

کاربرد حرارت دهی اهمیت در مواد غذایی

*مهدی جلالی حیوان^۱، محمد سعید یارمند^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران؛ jalali.jl@ut.ac.ir
^۲استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران؛ Email: myarmand@ut.ac.ir

چکیده

حرارت دهی اهمی (OH) به عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن جریان الکتریکی از میان بافت ماده‌ی غذایی به منظور حرارت دهی به آن، عبور داده می‌شود. از آنجا که در این روش حرارت دهی، به محض اعمال فرایند، حرارت به طور همزمان و مستقیماً در تمامی مولکول‌های ماده‌ی غذایی پخش می‌شود در نتیجه نیازی به انتقال حرارت از سطح مشترک جامد - مایع یا به درون ذرات جامد غذا وجود ندارد. در واقع حرارت دهی اهمی یک روش فرآوری حرارتی پیشرفته است که در آن مواد غذایی بعنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند، که بوسیله عبور جریان الکتریسیته از درون آن گرم می‌شود. طی این عمل انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل شده و در نتیجه حرارت دهی سریع و یکنواختی اتفاق می‌افتد. به حرارت دهی اهمی، حرارت دهی مقاومت الکتریکی^۱ گفته می‌شود.

این روش کاربردهای مختلفی در صنعت غذا دارد که از جمله آنها می‌توان به کاربرد آن در آبگیری از غذاها (خشک کردن مواد غذایی)، تبخیر آب مواد غذایی برای کاهش سطح رطوبت مواد غذایی جهت به تاخیر انداختن شروع فساد شیمیایی و میکروبی مواد غذایی، بلانچینگ غذاها، تخمیر، استخراج، استریلیزاسیون، پاستوریزاسیون و حرارت دهی غذاها در حد پیش تیمار برای فرایندهای اصلی حرارت-دهی و ... اشاره کرد.

کلمات کلیدی: خشک کردن، حرارت دهی اهمی

مقدمه

حرارت دادن یکی از قدیمی ترین روش های فرآوری مواد غذایی است که توسط بشر به مدت هزاران سال در زمینه‌های مختلف فرآوری غذا از جمله خشک کردن غذاها استفاده شده است. با این وجود، فن آوری مورد استفاده برای حرارت دادن مواد غذایی به منظور فرآوری آن ها، در طول قرن بیستم تحول شگرف یافت، که تا زمان حال نیز ادامه دارد. بویژه اینکه در روش‌های سنتی حرارت دهی مواد غذایی، انتقال حرارت از محیط مایع به جامد باعث افت کیفیت محصول می‌شود. بنابراین باید به دنبال روش‌هایی باشیم که باعث تولید حرارت در داخل ماده غذایی می‌شوند. فناوری‌هایی نظیر حرارت دهی اهمی، دی الکتریک (که شامل حرارت دهی مایکروویو و حرارت دهی فرکانس رادیویی) و حرارت دهی القایی، توسعه یافته اند، که می‌توانند حداقل بطور جزئی جایگزین روش های حرارتی

سنتی شده که اصولاً بر پایه انتقال حرارت به روش هدایت، جابجایی و تشعشع هستند.

وقتی که ماده‌ی غذایی حاوی آب و الکترولیت کافی جهت عبور جریان الکتریسیته باشد حرارت دهی اهمی می‌تواند برای تولید حرارت در درون غذا استفاده شود [1]. حرارت دهی اهمی معمولاً به عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن جریان الکتریسیته (معمولاً از نوع متناوب) با هدف گرم کردن ماده‌ی غذایی از درون آن عبور می‌کند [2]. در این روش، حرارت دهی در درون غذا در اثر تبدیل انرژی درونی (از حالت الکتریسیته به حرارت) صورت می‌گیرد [3]. با استفاده از این تکنیک می‌توان مواد غذایی را با سرعت بالایی در عرض چند ثانیه تا چند دقیقه حرارت دهی کرد [4]. همچنین تحت شرایط خاصی می‌توان با این تکنیک غذاهای دارای قطعات بزرگ و بخش مایع را با سرعت قابل قبولی حرارت دهی کرد که وجود این مزیت برای این تکنیک می‌تواند مزایای دیگر مثل افزایش کیفیت ماده‌ی غذایی خشک شده، امکان استفاده از این روش به عنوان فرایند حرارت دهی دمای بالا-زمان کوتاه^۲ و فرایند فرا دما دهی^۳ به همراه داشته باشد [5].

ساز و کار سیستم گرمایش اهمی

ماده غذایی به داخل یک لوله عمودی که دارای مجموعه ایی از الکترودها است و به عنوان هیتر عمل می‌کند، پمپ می‌شود و در آن حرارت می‌بیند تا به دمای فرآیند برسد. این محفظه ها از پلی تترافلورو اتیلن^۴ ساخته شده و توسط لوله های رابط از جنس استیل ضد زنگ که قسمت داخلی آن توسط یک لایه عایق پوشیده شده به هم متصل می‌شوند. جنس این لایه عایق پلی اتر اترکتون^۵ و پلی وینیلیدین فلوراید^۶ یا شیشه است. در شکل‌های یک و دو به ترتیب شمای ساده و شمای کلی دستگاه حرارت دهی اهمی نشان داده شده است.

2 - High Temperature Short Time (HTST)

3 - Ultra high Temperature(UHT)

4 - poly tetra fluoro ethylene (PTEE)

5 - Polyether ether ketone (PEEK)

6 - Poly vinylidene fluoride(PVDF)

1 - electrical resistance heating

مقاومت ماده غذایی، جریانی که در محصول ایجاد می شود را تعیین می کند:

$$R=V/I \quad (3)$$

هر محصولی داری چگالی جریان بحرانی است و اگر از آن حد تجاوز کند احتمالاً در گرم کننده جرقه می زند .

$$I_d=I/A \quad (4)$$

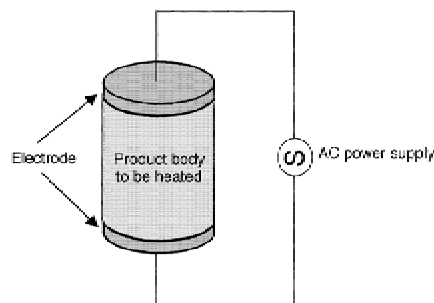
بنابراین حداقل سطح برای الکتروود ها را می توان محدود کننده چگالی جریان به حساب آورد و حداکثر جریان موجود نیز به همین صورت عمل می کند. همانطور که مقاومت توسط سطح الکتروودها تعیین می شود فاصله بین الکتروودها می تواند محاسبه شود. طراحی گرم کننده برای محصولات که دارای مقاومت الکتریکی ویژه یکسان هستند مهم است و نمی تواند برای دیگر محصولات، بدون تغییر استفاده شود.

طراحی گرم کننده اهمی می بایست خصوصیات محصول خاصی که حرارت می بیند را در برداشته باشد، به دلیل اینکه خود محصول بعنوان یک جزء الکتریکی است. بنا بر این حرارت دهنده های اهمی برای کاربردهای خاص بکار برده می شوند، که برای این منظور عوامل زیر باید در نظر گرفته شود:

نوع محصول (مقاومت الکتریکی و تغییر در مقاومت در طی افزایش دما پیش بینی شود)، سرعت جریان، افزایش درجه حرارت (قدرت مورد نیاز را تعیین می کند)، سرعت حرارت دهی مورد نیاز، زمان نگهداری مورد نیاز، اندازه و شکل ذرات و قطعات، نسبت مواد جامد به مایع، ویسکوزیته اجزاء مایع، هدایت حرارتی، مقدار و نوع الکترولیت ها، pH و گرمای ویژه. در جدول یک، رسانایی الکتریکی بعضی از مواد غذایی آورده شده است.

جدول ۱- رسانایی الکتریکی بعضی از مواد غذایی در دمای ۱۹ درجه سلسیوس [6]

غذا	رسانایی الکتریکی (s/m)
سیب زمینی	۰/۰۳۷
هویج	۰/۰۴۱
نخود فرنگی	۰/۱۷
گوشت گوساله	۰/۴۲
محلول نشاسته (۰/۵/۵)	
- با ۰/۲٪ نمک	۰/۳۴
- با ۰/۵۵٪ نمک	۱/۳
- با ۰/۲٪ نمک	۴/۳



شکل ۱: شمای ساده حرارت دهی اهمی



شکل ۲: شمای کلی یک دستگاه حرارت دهی اهمی

برای اطمینان از پر بودن دائم ستون یک شیر تخلیه هوا در بالای هیتر نصب می شود. برای جلوگیری از به جوش آمدن محصولات در حال فرآیند در ستون لازم است فشار برگشتی نسبتاً بالایی بر سیستم اعمال شود. برای محصولات اسیدی که در دمای ۹۵-۹۰ درجه فرآیند می شوند فشار ۲ بار و برای محصولات کم اسید که در دمای ۱۴۰-۱۲۰ درجه فرآیند می شوند فشار ۴ بار اعمال می شود. غذاهایی که حاوی آب و نمک های یونی اند، قادر به هدایت الکتریکی اند، و همچنین آن ها دارای مقاومت هستند و هنگامی که یک جریان الکتریکی از آن ها عبور کند، حرارت ایجاد می شود. مقاومت الکتریکی یک ماده غذایی عامل مهمی در تعیین سرعت گرم شدن آن است. مقاومت الکتریکی مواد غذایی با استفاده از یک مولتی متر که در تماس با یک ظرف هدایت سنجی است، اندازه گیری می شود. مقاومت اندازه گیری شده با استفاده از معادله یک به هدایت تبدیل می شود:

$$\delta = (1/R)*(L/A) \quad (1)$$

داده های رسانایی الکتریکی مواد غذایی نسبتاً کم است، اما محدوده خیلی بزرگتری نسبت به رسانایی حرارتی دارد. رسانایی الکتریکی می تواند از ۱۰۸ s/m برای مس تا ۸-۱۰ s/m برای یک ماده عایق نظیر چوب متغیر باشد. برخلاف فلزات ، که مقاومت شان با افزایش دما بیشتر می شود، مقاومت الکتریکی مواد غذایی ۲-۳ برابر در دمای بیش از ۱۲۰ درجه سلسیوس پائین تر می آید. مقاومت الکتریکی همچنین می تواند در جهات مختلف متغیر باشد (مثل موازی یا متقاطع با ساختار سلولی).

مطابق معادله دو، مقاومت در گرم کننده اهمی بستگی به مقاومت ویژه محصول و شکل گرم کننده دارد:

$$R = (R_s * X) / A \quad (2)$$

همان طور که در جدول بالا دیده می شود، رسانایی سبزیجات کمتر از بافت ماهیچه است و این به ترتیب نسبت به رسانایی سس یا آب گوشت کمتر است.

ویژگی خیلی مهم حرارت دهی اهمی سرعت ایجاد حرارت است که علاوه بر مقاومت الکتریکی محصول، به ظرفیت حرارتی ویژه هر جزء، روشی که ماده غذایی در تجهیزات جریان دارد و زمان باقی ماندن در گرم کننده بستگی دارد. اگر دو جزء دارای مقاومت مشابه باشند، بخش جامد با رطوبت کمتر سریع تر از مایع حامل گرم می شود که در روش های سنتی این امر امکان پذیر نیست. از اینرو حرارت دهی مواد غذایی مایع حاوی قطعات جامد و مواد غذایی مایع با ویسکوزیته ی بالا یکی از پتانسیل های بسیار مهم تکنیک حرارت دهی اهمی در صنعت غذاست [7].

در حرارت دهنده های متداول، جریان اغتشاشی برای ایجاد اختلاط در محصول و حفظ حداکثر شیب (گرادیان) حرارتی و ضریب انتقال جرم نیاز است. در حالی که در حرارت دهنده اهمی، جریان الکتریکی از داخل محصول با سرعت زیاد عبور کرده و گرادیان دمایی وجود ندارد، بنابراین درجه حرارت بصورت یکنواخت از سطح مقطع جریان می گذرد.

سرعت جریان محصول در مقایسه با سرعت جریان الکتریکی قابل صرف نظر کردن است، اما اگر سرعت جریان بطور یکنواخت از سطح مقطع عبور نکند، سرعت خیلی بالای گرم شدن باعث می شود که ماده غذایی با سرعت کمتر بطور قابل توجهی گرم تر شود. به همین دلیل اطمینان از شرایط جریانی یکنواخت در گرم کننده مهم است. نوع پمپی که استفاده می شود بایستی جریان مداوم مواد بدون نوسان را فراهم آورد، در غیر این صورت منجر به افزایش زمان نگهداری در لوله و حرارت دهی نامناسب و متغیر خواهد شد.

غلظت های پائین ذرات جامد نیاز به ویسکوزیته بالاتر مایع حامل دارند که ذرات در سوسپانسیون نگه داشته شوند. دانسیته ذرات باید با مایع حامل هماهنگ باشد، اگر ذرات خیلی متراکم و چگال باشند یا مایع به اندازه کافی ویسکوز نباشند، ذرات در سامانه ته نشین می شوند و بیش از حد فرآیند می شوند. بر عکس اگر ذرات به اندازه ای سبک باشند که شناور شوند، این منجر به تغییر در ترکیب محصول شده و احتمال فرآیند نشدن به اندازه کافی وجود دارد.

روش حرارت دهی اهمی برای فرآیند کردن مواد دارای ذرات ریز بصورت UHT مناسب است. سرعت حرارت دهی به ذرات جامد در داخل فاز مایع در حرارت دهی به روش اهمی بستگی به دو عامل؛ رسانایی نسبی دو فاز و نسبت حجم دو فاز دارد [8]. اگر در یک ماده غذایی دو جزئی، حاوی مایع و ذرات ریز، ذرات دارای مقاومت الکتریکی پائین تری باشند، آن ها با سرعت بیشتری گرم می شوند. این در حرارت دهی متداول ممکن نیست به زیرا رسانایی حرارتی پائین غذاهای جامد، نفوذ حرارت به مرکز قطعات را آهسته می کند. بنابراین حرارت دهی اهمی می تواند برای غذاهای ویژه تحت شرایط

استریل UHT استفاده شود، بدون اینکه به مایع حامل صدمات حرارتی برساند یا باعث پخت بیش از حد اطراف ذرات شود.

تاثیر حرارت دهی اهمیک بر میکروارگانیسم ها

ساز و کار اصلی غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها تحت حرارت دهی اهمیک مطمئناً مربوط به اثرات حرارت است. با این حال، وجود میدان الکتریکی نیز می تواند اثرات غیر حرارتی ضعیفی روی میکروارگانیسم ها داشته باشد [9,10,11]. به این صورت که وجود میدان الکتریکی در روش حرارت دهی اهمی با فرکانس پائین (۵۰ الی ۶۰ هرتز) ممکن است به دیواره ی سلول ها اجازه برادار شدن داده و باعث ایجاد منافذی در غشاء سلولی^۷ شود، که در مطالعات بیولوژی مولکولی با تغییر شکل سلول ها با این روش، انتقال مواد مغذی به داخل سلول سریع تر و کارا تر شده و بنابراین فاز نهفتگی^۸ را کاهش دهند. و در نتیجه فاکتور D_v (مدت زمان بر حسب دقیقه برای کاهش یک سیکل لگاریتمی به عبارتی ۹۰٪ جمعیت اولیه میکروبی در یک دمای معین و تحت شرایط معین) مشاهده شده برای میکروارگانیسم در طی فرآیند حرارت دهی اهمی نسبت به روش های حرارت دهی سنتی پائین تر بوده که در کارخانجات مواد غذایی برای کاهش زمان فرآوری ماست و تولید پنیر و امثال این ها می توان از این ویژگی حرارت دهی اهمی استفاده کرد.

تاثیر حرارت دهی اهمیک بر آنزیم ها

مطالعه ایی که بر روی اثرات حرارت دهی اهمی بر سینتیک از بین رفتن لیپواکسیژناز، پلی فنل اکسیداز، پکتیناز، فسفاتاز قلیایی، بتا گالاکتوزیداز انجام شده است نشان داد که میدان الکتریکی اثر مضاعفی بر غیر فعال شدن لیپواکسیژناز و پلی فنل اکسیداز دارد، بدین صورت که مدت زمان تیمار کوتاه تری برای رسیدن به میزان غیر فعال سازی یکسان نیاز است؛ بنابراین اثرات منفی حرارت در دیگر ترکیبات مواد غذایی کاهش می یابد.

در مورد پکتیناز، فسفاتاز قلیایی و بتا گالاکتوزیداز بنظر می آید میدان الکتریکی تأثیری بر غیر فعال شدن این آنزیم ها نداشته و اثرات آن مشابه حرارت دهی های متداول است. محققان چنین نتیجه گرفتند که وجود میدان الکتریکی امکان دارد گروه های پروستتیک فلزی را تخریب کند، و به این صورت باعث تشدید در کاهش فعالیت آنزیم ها شود. این گروه ها در لیپواکسیژناز و پلی فنل اکسیداز وجود دارند ولی در پکتیناز، فسفاتاز قلیایی و بتا گالاکتوزیداز وجود ندارند.

تاثیر حرارت دهی اهمیک بر ویتامین ها

نتایج مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که سینتیک از بین رفتن ویتامین ها تحت شرایط حرارت دهی اهمی و وجود میدان های

⁷ - Electroporation

⁸ - Lag Phase

الکتریکی با شدت پائین، مشابه سینتیک از بین رفتن آن ها در فرآوری های حرارتی متداول می باشد.

مقایسه حرارت دهی اهمی با مایکروویو

حرارت دهی اهمی کارایی بیشتری نسبت به حرارت دهی مایکروویو دارد به دلیل اینکه تقریباً تمامی انرژی وارد شده به ماده غذایی بصورت گرما در می آید. دیگر تفاوت مهم این است که حرارت دهی مایکروویو و امواج رادیویی دارای عمق محدود نفوذ به داخل ماده غذایی اند، در حالی که حرارت دهی اهمی این محدودیت را ندارد. با این وجود حرارت دهی مایکروویو نیاز به تماس با ماده غذایی ندارد، در حالی که حرارت دهی اهمی نیاز دارد که الکترودها کاملاً در تماس با ماده غذایی باشند. بطور عملی ماده غذایی می بایست مایع باشد یا دارای بخش مایع کافی با دیگر اجزاء باشد که اجازه دهد تماس مناسبی برقرار شده و همچنین محصول به راحتی به داخل گرم کننده پمپ شود.

مزیت های حرارت دهی اهمیک

در این روش به دلیل اینکه تولید حرارت در داخل ماده غذایی انجام می شود حرارت یکنواخت در فاز جامد تولید می شود. در روش حرارت دهی اهمیک ممکن است درجه حرارت در بخش جامد بالاتر از بخش مایع شود که این عمل در سایر روش های حرارت دهی امکان پذیر نیست. کاهش خطرات آلودگی در سطح انتقال حرارت، کاهش از بین رفتن ارزش تغذیه ای مواد غذایی و کاهش آسیب مکانیکی از دیگر مزایای حرارت دهی اهمیک است. از دیگر مزایای حرارت دهی اهمیک، سهولت کنترل فرآیند است. حرارت دهی اهمیک می تواند جهت فرایند کردن مواد غذایی حساس به حرارت بکار رود که در این مورد می توان به استفاده از آن در پاستوریزاسیون تخم مرغ مایع اشاره کرد. همچنین در حرارت دهی اهمیک بازدهی انرژی بالا است (۹۰٪ انرژی الکتریکی به گرمایی تبدیل می شود). در نتیجه با بکارگیری این روش می توان هزینه تولید و قیمت تمام شده محصول را پایین آورد. این روش برای مواردی که در آنها نیاز به انجام فرآیند به صورت مداوم است مناسب می باشد و بالاخره این روش در مقایسه با سایر روش های حرارت دهی به محیط زیست آسیبی نمی رساند و می توان آن را جزو تکنولوژی های معروف به تکنولوژی های سبز احتساب کرد.

معایب حرارت دهی اهمیک مواد غذایی

با وجود همه مزایایی که برای این تکنیک در بالا اشاره شد این روش مثل سایر روش های فرآوری غذا یک سری معایب و محدودیت هایایی نیز دارد که از جمله این ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- این روش نسبت به سایر روش های حرارت دهی به سرمایه گذاری اولیه بالایی نیاز دارد. از نظر تکنولوژیکی نیز این روش معایبی دارد از جمله این که هدایت الکتریکی مواد غذایی وابسته به ساختار غذا می باشد و در اثر فرآیندهایی مثل بلانچینگ [12] و پخت تغییر می -

یابد [13]. به عبارتی با افزایش درجه حرارت سیستم، هدایت الکتریکی نیز به دلیل تحرک الکترون ها و یون ها در نتیجه افزایش تحرک آب موجود در داخل بافت غذا [8] افزایش می یابد و این ممکن است منجر به غیر قابل کنترل شدن حرارت شود اگرچه در اکثر غذاها حرارت دهی در حدی نیست که تاثیر قابل توجهی روی هدایت الکتریکی داشته باشد. همچنین نتایج پژوهش های انجام شده در این زمینه نشان می دهد که نفوذ محلول های نمک به داخل بافت غذا باعث افزایش هدایت حرارتی مواد غذایی می شود در حالیکه تراوش مواد یونی به خارج از بافت غذا در طی تیمارهایی مانند غوطه ور سازی در آب نتیجه معکوس داشته و باعث کاهش هدایت الکتریکی مواد غذایی می شود [14]. نتایج مطالعات انجام شده در مورد تغییرات هدایت الکتریکی در طول فرآیند اهمی نشان می دهد که پارگی غشاء سلولی که در طول فرآیند اتفاق می افتد یکی از علل اصلی کاهش هدایت الکتریکی در طول فرآیند حرارت دهی اهمی است [15,16]. اگرچه فاکتورهایی مثل پزمرده شدن بافت، تغییرات فازها، خشک شدن مواد، ژلاتینه شدن مواد نشاسته ای، تغییرات غلظت نمک، pH محیط غذا و ... نیز در تغییرات هدایت الکتریکی هر یک از اجزا غذا در طول فرآیند حرارت دهی اهمیک تاثیر دارند. از دیگر محدودیت های این تکنیک می توان به فرآوری مواد غذایی حاوی چربی بالا اشاره کرد. همچنین اگر این سیستم به درستی تمیز نشود، به دلیل رسوب پروتئین ها روی الکترودها ممکن است جرقه الکتریکی ایجاد شود. از دیگر معایب بزرگ این تکنیک اختلاف در انتقال الکتریکی فاز جامد و مایع و در نتیجه امکان غیر یکنواخت شدن تغییرات در افزایش درجه حرارت است که این باعث می شود در حالی که بخشی از غذا هنوز خوب داغ نشده بخش دیگر آسیب حرارتی ببیند. همچنین در مواد غذایی که هدایت الکتریکی بسیار پائین یا بسیار بالاست نمی توان از تکنیک حرارت دهی اهمی استفاده کرد چرا که در این موارد برای افزایش دمای محصول تا حد لازم، به ترتیب نیاز به اعمال اختلاف پتانسیل بسیار بالا و اعمال شدت جریان بسیار بالاست [17]. بالاخره از دیگر معایب این روش می توان به نقصان تکنیک مناسب برای تعیین محل نقطه سرد در طول فرآوری غذا با این تکنیک اشاره کرد.

نتیجه گیری

حرارت دهی اهمی می تواند برای حرارت دادن مواد غذایی مایع حاوی ذرات درشت، نظیر سوپ ها، قطعات میوه در شربت و سس ها و مایعات حساس به حرارت مورد استفاده قرار گیرد. این فن آوری برای تیمار مواد غذایی پروتئینی که تمایل به واسرشته شدن و تجمع در اثر فرایند گرمایی دارند، مناسب است. همچنین آبمیوه ها را می توان با این روش آنزیم بری کرد بدون اینکه طعم آن ها تحت تاثیر قرار گیرد. این فرآیند می تواند برای استریلیزاسیون به روش UHT مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. غذاهایی که حاوی ذرات درشت (بزرگتر از ۲/۵ سانتی متر) باشند و استریل کردن آن ها توسط دیگر روش ها مشکل است، می توانند با این روش استریل شوند.

از لحاظ مدت زمان ماندگاری نیز، محصولات فرآوری شده با این روش قابل مقایسه با محصولات فرآوری شده با روش‌های سنتی بوده و انبار مانی غذاهای فرآوری شده اهمی مشابه محصولاتی است که با روش‌های سنتی فرآوری شده‌اند.

بدلیل این که در این فرآیند از الکتریسیته استفاده می شود، هیچ ماده دفعی هنگام بکار بردن تولید نمی شود. در این زمینه یکی از کاربردهای بالقوه پوست کنی توسط حرارت دهی اهمیک است که استفاده زیاد از قلیا که معمولا برای این عمل مصرف می شود را کاهش می دهد و در نتیجه برای محیط زیست سودمند خواهد بود. در فناوری حرارت دهی اهمی محصولات، دارای کیفیت بالاتری نسبت به فرآوری آن‌ها به هنگام استفاده از فناوری های متداول در شرایط مشابه است. مزیت اصلی برای این فناوری، یکنواختی حرارت و بهبود در کیفیت با حداقل تغییرات ساختاری، تغذیه ای یا حسی است.

درک اثرات این فرآیند در غیر فعال سازی میکروارگانیسم های مواد غذایی نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتر و جامع تری است. اثرات میدان‌های الکتریکی به کار برده شده، اعمال جریان های الکتریکی ناگهانی، اثرات تغییرات فرکانس در طی فرآیند حرارت دهی اهمی بر روی میکروارگانیسم های شاخص مواد غذایی مختلف نیازمند مطالعات عمیق تر و دقیق تر است. همچنین بررسی اثرات همزمان این فرآیند با تکنیک های دیگر مثل فراصوت و مایکروویو و ... در کاهش بار میکروبی مواد غذایی نیازمند مطالعات بیشتر است. همچنین لازم است که اثرات همزمان این فرآیند با دیگر روش های خشک کردن مواد غذایی مثل مایکروویو و خشک کردن با روش بستر سیال و ... بطور عمیق تری مطالعه شده و بعد از درک مکانیسم فرآیند و تعیین ویژگی های پدیده‌های حاکم در این فرآیند، مدل سازی های لازم صورت گیرد تا بتوان این فرآیند را در مواد غذایی مختلف بهینه سازی کرد. همچنین بایستی مطالعات بیشتری در زمینه ابداع و تسهیل روش‌های مختلف تعیین نقطه سرد و اندازه گیری دمای این نقطه در طی فرآیند حرارت دهی اهمی مواد غذایی مختلف بویژه مواد غذایی دارای چند فاز صورت گیرد.

نتیجه گیری و جمع بندی

حرارت دهی اهمی یکی از تکنولوژی هایی است که دارای کاربردهای متنوعی در زمینه های مختلف بوده و در آینده نیز مطمئنا کاربردهای جدیدی برای این تکنولوژی پیدا خواهد شد. کاربردهای کنونی برای فرآیند اهمی شامل خشک کردن مواد غذایی، آنزیم بری مواد غذایی کنسروی، استفاده از آن برای نگهداری حرارتی مواد غذایی مثل روش‌های استریل کردن و پاستوریزه کردن، استفاده از آن در فرآیندهای تبخیر و تخمیر مواد غذایی و ... می باشد. برای رسیدن به بالاترین کیفیت در محصولات فرآوری شده با این روش و همچنین برای رسیدن به حداقل مصرف انرژی در این فناوری، بایستی مطالعاتی در راستای مدل سازی، پیش بینی و تعیین الگوی حرارت دهی مواد غذایی دارای چند فاز، در طی این فرآیند صورت

گیرد تا بتوان طراحی بهتری برای فرآیندهای پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون و ... در مورد آن دسته از مواد غذایی انجام داد که فرآیند حرارت دهی اهمی در آن‌ها امکان کاربرد دارد.

فهرست علائم

<i>A</i>	مساحت ظرف، m^2 (معادله ۱)
<i>A</i>	مساحت الکترودها، m^2 (معادله ۲)
<i>I</i>	شدت جریان عبوری، ampere (معادله ۳)
<i>Id</i>	دانسیته جریان، $amps/cm^2$ (معادله ۴)
<i>L</i>	طول ظرف، <i>m</i> (معادله ۱)
<i>R</i>	مقاومت اندازه گیری شده، ohms (معادله ۱)
<i>R</i>	مقاومت کل گرم کننده، ohms (معادله ۲)
<i>Rs</i>	مقاومت ویژه محصول، ohms/m (معادله ۲)
<i>V</i>	اختلاف پتانسیل، volt (معادله ۳)
<i>X</i>	فاصله بین الکترود ها، <i>m</i> (معادله ۲)
δ	هدایت الکتریکی، <i>s/m</i> (معادله ۱)

مراجع

- [1]- Imai, T., Uemura, K., Ishida, N., Yoshizaki, S., & Noguchi, A., "Ohmic heating of Japanese White Radish *Raphanus sativus* L.," International Journal of Food Science and Technology, Vol. 30, pp. 461- 472, 1995.
- [2] - Vicente, A. A., Castro, I., & Teixeira, J. A., "Innovations in thermal food processes," In Da-Wen Sun (Ed.), Thermal food processing: New technologies and quality issues. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, (pp. 424-468)2006.
- [3]- Sastry, S. K., & Barach, J. T., "Ohmic and inductive heating," Journal of Food Science Supplement, vol. 65, pp. 42-46, 2000.
- [4]- Sastry, S. K., "Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing," In G. V. Barbosa-Ca ́novas, M. S. Tapia, & M. P. Cano (Eds.), Novel food processing technologies. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
- [5]- Tucker, G. S., "Food waste management and value-added products: using the process to add value to heat-treated products," Journal of Food Science, vol. 69(3), CRH102-CRH104, 2004.
- [6]- Kim, H. J., Choi, Y. M., Yang, T. C. S., Taub, I. A., Tempest, P., Skudder, P., et al., "Validation of OH for quality enhancement of food products," Food Technology, vol. 50, pp. 253-261, 1996.
- [7]- Palaniappan, S., & Sastry, S., "Ohmic heating. In V. K. Juneja, & J. N. Sofos (Eds.), Control of foodborne

- [12]- Halden, K., De Awis, A. A. P., & Fryer, P. J., "Changes in the electrical conductivity of foods during ohmic heating," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 25, pp. 9-25, 1990.
- [13]- Pongviratchai, P., & Park, J. W., "Electrical conductivity and physical properties of Surimi-Potato starch under ohmic heating," *Journal of Food Science*, vol. 72, pp. 503- 507, 2007.
- [14]- Palaniappan, S., & Sastry, S. K., "Electrical conductivities of selected solid foods during ohmic heating," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 14, pp. 221-236, 1991.
- [15]- An, H. J., & King, J. M., "Thermal characteristics of ohmically heated rice starch and rice flours.," *Journal of Food Science*, vol. 72, pp. 84-C88, 2007.
- [16]- Lebovka, N. I., Praporscic, I., Ghnimi, S., & Vorobiev, E., "Does electroporation occur during the ohmic heating of food?," *Journal of Food Science*, vol. 70, pp. 308-311, 2005.
- [17]- Piette, G., Buteau, M. L., De Halleux, D., Chiu, L., Raymond, Y., Ramaswamy, H. S., et al., "Ohmic heating of processed meat and its effects on product quality," *Journal of Food Science*, vol. 69, pp. 71-77, 2004.
- microorganisms (pp. 451- 460). New York: Marcel Dekker. 2002.
- [8]- Sarang, S., Sastry, S. K., Gaines, J., Yang, T. C. S., & Dunne, P., "Product formulation for ohmic heating: blanching as a pretreatment method to improve uniformity in heating of solid-liquid food mixtures," *Journal of Food Science E: Food Engineering and Physical Properties*, vol. 72, pp. 227- 234, 2007.
- [9]- Sun, H. X., Kawamura, S., Himoto, J. I., Itoh, K., Wada, T., & Kimura, T., Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk," *Food Science and Technology Research*, vol. 14, pp. 117e-123, 2008.
- [10]- Cho, H. Y., Yousef, A. E., & Sastry, S. K., "Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating," *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 62, pp. 368 -372, 1999.
- [11]- Pereira, R., Martins, J., Mateus, C., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A., "Death kinetics of *Escherichia coli* in goat milk and *Bacillus licheniformis* in cloudberry jam treated by ohmic heating," *Chemical Papers*, vol. 61, pp. 121-126, 2007.