

بررسی خوردگی و مهاجرت یونهای فلزی در سیستم حرارت دهی اهمیک در مواد غذایی

محسن زندی^۱، مهرداد نیاکوثری^{۲*}

۱- فارغ التحصیل گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- پژوهشکده نانوفناوری دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۲۵)

چکیده

نبود سطح حرارت دهی از مزایای فرآیند اهمیک نسبت به سایر فرآیندهای متداول در حرارت دهی مواد غذایی است که در آن اعمال حرارت در حجم ماده غذایی صورت می پذیرد. این فرآیند حرارت دهی عمدتاً در جریانهای با فرکانس های پایین (۵۰ تا ۶۰ هرتز) صورت گرفته که می تواند منجر به الکترولیز آب و به دنبال آن خوردگی الکترودها شود. هر گونه خوردگی در الکترودها می تواند سبب کوتاهتر شدن قابلیت نگهداری ماده غذایی و عمر الکترودها و نیز احتمال ایجاد مشکلات تغذیه ای گردد. هدف از این پژوهش بررسی میزان خوردگی الکترودها در طی فرآیند اهمیک بوده که به همین منظور میزان مهاجرت یونهای آهن، کروم، منگنز، مولیبدن و نیکل از الکترودهای به سیستم غذایی به عنوان معیاری از خوردگی اندازه گیری شد و علاوه بر آن میزان مهاجرت یونها در فرآیند اهمیک با فرآیند اتوکلاو مقایسه گردید. در این تحقیق میزان مهاجرت یونهای فلزی با استفاده از روش جذب اتمی اندازه گیری و تمامی نمونه ها با نمونه کنترل (شاهد) مقایسه شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که فرآیند حرارتی اهمیک در مقایسه با فرآیند حرارتی متداولی مثل اتوکلاو تاثیر معناداری بر میزان مهاجرت یونهای فلزی به مواد غذایی نداشته و علاوه بر آن غلظت تمامی یونهای فلزی که به ماده غذایی وارد شده از میزان مجاز بسیار کمتر است.

کلید واژگان: سیستم حرارت دهی اهمیک، خوردگی، یونهای فلزی، فولاد زنگ نزن

* مسئول مکاتبات: niakosar@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

فرآیند حرارت دهی اهمیتیک به عنوان یک روش حرارت دهی بوده که در آن مواد غذایی با عبور جریان الکتریکی به عنوان مقاومت عمل نموده و گرم می گردد. با تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت در این روش، حرارت دهی یکنواخت و سریعی ایجاد می شود [۱]. این فرآیند حرارتی با نام های حرارت دهی ژول، حرارت دهی مقاومت الکتریکی، حرارت دهی مقاومت الکتریکی مستقیم و یا حرارت دهی رسانایی الکتریکی نیز شناخته می شود [۲]. این سیستم برای فرآیندهای مختلفی نظیر تیمار مواد غذایی ویسکوز [۳]، [۴] و [۵]. مایعات حاوی قطعات جامد [۶]، مواد غذایی پروتئین دار [۲]، [۷-۱۱] و بسیاری از مواد غذایی دیگر مناسب می باشد.

اساس کار در طی فرآیند اهمیتیک بر مبنای حضور یونها و انتقال جریان الکتریکی به واسطه این حضور بوده و نمک کلرید سدیم از متداولترین منبع تامین یونها در این سیستم است. یکی از مشکلات عمده در طی استفاده از نمک در سیستم اهمیتیک، ایجاد خوردگی در الکترودها به واسطه حضور یونهای سدیم و کلرید و عبور جریان الکتریسته بوده که این خوردگی با افزایش میزان نمک موجود در محیط و افزایش ولتاژ ورودی تسریع می گردد [۳]. الکترودهای مورد استفاده در سیستم حرارت دهی اهمیتیک باید ویژگی هائی مانند توانایی انتقال جریان الکتریکی، قیمت پائین، میزان خوردگی پائین، قابلیت استفاده در سیستم های غذایی را داشته باشد تا بتوان از آنها در فرآوری 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 نیز رخ می دهد [۱۲]. پلاتین اگرچه در برابر خوردگی مقاومت بسیار بالایی داشته ولی به سبب قیمت بالای آن، استفاده از آن در این سیستم در مقیاس صنعتی چندان مقرون به صرفه نیست [۱۳]. خوردگی یا به عبارت دیگر مهاجرت یونهای فلزی از الکترودها به ماده غذایی مشکلات تکنولوژیکی و تغذیه ایی را به همراه دارند. خوردگی الکترودها سبب کاهش توان حرارت دهی سیستم شده و الکترودها نیز باید بعد از زمان کوتاهی تعویض گردد. مهاجرت یونها همچنین نیز می تواند سلامتی مصرف کننده را تهدید نماید. از اینرو بررسی میزان

مهاجرت یونهای فلزی از الکترودها به ماده غذایی جزء ارکان اصلی در طراحی و بررسی عملکرد سیستم حرارت دهی می باشد [۱۴]. تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه بررسی خوردگی الکترودها در سیستم حرارت دهی اهمیتیک صورت پذیرفته که عمده این تحقیقات نیز به منظور تعیین بهترین نوع الکتروود در این سیستم بوده است، اما هنوز پژوهشی در زمینه میزان انتقال یونهای فلزی از الکترودها به سیستم غذایی و مقایسه آن با سایر تکنیک ها انجام نشده است. هدف از این مطالعه تعیین میزان مهاجرت یونهای آهن، کروم، منگنز، مولیبدن و نیکل از الکترودهای به سیستم غذایی به عنوان معیاری از خوردگی و مقایسه آن با میزان مهاجرت یونها در فرآیند اتوکلاو می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- طراحی آزمایشگاهی سیستم اهمیتیک ساخته شده

تصویری از سیستم اهمیتیک طراحی شده و نیز محفظه تیمار در شکل ۱ نشان داده شده است. این دستگاه در اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی ایران در سال ۱۳۸۹ به ثبت رسیده و مراحل نهایی کسب تایید علمی آن را می گذراند از سه بخش سیستم تامین برق، محفظه تیمار و سیستم کنترلی تشکیل شده است. در سیستم تامین برق از یک واریاک ۵ کیلووات جریان متناوب با فرکانس ۵۰-۶۰ هرتز به منظور تغییر در ولتاژ ورودی به دستگاه و بدنبال آن تغییر در سرعت حرارت دهی استفاده گردیده است. برای بالا بردن ایمنی سیستم قبل و بعد از واریاک فیوزهای ۱۰ آمپر نصب شده که این فیورها همچنین مانع از وارد آمدن فشار به دستگاه می گردد و در صورتیکه آمپر مصرفی از حد مشخصی بگذرد، به طور اتوماتیک جریان را قطع می نماید. در سیستم برق به منظور مسائل ایمنی از محافظ جان نیز استفاده شده است. محفظه تیمار به شکل استوانه و دارای طول و قطر داخلی ۲۰۰ و ۹۴ میلیمتری (به ترتیب) است (شکل ۱) که این محفظه دارای درب استوانه ای قابل باز و بسته شدن می باشد. محفظه و درب آن کاملاً از تفلون ساخته شده اند که چهار سوراخ به قطر ۶ میلیمتر به منظور اندازه گیری دما و نصب شیر ایمنی

هر ثانیه ۳ دما ثبت گردیده که این عمل توسط نرم افزار نوشته شده در محیط مطلب صورت می پذیرد. ولتاژ و آمپر نیز توسط ولتمتر و آمپر متر اندازه گیری و توسط نرم افزار ثبت می گردد.

۲-۲- آماده سازی نمونه

به منظور بررسی میزان مهاجرت یونهای فلزی از الکترودها به ماده غذایی سوپی از نمک کلرید سدیم خالص (۰/۵٪)، نشاسته گندم (۵٪)، روغن آفتابگردان (۱٪)، قطعات هویج و نخود فرنگی (۵٪)، رب گوجه فرنگی با درجه بریکس ۳۰-۲۸ (۵٪) و آب مقطر تهیه گردید و پس از اینکه نمونه مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در ظرفی از جنس شیشه نسوز (مقاوم به حرارت) قرار گرفت. سپس نمونه به مدت ۲ ساعت در دمای یخچالی نگهداری شد. قبل از نگهداری یخچالی pH سوپ تهیه شده با استفاده از اسید سیتریک در pH=۶ تنظیم گردید. تنظیم pH به این منظور صورت گرفت تا بتوان از روی تغییرات آن میزان خوردگی را بررسی نمود. تکنیک اندازه گیری pH برای بررسی خوردگی توسط سامارانایاکی و همکاران ارائه گردید [۱۵]. سوپ حاصله در دمای محیط (حدود ۲۵ درجه سانتی گراد) به درون محفظه تیمار (حجم محفظه تیمار طراحی شده در حدود ۱۱۰۰ میلی لیتر بود) پر گردید.

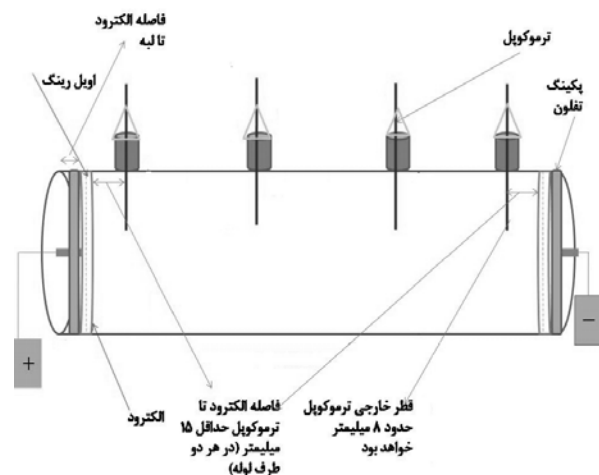
۲-۳- فرآیند اعمال حرارت در محفظه تیمار

به منظور اعمال حرارت با استفاده از سیستم اهمیک، بعد از پر نمودن محفظه تیمار از نمونه مورد نظر، ترمینال ها به دو انتهای الکترودهای دستگاه متصل شده و با اعمال ولتاژ 225 ± 5 ولت (توسط واریاک) دما افزایش داده شد. این مقدار ولتاژ معادل ۱/۱۵ ولت به ازای هر سانتی متر طول محفظه تیمار اهمیک می باشد. در ادامه نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. اعمال حرارت در روش اتوکلاو نیز در حضور الکترودهای سیستم اهمیک به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد انجام پذیرفت. نمونه کنترل نیز بدون هیچگونه تیماری ارزیابی گردید.

۲-۴- اندازه گیری یون های فلزی

در این آزمون مقدار یون های آهن، منگنز، کروم، نیکل و مولیبدن نمونه های کنترل (که پس از پخت اولیه هیچگونه فرآیند حرارتی در روی آن اعمال نگردیده)، نمونه های حرارت دیده در سیستم

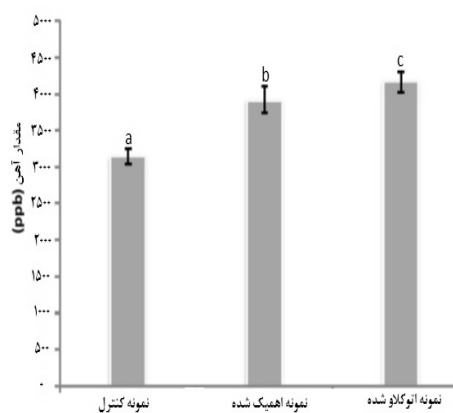
(جلوگیری از بالا رفتن احتمالی فشار) در بدنه آن تعبیه شده است. محفظه دیگری که مجدداً با هدف مشاهده نحوه انجام فرآیند طراحی گردیده از جنس شیشه بوده و دارای قطر داخلی ۷۰ میلیمتری و طول ۳۰۰ میلیمتری می باشد.



شکل ۱ تصویر شماتیک از محفظه تیمار و نیز تصویر سیستم اهمیک ناپیوسته مورد استفاده

در دو انتهای محفظه تیمار دو الکتروود دایره ای شکل نصب شده است. این الکترودها که خود به عنوان عامل اولیه عبور جریان از ماده غذایی به حساب می آیند، از جنس استیل زنگ زن ۳۱۶ به ضخامت ۴ میلیمتر و قطر ۹۰ میلیمتر بوده و با واشر حلقوی و تفلون آببندی گردیده است. به منظور ثبت دما از حسگرهای دقیق PT100 (با دقت ۰/۱ درجه سانتی گراد) استفاده شده که این حسگرها به یک سیستم حد فاصل متصل هستند، این سیستم به منظور انتقال داده های ثبت شده توسط حسگرهای دمایی به کامپیوتر از طریق درگاه کام یا یو اس بی استفاده می گردد. و در

اهمیک و عبور جریان برق تاثیر معناداری در افزایش مهاجرت یون آهن ندارد (نمودار ۱). در طی فرآیند اهمیت هیچ نشانی از حضور و تجمع گاز هیدروژن در اطراف الکترودها مشاهده نشد و همچنین pH نهایی سوپ نیز تغییر نکرد. همه این شواهد مبنی بر عدم وقوع خوردگی در اثر عبور جریان برق است. اگرچه انتظار می رفت که میزان مهاجرت یون آهن و بالطبع خوردگی الکترودها در تکنیک حرارت دهی اهمیت افزایش یابد، اما این اتفاق رخ نداد که دلیل آن می تواند به غلظت یونهای کلرید و سدیم مرتبط باشد. زارعی فرد و همکاران و نیز قنمیت و همکاران بیان نمودند که افزایش در میزان غلظت نمک کلرید سدیم و متعاقب آن افزایش یونهای کلرید و سدیم سبب تسریع شدید در خوردگی الکترودها می گردد [۶]، [۱۲]. سامارانایاکی و همکاران در طی تحقیق خود به منظور تعیین بهترین الکترود از نظر مقاومت در برابر خوردگی به نتایج مشابهی با این پژوهش دست یافتند. آنها از تغییرات pH ماده غذایی مورد آزمون و تشکیل و تجمع گاز هیدروژن در اطراف الکترودها به عنوان نشانگری از خوردگی الکترودها، استفاده نمودند [۱۵].



نمودار ۱ تاثیر فرآیند اهمیت بر مهاجرت یون آهن به ماده غذایی (اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح ۹۵ درصد ندارند).

با بررسی نمودار ۲ می توان مشاهده نمود که میزان مهاجرت یون کروم در سوپ تیمار شده با اتوکلاو و اهمیت در مقایسه با نمونه کنترل در سطح آماری $p < 0.05$ هیچ تفاوتی ندارد. این امر نشان دهنده این مطلب بوده که حضور الکترودها در سیستم غذایی تاثیری در مهاجرت یون کروم نداشته است و اساساً مهاجرت معناداری از الکترودها به ماده غذایی صورت نگرفته است. بطور

اهمیک طراحی شده و نمونه های حرارت دیده در اتوکلاو همراه با همان الکترودهای سیستم اهمیت، توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. به این منظور از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی (GBC-Australian Model:932-AA) آزمایشگاه مرجع اداره استاندارد شیراز استفاده گردید. ابتدا ۵ گرم نمونه در اسید نیتریک حل و پس از حرارت دهی توسط آب یونیزه شده به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانیده شد. این دستگاه با اندازه گیری میزان یونهای آزاد شده در نمونه (در اثر اعمال حرارتی بین ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سانتی گراد) مقدار آهن، منگنر، کروم، نیکل و مولیبدن را که از اجزاء تشکیل دهنده استیل ضد زنگ هستند، تعیین می نماید [۱۶].

۵-۲- آنالیز آماری داده ها

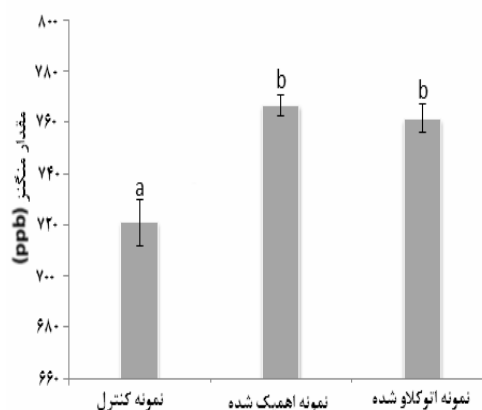
برای انجام آنالیز آماری داده ها و بررسی اطلاعات از آزمایش های مختلف، از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. آزمون ها در سه تکرار انجام شد و سپس میانگین و انحراف معیار داده ها بدست آمد. آنالیز واریانس برای بررسی اختلاف معنی دار در سطح $p < 0.05$ بکار برده شد. به منظور تعیین اختلاف بین میانگین اعداد، پس از آنالیز واریانس از آزمون دانکن استفاده گردید. برای تمام مراحل تجزیه و تحلیل آماری داده ها، از نرم افزار آماری مینی تب استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب میزان مهاجرت یون آهن و کروم را به سوپ آماده شده پس از اعمال تیمارهای حرارتی اهمیت و اتوکلاو نشان می دهد. آهن و کروم عناصر اصلی تشکیل دهنده فولاد زنگ نزن بوده، از اینرو میزان مهاجرت این دو یون حائز اهمیت است. همانطور که نتایج مشخص نموده میزان مهاجرت یون آهن از الکترود به ماده غذایی در سوپ تیمار شده با اتوکلاو و اهمیت در مقایسه با نمونه کنترل افزایش معناداری یافته که این امر بواسطه حضور الکترودها در محیط غذایی است و نشان دهنده مهاجرت یون آهن از الکترودها به ماده غذایی می باشد. با اینحال میزان مهاجرت یون آهن به سوپ آماده شده در سطح آماری $p < 0.05$ در نمونه های اهمیت و اتوکلاو شده با هم تفاوت معناداری نداشته و مبین این مطلب است که فرآیند

همانطور که در نمودار ۳ مشاهده می گردد، همانند یون کروم، تفاوت معناداری بین غلظت نیکل در نمونه های کنترل، تیمار شده با اهمیک و تیمار شده با اتوکلاو در سطح آماری $p < 0/05$ وجود نداشته که نشان دهنده عدم مهاجرت یونها از الکترودهای فولاد زنگ نزن به محیط غذایی است.

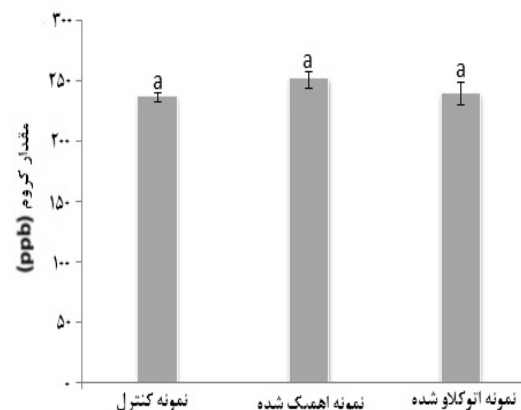
اصولاً فولاد زنگ نزن مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارد البته همانگونه که گفته شد، به نظر می رسد با افزایش یونهای سدیم و کلرید امکان خوردگی و مهاجرت یونهای فلزی مانند نیکل نیز افزایش یابد. میزان مهاجرت یون منگنز به سوپ آماده شده پس از اعمال تیمارهای حرارتی اهمیک و اتوکلاو در نمودار ۴ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار ۴ مشاهده می گردد، فرآیند حرارتی اهمیک و اتوکلاو سبب افزایش معنادار در مهاجرت این یون به ماده غذایی شده در حالیکه در سطح آماری $p < 0/05$ تفاوتی بین غلظت یون منگنز سوپ های تیمار شده با اهمیک و اتوکلاو وجود ندارد. این امر نشان می دهد که فرآیند اهمیک تاثیری در افزایش غلظت یون منگنز نداشته و افزایش صورت گرفته تنها به واسطه حضور و حرارت دهی الکترودها در ماده غذایی بوده است. با این حال مقدار غلظت یون منگنز مهاجرت یافته به سوپ پایتتر از مقدار مجاز مصرف آن در روز می باشد (بر اساس مقادیر ارائه شده توسط یسارت و همکاران [۱۸]).



نمودار ۴ تاثیر فرآیند اهمیک بر مهاجرت یون منگنز به ماده غذایی

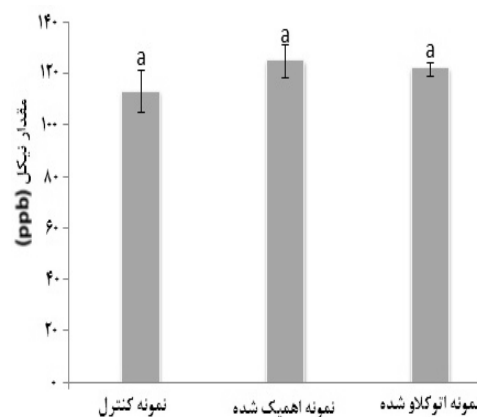
(اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح ۹۵ درصد ندارند).

کلی غلظت یونهای آهن و کروم در نمونه های حاصل از دو تیمار حرارتی اهمیک و اتوکلاو پایتتر از مقدار مجاز مصرف آن دو یون در روز می باشد (بر اساس مقادیر ارائه شده توسط هایت و همکاران [۱۷]).



نمودار ۲ تاثیر فرآیند اهمیک بر مهاجرت یون کروم به ماده غذایی

(اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح ۹۵ درصد ندارند).



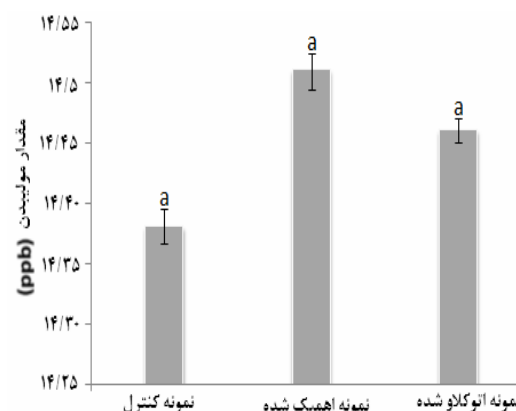
نمودار ۳ تاثیر فرآیند اهمیک بر مهاجرت یون نیکل به ماده غذایی

(اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح ۹۵ درصد ندارند).

این موضوع نیازمند تحقیقات کاملتری است. با این حال غلظت یونهای فلزی مختلف در نمونه های تیمار شده با اهمیک پائین تر از مقدار مجاز مصرف روزانه است. تا کنون تحقیقاتی در زمینه تغییر جنس الکتروود بر میزان خوردگی صورت گرفته ولی با این وجود هنوز به تحقیقات بیشتری در زمینه تاثیر تغییر غلظت نمک، تغییر ولتاژ ورودی و تغییر در شکل الکتروود بر میزان مهاجرت یونهای فلزی در سیستم حرارت دهی اهمیک می باشد.

۵- منابع

- [1] Anderson, D.R. . (2003). *Ohmic heating as an alternative food processing technology*. Johnson & Wales University.
- [2] Wang, L.J., Li, D., Tatsumi, E., Liu, Z., Chen, X., Li, L.T. (2007). Application of two-stage ohmic heating to tofu processing. *Chemical Engineering and Processing* , 46, 486-490.
- [3] Li, F.D., Li, L.T., Li, Z., Tatsumi, E. . (2004). Determination of starch gelatinization temperature by ohmic heating. *Journal of Food Engineering* , 62, 113-120.
- [4] Marcotte, M., Ramaswamy, H.S. (1998). Ohmic heating behavior of hydrocolloid solutions. *Food Research International* , 31, 493-502.
- [5] Marcotte, M., Taherian, A.R., Trigui, M., Ramaswamy, H.S. (2001). Evaluation of rheological properties of selected salt enriched food hydrocolloids. *Journal of Food Engineering* , 48, 157-167.
- [6] Zareifard, M.R., Ramaswamy, H.S., Trigui, M., Marcotte, M. . (2003). Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* , 4, 45-55.
- [7] Kanjanapongkul, K., Tia, S., Wongsan-Ngasri, P., Yoovidhya, T. (2009). Coagulation of protein in surimi wastewater using a continuous ohmic heater. *Journal of Food Engineering* , 91, 341-346.
- [8] Lei, L., Zhi, H., Xiujin, Z., Takasuke, I., Zaigui, L. . (2007). Effects of different heating methods on the production of protein-lipid film. *Journal of Food Engineering* , 82, 292-297.
- [9] Zell, M., Lyng, J., Cronin, D., Morgan, D. . (2009). Ohmic heating of meats: Electrical



نمودار ۵ تاثیر فرآیند اهمیک بر مهاجرت یون مولیبدن به ماده غذایی

(اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح ۹۵ درصد ندارند).

غلظت یون مولیبدن در دو تیمار اهمیک و اتوکلاو و نمونه کنترل بین ۱۴/۳۵ تا ۱۴/۵۵ متغیر بوده که به دلیل نزدیک بودن تکرارها قابلیت مقایسه وجود نداشته و از نظر آماری تفاوت معناداری بین تیمارها و نمونه کنترل نمی باشد (نمودار ۵).

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق سعی بر این شد تا میزان خوردگی الکتروودها و متعاقب آن مهاجرت یونها از الکتروودها به ماده غذایی در سیستم اهمیک مورد بررسی قرار گیرد. از اینرو دو تیمار مختلف اهمیک و اتوکلاو در روی سوپ غذایی آماده شده انجام و با نمونه کنترل مقایسه گردید. در این پژوهش به منظور حصول نتایجی با دقت و صحت بالا از دستگاه جذب اتمی (که جزء دستگاههای دقیق در اندازه گیری فلزات سنگین است)، استفاده شد. بر اساس این آنالیز اگر چه سیستم اهمیک سبب افزایش غلظت آهن، منگنر و نیکل نسبت به نمونه کنترل می شود ولی تفاوت معناداری نسبت به مقدار این یونها در تیمار اتوکلاو وجود نداشته و میزان یونهای مولیبدن و کروم نیز در سه نمونه هیچ تفاوت معناداری از نظر آماری ندارند. البته همانطور که برخی محققان نیز اشاره نموده اند، به نظر می رسد که در غلظت های بالاتر نمک (مثلاً بیشتر از ۱٪) شدت خوردگی و مهاجرت یونها افزایش پیدا نماید که اثبات

- Journal of Electroanalytical Chemistry* , 457, 191–203.
- [15] Samaranayake, CH.P., Sastry, S.K., Zhang, H. (2005). Pulsed Ohmic Heating—A Novel Technique for Minimization of Electrochemical Reactions During Processing. *Journal of Food Science* , 70, 460-465.
- [16] A.O.A.C. (2002). *Official Methods of analysis (17th ed. ed.)*. Washington D.C. USA: Association of Official Agricultural Chemists, Inc.
- [17] Hight, S., Anderson, D., Cunningham, W., Capar, S., Lamont, W., Sinex, S. (1993). Analysis of dietary supplements for nutritional, toxic, and other elements. *J Food Compos Anal* , 6, 121–39.
- [18] Ysart, G., Miller, P., Crews, H., Robb, P., Baxter, M., De L'Argy, C. (1999). Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK total diet study. *Food Additives and Contaminants* , 16, 391–403.
- conductivities of whole meats and processed meat ingredients. *Meat Science* , 83, 563–570.
- [10] Zell, M., Lyng, J., Cronin, D., Morgan, D. (2009). Ohmic cooking of whole beef muscle – Optimisation of meat preparation. *Meat Science* , 81, 693–698.
- [11] Zell, M., Lyng, J., Cronin, D., Morgan, D. (2010). Ohmic cooking of whole turkey meat – Effect of rapid ohmic heating on selected product parameters. *Food Chemistry* , 120, 724–729.
- [12] Ghnimi, S., Flach-Malaspina, N., Dresch, M., Delaplace, G., Maingonnat, J.F. . (2008). Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. *chemical engineering research and design* , 86, 626–632.
- [13] Samaranayake, C.P. (2003). *Electrochemical reactions during ohmic heating*. The Ohio State University: Columbus: Ph.D. Dissertation.
- [14] Amatore, C., Berthou, M., & Hebert, S. (1998). Fundamental principles of electrochemical ohmic heating of solutions.

An investigation into corrosion and ions migration from electrodes into food in an ohmic heating system

Zandi, M.¹, Niakousari, M.^{1,2*}

1- Food Science and Technology Dept., Shiraz University

2- Nanotechnology institute, Shiraz University

(Received: 90/2/9 Accepted: 90/7/25)

Ohmic heating has an advantage over conventional indirect heating methods because heater (electrode) surfaces temperatures are comparatively lower as heat is generated within bulk fluid. Conventional ohmic heating under typical low frequency alternating current (50 or 60 Hz) could cause hydrogen and oxygen evolution due to electrolysis of water. This process could develop the electrodes decay or corrosion. Any decay or corrosion of electrodes shorten the life time and contaminate the food. The main objective of this study was to investigate the rate of the electrodes corrosion in the ohmic heating process. For this purpose the concentrations of Fe, Cr, Ni, Mn, and Mo from the stainless steel electrode migrated into ohmic and conventionally treated soup were measured. In this study migration of the major key metal ions from stainless steel measured by Atomic Absorption. The results showed that overall ohmic treatment yielded the same migration residues of all metal ions, compared to the conventional retorting with similar electrodes. Concentrations of all metal ions migrated into food samples after ohmic treatment were far lower than dietary exposure levels so that this technique can ensure the safety and quality of food supplies.

Keywords: Ohmic heating, Stainless steel, Corrosion, Metal ions

* Corresponding author E-Mail address: niakosar@shirazu.ac.ir