کاربرد پروب هدایت حرارتی در اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی در میوه و سبزی جات

سیده فاطمه موسوی بایگی[۱] *–مسعودتقی زاده[۲]

۱–دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهدsfmousavib@gmail.com

۲–استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

امروزه با توجه به زمان بر بودن روش های آزمایشگاهی و تعریف یک محدوده ی خاص از یک یا چند پارامتر در هنگام استفاده از معادلات تجربی، نقش روش های دستگاهی و تمایل بیشتر به استفاده از آنها نسبت به روش های قدیمی برجسته تر شده است. دستگاه های زیادی برای کمی کردن متغییر ها و آنالیز داده ها ابداع شده که یکی از آنها پروب هدایت حرارتی می باشد، که برای تعیین ضریب هدایت حرارتی است. امروزه این دستگاه توجه صنایع و علومی که مرتبط با خواص حرارتی هستند را به خود جلب کرده که یکی از آنها علوم و صنایع غذایی می باشد زیرا ضریب هدایت حرارتی یکی از پارامتر های مهم خصوصیات حرارتی مواد غذایی است که با دانستن آن می توان به پیش بینی یا کنترل شار حرارتی در طول فرآیندهایی مانند پخت، سرخ کردن، استریلیزاسیون، خشک کردن، انجماد و پاستوریزاسیون اشاره نمود. از طرف دیگر میوه و سبزی از محصولات مهم و پرکاربرد در صنایع غذایی می باشند زیرا مصرف کنندگان، آنها را هم بصورت تازه و هم به شکل فرآوری شده استفاده می کنند اما از نکات قابل توجه آنها می توان به فصلی بودن تولید ، تقاضای مصرف کنندگان در تمام فصول، حساسیت و آسیب پذیری زیاد در حین نگهداری و فرآیند و ...اشاره نمود که از عوامل محدودکننده روش انتخابی برای نگهداری و فرآیند آنها می باشد. دانستن ضریب هدایت حرارتی میوه و سبزی در حین انبارداری چه بعنوان مواد اولیه فرآیند و چه برای در اختیار قرار دادن آنها بصورت تازه برای مصرف کنندگان و یا حتی در طی فرآوری بسیار پر اهمیت می باشد به همین دلیل امروزه پروب هدایت حرارتی برای این محصولات نقشی پررنگ تری پیدا کرده است.

واژه های کلیدی: پروب هدایت حرارتی– ضریب هدایت حرارتی– میوه و سبزی

مقدمه

خواص حرارتی–فیزیکی مواد غذایی برای توصیف فرآیندهای حرارتی مختلف و همچنین طراحی و بهره برداری سیستم های گرمایش، پخت ، سیستم های انجماد و خنک کننده مورد نیاز هستند(Karunakar*et al.*, 1998).همچنیناهمیت زیادی در مدلسازی فرآیندهایی مانند (گرمایش مایکروویو، اکستروژن، انجماد و...)، طراحی تجهیزات، محاسبه میزان انرژی مورد نیاز و توسعه فرآیندهایی همچون استریلیزاسیون و سایر فرآیندهای آسپتیک دارند.علاوه بر فرآوری و نگهداری، خواص حرارتی بر کیفیت حسی مواد غذایی و همچنین صرفه جویی در مصرف انرژی فرآیندها نیز موثرند (Fontana*et al.*, 1999) .از مهم ترین خصوصیات حرارتی میتوان به ضریب هدایت حرارتی(k)، ضریب نفوذ حرارتی(D) و گرمای ویژه (C_p) اشاره کرد. ضریب هدایت حرارتی یک معیار سنجش از توانایی مواد در هدایت گرما می باشد. در مواد غذایی، هدایت حرارتی در وهله نخست وابسته به ترکیبات موجود در نمونه است البته هر عاملی که در مسیر جریان حرارتی مانند تخلخل، شکل، اندازه، آرایش فضاهای خالی، یکنواختی، فیبرها و جهت گیری آنها، قرار داشته باشد بر روی هدایت حرارتی اثر دارد (Sweat, 1986). از موارد حائز اهمیت کاربرد هدایت حرارتی می توان به پیش بینی یا کنترل شار حرارتی در مواد غذایی در طول فرآیندها اشاره نمود، این کار عمدتا برای حصول اطمینان از کیفیت محصولات غذایی و بهره وری از تجهیزات موجود صورت می پذیرد (Fontana*et al.*, 1999). اندازه گیری هدایت حرارتی را می توان توسط روش های حالت پایدار و روش های حالت گذرا انجام داد. مهاجرت رطوبت و ضرورت جلوگیری از تلفات حرارتی به محیط در طول زمان اندازه گیری از معایب روش های حالت پایدار است(Ohlsson, 1983)بعلاوه برای استفاده از روش های حالت پایدار نیاز به یک شکل هندسی و اندازه نسبتا بزرگ در نمونه است درحالی که روش های گذرا سریع تر و راحت تر از روش های پایدار هستند و برای اندازه گیری های گسترده تجربی ترجیح داده می شوند همچنین استفاده از روش های حالت گذرا سریع تر و مشکل مهاجرت رطوبت در آنها حداقل است(Sahin & sumnu,.2006) بطور کلی می توان عنوان کرد که هدف از این تحقیق، جمع آوری اطلاعات در مورد ضریب های هدایت حرارتی بدست آمده در دامنه ای خاص از دما و معادلات تجربی مطرح شده برای انواع میوه و سبزی ها است که توسط پروب هدایت حرارتی اندازه گیری شده است.

روش پروب هدایت حرارتی

پروب میله ای منبع حرارتی خطی[1] یکی از روش های گذرا[2] در تعیین هدایت حرارتی مواد است که به دلیل سادگی نسبی و سرعت اندازه گیری یکی از روش های مشهور در تعیین هدایت حرارتی می باشد. این روش شامل استفاده از شار حرارتی ثابت در یک جامد نیمه نامتناهی توسط یک میله منبع حرارتی با قطر و طول نامحدود است. افزایش دما در یک نقطه منبع حرارتی خطی، تابعی از زمان، خواص حرارتی مواد و منبع تغذیه است (Choi & Okos, 1983). سیم الکتریکی باید مقاومت پائینی داشته باشد تا افت ولتاژ موجود در آن در مقیاس با افت ولتاژ منبع حرارتی ناچیز باشد. برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی، ظرف توسط نمونه پر شده و پروب منبع حرارتی خطی در مرکز نمونه وارد می شود. ظرف در حمام آبی با دمای ثابت قرار می گیرد و در دمای اتاق به تعادل می رسد پس از ثبت دمای اولیه، پروب حرارتی با سرعت ثابتی از انرژی ورودی فعال شده و گرم می شود سپس زمان و دمای مجاور منبع حرارت خطی ثبت می شود (Sahin& sumnu,.2006). ضریب هدایتی (K) از طریق معادله فوریه به شرح ذیل بدست می آید(Kurozawaetal,.2005):

$$k = \frac{Q}{4\pi\,(T_2 - T_1)} \ln \frac{t_2}{t_1}$$

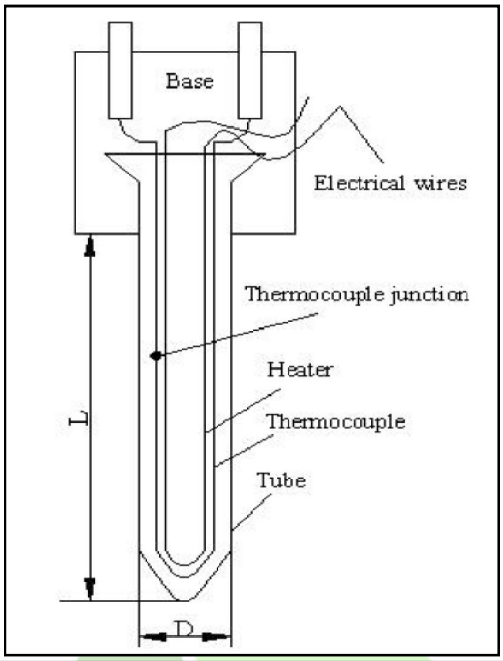
که T_2 وT_1 به ترتیب درجه حرارت در زمانهای t_2 و t_1 است. Q یا مقدار گرمای حاصل از جریان الکتریکی به ازای هرمتر سیم برابر است با:

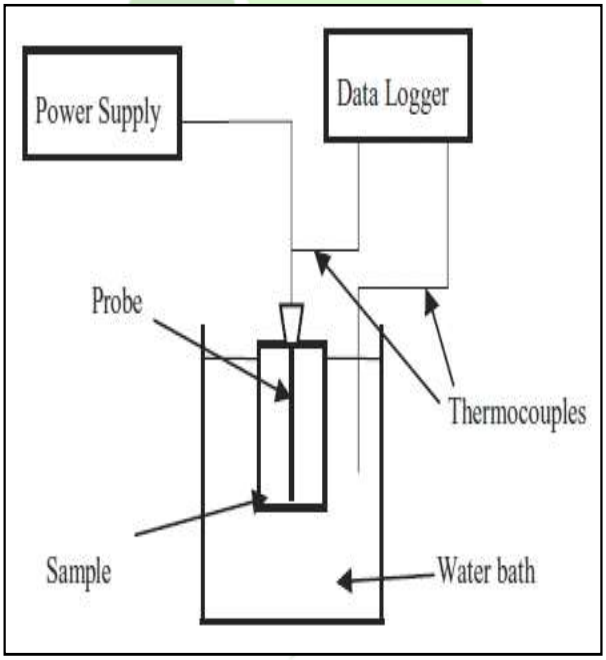
$$Q = I^2 R$$

که I (A) شدت جریان و R (Ω)مقاومت الکتریکی سیم مورد استفاده است.

برش عرضی پروب هدایت منبع حرارتی خطی و دستگاه تجربی اندازه گیری هدایت حرارتی به ترتیب در شکل های ۱ و ۲ نمایش داده شده است:

1. line heat source probe
2. Transient Methods





شکل۱ . برش عرضی پروب هدایت منبع حرارتی خطی**شکل۲ .** دستگاه تجربی اندازه گیری هدایت حرارتی

پروب هدایت حرارتی میوه و سبزی

میوه ها و سبزیجات به تنش های حرارتی و مکانیکی حساس هستند به همین دلیل نیازمند تجهیزات تخصصی فرآیندند تا آسیب به کیفیت محصولات به حداقل برسد، حتی یک تغییر فیزیکی و شیمیایی کوچک در میوه ها و سبزیجات خام بر روی رنگ، طعم، بافت تاثیر دارد بنابراین دانستن خواص حرارتی و نفوذی مواد غذایی در قالب شکل طبیعی آن مورد نیاز است(*et al*,.2012Anil). محققان زیادی به یافتند هدایت حرارتی میوه و سبزی های مختلف توسط پروب پرداختند بعنوان نمونه اگانلو (۱۹۹۹) هدایت حرارتی گوجه فرنگی، فلفل و بامیه را توسط پروب هدایت حرارتی در دمای اتاق اندازه گیری کرده و محدوده هدایت حرارتی را برای برای هر محصول را به ترتیب ۰/۴۶۲ تا ۰/۵۱۴ ، ۰/۳۷۸ تا ۰/۴۱۱ ، ۰/۴۵۶ تا ۰/۴۷۹ وات بر متر کلوین تعیین کرد. تانساکول و لومی اونگ (۲۰۰۸) هدایت حرارتی قارچ نی[3] (Volvariella volvaceae) که سومین قارچ مشهور بعد از قارچ سفید[4] و شیتیک[5] است را توسط پروب هدایت حرارتی اندازه گیری کرده و مقدار آن را ۰/۲۱۲ تا ۰/۶۶۸ وات بر متر سانتی گراد تعیین کردند همچنینتابیل و همکاران(۲۰۰۳) خصوصیات حرارتی ریشه چغنر قند را اندازه گیری و برای تعیین هدایت حرارتی از پروب هدایت حرارتی استفاده کردند، آنها عنوان کردند که مقدار هدایت حرارتی ریشه چغندر قند مشابه غده سیب زمینی و سیب پمز[6] است. برای ریشه های منجمد (میانگین دمایی ۸/۴۱- تا۱۰/۷۹- سانتی گراد) متوسط هدایت حرارتی را ۱/۱۵۷۲ وات بر متر کلوین و برای ریشه های غیر منجمد (میانگین دمایی ۱- تا ۲۴ سانتی گراد) محدوده هدایت حرارتی را از ۰/۵۲۴۶ تا ۰/۶۰۵۲ وات بر متر کلوین تعیین کردند و از داده ها به این نتیجه رسیدند که هدایت حرارتی ریشه های منجمد حدود دو برابر ریشه های غیر منجمد است که این روند شبیه به آب است بطوری هدایت حرارتی یخ چهار برابر آب است .فاسینا و فلمینگ (۲۰۰۱) ویژگی های انتقال حرارت خیار را در طی بلانچینگ بررسی کرده و برای تعیین هدایت حرارتی در محدوده دمایی ۲۰ تا ۹۵ درجه سانتی گراد از پروب استفاده و مقدار عددی آن را ۰/۶۲ وات بر متر کلوین تعیین کردند .کوروزاوا و همکاران(۲۰۰۵) در تعیین هدایت حرارتی به روش پروب در میوه پاپایا که نوعی میوه گرمسیری است در محدوده دمایی ۲۰ و ۴۰درجه سانتی گراد، هدایت حرارتی را ۰/۵۸ تا ۰/۶۲ وات بر متر سانتی گراد تعیین کردند.در یک تحقیق دیگر کوروزاوا و همکاران (۲۰۰۸) هدایت حرارتی پاپایا و سیب بادام زمینی[7] توسط پروب هدایت حرارتی اندازه گیری کردند، آنها هدایت حرارتی را برای پاپایا در دامنه دمایی ۲۰ تا ۴۰سانتی گراد، ۰/۵۸ تا ۰/۶۲ وات بر متر سانتی گراد و برای سیب در دامنه دمایی ۲۵ تا ۴۵

3. Straw Mushroom
4. White Mushroom
5. Shiitake Mushroom
6. Apple Pomes
7. Cashew Apple

سانتی گراد، ۰/۵۷ تا ۰/۶۱ وات بر متر سانتی گراد تعیین کردند. آنیل و همکاران (۲۰۱۲) هدایت حرارتی دو واریته کدوی قلیایی[8] در محدوده دمایی ۰تا ۴۵ درجه سانتی گراد اندازه گیری کردند، دامنه هدایت حرارتی واریته *Cucumis sativus* بین ۰/۳۶تا ۰/۵۶ و واریته *Luffa acutangula* در محدوده ۰/۳۰ تا ۰/۴۲وات بر متر کلوین بدست آوردند، همچنین مشاهده کردند که در دمایی نزدیک به دمای اتاق، با افزایش دما هدایت حرارتی کاهش می یابد.محمودی و کیان مهر(۲۰۰۸) برای تعیین هدایت حرارتی بافت بیرونی و میانی انار دو واریته آلاک و آقامد–علی[9] در دامنه دمایی ۵ تا ۲۰ سانتی گراد از پروب هدایت حرارتی استفاده کرده و هدایت حرارتی را برای بافت بیرونی و میانی به ترتیب ۰/۱۵ تا ۰/۴۲ و ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ وات بر متر سانتی گراد تعیین کردند .دهکردی و همکاران(۱۳۹۰) هدایت حرارتی پوست و پی اناروواریته آلک(شکل ۳) را توسط پروب هدایت حرارتی در چهار دمای (۳، ۸، ۱۳و ۱۸) درجه سانتی گراد اندازه گیری کردند، مقادیر هدایت حرارتی برای پوست و پی به ترتیب در محدوده ۰/۱۵۲۴ تا ۰/۴۲۱۸و ۰/۱۴۱۸ تا ۰/۴۵۱ وات بر متر کلوین تعیین شد آنها با استفاده از مقادیر بدست آمده هدایت حرارتی انار بر حسب دما و رطوبت معادلات رگرسیونی روابط تجربی ذیل را بدست آورده و عنوان کردند مقدار رطوبت در مقایسه با دما اثر بیشتر بر هدایت حرارتی دارد، ضریب بالای مقدار رطوبت در روابط رگرسیون نیز این موضوع را تائید می کند.

رابطه رگرسیون هدایت حرارتی پی انار (معادله ۲)

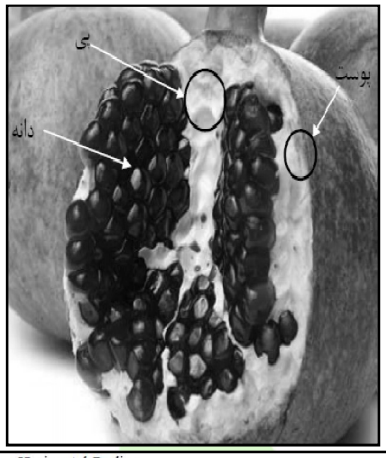
$$K = 0.0772 + 3.4 \times 10^{-4}T^2 + 0.0238\,(M_c) + o.226\ \ M_c^{\cdot 2}$$

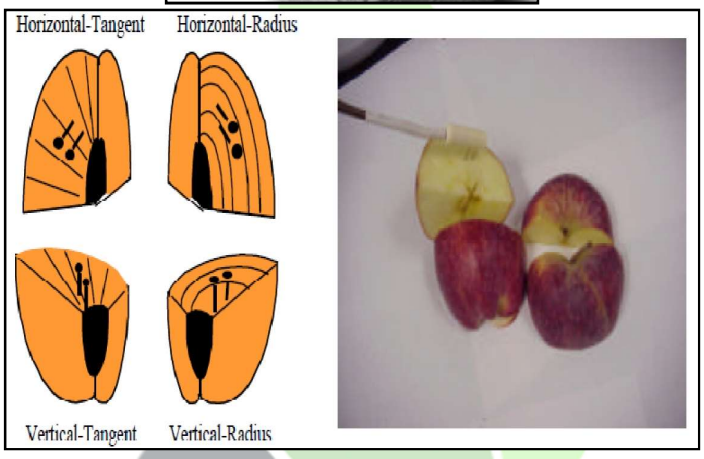
رابطه رگرسیون هدایت حرارتی پوست انار (معادله ۳)

$$k = 0.1276 + 3.14 \times 10^{-4}T^2 - 0.211\,(M_c) + 0.902(M_c)^2$$

فونتانا و همکاران (۱۹۹۹) مقدار ضریب هدایت حرارتی سیب قرمز[10] و طلایی[11] دلیشز را که توسط پروب هدایت حرارتی تک سوزن و دوسوزن پالس حرارتی(DNHP)[12](شکل۴) در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد اندازه گیری ، مقدار عددی آن را به ترتیب برای تک سوزنه ۰/۰۴۴ ± ۰/۴۳ و ۰/۰۴۴ ± ۰/۴۶ وات بر متر سانتی گراد و برای دوسوزن پالس حرارتی به ترتیب ۰/۰۲۳ ±۰/۴۲ و ۰/۰۲۰ ± ۰/۴۵ وات بر متر سانتی گراد گزارش کردند.

8. Cucurbit
9. Alak And Aghamad-Ali
10. Red Deliciousapple
11. Golden Delicious apple
12 . Dual Needle Heat-Pulse





شکل۳ . اجزای مختلف انار **شکل۴ .**اندازه گیری هدایت حرارتی سیب توسط پروب DNHP

هدایت حرارتی اندازه گیری شده برای میوه و سبزی ها توسط پروب هدایت حرارتی در جدول۱ بطور خلاصه آورده شده است:

جدول ۱. مقدار هدایت حرارتی انواعی از میوه و سبزی توسط پروب هدایت حرارتی

محصول	دامنه دمای(°C)	هدایت حرارتی	منبع
سبزی جات			
بامیه	اتاق	۰/۴۷۹– ۰/۴۵۶ W/mK	(Ogunlowo. A. S. 1999)
فلفل	اتاق	۰/۴۱۱– ۰/۳۷۸ W/mK	
گوجه فرنگی	اتاق	۰/۵۱۴– ۰/۴۶۲W/mK	
قارچ نی (*Volvariella volvaceae*)	۵۰– ۸۰	۰/۶۶۸ –۰/۲۱۲ W/m°C	(Tansakul, A and Lumyong, R. 2008)
ریشه های منجمد چغندر قند	۸/۴۱– الی –۱۰/۷۹	۱/۱۵۷۲ W/mK	(Tabil*etal*,.2003)
ریشه های غیر منجمد چغندر قند	۱– الی ۲۴	۰/۶۰۵۲ –۰/۵۲۴۶ W/mK	
میوه جات			
خیار	۲۰– ۹۵	۰/۶۲W/mK	(Fasina, O, O and Fleming, H, P. 2001)
بافت بیرونی انار (*Alak and Aghamad-ali variety*)	۵– ۲۰	۰/۴۲ –۰/۱۵ W/m°C	(Mahmoodi, M and Kianmehr,M ,H 2006)
بافت میانی انار (*Alak and Aghamad-al variety*)	۵– ۲۰	۰/۴۵ –۰/۱۵ W/m°C	
بافت بیرونی انار(*Alak variety*)	۳– ۱۸	۰/۴۲۱۸ –۰/۱۵۲۴W/mK	(Hashemi Fard*et al,.2011)*
بافت میانی انار(*Alak variety*)	۳– ۱۸	۰/۱۴۱۸ –۰/۴۵۱W/mK	
پاپایا(*Carica Papaya L.*)	۲۰– ۴۰	۰/۶۲ –۰/۵۸ W/m°C	(Kurozawa*et al*,.2005)
سیب بادام زمینی (*Anacardium*	۲۵– ۴۵	۰/۶۱ –۰/۵۷ W/m°C	(Kurozawa*et al*,.2008)

Occidentale L.) پاپایا	۴۰ –۲۰	۰/۶۲ –۰/۵۸ W/m°C	
کدوقلیایی (*Cucumis sativusvariety*) کدوقلیایی (*Luffa acutangula variety*)	۰ –۴۵ ۰ –۴۵	۰/۵۶ –۰/۳۶ W/mK ۰/۴۲ –۰/۳۰ W/mK	(Anil*etal*,.2012)
سیب قرمز سیب طلایی	۲۳ ۲۳	۰/۴۳ ± ۰/۰۴۴ W/m°C /۴۶ ± ۰/۰۴۴ W/m°C	(Fontana*et al*,.1999)

نتیجه گیری

دانش خواص حرارتی و چگونگی تغییر این خواص در طی فرآیند بعنوان تابعی از دما دارای اهمیت زیادی در فرآیندهای انتقال حرارت می باشد(Anil*et al*,.2012).روش پروب در بسیاری از مواد غذایی بعلت تجربی بودن، زمان کوتاه، سادگی، کافی در اندازه کوچک نمونه کاربرد زیادی دارد(Voudouris & Hayakawa, 1994).از مزایای پروب میله ای منبع حرارتی می توان به سرعت روش اشاره کرد، سوئیت (۱۹۸۶) گزارش کرده است که زمان اندازه گیری از ۳ ثانیه برای مایعات و ۱۰تا ۱۲ ثانیه برای مواد غذایی جامد است. لیانگ و همکاران(۱۹۹۹) روش پروب هدایت حرارتی را برای اندازه گیری هدایت حرارتی میوه های جامد و سبزی ها روشی رضایت بخش تلقی کردند پروب هدایت حرارتی در سایر تکنولوژی های علوم و صنایع غذایی کاربرد دارد بطوری که پان و پائول سینگ(۲۰۰۱) هدایت حرارتی گوشت چرخ کرده را در طی پختن توسط پراب هدایت حرارتی در محدوده دمایی ۵ تا ۷۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری و دامنه ۰/۳۵ تا۰/۴۱ وات بر متر سانتی گراد اعلام کردند. دلوی و همدمی(۲۰۱۱)هدایت حرارتی پنیر اولترافیلتراسیون ایرانی(*IUFWC*[13]) را توسط پروب اندازه گیری و مقدار عددی آن را۰/۴۸۰ تا ۰/۴۴۷ تعیین کردند .بایک و همکاران(۱۹۹۹) هدایت حرارتی کیک فنجانی[14] در طی پخت را توسط پروب هدایت حرارتی اندازه گیری کرده و مقدار آن را ۰/۱۰۶۴ تا۰/۲۰۶۴ وات بر متر کلوین گزارش کردند. از قابلیت های دیگر هدایت حرارتی، استفاده از آن در دماها و فشارهای بالا می باشد بطوری که راماسوامی و همکاران (۲۰۰۷) هدایت حرارتی مواد غذایی سیال در فشار بالاتر از ۷۰۰ مگاپاسگال اندازه گیری کرده اند در دیگر علوم کشاورزی مانند علوم دام و مهندسی خاک

13. Iranian Ultrafiltrated White Cheese
14.Cup Cake.

کاربرد دارد بطوری که صادقی(۲۰۱۲) برای تعیین هدایت حرارتی در نوعی خوراک[15] که برای دام و آبزیان کاربرد زیادی به دلیل فراهم آوردن مزایای فیزیکی و تغذیه ای جانور دارد از پروب هدایت حرارتی استفاده کرده است. بطور کل مدلسازی،بهینهسازیوخودکارکردنفرآیندهایموادغذاییبهعلتپیچیدگیموادخامتشکیلدهندهمحصولکهخواصحرارتی - فیزیکیراتحتتاثیرقرارمیدهند،مشکلمیباشدبهعلاوهخواصحرارتی -

فیزیکیموادغذاییباتغییردماودرصدمادهجامدموجوددرمادهتغییراساسیمییابند(روستاپور و همکاران، ۱۳۹۱)به همین دلیل استفاده از پروب هدایت حرارتی برای یافتن ضریب هدایت حرارتی بسیاری از مشکلات را می تواند مرتفع سازد.

منابع

۱. روستاپور، ا، ر. جوکار، ا. گازر، ح، ر. جوکار، ل. ۱۳۹۱. تاثیردرصدمادهجامدمحلولودمابرخواصحرارتی - فیزیکیآب انارشفاف. فصلنامهعلوموصنایعغذایی. شماره۳۷،دوره۹،زمستان۱۳۹۱

۲. هاشمی فرد دهکردی، س،ح. الماسی، م. مهران زاده، م. ۱۳۹۰ تعیین گرمای ویژه و هدایت حرارتی انار (رقم آلک)، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۱۲،شماره ۴، ص ۷۲-۶۱

3. Anil, K. Rani, C.R and Pradeep.K. 2012. Effective Thermal Conductivity of Cucurbit as a Function of Temperature by Thermal Probe Method. Research Journal of Recent Sciences. Vol. 1(10), 33-36.
4. Baik, O. D. Sablani, S. S. Marcotte, M. and Castaigne, F. 1999. Modeling the Thermal Properties of a Cup Cake During Baking. Institute of Food Technologists, Journal Of Food Science , Volume 64, No. 2 . ,page 295-299.
5. Choi, Y. and M.R. Okos. 1983. The thermal properties of tomato juice concentrates.Transactions of the ASAE Vol. , pp. 305-311.
6. Dalvi, M. Hamdami, N. 2011. Characterization of Thermophysical Properties of Iranian Ultrafiltrated White Cheese: Measurement and Modeling. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 13: 67-78.
7. Fasina, O, O. Fleming, H, P. 2001. Heat transfer characteristics of cucumbers during blanching. Journal of Food Engineering 47.p. 203-210.
8. Fontana, A.J. Varith, J. Ikediala, J. Reyes, J. and Wacker, B. 1999. Thermal Properties Of Selected Foods Using A Dual Needle Heat-Pulse Sensor. An ASAE Meeting Presentation,. Paper No. 996063.
9. Karunakar, B., Mishra, S. K., and Bandyopadhyay, S. 1998. Specific heat and thermal conductivity of shrimp meat. J. Food Eng. 37, 345-351.
10. Kurozawa,L,E. Park,K,J. Azoubel,P,M. 2008. Thermal Conductivity And Thermal Diffusivity Of Papaya (Carica Papaya L.) And Cashew Apple (Anacardium Occidentale L.). Braz. J. Food Technol., v. 11, n. 1, p. 78-85.
11. Kurozawa , L. E. El-Aouar , A. A. Simões , M. R. Azoubel , P. M. . Murr, F. E. X.2005. Determination Of Thermal Conductivity And Thermal Diffusivity Of Papaya (Carica Papaya L.) As A Function Of Temperature.2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering-4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering.
12. Liang, X, G. Zhang, Y. Ge, X. 1999. The measurement of thermal conductivities of solid fruits and vegetables. Meas. Sci. Technol. 10 (1999) N82–N86.

15. Pelleted

13. Mahmoodi, M. Kianmehr, M, H. 2008. Determination and Comparison of Thermal Conductivity of Iranian Pomegranate Varieties. 18th national congress on food technology.1-5.
14. Ogunlowo. A. S. 1999. Thermal Conductivity Of Some Vegetable Crops As Affect By Bulk Density And Moisture Content. West Indian Journal Of Engineering. Vol.22 , No.1 , 49-57.
15. Ohlsson, T. (1983). The measurement of thermal properties. In R. Jowitt (Ed.), Physical Properties of Foods. London: Applied Science.
16. Pan, Z. and Paul Singh, R. 2001. Physical and Thermal Properties of Ground Beef During Cooking. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 34, 437-444.
17. Ramaswamy,R . Balasubramaniam,V.M. Sastry, S.K. 2007. Thermal conductivity of selected liquid foods at elevated pressures up to 700 MPa. Journal of Food Engineering 83. p.444–451.
18. Sahin, S. Sumnu, S, G. 1999. Physical properties of foods. Middle East Technical University, 125- 126
19. Sadeghi, A. 2012. Thermal Conductivity of Feed Pellets. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 14: 975-984.
20. Sweat, V.E. 1986. Thermal properties of foods. in "Engineering properties of foods", Rhao, M. and S.S.H. Rizvi (ed.), Marcel Dekker, New York.
21. Tabil, G, L. Eliason, M, V. Qi, H. 2003. Thermal Properties of Sugarbeet Roots. Journal of Sugar Beet Research. Vol40. No4.209-228
22. Tansakul, A. Lumyong, R. 2008. Thermal properties of straw mushroom. Journal of Food Engineering 87 .p. 91–98.
23. Voudouris, N.; Hayakawa, K. (1994). Simultaneous determination of thermal conductivity and diffusivity of foods using apoint heat source probe: a theorical analysis. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 27, 522.

Application of thermal conductivity probe for measuring the thermal conductivity in fruits and vegetables

S.Fatemeh Mousavi.B[1]- Masoud Taghizadeh[2]

1- M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, sfmousavib@gmail.com
2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract:

Today, due to being time-consuming of laboratory methods and defining specific limit of one or more parameters when using empirical equations, the role of instrumental methods and more willing to use them than old methods was become more prominent. Many devices and instruments have been developed for quantizing variables and analyzing data, one of which is thermal conductivity probe for determining the thermal conductivity coefficient. Nowadays this device has received the attention of industries and sciences that are related to the thermal properties, which one of them is Food Science and Technology.Because the thermal conductivity coefficient is one of important thermal properties of foods that by knowing it, it is possible to predict or control the heat flux during processes such as cooking, frying, sterilization, drying, freezing and pasteurization. On the other hand, fruit and vegetable are the most important and useful in the food industry.Because consumers use them in both fresh and processed butit can be said their important notes such as the seasonality of their production, consumer demand in all seasons, high sensitivity and vulnerability during storing and processing and etc. that the limiting factor is the chosen method for storing and processing them.Knowing the thermal conductivity coefficient of fruitsand vegetablesduring storage as raw material for the process or as giving them fresh for consumers or even during processing is very important so for this reason, the thermal conductivity probe for th products has found highlightedroletoday.

Keywords: Thermal conductivity probe - Thermal conductivity- Fruitsand vegetables