

# کاربرد حرارت‌دهی اهمیک در صنعت غذا

رضا اسحاقی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل،

[Rezaeshaghi69@yahoo.com](mailto:Rezaeshaghi69@yahoo.com)

## چکیده:

فرایند حرارت‌دهی اهمیک به عنوان یک روش حرارت‌دهی مواد غذایی بوده که در آن مواد غذایی با عبور جریان الکتریکی به عنوان یک مقاومت الکتریکی عمل نموده و گرم می‌شوند. با تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت در این روش، یک حرارت‌دهی سریع و یکنواخت حاصل می‌شود. اساس کار در فرایند اهمیک بر مبنای حضور یون‌ها و انتقال جریان الکتریکی به واسطه این حضور بوده و متداول‌ترین منبع تأمین یون‌ها در این سیستم نمک کلرید سدیم می‌باشد. حرارت‌دهی اهمیک سبب غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها نیز می‌شود. سازوکار اصلی غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها تحت حرارت‌دهی اهمیک مطمئناً مربوط به اثرات حرارت است، با این حال وجود میدان الکتریکی نیز می‌تواند اثرات غیرحرارتی ضعیفی روی میکروارگانیسم‌ها داشته باشد. در روش حرارت‌دهی اهمیک بیش از ۹۰ درصد انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود که این مقدار در روش مایکروویو ۶۰ درصد است و به همین علت حرارت‌دهی اهمیک از کارایی بیشتری برخوردار است. این روش در مواد غذایی کاربردهایی از قبیل استریلیزاسیون، پاستوریزاسیون، تسریع فرایند خشک کردن، سهولت پوست‌گیری، بهبود فرایند تخمیر و ... را دارا می‌باشد. در این مقاله روش حرارت‌دهی اهمیک به همراه مزایا و محدودیت‌های آن به اختصار مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: حرارت‌دهی اهمیک، هدایت الکتریکی، مواد غذایی، غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها.

دیده و آسیب می‌بیند. برای استفاده از این روش حرارت دادن، ماده غذایی از میان دو صفحه که در مقام دو الکترود عمل می‌کنند و یک جریان متناوب با فرکانس ۵۰-۶۰ Hz بین آن‌ها برقرار است به طور مداوم عبور می‌کند. در اکثر موارد ماده از میان چندین مجموعه الکترود می‌گذرد که هر یک از آن‌ها درجه حرارت را در حد خاصی افزایش می‌دهد [4].

الکترودهای مورد استفاده در سیستم حرارت‌دهی اهمیک باید ویژگی‌هایی مانند توانایی انتقال جریان الکتریکی، قیمت پایین، میزان خوردگی پایین، و قابلیت استفاده در سیستم‌های غذایی را داشته باشد تا بتوان از آن‌ها در فراوری مواد غذایی استفاده نمود. اگرچه استیل زنگ نزن نسبت به سایر فلزات مقاومت خوبی در برابر خوردگی داشته اما با این حال، خوردگی در این آلیاژ بیشتر رخ می‌دهد [9]. اساس کار در طی فرایند اهمیک بر مبنای حضور یون‌ها و انتقال جریان الکتریکی به واسطه این حضور بوده و نمک کلرید سدیم از متداول‌ترین منبع تأمین یون‌ها در این سیستم است [12].

این روش کاربردهای مختلفی در صنعت غذا دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به کاربرد آن در آبدگیری از غذاها (خشک کردن مواد غذایی)، تبخیر آب مواد غذایی برای کاهش سطح رطوبت مواد غذایی جهت به تأخیر انداختن شروع فساد شیمیایی و میکروبی مواد غذایی، بلانچینگ غذاها، تخمیر، استخراج، استریلیزاسیون و پاستوریزاسیون و حرارت‌دهی غذاها در حد پیش‌تیمار برای فرایندهای اصلی حرارت‌دهی و ... اشاره کرد [1].

### ۳- اثر حرارت دهی اهمیک بر میکروارگانیسمها

سازوکار اصلی غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها تحت حرارت‌دهی اهمیک مطمئناً مربوط به اثرات حرارت است. با این حال، وجود میدان الکتریکی نیز می‌تواند اثرات غیرحرارتی ضعیفی روی میکروارگانیسم‌ها داشته باشد [18]. به این صورت که وجود میدان الکتریکی در روش حرارت‌دهی اهمی با فرکانس پایین (۵۰ الی ۶۰ هرتز) ممکن است به دیواره‌ی سلول‌ها اجازه باردار شدن داده و باعث ایجاد منافذی در غشاء سلولی شود، که در مطالعات بیولوژیکی مولکولی با تغییر شکل سلول‌ها با این روش، انتقال مواد مغذی به داخل سلول سریع‌تر و کارا تر شده و بنابراین فاز نهفتگی را کاهش دهند و در نتیجه فاکتوری  $D_v$  (مدت زمان بر حسب دقیقه) برای کاهش ۹۰٪ جمعیت اولیه میکروبی در یک دمای معین و تحت شرایط معین) مشاهده شده برای میکروارگانیسم‌ها در طی فرایند حرارت‌دهی اهمیک نسبت به روش‌های حرارت‌دهی سنتی پایین‌تر بوده است.

در تحقیقی که بر روی اثر حرارت‌دهی اهمیک بر روی پیش پخت کوفته انجام شده، نتایج نشان داد که طی پیش پخت اهمیک،

اساس فرایند حرارت‌دهی اهمیک بر مبنای عبور جریان متناوب الکتریکی از مواد غذایی و در پی آن تولید حرارت در مواد غذایی به دلیل مقاومت‌هایی که ذرات آن در برابر عبور جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهند، است. در واقع می‌توان گفت در حرارت‌دهی اهمیک، مواد غذایی بخشی از یک مدار الکتریکی را تشکیل می‌دهند [11]. با تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت در این روش، حرارت‌دهی یکنواخت و سریعی ایجاد می‌شود [5]. با استفاده از این تکنیک می‌توان مواد غذایی را با سرعت بالایی در عرض چند ثانیه تا چند دقیقه حرارت‌دهی کرد [17]. این فرایند حرارتی با نام‌های حرارت‌دهی ژول، حرارت‌دهی مقاومت الکتریکی، حرارت‌دهی مقاومت الکتریکی مستقیم، حرارت‌دهی الکتریکی و یا حرارت‌دهی رسانایی الکتریکی نیز شناخته می‌شود [19].

از مزایای فراوری حرارت‌دهی اهمیک می‌توان به مواردی همچون راندمان و کارایی انرژی بیشتر در مقایسه با سایر روش‌های حرارت‌دهی مرسوم مانند مایکروویو، کاهش خطر رسوب، گرفتگی سطوح انتقال حرارت، سوختن ماده غذایی، بالاتر بودن یا برابر بودن سرعت گرم شدن در فاز جامد در مقایسه با فاز مایع، آسانی کنترل فرایند از طریق روشن و خاموش کردن سریع سیستم، امکان حرارت‌دهی جریان پیوسته‌ای از مواد غذایی بدون نیاز به سطوح انتقال حرارت، هزینه‌ی تعمیرات و نگهداری پایین به علت وجود نداشتن بخش‌های متحرک و مناسب برای فراوری مواد غذایی با ویسکوزیته بالا و مواد حساس به برش اشاره کرد.

همان‌طور که بیان گردید در روش حرارت‌دهی اهمیک، ماده غذایی به عنوان محیط حد واسط برای عبور جریان الکتریسیته عمل نموده و از این رو سرعت گرم‌شدن آن به ترکیب و میزان مقاومت ماده غذایی و نیز میزان ولتاژ اعمالی در واحد سطح وابسته است [2].

### ۲ - معرفی حرارت‌دهی اهمیک

از سال ۱۹۸۰ رشد چشمگیری در فراوری غذای آماده مصرف برای مشتری آغاز شد، که حرارت‌دهی اهمیک به عنوان فراوری جدید از سال‌های ۱۹۸۵ به بعد در انگلستان مطرح گردید و سپس در ژاپن، فرانسه و آمریکا نیز در تنوع فرآورده‌های غذایی با استفاده از حرارت‌دهی اهمیک مطالعات گسترده‌ای را انجام داده‌اند [6].

حرارت‌دهی با مقاومت الکتریکی که حرارت‌دهی رسانایی هم گفته می‌شود، این امکان را به متخصصان می‌دهد که ذرات و سیالات را با سرعت یکسان حرارت دهند و اجازه می‌دهد که یک مخلوط با مواد جامد بالا به سرعت حرارت ببیند (چیزی که در تن ماهی یا انواع خورشت‌ها دیده می‌شود). در روش حرارت‌دهی متداول امکان حرارت‌دهی به فرآورده‌هایی که ذرات بزرگتر از ۲۵ میلی‌لیتر را دارند امکان‌پذیر نیست؛ چرا که برای دستیابی به حد مناسب استریلیزه شدن در مرکز هر ذره، فاز مایع بیش از حد اندازه حرارت

همه‌ی باکتری‌های پاتوژن به جز *L.monocytogenes* از بین رفتند [21].

در پژوهشی، محققینی به بررسی اثر ترکیبی حرارت‌دهی اهمیتیک و pH بر غیرفعال‌سازی *E.coli* O157:H7، *S.Typhimurium* و *L.monocytogenes* در آب پرتقال پرداختند. آن‌ها آبمیوه با pHهای مختلف (۲/۵، ۳/۵، ۴/۵) را که با پاتوژن‌ها تلقیح شده بودند را در معرض گرمایش اهمیتیک در دماهای مختلف (۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) برای مدت زمان مختلف (۰ تا ۶۰ ثانیه) قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که در  $pH = 2/5$  کاهش پاتوژن‌ها قابل توجه‌تر از دو pH دیگر است. در نتیجه می‌توان گفت در صورتی که حرارت‌دهی اهمیتیک با اسیدیته بالا ترکیب شود، دارای اثرات ضد میکروبی قابل توجه‌تری خواهد بود [20].

#### ۴- برخی از کاربردهای حرارت‌دهی اهمیتیک

۱-۴) استریلیزاسیون و پاستوریزاسیون: روش‌های استریلیزه و پاستوریزه کردن جزو فرایندهای گرمایی محسوب می‌شوند که این فرایندها باعث کاهش فعالیت مواد زیستی غیرمفید به وسیله بالا بردن دمای فرآورده‌ها برای متوقف کردن پاتوژن‌ها می‌شوند [16]. به طور کلی فرایند اهمی شامل گرما دادن هم‌زمان به دو فاز جامد و مایع به وسیله تولید گرمای درونی می‌باشد. تولید گرما به جای اعمال گرما، فرایند ضدعفونی کردن را به راحتی کنترل می‌کند [8].

۲-۴) تسریع فرایند خشک کردن: طبق تحقیقات پژوهشگران، ترکیب روش‌های اشباع‌سازی تحت خلاء و حرارت‌دهی اهمیتیک بهترین روش خشک‌کردن توت‌فرنگی در محلول بریکس ۶۵ سوکروز در دمای پائین می‌باشد [13].

۳-۴) سهولت پوست‌گیری: محققینی به بررسی اثر حرارت‌دهی اهمیتیک بر پوست‌گیری گوجه‌فرنگی پرداختند. به این صورت که گوجه‌فرنگی‌ها را در محلول NaCl تحت شرایط مختلفی از نظر شدت میدان، حرارت اولیه و تعداد گوجه‌فرنگی قرار دادند. نتیجه اینکه پوست‌گیری با غلظت بسیار کم قلیا انجام شد و بهترین شرایط پوست‌گیری تحت سیستم اهمیتیک شامل  $0.01g/100ml$  NaCl با  $8060 \text{ } ^\circ V/m$  و  $9680 \text{ } ^\circ V/m$  و هم‌چنین  $0.03g/100 \text{ ml}$  NaCl با  $6450 \text{ } ^\circ V/m$  و  $8060 \text{ } ^\circ V/m$  بود. در این روش، پوست‌گیری نیاز به یک زمان کوتاه (تقریباً یک دقیقه) داشت [14].

۴-۴) بهبود فرایند تخمیر: حرارت‌دهی اهمیتیک فاز تأخیری کشت‌های باکتریایی را کاهش می‌دهد و موجب تسریع رشد باکتری‌های عامل تخمیر می‌گردد.

۵-۴) استفاده از دمای متوسط برای نگهداری و پخش، هنگامی که به صورت ترکیبی از این سیستم به همراه سیستم پرکنی اسپتیک استفاده می‌شود: هنگامی که از سیستم حرارت‌دهی اهمیتیک به همراه سیستم بسته‌بندی اسپتیک

برای سینه مرغ استفاده شد، مشاهده گردید که کیفیت نمونه در طول دوره‌ی انبارش در حد مطلوب باقی می‌ماند [10].

#### ۵- مقایسه حرارت‌دهی اهمیتیک با مایکروویو

روش حرارت‌دهی اهمیتیک بسیار موثرتر از روش مایکروویو است چرا که تقریباً تمام انرژی ورودی به جسم را تبدیل به حرارت می‌کند. (در روش حرارت‌دهی اهمیتیک بیش از ۹۰ درصد انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌گردد که این میزان در روش مایکروویو ۶۰ درصد می‌باشد). در روش‌های مایکروویو و استفاده از امواج رادیویی، نفوذ تا عمق معینی از ماده غذایی صورت می‌گیرد، در حالی که در روش اهمیتیک چنین محدودیتی وجود ندارد (البته قابل ذکر است که در مایکروویو نیازی به تماس با ماده غذایی نیست اما در روش اهمیتیک باید تماس مناسبی بین الکتروود و ماده غذایی ایجاد شود). در نهایت هزینه حرارت‌دهی به روش اهمیتیک، نسبت به مایکروویو کمتر است [3].

#### ۶- مزایای حرارت‌دهی اهمیتیک

مزایای قابل توجه حرارت‌دهی اهمیتیک عبارتند از:

- تولید مداوم بدون سطوح انتقال حرارت
- فرایند سریع و یکنواخت برای فازهای جامد و مایع با حداقل تخریب حرارتی و افت مواد مغذی مانند ویتامین B و C
- به دلیل عدم حضور سطوح گرم با مشکل سوختگی و کثیف شدن سطوح دستگاه مواجهه نیستیم
- باقی ماندن عطر و طعم در ماده غذایی
- مکانیسم اصلی غیرفعال شدن میکروبی در اثر حرارت، باعث تخریب دیواره سلولی می‌گردد.
- پروسه‌ای ایده‌آل برای محصولات حساس به برش به خاطر سرعت جریان پایین
- کاهش سوخت در مقایسه با حرارت‌دهی معمول
- کنترل ساده‌تر فرایند با کاهش هزینه نگهداری
- دوست‌دار محیط زیست
- در این روش برای مواد ویسکوز بالا که انتقال حرارت به شکل جابجایی به خوبی انجام نمی‌شود، مناسب است.

#### ۷- محدودیت‌های سیستم حرارت‌دهی اهمیتیک

سیستم حرارت‌دهی اهمیتیک محدودیت‌هایی نیز دارد [15]، که شامل موارد زیر می‌باشد:

- بازده هدایت الکتریکی محدود می‌شود، چون هر دستگاه برای یک خانواده از محصولات طراحی شده است.
- الکتروودها باید با محصولی که مورد فرایند قرار می‌گیرد، سازگار باشد و با آن واکنش ندهد.

packaging for meat. International & Journal of meat science Vol.96, pp.675-681.2014.

11) Knirsch, M.C., Alves dos santos, C., Martins de oliveira soares Vicente, A.A., Vessoni penna, T.C. *ohmic heating a review*. Trends in food science & Technology 21, 436-441.2010.

12) Li, F.D., Li, L.T., Li, Z., Tatsumi, E. *Determination of starch gelatinization temperature by ohmic heating*. Journal of food Engineering, 62. 113-120.2004.

13) Moreno, J.R., Simpson, A., Baeza, J., Morales, C.Munoz, S., Sastry, S. *Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmolytic kinetics and microstructure of strawberries* (CV. Camavosa), LWT- Food Science and Technology, 45, 148-154.2012.

14) Ngasri, p.w., sastry, S.K. *Effect of ohmic heating on tomato peeling*. International Journal of Food science and technology. Vol.61, pp.269-274.2015.

15) ohlsson, T. *Minimal processing food with electric heating methods in processing foods: Quality optimization and process assessment*, 37-51.1999.

16) praporscic, I., Le borka, N.L., Ghnimi, S., Vorobiev, E. *ohmically heated, enhanced Expression of juice from Apple and potato tissues*, Biosystems Eng, 93(2), p.199.2006.

17) Sastry, S.K. *Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing*. In G. V. Barbola-Ca novas, M.S. tapia, & M.P.Cano (Eds.), Novel food processing technologies. Boca Raton, FL: CRC press.2005.

18) Sun, H.X., Kawamura, S., Himoto, J.L., 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.

19) wang, L.J., Li, D., Tatsumi, E., Liu, Z., Chen, X., Li, L.T. *Application of two stage ohmic heating to tofu processing*. Chemical Engineering and processing, 46, 486-490.2007.

20) yeon Lee, J., Soon kim, S., Hyunkang, D., *Effect of pH for inactivation of Escherichia coli O157: H7, Salmonella typhimurium and listeria monocytogenes in orange juice by ohmic heating*. International & Journal of Food science and Technology, Vol. 62, pp. 83-88.2015.

21) Ilkin Yucel Sengun, Gulen Yildiz tarp, Filizclier, perihan kendirci, Gamze kor. *Effect of ohmic heating for meatballs on some quality and safety attributes*. Foods science and technology, Vol. 55, pp. 232 – 239. 2014.

• باید دقت شود تا هدایت الکتریکی محصول خیلی کم یا زیاد نباشد.

• خصوصیات الکتریکی محصول که تحت فرایند قرار می‌گیرد، باید به خوبی شناخته شده باشد.

## ۸- نتیجه‌گیری

باتوجه به گرایش مصرف‌کنندگان مواد غذایی به مصرف فرآورده‌هایی با حداقل تیمار حرارتی از یک سو و بازدهی انرژی بالاتر به صورت فرایندی سریع و یکنواخت برای فازهای جامد و مایع با حداقل تخریب حرارتی و افت مواد مغذی از سوی دیگر و همچنین قابلیت استفاده از این روش در فرایندهای مختلفی مانند تیمار مواد غذایی ویسکوز، ترکیب این روش با بسته‌بندی اسپتیک و غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها در مواد غذایی، استفاده از سیستم حرارت‌دهی اهمیک را مناسب نموده است.

## منابع

۱) جلالی جیوان، م. یارمند، محمد سعید. کاربرد حرارت‌دهی اهمیک در مواد غذایی. اولین کنفرانس خاورمیانه‌ای خشک کردن، ۳۰ بهمن الی ۱ اسفندماه، منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، ایران. ۱۳۹۰.

۲) زندی، م. نیاکوثری، م. طراحی، ساخت و بررسی عملکرد سیستم حرارتی اهمیک ناپیوسته. فصلنامه علمی - پژوهشی علوم و صنایع غذایی ایران. ایران. ۱۳۹۰.

۳) عزیزی خصال، م. کاربرد تکنولوژی حرارت‌دهی اهمیک در صنایع غذایی. سومین همایش ملی امنیت غذایی، ۷ الی ۸ اسفندماه، سوادکوه، ایران. ۱۳۹۲.

۴) اصول تکنولوژی نگهداری مواد غذایی، فاطمی، ح. انتشارات سهامی انتشار، چاپ دوم. ۱۳۸۵.

5) Anderson, D.R., *Ohmic heating as an alternative food processing technology*. Johnson & Wales university. ۲۰۰۳.

6) DA – Wen Sun, . *Thermal food processing*. 426-456.2006.

7) De Alwis, A., Halden, K., Fryer, P.J. *Shape and Conductivity Effects in the ohmic heating of foods*. Chem. Eng. Res., 67, p.1547.1989.

8) Fryer, P.J., De Alwis, A., Koury, E., Stapley, A.G.F., Zhang, L. *Ohmic Processing of Solids – Liquid mixtures: Heat Generation and convection Effects*. J.Food Eng., 18, p.101.1993.

9) Ghimi, S., Flach – Malas pina, N., Dresch, M., Delaplace, G., Maingonnat, J. G. *Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids*. Chemical engineering research and design, 86, 626-632.2008.

10) Ito, R., Fukuoka. M., Sato, N.H. *Innovative food processing technology using ohmic heating and aseptic*