



## اندازه‌گیری خواص دی‌الکتریک خرما در طول رسیدگی به منظور ارائه مدل تخمین رطوبت

رحمت‌الله باقری<sup>۱</sup>، سید احمد میرهای<sup>۲\*</sup>، مرتضی صادقی<sup>۳</sup>، امین‌الله معصومی<sup>۴</sup>، شهرام مومکش<sup>۵</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، samireei@cc.iut.ac.ir
- ۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۴- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی به منظور مدیریت برداشت، انبارداری، فروش و فرآوری محصول خرما، مقدار رطوبت آن می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از روش خازن با صفحات موازی، ولتاژ متناوب سینوسی در محدوده فرکانسی ۱ تا ۱۰۰ MHz به محصول خرما اعمال و پاسخ آن با استفاده از دستگاه اسپکتروم آنالایزر اندازه‌گیری گردید. سپس از مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره (MLR) برای استخراج رابطه بین رطوبت و مقادیر توان مصرفی در فرکانس‌های مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که در یک رطوبت معین، با افزایش فرکانس، توان مصرفی افزایش می‌یابد. هم چنین مقادیر توان مصرفی نیز در طول رسیدگی و همزمان با کاهش رطوبت کاهش می‌یابد. نتایج مدل‌سازی با استفاده از تمامی محدوده فرکانس اعمال شده نشان داد که درصد رطوبت با  $R^2_p$  برابر ۰/۹۵۶، ریشه میانگین مربعات خطای (RMSEP) ۵/۲۸٪ و نسبت انحراف استاندارد (SDR) ۲/۹۷ قابل پیش‌بینی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اسپکتروم آنالایزر، ریشه میانگین مربعات خطا، مدل‌سازی، مولد تابع

### مقدمه

در سال‌های اخیر توجه شایانی به روش‌های غیر مخرب در ارزیابی محصولات کشاورزی شده است. هدف از توسعه این روش‌ها، برآورد ویژگی‌های کیفی و همچنین تشخیص عیوب و آفت‌های داخلی محصول به نحو سریع، غیر مخرب و قابل اطمینان می‌باشد. در میان روش‌های غیر مخرب، روش دی‌الکتریک به دلیل مزایایی همچون ارتباط مقادیر ثابت دی‌الکتریک با برخی مؤلفه‌های کیفی محصول مانند رطوبت، سرعت بالا (Nelson, 2005)، هزینه کمتر نسبت به بسیاری از روش‌های غیر مخرب دیگر، کارایی بالا در صنعت کشاورزی (Soltani et al., 2011) مانند طراحی و ساخت سامانه‌های فرآوری محصولات، کنترل کیفیت و غیره توسط محققین بسیاری مورد توجه قرار گرفته است (Guo et al., 2011; Nelson, Mckeown et al., 2012).



بر مبنای روش دی‌الکتریک، هنگامی که ماده‌ای درون یک میدان الکتریکی متناوب قرار گیرد، ذرات باردار مثبت و منفی دائماً نسبت به حرکت تمایل نشان می‌دهند. درون محصولات کشاورزی حرکت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و مولکول‌های قطبی که نسبت به دیگر ذرات بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند، همگی مستلزم وجود رطوبت می‌باشند. بنابراین، با اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک محصولات کشاورزی می‌توان مقدار رطوبت را تشخیص داد (Mckeown *et al.*, 2012).

تاکنون تحقیقات متعددی در مورد کاربرد روش دی‌الکتریک در محصولات کشاورزی ارائه شده است. Puranik *et al.* (۱۹۹۱) با روش انعکاس‌سنجی حوزه زمان در محدوده ۱۰ MHz تا ۱۰ GHz، خواص دی‌الکتریکی ترکیب آب و عسل، Berbert *et al.* (۲۰۰۱) با روش صفحات موازی در محدوده ۷۵ kHz تا ۵ MHz، رطوبت دانه قهوه به منظور استفاده در رطوبت‌سنج‌های بر خط برای کنترل اتوماتیک خشک‌کن‌های قهوه، Guo *et al.* (۲۰۰۷) با روش کواکسیال در ۵۱ فرکانس از ۱۰ تا ۱۸۰۰ MHz، مواد جامد محلول، سفتی و رطوبت سه رقم سیب در مدت انبارداری، Castro-Giráldez *et al.* (۲۰۱۰) با روش صفحات موازی در محدوده فرکانسی ۵۰ تا ۵۰۰ MHz، مقدار قند و اسید مالیک سیب در طول دوران رسیدگی، Ragni *et al.* (۲۰۱۰) با روش هدایت‌گر موج در محدوده ۳ تا ۲۰ GHz، شاخص‌های کیفی تخم مرغ، Sasilik & Colak (۲۰۱۰) با روش صفحات موازی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ MHz، رطوبت دانه‌های ذرت، Soltani *et al.* (۲۰۱۱) با استفاده از صفحات موازی در فرکانس‌های ۱۰ و kHz و ۱۰۰ و ۱۰ MHz، مواد جامد محلول و سفتی موز، Castro-Giráldez *et al.* (۲۰۱۱) با روش کواکسیال در محدوده ۵۰۰ تا ۲۰ GHz، کنترل رفتار تراوشی در کیوی را تعیین نمودند.

هدف از این تحقیق استفاده از روش دی‌الکتریک در محدوده فرکانسی ۱ تا ۱۰۰ MHz با استفاده از دستگاه اسپکتروم آنالیز و در حالت صفحات موازی برای اندازه‌گیری رطوبت خرما، رقم مضافتی و مدل‌سازی رطوبت با استفاده از داده‌های دی‌الکتریک می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه نمونه‌ها

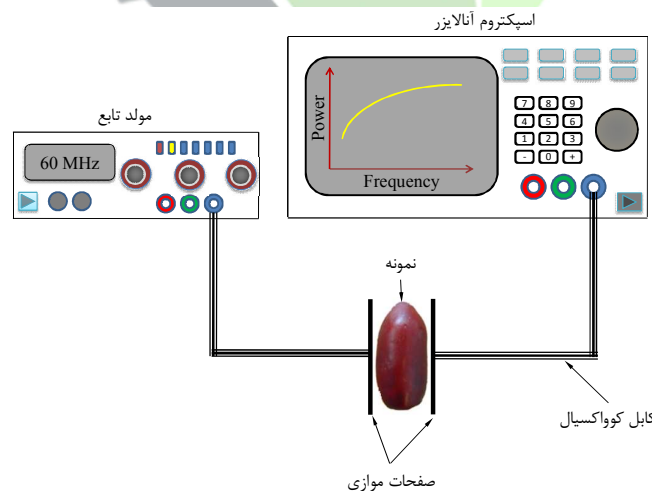
در این تحقیق، نمونه‌های خرما، رقم مضافتی در چهار تاریخ مختلف برداشت (۲۱ تیرماه، ۱۰ و ۲۴ مردادماه و ۱۵ شهریورماه سال ۱۳۹۱) از نخل‌های متفاوت متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی شهید مقبلی واقع در شهرستان جیرفت استان کرمان تهیه شدند. خرماهای برداشت شده در حداقل زمان ممکن به آزمایشگاه خواص فیزیکی گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل و در یخچال در دمای ۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. از بین نمونه‌های تهیه شده در هر تاریخ برداشت، تعداد ۲۵ نمونه سالم که به خوبی معرف هر یک از مراحل مختلف رسیدگی خرما (شامل کیمیری، خارک، رطب و خرما یا تمر) بودند به طور تصادفی انتخاب و برای آزمایش استفاده شدند. به نحوی که در مجموع تعداد ۱۰۰ عدد نمونه سالم برای



کل آزمایش‌ها استفاده گردید. قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها حداقل به مدت ۲ ساعت از یخچال خارج شده تا در هنگام آزمایش به تعادل با دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سانتیگراد) برسند. سپس هر نمونه شماره‌گذاری شده و ابعاد اصلی و جرم هر خرما به ترتیب با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد.

## سامانه اندازه‌گیری داده‌های دی‌الکتریک

برای انجام آزمایش، یک سامانه اندازه‌گیری داده‌های دی‌الکتریک محصول خرما طراحی گردید. این سامانه شامل یک دستگاه مولد تابع<sup>۱</sup> مدل TR4153A، یک دستگاه اسپکتروم آنالایزر<sup>۲</sup> مدل R4131D (هر دو ساخت شرکت ADVANTEST)، دو عدد صفحه موازی و محفظه نگهداری نمونه می‌باشد. صفحات موازی از جنس آلومینیوم و بیضی شکل با قطرهای کوچک و بزرگ به ترتیب ۲۷ و ۴۲ میلی‌متر بودند که با استفاده از پروب‌های کواکسیال به مولد تابع و اسپکتروم آنالایزر مطابق شکل (۱) متصل می‌شدند. این صفحات در یک فاصله یکسان نسبت به یکدیگر در محفظه نگهداری نمونه قرار می‌گرفتند. دستگاه مولد تابع در محدوده فرکانسی ۱ تا ۱۰۰ MHz و ولتاژ سینوسی با بیشینه مقدار ۴۰ میلی‌ولت را به دو سر مدار اعمال می‌کند. در نتیجه میدان‌های الکتریکی متناوبی بین صفحات موازی به وجود آمده که دستگاه اسپکتروم آنالایزر توان مصرفی مدار را به تفکیک فرکانس اندازه‌گیری و بر روی صفحه نمایشگر خود نشان می‌دهد. آزمایش‌ها به دو صورت، یکی بدون نمونه و دیگری با قرار دادن هر نمونه در داخل سامانه در محدوده فرکانسی مورد نظر انجام گردیده تا با مقایسه این حالات ضرایب دی‌الکتریک نمونه‌ها بدست آیند. این آزمایش‌ها در پژوهشکده فاوا واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گردید.



شکل ۱. طرحواره مدار استفاده شده برای اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک خرما

<sup>1</sup> Function Generator

<sup>2</sup> Spectrum Analyzer



بلافاصله پس از جمع‌آوری داده‌های دی‌الکتریک، رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش مرجع اندازه‌گیری شد. بدین منظور هر نمونه خرما ابتدا بریده و هسته داخلی آن برداشته شد و سپس از باقیمانده آن برای اندازه‌گیری رطوبت استفاده گردید. روش اندازه‌گیری رطوبت خرما مبتنی بر استاندارد AOAC شامل خشک کردن نمونه در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت و محاسبه درصد کاهش وزن بر مبنای وزن تر نمونه بود (Elleuch *et al.* 2008; Keramat Jahromi *et al.* 2008).

### تحلیل داده‌ها

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، صفحات موازی، نمونه خرما و هوای محصور شده بین خرما و صفحات را می‌توان به صورت یک خازن در نظر گرفت. بنابراین، ضریب دی‌الکتریک خازن شامل ضرایب دی‌الکتریک نمونه و هوای محصور شده می‌باشد. اما از آنجا که حجم هوا و ضریب دی‌الکتریک آن در مقایسه با نمونه بسیار کمتر می‌باشد، می‌توان از ضریب دی‌الکتریک هوا صرف‌نظر و ضریب دی‌الکتریک خازن را با برابر با ضریب دی‌الکتریک نمونه خرما فرض کرد. از طرفی دیگر، ظرفیت هر خازن را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) بدست آورد (خرازی‌زاده، ۱۳۷۰):

$$C = \epsilon_r \frac{A}{D} \times (8.854 \times 10^{-12}) \quad (1)$$

که در آن،  $C$  ظرفیت خازن (F)،  $A$  مساحت صفحات خازن ( $m^2$ )،  $D$  فاصله میان صفحات (m) و  $\epsilon_r$  گذردهی نسبی (گذردهی ماده دی‌الکتریک نسبت به هوا) می‌باشد. توان مصرفی خازن نیز برابر است با:

$$P = \frac{V^2}{2X_c} \quad (2)$$

که در آن،  $P$  توان مصرفی توسط خازن (W)،  $V$  بیشینه ولتاژ سینوسی (V) است که به دو سر خازن اعمال می‌شود و  $X_c$  مقاومت معادل خازن ( $\Omega$ ) است که خود از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (3)$$

که در آن،  $f$  فرکانس (Hz) می‌باشد.

با جایگذاری روابط (۱) و (۳) در رابطه (۲) توان مصرفی خازن مطابق رابطه (۴) بدست می‌آید:

$$P = (8.854 \times 10^{-12}) \pi \epsilon_r V^2 f \frac{A}{D} \quad (4)$$

طبق رابطه (۴)، توان مصرفی در هر خازن که به طور عمده شامل توان الکتریکی ذخیره شده و اتلافی توسط خازن می‌باشد، با مقادیر گذردهی دی‌الکتریک رابطه مستقیم دارد. بنابراین، برای سادگی بیشتر می‌توان به جای مقادیر دی‌الکتریک، از مقادیر توان



مصرفی در خازن برای مدل‌سازی رطوبت محصول استفاده کرد. بدین منظور، پس از جمع‌آوری داده‌ها، نمونه‌ها ابتدا به شیوه کاملاً تصادفی به دو دسته کالیبراسیون (شامل ۷۵٪ کل نمونه‌ها) و آزمون (شامل ۲۵٪ کل نمونه‌ها) تقسیم شدند. از دسته داده‌های کالیبراسیون برای مدل‌سازی رابطه بین توان مصرفی خازن با رطوبت و از دسته داده‌های آزمون، به منظور اعتبارسنجی و تعیین قدرت پیش‌بینی مدل استفاده شد. در این تحقیق، برای مدل‌سازی از روش رگرسیون خطی چند متغیره<sup>۱</sup> (MLR) استفاده شد. در این روش، ابتدا از مقادیر توان در کل فرکانس‌های ثبت شده در دامنه ۱ تا ۱۰۰ MHz به عنوان ورودی (متغیر مستقل) برای مدل‌سازی و برآورد رطوبت (متغیر وابسته) استفاده گردید. پارامترهای آماری برای ارزیابی مدع شامل مقادیر ضریب تبیین در دو مرحله کالیبراسیون ( $R_c^2$ ) و آزمون ( $R_p^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون (RMSEC) و آزمون (RMSEP) و نسبت انحراف استاندارد (SDR) می‌باشد. SDR بهترین پارامتر در ارزیابی قابلیت پیشگویی مدل‌های رگرسیون محسوب می‌شود که با تقسیم انحراف استاندارد مقادیر رطوبت در دسته آزمون بر میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) بدست می‌آید (میره‌ای و همکاران، ۱۳۹۱).

## نتایج و بحث

جدول (۱)، مشخصات رطوبت خرماهای مضافتی استفاده شده در دو دسته کالیبراسیون و آزمون را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، نزدیکی مقادیر حداقل، حداکثر و همچنین ضرایب تغییرپذیری رطوبت در دو دسته کالیبراسیون و آزمون بیانگر این است که نمونه‌ها به طور یکنواخت در دو دسته توزیع شده‌اند. همچنین بازه وسیع دامنه رطوبتی نمونه‌ها (۳۴ تا ۸۱٪) نشان دهنده آن است که نمونه‌های انتخاب شده کلیه مراحل مختلف رسیدگی خرما را پوشش می‌دهند.

### جدول ۱. مشخصات رطوبت نمونه‌های خرماهای مضافتی استفاده شده برای مدل‌سازی رطوبت (٪) با استفاده از روش دی‌الکتریک

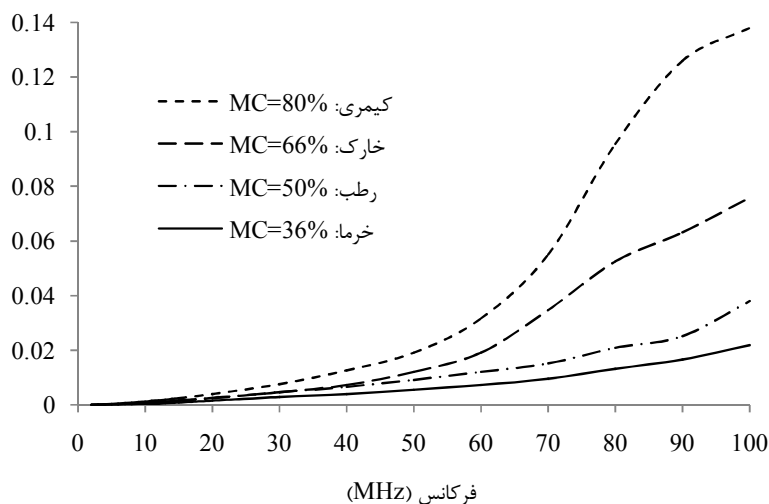
دسته داده	تعداد نمونه‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرپذیری (٪)
کالیبراسیون	۷۵	۳۵/۷	۸۱	۵۸/۸۶	۱۵/۶۷	۲۶/۶۲
آزمون	۲۵	۳۴	۸۰/۷۸	۵۸/۹۷	۱۵/۷	۲۶/۶۲

شکل (۲) نمودارهای توان مصرفی خازن برحسب فرکانس را در مراحل مختلف رسیدگی خرما شامل کیمیری، خارک، رطب و خرما نشان می‌دهد. مطابق شکل، در کلیه مراحل رسیدگی، با افزایش فرکانس، توان مصرفی نیز افزایش می‌یابد. ذرات باردار ماده دی‌الکتریک در اثر قرارگیری در میدان الکتریکی متناوب، مطابق با فرکانس اعمالی شروع به حرکت می‌نمایند. در محدوده فرکانسی این تحقیق و درون محصولات کشاورزی و غذایی، حرکات چرخشی مولکول‌های قطبی آب و یون‌های محلول در آن، بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند. با افزایش فرکانس، در مدت زمان کمتر به انرژی بیشتری برای غلبه بر

<sup>1</sup> Multiple Linear Regress



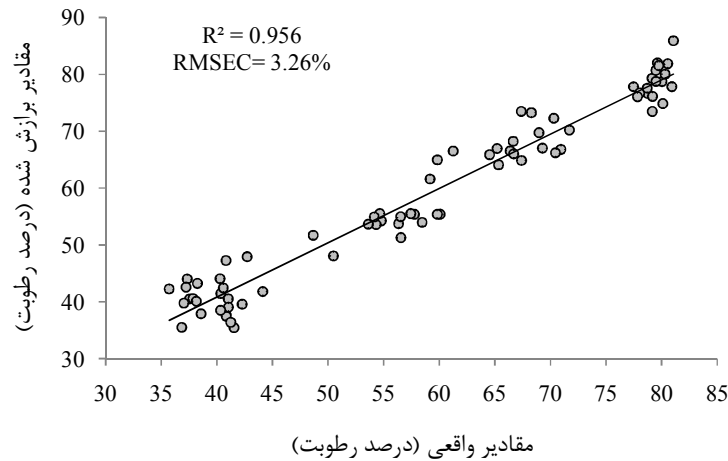
اصطکاک موجود میان این ذرات نیاز است (Anonymous, 2006). به همین دلیل، با افزایش فرکانس، توان مصرفی نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۲. ارتباط توان مصرفی خازن با فرکانس در مراحل مختلف رسیدگی خرما

همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد که در هر فرکانس، توان مصرفی با افزایش درصد رطوبت، افزایش می‌یابد. این امر بدان علت است که با افزایش رطوبت، زمینه افزایش حضور ذرات باردار و آزادی حرکت آن‌ها بیشتر می‌گردد. از آنجا که توان مصرفی خازن با مقادیر گذردهی دی‌الکتریک رابطه مستقیم دارد (رابطه ۴)، می‌توان گفت با پیشرفت مراحل رسیدگی و همزمان کاهش رطوبت محصول، ضریب گذردهی دی‌الکتریک کاهش می‌یابد که این امر مشابه نتایج تحقیقات گذشته می‌باشد (Nelson et al., 1991).

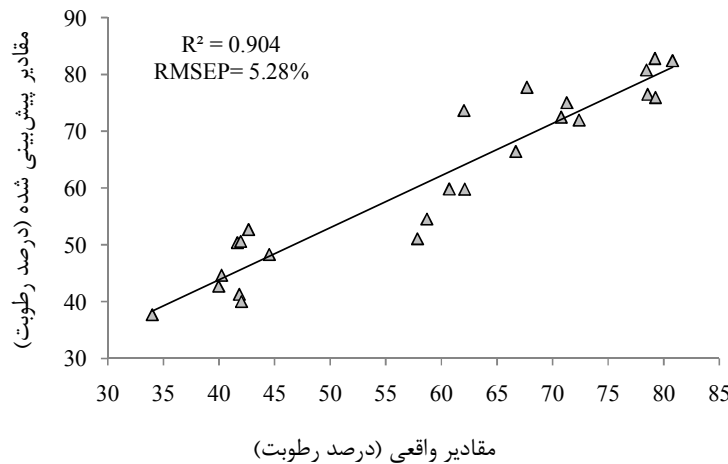
شکل (۳) مقادیر رطوبت به دست آمده توسط مدل MLR در دامنه ۱ تا ۱۰۰ MHz در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط روش‌های مرجع را در مرحله کالیبراسیون نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۹۵۶ و ریشه میانگین مربعات خطای ۳/۲۶ در مرحله کالیبراسیون نشان دهنده برازش خوب مقادیر رطوبت واقعی خرما توسط داده‌های دی‌الکتریک در دامنه ۱ تا ۱۰۰ MHz است.



شکل ۳. مقادیر رطوبت برآزش شده توسط مدل MLR در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz در برابر مقادیر واقعی اندازه گیری شده توسط

روش‌های مرجع در مرحله کالیبراسیون

پس از استخراج مدل کالیبراسیون، دسته داده‌های آزمون به منظور اعتبارسنجی به مدل داده شدند تا توانایی آن در پیش‌بینی مقادیر رطوبت با استفاده از داده‌های مستقل مورد ارزیابی قرار گیرد. شکل (۴)، مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل MLR در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz در برابر مقادیر واقعی اندازه گیری شده توسط روش‌های مرجع را در مرحله آزمون نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل MLR در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz در برابر مقادیر واقعی اندازه گیری شده توسط

روش‌های مرجع در مرحله آزمون



جدول ۲، نتایج مدلسازی رطوبت با استفاده از داده‌های دی‌الکتریک در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz را به طور خلاصه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار نسبت انحراف استاندارد (SDR) بدست آمده (SDR= ۲/۹۷) نشان از توانایی خوب روش دی‌الکتریک در برآورد رطوبت خرما می‌باشد. با این حال، نتایج بدست آمده نسبتاً ضعیف‌تر از نتایج پیش‌بینی رطوبت خرما با استفاده از روش اسپکتروسکوپی NIR در وضعیت تقابلی (SDR= ۳/۶۰) (میره‌ای و همکاران، ۱۳۹۱) و ضعیف‌تر از نتایج حاصل با استفاده از روش اسپکتروسکوپی FT-NIR (SDR= ۷/۴۰) (میره‌ای و همکاران، ۱۳۸۹) می‌باشد. دلیل این امر، وجود باندهای جذب بسیار قوی آب در ناحیه فروسرخ نزدیک (NIR) می‌باشد که منجر به تشکیل پیک‌های جذب آب در طیف NIR بدست آمده از محصولات کشاورزی می‌شود. چنین باندهای جذب قوی آب در فرکانس‌های ۱ تا ۱۰۰MHz هرگز مشاهده نمی‌شود و تأثیر رطوبت در این ناحیه مربوط به مهیا کردن زمینه به منظور افزایش حضور تعداد یون‌های محلول و همچنین افزایش تعداد مولکول‌های قطبی است که انرژی الکتریکی را جذب و یا ذخیره می‌کنند. با این وجود، هزینه ساخت سامانه‌های مبتنی بر روش دی‌الکتریک به مراتب کمتر از سامانه‌های مبتنی بر اسپکتروسکوپی NIR و غیر قابل مقایسه با سامانه‌های FT-NIR می‌باشد که این امر می‌تواند توسعه چنین سامانه‌هایی را با وجود دقت کمتر، توجیه‌پذیر کند.

**جدول ۲. نتایج مدلسازی رطوبت با استفاده از داده‌های دی‌الکتریک در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz**

آزمون		کالیبراسیون		فرکانس‌های استفاده شده (MHz)
SDR	RMSEP	RMSEC	$R^2_e$	
۲/۹۷	۵/۲۸	۳/۲۶	۰/۹۵۶	دامنه ۱ تا ۱۰۰

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که روش دی‌الکتریک در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz، یک روش توانمند در برآورد رطوبت خرما می‌باشد. مقادیر توان مصرفی خازن متشکل از صفحات موازی و خرما در هر نمونه با افزایش فرکانس و همچنین با افزایش رطوبت در هر فرکانس، افزایش نشان داد. مدل‌های MLR در دامنه ۱ تا ۱۰۰MHz توانستند رطوبت خرما را با  $R^2_p=0/904$ ،  $RMSEP=5/28$  و SDR قابل قبول ۲/۹۷ پیش‌بینی کنند.



## فهرست منابع

- ۱- خرازی‌زاده، س. ۱۳۷۰. اصول الکترونیک، انتشارات مجتمع فنی تهران، تهران، ایران.
- ۲- میرهای، س.ا.، محتسبی، س.س.، صادقی، م.، رفیعی، ش. ۱۳۹۱. مقایسه سه وضعیت بازتابی، عبوری و تقابلی در تعیین غیرمخرب رطوبت خرماي مضافتی با استفاده از اسپکتروسکوپی NIR. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. (۴۳): ۲: ۱۳۳-۱۴۱.
- ۳- میرهای، س.ا.، محتسبی، س.س.، مسعودی، ر.، رفیعی، ش.، عربانیان، آ.س. ۱۳۸۹. استفاده از تکنیک غیرمخرب طیف‌سنجی FT-NIR در تعیین میزان رسیدگی خرماي شاهانی. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. (۴۱): ۲: ۱۱۳-۱۲۰.
4. Anonymous. 2006. Basics of measuring the dielectric properties of materials, Application Note. Agilent literature number, 5989-2589 EN.
5. Berbert, P. A., Queiroz, D. M., Sousa, E. F., Molina, M. B., Melo, E. C. & Faroni, L. R. D. 2001. Dielectric properties of parchment coffee. Journal of Agricultural Engineering Research 80(1): 65-80.
6. Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., Dalla Rosa, M. & Fito, P. 2011. Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling osmotic dehydration of kiwifruit (Actinidia Deliciosa cv Hayward). Innovative Food Science and Emerging Technologies 12(4): 623-627.
7. Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., Chenoll, C. & Fito, P. 2010. Development of a dielectric spectroscopy technique for the determination of apple (Granny Smith) maturity. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11(4): 749-754.
8. Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N. & Attia, H. 2008. Date flesh: chemical composition and characteristics of the dietary fibre. Journal of Food Chemistry 111: 676-682.
9. Guo, W., Nelson, S. O., Trabelsi, S., & Kays, S. J. 2007. 10-1800 MHz dielectric properties of fresh apples during storage. Journal of Food Engineering 83: 562-569.
10. Guo, W., Zhu, X., Nelson, S. O., Yue, R., Liu, H. & Liu, Y. 2011. Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. LWT- Food Science and Technology 44: 224-230.
11. Keramat Jahromi, M., Jafari, A., Rafiee, S., Mirasheh, R. & Mohtasebi, S. S. 2008. Changes in physical properties of date fruit (cv. Shahani) during three edible stages of ripening. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 3(1): 132-136.
12. Mckeown, M., Trabelsi, S., Tollner, E. & Nelson, S. O. 2012. Dielectric spectroscopy measurements for moisture prediction in *Vidalia* onions. Journal of Food Engineering 11: 505-510.
13. Nelson, S. O. 1991. Dielectric properties of agricultural products measurements and applications. IEEE Transactions on Electrical Insulation 26(5): 845-869.
14. Nelson, S. O. 2005. Dielectric spectroscopy in agriculture. Journal of Non-Crystalline Solids 351: 2940-2944.
15. Nelson, S. O. 2010. Fundamentals of dielectric properties measurements and agricultural applications. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy 44(2): 98-113.
16. Puranik, S., Kumbhakarne, A. & Mehrotra, S. 1991. Dielectric properties of honey-water mixtures between 10 MHz and 10 GHz using time domain technique. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy 26(4): 196-201.
17. Ragni, L., Cevoli, C. & Berardinelli, A. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. Journal of Food Engineering 100: 343-348.
18. Sacilik, K., Tarimc, C. & Colak, A. 2007. Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range. Journal of Food Engineering 78: 1111-1116.
19. Soltani, M., Alimardani, R. & Omid, M. 2011. Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. Journal of Food Engineering 105: 625-631.



## Measurement of Di-electric properties of date palm fruit during maturity in order to introduce the moisture content estimating model

Rahmatollah Bagheri<sup>1</sup> Seyed Ahmad Mireei<sup>2\*</sup> Morteza Sadeghi<sup>3</sup>, Amin Allah

Masoumi<sup>4</sup>, Shahram Moomkesh<sup>5</sup>

1- MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology  
samireei@cc.iut.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology

5- MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology

### Abstract

Moisture content is one of the main factors affecting the quality of date palm fruit. In this research, by putting date palm fruits (cv. Mazafati) in a parallel plate capacitor, the sinusoidal alternative voltage in the frequency range of 1 to 100 MHz was exerted to dates and the response of circuit was measured using a spectrum analyzer. Then, the relation between the power consumption of the system at different frequencies and the moisture content of the samples was studied and modeled using multiple linear regression (MLR) analysis. The results showed that at specific moisture content, the power consumption is increased by increasing the frequency. Also, during ripening of date palm fruits and simultaneously decreasing the moisture content, the power consumption decreases. The results of modeling indicated that by using the all frequencies in the range of 1-100 MHz, the moisture content of date palm fruits can be predicted by a coefficient of determination ( $R^2_p$ ) of 0.956, a root mean squares error of prediction (RMSEP) of 5.28% and a standard deviation ratio (SDR) of 2.97.

**Keywords:** function generator, modeling, root mean squares error, spectrum analyzer.