰ مگاهرتز می‌باشد.

برای اعتبارسنجی این روش، استحکام میوه که به خوبی نمایانگر میزان رسیدگی آن است بررسی شد. تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بین استحکام نمونه‌ها در مراحل مختلف رسیدگی مشاهده شده است. بین تکرارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود نداشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین استحکام تیمارها در جدول (۳) نمایش داده شده است. موز سبز بیشترین مقدار و موز رسیده نیز کمترین مقدار استحکام را داشته است. روند تغییرات در هر دو پارامتر ثابت دی‌الکتریک و استحکام تقریباً به یک شکل بوده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه واریانس ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ها

F	MS	SS	درجه آزادی	منبع تغییر
۷۴/۳۲*	۲۳۷۶/۱۴	۱۱۸۸۰/۷	۵	تیمار
۰/۲۷ ^{ns}	۸۶	۱۷/۱۸	۲	تکرار
-	۳۱/۹۷	۳۱۹/۷	۱۰	خطا
-	-	۱۴/۵	۱۷	کل

* : معنی‌دار در سطح ۵٪ ، ^{ns} : بی‌معنی در سطح ۵٪.

میوه‌های رسیده‌تر ثابت دی‌الکتریک کمتری دارند. تفاوت ثابت دی‌الکتریک میوه در مرحله یک و دو بیشتر از حالات دیگر است، در حالی که در مرحله سه و در همه بسامدها افزایش این پارامتر مشاهده شده است. از مرحله سه به بعد شدت تغییرات کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۴) می‌توان نتیجه گرفت که شیب تغییرات در بسامد یک مگاهرتز بیشتر از بسامدهای دیگر است، بنابراین این بسامد برای پیش‌بینی مراحل رسیدگی موز انتخاب شد.

نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ها در مراحل مختلف رسیدگی در سطح ۵٪ دارد. بین تکرارها که همان نمونه‌های موز در یک گروه رسیدگی هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده نشد، (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه واریانس ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ها در

بسامد ۱ مگاهرتز.

منبع تغییر	درجه آزادی	SS	MS	F
تیمار	۵	۱۳/۵۳	۲/۷۱	۴۹/۹۷*
تکرار	۲	۰/۴۴	۰/۲۲	۴/۰۲ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۵۴	۰/۰۵	-
کل	۱۷	۱۴/۵	-	-

* معنی‌دار در سطح ۵٪ ، ^{ns} : بی‌معنی در سطح ۵٪.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول (۴) آورده شده است. بیشترین مقدار ثابت دی‌الکتریک مربوط به موز سبز و کمترین مقدار مربوط به موز رسیده بوده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها.

مرحله رسیدگی	ثابت دی‌الکتریک	استحکام (نیوتن)
۱	۱۱/۵۱ ^a	۱۰۲/۷ ^a
۲	۹/۵۴ ^{bc}	۶۰/۰۷ ^b
۳	۹/۸۷ ^b	۴۶/۲۲ ^c
۴	۹/۱۶ ^{cd}	۴۰/۹۱ ^c
۵	۹/۱۲ ^{cd}	۲۸/۹۱ ^d
۶	۸/۹۶ ^d	۲۶/۷۰ ^d

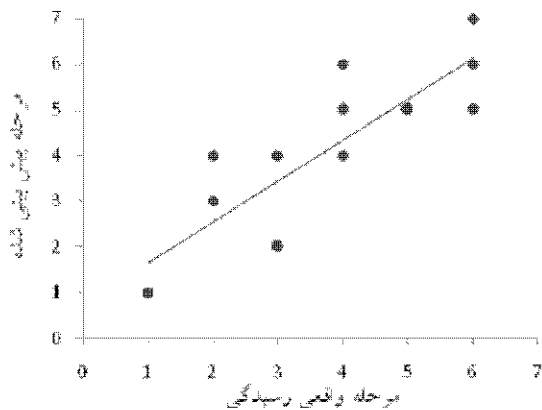
در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل با یک حرف مشترک مشخص شده باشند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

رابطه زیر با استفاده از تحلیل رگرسیونی برای پیش‌بینی مرحله رسیدگی موز پیشنهاد می‌گردد:

$$R_L = 1.39 \times 10^8 k_b^{-7.75} \quad (5)$$

که در آن R_L مرحله رسیدگی میوه و k_b ثابت دی‌الکتریک میوه است.

با توجه به اینکه درجات رسیدگی موز اعداد صحیح بین یک تا شش می‌باشد و اینکه R_L محاسبه شده از رابطه (۵) الزاماً عدد صحیح نمی‌باشد، مرحله رسیدگی پیش‌بینی شده نزدیکترین عدد صحیح به R_L در نظر گرفته شد، به عنوان مثال اگر مقدار R_L برابر ۵/۴ یا ۵/۶ محاسبه شود، به ترتیب مقدار ۵ و ۶ منظور می‌شود. مقایسه نتایج پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی نشان داد که این روش تقریباً پیش‌بینی قابل قبولی را ارائه داده است (شکل ۹). ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده (R) برابر ۰/۸۵۳ به دست آمد.



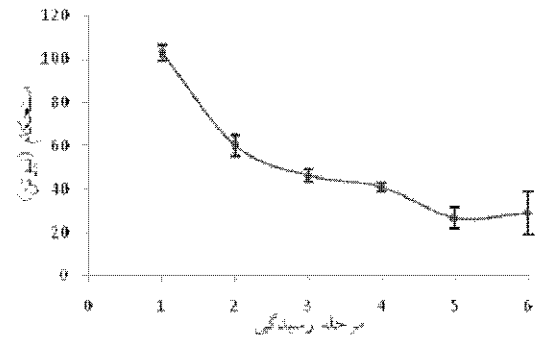
شکل ۹- رابطه بین مرحله واقعی رسیدگی و مرحله پیش‌بینی شده میوه موز همان‌طور از شکل (۹) پیداست، این روش توانسته مرحله یک و پنج را درست پیش‌بینی کند. در مراحل دیگر اختلاف مقدار واقعی و پیش‌بینی شده حداکثر ۲ مرحله است.

نتیجه‌گیری

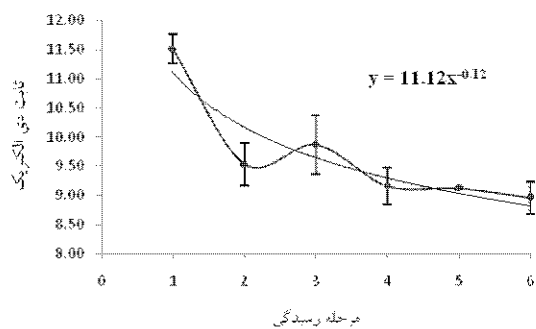
در این تحقیق از حسگر ساخته شده خازنی برای پیش‌بینی درجه رسیدگی میوه موز استفاده شد. آزمایش‌ها نشان داد وزن و ابعاد میوه اثر مستقیمی بر ظرفیت حسگر خازنی داشتند. برای از بین بردن این اثرات مدلی پیشنهاد شد که تقریباً توانست رابطه بین میزان رسیدگی و ضریب دی‌الکتریک را استخراج کند.

رابطه رسیدگی- ضریب دی‌الکتریک تقریباً به شکل تابع نمایی بوده‌است. این روش تقریباً توانسته است مرحله رسیدگی میوه موز را پیش‌بینی کند، البته نیاز به مطالعات بیشتری در بسامدهای بالاتر از ۱۰ مگاهرتز دارد.

تغییرات استحکام موز در مراحل مختلف رسیدگی در شکل (۶) نشان داده شده است. شکل نشان می‌دهد که استحکام میوه در طی رسیدن دچار این کاهش شده است و میوه بر اثر دگرگونی‌های ساختمان دیواره سلول و تبدیل نشاسته به قند نرم‌تر می‌شود. مهمترین علت نرم شدن میوه تغییر ذرات پکتیک است (Seymour, 1993).

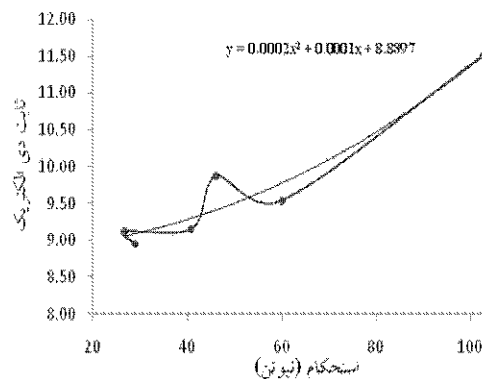


شکل ۶- تغییر در استحکام میوه در مراحل مختلف رسیدگی میوه موز. خطوط عمودی میزان انحراف معیار را نشان می‌دهد.



شکل ۷- رابطه بین ثابت دی‌الکتریک و درجه رسیدگی میوه. خطوط عمودی سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که رابطه بین ضریب دی‌الکتریک و مرحله رسیدگی میوه تقریباً به صورت نمایی و با ضریب تبیین ۰/۸۵۲ می‌باشد (شکل ۷). رابطه بین استحکام میوه و ثابت دی‌الکتریک نیز بررسی شد (شکل ۸). تحلیل رگرسیونی نشان داد رابطه بین این دو پارامتر تقریباً به شکل تابع درجه دو است ($R^2 = 0/9314$).



شکل ۸- رابطه بین ثابت دی‌الکتریک و استحکام میوه.

REFERENCES

- Abbott, J. A., (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 207–225
- Ahmad, S., Perviez, M. A., Chatha, Z. A., & Thompson, A. K., (2006). Improvement of banana quality in relation to storage humidity, temperature and fruit length. *International Journal of Agricultural & Biology*, 8 (3), 377-380.
- Caussiol, L. (2001). *Postharvest quality of conventionally and organically grown banana fruit*. MSc. dissertation, University of Cranfield, Silsoe.
- Debye, P. (1929). *Polar Molecules*. Dover Publications, Inc., New York. 60.
- Eubanks, J. C. & Birrell, S. J. (2001), Determining moisture content of hay and forages using multiple frequency parallel plate capacitors. *ASAE Paper No. 01-1072*. St Joseph, MI: ASAE.
- Kato, K. (1997). Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 67, 161 – 170.
- Marriott, J., & Lancaster, P. A. (1983). *Bananas and Plantains*. In T. Harvey & J. R. Chan. Handbook of tropical foods, U.S.D.A.
- Nelson, S. O. (2006). Agricultural applications of dielectric measurements. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 13, 688–702.
- Ragni, L., Gradari, P., Berardinelli, A., Giunchi, A. & Guarnieri, A. (2006). Predicting quality parameters of shell eggs using a simple technique based on the dielectric properties. *Biosystems Engineering*, 94 (2), 255–262.
- Seymour (1993). Banana. In Seymour, G. Taylor, J. E., and Tucker, G. A., 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman and Hall, London.
- Sirikulrat, K. & Sirikulrat, N. (2008). Dielectric properties of different maturity soybean. *KMITL Sci. J*, 8(2), 12-18.
- Thakur, K. P. & Holmes, W.S. (2001). Permittivity of rice grain from electromagnetic scattering. In: *Proceeding of the 4th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances*, 13–16 May., Weimar, Germany, pp. 203–210.
- Wills, R., Mc Glasson, B., Graham, D. & Joyce, D. (1998). *Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals* (4th ed.). Oxon: CABI international.

