Archive of SID

12th July 2017
۲۱ تیرماه ۱۳۹۶
3rd. International Conference on
Agricultural Engineering and Natural Resources
سومین کنفرانس بین المللی
مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی

# گرمایش اهمی، چشم انداز آینده در جایگزینی فرآیندهای حرارتی در صنعت غذا

شقایق حسینی[۱]، علی فدوی[۲]*

۱- گروه صنایع غذایی و تغذیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم دارویی، تهران، shaghayeghho1992@gmail.com
۲- پاکدشت، گروه فنآوری صنایع غذایی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، afadavi@ut.ac.ir

## چکیده

یکی از قدیمی ترین روش های مورد استفاده به منظور فرآوری مواد غذایی، حرارت دهی می‌باشد. با استفاده از روش های حرارتی مرسوم میتوان به محصولاتی ایمن دست یافت اما از لحاظ کیفیت دستخوش تغییراتی میگردند که این موضوع امروزه برای مصرف کنندگان خوشایند نیست. چندین سال است که از تکنیک های فرآوری حرارتی و غیرحرارتی مدرن برای تولید محصولات مختلف در صنعت استفاده می‌گردد. یکی از این تکنولوژی ها، گرمایش اهمی است. در این روش، با عبور یک جریان متناوب الکتریکی از درون ماده غذایی، درون آن حرارت ایجاد می‌گردد. این تکنولوژی نیز مانند سایر تکنیک ها مزایا و معایبی دارد و چندین سال است که از آن در فرآوری محصولات غذایی، خصوصا غذاهای مایع استفاده می‌شود. در این مقاله سعی شده است تعریف کاملی از گرمایش اهمی به همراه تاریخچه استفاده از آن آورده شود. همچنین کاربرد اخیر این تکنولوژی در صنایع مختلف غذایی بررسی شده است.

کلمات کلیدی: گرمایش اهمی، هدایت الکتریکی، ایمنی محصول، فرآیند حرارتی، انتقال حرارت

## مقدمه

حرارت دهی یکی از قدیمی ترین روشهای مورد استفاده برای فرآوری و نگه داری مواد غذایی است که برای سالیان طولانی توسط بشر استفاده شده است. با تکنولوژی های فرآوری معمول می توان به محصولاتی ایمن دست یافت، اما از جنبه کیفی به محصول آسیب وارد گشته و از ارزش غذایی آن کاسته می شود. امروزه مصرف کنندگان محصولاتی را ترجیح می‌دهند که کمترین میزان فرآوری بر روی آن ها صورت گرفته باشد و حاوی بیشترین مواد مغذی باشند (Stratakos, Koidis, 2015). در سال های اخیر تکنیک های حرارت دهی پیشرفت های جالب توجهی را داشته اند که میتوان به برخی از آن ها از جمله گرمایش اهمی، گرمایش دی الکتریک( شامل گرمایش ماکروویو و گرمایش بوسیله فرکانس های رادیویی) و گرمایش القائی[۱] اشاره نمود. در تمامی این روش ها، حرارت در داخل ماده غذایی تولید می گردد، بنابراین بسیار کارآمد بوده و انرژی بسیاری تولید می‌کنند. این روش ها را تکنیک های حرارتی مدرن می نامند( Kaur, Singh, 2015). روش های مدرن فرآوری حرارتی را می توان به عنوان روش های ضد عفونی پیش یا پس از تیمار (در ضدعفونی مواد غذایی خام، مواد غذایی فرآوری شده بسته بندی شده و یا فاقد بسته بندی) و یا به عنوان روش های جایگزین تکنولوژی های گرمایش معمول به کار برد. این تکنیک ها قابلیت تولید غذاهای ایمن تر، غنی از مواد مغذی و سرشار از خواص ارگانولپتیک را دارا می باشند در حالیکه تقریبا هیچگونه اثرات جانبی ناشی از حرارت دهی طولانی مدت بر روی محصول نخواهند داشت (Stratakos, Koidis, 2015).

گرمایش اهمی( با نام های دیگر گرمایش ژول، گرمایش الکتریکی و گرمایش رسانایی الکتریکی) روشی است که در آن یک جریان متناوب الکتریکی از میان ماده غذایی که دارای مقاومت الکتریکی می باشد عبور کرده و حرارت را در عمق محصول ایجاد می نماید. گرمایش در قالب تبدیل انرژی درونی داخل ماده رخ می دهد در این حالت انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی تبدیل شده و در نهایت، منتهی به اثر ژول می‌گردد ( Farahnaky et al, 2012., Icier et al, 2012).

در قرن نوزدهم، اختراعات بسیاری با موضوع استفاده از حرارت دهی مقاومتی به منظور استرلیزاسیون مواد غذایی مایع ساکن ثبت گردید(Farahnaky et al, 2012). اولین بار از گرمایش اهمی برای پاستوریزاسیون شیر استفاده شد (Icier et al, 2012). در سال ۱۹۹۳، با تصویب سازمان غذا و داروی آمریکا، فرآوری و تولید غذاهای کم اسید قابل نگه داری در دمای محیط، به امری قانونی تبدیل شد. پس از آن گرمایش اهمی در کشورهای ژاپن، آمریکا و اروپا مورد استفاده گسترده قرار گرفت (Farahnaky et al, 2012). به دلیل تولید یکنواخت حرارت و در نتیجه، پخش یکنواخت حرارت در محصول، به خصوص در مواد غذایی مایع، سازمان های جهاد کشاورزی آمریکا و سازمان غذا و داروی آمریکا پیشنهاد کاربرد تکنولوژی گرمایش اهمی به منظور پاستوریزاسیون مواد غذایی قابل پمپ کردن (شامل قطعات کامل میوه درون شربت، آب میوه ها، تخم مرغ و شیر) و برای بسته بندی اسپتیک را دادند(Yucel sengun et al, 2014., jimenez- sanchez et al, 2017) و به عنوان تکنولوژی جدید

[1] Inductive heating

www.SID.ir

Archive of SID

و برجسته از طرف موسسه دستاوردهای صنعتی فناوران غذایی امریکا[2]در سال ۱۹۹۶ شناخته شد (Piette et al, 2004). با وجود اینکه فرآوری مایعات به روش اهمی روشی ساده، موفق و پرمزیت است اما فرآوری مواد غذایی جامد، برای مثال گوشت و فرآورده های گوشتی با این روش در مقیاس صنعتی با مشکلات فراوانی روبرو است(Yucel sengun et al, 2014). دلیل این امر مشکل در ایجاد تماس مستقیم میان الکترودها و سطح محصول غذایی جامد می‌باشد (Necati ozkan, Farid, 2004). گرمایش اهمی یکنواخت در مواد غذایی جامد اساسا وابسته به یکنواختی توزیع الکترولیت درون محصول دارد (Zell et al, 2009).

یکی از کاربردهای گرمایش اهمی، غیرفعال سازی میکروب ها است. اصلی ترین مکانیسم موثر در نابودی میکروارگانیسم ها به روش اهمی، اثر حرارتی آن است. از سایر مکانیسم های موثر می توان به غیرفعال سازی مکانیکی و شیمیایی اشاره نمود. غیر فعال سازی مکانیکی به صورت تخریب برگشت ناپذیر غشای سلولی میکروب رخ می‌دهد، در این فرآیند منافذی در غشای سلولی میکروب تشکیل می‌گردد و منجر به نشت محتوای سلولی (همانند آمینواسیدها، پروتئین و اسید نوکلوئیک) میگردد به این پدیده الکتروپوراسیون[3] گفته می شود. در غیر فعال سازی شیمیایی نیز با تشکیل رادیکال های آزاد و ایجاد یون های فلزی منجر به مرگ میکروارگانیسم ها می شود. همچنین این تکنولوژی، روشی کارآمد در غیرفعال سازی اسپور باکتری ها می باشد. البته میزان کارآمدی آن کاملا وابسته به نوع میکروارگانیسم بوده زیرا میکروب های مختلف، مقاومت های حرارتی متفاوتی نیز دارند(stratakos, Koidis, 2015).

این روش مزایایی نسبت به روش های حرارتی معمولی دارد. در روش گرمایش اهمی، با عبور جریان الکتریکی از درون ماده غذایی، حرارت سریعا در سراسر ماده غذایی بطور یکنواخت پخش می‌شود در حالیکه در روش حرارت دهی معمولی، پخش حرارت وابسته به مکانیسم های انتقال حرارت، به خصوص هدایت و جابجایی می‌باشد که معمولا توسط خواص ترموفیزیکی ماده غذایی و رسوب مواد روی سطوح انتقال حرارت، محدود می‌گردد (Cassano, Drioli, 2007., jimenez- sanchez et al, 2017). بزرگترین مزیت گرمایش اهمی نسبت به روشهای مرسوم، جلوگیری از ایجاد دمای بسیار بالا در دیواره ها و محدود کردن ضرایب انتقال حرارت مورد نیاز می‌باشد ( Icier et al, 2012., jaeger et al, 2016). خواص الکتریکی، ترموفیزیکی و رئولوژیکی محصولات نقش بسیار مهمی را در ایجاد حرارت دهی یکنواخت ایفا می‌کنند. علاوه بر پارامترهای محصول، پارامترهای فرآیند از قبیل فرکانس مورد استفاده، جنس الکترود و شکل مخزن تیمار نیز بسیار با اهمیت می‌باشند ( Jaeger et al, 2016). مزیت دیگر این روش این است که ماده غذایی در تماس مستقیم با سطوح داغ قرار نمی‌گیرد. از طرفی امکان جلوگیری از تشکیل لایه های ناخواسته بیولوژیکی، آلی و غیر آلی توسط بهبود طراحی الکترودها وجود دارد (Jaeger et al, 2016). علاوه بر مزایای اشاره شده، میتوان به موارد دیگری از جمله حفظ رنگ و ارزش تغذیه ای ماده غذایی، سرعت بالای انتقال حرارت، عدم وجود نقطه سرد، سازگاری با خطوط فرآوری اسپتیک، افزایش مدت زمان ماندگاری ماده غذایی بدون نیاز به سردخانه، عدم نیاز به هم زدن مواد غذایی سیال در نتیجه مناسب برای مواد غذایی حساس به آسیب مکانیکی و بازده بالا در تبدیل انرژی، بی سر و صدا بودن، امکان کنترل صحیح دما (jaeger et al, 2016., Icier et al, 2012) و ایمنی محصول (Necati ozkan, Farid, 2004) اشاره نمود. پارامتر اصلی موثر بر نرخ حرارت دهی در گرمایش اهمی، هدایت الکتریکی ماده غذایی می باشد. میزان گرمای تولید شده در محصول غذایی کاملا وابسته به گرادیان ولتاژ و هدایت الکتریکی محصول می باشد ( Yucel sengun et al, 2014., Icier et al, 2012). از طرف دیگر، دو عامل موثر بر هدایت الکتریکی مواد غذایی شامل محتوای رطوبت و دمای آن است که رابطه مستقیم میان آن ها مشاهده می‌گردد. با افزایش دما، حرکت یون ها در محیط افزایش می‌یابد و این خود تابعی از غلظت هر یون خاص می‌باشد که آن نیز توسط ضریب نفوذ تعیین می گردد، و به علت اینکه آب مقطر عاری از یون می باشد، همانند یک عایق الکتریکی عمل می‌کند (Farahnaky et al, 2012). نکته مهم بعدی، نیاز به وجود هدایت الکتریکی یکنواخت در ماتریس غذایی برای جلوگیری از ایجاد نقاط سرد است. هدایت الکتریکی یکنواخت در مواد غذایی همگن به راحتی ایجاد می‌گردد اما در مورد مواد غذایی ناهمگن اینگونه نیست. یکی از روش های ممکن برای افزایش هدایت الکتریکی نمونه غذایی، افزایش محتوای الکترولیتی محصول با افزودن نمک به نمونه و یا خیساندن در آب نمک و یا تزریق آب نمک در نمونه می‌باشد (Stratakos, Koidis, 2015., Zell et al, 2009).

از مهمترین معایب این روش مربوط به مواد غذایی است که دارای مواد نارسانا یا حاوی گلبول های چربی هستند، در این حالت ممکن است حرارت در این قسمتها به مقدار لازم نرسد، در نتیجه در صورت وجود میکروارگانیسم، طبیعی است که کشندگی به خوبی در این قسمتها صورت نخواهد پذیرفت. از سوی دیگر، در مورد مواد غذایی با رسانایی بالا، مشکل کنترل دما وجود خواهد داشت و ممکن است ماده غذایی بیش از حد، حرارت ببیند (Icier et al, 2012). مهمترین مشکل در مورد حرارت دهی آب میوه ها به روش گرمایش اهمی، تشکیل حباب است. در ولتاژهای بالا و دمای بالای ۵۰ درجه سلسیوس، حباب تشکیل شده و باعث کاهش در رسانایی الکتریکی ماده غذایی می گردد. آب میوه ها مواد غذایی اسیدی

[2] U.S.A. Inst. Of Food Technologists Industrial Achievement Award
[3] Electroporation

www.SID.ir

Archive of SID

هستند که در نتیجه در آنها احتمال تشکیل حباب هیدروژن الکترولیتیک بالا است (Icier et al, 2012). یکی دیگر از معایب گرمایش اهمی ایجاد رادیکال های آزاد در حین حرارت دهی می‌باشد. اثر منفی رادیکال های آزاد بر روی فعالیت آنتی اکسیدانی مواد غذایی و همچنین بر سلامت انسان موضوعی اثبات شده است و لذا تحقیق در این خصوص ضروری است (Stratakos, Koidis, 2015).

افزایش شدت میدان الکتریکی باعث افزایش کارایی تیمار در روش گرمایش اهمی می‌گردد. نوع الکترود نیز فاکتور موثر دیگری است که باید به آن توجه گردد. با استفاده از الکترودهای Cu/Cu و Cu/Al الکترولیز شدید رخ می‌دهد که در نتیجه باعث واکنش هایی بر روی فلز می‌گردد و امکان ورود این فلزات به آب میوه بسیار زیاد بوده که در نهایت محصول برای مصرف ناایمن می‌گردد. برای جلوگیری از این اتفاقات و به منظور افزایش کارایی استخراج آبمیوه توسط روش گرمایش اهمی، استفاده از انواعی از الکترود که الکترولیز در آنها رخ ندهد، همانند پلاتین پوشش داده شده با تیتانیوم پیشنهاد داده شده است (Cassano, Drioli, 2007). مناسب ترین جنس های فلز برای استفاده به عنوان الکترود شامل تیتانیوم، طلا، تیتانیوم پلاتینه و استیل ضد زنگ می‌باشند (Jaeger et al, 2016., Icier et al, 2012). یکی دیگر از راه های کاهش مهاجرت مواد از الکترودها به محصول غذایی، فرآوری ماده غذایی در فرکانس های بالا با استفاده از تکنیک گرمایش اهمی پالسی[4] می باشد، در این حالت واکنش های الکترولیتیک و تشکیل حباب را به حداقل رساند (Icier et al, 2012).

اگرچه که اثر گرمایش اهمی بر روی ماده غذایی اساسا حرارتی است، ولی اثرات الکتریکی آن که می‌تواند بر روی کیفیت و ایمنی غذا تاثیر بگذارد (jimenez- sanchez et al, 2017).

بنابراین، گرمایش اهمی را میتوان روشی با نرخ انتقال حرارت بالا، کارایی بالای انرژی و با پخش یکنواخت حرارت در سرتاسر ماده غذایی دانست، در نتیجه آسیب حرارتی وارده به محصول نیز بسیار کاهش می‌یابد (Cassano, Drioli, 2007).

تکنولوژی گرمایش اهمی کاربردهای بسیاری را هم در دنیای امروز و هم در آینده خواهد داشت. از جمله کاربردهای آن می توان به آنزیم بری، تبخیر، خشک کردن، تخمیر، استخراج، استرلیزاسیون، پاستوریزاسیون و پیش گرمایش اشاره کرد( Icier et al, 2012., Farahnaky et al, 2012). تولید گرما و حرارت برای گرم نمودن مواد غذایی در ماموریت های نظامی و یا ماموریت های فضایی طولانی مدت از دیگر کاربردهای گرمایش اهمی می باشد. یکی دیگر از جنبه های کاربرد این تکنیک نوین کنترل بافت مواد غذایی می باشد، در واقع می توان از آن در بهبود و اصلاح خواص رئولوژیکی و بافتی ترکیبات غذایی بهره برد. بدین منظور، طراحی مناسب یک سیستم گرمایش اهمی، به لحاظ ولتاژ و توان، از عوامل کلیدی و موثر بر سرعت تغییرات بافت و بافت نهایی محصول می‌باشند(Farahnaky et al, 2012).

## ۱. هدایت حرارتی، مشخصه موثر در گرمایش اهمی

مقاومت درونی ترکیبات غذایی در برابر عبور جریان الکتریسیته منجر به ایجاد حرارت درون غذا می‌گردد. به عبارت دیگر انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی تبدیل می‌گردد(Icier et al, 2012). اثر هدایت الکتریکی در تبدیل این انرژی و معادلات حاکم بخوبی دیده می شود. هدایت الکتریکی ($\sigma$) فاکتوری است که کیفیت عبور جریان الکتریکی را از درون ماده غذایی نشان می‌دهد. در واقع هدایت الکتریکی نسبت چگالی جریان به قدرت میدان الکتریکی است. واحد آن در $SI$ زیمنس بر متر ($S/m$) است، میزان هدایت الکتریکی برای تمامی مواد از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Sakr, Liu, 2014):

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{I}{V} \qquad (۱)$$

هدایت الکتریکی در هر محصول وابسته به دمای محصول است، مقدار هدایت الکتریکی با افزایش دما، افزایش مییابد. نتایج نشان داده است که این تغییر با یک ضریب تبیین بالا خطی است (Sakr, Liu, 2014):

$$\sigma\tau = \sigma i + M \qquad (۲)$$

هدایت الکتریکی یک فاکتور بسیار مهم در گرمایش اهمی است. محققان بسیاری هدایت الکتریکی مواد غذایی مختلف از جمله میوه های تازه حرارت دهی شده با اهمی را گزارش دادند که میزان آنها $0.05\text{-}1.2\ S/m$ برای میوه های سیب، آناناس، گلابی، توت فرنگی و هلو می‌باشد. در مقایسه آب میوه، میزان هدایت الکتریکی آب خالص بسیار پایین بوده و حدودا $0.055\mu S/cm$ است. هدایت الکتریکی برخی مواد غذایی در جدول ۱ آورده شده است (*Sakr, Liu, 2014*).

**جدول شماره۱**

**مقادیر هدایت الکتریکی برخی مواد غذایی که توسط گرمایش اهمی حرارت دیده اند.**

[4] Pulsed Ohmic heating

www.SID.ir

| محصول | هدایت الکتریکی در دمای 25°C (S/m) |
|---|---|
| قهوه سیاه | 0.182 |
| قهوه با شیر | 0.357 |
| آب سیب | 0.239 |
| شیر کاکائو با ۳٪ چربی | 0.433 |
| گوشت خوک | 0.64-0.86 |
| آب گوجه فرنگی | 1.697 |
| آب دریا(TDS=44 mg/L) | 5.8 |
| آب دریا(TDS=58.26 mg/L) | 6.78 |
| آب دریا(TDS=57.78 mg/L) | 6.75 |
| آب دریا(TDS=62.82 mg/L) | 7.2 |

منبع: Sakr and Liu, 2014

توزیع ولتاژ درون گرم کننده اهمی را میتوان از رابطه مکس ول به دست آورد، روش دیگر نیز تلفیق قانون اهم و رابطه پیوستگی برای جریان الکتریکی می‌باشد(Icier et al, 2012):

$$\nabla(\sigma\nabla V) + \frac{\partial \rho c}{\partial t} = 0 \qquad (۳)$$

برای شرایط انتقال حرارت پایا معادله به صورت زیر تغییر میابد(Icier et al, 2012):

$$\nabla(\sigma\nabla V) = 0 \qquad (۴)$$

در این رابطه، σ، هدایت الکتریکی ماده غذایی بر حسب S/m می‌باشد، V اختلاف پتانسیل الکتریکی بر حسب V، $\rho c$ چگالی جریان بر حسب $A/m^3$ و t زمان بر حسب s می‌باشد.

در یک فرآیند ولتاژ ثابت، سرعت تولید حرارت حجمی ($\dot{u}$, $W/m^3$) از رابطه زیر بدست می آید(Icier et al, 2012):

$$\dot{u} = |\nabla V|^2 \sigma \qquad (۵)$$

در حین گرمایش اهمی، میزان انتقال حرارت در یک غذای مایع تک فازی بوسیله معادله هدایت حرارت ناپایا با تولید حرارت داخلی با توجه به معادله زیر بیان می‌گردد(Icier et al, 2012):

$$\nabla(k\nabla T) + \dot{u} = \rho\, C_p\, \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۶)$$

در این معادله $k$ ، $\rho$ و $C_p$ جزو خواص ترموفیزیکی است که وابسته به دمای ماده غذایی می‌باشند. این خواص به ترتیب معرف هدایت حرارتی ($W/mK$)، چگالی ($kg/m^3$) و ظرفیت گرمایی ویژه ($j/kgK$) می‌باشند. به وسیله افزودن جزء انتقال حرارت جابجایی در رابطه شماره ۶، میتوان میزان انتقال حرارت جابجایی را در سیال غذایی بدست آورد. تولید یکنواخت حرارت (u̇) منجر به گرمایش نسبتا یکنواخت و سریعی در مقایسه با سایر روش های حرارت دهی، به خصوص در مواد غذایی مایع می‌گردد. در نتیجه، این تکنیک برای فرآوری های مداوم سیالات غذایی روش مناسبی می‌باشد(Icier et al, 2012).

به طور کلی، یک سیستم گرمایش اهمی شامل یک منبع تغذیه برای تامین برق سیستم، منبع تامین توان متغیر(واریاک) برای تنظیم ولتاژ، واحدهای اندازه گیری جریان و ولتاژ، یک سلول گرمایش اهمی به همراه الکترودها، سیستم اندازه گیری دما و یک میکروکامپیوتر برای ثبت داده ها می‌باشد(Icier et al, 2012).

## ۲. کاربردهای گرمایش اهمی در صنایع مختلف

### ۲-۱. صنعت آبمیوه

نوشیدنی ها، آب میوه های تغلیظ شده و پوره ها بواسطه تقاضای روزافزون در بازارهای جهانی، جزء دسته محصولات غذایی ضروری می‌باشند. در طی چند سال اخیر، مصرف انواع آب میوه به سرعت افزایش یافته است و در نتیجه صنعت تولید آب میوه، بزرگترین صنعت در بین صنایع مختلف کشاورزی در سراسر جهان گشته است. در حال حاضر نوآوری در فرآوری آبمیوه عموما بر روی غیرفعال سازی میکروبی و آنزیمی و افزایش بازده آبمیوه متمرکز شده است . بزرگترین نگرانی در خصوص استفاده از گرمایش اهمی در فرآوری آبمیوه، الکترولیز شدید ایجاد شده خصوصا در صورت استفاده از الکترودهای Cu/Cu و Cu/Al می باشد که در نتیجه باعث بروز واکنش هایی بر روی فلز می‌گردد. در این حالت امکان ورود این فلزات

www.SID.ir

به آب میوه بسیار زیاد بوده که در نهایت محصول برای مصرف ناایمن می‌گردد. برای جلوگیری از این اتفاقات و به منظور افزایش کارایی استخراج آبمیوه توسط روش اهمی، استفاده از انواع از الکترود را که الکترولیز در آنها رخ نمی‌دهد، همانند پلاتین پوشش داده شده توسط تیتانیوم پیشنهاد می‌گردد(jimenez- sanchez et al, 2005). بسیاری از محققین عنوان کرده اند که نوع روش حرارت دهی (اهمی یا معمولی) اثر مشخصی را بر روی تخریب ویتامین C ندارند. با این حال، محتوای ویتامین C در آب میوه های تیمار شده به روش گرمایش اهمیک بسیار پایین تر از انواع تیمار نشده بود. همچنین، دمیردوون و بایسال[5] در سال ۲۰۱۲ اختلافات جزئی در مقادیر ویتامین C آب میوه تیمار شده به روش اهمی و روش معمولی یافتند. از طرف دیگر، برخی محققین دیگر بیان داشتند که غلظت ویتامین C در آب پرتقال که با گرمایش اهمی به روش پیوسته در ولتاژ 25-45 V/cm تیمار شده بود بسیار بالاتر از آب میوه تیمار شده به روش حرارتی معمولی بود(jimenez- sanchez et al, 2005). در پژوهشی که در سال ۲۰۰۵ بر روی تخریب آنتوسیانین در اثر اعمال تیمار اهمی و معمول بر روی تفاله میوه بلوبری صورت گرفت، مشخص گردید که تخریب آنتوسیانین با افزایش ولتاژ و محتوای ماده جامد، افزایش مییابد. در مقایسات انجام گرفته میان نمونه های تیمار شده به روش اهمی و معمول به این نتیجه دست یافتند که در هنگام استفاده از ولتاژهای پایین تر، درصد تخریب آنتوسیانین در هردو روش مشابه و در برخی موارد در روش معمول میزان پایین تری از تخریب در آن مشاهده گردید. اگرچه که در میدان های الکتریکی بالاتر، آنتوسیانین در تفاله های تیمار شده به روش اهمی بیشتر تخریب شده بود (Sarkis et al, 2013).بیلدیز و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در مورد اثر گرمایش اهمی بر روی محتوای فیتوشیمیایی موجود در آب میوه ها، از قبیل ترپنوئیدها، آلکالوئیدها و پلی فنول ها، گزارش کردند که روش گرمایش اهمی همانند حرارت دهی معمولی، باعث افزایش محتوای فنولی می‌گردد(jimenez- sanchez, 2005., Yildiz et al, 2009). بروشیز و همکارانش در سال ۲۰۱۶ بر روی اثر غیر حرارتی الکتریسیته بر سرعت غیرفعال سازی آنزیم های پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز و همچنین بر روی تخزیب کل محتوای فنولی و فلاوونوئیدهای شربت نیشکر در طی گرمایش اهمی تحقیق نمودند. آنها گزارش کردند که حضور یک میدان الکتریکی با شدت پایین شدیدا بر روی واکنش های بیوشیمیایی رخ داده در طی فعالیت آنزیم پراکسیداز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و غیرفعال سازی آن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس تاثیر می‌گذارد. همچنین آنها هیچ گونه تفاوتی را میان روش حرارت دهی مرسوم و اهمی در میزان تخریب ترکیبات فنولی و فلاوونوئیدها مشاهده نکردند ( Brochier et al, 2016). در سال ۲۰۱۴ آقایان دمیردوون و بایسال از گرمایش اهمی برای غیرفعال سازی پکتین متیل استراز در آب پرتقال استفاده کردند. کارایی این روش در غیرفعال سازی پکتین متیل استراز بالاتر از روش حرارتی مرسوم بود، از طرفی یک افزایش حدود ۲ درصدی در محتوای پکتینی آب پرتقال دیده شد. در ضمن با استفاده از گرمایش اهمی محتوای آسکوربیک اسید آب پرتقال نسبت به روش حرارتی مرسوم بیشتر حفظ شده بود. در نتیجه آنها روش گرمایش اهمی را روش مناسبی برای تیمار آب پرتقال در دماهای متوسط با هدف غیرفعال سازی پکتین متیل استراز دانسته و عنوان نمودند که شاید بتوان با این روش خواص عملکردی آب پرتقال را نیز بهبود بخشید (Demirdoven, Baysal, 2014). در تحقیق دیگر غیرفعال سازی پلی فنول اکسیداز آب انگور در طی گرمایش اهمی مطالعه گردید. محققین توانستند با موفقیت این آنزیم را در گرادیان ولتاژ 40V/cm و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و در گرادیان ولتاژ 20-30V/cm در دمای ۷۰ درجه سلسیوس غیرفعال نمایند (Icier et al, 2008). در سال ۲۰۱۶ آقای اشیر و همکارانش بر روی تاثیر گرمایش اهمی بر روی ترکیب کاروتنوئید دوگونه از خانواده مرکبات، شامل گریپ فروت و پرتقال سرخ تحقیق نمودند. نتایج حاکی از آن بودند که اپوکسی زانتوفیل ها وهیدروکسی زانتوفیل ها در مرکبات حدود ۷۰ درصد پس از تیمار اهمی حفظ شده بودند. از طرفی انواع کاروتن (لیکوپن و بتاکاروتن) در برابر گرمایش اهمی پایدار بودند و گرمایش اهمی هیچگونه اثر غیرحرارتی منفی ای بر کاروتنوئیدها نگذاشت. در انتها نتیجه گرفتند که روش گرمایش اهمی در مقایسه با روش حرارتی مرسوم، روش بسیار مناسب تری برای حفاظت از کاروتنوئیدها به خصوص گزانتوفیل های انواع آب میوه در طی پاستوریزاسیون می‌باشد. این نتایج میتوانند به طراحی بهینه تری از فرآیند گرمایش اهمی با هدف بهبود کیفیت آب میوه های غنی از کاروتنوئید منجر بشود (Achir et al, 2016). در مورد اثر حرارت دهی اهمی بر روی کل مواد جامد محلول و pH آب میوه ها، آقای آژووالاپیل[6] و همکارانش در سال ۲۰۱۰ و آقای رودریگز[7] و همکارانشان در سال ۲۰۰۰ گزارش کردند که این نوع تیمار هیچگونه تاثیری بر روی محتوای ماده جامد محلول و pH آب میوه ها نداشت. از طرفی، آقای تولستوگوزوو[8] در سال ۱۹۹۰، هنگامیکه بر روی گرمایش اهمی با آب میوه کار می‌کرد، کاهشی را در میزان pH مشاهده نمود، که دلیل آن را یونیزاسیون صورت گرفته درون تفاله در طی مهاجرت یون ها از آند مثبت به کاتد منفی، و در نتیجه تولید مقادیر بالاتر یون هیدروژن نسبی به یون هیدروکسیل عنوان کرد. در مقابل این یافته، برخی محققین گزارش نموده اند که گرمایش اهمی هیچگونه اثر خاصی را بر روی محتوی مواد جامد محلول و pH نمی‌گذارد( jimenez- sanchez

[5] Demirdöven and Baysal
[6] Azhuvalappil
[7] Zarate-Rodriguez
[8] Tolstoguzov

www.SID.ir

et al, 2005). در مورد اثر حرارت دهی اهمی بر روی خواص رئولوژیکی آب میوه ها، آیسیر[9] و تاومن[10] در سال ۲۰۰۶ و آقای ییلدیز[11] و همکارانشان در سال ۲۰۰۹ بیان کردند که ضرایب قوام با افزایش دما شدیدا کاهش میابد. در طی گرمایش اهمی، در حین دوره افزایش دمای آب میوه تا 90˚C، ضریب قوام در مقایسه با آب میوه تازه کاهش میابد، در حالیکه هیچگونه تغییر مشخصی در این مورد در طی دوره نگهداری در دمای 90˚C دیده نشد. نتیجه مشابهی نیز در رابطه با شاخص رفتار جریان مشاهده شد. همین روند در مورد حرارت دهی معمولی نیز مشاهده گردید، پس میتوان نتیجه گرفت که در کنار اثرات حرارتی، گرمایش اهمیک هیچ اثر الکتریکی بر روی خصوصیات رئولوژیکی آب میوه ها ندارد( jimenez- sanchez et al, 2005). نتایج کار بوزکورت و آیسیر در سال ۲۰۰۹ بر روی خواص رئولوژیک نکتار میوه به نشان داد که مستقل از نوع روش حرارت دهی، نکتار این میوه طی حرارت دهی مستقل از زمان و دارای رفتار غیر نیوتونی از نوع سودوپلاستیک می باشد. در نهایت نیز روش گرمایش اهمی را به عنوان یک روش حرارت دهی سریع برای انواع نکتار میوه معرفی شد.(Bozkurt, Icier, 2009). در مورد تاثیر گرمایش اهمی بر روی عطر و طعم آب میوه ها، آقایان لیزرسون[12] و شیمونی[13] در سال ۲۰۰۵ گزارش دادند که میزان ترکیبات عطر و طعم حفظ شده با روش گرمایش اهمی، پنج برابر بیشتر از آب میوه پاستوریزه شده به روش معمولی بود. همچنین، ارزیابی حسی نیز هیچگونه تفاوتی را میان آب میوه پاستوریزه شده به روش اهمی و آب میوه تازه نشان نداد(jimenez- sanchez et al, 2005). در مورد تغییرات هدایت الکتریکی در آبمیوه ها، در تحقیقی که در سال ۲۰۰۴ بر روی کنسانتره های سیب و آلبالو انجام گرفت، مشخص گردید که هدایت الکتریکی در آن ها وابسته به دما، ولتاژ و غلظت بود. از طرفی مشاهده گردید که هدایت الکتریکی در آب سیب و آلبالو شدیدا تحت تاثیر دما و غلظت قرار دارد و با افزایش دما و غلظت، هدایت الکتریکی افزایش میابد (Icier, Ilkali, 2004). در تحقیق دیگری آیسیر و همکارانش تلفیق گرمایش اهمی با خلاء را به منظور تغلیظ آب انار مطالعه نمودند. در این بررسی، تلفیق گرمایش اهمی به همراه خلاء برای تغلیظ آب انار با موفقیت انجام گرفت. با این روش زمان فرآیند تغلیظ آبمیوه کاهش یافت که برای تولید در مقیاس صنعتی بسیار مهم و بحرانی است. اثرات پارامتر اصلی فرآیند، گرادیان ولتاژ، بر روی تغییرات هدایت الکتریکی در طی حرارت دهی الکتریکی به همراه فرآیند تبخیر نیز در این مقاله بررسی گشت. آنها گزارش کردند که با افزایش محتوای ماده جامد محلول در آب انار در تمامی گرادیان های ولتاژ، هدایت الکتریکی نمونه ها افزایش یافت (Icier et al, 2016). در پژوهش دیگری که توسط آقای درویشی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ بر روی آب انار صورت گرفت، تاثیرات گرمایش اهمی را بر روی تغییرات هدایت الکتریکی و تغییرات pH بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش گرادیان ولتاژ، زمان تیمار، کارایی سیستم و pH آب انار کاهش میابد. از طرف دیگر با افزایش دما، هدایت الکتریکی نمونه ها افزایش یافتند (Darvishi et al, 2013). در سال ۲۰۱۱ آزمایشی بر روی تاثیر گرمایش اهمی بر روی میزان استخراج آب میوه گواوا[14] توسط اسکرالونگ[15] و همکارانش انجام گردید و گزارش کردند که با استفاده از جریان متناوب ۱۰۰ ولت، استخراج آب میوه گواوا به طور معنی داری افزایش یافت، اگرچه که برخی تاثیرات منفی نیز بر روی طعم آب میوه استخراج شده گزارش شد. آنها تخریب بافتی صورت گرفته توسط گرمایش اهمی را دلیل افزایش استخراج آب میوه دانستند (Farahnaky et al, 2012). پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۶ بر روی آب گوجه فرنگی انجام گرفت. در این آزمایش آب گوجه فرنگی رسیده را تحت تیمار اهمی (دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ دقیقه) و گرمایش مرسوم (دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه) قرار دادند و اثر این دو تیمار را بر روی غیرفعال سازی آنزیم های آب گوجه فرنگی و تاثیر آن بر خواص فیزیکوشیمایی رب گوجه بدست آمده، بررسی نمودند. نتیجه غیر فعال سازی آنزیم های پلی گالاکتوروناز و پکتین متیل استراز توسط تیمار گرمایش اهمی در مدت ۱ دقیقه کاملا مشابه تیمار گرمایش مرسوم به مدت ۵ دقیقه بود. تیمارهای حرارتی منجر به افزایش آزادسازی ترکیبات شیمیایی گیاهی از محصول شده و در نتیجه یک افزایش شدید در محتوای لیکوپن در طی مراحل اولیه فرایند رخ می‌دهد. رب حاصل از گرمایش اهمی قوام بالاتری نسبت به رب حاصل از گرمایش مرسوم داشت، از طرفی رنگ رب حاصل از گرمایش اهمی روشن تر از رب دیگر بود، اگرچه که هردونوع رب از نظر محتوای لیکوپن و اسید آسکوربیک مشابه بودند. در نهایت نتیجه گرفتند که روش تیمار گرمایش اهمی به عنوان یک روش جایگزین مناسب برای غیرفعال سازی آنزیم ها در رب گوجه فرنگی میباشد (Makroo et al, 2016). ییلدیز و همکارانش در سال ۲۰۰۹ تاثیرات گرمایش اهمی و مرسوم را بر روی خواص رئولوژیک، رنگ و محتوای فنولی را در آب انار بررسی نمودند. اگرچه مشخصات رئولوژی، رنگ و مقدار فنول کل در دوره گرمادهی تغییر کرد ولی این مقادیر در هنگامی که دمای فرآیند ثابت نگه داشته شد، تغییری نکرد. از آنجایی که روش حرارتی اثری بر مشخصات رئولوژی، رنگ و مقدار فنول

[9] Icier
[10] Tavman
[11] Yildiz
[12] Leizerson
[13] Shimoni
[14] Guava
[15] Skiralong

www.SID.ir

Archive of SID

کل نداشته است، نتیجه گرفته شد که تاثیر اثر الکتریکی مازاد بر اثر حرارتی نبوده است. آنها روش گرمایش اهمی به عنوان روشی بسیار مناسب برای حرارت دهی سریع انواع آبمیوه پیشنهاد دادند (Yildiz et al, 2009).

## ۲-۲. گوشت و فرآورده های گوشتی

تولید غذا و امنیت آن از مسائل بسیار مهم دنیای امروزی است. این موضوع به خصوص درمورد غذاهای گوشتی و انواع فست فود اهمیت بیشتری پیدا میکند. پخت این محصولات برای اطمینان از نابودی میکروارگانیسم های بیماری زا بسیار حائز اهمیت است(Ozkan, Farid, 2004). برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ آقای واناتالو[16] و در سال ۱۹۷۹ آقای مالکی[17] و همکارش از تکنیک اهمی برای پخت امولسیون های گوشت استفاده کردند که به دلیل مشکلات در دستیابی به شرایط پخت پایا در زمان های طولانی پخت، این روش را کنار گذاشتند(Piette et al, 2004). در مطالعات بعدی که در سال ۱۹۹۶ توسط آقای پیرون[18] صورت گرفت ارزیابی حسی مناسبی توسط پنلیست های حرفه ای برای خمیر جگر، میت لوف و همبرگر های پخته شده با روش اهمی گزارش شد(Piette et al, 2004). درپخت گوشت به روش اهمی، به دلیل توزیع یکنواخت حرارت در محصول و پخت سریع تر آن، محصولات ایمن تری را از طریق مهار رشد میکروبی ایجاد میکند (Sengun et al, 2014). در سال ۲۰۰۴ آقای اوزکان و فرید از روش پخت ترکیبی (صفحه داغ و اهمی) برای پخت قطعات همبرگر استفاده کردند. این روش بر پایه عبور جریان الکتریکی از میان قطعات گوشت و تولید حرارت درونی در آنها عمل میکند. روش ترکیبی اهمی و صفحه ای در کاهش زمان پخت و تولید محصول ایمن تر در قطعات همبرگر بسیار موفق نشان داد. نمونه های همبرگر پخته شده به روش ترکیبی و مرسوم از لحاظ میزان رطوبت و چربی مشابه بود و هیچ تفاوتی نیز از لحاظ طعم و بافت نداشتند(Ozkan et al, 2004). در یک پژوهش دیگر توسط آقای سنگون و همکارانش، اثر تیمار اهمی بر روی برخی جنبه های کیفی نیم پخت کردن کوفته مطالعه شد. از لحاظ غیرفعال سازی میکروبی، این روش در کاهش بسیاری از میکروارگانیسم های بیماری زای گوشت از قبیل باکتری های مزوفیل هوازی، قارچ، کپک و استافیلوکوکوس اورئوس موفق بوده و توانست اسپورهای سالمونلا را به کلی حذف نماید، این روش تنها در غیرفعال کردن سلول های لیستریامونوسیتوژنز کارآمد نبود. در این پژوهش نیز همانند کار انجام شده توسط آقای اوزکان، چربی و رطوبت نمونه های گوشت به خوبی حفظ شده و بازده بالایی در فرآیند نیم پز کردن داشت. از طرفی، نتیجه گرفتند که گرمایش اهمی از لحاظ تشکیل هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای و فعالیت های جهش زایی، کاملا ایمن است (Sengun et al, 2014). در سال ۲۰۰۱ آقایان الیوت گودراکس[19]، گولیو[20] و زابر[21] اظهار داشتند که کاربرد تکنولوژی های اسپتیک و فرآیند دمای بالا زمان کوتاه HTST[22] در مواد غذایی حاوی ذرات، بر پایه مکانیسم های انتقال حرارت همرفتی و جابجایی استوار است، استریل شدن شدن مواد غذایی در این حالت به علت زمان زیاد مورد نیاز برای افزایش دمای مرکز ذرات دارای محدودیتهایی است. بر اساس این یافته ها، در سال ۲۰۱۴ تحقیق دیگری بر روی کوفته های تیمار شده با گرمایش اهمی صورت گرفت. آنها مخلوطی از کوفته گوشت خوک و آب را با استفاده از گرمایش اهمی پختند. به دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی کوفته های گوشت، به راحتی توسط گرمایش اهمی پخته شدند. از طرفی آنها دریافتند که افزودن نمک و سدیم تری پلی فسفات (STPP) منجر به افزایش شدید هدایت الکتریکی میگردد و در مقابل، استفاده از نشاسته تاپیوکا، شکر، فلفل و پودر سیر در فرمولاسیون کوفته ها منجر به کاهش هدایت الکتریکی آنها می‌گردد. کوفته های پخته شده به روش اهمی به طور واضحی ساختار محکم تر و یکنواخت تر و رنگ روشن تری نسبت به انواع پخته شده به روش های مرسوم داشتند، در حالیکه محتوای رطوبت آنها پایین تر بود. آنها نتیجه گرفتند که کوفته های پخته شده به روش اهمی از جنبه کیفی بسیار بهتر از انواع پخته شده به روش معمول بودند (Engchuan et al, 2014). در سال ۲۰۰۴ آقای پیته و همکارانش سوسیس بولونیا (شامل گوشت بدون چربی و گوشت چرب خوک به همراه سدیم کلراید، سدیم اریتوربات و سدیم نیتریت)را به دو روش گرمایش اهمی(با دامنه ولتاژ ۶۴ تا ۱۰۳ ولت و سرعت حرارت دهی ۳/۹ تا ۱۰/۳ $^{\circ}C/min$ ) و در اتاق دود(طول دوره ۱۸۰ دقیقه و دمای مرکزی ۷۰ درجه سلسیوس) پختند و محصول نهایی از نظر خصوصیات کیفی از قبیل رنگ، بافت، pH، Eh[23] و تند شدگی بررسی گردید. سوسیس های پخته شده در هردو روش از تمام جهات کیفی مشابه هم بودند و فقط بافت متفاوتی داشتند، سوسیس های پخته شده به روش اهمی بافت بسیار نرم تری را داشتند و هیچگونه افت کیفیتی در سوسیس های پخته شده به روش اهمی مشاهده نشد (Piette et al, 2004). در سال ۲۰۰۷ آقای لینگ[24] و

---

[16] Vanhatalo
[17] Malkki
[18] Peyron
[19] Eliot- Godereaux
[20] Goullieux
[21] Zuber
[22] High temperature Short time
[23] Reduction potential
[24] Lyng

www.SID.ir

Archive of SID

همکارش بر روی اختلافات موجود میان گوشت خورد شده و گوشت تکه نشده در فرآوری به روش اهمی تحقیق نمودند. از آنجایی که این تکنیک نیازمند هدایت الکتریکی یکنواخت درون ماده غذایی می‌باشد، بنابراین نتیجه گرفتند که باید با استفاده از نمک و یا تزریق آب نمک درون گوشت خرد نشده به یک توزیع حرارت کاملا یکنواخت دست یافت. بدین ترتیب توانستند گوشت گاو را به روش اهمی بپزند به طوری که از نظر کیفی قابل مقایسه با گوشت پخته شده به روش معمول بوده و از طرفی کاهش وزن گوشت نیز در حین پخت کمتر بود(Zell et al, 2009). در سال ۲۰۰۹ آقای زل و همکارانش گوشت گاو را به دو روش اهمی و با بخار پختند. سپس پارامترهای کیفی دو نوع گوشت را باهم مقایسه نمودند. نتایج نشان دادند که گوشت پخته شده به روش اهمی ساختار بسیار سبک تر و رنگ روشن تری داشت، کاهش وزن آن در حین پخت کمتر بوده و بافت سفت تری داشت (Zell et al, 2009). تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۵ بر روی سوسیس های غنی شده با اسیدهای چرب چند غیر اشباعی[۲۵] انجام گرفت. این سوسیس ها به دو روش مرسوم و اهمی پخته شدند و سپس از لحاظ خصوصیات کیفی و پایداری چربی مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که پخت این نوع سوسیس ها به روش معمول باعث افت کیفی قابل توجهی در چربی موجود می‌گردد. سوسیس هایی که با قطر بیشتری تولید شده بودند، بواسطه پخت طولانی تر باعث می شود که تری گلیسیریدهای هیدرولیز شده و روغن بسیار غیر اشباع کتان اکسید گردد. دلیل اصلی کیفیت بالاتر سوسیس های پخته شده به روش اهمی، زمان پخت کمتر و در نتیجه کاهش اکسیداسیون و تخریب اسیدهای چرب چند غیر اشباعی می باشد. با اینکه پخت اهمی تاثیر منفی بر رنگ سوسیس ها داشت اما با توجه به مزیت های فراوان آن از جمله سرعت پخت، به صرفه بودن اقتصادی و از همه مهمتر افزایش کیفیت غذاهای فراسودمند، محققین روش پخت اهمی را روش بسیار مناسبی برای این نوع سوسیس ها معرفی نمودند (Patyukov et al, 2015).

### ۲-۳. میوه و سبزیجات

در سال ۲۰۰۲ آقای کاسترو و همکارانش تاثیر قدرت میدان الکتریکی، میزان شکر و محتوای ماده جامد را بر روی هدایت الکتریکی محصولات توت فرنگی بررسی نمودند. آنها گزارش کردند که در مورد توت فرنگی تازه و ژله توت فرنگی، با افزایش قدرت میدان الکتریکی، هدایت الکتریکی محصول افزایش یافت ولی نتیجه در مورد تقاله توت فرنگی متفاوت بود، آنها دلیل این اتفاق را به حضور عوامل بافت دهنده نسبت دادند. هدایت الکتریکی با افزایش ماده جامد و شکر، کاهش یافت. در مورد تاثیر قدرت میدان الکتریکی بر هدایت الکتریکی محصولات نیز تاثیری یافت نشد (Castro et al, 2002). در سال ۲۰۱۱ آقای پاتارو[۲۶] و همکارانش فرآوری اسپتیک میوه زردآلو در شربت را تحت تیمار اهمی انجام دادند و خواص حسی قابل قبولی را در طی دوره نگهداری گزارش نمودند(Farahnaky et al, 2012). در سال ۲۰۱۲ آقای فرهناکی و همکارانش از تکنیک های گرمایش اهمی در شدت بالا و پایین، ماکروویو، گرمایش معمول برای پخت قطعات سبزیجات ریشه ای از جمله هویج، چغندر قرمز و هویج زرد استفاده نمود و تاثیرات روش های ذکر شده را باهم مقایسه نمود. آنها گزارش کردند که نه تنها سرعت نرم شدن بافت در روش اهمی بالاتر بوده، بلکه سفتی نهایی محصولات پخته شده به روش اهمی بسیار کمتر از انواع دیگر بود. از طرفی ، کاهش وزن نمونه های تیمار شده با در گرمایش اهمی در گرادیان ولتاژ بالا، نسبت به گرادیان پایین بیشتر بود(Farahnaky et al, 2012).

### ۲-۴. محصولات آردی و برنج

در سال ۲۰۱۳، مرینا لوپز و همکارانش از تکنیک گرمایش اهمی مداوم به همراه یک روش سنتی آماده سازی ذرت برای تولید آرد ذرت استفاده نمودند و اثرات آن را بر پارامترهای فرآیند از جمله زمان فرآیند، رطوبت ماده غذایی و سرعت مارپیچ، بر روی خواص فیزیکوشیمیایی و بافتی خمیر ذرت و نان تورتیلای تهیه شده از این آرد بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بودند که تاثیر دمای فرآوری بر روی محصول نهایی بیشتر از تاثیر رطوبت آرد بود، در حالیکه سرعت مارپیچ تاثیری بر روی محصول نهایی نداشت. نتایج بررسی کیفی نان توتیلا، قابل قبول بود که دلیل آن جذب خوب آب و قدرت نگهداری مناسب آب در طی پخت بود. همچنین آنها گزارش کردند که کیفیت آرد حاصل در صورت بکار گیری حرارت دهی اهمی کاملا مشابه آرد حاصل از روش سنتی بود. از طرفی آرد حاصل از روش اهمی مزایایی نسبت به روش سنتی دارد که میتوان به بازده بهتر تورتیلای تولید شده و بافت نرم تر نان تورتیلا اشاره نمود (Merena- Lopez et al, 2013). در سال ۲۰۱۷، آقای کانجاناپونکل از تکنیک اهمی برای پخت برنج استفاده کرد. با توجه به پژوهش انجام گرفته توسط کمپ[۲۷] و فرایر[۲۸] در سال ۲۰۰۷، میدان الکتریکی نفوذ آب را به درون ترکیبات غذایی در طی گرمایش اهمی افزایش می‌دهد، این مسئله میتواند تاثیر مثبتی بر پخت برنج داشته باشد. در نتیجه با افزایش شدت میدان الکتریکی، سرعت نفوذ آب به درون دانه های برنج نیز افزایش یافت. دما نیز تاثیر مثبتی در سرعت نفوذ آب داشت و در دماهای بالای ۸۰ درجه سلسیوس، آب سریع تر به

[25] PUFA (polyunsaturated fatty acids)
[26] Pataro
[27] Kemp
[28] Fryer

www.SID.ir

Archive of SID

درون برنج نفوذ کرد. یکی دیگر از مزایای پخت برنج به روش اهمی، کاهش مصرف انرژی تا حدود ۷۰٪ کل انرژی مصرفی یک پلوپز برقی بود، با توجه به اینکه زمان پخت برنج به روش اهمی نسبت به پلوپز برقی، بیشتر بود. مهمترین مزیت پخت اهمی نیز عدم وجود هیچ لایه ای از رسوب برنج در ظرف پخت بود (Kanjanapongkul, 2017).

## جمع بندی

امروزه صرفه جویی در مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت است به طوری که محققین دائم در تلاش هستند تا تکنولوژی هایی را با کمترین میزان مصرف انرژی و در عین حال پایدار تولید کنند. گرمایش اهمی یکی از این تکنولوژی های نوظهور و دوست دار طبیعت است که کاربردهای بسیاری را هم در حال حاضر و هم در آینده دارد. با توجه به مطالبی که در این مقاله به آنها اشاره شد میتوان نتیجه گرفت که گرمایش اهمی قابلیت تولید محصولات ایمن را با حفظ مواد مغذی دارا می باشد و در عین حال به کیفیت محصولات نیز آسیبی وارد نمی کند. با این روش میتوان به حرارت دهی سریع و یکنواختی در محصولات دست یافت. این تکنیک هردو اثرات حرارتی و غیرحرارتی را بر محصولات دارد. میزان موفقیت این روش در گرمایش محصولات توسط عواملی از جمله شدت میدان الکتریکی، میزان هدایت الکتریکی فرآورده، سرعت ایجاد حرارت در محصول، نرخ بالای افزایش دما، جنس الکترودها، شکل مخزن و فرکانس مورد استفاده محدود می‌گردد. از طرفی در مواد غذایی جامد، یکنواختی توزیع الکترودها در محصول مسئله ای مهم در سرعت و یکنواختی تولید حرارت در محصول می‌باشد. از طرف دیگر، کنترل سرعت تولید حرارت در محصولات مسئله ای جدی است که به دلیل تغییرات هدایت الکتریکی هر محصول در طی فرآوری رخ می‌دهد. با توجه به مزایای فراوان تکنولوژی اهمی، همچنان استفاده از آن در برخی صنایع همچون صنعت گوشت و فرآورده های گوشتی دچار مشکل است که محققین باید بر روی این مسائل تحقیق کنند تا بتوان از این تکنولوژی در تمامی صنایع بهره کافی را ببرند. از طرف دیگر، تولید رادیکال های آزاد در محصولات در طی گرمایش اهمی موضوعی بسیار جدی است که باید بر روی آن تحقیق شود. از مواردی که بایستی مورد توجه محققین قرار بگیرد استفاده از گرمایش اهمی در تولید پیوسته مواد غذایی هست بگونه ای که فرآوری تحت شرایط اتمسفر و خلاء( جهت حفظ کیفیت) با ظرفیت بالا مقدور گردد.

## مراجع


1) Achir N, Dhuique-Mayer C, Hadjal T, Madani K, Pain JP, Dornier M. Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016 Feb 29;33:397-404.
2) Bozkurt H, Icier F. Rheological characteristics of quince nectar during ohmic heating. International Journal of Food Properties. 2009 Jul 31;12(4):844-59.
3) Brochier B, Mercali GD, Marczak LD. Influence of moderate electric field on inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase and on phenolic compounds of sugarcane juice treated by ohmic heating. LWT-Food Science and Technology. 2016 Dec 31;74:396-403.
4) Cassano A, Drioli E. Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation. Journal of Food Engineering. 2007 Apr 30;79(4):1397-404.
5) Castro I, Teixeira JA, Salengke S, Sastry SK, Vicente AA. The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. Journal of Food Process Engineering. 2003 Apr 1;26(1):17-29.
6) Darvishi H, Khostaghaza MH, Najafi G. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2013 Jun 30;12(2):101-8.
7) Demirdöven A, Baysal T. Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. Journal of food science and technology. 2014 Sep 1;51(9):1817-26.
8) Engchuan W, Jittanit W, Garnjanagoonchorn W. The ohmic heating of meat ball: Modeling and quality determination. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2014 Jun 30;23:121-30.
9) Farahnaky A, Azizi R, Gavahian M. Accelerated texture softening of some root vegetables by ohmic heating. Journal of Food Engineering. 2012 Nov 30;113(2):275-80.
10) Icier F. Ohmic heating of fluid foods. Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods. 2012:305-67.
11) ICIER F, ILICALI C. Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. Journal of Food Process Engineering. 2004 Aug 1;27(3):159-80.
12) İçi F, Yildiz H, Baysal T. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. Journal of Food Engineering. 2008 Apr 30;85(3):410-7.


www.SID.ir

13) Icier F, Yildiz H, Sabanci S, Cevik M, Cokgezme OF. Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2017 Feb 28;39:241-6.
14) Jaeger H, Roth A, Toepfl S, Holzhauser T, Engel KH, Knorr D, Vogel RF, Bandick N, Kulling S, Heinz V, Steinberg P. Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. Trends in Food Science & Technology. 2016 Sep 30;55:84-97.
15) Jiménez-Sánchez C, Lozano-Sánchez J, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications. Critical reviews in food science and nutrition. 2017 Feb 11;57(3):501-23.
16) Jiménez-Sánchez C, Lozano-Sánchez J, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. Critical reviews in food science and nutrition. 2017 Feb 11;57(3):637-52.
17) Kanjanapongkul K. Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy. Journal of Food Engineering. 2017 Jan 31;192:1-0.
18) Kaur N, Singh AK. Ohmic Heating: Concept and Applications—A Review. Critical reviews in food science and nutrition. 2016 Oct 25;56(14):2338-51.
19) Makroo HA, Rastogi NK, Srivastava B. Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. Journal of Food Process Engineering. 2017 Jun 1;40(3).
20) Ménera-López I, Gaytán-Martínez M, Reyes-Vega ML, Morales-Sanchez E, Figueroa JD. Physico-chemical properties and quality assessment of corn flour processed by a continuous ohmic heating system and traditional nixtamalization. CyTA-Journal of Food. 2013 May 1;11(sup1):8-14.
21) Özkan N, Ho I, Farid M. Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooked patties. Journal of Food Engineering. 2004 Jun 30;63(2):141-5.
22) Patyukov S, Pacinovski N. EFFECT OF TRADITIONAL AND OHMIC HEATING ON FAT STABILITY OF PUFA-FORTIFIED COOKED SAUSAGES. Macedonian Journal of Animal Science. 2015;5(2):107-12.
23) Piette G, Buteau ML, Halleux DD, Chiu L, Raymond Y, Ramaswamy HS, Dostie M. Ohmic cooking of processed meats and its effects on product quality. Journal of food science. 2004 Mar 1;69(2).
24) Sakr M, Liu S. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014 Nov 30;39:262-9.
25) Sarkis JR, Jaeschke DP, Tessaro IC, Marczak LD. Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. LWT-Food Science and Technology. 2013 Apr 30;51(1):79-85.
26) Sengun IY, Turp GY, Icier F, Kendirci P, Kor G. Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. LWT-Food Science and Technology. 2014 Jan 31;55(1):232-9.
27) Stratakos AC, Koidis A. Suitability, efficiency and microbiological safety of novel physical technologies for the processing of ready-to-eat meals, meats and pumpable products. International Journal of Food Science & Technology. 2015 Jun 1;50(6):1283-302.
28) Yildiz H, Bozkurt H, Icier F. Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: effects on rheology, color, and total phenolics. Food Science and Technology International. 2009 Oct 1;15(5):503-12.
29) Zell M, Lyng JG, Cronin DA, Morgan DJ. Ohmic cooking of whole beef muscle–Optimisation of meat preparation. Meat Science. 2009 Apr 30;81(4):693-8.

www.SID.ir

Archive of SID

12th July 2017
۲۱ تیرماه ۱۳۹۶
3rd. International Conference on
Agricultural Engineering and Natural Resources
سومین کنفرانس بین المللی
مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی

# Ohmic Heating, the Prospect on Replacing with Thermal Processes in Food Industry

Shaghayegh Hoseini, Ali Fadavi*

Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University of Pharmaceutical Sciences, shaghayeghho1992@gmail.com
Department of Food Technology, College of Abureihan, Tehran University, afadavi@ut.ac.ir

Abstract: Heating the food products is one of the oldest methods of processing.The convectional heating methods can prepare a safe product, but it changes product in terms of quality aspects, which is unacceptable for consumers. For several years, modern thermal and non-thermal processing techniques have been used to produce various products in the food industry. Ohmic Heating is a new method in which heat generates inside the food by passing an alternative electrical current through the food material. It has both advantages and disadvantages and it has been widely used for processing of pumpable foods. In this study, the recent applications of ohmic heating were discussed.

Key words: Ohmic Heating, Electrical conductivity, Food safety, Thermal process, Heat transfer

www.SID.ir