رشد میکروبی گوشت سینه بوقلمون در انجماد زدایی به روش اهمیک غوطه‌وری

نیره قلی‌پور شهرکی[۱]، **محمد حجت‌الاسلامی**[۱*]، نفیسه زمین‌دار[۱و۲]، حسین کیانی[۱و۳]، هومان مولوی[۱]

[۱]گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران.
[۲]گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
[۳]آزمایشگاه زیست فراوری و زیست سنجش، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶

چکیده

در این مطالعه گوشت سینه بوقلمون منجمد با روش اهمیک غوطه‌وری تحت سه تیمار متفاوت (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)، (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) و (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪ W/V) انجماد زدایی شد. سپس، چگونگی تاثیر این روش بر میزان مهار رشد باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل پس از انجماد زدایی، با روش‌های سنتی انجماد زدایی؛ هوا (۲۵°C) و آب (۴۰°C) مقایسه شد. زمان انجماد زدایی برای تیمارهای هوا، آب، اهمیک (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)، اهمیک (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶ ٪ W/V) و اهمیک (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪ W/V)؛ به ترتیب ۳۹۸ S، ۱۰۷ S، ۱۱۳ S، ۹۷ S، ۹۱ S به‌دست آمد که نشان دهنده کاهش قابل توجه زمان انجماد زدایی به روش اهمیک نسبت به روش‌های انجماد زدایی سنتی بود. همچنین، با افزایش ولتاژ، زمان انجماد زدایی برای رسیدن به دمای تعیین شده کاهش یافت. اما تاثیر افزایش غلظت آب نمک بر کاهش زمان انجماد زدایی ناچیز بود. نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس طرح کاملاً تصادفی، بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف انجماد زدایی بر میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل در سطح احتمال ۱٪ بود. در نتایج آزمون مقایسات میانگین میان تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در انجماد زدایی اهمیک با افزایش ولتاژ و غلظت آب نمک، میزان رشد باکتری‌ها نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌دارکاهش یافت. کمترین میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل وکوتاه‌ترین زمان انجماد زدایی مربوط به تیمار اهمیک ۱۲۰V با غلظت آب نمک ۰/۲۵٪W/V بود.

واژگان کلیدی: انجماد زدایی اهمیک، زنده‌مانی میکروارگانیسم، شمارش میکروبی، گوشت سینه بوقلمون

* mohojjat@iaushk.ac.ir

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

مقدمه

در دهه‌های اخیر به دلیل رشد جوامع بشری، نیاز به منابع غذایی به خصوص اقلام پروتئینی حیوانی افزایش یافته است. گوشت و محصولات گوشتی جایگاه ویژه‌ای در تغذیه انسان دارند. با توجه به خصوصیات مناسب بوقلمون های گوشتی نظیر سرعت رشد زیاد، درصد اندک افت لاشه و ارزش غذایی مناسب در مقایسه با سایر طیور صنعتی، پرورش این پرنده در حال گسترش است. متاسفانه به دلیل فراوانی فعالیت میکروبی و آنزیمی، در طول انبارداری، یکسری تغییرات بیوشیمیایی در گوشت رخ می دهد که منجر به کاهش تازگی و سپس فساد آن می‌شود. گوشت تازه یک محیط غنی برای رشد میکروبی است و عدم نگهداری مناسب گوشت منجر به فساد آن می‌شود (۱).

هزاران سال است که انجماد برای نگهداری طولانی مدت مواد غذایی استفاده می‌شود به این دلیل که کیفیت محصول را حفظ و مدت زمان ماندگاری[1] طولانی آن را فراهم می‌کند (۲ و ۳). طی انجماد فعالیت آبی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. کاهش فعالیت آبی و دماهای انجماد سرعت واکنش‌های شیمیایی، آنزیمی و فعالیت‌های میکروبی مرتبط را کاهش می‌دهد. در نتیجه مدت زمان ذخیره‌سازی مواد غذایی منجمد افزایش می‌یابد و کیفیت تغذیه‌ای مواد غذایی بهتر حفظ می‌شود (۴ و ۵). انجماد زدایی معمولاً به عنوان فرایندی معکوس انجماد تعریف می‌شود (۶). انجماد زدایی فرایند تاثیر گذاری بر کیفیت مواد غذایی است از این رو باید در دماهای پایین و به سرعت انجام شود. زمان‌های طولانی‌تر انجماد زدایی می تواند منجر به فساد میکروبی، دناتوراسیون پروتئینی، اکسیداسیون لیپیدی و پروتئینی، تخریب رنگ، تغییرات بافت و افت وزن شود (۷ و ۸). بنابراین کاربرد یک روش مناسب و بهینه برای سرعت بخشیدن به فرآیند انجماد زدایی می‌تواند به میزان قابل توجهی از افت کیفیت جلوگیری و بر تمامی مشکلات ذکر شده غلبه کند (۸). از این رو در سال‌های اخیر کاربرد تکنولوژی‌های نوین و غیر حرارتی انجماد زدایی و مطالعه در این زمینه توسط محققین افزایش یافته است (۹-۷). اهمیک از جمله این تکنیک‌ها می‌باشد (۱۰). بیان شده است که سیستم حرارت‌دهی اهمیک یک روش نوین در رفع انجماد مواد غذایی منجمد است (۱۱). روش اهمیک یکی از روش‌های الکتریکی- حرارتی و مبتنی بر عبور جریان الکتریکی از محصول دارای مقاومت الکتریکی است. در این روش گرما (حرارت) بلافاصله در داخل ماده غذایی تولید می‌شود (۱۰ و ۲). از این‌رو اهمیک یک تکنیک حرارت‌دهی حجمی است و می‌تواند روشی جایگزین در انجماد زدایی گوشت و محصولات گوشتی باشد (۱۱).

اعتبارسنجی میکروبی روش اهمیک در متون شرح داده شده است. به عنوان مثال سنگون[2] و همکاران (۲۰۱۴) توضیح دادند که چگونه پخت به روش اهمیک تعداد کل باکتری‌های هوازی مزوفیل، کپک و مخمر و *استافیلوکوکوس اورئوس*[3] را به طور قابل توجهی ($p\leq ۰/۰۵$) کاهش می‌دهد و گونه‌های *سالمونلا*[4] را در نمونه های گوشت قلقلی از بین می برد. نمونه‌های گوشت قلقلی با استفاده از گرادیان ولتاژ ۱۵/۲۶ V/cm در دمای ۷۵ °C نیمه پخته شدند (۱۲).

راجاسکاران[5] و همکاران (۲۰۲۱) پس از بررسی وضعیت میکروبیولوژی گوشت صدف فرایند شده تحت گرمایش اهمیک بیان کردند که افزایش زمان فرآوری بدون توجه به ولتاژ اعمال شده منجر به کاهش بیشتر در تعداد کل باکتری‌ها شد. در این مطالعه اعمال ولتاژ ۱۲۰ V به مدت ۵ min باعث کاهش ۶۹ درصدی بار میکروبی در مقایسه با بار میکروبی گوشت صدف تازه شده است. کیم[6] و همکاران (۱۹۹۶) به بررسی میزان کشندگی میکروبی گرمایش اهمیک در گوشت قلقلی پرداختند و پتانسیل

[1] Shelf Life

[2] Sengun
[3] *Staphylococcus aureus*
[4] *Salmonella*
[5] Rajasekaran
[6] Kim

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

گرمایش اهمیک را در تخریب میکروبی به اثبات رساندند. آنها گزارش کردند که غیر فعال‌سازی میکروبی در گرمایش اهمیک به طور معنی‌دار با گرمایش سنتی قابل مقایسه است و میکروارگانیسم‌های بیماری زا مانند *ویبریو*[1]، *سالمونلا*[2]، *لیستریا مونوسیتوژنز*[3]، *کلستریدیوم بوتولینوم*[4] و *کلی فرم‌ها*[5] در گوشت صدف فرایند شده به روش اهمیک مشاهده نشده است (۱۳).

ساز و کار اصلی غیرفعال سازی میکروارگانیسم‌ها تحت گرمایش اهمیک مربوط به اثرات حرارت است. با این‌حال، وجود میدان الکتریکی نیز می‌تواند اثرات غیر حرارتی ضعیفی روی میکروارگانیسم‌ها داشته باشد. به این صورت که وجود میدان الکتریکی در این روش با فرکانس پایین ۵۰ Hz الی ۶۰ Hz ممکن است به دیواره‌ی سلول‌ها اجازه باردار شدن داده و باعث ایجاد منافذی در غشاء سلولی شود، که در مطالعات بیولوژی مولکولی با تغییر شکل سلول‌ها با این روش، انتقال مواد مغذی به داخل سلول سریع‌تر و کاراتر شده و بنابراین فاز نهفتگی را کاهش می‌دهد و در نتیجه فاکتور D_V (مدت زمان لازم برای کاهش یک سیکل لگاریتمی از جمعیت اولیه میکروبی در یک دمای معین) مشاهده شده برای میکروارگانیسم طی اهمیک نسبت به روش‌های حرارت‌دهی سنتی پایین‌تر است (۱۴ و ۱۵). کاربرد انجماد زدایی اهمیک نسبت به روش‌های سنتی در دامنه دمایی یکسان، منجر به کوتاه شدن زمان و افزایش سرعت انجماد زدایی، افت انجماد کمتر، رشد میکروبی نسبتاً پایین‌تر، عدم استفاده از آب و در نتیجه عدم تولید پساب، بازده بالای تبدیل انرژی و کاهش مصرف آن می‌شود (۲، ۵، ۱۰ و ۱۶). مصرف ناکارامد انرژی در صنعت، کمبود منابع انرژی خصوصاً منابع انرژی تجدید ناپذیر، مشکلات زیست محیطی و تغییرات اقتصاد جهانی، فشار شدیدی بر منابع طبیعی تحمیل می‌کند، بنابراین آخرین مزیت ذکر شده از اهمیت خاصی برخوردار است (۷ و ۱۷). در انجماد زدایی به روش اهمیک الکترودها باید با ماده غذایی منجمد به خوبی در تماس باشند. در غیر این صورت ممکن است حرارت‌دهی غیر یکنواخت و نقاط داغ در مواد غذایی منجمد مشاهده شود (۳ و ۱۸). بنابراین محدودیت شکل محصول مهمترین دغدغه در استفاده از این تکنولوژی در صنایع غذایی است. برای غلبه بر این مشکل در این پژوهش از محلول آب نمک به عنوان الکترولیت استفاده شد.

هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر گرمایش اهمیک بر سرعت انجماد زدایی و بررسی تغییرات جمعیت میکروبی (میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل) در گوشت سینه بوقلمون پس از انجماد زدایی به روش اهمیک غوطه‌وری و مقایسه آن با روش‌های سنتی انجماد زدایی است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه و فرآیند انجماد

گوشت تازه سینه بوقلمون نر به صورت فیله (بدون چربی، پوست و استخوان) در همان روز کشتار از یکی از فروشگاه‌های محلی شهرکرد خریداری و با رعایت زنجیره سرد به آزمایشگاه منتقل شد. گوشت سینه بوقلمون تازه با استفاده از کاتر برقی استریل به مکعب‌های $3\times3\times3\ cm^3$ با وزن تقریبی ۳۷ g تا ۳۵ بریده شد و بلافاصله پس از بسته‌بندی در کیسه‌های زیپ‌دار تحت خلاء در دمای ۳۰- °C منجمد شد. انجماد تا رسیدن دمای مرکز نمونه‌ها به ۱۸- °C ادامه یافت. نمونه‌های منجمد تا زمان آزمون در دمای ۱۸- °C نگهداری شدند (۱۹). در هر کیسه تنها یک مکعب بسته بندی شد.

ترکیب شیمیایی نمونه

اندازه‌گیری محتوای رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر و کربوهیدرات نمونه در سه تکرار انجام شد (۲۰).

تجهیزات مربوط به سیستم حرارت‌دهی اهمیک

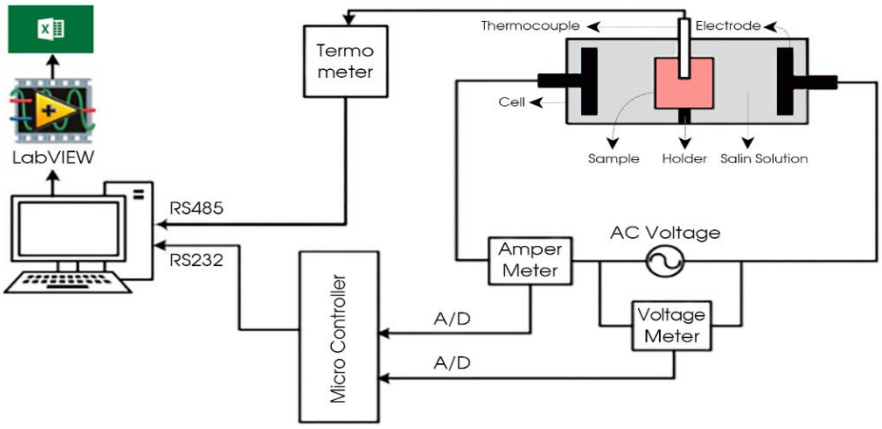
[1] *Vibrio*
[2] *Salmonella*
[3] *Listeria monocytogenes*
[4] *Clostridium botulinum*
[5] *Coliforms*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

ساختار گرم کننده اهمیک مورد استفاده در این مطالعه شامل سه بخش سیستم تامین انرژی الکتریکی، محفظه تیمار و سیستم کنترل است. در سیستم تامین انرژی الکتریکی به منظور تغییر در ولتاژ ورودی از یک منبع جریان متناوب با فرکانس ۵۰ Hz، ولتاژ متغییر (۰-۳۰۰ V) و حداکثر توان ۵ KVA استفاده شد. محفظه تیمار به شکل استوانه به طول ۲۶ cm، قطر داخلی ۷ cm و قطر بیرونی ۹ cm ساخته شده از PTFE (پلی تترا فلوئورو اتیلن یا تفلون) بود. در دو انتهای محفظه تیمار دو الکترود دایره‌ای شکل با ضخامت ۲ mm، به قطر ۷ cm و از جنس استیل ضد زنگ، به‌عنوان عامل اولیه عبور جریان الکتریکی نصب شد. همچنین، فاصله بین الکترودها ۷ cm بود. ترموکوپل نوع K با پوشش تفلون (به منظور جلوگیری از ایجاد تداخل در میدان الکتریکی)، برای اندازه‌گیری دما در مرکز هندسی نمونه استفاده شد. ولتاژ اعمال شده، جریان الکتریکی و دما در بازه‌های زمانی ثابت (یک ثانیه‌ای) توسط ریزپردازنده به کامپیوتر فرستاده شد. داده‌های ارسالی در فایل‌های اکسل ذخیره شدند. طرح سیستم حرارت‌دهی اهمیک مورد استفاده در تحقیق حاضر، در شکل ۱ نشان داده شده است.

انجماد زدایی

در این مطالعه سه گروه تیماری وجود دارد و سه نمونه به‌طور تصادفی برای هر گروه انتخاب شده است. گروه تیماری اول، انجماد زدایی در هوا بود. در این تیمار، برای انجماد زدایی، مکعب‌های گوشت سینه بوقلمون با دمای ۱۸- °C از کیسه‌ها خارج شدند و بر روی یک قاب استیل تمیز در دمای اتاق (۲۵ °C) قرار گرفتند. گروه تیماری دوم، انجماد زدایی در آب ۴۰°C بود. در این تیمار، سه کیسه دیگر حاوی گوشت سینه بوقلمون با دمای ۱۸- °C که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند، برای انجماد زدایی، در آب با دمای ۴۰°C قرار گرفتند. در این حالت در حین انجماد زدایی مکعب‌های گوشت سینه بوقلمون درون کیسه‌ها بودند. گروه تیماری سوم، انجماد زدایی به روش اهمیک غوطه‌وری بود. در این تیمار، مکعب‌های گوشت سینه بوقلمون با دمای ۱۸- °C با استفاده از روش حرارت‌دهی اهمیک غوطه‌وری تحت سه تیمار (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)، (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) و (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪W/V) انجماد زدایی شدند. جهت غوطه‌ور شدن نمونه و جلوگیری از تماس مستقیم نمونه با سطوح الکترود از محلول نمکی سدیم کلراید به عنوان الکترولیت استفاده شد. به این صورت که ابتدا محفظه دستگاه اهمیک با حدود ۲۵۰ ml از محلول نمکی کلرید سدیم (دمای محیط) پر شد. سپس مکعب‌های سینه بوقلمون به محفظه اهمیک منتقل شدند و در مرکز هندسی محفظه مابین دو الکترود قرار گرفتند. در ادامه، انجماد زدایی در فرکانس ۵۰ Hz و با اعمال ولتاژهای ثابت ۶۶ V و ۱۲۰ V انجام شد. انجماد زدایی در همه گروه‌های تیماری از دمای ۱۸- °C تا ۷- °C انجام شده است.



شکل ۱. طرح شماتیک گرم‌کننده اهمیک آزمایشگاهی

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

ترموکوپل نوع K در مرکز هندسی مکعب‌ها قرار داده شد و دمای نمونه در هر ثانیه در طول فرآیند انجماد زدایی ثبت شد. هنگامی که دمای مرکز هندسی مکعب‌های بوقلمون به ۷ ˚C- رسید، انجماد زدایی خاتمه یافت. سپس نمونه‌ها از محفظه خارج شدند و شمارش کلی میکروارگانیسم‌های مزوفیل و سایکروفیل بلافاصله پس از انجماد زدایی در سه تکرار انجام شد.

زمان انجماد زدایی

زمان مورد نیاز برای افزایش دما در مرکز هندسی نمونه گوشت سینه بوقلمون از ۱۸ ˚C- تا ۷ ˚C-، به‌عنوان زمان انجماد زدایی تعریف شده است (۱۷).

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌های مزوفیل در نمونه‌های انجماد زدایی شده مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۵۲۷۲ و برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌های سایکروفیل در نمونه‌های انجماد زدایی شده مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۲۹ عمل شد. بر اساس استاندارد شماره ۵۲۷۲ ظروف پتری کشت داده شده در شرایط هوازی در دمای ۳۰˚C به مدت ۷۲ h و بر اساس استاندارد شماره ۲۶۲۹ ظروف پتری کشت داده شده به صورت وارونه در دمای ۶/۵ ˚C به مدت ۱۰ روز گرمخانه گذاری شدند. پس از پایان گرمخانه‌گذاری به وسیله کلنی شمار، کلنی‌های هر ظرف پتری شمارش شد. روش اجرای آزمون شامل تهیه سوسپانسیون اولیه، تلقیح و گرمخانه گذاری، بالافاصله پس از انجماد زدایی انجام شد (۲۱ و ۲۲).

مدل‌سازی رگرسیونی

مدل‌سازی میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل تحت تاثیر زمان انجماد زدایی به روش اهمیک غوطه‌وری با استفاده از مدل‌های رگرسیونی انجام شد. مناسب‌ترین مدل‌ها با بالاترین ضرایب تعیین انتخاب شدند.

اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی مدل مطابق روش مذکور در بخش انجماد زدایی، انجماد زدایی به روش اهمیک غوطه‌وری، در سه تکرار انجام شد. داده‌های حاصل از تکرارهای آزمایشگاهی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیونی از طریق آزمون t-student مقایسه شدند.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

بررسی تاثیر تیمارهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با در نظر گرفتن سطح احتمال ۵٪ انجام شد. جهت مقایسه میانگین تیمارهای مختلف از آزمون LSD استفاده شد. همچنین مدل رگرسیونی بررسی رشد باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی نمونه

کسر جرمی تقریبی ترکیب شیمیایی گوشت سینه بوقلمون در جدول ۱ ارائه شده است. ترکیبات شیمیایی گوشت سینه بوقلمون بسته به نوع گونه، سن، جنس و تغذیه آن‌ها می‌تواند بسیار متفاوت و گسترده باشد.

زمان و سرعت انجماد زدایی

زمان انجماد زدایی یکی از مهمترین شاخص ها در صنعت انجماد زدایی است. در این پژوهش زمان انجماد زدایی برای تیمارهای هوا (۲۵ ˚C)؛ آب (۴۰ ˚C)؛ اهمیک، تیمار (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)، اهمیک،

جدول۱. کسر جرمی تقریبی ترکیب شیمیایی گوشت سینه بوقلمون

خاکستر	چربی	پروتئین	کربوهیدرات	آب
۰/۰۰۸۰ g ±۰/۰۰۶۴	۰/۰۱۰۰ g ±۰/۰۰۰۹	۰/۳۱۵۳ g ±۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۵۴ g ±۰/۰۰۰۲	۰/۶۶۱۳ g ±۰/۰۰۱۰

اعداد به صورت میانگین± انحراف معیار نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

تیمار (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪ ۰/۱۸۶) و اهمیک، تیمار (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۲۵)؛ به ترتیب S ۳۹۸، S ۱۰۷، S ۱۱۳، S ۹۷، S ۹۱ بدست آمد. مقایسه تیمار اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V٪۰/۱۸۶) با تیمار اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژ، زمان انجماد زدایی برای رسیدن به دمای تعیین شده کاهش یافته است. افزایش ولتاژ منجر به افزایش جریان الکتریکی عبوری و به تبع آن افزایش توان الکتریکی و افزایش حرارت تولید شده در بافت نمونه و در نتیجه کاهش زمان انجماد زدایی می‌شود (۲۳). در مقایسه تیمار اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) با تیمار اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۲۵) مشخص است که تاثیر افزایش غلظت آب نمک بر کاهش زمان انجماد زدایی ناچیز بوده است. بنابراین فاکتور اصلی در کاهش زمان، افزایش ولتاژ است. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط فتاحی و زمین دار (۱۳۹۸) منطبق است. در این پژوهش تغییرات زمان و سرعت انجماد زدایی ماهی تونا در سه غلظت مختلف از آب نمک و در ولتاژ ثابت بررسی شده است. آنان گزارش کردند که نتایج نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با افزایش غلظت آب نمک بوده است ($p \geq ۰/۰۵$). همچنین در این پژوهش بیان شده است که روش اهمیک به طور معنی‌داری باعث کاهش زمان انجماد زدایی در مقایسه با روش سنتی انجماد زدایی (هوا) می‌شود ($p \leq ۰/۰۱$) (۲۴). دویگو ویومیت[1] (۲۰۰۵) نیز کوتاهترین زمان انجماد زدایی را در مقایسه با روش‌های سنتی به روش اهمیک اختصاص داده‌اند (۲۵) که با نتایج حاصل از این پژوهش انطباق دارد. در این پژوهش سرعت انجماد زدایی نیز برای رسیدن از دمای ۱۸- °C به ۷- °C ، ۰/۰۲۷ °C/S، ۰/۱۰۲ °C/S، ۰/۰۹۷ °C/S، ۰/۱۱۳ °C/S و ۰/۱۲۰ °C/S به ترتیب برای تیمارهای هوا (۲۵ °C)، آب (۴۰ °C)، اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶)، اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) و اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۲۵) محاسبه شد.

[1] Duygu and umit

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

شمارش کل باکتری‌ها یکی از اساسی‌ترین و رایج ترین روش‌ها برای ارزیابی پایداری میکروبی مواد غذایی است.

باکتری‌های مزوفیل

نتایج تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی خصوصیت اول، زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل، نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر پارامتر تیمار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). در نتایج آزمون مقایسات میانگین میان تیمارهای مختلف انجماد زدایی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۳). همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود کمترین میزان رشد باکتری‌های مزوفیل پس از انجماد زدایی مربوط به تیمار اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۲۵) و بیشترین میزان رشد باکتری‌های مزوفیل پس از انجماد زدایی مربوط به تیمار اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) بوده است.

باکتری‌های سایکروفیل

نتایج تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی خصوصیت دوم، زنده‌مانی باکتری‌های سایکروفیل، نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر پارامتر تیمار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). در نتایج آزمون مقایسات میانگین میان تیمارهای هوای ۲۵ °C، اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V٪۰/۱۸۶) و اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V٪۰/۲۵) در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بین تیمارهای آب ۴۰ °C و اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. لیکن بین تیمارهای آب و اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪۰/۱۸۶) با سایر تیمارها در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۳). همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود کمترین میزان رشد باکتری‌های سایکروفیل پس از انجماد زدایی مربوط به

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف انجماد زدایی بر زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل (Log CFU/g)	زنده‌مانی باکتری‌های سایکروفیل (Log CFU/g)
تیمار	۴	۱/۳۲۲**	۱/۶۴۵**
خطا	۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۶۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف انجماد زدایی بر زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل

تیمارها	خصوصیت	
	زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل (Log CFU/g)	زنده‌مانی باکتری‌های سایکروفیل (Log CFU/g)
هوا (۲۵ °C)	۲/۵۹۷۸۷^{d} ± ۰/۰۲۱	۱/۶۹۳^{c} ± ۰/۰۷۲
آب (۴۰ °C)	۳/۱۳۹۸^{b} ± ۰/۰۳۱	۲/۴۶۷^{b} ± ۰/۰۱۴
اهمیک (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)	۳/۳۹۷۳^{a} ± ۰/۰۴	۲/۷۷۴^{a} ± ۰/۱۲۱
اهمیک (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)	۲/۹۷۹۶۷^{c} ± ۰/۰۱۶	۲/۵۷۹^{b} ± ۰/۰۱۸
اهمیک (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪ W/V)	۱/۶۹۳^{e} ± ۰/۰۷۲	۱^{d} ± ۰

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

انجماد زدایی به روش اهمیک (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪W/V) و بیشترین میزان رشد باکتری‌های سایکروفیل پس از انجماد زدایی مربوط به انجماد زدایی به روش اهمیک (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) بوده است.

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل در نمونه گوشت سینه بوقلمون پس از انجماد زدایی به روش اهمیک، تیمار (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) بالاتر از آن در نمونه های انجماد زدایی شده به روش اهمیک، تیمار (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)؛ و زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل در نمونه‌های انجماد زدایی شده به روش اهمیک، تیمار (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪W/V) بالاتر از آن در نمونه‌های انجماد زدایی شده به روش اهمیک، تیمار (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪W/V) بوده است. این مطلب نشان دهنده افزایش اثر مهارکنندگی با افزایش ولتاژ و افزایش غلظت آب نمک است و با نتایج گزارش شده توسط لی و همکاران (۲۰۱۷)، کو[1] و همکاران (۲۰۱۶) و هی[2] و همکاران (۲۰۱۳) انطباق دارد (۲۸-۲۶). این امر می‌تواند ناشی از کاهش محسوس زمان انجماد زدایی باشد. با افزایش ولتاژ، جریان الکتریکی عبوری از نمونه افزایش می‌یابد از آنجایی که توان الکتریکی با توان دوم جریان الکتریکی رابطه مستقیم دارد، حرارت تولید شده در بافت نمونه افزایش می‌یابد و این امر منجر به کاهش زمان فرآیند می‌شود. کاهش زمان انجماد زدایی می‌تواند تهاجم میکروارگانیسم‌های خارجی و رشد میکروارگانیسم‌های نمونه را کاهش دهد (۲۶). در پژوهشی

[1] Ko
[2] He

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

که توسط آبهیلاشا و پال (۲۰۱۸) انجام شد، تعداد کل باکتری‌ها از ۶/۳ Log CFU/mL به Log CFU/mL ۳/۷۴ در آب نیشکر حرارت‌دهی شده به روش اهمیک به مدت ۱۵ min در دمای ۹۰°C کاهش یافته است، طبق گزارش نویسندگان اهمیک در زمان کوتاه‌تر، نسبت به روش معمولی موثرتر بوده است (۲۹). همچنین افزایش ولتاژ می‌تواند اثر پدیده الکتروپوریشن را تقویت کند و منجر به افزایش اثر مهارکنندگی شود. سیه[1] و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که تیمار HVEF می‌تواند به طور موثر نرخ رشد میکروبی را در گوشت تیلاپیلای نگهداری شده در یخچال (۴ °C) کاهش دهد. آن‌ها گزارش کردند که این اثر بازدارنده با افزایش قدرت میدان الکتریکی از ۰ KV/m به ۹۰۰ KV/m، ۱۰ برابر افزایش می‌یابد (۳۰).

مطالعه پژوهش‌های انجام شده در زمینه گرمایش اهمیک نشان می‌دهد که غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها عمدتاً از طریق اعمال حرارت اتفاق می‌افتد. امکان وجود اثرات غیرحرارتی که باعث افزایش غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها می‌شود چندین سال است که مورد بحث قرار گرفته است و در تلاش برای توضیح مکانیسم‌های درگیر، نظریه‌هایی ارائه شده است. میدان الکتریکی می تواند میکروارگانیسم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۳۱).

انتظار می‌رود اعمال میدان الکتریکی خارجی بر یون ها، مولکول‌های غیر باردار و مولکول‌های دوقطبی تأثیر بگذارد. سپس در پاسخ به میدان الکتریکی، حرکت انتقالی و نوسانی رخ می‌دهد. نیروی محرکه الکتروفورتیک برای حرکت انتقالی هم به بار خالص و هم به شدت میدان الکتریکی بستگی دارد، در حالی که گشتاور حرکت چرخشی به مولکول‌های دوقطبی و قدرت میدان الکتریکی بستگی دارد. از آنجایی که هر دو نوع حرکت ناشی از میدان الکتریکی به طور مستقیم با شدت میدان متناسب هستند، اهمیت این پارامتر و کنترل آن در طول آزمایش‌ها واضح است. علاوه بر این، در پاسخ به نیروهای مشابه، حرکات سطوح اتمی در مولکول‌ها نیز رخ می‌دهد. محاسبه تمامی این نیروها برای مولکول‌های بزرگ، مانند میکروارگانیسم‌ها بسیار پیچیده و چالش برانگیز است. در مورد سلول‌های رویشی، ممکن است غشای سلولی تحت تاثیر میدان الکتریکی بی‌ثبات شود، علاوه بر این، حرکات مولکولی مختلف مرتبط با چرخه حیات این سلول‌ها نیز می تواند تحت تاثیر قرار گیرد. برای میکروارگانیسم‌های تشکیل دهنده اسپور، حرکت اجزا در هسته اسپور، که دی اکسی نوکلئیک اسید[2] را در خود جای داده، حیاتی است. جزئیات چنین فرآیندهایی هنوز مشخص نشده است (۳۱). برای غیر فعال‌سازی میکروبی، بیشتر از نظریه اثرات غیرحرارتی میدان‌های الکتریکی بر اساس الکتروپوریشن غشای سلولی استفاده می‌شود. در حضور میدان الکتریکی خارجی، القاء پتانسیل گذرنده از غشای سلولی منجر به ایجاد منافذی در آن می‌شود. اگرچه مشاهده منافذ تشکیل شده بسیار چالش برانگیز است، سایر تغییرات مورفولوژیکی در غشای سلولی (پس از اینکه طی تیمار اهمیک در معرض میدان الکتریکی قرار گرفت)، از جمله آسیب و تغییر در نفوذپذیری آن را می‌توان با تعیین مقدار مواد درون سلولی که به طور بالقوه از سلول‌ها تراوش می‌شوند و با استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپی در دماهای پایین تخمین زد (۳۲).

الکتروپوریشن پدیده‌ای با فرکانس پایین (۵۰ Hz تا۶۰) است که در آن دیواره‌های سلولی باردار شده و منافذ در آن تشکیل می‌شود، بنابراین اثرات مرتبط با الکتروپوریشن در فرکانس‌های پایین‌تر، مانند مواردی که در گرمایش اهمیک استفاده می‌شود، مشهودتر می‌باشد. در مقابل؛ گرمایش در فرکانس‌های بالا، مانند امواج مایکروویو و فرکانس رادیویی، باعث تغییرات سریع در قطبیت می‌شوند، بنابراین از ایجاد بار در دیواره سلولی جلوگیری می‌شود و ممکن است تأثیر کمی بر غشای سلولی داشته باشند یا هیچ اثری نداشته باشند (۳۲).

[1] Hsieh

[2] Deoxyribonucleic Acid (DNA)

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

مطابق نظر گوک و همکاران (۲۰۰۲) حداقل قدرت میدان الکتریکی لازم برای غیرفعال سازی میکروبی V/m ۱۰۵ × ۵ است. از آنجایی که قدرت میدان الکتریکی اعمال شده در گرمایش اهمیک عموماً کمتر از این مقدار است، غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها ممکن است تنها با الکتروپوریشن رخ ندهد. همچنین، در میدان‌های الکتریکی متوسط، وقوع نفوذپذیری برگشت‌پذیر غشای سلولی نیز گزارش شده است که ممکن است منجر به تغییر در کینتیک رشد و فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌ها شود. در هر صورت، به نظر می‌رسد که اثر کشنده الکتروپوریشن سلولی زمانی تشدید می‌شود که با دماهای بالاتر ناشی از افزایش ولتاژ ترکیب شود (۳۲). در این مطالعه، روش انجماد زدایی اهمیک در بالاترین ولتاژ و غلظت آب نمک اعمال شده توانست باعث کاهش معنی‌دار در میزان رشد باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل نسبت به روش‌های متداول شود ($p \geq ۰/۰۵$) و همان طور که مشاهده شد کمترین میزان رشد باکتری‌های مزوفیل (Log CFU/g ۱/۶۹) و سایکروفیل (Log CFU/g ۱) پس از انجماد زدایی مربوط به انجماد زدایی به روش اهمیک (V ۱۲۰ و غلظت آب نمک W/V ٪ ۰/۲۵) بوده است (جدول ۳).

برخی از نویسندگان نظریه‌ای در مورد اثر هم‌افزایی جریان الکتریکی و دما به دلیل آزاد شدن اجزای یونی از مولکول‌ها ارائه کردند. بر اساس آزمایش‌ها این فرضیه مطرح شد که وجود و برهمکنش اجزای یونی آزاد شده هدایت الکتریکی اسپورها را افزایش می‌دهد و آن‌ها را نسبت به اثرات مضاعف غیرحرارتی میدان الکتریکی حساس‌تر می‌کند و نتیجه آن افزایش غیرفعال سازی است (۳۲). علاوه بر تئوری‌های فوق، مکانیسم‌های دیگری برای توضیح غیرفعال‌سازی غیرحرارتی میکروارگانیسم‌ها در روش اهمیک، از جمله گرمایش انتخابی و اثر شیمیایی پیشنهاد شد. تئوری گرمایش انتخابی نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها به دلیل محتوای آب و یون به طور انتخابی انرژی الکترومغناطیسی بیشتری را نسبت به محیط اطراف جذب می‌کنند (۳۲). در رابطه با تئوری اثر شیمیایی، عنوان می‌شود که آسیب‌های کشنده به میکروارگانیسم‌ها، به دلیل تشکیل مواد شیمیایی بالقوه سمی مانند اکسیژن آزاد و رادیکال‌های هیدروژن، هیدروکسیل و هیدروپروکسیل و یون‌های فلزی، پس از قرار گرفتن سلول‌های میکروبی در معرض جریان متناوب در گرمایش اهمیک است. مثلاً در مورد باکتری اشرشیاکلی تشکیل پراکسید هیدروژن مطرح است. با این‌حال، مطالعات بیشتر و به روز برای اثبات این نظریه‌ها مورد نیاز است (۳۲).

در مقایسه نمونه‌های انجماد زدایی شده به روش‌های سنتی با نمونه انجماد زدایی شده به روش اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V ٪ ۰/۱۸۶)، مشاهده شد که استفاده از تیمار (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V ٪ ۰/۱۸۶) در کاهش جمعیت میکروبی نمونه موثرتر از روش‌های سنتی نبوده است و چنانچه مشاهده شد بیشترین میزان رشد باکتری‌های مزوفیل (Log CFU/g ۳/۳۹) و سایکروفیل (Log CFU/g ۲/۷۷) پس از انجماد زدایی مربوط به انجماد زدایی به روش اهمیک (V ۶۶ و غلظت آب نمک W/V٪ ۰/۱۸۶) بوده است. در حالیکه میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل در تیمارهای سنتی آب و هوا از تیمار اهمیک مذکور کمتر بوده است. این نتیجه مشابه نتایج گزارش شده توسط لی و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. آن‌ها بیان کردند شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در نمونه ماهی کپور بلافاصله پس از انجماد زدایی در هوا و به روش HVEF (kv ۶-) بالاتر از آن در نمونه‌های انجماد زدایی شده در آب جاری و به روش HVEF (kv ۱۲-) بوده است. لیزرسون و شیمونی (۲۰۰۵) در مقایسه روش اهمیک و حرارت‌دهی سنتی در آب پرتقال دریافتندکه تیمار اهمیک فقط اثرات حرارتی را نشان داده است و نتوانسته اثرات غیر حرارتی (الکتروپوریشن سلول‌های باکتریایی) ایجاد کند. آنان گزارش کردند این پدیده احتمالاً به دلیل پایین بودن گرادیان ولتاژ اعمال شده بوده است (۲۹)؛ مشابه آنچه در مطالعه حاضر برای تیمار V ۶۶ به همراه غلظت آب نمک W/V٪ ۰/۱۸۶ مشاهده شد. احتمالا به همین دلیل این تیمار نتوانسته است موثرتر از روش‌های

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

سنتی عمل کند. هنگامی که بزرگی میدان الکتریکی به اندازه کافی زیاد باشد و پتانسیل گذرنده از مقدار بحرانی فراتر رود، غشای سلولی میروارگانیسم تغییر می‌کند، که منجر به تشکیل منافذ، نفوذپذیری بالاتر و در نهایت از دست رفتن یکپارچگی سلول به طور غیرقابل برگشت می‌شود. قابل ذکر است که شدت الکتروپوریشن ارتباط نزدیکی با فرکانس و شدت میدان الکتریکی دارد (۳۲). از طرفی محتمل است بکارگیری ولتاژهای پایین نه تنها نتوانسته است باعث از بین رفتن سلول‌های باکتریایی شود، بلکه اثر میدان الکتریکی ایجاد شده در این ولتاژها منجر به تهییج سلول‌های باکتریایی و تغییر حالت آن‌ها از حالت اسپور به حالت رویشی شده باشد (۲۶).

مدل‌سازی رگرسیونی

در جدول ۴ نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیونی نشان داده شده است. در بررسی اعتبار مدل مقادیر بالاتر ضریب تعیین به عنوان معیاری برای برازش انتخاب شد. بنابراین مدل رگرسیونی درجه صفر با ضریب تعیین (۰/۹۸۹) جهت بررسی رشد باکتری‌های مزوفیل و مدل رگرسیونی درجه صفر با ضریب تعیین (۰/۸۵۵) جهت بررسی رشد باکتری‌های سایکروفیل تحت تاثیر زمان انجماد زدایی؛ مناسب‌ترین مدل بود. زمان انجماد زدایی یکی از فاکتورهای موثر بر میزان رشد و تکثیر باکتری‌ها در طی فرایند انجماد زدایی است. معادلات حاصل از مدل سازی نشان داد میزان زنده‌مانی باکتری‌های سایکروفیل و مزوفیل با زمان انجماد زدایی رابطه مستقیم دارد، به این ترتیب که، کاهش زمان انجماد زدایی منجر به کاهش زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل شده است. با کاهش زمان انجماد زدایی، باکتری‌ها فرصت کافی برای رشد و تکثیر نخواهند داشت. همچنین در راستای بررسی اعتبار مدل، نتایج آزمون t-student نشان داد در سطح احتمال ٪۵ تفاوت معنی‌داری بین داده‌های حاصل از تکرارهای آزمایشگاهی و داده‌های پیش بینی شده توسط مدل وجود ندارد.

مارتینز و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر گرمایش اهمیک را بر پارامترهای کینتیکی مرگ *اشرشیاکلی* در شیر بز و اسپور *باسیلوس لشنی فورمیس*[1] در مربای توت بررسی و با حرارت‌دهی سنتی مقایسه کردند. آنها گزارش دادند که زمان کاهش اعشاری برای *اشرشیاکلی* در نمونه شیر بز تیمار شده به روش اهمیک در مقایسه با مقادیر D_{value} به‌دست آمده در تیمار سنتی کاهش یافته است. به‌طور مشابه، مقدار Z_{value} نیز در تیمار اهمیک کمتر بوده است. در بررسی کینتیک مرگ اسپور *باسیلوس لشنی فورمیس* نیز نتایج مشابهی برای مقادیر D_{value} گزارش شده است. با این‌حال، تفاوت بین مقادیر Z_{value} بدست آمده معنی دار نبوده است. لازم به ذکر است که ضرایب رگرسیون در تمامی موارد بسیار نزدیک به واحد بوده است(۳۳).

چو و همکاران (۱۹۹۹) کینتیک غیرفعال‌سازی اسپور *باسیلوس سوبتیلیس*[2] را طی گرمایش اهمیک و سنتی مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که غیر فعال‌سازی اسپور تیمار شده به روش اهمیک نسبت به گرمایش سنتی تسریع شده است. گرمایش اهمیک نرخ بالاتری از مرگ اسپور در مرحله اول گرمایش داشته است. همچنین، کاهش بیشتری در تعداد اسپورهای زنده بلافاصله پس از دوره گرمخانه گذاری در روش اهمیک مشاهده شده است.

(۲۹). شاا[3] و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی اثر گرمایش اهمیک بر غیر فعال‌سازی باکتری‌ها در آبگوشت، غیر فعال‌سازی و بازیابی *اشریشیا کلی*[4] تیمار شده با گرمایش اهمیک را مورد مطالعه قرار دادند و سپس نتایج را با گرمایش سنتی (حمام آب) مقایسه کردند. نمودارهای دما- غیر فعال‌سازی نشان دادند که الگوی غیر فعال‌سازی گرمایش اهمیک با گرمایش سنتی (حمام آب) متفاوت است.

[1] *Bacillus licheniformis ATCC 14580*
[2] *Bacillus subtilisc ATCC 6633*
[3] Shao
[4] *Escherichia coli O157:H7*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

جدول٤. مدل رگرسیونی زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل تحت تاثیر زمان انجماد زدایی

متغییر وابسته	متغییر مستقل	مدل رگرسیونی	معادله واکنش	R^2
زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل	زمان انجماد زدایی	درجه صفر	$y=۱۰۸/۶۰۶t-۹۷۲۶/۴۳۶$	۰/۹۸۹
زنده‌مانی باکتری‌های سایکروفیل	زمان انجماد زدایی	درجه صفر	$y=۲۵/۲۶۸t-۲۲۰۳/۲۲۷$	۰/۸۵۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه انجماد زدایی گوشت سینه بوقلمون با روش‌های سنتی انجماد زدایی هوا (۲۵ ˚C) و آب (۴۰ ˚C) و روش نوین اهمیک غوطه‌وری با سه تیمار متفاوت (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V)، (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) و (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪W/V) انجام شد. انجماد زدایی تحت روش اهمیک بخصوص در ولتاژهای بالا به‌طور قابل توجهی زمان انجماد زدایی گوشت سینه بوقلمون را در مقایسه با تیمارهای هوا و آب کاهش داد. نتایج تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف انجماد زدایی بر میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل در سطح احتمال یک درصد بود. انجماد زدایی تحت تیمار (۱۲۰ V و غلظت آب نمک ۰/۲۵٪ W/V) آلودگی میکروارگانیسمی نمونه‌های گوشت سینه بوقلمون را به طور قابل توجهی کاهش داد. لیکن بر خلاف انتظار بیشترین میزان زنده‌مانی باکتری‌ها مربوط به تیمار اهمیک (۶۶ V و غلظت آب نمک ۰/۱۸۶٪ W/V) بود و مطالعات بیشتری برای روشن شدن مکانیسم‌های دخیل در آن مورد نیاز است. استفاده از یک سیستم اهمیک به خوبی کنترل شده و ارزیابی دقیق داده های تجربی برای به دست آوردن نتایج قابل اعتماد در مورد وجود و میزان اثرات غیر حرارتی الزامی است. باید در نظر داشت که در صورت عدم مطالعه صحیح بر روی توزیع دما، اثرات حرارتی و غیر حرارتی میدان‌های الکتریکی امکان دارد کیفیت و ایمنی ماده غذایی به خطر بیفتد. میزان زنده‌مانی باکتری‌های مزوفیل و سایکروفیل با مدل رگرسیونی درجه صفر توصیف شد. نتایج مدل‌سازی پیش بینی میزان زنده ماندن باکتری‌های مذکور و انتخاب بهترین شرایط برای انجماد زدایی اهمیک گوشت سینه بوقلمون را امکان پذیر می‌سازد. بنابراین یافته های این مطالعه از انجماد زدایی گوشت و محصولات گوشتی به روش اهمیک به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی حمایت می کند.

منابع

1.Hosseini N, Abdolmaleki F, Branch Q. The Effects of different thawing methods on the hygienic quality of the canned tuna. Food Biosciences and Technology 2017;7(2):83-90.

2.Zell M, Lyng JG, Cronin GD, Morgan DJ. Ohmic heating of meats: Electrical conductivities of whole meats and processed meat ingredients. Meat Science 2009;83:563-570

3.Seyhun N, Gulum Sumnu S, Ramaswamy H. Chapter 23-Ohmic Heating as Thawing and Tempering Technology. CRC Press 2010

4.Jia G, Liu H, Nirasawa S. Effects of high-voltage electrostatic field treatment on the thawing rate and post-thawing quality of frozen rabbit meat. Innovative Food Science and Emerging Technologies 2017;41:348-356

5.Cevik M, Icier F. Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. Food Process Engineering 2018;41(4)

6.Hong GP, Min SG, Ko SH, Shim KB, Seo EJ, Choi MJ. Effects of brine immersion and electrode contact type low voltage ohmic thawing on the physicochemical properties of pork meat. Food Science of Animal Resources 2007;27(4):416–423.

7.Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N. Thawing of frozen tuna fish (Thunnus albacares) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. Food Engineering 2016;169:149-154

8.Zhang X, Gao T, Song L, Zhang L, Jiang Y, Li J, et al. Effects of different thawing methods on the quality of chicken breast. International Journal of Food Science and Technology 2017;52(9):2097-2105

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

9.Kim TH. Choi JH, Choi YS, Kim HY, Kim SY, Kim HW, Kim CJ. Physicochemical properties of thawed chicken breast as affected by microwave power levels. Food Science and Biotechnology 2011;20(4):971-977

10.Backi CJ. Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review. Food Process Engineering 2017;41(1):1-11

11.Duygu B, Umit G. Application of ohmic heating system in meat thawing. Procedia-Social and Behavioral Sciences 2015;195: 2822-2828

12.Sengun IY, Turp GY, Icier F, Kendirci P, Kor G. Effects of ohmic heating for precooking of meatballs on some quality and safety attributes. Food Science and Technology 2014;55(1):232-239

13.Rajasekaran B, Subbiah B, Stephen NM, Nagarajan M, Muniasamy S. Design, fabrication, and validation of ohmic heater to process green mussel meat. Journal of Food Processing and Preservation 2021;45(6)

14.Muller WA, Marczak L, Sarkis JR. Microbial inactivation by ohmic heating: Literature review and influence of different process variables. Trends in Food Science and Technology 2020;99:650-659

15.Kubo MT, Siguemoto ES, Funcia ES, Augusto PE, Curet S, Boillereaux L, et al. Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. Food Science 2020;35:36-48

16.Zell M, Lyng JG, Cronin GD, Morgan DJ. Ohmic cooking of whole turkey meat – Effect of rapid ohmic heating on selected product parameters. Food Chemistry 2010;120:724-729

17.Bozkurt H, Icier F. Ohmic thawing of frozen beef cuts. Food Process Engineering 2012;35:16-36

18.Gambuteanu C, Borda D, Alexe P. The Effect of Freezing and Thawing on Technological Properties of Meat: Review. Agroalimentary Processes and Technologies 2013;19(1):88-93

19.Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N. Impact of high voltage electric field thawing on quality of frozen tuna fish (Thunnus albacares). Food Engineering 2015;156:39-44

20.AOAC. Official methods of analysis (16th ed.). Association of Official Analytical Chemists 1995

21.Islamic Republic of Iran ISIRI NUMBER 5272. Microbiology of the food chain -Horizontal method for the enumeration of microorganisms- Part 1:Colony count at 30°C by the pour plate technique. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.

22.Islamic Republic of Iran ISIRI NUMBER 2629. Microbiology of food and animal feeding Stuffs - Enumeration of psychrotrophic Microorganisms- Test method. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.

23.Icier F, Ilicali C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. Food Research International 2005;38(10):1135-1142

24.Fattahi Sh, Zamindar N. Evaluation and Modelling of Physicochemical Changes of Tuna Fish Using Immersion Ohmic Thawing Method. Iranian Food Science and Technology Research Journal 2021;17(1):43-53

25.Duygu B, Umit G. Application of ohmic heating system in meat thawing. Procedia-Social and Behavioral Sciences 2015;195:2822-2828

26.Li D, Jia S, Zhang L, Wang Z, Pan J, Zhu B, et al. Post-thawing quality changes of common carp (Cyprinus carpio) cubes treated by high voltage electrostatic field (HVEF) during chilled storage. Innovative Food Science and Emerging Technologies 2017;42:25-32

27.Ko WC, Yang SY, Chang CK, Hsieh CW. Effects of adjustable parallel high voltage electrostatic field on the freshness of tilapia (Orechromis niloticus) during refrigeration. Lwt-Food Science and Technology 2016;66:151-157

28.He X, Liu R, Nirasawa S, Zheng D, Liu H. Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. Food Engineering 2013;115(2):245-250

29.Makroo HA, Rastogi NK, Srivastava B. Ohmic heating assisted inactivation of enzymes and microorganisms in foods: A review. Trends in Food Science & Technology 2020;97:451-465

30.Hsieh C, Lai CH, Ho WJ, Huang SC, Ko AC. Effect of Thawing and Cold Storage on Frozen Chicken Thigh Meat Quality by High-Voltage Electrostatic Field. Food Science 2010;75(4)

31.Samaranayake CP, Sastry SK. Effect of moderate electric fields on inactivation kinetics of pectin methylesterase in tomatoes: The roles of electric field strength and temperature. Food Engineering 2016;186:17-26

32.Kubo MT, Siguemoto E´S, Funcia ES, Augusto PE, Curet S, Boillereaux L, et al. Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. Current Opinion in Food Science 2020;35:36-48

33.Knirsch M, Santos C, Christina TV. Ohmic heating-a review. Trends in Food Science and Technology 2010;21:436-441

34.Shaoa L, Tiana X, Yua Q, Xua L, Lia X, Daia R. Inactivation and recovery kinetics of Escherichia coli O157:H7 treated with ohmic heating in broth. Food Science and Technology 2019;110:1-7

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

Microbial Growth of Turkey Breast Meat in Immersion Ohmic Thawing

Nayyere Gholipour Shahraki[1], **Mohammad Hojjatoleslamy**[1*], Nafiseh Zamindar[1, 2], Hossein Kiani[1, 3], Hooman Molavi[1]

[1]Department of Food Science and Technology, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.
[2]Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
[3]Bioprocessing and Biodetection Lab, Department of Food science and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

In this study, turkey breast meat was thawed by using the immersion ohmic method in three different treatments (66V, brine concentration 0.186% W/V), (120 V, brine concentration 0.186% W/V) and (120 V, brine concentration 0.25% W/V). The effect of this method on the growth rate of mesophilic and psychrophilic bacteria after thawing, were compared with traditional methods of thawing; Air (25°C) and water (40°C). Thawing time for air, water, ohmic (66 V, brine concentration 0.186% W/V), ohmic (120 V, brine concentration 0.186% W/V), and ohmic (120 V, brine concentration 0.25% W/V); 398 S, 107 S, 113 S, 97 S and 91 S were obtained, respectively, which indicated a significant decrease in the thawing time using the ohmic method compared to the traditional thawing methods. Also, with the increase in voltage, the thawing time to reach the set temperature decreased, but the effect of increasing brine concentration on the decrease of thawing time was insignificant. The results showed a significant reduction in the thawing time using the ohmic method. The results of analysis of variance of a completely random design indicated that the effect of different thawing treatments on the growth of mesophilic and psychrophilic bacteria was significant at the probability level of 1%. In the results of the mean comparison test between different treatments, a significant difference was observed at the five percent probability level. In ohmic thawing, with increasing voltage and brine concentration, the growth rate of bacteria was significantly reduced compared to other treatments. The lowest survival rates of mesophilic bacteria and psychrophilic bacteria, and also the shortest thawing time was observed in ohmic treatment of 120 volts in brine concentration of 0.25% W/V.

Keywords: Microorganism Survival, Ohmic Thawing, Total Viable Counts, Turkey Breast Meat

* mohojjat@iaushk.ac.ir

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]