

ارزیابی تاثیر پیش تیمار فراصوت بر سینتیک انتقال جرم و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی فیله گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

نجمه سرباز^۱، محسن وظیفه دوست^{۲*}، مجید علی آبادی^۳

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۳۰

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تاثیر پیش تیمار امواج فراصوت بر سینتیک انتقال جرم طی سرخ کردن عمیق قطعات گوشت بوقلمون بود. قطعات گوشت حاصل از عضله سینه بوقلمون با شدت فرکانس فراصوت صفر تا ۱۰۰ کیلوهرتز به مدت ۱۰ دقیقه پیش تیمار شد و سپس در سه دما (۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی گراد) در فاصله زمانی صفر تا ۶ دقیقه سرخ شدند. سپس تاثیر سطوح قدرت فراصوت، دما و زمان سرخ کردن بر محتوای رطوبت، محتوای روغن و سینتیک انتقال جرم، پارامترهای رنگی و ویژگی های حسی تعیین شد. از میان تمامی تیمارها، قطعاتی از گوشت که در شدت فرکانس ۲۰ کیلوهرتز پیش تیمار شدند و سپس در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد به صورت عمیق سرخ شدند، کمترین میزان چربی را داشتند و بهبود پارامترهای رنگی را شاهد بودیم. مقادیر انتشار رطوبت موثر بین $(2/280 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s})$ تا $(8/600 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s})$ با ضریب تبیین بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۹ به دست آمدند. همچنین ثابت سرعت انتقال روغن در محدوده $(0/096 \text{ S}^{-1})$ تا $(0/169 \text{ S}^{-1})$ قرار داشت. انرژی فعال سازی نیز که از روی نمودار آرنیوسی انتشار رطوبت موثر به دست آمد، بین ۱۳ تا ۲۶ کیلوژول بر مول تغییر کرد. با توجه به نتایج این تحقیق پیش تیمار فراصوت به طور قابل ملاحظه ای جذب روغن را کاهش و خصوصیات حسی را بهبود داده بود که استفاده از آن به عنوان پیش تیمار در تولید فست فودها و غذاهای سرخ کردنی پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: گوشت بوقلمون، سینتیک انتقال جرم، سرخ کردن عمیق، امواج فراصوت

۱- مقدمه

سرخ کردن عمیق^۱ (DFF) یکی از قدیمی‌ترین فرایندهایی است که با هدف پختن فراورده‌های غذایی استفاده می‌شود (۱۶). موفقیت این فرایند به دلیل تطبیق و انعطاف‌پذیری در مقیاس خانگی و صنعتی است. در طول این فرایند انتقال همزمان جرم و حرارت صورت می‌گیرد. در واقع حرارت از روغن به داخل ماده غذایی نفوذ کرده، باعث تبخیر رطوبت از درون ماده غذایی شده، در نتیجه فضاهای خالی در محصول ایجاد می‌شود و روغن از همین منافذ وارد ماده غذایی می‌گردد (۳). لذا محققان به این فکر افتادند که چگونه می‌توان روغن جذب شده‌ی غذاهای سرخ شده را کاهش داد بدون اینکه تاثیر منفی بر طعم، بافت و رنگ سطح ماده غذایی داشته باشد. روش‌های مختلفی جهت کاهش جذب چربی در محصول وجود دارد که می‌توان به تمهیداتی مانند بهینه‌سازی شرایط سرخ کردن و استفاده از پیش‌تیمارهایی اشاره نمود (۱۵). طی دهه‌های اخیر استفاده از امواج فراصوت در فرایندهای صنایع غذایی با هدف بهینه‌سازی فرایند و بهبود کیفیت ماده غذایی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات محدودی در زمینه استفاده از پیش‌تیمار فراصوت در فرایند سرخ کردن صورت گرفته است (۱، ۸، ۱۰). نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان داده‌اند که استفاده از فراصوت به عنوان یک روش امید بخش مناسب در بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات سرخ شده، از جمله کاهش میزان چروکیدگی نمونه‌ها، می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد. امواج فراصوت، با ایجاد انقباض و انبساط‌های متوالی در ماده غذایی، باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و تسهیل خروج آب از محصول به واسطه این کانال‌ها می‌گردد. که باعث سهولت خروج آب از ماده غذایی و کاهش بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها قبل از سرخ کردن می‌شود (۸). بوقلمون پرنده‌ای از نژاد قرقاولان و بزرگ‌ترین و سنگین‌وزن‌ترین پرنده خانگی است. گوشت این پرنده حاوی هر دو نوع گوشت سفید و قرمز است. گوشت سینه و بال‌ها سفید و لذیذ و از نظر مزه

شبه گوشت گوساله است و گوشت قرمز آن که اغلب در ران‌ها یافت می‌شود، بسیار نرم و طعمی شبیه گوشت پرندگان وحشی یا شکاری را دارد. گوشت بوقلمون منبع خوبی از ویتامین‌های A، B1، B3، B6، B12 و املاحی چون سلنیوم، منیزیم، مس، آهن، روی، پتاسیم و اسید آمینه ترییتوفان به شمار می‌رود (۱۷). یکی از ویژگی‌های منحصر بفرد گوشت بوقلمون نسبت به سایر گوشت‌های سفید، ویتامین A و نقش مهم تقویت سیستم ایمنی آن است. این گوشت به دلیل دارا بودن اسید آمینه ترییتوفان به ترشح بیشتر سروتونین کمک کرده و باعث سرحالی و آرامش در افراد دچار علائم افسردگی موقت می‌شود (۱۷). هر چه رنگ ماهیچه ران تیره‌تر باشد مصرف آن برای کسانی که کمبود آهن دارند مفیدتر است. با توجه به ویژگی‌های بی نظیر این گوشت که به آنها اشاره شد و مطالعه کمتری بر روی فرآیند سرخ کردن و نیز پارامترهای مهندسی این نوع گوشت صورت گرفته است. امروزه با به‌کارگیری روش‌های معتبر عددی و افزایش سرعت رایانه‌ها امکان مدل‌سازی واکنش‌های بسیار پیچیده در مواد غذایی فراهم شده است. اصول بنیادی مدل‌سازی سینتیک بر اساس تبدیل سازوکار واکنش شیمیایی به معادلات دیفرانسیل می‌باشد. انتشار رطوبت از درون محصول به محیط حرارت دهنده و جذب روغن به داخل ماده غذایی از مهم‌ترین وقایع انتقالی صورت گرفته در حین سرخ کردن به شمار می‌روند (۳، ۱۵). ضریب نفوذ موثر رطوبت بسته به نوع محصول، نوع روغن و دما متفاوت است. به عنوان مثال در تحقیق دیمکاپلو-پاپز و گلو و همکاران (۲۰۱۶) سینتیک انتقال جرم در گوشت گاو در طی فرایند اسمز بررسی کردند. اولادجو و همکاران (۲۰۱۷) اثر پیش‌تیمار اولتراسوند بروی سینتیک دفع رطوبت و جذب روغن در طی فرایند سرخ کردن سیب زمینی شیرین بررسی کردند. کارسل و همکاران (۲۰۰۷) اثر شدت فراصوت بروی انتقال جرم در سیب را بررسی کردند. دیفوزیون آب و مواد خشک بوسیله قانون فیک محاسبه شد. تیمار فراصوت، موجب افزایش قابل ملاحظه‌ای در دیفوزیون شده بود. کاریزاکی و همکاران (۲۰۱۲) اثر پیش‌تیمار فراصوت-اسمز بروی سیب زمینی سرخ شده به روش

¹ Deep Fat Frying (DFF)

محیط سرخ کننده از روغن ۱۰۰ درصد خالص آفتابگردان (شادگل، نیشابور) استفاده شد. هر بار حدود ۸۰ گرم از قطعات گوشت در دو لیتر روغن به صورت عمیق سرخ شد. برای اینکه از تماس خوب بین نمونه‌ها و روغن اطمینان حاصل شود، نمونه‌ها در یک سبد سیمی قرار گرفت. قطعات گوشت پیش تیمار شده و پیش تیمار نشده در ۴ دوره زمانی بین صفر تا ۶ دقیقه در سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. روغن پیش از سرخ کردن در دماهای مذکور به مدت یک ساعت پیش گرم شد. روغن سطحی قطعات گوشت بلافاصله پس از سرخ کردن با حوله کاغذی حذف گردید.

۲-۴- اندازه‌گیری میزان رطوبت

جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سرخ شده مطابق با استاندارد AOAC (۱۹۹۶) انجام گرفت. میزان رطوبت نمونه‌ها به صورت جداگانه بر مبنای وزن خشک از رابطه ۱-۳ محاسبه گردید.

$$MC (db) = \frac{W - W_{ov}}{W} \quad (1-3)$$

در این رابطه W و W_{ov} به ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار دادن در آون است.

۲-۵- اندازه‌گیری میزان روغن

میزان روغن بر اساس روش استاندارد شماره ۹۹۱/۳۶ که در سال ۱۹۹۶ توسط AOAC پیشنهاد شد، تعیین گردید. میزان روغن (پوسته و هسته) نیز بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

۲-۶- بررسی سینتیک انتقال جرم در حین فرایند سرخ کردن

۲-۶-۱- بررسی سینتیک اُفت رطوبت

پدیده انتقال رطوبت توسط قانون دوم انتشار فیک توصیف شد (۳):

$$\frac{\partial}{\partial L} \left[D_{eff} \frac{\partial M}{\partial L} \right] = \frac{\partial (M)}{\partial t} \quad (1-2)$$

عمیق را بررسی کردند. نتایج نشان داد که این پیش تیمارها در کاهش جذب روغن بسیار موثر بودند. امیر یوسفی و همکاران (۲۰۱۰) اثر پیش تیمار مایکروویو بر سینتیک انتقال جرم گوشت شترمرغ بررسی کردند. مقادیر انتشار رطوبت موثر بین $1.47 \times 10^{-8} m^2/s$ تا $4.17 \times 10^{-8} m^2/s$ برای قطعات گوشت شترمرغ به دست آمدند. آددجی و همکاران (۲۰۰۹) مقدار ضریب نفوذ را برای پوشش و بخش مرکزی ناگت‌های مرغ پیش پخته در مایکروویو بین $1.1 \times 10^{-10} m^2/s$ و $1.47 \times 10^{-10} m^2/s$ و $6.39 \times 10^{-10} m^2/s$ - $1.4 \times 10^{-10} m^2/s$ گزارش نمودند. در تحقیق حاضر به بررسی اثر امواج فراصوت، دما و زمان سرخ کردن بر سینتیک انتقال جرم گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نمونه‌ها

فیله گوشت حاصل از عضله سینه بوقلمون از کشتارگاه خریداری گردید (لازم به ذکر است تمامی فیله از بوقلمون های یک ساله جنس نر انتخاب شد). گوشت منجمد در قطعات حدود $13 \times 25 \times 25$ میلی متر با استفاده از یک دایسر صنعتی (مدل ام اف ۸۴، فود لجستیک، آلمان) برش خورده و با فیلم پلاستیکی پوشیده شد تا از اُفت رطوبت سطحی در نمونه ممانعت شود. قطعات گوشت پیش از تیمار، در دمای انجماد (۱۸- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند.

۲-۲- اعمال پیش تیمار با استفاده از امواج فراصوت

نمونه‌ها در معرض امواج فراصوت با استفاده از دستگاه حمام فراصوت (مدل، E120 H شرکت الما، آلمان) در فرکانس‌های ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند.

۲-۳- شرایط سرخ کردن

سرخ کردن در یک سرخ کن خانگی (دلونگی مدل اف ۱۷۲۳۳، ۱۸۰۰ وات) با ظرفیت ۲ لیتر انجام شد. به عنوان

می شود (۵). با استفاده از نرم افزار اسلاید رایت پلاس ۴ و رابطه (۲-۴) کینتیک جذب روغن نیز بررسی شد، ثابت سرعت جذب روغن (k) و میزان روغن تعادلی (O_{eq}) به دست آمد.

۳-۶-۲- انرژی فعال سازی (E_a)

انرژی فعال سازی از معادله ی آرنیوس استفاده شد (۲، ۷).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right] \quad (۵-۲)$$

که در این معادله E_a انرژی فعال سازی (بر حسب kJ/mol)، R، ثابت جهانی گازها (بر حسب kJ/mol.K)، T دمای مطلق و D₀ نفوذ موثر در غلظت بالای مایع است. انرژی فعال سازی از طریق رسم منحنی قابلیت نفوذ موثر نسبت به عکس دمای مطلق تعیین می شود (۲).

۲-۷- تصویرگیری و پردازش تصاویر

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر تغییرات رنگ سطح نمونه های سرخ شده، به صورت زیر عمل شد:

الف. سیستم تصویرگیری، ب. پیش پردازش تصاویر: تقطیع تصاویر (جدا نمودن تصویر حقیقی نمونه ها از پس زمینه)، ج. تغییر فضای رنگی از RBG به *a*b*L: شکل ۱. این سیستم به طور کلی از ۴ جز تشکیل شده است که عبارتند از منابع نوری، دوربین، سخت افزار و نرم افزار رایانه. در این پژوهش جهت نورپردازی یکنواخت، از یک محفظه تاریک استفاده شد. نمونه ها روی صفحه سفیدی قرار گرفتند و دوربین دیجیتالی (Canon EOS 1000D, Taiwan) به طور عمودی و در فاصله ۲۵ سانتی متر از نمونه قرار داشت. تمامی تصاویر در حالتی گرفته شد که عدسی در حالت دستی و دهانه لنز با اندازه ۴ و سرعت یک دهم ثانیه تنظیم شده بود. در نهایت تصاویر با دوربین دیجیتال مذکور با ۳۸۸۸×۲۵۹۲ پیکسل گرفته شده با پورت USB به رایانه انتقال یافت و از نرم افزار Canon Utilities Zoom Browser EX Version 6.1.1)

که در این رابطه M میزان رطوبت (بر مبنای وزن خشک، g/g)، t زمان (ثانیه)، L نصف ضخامت نمونه (متر) و D_{eff} ضریب نفوذ موثر (بر حسب m²/s) می باشد. در صورتی که انتقال جرم در هر دو طرف محصول روی داده باشد، از حل دیفرانسیل جزئی معادله (۱) برای تیغه نامحدود توسط کرانک (۱۹۷۵) استفاده می شود:

(۲-۲)

$$M_r = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2}\right]$$

که در آن M_r نسبت رطوبت (بدون بعد)، M متوسط میزان رطوبت بر مبنای وزن خشک (g/g) در زمان t، M₀ رطوبت اولیه بر حسب وزن خشک (g/g)، M_e میزان رطوبت تعادلی، t زمان سرخ کردن (ثانیه)، L نصف ضخامت بخش پوسته و هسته ناگت بر حسب متر و D_{eff} ضریب نفوذ موثر رطوبت (بر حسب m²/s) می باشد.

k ثابت انتشار رطوبت بوده، رابطه آن با ضریب نفوذ به صورت زیر می باشد (۷):

$$D_{eff} = \frac{4kL^2}{\pi^2} \quad (۳-۲)$$

قانون انتشار فیک به طور گسترده ای برای توصیف سینتیک آفت رطوبت طی سرخ کردن مورد استفاده قرار گرفته است. این قانون تصویر ساده ای از آفت رطوبت طی سرخ کردن ارائه می دهد. محاسبات و برازش معادله در این مرحله با نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ انجام شد.

۲-۶-۲- بررسی سینتیک جذب روغن

برای مدل سازی جذب روغن، مدل سینتیک درجه ی اول پیشنهادی کروکیدا و همکاران (۲۰۱۱a) مورد استفاده قرار گرفت:

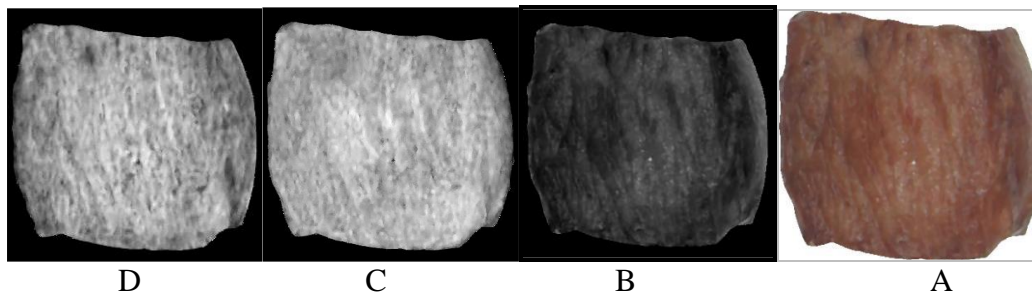
$$FC = O_{eq} [1 - \exp(-kt)] \quad (۴-۲)$$

که در این مدل k ثابت سرعت جذب روغن (1/s) است. بر اساس این مدل میزان جذب روغن در t=۰ بسیار ناچیز است و در زمان های طولانی برابر میزان روغن تعادلی (O_{eq})

² Slide Write Plus 2.0 (Advanced Graphic Software Inc., Landbouw Univ. Wageningen)

³ Segmentation

برای ذخیره کردن تصاویر با فرمت JPEG در رایانه استفاده شد.



شکل ۱- تبدیل تصویر از فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$.

A: عکس جدا شده، B: مؤلفه L^* تصویر، C: مؤلفه a^* تصویر، D: مؤلفه b^* تصویر.

بافت و پذیرش کلی بود. ارزیابی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام گرفت، به طوری که عدد یک نشان‌دهنده‌ی کیفیت نامطلوب و عدد پنج نشان‌دهنده‌ی کیفیت عالی بود.

۹-۲- آنالیز آماری

از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به منظور بررسی اثر فراصوت، دما و زمان سرخ کردن بر نمونه‌های سرخ شده استفاده شد. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار اسپاس اس اس نسخه ۱۶ انجام گرفت. در صورت معنی دار بودن اثر تیمارها، مقایسه‌ی میانگین با استفاده از آزمون دانکن انجام شد ($p < 0.05$). برای رسم نمودارها از نرم افزار مایکروسافت اکسل (۲۰۰۷) استفاده گردید. آزمایش‌ها با سه بار تکرار انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان رطوبت

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱) نشان داد که تاثیر شدت فرکانس امواج فراصوت، زمان و دمای سرخ کردن بر محتوای رطوبت نمونه‌ها معنی دار ($p < 0.05$) بود.

در این رابطه، L^* نشانگر روشنایی است که بین مقادیر صفر (معادل مشکی) و ۱۰۰ (معادل انعکاس کامل نور) می‌باشد، درحالی که مقادیر مثبت a^* نشانگر رنگ قرمز و منفی معادل رنگ سبز است. مقادیر مثبت مؤلفه b^* نشانگر رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است (سان، ۲۰۰۸). زیرنویس‌های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به مؤلفه‌های رنگی قبل و بعد از سرخ کردن هستند. تغییر رنگ کلی سطح نمونه‌ها (ΔE) از رابطه زیر محاسبه گردید (سوسا-مورالز و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

۸-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی

ارزیابی حسی توسط ۱۰ پانلیست نیمه حرفه‌ای انجام گرفت. گروه ارزیاب شامل ۵ مرد و ۵ زن در دامنه سنی ۲۰ تا ۳۵ سال بودند. داوران دو تکرار از هر فرمولاسیون را مورد ارزیابی قرار دادند. ویژگی‌های مورد مطالعه شامل رنگ، روغنی بودن، آبکی بودن (میزان رطوبت نمونه)، طعم، بو،

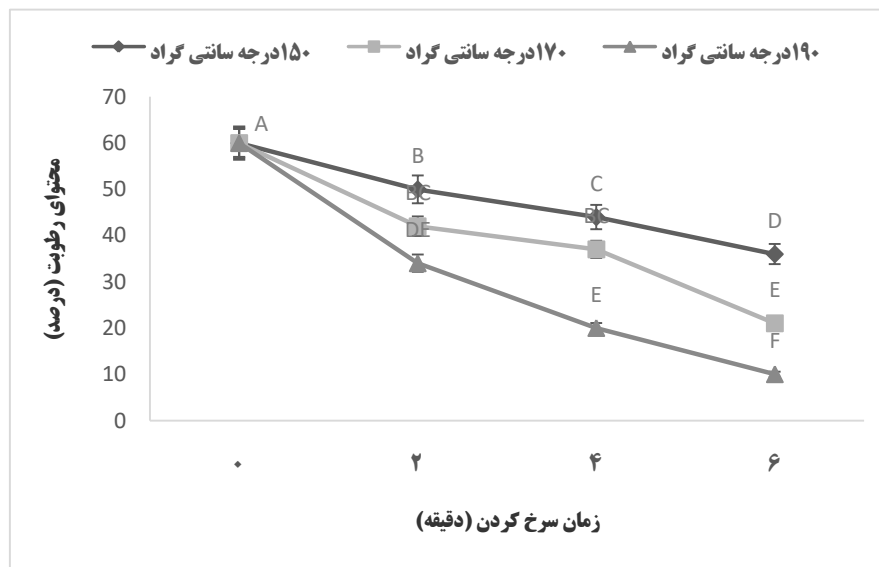
جدول ۱- آنالیز واریانس میزان رطوبت و روغن قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع
محتوای روغن (g/g, db)	محتوای رطوبت (g/g, db)		
۰/۱۶**	۰/۷۲۷**	۲	A
۰/۴۶**	۱/۷۲۲**	۴	B
۰/۱۰**	۰/۰۳۵ *	۲	C
۰/۰۱**	۰/۰۲۹ ns	۸	A×B
۰/۰۰۸**	۰/۰۰۴ *	۴	A×C
۰/۰۱۰**	۰/۰۰۳ *	۸	B×C
۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۲ ns	۱۶	A×B×C
۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۲	۴۵	Error
		۸۹	Total

A: شدت امواج فراصوت، B زمان سرخ کردن، C: دمای سرخ کردن، ns: بی معنی، **: سطح معنی دار ۹۹٪، *: سطح معنی دار ۹۵٪

ها می باشد. روند دفع رطوبت مشابهی توسط بسیاری از محققان طی فرآیند سرخ کردن عمیق گزارش شده است (۲)، (۱۲). افزایش دما باعث افزایش دفع رطوبت در نمونه ها گردید، به طوری که با افزایش دما محتوای رطوبت برای زمان یکسان کاهش نشان داد (شکل ۲). این نتایج با گزارش کروکید و همکاران (۲۰۰۱) در خصوص خلال های سیب زمینی سرخ شده، مطابقت داشت.

تعبیرات محتوای رطوبت قطعات گوشت بوقلمون با دماهای مختلف سرخ کردن به صورت تابعی از زمان سرخ کردن در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رفت، افزایش زمان سرخ کردن باعث کاهش محتوای رطوبت نمونه های سرخ شده گردید. روند کاهش محتوای رطوبت قطعات گوشت بوقلمون در دقیقه دوم فرآیند سرخ کردن سریع تر بود که این امر ناشی از حذف رطوبت از سطح نمونه

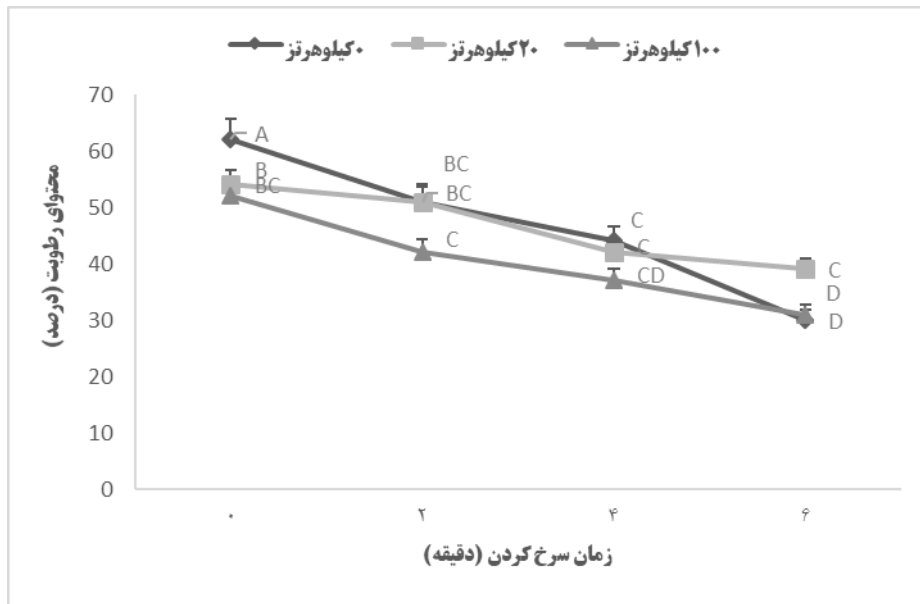


شکل ۲- اثر دما و زمان های مختلف سرخ کردن بر محتوای رطوبت قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

نمونه افزایش یافته و سرعت آبدگیری بالا می رود که منجر به کاهش رطوبت اولیه در نمونه ها می گردد. بنابراین، می توان انتظار داشت که استفاده از فراصوت به عنوان پیش تیمار قبل از فرایند سرخ کردن، باعث افزایش ضریب انتشار موثر رطوبت، کاهش زمان سرخ کردن و هم چنین، آسیب کمتر به لوله های موئین موجود در نمونه غذایی شود (در فرکانس و توان های مناسب) و از این طریق، منجر به کاهش میزان چروکیدگی در محصول نهایی و در نتیجه بهبود خصوصیات کیفی ماده غذایی می گردد. هر چه محتوای رطوبت ابتدایی نمونه کمتر باشد در طی سرخ کردن رطوبت کمتری از دست می دهد. زیرا در طی سرخ کردن رابطه خطی بین دفع رطوبت و جذب روغن وجود دارد، پس هر چه رطوبت ابتدایی نمونه کمتر باشد، جذب روغن آن در طی سرخ کردن کمتر خواهد بود (۱۱).

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، بالاترین میزان دفع رطوبت در طی فرایند سرخ کردن مربوط به نمونه های بدون پیش تیمار فراصوت است. نمونه های پیش تیمار فراصوت شده قبل از سرخ کردن به طور معنی داری محتوای رطوبت کمتری در دماها و زمان های مشابه نسبت به نمونه بدون پیش تیمار داشتند. دلیل آن را می توان این گونه بیان کرد، که امواج فراصوت، با ایجاد انقباض و انبساط های متوالی (اثر اسفنجی^۵) در ماده غذایی، باعث تشکیل کانال های میکروسکوپی و تسهیل خروج آب از محصول به واسطه این کانال ها می گردد (۶). که باعث سهولت خروج آب از ماده غذایی و کاهش بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه ها قبل از سرخ کردن می شود (۱۴). مطالعات محمدپور کاریزاکي و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که با به کار بردن امواج فراصوت همراه با اسمز قبل از فرایند سرخ کردن سبب زمینی، نفوذ محلول اسمز به داخل

⁵ Sponge effect

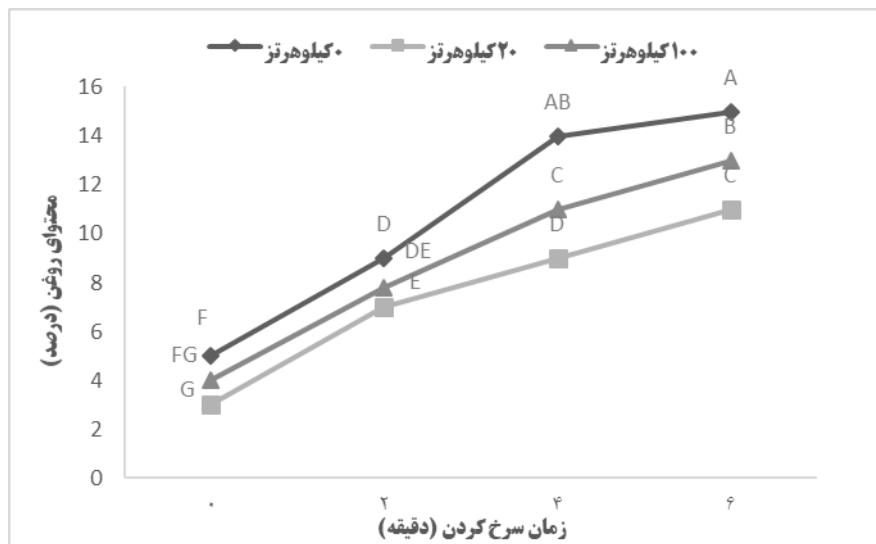


شکل ۳- اثر شدت فرکانس امواج فراصوت بر محتوای رطوبت قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

۳-۲- میزان روغن

آنالیز واریانس نشان می‌دهد که شدت فرکانس امواج فراصوت، دما و زمان سرخ کردن اثر معنی‌داری بر میزان روغن قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده ($p < 0.05$) داشتند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود نمونه‌های پیش تیمار شده با امواج فراصوت به طور معنی‌داری جذب روغن کمتری نسبت به نمونه‌ی شاهد (بدون پیش تیمار صوت) داشتند. دلیل کاهش بیشتر میزان جذب روغن در اثر پیش تیمار فراصوت را می‌توان به ایجاد کانال‌های میکروسکوپی طی انجام پیش تیمار فراصوت نسبت داد (۶)، که به نوبه خود باعث سهولت خروج آب از ماده غذایی و کاهش بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها می‌شود. زیرا میزان رطوبت اولیه ماده غذایی یک فاکتور مهم در جذب روغن در طی سرخ کردن عمیق می‌باشد (۴). به طور کلی جذب روغن کمتر، در نمونه‌هایی با میزان رطوبت اولیه کمتر مشاهده می‌شود، زیرا این نمونه‌ها در طی سرخ کردن رطوبت کمتری را از دست می‌دهد در نتیجه خلل و فرج حاصل از تبخیر رطوبت کمتر ایجاد می‌گردد و روغن

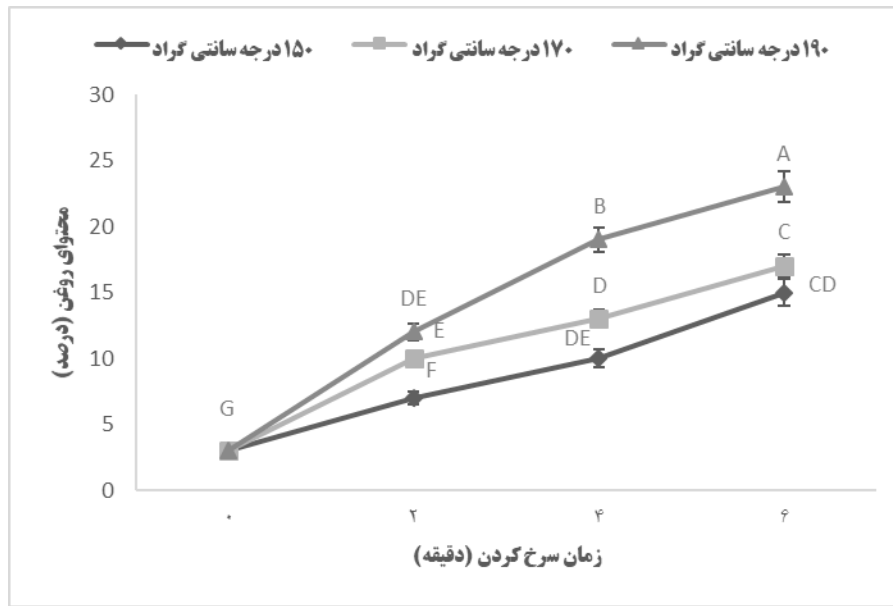
کمتری از این طریق جذب نمونه می‌گردد (۱۱). این نتایج رابطه‌ی بین میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می‌کند. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (۱۱، ۴). پیش تیمار فراصوت در فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز باعث افزایش میزان جذب روغن نسبت به نمونه ی پیش تیمار شده در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز دیده شد. کاهش میزان جذب روغن در نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را می‌توان به شکل گیری کانال‌های میکروسکوپی در ساختار نمونه‌ها نسبت داد که با افزایش شدت خروج رطوبت و ایجاد فشار بخار بالا در اطراف ماده غذایی مانع ورود روغن به داخل این نمونه‌ها طی سرخ کردن می‌گردد (۸). در فرکانس‌های حدود ۲۵ کیلوهرتز، انرژی امواج فراصوت در ساختار ماده غذایی جامد کاهش می‌یابد (۱۴). بنابراین، استفاده از پیش تیمار فراصوت در فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز، احتمالاً باعث آسیب به بافت در سطح نمونه‌ها می‌گردد و منجر به افزایش محتوای روغن در این نمونه‌ها می‌شود (۶).



شکل ۴- اثر شدت فرکانس امواج فراصوت بر محتوای روغن قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

فرج‌های هسته افزایش می‌یابد، طی سرخ کردن به دلیل دمای بالای روغن، بخشی از آب موجود در ماده غذایی تبخیر می‌شود که از مرکز ماده غذایی به سمت روغن اطراف حرکت می‌کند و منجر به ایجاد خلل و فرج‌هایی در آن می‌گردد که از طریق همین خلل و فرج‌ها روغن جذب می‌گردد (۱۱). مقدار رطوبت ماده غذایی به طور عمده تعیین کننده میزان جذب روغن می‌باشد، زیرا بخار آب باعث ایجاد فضاهای خالی برای ورود بعدی روغن می‌شود (۴). به طور کلی می‌توان عنوان کرد بین میزان جذب روغن و حذف آب طی سرخ کردن رابطه مستقیم وجود دارد (۴).

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ کردن، جذب روغن افزایش می‌یابد. این افزایش در دو دقیقه اول در بخش پوسته به صورت ناگهانی بوده، پس از آن روند افزایشی آهسته‌تر ادامه یافت. این نتایج با نتایج آددجی و همکاران (۲۰۰۹) و امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در منابع اثر دمای سرخ کردن بر میزان روغن نهایی فراورده متناقض است. نتایج این تحقیق نشان داد که دمای بالا منجر به جذب روغن بیشتر در قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده می‌شود. نتایج مشابهی توسط امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۰) برای قطعات گوشت شتر مرغ سرخ شده گزارش شده است. با افزایش دما میزان خلل و



شکل ۵- اثر دما و زمان های مختلف سرخ کردن بر محتوای روغن قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

داخلی را به سطح می راند و در نتیجه یک جریان بخار پیوسته ایجاد می کند (۱۵). مقادیر ثابت سرعت انتشار رطوبت (k) و ضریب نفوذ موثر رطوبت (D_{eff}) قطعات گوشت بوقلمون با شرایط مختلف پیش تیمار صوت و سرخ کردن در جدول ۲ نشان داده شده است.

۳-۴- سیتتیک انتقال جرم طی فرایند سرخ کردن

۳-۴-۱- دفع رطوبت

در تئوری انتشار فرض بر این است که سیال در نتیجه شیب غلظت درون یک محیط جامد، منتقل می شود. در حقیقت بر اثر محیط حرارت دهنده اطراف ماده غذایی، آب از سطح تبخیر شده، ایجاد شیب در غلظت می نماید، سپس آب

جدول ۲- مقادیر ثابت سرعت انتشار رطوبت (k) و ضریب نفوذ موثر رطوبت (D_{eff}) قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده

ضریب تبیین	$D_{eff} \times 10^{-10}$ (m ² /s)	$k \times 10^{-10}$ (s ⁻¹)	دما (°C)	شدت فرکانس امواج فراصوت (kHz)
۰/۹۹	D ۲/۷۹۹	۰D/۶۹	۱۵۰	۰
۰/۸۶	B ۵/۳۱۸	۱B/۳۱	۱۷۰	
۰/۹۴	A ۸/۶۰۰	A ۲/۱۲	۱۹۰	
۰/۸۴	A ۲/۲۸۰	A ۰/۵۶	۱۵۰	۲۰
۰/۹۹	CD ۳/۵۷۰	CD ۰/۸۸	۱۷۰	
۰/۹۳	B ۵/۳۵۵	B ۱/۳۲	۱۹۰	
۰/۹۱	D ۲/۴۱۳	DE ۰/۵۹	۱۵۰	۱۰۰
۰/۹۲	C ۳/۸۹۴	C ۰/۹۶	۱۷۰	
۰/۹۸	A ۸/۰۳۲	AB ۱/۹۸	۱۹۰	

ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

۰/۱۶۹ به دست آمد. همان طور که در جدول ۳ ملاحظه می شود، ثابت سرعت جذب روغن در نمونه هایی که در پیش تیمار فراصوت اعمال شده است، کمتر از نمونه های شاهد می باشد که این امر با توجه به میزان حذف رطوبت کمتر در این نمونه ها طی سرخ کردن قابل توجیه می باشد. در ضمن می توان دریافت که مقادیر ثابت سرعت جذب روغن در نمونه ها با افزایش دما افزایش می یابد، همچنین مقدار روغن تعادلی (O_{eq})، که از فاکتورهای مهم در مدل سازی فرایند سرخ کردن می باشد و به عنوان حداکثر میزان روغنی که نمونه طی سرخ کردن می تواند جذب کند، در نظر گرفته می شود، با افزایش دما افزایش می یابد که این امر تایید کننده افزایش میزان جذب روغن با افزایش دما می باشد. در تحقیق دوران و همکاران (۲۰۰۷) برای چپیس سیب زمینی پیش تیمار شده و سرخ شده در دمای ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی گراد ثابت سرعت $1 \times 10^{-5} - 1.8 \times 10^{-2}$ را گزارش نمودند. همچنین موریرا و همکاران (۱۹۹۵) برای چپیس تورتیلای سرخ شده در دمای ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد محدوده ثابت سرعت را بین $1 \times 10^{-3} - 0.22 \times 10^{-2}$ به دست آوردند، در حالی که در تحقیق امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۰) برای قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده ثابت سرعت انتقال روغن در محدوده $1 \times 10^{-5} - 0.24 \times 10^{-2}$ تا ۱۹/۷۰۸ قرار داشت. نوع محصول، پیش تیمار به کار رفته و شرایط سرخ کردن، عوامل مهمی در تعیین ثابت های سرعت جذب چربی هستند. قبلا اطلاعاتی برای ثابت سرعت جذب چربی گوشت بوقلمون طی سرخ کردن در منابع وجود نداشت.

همان طور که در جدول ۲، مشاهده می شود، ضریب نفوذ موثر در محدوده $1 \times 10^{-8} \times 2/280$ تا $1 \times 10^{-8} \times 8/600$ (m^2/s) با ضریب تبیین بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۹ قرار دارد. کمترین و بیشترین مقدار ضریب نفوذ به ترتیب در نمونه های پیش تیمار شده در با امواج ۲۰ کیلوهرتز و نمونه بدون پیش تیمار بود که این نتایج با گزارشات بخش محتوای رطوبت مطابقت دارد. تفاوت های مشاهده شده در انتشار رطوبت می تواند به دلیل تاثیر پیش تیمار با امواج فراصوت باشد (۶). دفع رطوبت به عنوان تابعی از زمان سرخ کردن در نظر گرفته می شود (۷). میزان رطوبت تا حدی کاهش می یابد تا به رطوبت تعادلی برسد. مکانیسم های کاهش رطوبت طی سرخ کردن پیچیده است ولی از جمله مهم ترین آن ها می توان به انتشار مولکولی، جریان موئینگی و اختلاف فشار اشاره کرد (۱۳). به طور کلی، انتقال جرم باعث توسعه ریز ساختار و منافذ موجود در ماده غذایی می شود. به گونه ای که در دماهای بالا، با افزایش شدت مهاجرت رطوبت، توزیع و ساختار منافذ تغییر کرده، باعث تشکیل مجدد منافذ می گردد (۱۵). همان طور که انتظار می رود دما بر روی ضریب نفوذ موثر اثر مثبت دارد، به طوری که با افزایش دما، به دلیل شدت فعل و انفعالات این ضریب افزایش می یابد. همین روند برای خلال های سیب زمینی، توفو، ناگت مرغ و گوشت خوک مشاهده شد (۱۱، ۱۳).

۲-۴-۳- جذب روغن

ثابت سرعت فرایند جذب روغن با استفاده از برازش داده ها بر اساس معادله (۲-۴) محاسبه گردید. مقادیر این پارامتر برای نمونه شاهد، در محدوده $1 \times 10^{-5} - 0.96 \times 10^{-5}$ (S^{-1}) تا 1×10^{-5} (S^{-1})

جدول ۳- مقادیر ثابت سرعت جذب روغن (k) و میزان روغن تعادلی (O_{eq}) قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده

O_{eq} (g/g, db)			K (s^{-1})			شدت فرکانس
۱۹۰	۱۷۰	۱۵۰	۱۹۰	۱۷۰	۱۵۰	امواج فراصوت (kHz)
۰/۲۷۳ Aa	۰/۲۵۰ ABa	۰/۲۱۴ Ba	۰/۱۶۹ Aa	۰/۱۱۴ Ba	۰/۰۹۶Ca	۰
۰/۱۷۴ Ac	۰/۱۵۸ Bb	۰/۱۳۱ Cc	۰/۱۲۷ Ac	۰/۰۸۱ Bb	۰/۰۷۹ Bb	۲۰
۰/۲۱۹ Ab	۰/۱۸۱ Bab	۰/۱۵۴ Cb	۰/۱۴۵ Ab	۰/۰۸۹Bb	۰/۰۷۴ Bb	۱۰۰

ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

حروف بزرگ اختلاف معناداری بین دمای سرخ کردن و حروف کوچک معناداری بین شدت فرکانس امواج فراصوت.

بعد از سرخ کردن بیشتر باشد که اینطور نبود. این به این دلیل است که همانطور که پیش تر هم عنوان شد امواج فراصوت با ایجاد کانال های میکروسکوپی و تسهیل خروج رطوبت موجب می شود که رطوبت نمونه پیش تیمار شده قبل از سرخ کردن، کمتر بود در نتیجه در طی فرایند سرخ کردن رطوبت کمتر وسخت تر از دست می دهد (۶، ۱۴). در تحقیق امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۰) انرژی فعال سازی انتشار رطوبت موثر برای قطعات گوشت شتر مرغ سرخ شده، در محدوده ۳۸/۸۴ تا ۵۱/۰۷ کیلوژل بر مول گزارش نمود. همچنین در تحقیق آددجی و همکاران (۲۰۰۹) انرژی فعال سازی حذف رطوبت را در بخش هسته و پوسته ناگت های سرخ شده در دماهای ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ سانتی گراد به ترتیب بین ۱۶/۳۳- تا ۵۲/۱۳- (kJ/mol) و ۱۳/۶۵ تا ۵۴/۹۳ (kJ/mol) گزارش نمودند.

۳-۴-۳- انرژی فعال سازی

وابستگی دمایی ضرایب انتشار موثر برای رطوبت و روغن با استفاده از برازش داده ها با معادله ی آرنیوس (رابطه ۲-۵) به دست آمد که در جدول ۴ آورده شده است. دامنه ی مقادیر انرژی فعال سازی برای حذف رطوبت و جذب روغن نمونه شاهد، به ترتیب $(26/66 \pm 0/86)$ (kJ/mol)، $(20/39 \pm 0/98)$ به دست آمد. هر چه انرژی فعال سازی کمتر باشد نشان دهنده این است که واکنش با سهولت بیشتری انجام می گردد (۲)، در این تحقیق انرژی فعال سازی جذب روغن نمونه شاهد کمتر است در نتیجه همانطور که انتظار می رود باید محتوای روغن نهایی در نمونه شاهد بیشتر باشد که با نتایج شکل ۴ مطابقت دارد. اما آنچه قابل درنگ است این است که انرژی فعال سازی دفع رطوبت در نمونه شاهد بیشتر از نمونه های پیش تیمار شده با امواج فراصوت بود پس انتظار می رود که محتوای رطوبت نهایی نمونه شاهد

جدول ۴- انرژی فعال سازی انتشار رطوبت و جذب روغن قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده

محتوای روغن		محتوای رطوبتی		شدت فرکانس امواج فراصوت (kHz)
ضریب تبیین	انرژی فعال سازی (kJ/mol)	ضریب تبیین	انرژی فعال سازی (kJ/mol)	
۰/۹۷	B ۲۰/۳۹	۰/۹۹	A ۲۶/۶۶۴	۰
۰/۹۶	A ۲۴/۷۲	۰/۹۹	B ۱۳/۴۹۲	۲۰
۰/۸۷	B ۲۱/۷۹	۰/۹۶	B ۱۴/۹۸۸	۱۰۰

ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معنا داری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$).

۳-۵- ارزیابی رنگ حاصل از تصاویر پردازش شده
 قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده
 رنگ از جمله اولین شاخص‌های کیفی مورد ارزیابی از سوی مصرف کننده برای پذیرش یا عدم پذیرش محصول می باشد (۱۳). پارامترهای L^* ، a^* و b^* برای تعیین تغییرات

ایجاد شده در رنگ محصول طی دوره‌ی سرخ کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. پیش تیمار صوت، دما و زمان سرخ کردن بر پارامترهای رنگی قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده موثر بودند ($p < 0.05$) (جدول ۵).

جدول ۵- آنالیز واریانس پارامترهای رنگی نمونه های گوشت سرخ شده

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		Delta E	b^*	a^*	L^*
A	۲	۳۴۱/۵۶**	۵۱۵/۴۴**	۷۷/۳۵**	۸۶۲/۲۰**
B	۴	۳۷۷۸/۵۰**	۲۹۷۰/۲۸**	۲۰۳۰/۴۴**	۵۵۶۵/۵۱**
C	۲	۱۰۷۲۵/۵۰**	۴۳۱۱/۱۲**	۶۱۷/۶۶**	۴۶۹۷/۶۴**
A×B	۸	۲۲/۷۰ ^{ns}	۱۷/۵۶**	۶/۸۹*	۲۹/۰۸*
A×C	۴	۴۹/۷۵ ^{ns}	۱۶/۵۷**	۹/۲۰۲**	۱۷/۶۰**
B×C	۸	۱۳۵/۳۱**	۳۸۳/۵۷**	۵۳/۶۴**	۳۹۵/۰۰**
A×B×C	۱۶	۱۱/۹۴ ^{ns}	۴/۴۸ ^{ns}	۳/۴۸ ^{ns}	۷/۲۸ ^{ns}
Error	۴۵	۳۲/۸۸	۴/۲۲	۴/۲۲	۸/۴۸
Total	۸۹				

A: شدت امواج فراصوت، B: زمان سرخ کردن، C: دمای سرخ کردن، ns: بی معنی، **: سطح معنی دار ۰.۰۱٪، *: سطح معنی دار ۰.۰۵٪.

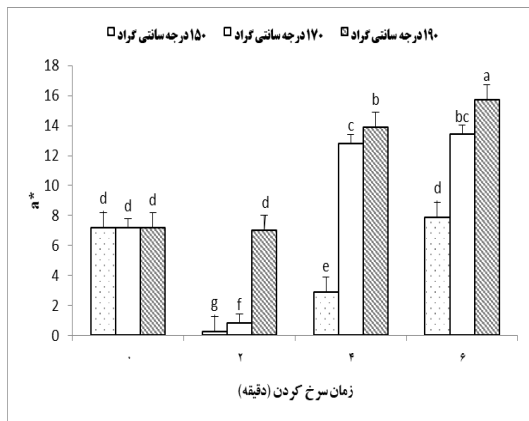
۳-۵-۱- پارامتر زردی (b^*)

این پارامتر میزان گرایش نمونه‌ها به زردی در طی فرآیند سرخ کردن را مشخص می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ کردن مقدار این پارامتر در تمامی نمونه‌ها تا دقیقه چهارم سرخ کردن افزایش یافت و با گذشت زمان، پارامتر زردی (b^*) در محصول کاهش نشان داد. دلیل این امر می‌تواند ناشی از انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی مایلارد باشد که باعث کاهش رنگ زرد نمونه‌های شده است. مصرف کنندگان محصولات سرخ شده تمایل دارند این محصولات دارای رنگ زرد و با پوسته‌های طلایی باشند، اما همان‌طور که مشاهده

می‌شود با افزایش زمان سرخ کردن این پارامتر کاهش می‌یابد. افزایش مقادیر پارامتر b^* در ابتدای فرآیند سرخ کردن و سپس کاهش آن را می‌توان به ایجاد قرمزی در طی فرآیند سرخ کردن مرتبط دانست. دهقان نصیری و همکاران (۲۰۱۰)، سورگی و همکاران (۲۰۱۰) و انصاری فر و همکاران (۲۰۱۵) نیز به ترتیب طی سرخ کردن عمیق ناگت میگو، ناگت مرغ و ناگت پنیر به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش درجه حرارت سرخ کردن نیز پارامتر b^* کاهش یافت (شکل ۶). به طور کلی طی سرخ کردن با افزایش درجه حرارت سرعت واکنش‌های مایلارد به طور مشخصی

۳-۵-۲- پارامتر a*

تغییرات پارامتر a* برای نمونه‌های گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق در دماهای مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش زمان سرخ کردن مقدار این پارامتر که نشان‌دهنده‌ی رنگ قرمز می‌باشد، افزایش یافت. افزایش فاکتور قرمزی یک پدیده نامطلوب در مورد محصولات سرخ کرده است و باعث کاهش بازار پسندی این محصولات می‌شود (۷ و ۱۱). با افزایش دما و زمان سرخ کردن پارامتر a* افزایش پیدا کرد، به طوری که در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد در همه فرمول‌ها بیشترین میزان قرمزی مشاهده شد. افزایش قرمزی در دماهای بالا را می‌توان به تغییر نوع و سرعت واکنش‌های میلارد مرتبط دانست. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققین در خصوص اثر دما بر گسترش رنگ قرمزی در محصولات گوناگون گزارش شده است (۲ و ۱۳).

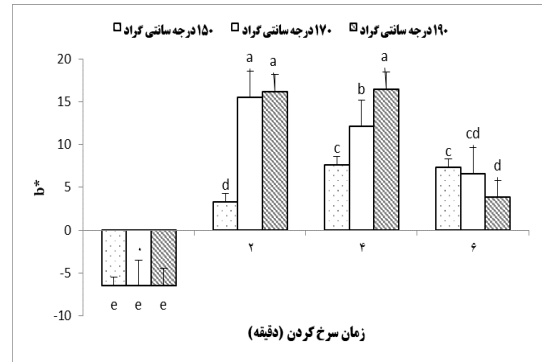


شکل ۸- اثر دما و زمان های مختلف سرخ کردن بر

پارامتر a* قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

کمترین میزان قرمزی در نمونه های پیش تیمار شده با امواج فراصوت مشاهده شد. که افزایش شدت صوت از ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز کاهش به طور محسوس تری در شکل ۹ قابل مشاهده است. این عمل به دلیل محتوای رطوبت بالاتر نمونه ها و کاهش واکنش های میلارد است (آکدنیز و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج این مطالعه با نتایج محمدپور کاریزاکي و همکاران (۲۰۱۳) در خصوص کاهش پارامتر a* تحت تاثیر پیش تیمار صوت، مطابقت داشت.

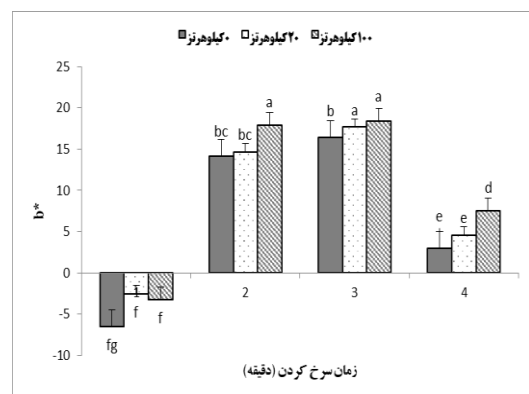
افزایش پیدا می کند و به عبارتی دیگر به ازای هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش در دمای سرخ کردن سرعت واکنش های میلارد ۲-۳ برابر می شود (۱۵). دوئیک و همکاران (۲۰۱۰) نیز به نتیجه مشابهی طی سرخ کردن هویج در خلا دست یافته‌اند.



شکل ۶- اثر دما و زمان های مختلف سرخ کردن بر

پارامتر b* قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

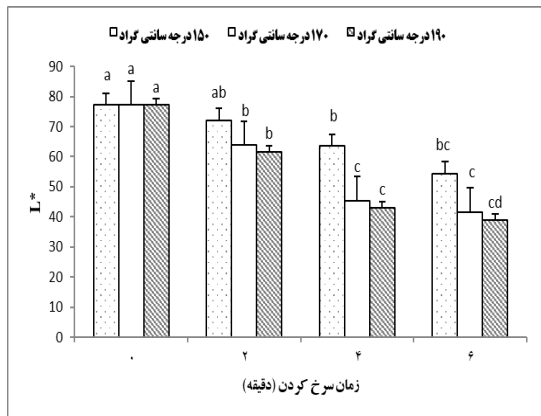
با افزایش شدت فرکانس امواج فراصوت در مرحله پیش تیمار، از ۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز، از کاهش پارامتر b* به طور معنی داری در طی فرایند سرخ کردن در تمام دماهای سرخ کردن جلوگیری کرد ($p < 0.05$) (شکل ۷). مقادیر بالاتر b* در نمونه های پیش تیمار صوت با ۱۰۰ کیلوهرتز را می توان به این حقیقت که استفاده از اولتراسوند بوسیله پدیده کاویتاسیون باعث کاهش واکنش غیرآنزیمی میلارد شده است (۸).



شکل ۷- اثر شدت فرکانس امواج فراصوت بر پارامتر b*

قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

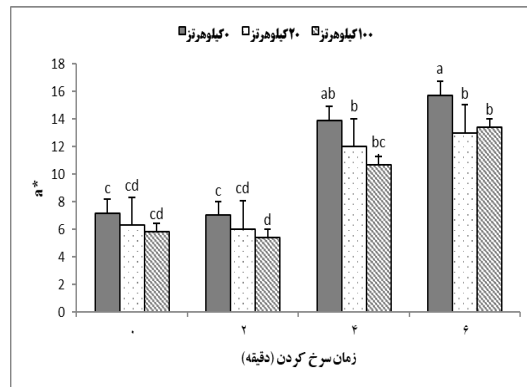
همانطور که در شکل ۱۱ دیده می شود با افزایش زمان سرخ کردن فاکتور روشنی روند کاهشی نشان داد. ولز-رویز و سوسا-مورالس (۲۰۰۳) و تان و میتال (۲۰۰۶) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش دمای سرخ کردن فاکتور روشنی کاهش پیدا کرد. به عبارتی دیگر با افزایش دما و زمان سرخ کردن رنگ نمونه های گوشت تیره تر شدند که اساساً می توان به شدت واکنش مایلارد نسبت داد (۱۳).



شکل ۱۱- اثر دما و زمان های مختلف سرخ کردن بر L^* قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

۳-۵-۴- تغییرات کلی رنگ (ΔE)

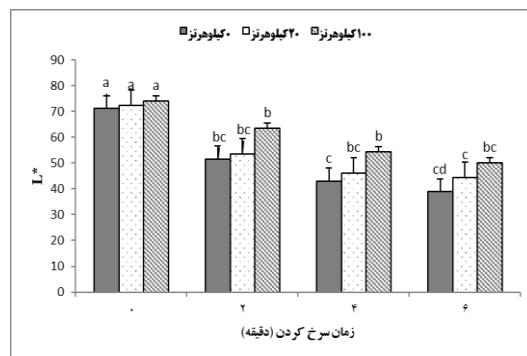
تغییرات کلی رنگ قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده با شدت امواج مختلف فراصوت، طی ۶ دقیقه سرخ کردن در دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد در جدول ۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، تغییرات کلی رنگ قطعات گوشت در تمام فرمول ها با گسترش زمان سرخ کردن افزایش یافت. این روند با نتایج پژوهش توسط ولز-رویز و سوسا-مورالس (۲۰۰۳) و تان و میتال (۲۰۰۶) مطابقت داشت. گسترش تغییرات رنگ در دقایق اول سرخ کردن سریع و در ادامه کندتر شد. افزایش درجه حرارت از ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد باعث افزایش معنی دار تغییرات کلی رنگ (ΔE) گردید. نتایج مشابهی توسط آکدینز و همکاران (۲۰۰۶) و چن و همکاران (۲۰۰۸) در خصوص افزایش میزان تغییرات کلی رنگ در درجه حرارت های بالاتر سرخ کردن گزارش گردیده است. با توجه به جدول ۶، قطعات گوشت بوقلمون پیش تیمار شده با امواج فراصوت به طور معنی داری میزان ΔE کمتر از نمونه شاهد



شکل ۹- اثر شدت فرکانس امواج فراصوت بر پارامتر a^* قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

۳-۵-۳- پارامتر L^*

پارامتر L^* بیان گر میزان روشنایی در سطح محصول است و اولین پارامتر کیفی است که توسط مصرف کننده برای پذیرش محصول ارزیابی می شود. مقادیر پایین L^* نشان دهنده ی تیرگی رنگ است و با واکنش مایلارد همبستگی دارد (۱۱، ۱۲). از ویژگی های منحصر به فرد غذاهای سرخ شده رنگ طلایی است که به لحاظ دیداری افزایش a^* و کاهش L^* منجر به ایجاد این رنگ می شود (۱۵). براساس شکل ۱۰، روشن ترین رنگ در تمامی دماها مربوط به نمونه هایی است که پیش تیمار صوت دریافت کردند. رنگ روشن تر می تواند نشان دهنده این باشد که نمونه جذب روغن کمتری داشته است (۱۱). از این رو پیش تیمار صوت قبل از فرایند سرخ کردن عمیق، اثر مثبتی بر روشنایی نهایی محصول و پذیرش آن دارد (۸).



شکل ۱۰- اثر شدت فرکانس امواج فراصوت بر L^* قطعات گوشت بوقلمون سرخ شده به روش عمیق

غیر آنزیمی را می توان نتیجه تشکیل پیگمان های رنگی مختلف مثل ملانوئیدین ها دانست (۳ و ۱۲). واکنش های قهوه ای شدن تحت تأثیر فاکتورهای مختلف از جمله دما، زمان، pH، فعالیت آب و غیره می باشد که در طی فرایند سرخ کردن در حال تغییر هستند (۳).

بود. افزایش در مقدار ΔE را که با تیره شدن رنگ سطح گوشت همراه است را می توان به واکنش های قهوه ای شدن غیر آنزیمی از جمله واکنش میلارد نسبت داد. دمای بالا و میزان رطوبت کمتر سطح قطعات گوشت در حین تشکیل شدن پوسته، نقش اساسی در این واکنش دارد. قهوه ای شدن

جدول ۶- میانگین تغییرات کلی رنگ (ΔE) طی سرخ کردن عمیق قطعات گوشت بوقلمون در شدت فرکانس های امواج فراصوت (کیلوهرتز)، دماها (درجه سانتیگراد) و زمان های سرخ کردن (دقیقه) مختلف.

شدت فراصوت	۰	۲	۴	۶
بدون صوت دهی				
۱۵۰	۳۰/۰۳±۱/۴۳ ^{BCb}	۳۳/۵۰±۱/۰۱ ^{BCc}	۳۲/۵۶±۰/۲۲ ^{Aa}	۳۵/۸۱±۰/۸۸ ^{Aa}
۱۷۰	۳۲/۶۶±۰/۶۳ ^{ABa}	۳۲/۰۲±۱/۱۷ ^{Cb}	۳۶/۶۷±۰/۲۳ ^{ABb}	۴۹/۵۸±۱/۰۰ ^{BCb}
۱۹۰	۳۵/۹۲±۱/۴۵ ^{BCa}	۳۵/۷۳±۴/۹۵ ^{ABa}	۴۲/۴۱±۰/۶۹ ^{Cc}	۵۲/۵۴±۲/۵۰ ^{Bb}
۲۰ کیلوهرتز				
۱۵۰	۲۰/۱۸±۱/۱۷ ^{Bc}	۲۰/۹۶±۰/۷۱ ^{Cc}	۲۱/۴۲±۰/۸۸ ^{ABa}	۲۳/۰۶±۱/۹۴ ^{Aa}
۱۷۰	۱۷/۶۹±۰/۴۴ ^{ABCb}	۲۶/۲۴±۰/۶۷ ^{BCb}	۲۵/۱۱±۰/۷۵ ^{CDb}	۴۶/۹۸±۱/۴۹ ^{Bb}
۱۹۰	۳۶/۴۴±۰/۳۳ ^{Ca}	۴۰/۷۱±۳/۷۲ ^{ABa}	۴۳/۷۰±۰/۸۵ ^{Cb}	۴۷/۵۸±۱/۸۱ ^{Bb}
۱۰۰ کیلوهرتز				
۱۵۰	۱۶/۷۶±۰/۲۲ ^{Bc}	۱۵/۶۴±۶/۵۴ ^{ABc}	۱۷/۶۵±۸/۴۹ ^{BCa}	۲۰/۴۳±۰/۶۴ ^{Ba}
۱۷۰	۲۲/۴۶±۰/۹۴ ^{Ab}	۲۲/۳۳±۰/۸۳ ^{Ab}	۲۲/۱۸±۰/۷۲ ^{CDa}	۲۳/۹۰±۴/۳۰ ^{Db}
۱۹۰	۲۸/۷۴±۰/۹۴ ^{ABa}	۲۴/۶۰±۰/۸۳ ^{Aa}	۲۸/۷۹±۰/۷۲ ^{Ca}	۳۲/۲۵±۴/۹۱ ^{Cb}

ارقام دارای حروف مشترک در هر ردیف باهم اختلاف معناداری ندارند (آزمون دانکن $p > 0.05$). حروف بزرگ اختلاف معناداری بین دمای سرخ کردن و حروف کوچک معناداری بین زمان سرخ کردن.

کیفی محصول به جز بو معنی دار است، در حالی که اثر دمای سرخ کردن بر رنگ، روغنی بودن، آبکی بودن، بافت و پذیرش کلی معنی دار است ($p < 0.05$).

۳-۹- ویژگی های حسی

آنالیز واریانس ارزیابی حسی (جدول ۷) نشان داد که از نظر ارزیابی های حسی اثر امواج فراصوت بر کلیه ی ویژگی های

جدول ۷- آنالیز واریانس پارامترهای حسی نمونه های گوشت سرخ شده

میانگین مربعات								
منبع	درجه آزادی	رنگ	روغنی بودن	آبکی بودن (میزان رطوبت)	طعم	بو	بافت	پذیرش کلی
A	۲	۵۳/۵۸*	۰/۰۱۶**	۵۳/۵۸**	۰/۶۸**	۲/۵۴ ^{ns}	۶/۵۶**	۷/۴۳**
B	۴	۵۸/۷۱**	۰/۰۴۶**	۵۸/۷۱**	۰/۷۱**	۲/۸۸**	۷/۲۰**	۷/۵۶**
C	۲	۴۶/۸۳**	۰/۰۱۰**	۴۶/۸۳**	۰/۶۸ ^{ns}	۳/۳۲ ^{ns}	۶/۳۰**	۶/۶۱**
AxB	۸	۲۹/۰۸*	۰/۰۰۱**	۲۹/۰۸*	۰/۵۷*	۰/۷۶ ^{ns}	۵/۵۰*	۶/۸۰*
AxC	۴	۱۷/۶۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۸**	۱۷/۶۰ ^{ns}	۰/۴۳*	۰/۶۷ ^{ns}	۵/۲۵*	۵/۴۶*
BxC	۸	۲۵/۵۰**	۰/۰۰۱۰**	۲۵/۵۰**	۰/۴۹*	۰/۷۷ ^{ns}	۴/۷۱**	۵/۳۷**
AxBxC	۱۶	۹/۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۹/۲۸ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۳/۸۴ ^{ns}	۴/۹۵ ^{ns}
Error	۴۵	۶/۴۸	۰/۰۰۰۱۵	۶/۴۸	۰/۱۶	۰/۳۲	۳/۹۸	۴/۷۱
Total	۸۹							

A: شدت امواج فراصوت، B زمان سرخ کردن، C: دمای سرخ کردن، ns: بی معنی، **: سطح معنی دار ۹۹٪، *: سطح معنی دار ۹۵٪

پارامتر طعم و بو تغییر معنی داری از نظر ارزیاب ها نداشت اما امتیاز طعم در پیش تیمار ۲۰ کیلوهرتز امواج فراصوت به طور قابل ملاحظه ای بیشتر بود که این بدلیل خروج کمتر رطوبت و متعاقب آن حفظ بیشتر عوامل طعم دهنده طبیعی گوشت که محلول در آب هستند، در این نمونه می باشد. براساس نتایج به دست آمده سختی بافت با میزان رطوبت گوشت رابطه عکس دارد. نمونه هایی که رطوبت بیشتری داشتند از نظر امتیازات حسی بافت گوشت نرمتر و لذیذتر بود. امتیازهای مربوط به پذیرش کلی محصول در موارد اعمال پیش تیمار فراصوت بیشتر از ۳/۵۴ است که بیانگر مقبولیت این نمونه ها می باشد. بالاترین امتیاز پذیرش کلی مربوط به نمونه پیش تیمار شده با ۲۰ کیلوهرتز در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد بود.

اثر امواج فراصوت و دمای سرخ کردن بر ویژگی های حسی قطعات گوشت بوقلمون در جدول ۸، نشان داده شده است. نتایج حاکی از این است که با افزایش دمای سرخ کردن، رنگ نمونه ها تیره شده است. به طور کلی نمونه های سرخ شده در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد کمترین امتیاز به لحاظ مطلوبیت رنگ به دست آوردند. نمونه هایی که امواج فراصوت به عنوان پیش تیمار دریافت کرده بودند رنگ روشن تر و قهوه ای مطلوب تری بعد از سرخ کردن داشتند که این نتایج مطابق با نتایج کاریزاکی و همکاران (۲۰۱۳) بود. نمونه پیش تیمار شده در ۲۰ کیلوهرتز امواج فراصوت و سرخ شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد از نظر ارزیاب- های حسی بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان روغنی بودن را داشتند که با نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی (شکل ۲ تا ۵) مطابقت داشت. با افزایش دمای سرخ کردن

جدول ۸- اثر امواج فراصوت و دمای سرخ کردن بر ویژگی های حسی گوشت بوقلمون سرخ شده

پذیرش کلی	بافت	بو	طعم	آبکی بودن	روغنی بودن	رنگ	صوت	دما
۳/۴۲۵ ^{bc}	۳/۵۵۴ ^c	۳/۵۰۸ ^a	۳/۶۲۵ ^{bc}	۳/۶۰۸ ^c	۳/۷۰۸ ^{bc}	۳/۸۲۵ ^c	.	
۴/۳۵۸ ^a	۳/۸۰۰ ^a	۳/۵۵۰ ^a	۳/۸۰۰ ^{ab}	۳/۹۵۰ ^{ab}	۳/۰۵۰ ^d	۴/۱۲۵ ^{ab}	۲۰	۱۵۰
۴/۱۴۱ ^{ab}	۳/۶۲۵ ^b	۳/۴۲۵ ^a	۴/۱۲۳ ^a	۴/۱۲۵ ^a	۳/۱۲۵ ^d	۴/۲۰۸ ^a	۱۰۰	
۳/۳۵۸ ^{bcd}	۳/۳۷۵ ^d	۳/۵۴۱ ^a	۳/۴۲۵ ^c	۳/۵۴۱ ^d	۳/۹۴۱ ^{ab}	۳/۵۴۸ ^d	.	
۳/۸۶۶ ^b	۳/۷۶۶ ^{ab}	۳/۴۸۳ ^a	۳/۷۸۲ ^b	۴/۰۸۳ ^{ab}	۳/۴۸۳ ^c	۳/۷۵۰ ^{cd}	۲۰	۱۷۰
۳/۶۰۸ ^{bc}	۳/۵۰۰ ^{bc}	۳/۴۵۸ ^a	۳/۸۸۳ ^{ab}	۳/۸۵۸ ^{bc}	۳/۴۵۸ ^c	۳/۸۸۳ ^c	۱۰۰	
۲/۸۶۶ ^e	۲/۹۳۳ ^e	۳/۵۸۳ ^a	۳/۳۵۰ ^d	۳/۳۸۳ ^e	۴/۲۸۳ ^a	۳/۲۰۰ ^e	.	
۳/۵۵۷ ^{bc}	۳/۵۵۰ ^{bc}	۳/۴۲۵ ^a	۳/۶۳۵ ^{bc}	۳/۷۲۵ ^{bcd}	۳/۶۲۵ ^b	۳/۴۲۵ ^{de}	۲۰	۱۹۰
۳/۳۷۵ ^{bcd}	۳/۴۷۵ ^{cd}	۳/۴۵۸ ^a	۳/۷۸۲ ^b	۳/۶۵۸ ^{cd}	۳/۷۵۸ ^b	۳/۵۵۸ ^d	۱۰۰	

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش پارامترهای سینتیکی و برخی خواص فیزیکوشیمیایی قطعات گوشت بوقلمون طی فرایند سرخ کردن عمیق و همچنین تاثیر پیش تیمار فراصوت روی این پارامترها بررسی شد. نتایج نشان داد به طور کلی با افزایش دما و زمان سرخ کردن و نیز استفاده از امواج فراصوت، محتوای رطوبتی نمونه های گوشت بوقلمون کاهش می یابد. بالاترین میزان دفع رطوبت در طی فرایند سرخ کردن مربوط به نمونه های بدون پیش تیمار فراصوت است. کاهش میزان جذب روغن در نمونه های پیش تیمار شده با فراصوت در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را می توان به شکل گیری کانال های میکروسکوپی در ساختار نمونه ها نسبت داد که با افزایش شدت خروج رطوبت و ایجاد فشار بخار بالا در اطراف ماده غذایی مانع ورود روغن به داخل این نمونه ها طی سرخ کردن می گردد. در سرخ کردن گوشت بوقلمون، پیش تیمار فراصوت در مجموع محتوای رطوبت اولیه محصول کاهش داد. ضمن اینکه ثابت سرعت جذب روغن با استفاده از امواج فراصوت کاهش یافت و شاهد بهبود پارامترهای رنگی و حسی بودیم. ضریب نفوذ موثر رطوبت نمونه ها در محدوده ی $2/28 \times 10^{-8}$ (m²/s) تا $8/6 \times 10^{-8}$ (m²/s) بود.

ضریب تبیین بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۹ قرار دارد. کمترین و بیشترین مقدار ضریب نفوذ به ترتیب در نمونه های پیش تیمار شده در با امواج ۲۰ کیلوهرتز و نمونه بدون پیش تیمار بود که این نتایج با گزارشات بخش محتوای رطوبت مطابقت دارد. در بررسی وابستگی فرایند سرخ کردن عمیق به دما با استفاده از رابطه آرنیوس، دامنه ی مقادیر انرژی فعال سازی برای حذف رطوبت و جذب روغن نمونه شاهد، به ترتیب $26/66 \pm 0/86$ (kJ/mol)، $20/39 \pm 0/98$ (kJ/mol) به دست آمد.

۵- منابع

1. Abedpor, L and Dehghan nia, J. 1395. Evaluation effect of ultrasound, osmotic dehydration on oil uptake potato pieces during deep fat frying. Iranian Journal of Food Science and Technology.50: 13, 79-93.
2. Adedeji, A.A., Ngadi, M.O. and Raghavan, G.S.V. 2009. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nugget. Journal of Food Engineering, 91: 146-153.
3. Amiryousefi, M.R., Mohebbi, M., and Khodaiyan, F. 2010. Kinetics of mass

- microwave pretreatment on mass transfer during deep fat frying of chicken nugget. *LWT-Food science and technology*, 42 (1), 438-440
13. Pedreschi, F., León, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., and Granby, K. 2007. Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79(3): 786-793.
 14. Rodrigues S, Gomes MCF, Gallão MI, Fernandes FAN. 2009. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *J Sci Food Agric*; 89:665-70.
 15. Sahin, S. and Sumnu, G. 2009. *Advances in Deep-Fat Frying of foods*. Taylor and Francis Group. New York. In D.W.Sun (Ed), *Contemporary Food Engineering*, (pp. 330).
 16. Stier, R.F. 2004. Frying as a science- An introduction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(11): 715-721.
 17. Vural, A., Erkan, M.E., Guran, H.S., Durmusoglu, H. 2013. A study about microbiological quality and species identification of frozen turkey meat. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(6): 337-341.
 4. Ansarifar, E., Shahidi, F., Mohebbi, M., Razavi, S.M., Ansarifar, J. 2015. A new technique to evaluate the effect of chitosan on properties of deep-fried Kurdish cheese nuggets by TOPSIS. *LWT - Food Science and Technology*, 62: 1211-1219.
 5. Durán, M., Pedreschi, F., Moyano, P., and Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering*, 81(1): 257-265.
 6. Fernandes, F.A.N. and Rodrigues, S. 2007. Use of ultrasound as pretreatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*. 82(2): 261–267.
 7. Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., and Marinos-Kouris, D. 2001. Deep fat frying of potato strips – quality issues. *Drying Technology*, 19(5): 879-935.
 8. Mohammadpour Karizaki, V., Sahin, S., Sumnu, G., Mosavian, H., Luca, A. 2013. Effect of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration as a Pretreatment on Deep Fat Frying of Potatoes. *Food Bioprocess Technol.* 6:3554–3563. DOI 10.1007/s11947-012-1012-5.
 9. Moreira, R.G., Palau, J.E., and Sun, X. 1995. Deep-fat frying of tortilla chips-an engineering approach. *Food Technology*, 49: 146-150.
 10. Naghavi, A., Dehghan Nia, J., Ghanbar Zadeh, B and Rezaie Mokaram, R. 1392. Modelling shrinkage of potato picese pretreatment with ultrasound and drying during deep fat frying. *Iranian Journal of Nutrition Science and Food Industry*, 3: 99-111.
 11. Ngadi, M., Li, Y., and Oloka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 40: 1784-1791.
 12. Ngadi, M.O., Wang, Y., Adedeji, A.A. & Raghavan, G.S.V. 2009. Effect of transfer in microwave precooked and deep-fat fried ostrich meat plates. *Food and Bioprocess Technology*, DOI: 10.1007/s11947-010-0373-x.