بررسی امکان استفاده از آزمون غیرمخرب مایکروویو در صنایع غذایی (عوامل تاثیرگذار، محدودیت ها و کاربردها)

مهدی مرادی[1]*، محمدعلی قضاوی[2]، علی ملکی[3]
1-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهرکرد
2و3- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهرکرد
***ایمیل مکاتبه کننده:mahdimoradi2006@yahoo.com**

چکیده

دستگاه اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک، توسط ریزموج‌ها برای مواد صفحه‌ای، مانند صفحه شامل فیلم و مواد سه‌بعدی مانند قالب های پلاستیک، رزین و لاستیک و مانند آن، همچنی ن مایعات مانند محلول های آبی و آلی اندازه گیری می کند. تشدیدکننده دی الکتریک دارای یک صفحه در نزدیکی نمونه یا در تماس با آن می‌باشد. یک محفظه، تشدید کننده دی‌الکتریک را می پوشاند. یک مولد مایکروویو، زمانی که نمونه توسط یک آنتن حس می شود، فرکانسی نزدیک به فرکانس تشدید، تشدید کننده دی الکتریک تولید می کند. یک آشکارساز، انرژی منتقل شده یا بازتاب شده را توسط تشدید کننده دی‌الکتریک از طریق پروب مشخص می‌کند. یک حسگر فرکانس تشدید، فرکانس تشدید را از اختلاف خروجی آشکارساز و رایانه (داده پردازی است که ثابت دی الکتریک نمونه را از فرکانس تشدید بدست آمده اخذ می کند) بدست می آورد. رایانه دارای حافظه‌ای است که داده های منحنی درجه بندی به دست آمده یا مانند آن را ذخیره می کند. ریزموج‌ها از مولد فرستاده می شوند که می توان فرکانس آن را به طور مستمر تا بیش از محدوده فرکانس مشخص، در حدود فرکانس تشدید، تشدید کننده دی‌الکتریک تغییر داد و توان ریز موج انتقال یافته، توسط آشکارساز حس می‌گردد. این سیگنال به حسگر فرکانس تشدید فرستاده می شود تا فرکانس تشدید اندازه‌گیری شود و سپس به رایانه فرستاده می شود. اطلاعات منحنی درجه‌بندی متناظر با مقادیر مختلف ثابت دی الکتریک و ضخامت‌های نمونه در حافظه دستگاه ذخیره می گردد و ثابت دی‌الکتریک نمونه، از اطلاعات منحنی درجه-بندی و فرکانس تشدید اندازه‌گیری شده، توسط یک عمل برون‌یابی یا تشخیص الگو، محاسبه می‌شود.

کلمات کلیدی: سیگنال، فرکانس تشدید، مایکروویو

مقدمه (با 2 خط فاصله از کلمات کلیدی)

صنایع لبنیات، چوب، نساجی و بسیاری از صنایع فرآوری اصلی دیگر نیاز به اندازه گیری پیوسته خواص محصولات بویژه رطوبت دارند . مزیت اصلی روش اندازه گیری دی الکتریک هزینه نسبتا پایین آن در مقایسه با پراکنش نوترونی. (neutron backscatter) تحلیل اشعه X و تصویر برداری با رزونانس مغناطیسی (magnetic resonance imaging) می‌باشد. روش‌های دی الکتریک غیر یونیزه کننده هستند و اندازه‌گیری‌های بی خطر از نظر بهداشتی، سریع و پیوسته مواد اولیه حجیم را میسر می سازند. برای یک محصول خاص ، یک یا چند محدوده فرکانس وجود دارد که ثابت دی الکتریک بیشترین حساسیت را به تغییرات در میزان رطوبت (یا متغیرهای قابل اندازه‌گیری دیگر) دارد.

تغییر در مقدار رطوبت و بافت اجزاء مختلف، خواص دی الکتریک مواد غذایی را تغییر می دهد. ثابت دی‌الکتریک موادغذایی به دلیل تفاضل زیاد بین آب آزاد، با ثابت دی الکتریک نسبی استاتیک در حدود 80 در دمای 20 درجه سلسیوس، و چربی و پروتئین که اغلب کمتر از 3 می‌باشد (شین و همکاران،1999)، به تغییرات در مقدار رطوبت حساس می‌باشد.

فرکانسی که برای اندازه گیری ثابت دی الکتریک مواد غذایی انتخاب می‌شود در گستره بسیار وسیعی می باشد. دلایل انتخاب یک فرکانس خاص شامل حساسیت قرائت به تغییر در مقدار رطوبت و وابستگی قرائت به متغیرهای دیگر همچون چگالی و تلفات ثابت دی الکتریک می باشد. برای یک گونه مولکولی قطبی خاص، وقتی فرکانس افزایش می یابد، تلفات ثابت دی الکتریک به یک مقدار بیشینه می رسد و با کاهش در ثابت دی الکتریک همراه می‌شود. اگرچه شیوه های بسیاری وجود دارد که در آن ثابت دی الکتریک ماده می تواند اندازه‌گیری شود، تعداد کمی هستند که در گستره وسیعی از فرکانس ها قابل کاربرد باشند و فراتر از چند صد م گاهرتز باشند (شین و همکاران،1999). در این تحقیق امواج مخابراتی با فرکانس های بالا به سمت نمونه مورد نظر فرستاده می شود که مقداری از این امواج توسط نمونه جذب شده و بقیه برگشت داده می شوند. میزان جذب موج فرستاده شده توسط نمونه، به جنس (بافت)، وزن، مقدار رطوبت، دمای نمونه و فرکانس موج اولیه بستگی دارد که با درجه‌بندی آن می‌توان ثابت دی الکتریک نمونه را اندازه گیری نمود. در سال 1945 Dr.Percy Spencer در مجاورت آنتن رادار سوزشی در پشت دستهایش احساس نمود و از آن به عنوان راهی برای حرارت دادن موادغذایی استفاده کرد .کشف او منجر به ساخت اولین مایکروویو بنام Radarange شد. در سال 1948مایکروویو برای اولین بار در سلف سرویس ها استفاده شد. در سال 1955شرکت Raytheon اولین آون مایکروویو خانگی را معرفی کرد درسال 1964 توسط Jeppson آون مایکروویو مداوم با قدرت زیاد ساخته شد که قیمت آن حدود 2500-1500 دلار بود. در سال 1968 پیشرفت مگنترون های ژاپنی ارزش مگنترون رو کاهش داد . در دهه ی 1970 قانون کنترل تابش برای سلامتی و ایمنی تصویب شد . در سال 1974 پخت تخصصی با مایکروویو شروع شد . دهه ی 1970 روزهای شکوفایی مایکروویو صنعتی بود و چندین شرکت بزرگ و کوچک برای تولید سیستم های مایکروویو سرمایه گذاری کردند. و از دهه 1970 به بعد برای انواع مختلفی از فرایندهای غذایی به کار گرفته شد (بلانچینگ، خشک کردن، پاستوریزاسیون، پخت، خروج از انجماد و ...)

گوا و همکاران (2007) خواص دی الکتریک سیب های تازه را طی انبار مانی بررسی کردند . نتایج تحقیق آن ها نشان داد که خواص دی الکتریک سیب الزاما طی دوره انبار مانی ثابت باقی می ماند. گوا و همکاران (2010) خواص دی‌الکتریک چهار نمونه آرد را در سطوح مختلف دما، رطوبت و فرکانس اندازه گیری کردند. خواص دی الکتریک نمونه‌ها با افزایش فرکانس کاهش یافت اما با افزایش دما و میزان رطوبت افزایش پیدا کرد . گوا و همکاران (2011) اثر رسیدگی را بر خواص دی الکتریک سیب بررسی کردند . رابطه مشخصی بین ثابت دی الکتریک و سختی، میزان رطوبت یا اسیدیته یافت نشد . ساسیلیک و همکاران (2006) وابستگی خواص دی‌الکتریک بذر گلرنگ (Carthamus tinctorus) به میزان رطوبت و چگالی حجمی را بررسی کردند . آن‌ها دریافتند که خواص دی‌الکتریک به شدت توسط میزان رطوبت، فرکانس و چگالی حجمی محصول تحت تاثیر قرار می گیرد. نلسون (2005) خواص دی الکتریک سیب، آووکادو، موز، طالبی، هو یج، خیار، انگور، پرتقال و سیب زمینی را به صورت ترسیمی ارائه کرده است. ثابت دی‌الکتریک در فرکانس های پایین با افزایش دما افزایش یافت، اما در فرکانس های بالا کاهش پیدا کرد. ساسیلیک و کلاک (2010) در گستره 1 تا 100 مگا هرتز خواص دی‌الکتریک ذرت را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که خواص دی الکتریک به شدت متاثر از میزان رطوبت، فرکانس و چگالی حجمی محصول می‌باشد. جنسن و همکاران (2006) بازتاب اشعه مادون قرمز و پنج دستگاه رطوبت سنج دی‌الکتریک را

برای اندازه گیری مقدار رطوبت سوخت های زیستی جامد مورد آزمون قرار دادند و مشاهده کردند که بهترین درجه‌بندی در روش بازتاب اشعه مادون قرمز و دو دستگاه دی الکتریک به دست می آید.رقامی (1387) با استفاده از امواج فراصوتی و اعمال خرابی های از پیش تعیین شده توانست مشاهده کند که تاثیر در تیمارهای رقم، فرکانس، و خرابی و همچنین اثر متقابل رقم در فرکانس، رقم در خرابی همگی در سطح 5٪ معنی‌دار هستند. همچنین در بین تنش‌ها و خرابی‌های اعمالی به نمونه ها تنها سطوح تنش سرمایی و تنش حرارتی در سطح 5٪ معنی‌دار شده-اند.

مواد و روشها

کاربرد صنعتی مایکروویو

تمپرینگ

تمپرینگ رساندن درجه حرارت یک ماده غ ذایی منجمد به اندکی پایین از نقطه انجماد آب است که باعث کوتاه شدن زمان خروج از انجماد می شود.بوسیله انرژی مایکروویو تمپرینگ در عرض چند دقیقه بدون چکه کردن، رشد باکتری ها و یا وارد آمدن خسارات دیگر انجام می شود .توزیع یکنواخت حرارت در سرتاسر ماده غذایی، حداق ل تجهیزات مورد استفاده، مدت زمان عملیاتی کوتاه و امکان تمپرینگ ماده ی غذایی بدون خارج کردن از بسته بندی از مزایای تمپرینگ با مایکروویو می باشد

خشک کردن

از مایکروویو برای خشک کردن نهایی مواد غذایی که بخشی از رطوبت آنها گرفته شده است بکار می رود، زیرا مایکروویو فقط نواحی مرطوب را گرم کرده و از سوختن مواد غذایی خشک شده که در لحظات نهایی خشک کردن، حساسیت بیشتری پیدا می کنند، جلوگیری می شود .هم چنین از مایکرووی‌و در خشک کردن در انجماد (freeze drying) استفاده می شود ولی به دلیل بالا بودن هزینه عملیاتی برای محصولاتی که ارزش افزوده دارند کاربرد داشته و چندان کاربرد صنعتی پیدا نکرده است.

بلانچینگ

غیر فعال کردن آنزیمی بوسیله ی مایکرویو باعث حفظ مواد مغذی حساس به حرار ت و ترکیبات معطر می شود ولی بدلیل هزینه سرمایه گذاری بالا این فرایند چندان صنعتی نشده است .زمانی که مایکروویو به صورت ترکیبی با بخار به کار رود از نظر کاهش هزینه و زمان بلانچینگ مناسب خواهد بود و میزان رطوبت سطح محصول نیز قابل کنترل خواهد بود.

پخت

در فرایند های معمول پخت به دلیل اعمال دمای بالا، زمان طولانی پخت و حرارت مستقیم شاهد کاهش ارزش تغذیه ای ماده غذایی هستیم اما با استفاده از مایکروویو به دلیل توانایی سریع در گرم کردن ماده عذایی میزان کاهش ارزش تغذیه ای کمتر می باشد .در هنگام پخت محصولات خمیری عدم تش کیل پوسته و قهوه ای شدن سطح محصول را شاهد هستیم که بایستی از فرایند های دیگری مثل فروسرخ همزمان یا در امتداد مایکروویو استفاده نمود.

پاستوریزاسیون و استرلیزاسیون

دو نظریه درمورد اثرکشندگی مایکروویو روی میکروارگانیسم ها وجود دارد:

تأثیرغیرحرارتی مایکروویو: احتمال تمایل ارگانیسم ها به منظم شدن در میدان الکتریکی
تأثیر حرارتی مایکروویو: میکروارگانیسم ها در اثرحرارت تولید شده در داخل ماده ی غذایی نابود می شوند.

مطالعات صورت گرفته نظریه تاثیر غیر حرارتی را رد کرده است.

مزایای کاربرد مایکروویو

سرعت عمل بالا و کاهش زمان فرآیند، تمیز کردن آسان، سهولت کاربرد، چند منظوره بودن سیستم، صرفه جویی در فضا، حفظ اجزای ناپایدار در حرارت مثل ویتامین ها ... به دلیل توانایی در گرم کردن سریع، امکان حرارت دهی مواد غذایی بسته بندی شده و حذف سوختگی های سطحی به دلیل نفوذ سریع امو اج در عمق از جمله مزایای کاربرد این روش می باشند.

محدودیت های کاربرد مایکروویو

نا مشخص بودن نقطه ی پایان پخت به علت عدم امکان نمونه گیری در حین فرآیند مایکروویو صنعتی، عدم امکان سرخ کردن سطحی غذا به دلیل نفوذ امواج در عمق ماده، کم بودن تنوع تجهیزات، بالا بودن هزینه ی سرمایه، کوتاه بودن عمر ژنراتور، محدودیت در مواد اولیه ی بسته بندی، تشکیل نقاط سرد و گرم در ماده غذایی از مشکلات کاربرد این سیستم برای فرایند مواد غذایی می باشند.

حرارت دهی با استفاده از امواج مایکروویو

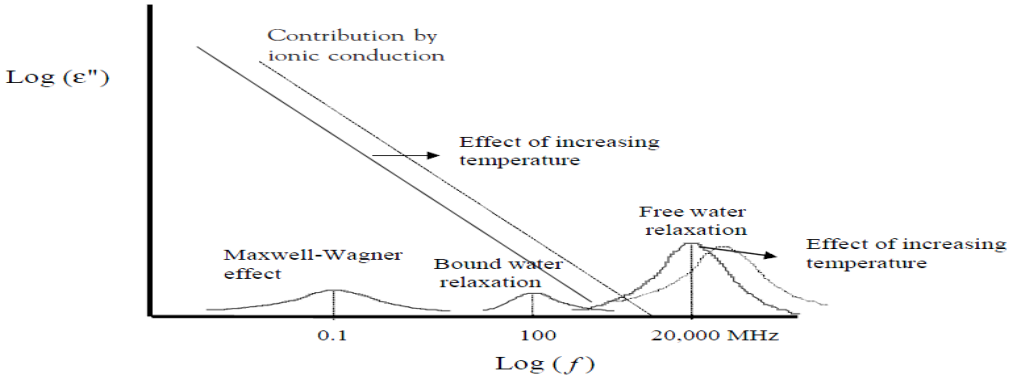
الف)پلاریزاسیون یونی:هنگامی که یک دیسپرسیون غذایی محتوی یون در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد یون های مثبت و منفی و نمک های محلول در غذا در میدان متغیر به سمت قطب مخالف حرکت کرده و این تغییر جهت مداوم منجر به تصادم یون های مهاجر می شود . تکرار تصادم یون ها منجر به تولید حرارت می شود . هر چه تعداد دفعات برخورد بیشتر باشد، انرژی جنبشی زیادتر شده و حرارت بیشتری تولید می شود.

ب)چرخش دو قطبی:این مکانیسم تولید حرارت وابسته به وجود مولکول های دوقطبی در غذا می باشد . همزمان با جذب امواج توسط ماده غذایی، مولکولهای دوقطبی مثل آب، الکل، زنجیره های جانبی پروتیی ن ها با میدان هم جهت می شوند. با معکوس شدن قطبیت میدان، مولکول ها مجددا خود را در راستای میدان تغییریافته قرار می دهند. در بسامد MHz 2450 قطبیت 45/2 میلیون سیکل بر ثانیه تغییر می کند .مولکولهای قطبی به چرخش در می آیند تا جهت خود را با قطبیتی که به سرعت در ح ال تغییر است تطبیق دهند .چرخش مولکول ها ایجاد اصطحکاک و تولید گرما می شود .پس از جذب انرژی و تبدیل آن به انرژی حرارتی حرارت توسط فرایند های جابجایی و هدایت به تمام قسمت های ماده غذایی منتقل می شود.

نتیجه گیری

عوامل موثر بر خواص دی الکتریک مواد غذایی

فرکانس: فرکانس های پایین تر، پلاریزاسیون یونی نقش عمده ای در ایجاد گرما دارد . ولی در فرکانس های مایکروویو هر دو عامل پلاریزاسیون یونی و چرخش دو قطبی در تولید حرارت نقش دارند.



شکل1: در فرکانس های مایکروویو هر دو عامل پلاریزاسیون یونی و چرخش دو قطبی در تولید حرارت نقش دارند.

دما: اثر دما بستگی به فاکتورهای زیادی شامل ترکیب غذا به ویژه آب و نمک آن، و فرکانس های مورد استفاده دارد. برای مثال آب در حالت عادی دارای فاکتور اتلاف بسیار بالایی است، در حالی که در دماهای کم که به صورت منجمد درمی آید ، به علت عدم تحرک فاکتور اتلاف ناچیز می شود .در آب تقطیر شده و غذاهای مرطوب، فاکتور اتلاف با افزایش دما در فرکانس 3000MHz کاهش می یابد.ولی فاکتور اتلاف برای محصولاتی با محتوای نمکی بالا با افزایش دما در این فرکانس افزایش می یابد.

جدول1:خواص دی الکتریک با توجه به درجه حرارت آب نشان داده شده است

Frequency, GHz	20°C		50°C	
	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
0.6	80.3	2.75	69.9	1.25
1.7	79.2	7.9	69.7	3.6
3.0	77.4	13.0	68.4	5.8
4.6	74.0	18.8	68.5	9.4
7.7	67.4	28.2	67.2	14.5
9.1	63.0	31.5	65.5	16.5
12.5	53.6	35.5	61.5	21.4
17.4	42.0	37.1	56.3	27.2
26.8	26.5	33.9	44.2	32.0
36.4	17.6	28.8	34.3	32.6

Source: Refs. 9, 10.

رطوبت: آب در فرم های مختلف یک ماده تشکیل دهنده مهم غذاهای مرطوب است . از آن جایی که ویژگی های دی الکتریک آب خالص به فرکانس، دما ...بستگی دارد، پس ویژگی های دی الکتریک غذای مرطوب هم به این عوامل بستگی می یابد. حتی در غذاهای با رطوبت کم نیز آب نقش مهم در خواص دی الکتریک دارد. آب تک لایه و چند لایه عامل اصلی گرم کردن دی الکتریک در فرکانس 20-2000MHz است.

محتوای نمک: در غذاهای مرطوب با نمک بالا، پلاریزاسیون یونی نقش اساسی را در فرکانس مایکروویو ایفا می کند، اما در غذاهای با نمک کم چرخش دو قطبی اهمیت دارد.

سایر عوامل: علاوه بر خواص دی الکتریک موادغذایی عوامل دیگری نیز بر حرارت دهی با مایکروویو اثر دارند.

دانسیته، حرارت ویژه، ضریب هدایت حرارت، گرمای نهان ذوب، گرمای نهان تبخیر، طراحی الکترود، تغییرات شدت میدان، شکل هندسی، موقعیت نمونه، توزیع درجه حرارت اولیه، دمای متوسط محیط از دیگر عوامل مهم هستند.

مراجع

1- رقامی ن.1381. تشخیص سیب‌زمینی های سالم از ناسالم با استفاده از موج فراصوتی . پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مکانیک ماشنهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

2- Guo W. Zhu X. Nelson S. Yue R. Liu H. Liu Y. 2011. Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. Food Science and Technology 44:224-230.

3- Guo W. Wang S. Tiwari G. Johnson J. Tang J. 2010. Temperature and moisture dependent dielectric properties of legume flour associated with dielectric heating Food Science and Technology 43:193-201.

4- Guo W. Nelson S. Trabelsi S. Kays S.2007. 10–1800-MHz dielectric properties of fresh apples during storage. Journal of Food Engineering 83:562-569.

5- Jensen P.D. Hartmann H. Bohm T. Temmerman M. Rabier F. and Morsing M. 2006. Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods. Biomass and Bioenergy 30:935-943.

6-Sacilik K. and Colak A. 2010. Determination of dielectric properties of corn seeds from 1 to 100 MHz. Powder Technology 203:365-370.

7-Sacilik K. Tarimci C. and Colak A. 2006. Dielectric Properties of Flaxseeds as affected by Moisture Content and Bulk Density in the Radio Frequency Range. Biosystems Engineering 93(2):153–160.

8-Sheen N.I. and Woodhead I.M. 1999. An Open-ended Coaxial Probe for Broad-band Permittivity Measurement of Agricultural Products. Agricultural Engineering Research 74:193-202