

## تأثیر اعمال ساسپتور در مایکروفر بر فاکتورهای کیفی پخت کیک فنجانی

صدیقه سلیمانی فرد<sup>۱\*</sup>، زهرا امام جمعه<sup>۲</sup>، محمد شاهی<sup>۳</sup>، غلامرضا عسکری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۷)

### چکیده

در این مطالعه، اثر استفاده از ساسپتور بر ویژگی‌های کیفی کیک فنجانی از جمله افت وزن، شاخص‌های رنگ، ارتفاع و تخلخل، تردی در توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات طی پخت مایکروویوی بررسی شد و از پخت مایکروویوی به عنوان شاهد، برای بررسی اثر ساسپتور بر خواص کیک فنجانی استفاده شد. نتایج نشان داد که سرعت افت وزن با افزایش توان و اعمال ساسپتور افزایش می‌یابد. علاوه بر این، حالت تردی بافت نیز با اعمال ساسپتور بیش از حالت مایکروویوی است. نتایج نشان داد که با اعمال ساسپتور، با افزایش توان، تردی کاهش می‌یابد و شیب نمودار کاهش تردی، در توان‌های پایین، زیاد و به مرور کاهش می‌یابد و در بالاترین توان (۹۰۰ وات) به صفر نزدیک می‌شود. همچنین اندیس قهوه‌ای شدن با افزایش توان و طی فرایند پخت افزایش می‌یابد. علاوه بر این تغییر پارامترهای رنگ در سطح در تماس با ساسپتور بیش از سایر نقاط است و تغییر در کلیه فاکتورهای رنگ با اعمال ساسپتور بیش از حالت مایکروویوی است. علاوه بر این ارتفاع نمونه در ابتدا افزایش ولی به مرور کاهش می‌یابد. با توجه به کاهش وزن دائمی نمونه طی فرایند، فاکتور بازده و دانسیته‌ی نمونه، افزایش یافته و تخلخل کاهش می‌یابد. نتایج نشانگر آن است که ساسپتور امواج مایکروویو را جذب کرده و با سرعتی بیشتر از کیک تبدیل به حرارت می‌کند و تفاوت دمای محسوس میان نمونه و ساسپتور منجر به انتقال حرارت سریع‌تر می‌شود.

**کلید واژگان:** ساسپتور، کیک فنجانی، شاخص‌های رنگ، پخت مایکروویوی

\* مسئول مکاتبات: s.soleimanifard@ag.iut.ac.ir

## ۱- مقدمه

مایکروویو امواج الکترومغناطیس در فرکانس ۳۰۰-۳۰۰۰۰۰ مگا هرتز است. البته مایکروفرهای خانگی معمولاً در فرکانس ۲۴۵۰ و مایکروفرهای صنعتی در فرکانس‌های ۹۱۵ و ۲۴۵۰ مگا هرتز کار می‌کنند. [۱]. مکانیسم‌هایی که منجر به ایجاد حرارت توسط امواج مایکروویو می‌شوند، شامل پلاریزاسیون ماکسول، برهمکنش دو قطبی و یونی هستند [۲].

استفاده از گرمایش مایکروویوی مزایای زیادی دارد. از آن جمله می‌توان به زمان راه اندازی کوتاه‌تر و گرمایش سریع‌تر نسبت به روش سنتی، کارآمدی انرژی، صرفه جویی در فضا، کنترل دقیق فرایند، گرمایش انتخابی و کیفیت تغذیه‌ای بالای مواد غذایی را نام برد [۳ و ۴].

روش مایکروویوی با وجود مزایای فراوان، با مشکلاتی نیز همراه است که به تفصیل تشریح خواهد شد. مواد درون مایکروفر در نتیجه‌ی اثر میدان الکترومغناطیسی متناوب گرم می‌شوند. میدان الکترومغناطیسی تولید شده داخل محفظه‌ی پخت، به صورت یکنواخت توزیع نشده و منجر به حرارت دهی نامساوی و غیر یکنواخت می‌گردد. این روند گرمایش غیر یکنواخت، نقاط داغ و سرد در داخل ماده‌ی غذایی ایجاد می‌کند که نگرانی‌هایی را در راستای جنبه‌ی ایمنی به لحاظ میکروبیولوژیکی فراهم می‌کند [۵]. علاوه بر این زمانی که ماده‌ی غذایی در مایکروفر حرارت می‌بیند، مقادیر نسبتاً بیش‌تری از حرارت درونی منجر به افزایش تبخیر رطوبت شده و تولید بخار درون ماده‌ی غذایی زیاد می‌شود که فشار درونی زیاد و گرادیان غلظت ایجاد می‌کند. فشار مثبت تولید شده درون ماده‌ی غذایی ایجاد شده و جریان سیال را در درون ماده‌ی غذایی به سمت مرزها افزایش می‌دهد و بخار آب از محصول متصاعد می‌گردد. از آنجا که هوای مایکروفر گرم نمی‌شود و دمای آن تنها کمی بالاتر از دمای محیط است، بخار آب خروجی کندانس شده و کمی نزدیک سطح و سطح محصول، مرطوب‌تر می‌شود اما در بسیاری از محصولات، سطح بایستی حالت چپسی و ترد و رنگ طلایی داشته باشد، که از طریق واکنش میلارد و کاراملیزه شدن قند در دماهای بالا همراه با از دست دادن آب رخ می‌دهد. با توجه به این‌که دمای سطح ماده‌ی غذایی بیش‌تر از نقطه‌ی جوش آب (۱۰۰°C) نمی‌شود و

به‌منظور ایجاد ساختار مناسب بایستی میزان حرارت دهی را بیش‌تر نمود، این مسئله منجر به حرارت بیش از حد در داخل محصول و سوختن مرکز آن می‌شود با توجه به مزایای مایکروویو، اگر به شیوه‌ای بتوان مشکلات مایکروویو را حین فراوری مرتفع کرد، به لحاظ صرفه جویی زمان و انرژی بسیار مؤثرتر از روش‌های قدیمی است. یکی از راه‌ها استفاده از ساسپتور است [۶].

ساسپتور ماده‌ای است که توانایی جذب انرژی الکترومغناطیس و تبدیل آن به گرما را دارد. نام آن مشتق شده از جاذب<sup>۲</sup> که ویژگی الکتریکی مواد است و گرایش آن‌ها برای تبدیل انرژی الکترومغناطیس به انرژی گرمایی را اندازه می‌گیرد. به‌عبارت دیگر ساسپتور ایجاد یک فر معمولی در مایکروفر است و یک لایه‌ی هادی الکتریکی ایجاد می‌کند که می‌تواند در معرض مایکروویو، تولید گرما کند و منجر به ایجاد رنگ قهوه‌ای و تردی در محصول شود [۷].

در زمینه‌ی اثر ساسپتور بر خواص کیفی مواد غذایی، باساکا و همکاران (۲۰۰۶) حرارت دهی مایکروویو را روی یک برش نازک ماده‌ی غذایی (گوشت گاو و روغن) قرار داده شده در بشقاب‌های سرامیکی (آلومینیوم و کربنات سیلیس) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد زمانی که از ساسپتور استفاده نشده یا ساسپتور در یک سمت ماده‌ی غذایی قرار داده شده است، سرعت حرارت دهی بیش‌تری برای گوشت گاو مشاهده شده درحالی‌که سرعت حرارت دهی در حضور یا عدم حضور ساسپتور برای روغن بدون تغییر بوده است. همچنین مشاهده شده که افت حرارت دهی برای نمونه‌های گوشت پوشش داده شده با ساسپتور بیش‌تر از نمونه‌های روغن است [۸]. علاوه‌براین از ساسپتورهای آلومینیوم و سرامیک برای گوشت و روغن استفاده شده و نتایج نشان داد که افت حرارت توسط سرامیک کم‌تر بوده است [۹] و همچنین در سال نشان داده شده که سرعت حرارت دهی با کمک ساسپتورهای متالیزه، افزایش می‌یابد و در ضخامت‌های کم‌تر همین نمونه‌ها، ساسپتور ترکیبی فلزی-سرامیکی، سرعت حرارت دهی بیش‌تری در مقایسه با هر کدام از ترکیبات به تنهایی دارد [۱۰]. سامانتا و همکاران (۲۰۰۸) شبیه

1. Susceptor  
2. Susceptance

با توجه به این که در زمینه استفاده از ساسپتور در محصولات شیرینی پزی<sup>۳</sup> تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است که شامل بررسی خواص کیفی این مواد باشد، هدف از این مطالعه، بررسی اثر ساسپتور نانو اکسید فلزی در فرایند پخت مایکروویوی بر افت وزن و خواص کیفی کیک با هدف کاهش مصرف انرژی و تولید محصولی با کیفیت بالاتر همراه با بازارپسندی بیش تر است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده سازی خمیرابه

در این پژوهش، پودر کیک وانیلی از شرکت رشد خریداری شد. این پودر حاوی آرد گندم، شکر، شیرخشک، امولسیفایر، نمک و وراور شیمیایی<sup>۴</sup> است. جهت تهیه خمیرابه، تخم مرغ مایع با همزن (بوش، مدل CNCM57، ۱۱۰ وات، ساخت اسلونی) با بیشترین سرعت، زده شد. سپس روغن و آب به آن افزوده و محتویات کاملاً مخلوط گردید. در نهایت پودر کیک به تدریج به این مایع اضافه شد تا خمیرابه‌ای یکدست حاصل گردد.

### ۲-۳- ساخت ساسپتور

اجزای تشکیل دهنده‌ی ساسپتور عبارت بودند از نانو اکسید تنگستن (WO<sub>2</sub>) 10-20 درصد، اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) 0-5 درصد، اکسید آلومینیوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 50-70 درصد، اکسید سیلیسیوم (SiO<sub>2</sub>) 3-5 درصد، اکسید ایتریوم (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0.2-0.5 درصد؛ اکسید زیرکونیوم (ZrO<sub>2</sub>) 1-2 درصد؛ اکسید منیزیم (MgO) 0-4 درصد.

ابتدا ترکیبات ذکر شده، با استفاده از آسیاب گلوله‌ای (Crifi, Italy) پودر شد. سپس با روش پرس هیدرولیک (HSM BRP 4810) توسط قالب فولادی، قطعات تولید شدند. نهایتاً عملیات پخت در کوره انجام شد. قطعات تولید شده، میان دو صفحه تحت کوارتز چیده شد و با ایجاد خلأ کاملاً کپسوله گردید [۱۶].

### ۲-۲- فرایند پخت

جهت پخت مایکروویوی، ۱۰۰ گرم از خمیرابه‌ی آماده شده را درون ظرف پیرکس ریخته و ظرف را در مرکز سینی مایکروفر

سازی حرارت دهی مایکروویو امولسیون روغن در آب را با ساسپتورهای مختلف از جمله سرامیک، فلز و ترکیب این دو انجام دادند و نتایج نشان داد که جذب توان مایکروویو بیش‌تری در هر دو امولسیون روغن در آب و آب در روغن با استفاده از صفحات فلزی نسبت به نوع سرامیکی امکان پذیر است. علاوه بر این جذب مایکروویو نمونه‌های روغن- آب زمانی که نمونه توسط ترکیبات فلزی- سرامیکی یا فلزی حمایت می‌شد، می‌توانست افزایش یابد. بنابراین محققان نتیجه گرفتند که ساسپتور حاوی هر دو ترکیب برای امولسیون روغن در آب با درصد روغن بالا، و برای درصد روغن کم‌تر نمونه‌های فلزی به ویژه نوع آلومینیومی پیشنهاد می‌شود [۱۱].

آلبرت و همکاران (۲۰۰۹) بهبود تردی و ایجاد رنگ قهوه‌ای را در ناگت ماهی با کمک بسته بندی حاوی مواد ساسپتوری و اضافه کردن دکستروزین به فرمول خمیرابه را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که با حضور این بسته بندی و خمیرابه، ناگت‌های تحت مایکروویو تردتر و چرب‌ترند [۱۲].

شوگلا و همکاران (۲۰۱۰) روند حرارت دهی در نمونه‌های استوانه‌ای پوشش داده شده با ساسپتور را به صورت دو بعدی با کمک روش المان محدود در طول موج‌های مشخصی مدل سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که اثر حرارت دهی مایکروویو بستگی به اندازه‌ی نمونه و هدایت حرارتی آن دارد [۱۳]. در مطالعه‌ای دیگر نحوه‌ی حرارت دهی گوشت خوک قرار گرفته در بسته‌های سرامیکی توسط باساکا و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش ضخامت لایه‌های سرامیک در یک سمت نمونه زمان فرایند کاهش می‌یابد، اما زمانی که ضخامت لایه‌ی سرامیک در هر دو سمت نمونه افزایش می‌یابد، زمان فرایند نیز زیاد می‌شود [۱۴]. چن و همکاران نیز در سال ۲۰۱۷ مدل همزمان انتقال حرارت و الکترومغناطیس را برای پای منجمد توسعه دادند. نتایج نشان داد که ساسپتور مورد استفاده ثابت دی الکتریک و فاکتور افت نسبتاً بالایی دارد که منجر به جذب بیشتر پرتوهای مایکروویو می‌گردد. علاوه بر این حضور ساسپتور، شار حرارت هدایتی را افزایش داده و منجر به جذب انرژی توسط نمونه به میزان سه برابر حالت بدون ساسپتور می‌شود [۱۵].

3. Confectionary  
4. Baking powder

(بوتان، مدل MR-1، با بیشینه توان خروجی ۹۰۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگا هرتز، ساخت ایران) قرار داده و خمیرابه تحت توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات تا رسیدن به رطوبت مطلق ۱۷٪ با و بدون اعمال ساسپتور، پخته شد.

### ۲-۳- اندازه گیری افت وزن

افت وزن طی پخت با وزن کردن نمونه در هفت مرحله حین پخت توسط ترازوی دیجیتال (AND-۳۰۰۰، ژاپن) انجام شد. افت وزن نسبی با استفاده از معادله‌های زیر تعیین شد:

$$W_L = \frac{W_0 - W_t}{W_0}$$

که اندیس زیرنویس ۰، t و d به ترتیب بیانگر زمان صفر، زمان نمونه برداری t است (۱۷).

### ۲-۴- اندازه گیری شاخص‌های رنگ

از سطح، کف و مرکز نمونه‌های خنک شده در دمای اتاق، درون محفظه‌ی رنگ سنج با دوربین (Nicon، ۱۵ مگا پیکسل) عکس گرفته شد و تصاویر توسط نرم افزار ایمج جی (Image J) مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۸]. پس فاکتورهای رنگ نمونه شامل شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، BI (اندیس قهوه‌ای شدن)، C (شدت رنگ) و  $\Delta E$  (میزان تغییرات رنگ نسبت به رنگ اولیه) به صورت معادلات ۳-۵ تعیین شد:

$$\Delta E = \sqrt{(a_t^* - a_0^*)^2 + (b_t^* - b_0^*)^2 + (L_t^* - L_0^*)^2}$$

$$C = \sqrt{a_t^{*2} + b_t^{*2}}$$

$$BI = \frac{100 \left( \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} - 0.31 \right)}{0.17}$$

اندیس زیر نویس صفر مربوط به نمونه‌ی خمیرابه تازه است [۱۹-۲۱].

### ۲-۵- اندازه گیری فاکتورهای ارتفاع

ارتفاع کیک (mm) در پنج نقطه‌ی متفاوت از کیک (مرکز هندسه، C، و چهار نقطه‌ی متفان در دو طرف نقطه‌ی مرکزی

$$\bar{h} = \frac{a + a' + c + b + b'}{5}$$

فاکتور بازده<sup>۵</sup> (معادله ۷) نیز به صورت نسبت اندیس حجم بر وزن کیک (mm/g) محاسبه شد [۲۲].

$$yeildfactor = \frac{Volumeindex}{weight}$$

### ۲-۶- آزمون نفوذ

این آزمون برای سنجش میزان تردی و کرانچی شدن محصول استفاده می‌شود. این ویژگی ناشی از مهاجرت آب از بخش سخت شده است. بدین منظور از دستگاه آنالیز بافت (Santam stm-20) مجهز به پروب با قطر ۲ میلی‌متر و ضخامت ۲/۵ سانتی متر از سطح نمونه استفاده شد. نیروی مورد نیاز برای سوراخ کردن نمونه (N)، بیانگر میزان "کرانچی شدن و تردی" سطح است [۲۴].

### ۲-۷- طرح آماری مورد استفاده و روش آنالیز

#### نتایج

اثر تیمارهای توان، مراحل نمونه برداری و روش فراوری (جدول ۱) روی ویژگی‌های کیفی کیک در این آزمون استفاده شد.

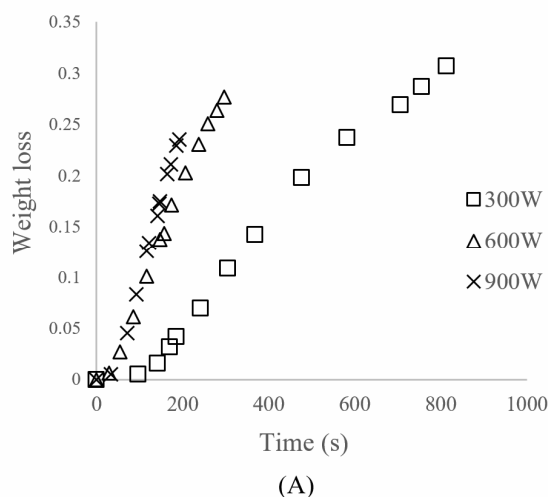
Table 1 Experimental treatments

Treatment
Powers (300, 600, and 900 W)
Sampling (seven steps during process)
Processing methods (with or without susceptor)

برای بررسی اثر توان و مراحل نمونه برداری بر خواص کیفی نمونه، آزمایشات به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گرفت. فاکتور توان در ۳ سطح (۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات)، فاکتور زمان در ۷ سطح (زمان‌های حرارت دهی) مورد بررسی قرار گرفت. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. به منظور بررسی اثر روش پخت بر خصوصیات کیفی از طرح اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در دو سطح (روش مایکروویو و روش ساسپتور) مورد بررسی قرار

5. Yield Factor

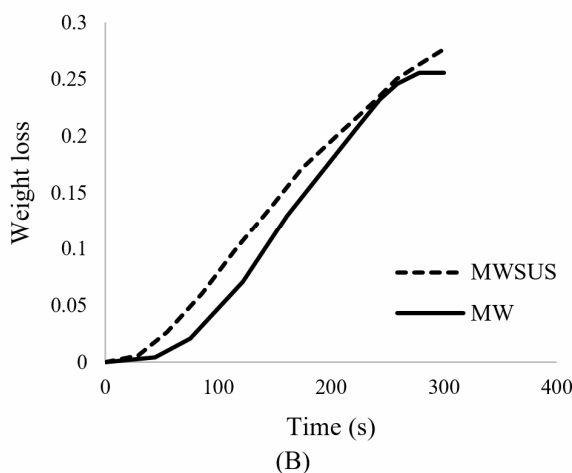
تغییرات افت وزن کیک طی پخت در توان‌های مختلف (شکل ۱-الف)) نشان می‌دهد که با افزایش توان، شیب نمودار افزایش یافته که نشان‌گر افزایش سرعت افت رطوبت و افزایش سرعت فرایند با افزایش توان است. پخت مطلوب کیک با استفاده از ساسپتور بعد از ۴، ۶، ۱۵، ۳۰ و ۶۰۰ وات حاصل خواهد شد.



گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار "SAS" و "MSTATs" انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی افت وزن



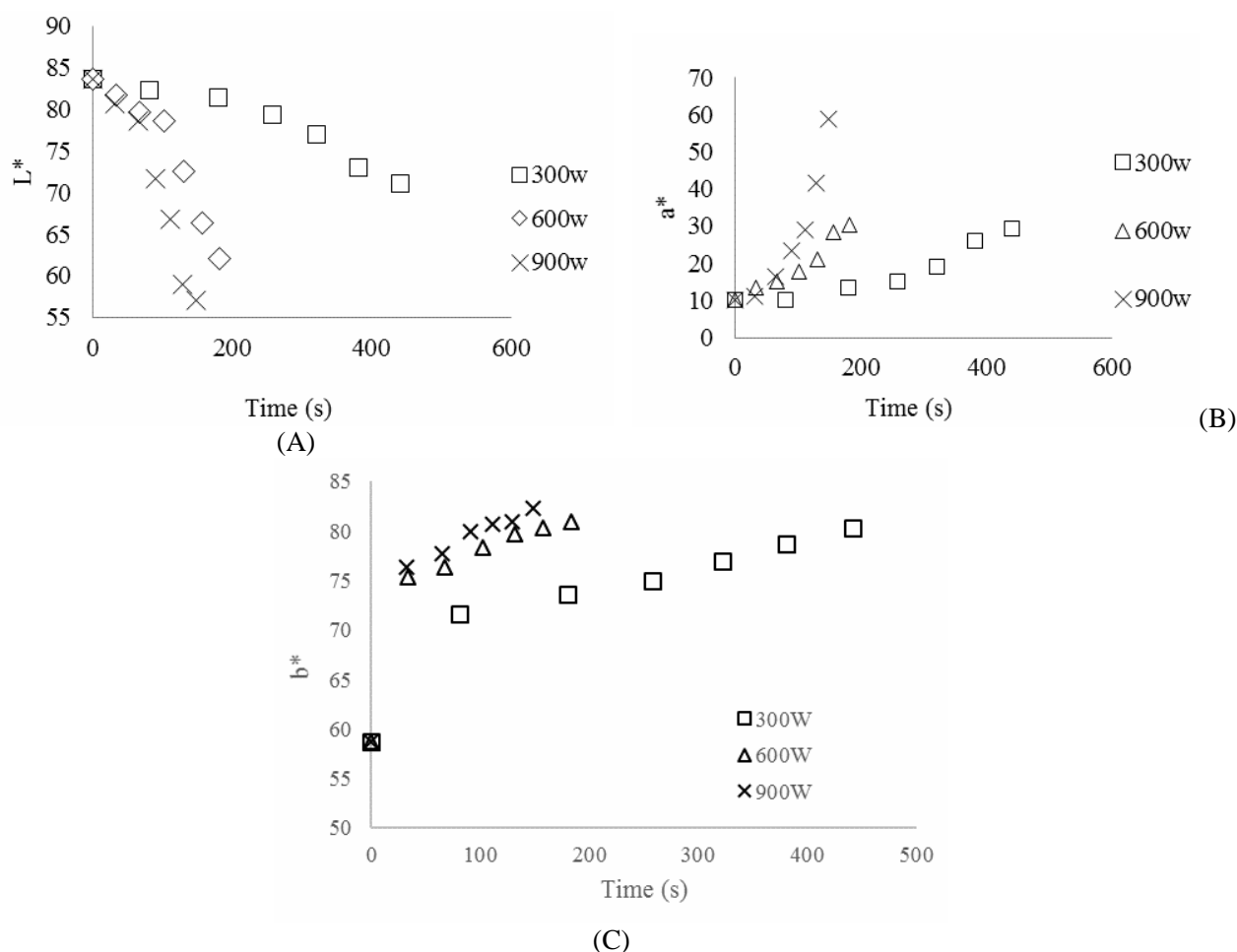
**Fig 1** Weight loss of cupcake during microwave susceptor baking at different power (A) and, comparison of susceptor and microwave baking methods (B)

#### ۳-۲- بررسی رنگ کیک طی فرایند پخت

نمودار تغییرات فاکتورهای رنگ به عنوان تابع زمان و توان، نشان از کاهش در مقدار  $L^*$  و افزایش در مقدار  $a^*$  و  $b^*$  در کف، سطح و مرکز کیک با گذشت زمان داشت. اما از آنجا که سرعت کاهش مقدار  $L^*$  و افزایش مقدار  $a^*$  و  $b^*$  در سطح زیرین نمونه بیش از مرکز و سطح نمونه است که علت آن جذب ویژه گرما توسط مایکروویو ساسپتور و ایجاد رنگ طلایی‌تر در سطح در تماس با ساسپتور است، جدول ۲، ثابت سرعت واکنش را در توان ۶۰۰ وات در سه بخش کف، سطح و مرکز کیک نشان می‌دهد، که مؤید این مطلب است که تغییر در فاکتورهای رنگی در سطح در تماس با ساسپتور بیش از سایر نقاط است. بنابراین نمودارهای مربوط به این سه شاخص در سطح کیک در تماس با ساسپتور آورده شده است (شکل ۲).

نتایج نشان می‌دهد که در یک توان مشخص، در ابتدا شیب نمودار افت وزن نسبی کم است. به مرور و با افزایش زمان فرایند، شدت افت وزن افزایش یافته و با کاهش بیشتر رطوبت، شیب نمودار کاهش خواهد یافت.

مقایسه میان دو روش پخت نشان می‌دهد که سرعت افت رطوبت در نمونه‌های پخته شده با استفاده از ساسپتور بیش از نمونه‌های بدون ساسپتور است (شکل ۱-ب) که شیب بیشتر نمودار افت وزن نمونه‌های ساسپتوری مؤید این مطلب است. علاوه‌براین در یک زمان مشخص میزان افت وزن در نمونه‌های فرایند شده با ساسپتور بیش از روش مایکروویوی است. بنابراین ساسپتور منجر به تغییر در افت وزن نمونه طی پخت شده است.



**Fig 2** L\*(A), a\*(B), and b\*(C) parameters of colour at different temperature

این نمودارها نشان می‌دهد، با افزایش توان مایکروویو، رنگ کیک به‌طور معنی‌داری، تیره‌تر می‌شود. علت این است که با افزایش توان، کیک امواج مایکروویوی بیشتری نسبت به توان‌های کم‌تر در زمان‌های مشابه، دریافت می‌کند که منجر به گرمایش بیشتر و رنگ تیره‌تر می‌گردد [۲۵].

۳- (الف-ج) آورده شده که داده‌های آن مربوط به سطح کیک در تماس با ساسپتور است. علت تغییر مشهودتر این پارامترها در سطح در تماس با ساسپتور، این است که فرایند پخت، خصوصیات سطحی ماده‌ی غذایی در تماس با ساسپتور را تغییر داده و منجر به تغییر در انعکاس نور و رنگ محصول می‌شود. علاوه بر این گرما و اکسیداسیون طی فرایند پخت منجر به تغییرات شیمیایی در کیک شده که منتج به تغییر فاکتورهای رنگ کیک می‌گردد. مقایسه میان دو روش پخت نشان می‌دهد که تغییر پارامترهای رنگ با استفاده از ساسپتور به‌طور معنی‌داری بیشتر

این نمودارها نشان می‌دهد، با افزایش توان مایکروویو، رنگ کیک به‌طور معنی‌داری، تیره‌تر می‌شود. علت این است که با افزایش توان، کیک امواج مایکروویوی بیشتری نسبت به توان‌های کم‌تر در زمان‌های مشابه، دریافت می‌کند که منجر به گرمایش بیشتر و رنگ تیره‌تر می‌گردد [۲۵].

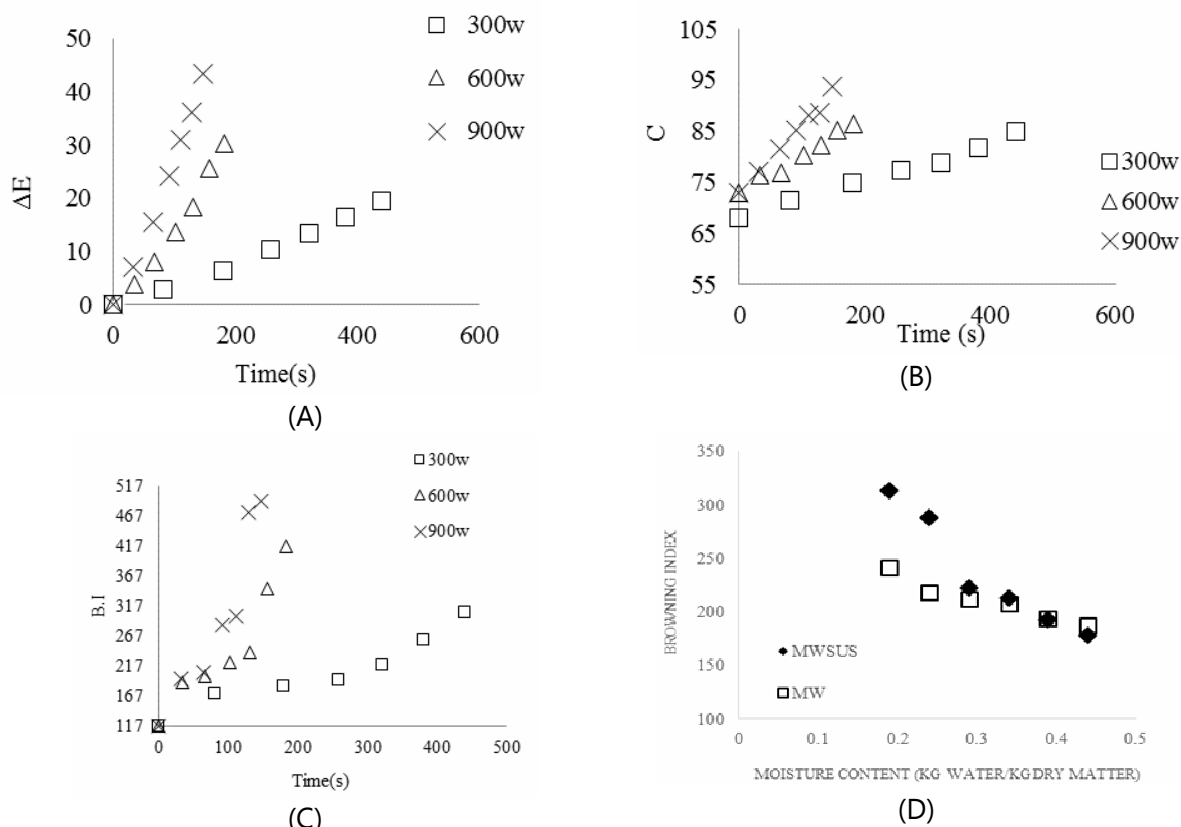
**Table 2** Rate constant of colour parameters of cupcake at 600W using microwave susceptor baking method

	k <sub>s</sub> without sus (1/s)	k <sub>center</sub> (1/s)	k <sub>s</sub> with sus (1/s)
L*	0.0229	0.0198	0.0502
a*	0.0336	0.0318	0.0665
b*	0.0163	0.0158	0.0284

برای فهم بهتر اثر تیمار اعمالی (ساسپتور) بر رنگ کیک، سه فاکتور تغییرات رنگ نسبت به رنگ اولیه ( $\Delta E$ )، میزان شدت رنگ (C) و اندیس قهوه‌ای شدن (B.I) نیز محاسبه شد. این سه

روش مایکروویوی این عمل ممکن نیست.

از روش مایکروویوی است. بنابراین ساسپتور توانسته رنگ طلایی یا قهوه‌ای مطلوب در سطح را ایجاد نماید در حالیکه در



**Fig 3** effect of power on  $\Delta E$  (A), C (B), Browning index (C) of cake during baking, and comparison of susceptor and microwave baking methods

منجر به دریافت حرارت بسیار زیادی توسط ماده‌ی غذایی می‌شود که به نوبه‌ی خود باعث ایجاد تفاوت دمای محسوس بسیار زیاد میان نمونه و ساسپتور و انتقال حرارت سریع‌تر و تغییر بیش‌تر و سریع‌تر در پارامترهای رنگ می‌گردد.

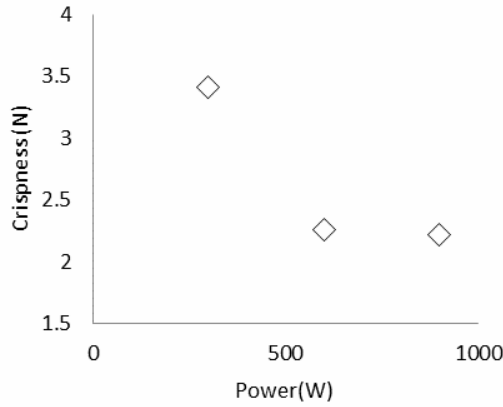
### ۳-۳- آزمون نفوذ

نتایج نشان می‌دهد که اثر توان روی کرانچی شدن و تردی پوسته معنی‌دار است و با افزایش توان میزان کرانچی شدن کاهش می‌یابد. همان‌گونه که شکل ۴-الف نشان می‌دهد شیب کاهش این فاکتور در توان‌های کم، زیاد است و با افزایش توان، کاهش می‌یابد. به طوری که در بالاترین توان (۹۰۰ وات) به صفر نزدیک می‌شود. زیرا کیک پخته شده در بالاترین توان، زمان کم‌تری جهت فرایند و مواجه با میدان الکترومغناطیس نیاز دارد. مقایسه میان دو روش پخت نشان می‌دهد که در تمام توان‌های

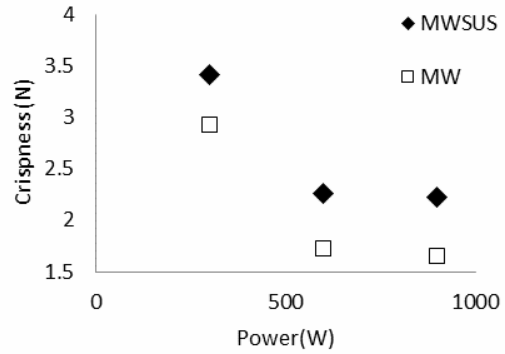
علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که افزایش در اندیس قهوه‌ای شدن در ابتدای فرایند کند است اما به مرور و با گذشت زمان، رطوبت کاهش یافته و اندیس قهوه‌ای شدن با سرعت بیش‌تری افزایش می‌یابد و به مقدار نهایی می‌رسد (شکل ۳-ج). این مطلب نشان‌گر این است که واکنش‌های قهوه‌ای شدن مانند میلارد و کاراملیزاسیون با کاهش رطوبت شدت گرفته و با افزایش توان شدت بیش‌تری نیز می‌گیرند و رنگ تیره‌تری ایجاد می‌کنند [۲۶]. مقایسه میان شاخص قهوه‌ای شدن کیک در دو روش پخت نشان می‌دهد که در یک توان مشخص، مقدار شاخص قهوه‌ای شدن نهایی با استفاده از مایکروویو ساسپتور، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روش مایکروویوی است. به‌طور کلی علت تفاوت معنی‌دار کلیه‌ی پارامترهای رنگ در پخت با کمک ساسپتور نسبت به دو روش پخت دیگر، جذب بالای امواج توسط ساسپتور و تبدیل آن به حرارت است. که

بازارپسندی محصول بدین صورت افزایش می‌یابد.

اعمالی، ساسپتور می‌تواند حالت تردی بیشتری را در سطح نمونه نسبت به روش مایکروویوی ایجاد نماید (شکل ۴-ب) و



(A)



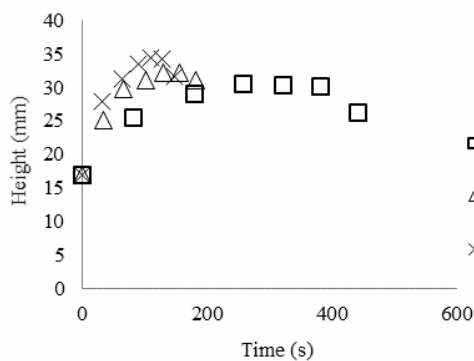
(B)

Fig 4 Effect of power on crispness (A) and comparison of crispness in susceptor and microwavebaked cupcake (B)

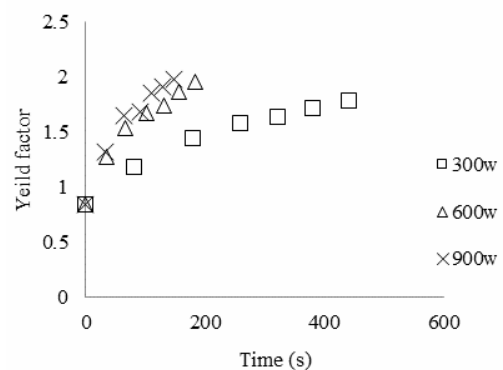
هوا و تبخیر رطوبت اتفاق می‌افتد [۲۹]. به مرور و با افزایش مدت زمان فرایند، باز شدن ساختار کیک به دلیل رسیدن دمای نمونه به بالاتر از دمای انعقاد پروتئین (۹۰-۷۰°C) بسته به میزان شکر) و تشکیل حباب و انتشار گسترده‌ی گاز به سمت بیرون، منجر به خروج بسیار آسان گاز به اتمسفر فر شده و سفت شدن ساختار نیز به دلیل ژلاتینه شدن منجر به اتمام انبساط کیک (مرحله‌ی دوم) می‌گردد و پس از این مرحله وارد مرحله‌ی چروکیدگی شدن کیک- کاهش ارتفاع- (مرحله‌ی سوم) می‌شویم [۳۰].

### ۳-۴- بررسی فاکتورهای ارتفاع

تغییر ارتفاع در کیک طی سه مرحله انجام می‌گیرد (شکل ۵-الف). مرحله‌ی اول انبساط است، بدین صورت که خمیرابه به محض قرار گرفتن در معرض حرارت، شروع به افزایش حجم نمود که به دلیل تولید دی‌اکسید کربن، انبساط هوایی که طی اختلاط خمیرابه وارد نمونه شده و تبخیر رطوبت است [۲۷ و ۲۸]. از آنجا که کیک اسفنجی محتوی مقدار بسیار اندکی عامل وراور شیمیایی است، عمده افزایش حجم به دلیل انبساط



(A)



(B)

Fig 5 Effect of power on height (A), yield factor of cake using microwave susceptor baking



مربوط به توان ۹۰۰ وات است. همچنین استفاده از مایکروویو ساسپتور منجر به افزایش سرعت افت رطوبت و کاهش مدت زمان فرایند نسبت به روش مایکروویوی شد. نتایج نشان می دهد که تغییرات رنگ نسبت به رنگ اولیه و شدت رنگ، شاخص قهوه ای شدن با افزایش زمان، توان و اعمال ساسپتور، افزایش می یابد. علاوه بر این تغییر پارامترهای رنگ، در سطح در تماس با ساسپتور بیش از سایر نقاط بود که علت آن استفاده از ساسپتور و در نتیجه تغییر روند گرمایش مایکروویوی است. بررسی فاکتورهای کیفی دیگر نمونه طی فرایند نشان می دهد که با افزایش زمان، ارتفاع نمونه افزایش می یابد اما هر چه به انتهای فرایند نزدیک می شویم، چروکیدگی ساختار شروع شده و افزایش می یابد و ارتفاع کاهش می یابد اما چون وزن همچنان در حال کاهش است، دانسیته نمونه افزایش و تخلخل کاهش می یابد. همچنین مشخص شد که تردی در بافت کیک نیز با استفاده از ساسپتور امکانپذیر است. با توجه به موارد ذکر شده، استفاده از ساسپتور می تواند بسیاری عیوب مربوط به پخت مایکروویوی را از بین برد.

## ۵- تشکر و قدردانی

محققین مقاله حاضر از زحمات جناب آقای مهندس فروهر و آقای دکتر اکرامی صمیمانه قدردانی و تشکر می نمایند.

## ۶- منابع

- [1] Datta AK, Anantheswaran RC. 2001. Handbook of microwave technology for food application. New York: Marcel Dekker.
- [2] Metaxas AC, Meredith RJ. 1993. Industrial microwave heating. London, United Kingdom: Peter Peregrinus Ltd.
- [3] Seyhun N, Sumnu G, Sahin S. 2003. Effects of different emulsifier types, fat contents, and gum types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Nahrung /Food*;47(4):248 – 51.
- [4] Decareau RV, Peterson R. Microwave Processing and Engineering: Ellis Horwood; 1986.

مشاهده شد که با افزایش توان، حداکثر ارتفاع نمونه افزایش و مدت زمان رسیدن به این مقدار حداکثر، کاهش می یابد. برای مثال در توان ۳۰۰ وات رسیدن به حداکثر ارتفاع (۳۰/۲۹mm)، در دقیقه ۶/۳۵ در حالی که در ۶۰۰ وات رسیدن به حداکثر ارتفاع (۳۱/۵۰mm)، در دقیقه ۴/۱۳ اتفاق می افتد. نتایج مشابه توسط مگاهی (Megahey) در سال ۲۰۰۵ گزارش شد [۲۸]. ارتفاع نهایی کیک نتیجه تعادل میان ست شدن محصول به وسیله و اسرشت شدن<sup>۱</sup> حرارتی شبکه گلوآنی و انبساط خمیر به وسیله عمل عوامل هوا دهنده و بخار است. این تعادل توسط سرعت افزایش دمای خمیر طی مراحل اولیه پخت تحت تأثیر است [۳۱]. بنابراین استفاده از دمای کم تر در مرحله اولیه پخت، طی پخت سنتی، منجر به تولید محصولی با ارتفاع بیش تر می شود [۲۸]. علاوه بر این هر قدر دمای فرایند بیشتر باشد افزایش حجم و به دنبال آن چروکیدگی ساختار بیش تر است [۳۰].

با افزایش مدت زمان فرایند و افزایش توان، ارتفاع افزایش معنی دار می یابد. همان طور که ذکر شد با گذشت زمان، ارتفاع افزایش می یابد، بنابراین فاکتور بازده افزایش می یابد هر چه به انتهای فرایند نزدیک می شویم، چروکیدگی ساختار شروع شده و افزایش می یابد اما چون وزن همچنان در حال کاهش است، بنابراین فاکتور بازده به مرور افزایش می یابد (شکل ۵-ب). که منجر به افزایش حجم نمونه و به تبع آن افزایش تخلخل و پوکی کیک و کاهش دانسیته می گردد. زیرا هر قدر مدت زمان فرایند و توان اعمالی، بیش تر شود، محتوای رطوبت کم تر، دانسیته کم تر و میزان تخلخل بیش تر می شود چون غلظت عوامل حجیم کننده افزایش می یابد و گاز بیش تری تولید می کنند [۲۷].

## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش اثر استفاده از ساسپتور بر سرعت افت رطوبت، ویژگی های کیفی از جمله؛ رنگ، بافت، ارتفاع و تخلخل بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که زمان مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت مدنظر (۰/۱۷ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک) با افزایش توان، کاهش می یابد. حداقل زمان مورد نیاز برای فرایند

- [17] Hadiyanto H. 2013. Experimental validation of product quality model for bread baking process. *International Food Research Journal*;20(3): 1427-34.
- [18] Yam KL, Papadakis SE. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*;61:137-42.
- [19] Askari G, Emam-Djomeh Z, Mousavi S. 2008. Investigation of the effects of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying. *Drying technology*;26(11):1362-8.
- [20] Romano G, Baranyai L, Gottschalk K, Zude M. 2008. An approach for monitoring the moisture content changes of drying banana slices with laser light backscattering imaging. *Food and Bioprocess Technology*;4:4-44.
- [21] López-Malo A, Palou E, Barbosa-Cánovas G, Welti-Chanes J, Swanson B. 1998. Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree. *Food Research International*;31(8):549-56.
- [22] Zareifard M, Boissonneault V, Marcotte M. 2009. Bakery product characteristics as influenced by convection heat flux. *Food research international*;42(7):856-64.
- [23] AACC. 1999. American association of cereal chemistry. Method 10-91. Use of layer cake measuring template.
- [24] Kang H-Y, Chen H-H. 2015. Improving the crispness of microwave-reheated fish nuggets by adding chitosan-silica hybrid microcapsules to the batter. *LWT-Food Science and Technology*;62(1):740-5.
- [25] Mandala I, Anagnostaras E, Oikonomou C. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*;69(3):307-16.
- [26] Bchir B, Besbes S, Karoui R, Attia H, Paquot M, Blecker C. 2012. Effect of air-drying conditions on physico-chemical properties of osmotically pre-treated
- [5] Hill A. 1998. *Microwave Ovens*. Brussels: International Life Science Europe Microwave Oven Task Force.
- [6] Zuckerman H, Miltz J. 1997. Prediction of Dough Browning in the Microwave Oven from Temperatures at the Susceptor/Product Interface. *LWT – Food Science and Technology*; 30:519–24.
- [7] Savage S, Baldwin P. 2004. Packaged food product. Google Patents.
- [8] Basak T, Meenakshi A. 2006a. A theoretical analysis on microwave heating of food slabs attached with ceramic plates: Role of distributed microwave incidence. *Food Research International*; 30:932-44.
- [9] Basak T, Meenakshi A. 2006b. Influence of ceramic supports on microwave heating for composite dielectric food slabs. *AIChE Journal*;52:1995-2007.
- [10] Basak T. 2007. Role of metallic, ceramic and composite plates on microwave processing of composite dielectric materials. *Materials Science and Engineering*;457:261-74.
- [11] Samanta SK, Basak T, Sengupta B. 2008. Theoretical analysis on microwave heating of oil-water emulsions supported on ceramic, metallic or composite plates. *International Journal of Heat and Mass Transfer*;51:6136-56.
- [12] Albert A, Varela P, Salvador A, Fizman SM. 2009. Improvement of crunchiness of battered fish nuggets. *European Food Research and Technology*;228:923-30.
- [13] Shukla AK, Mondal A, Upadhyaya A. 2010. Numerical Modeling of Microwave Heating. *Science of Sintering*;42:99-124.
- [14] Basak T, Rao BS. 2011. Role of ceramic composites and microwave pulsing on efficient microwave processing of pork meat samples. *Food Research International*;44:2679-97.
- [15] Chen F, Warning AD, Datta AK, Chen X. 2017. Susceptors in microwave cavity heating: Modeling and experimentation with a frozen pie. *Journal of Food Engineering*;195:191-205.
- [16] Soleimanifard S, Emam-Djomeh Z, Alinejad M, 2017. Making a susceptor for improvement of microwave food processing. Iran patent 90898.

- and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chemistry (USA)*.
- [30] Lostie M, Peczaliski R, Andrieu J, Laurent M. 2002. Study of sponge cake batter baking process. Part I: Experimental data. *Journal of Food Engineering*;51(2):131-7.
- [31] Yong Y, Emery A, Fryer P. 2002. Heat transfer to a model dough product during mixed regime thermal processing. *Food and bioproducts processing*;80(3):183-92.
- pomegranate seeds. *Food and Bioprocess Technology*;5(5):1840-52.
- [27] Baik O-D, Marcotte M. 2003. Modeling the moisture diffusivity in a baking cake. *Journal of Food Engineering*;56(1):27-36.
- [28] Megahey E, McMinn W, Magee T. 2005. Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter. *Food and Bioproducts Processing*;83(4):277-87.
- [29] Mizukoshi M, Maeda H, Amano H. 1980. Model studies of cake baking. II. Expansion

## Effect of the susceptor on quality properties of cupcake during microwave baking method

Soleimanifard, S. <sup>1\*</sup>, Emam-Djomeh, Z. <sup>2</sup>, Shahedi, M. <sup>3</sup>, Askari, G. R. <sup>4</sup>

1. PHD student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj
3. Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj

(Received: 2017/01/04 Accepted: 2017/02/05)

In this research, effect of susceptor on quality properties of cupcake such as weight loss, color parameters, height, porosity, and crispiness at 300, 600, and 900W during microwave baking, were studied. Results showed that weight loss rate increased with power and using susceptor. Also, crispiness occurred when the microwave oven assisted by susceptor. Results showed that browning index increased with power during baking. Moreover, color parameters of surface changed the most compared with others. Moreover, all colour parameters changed more than microwave baking process. Results showed that sample height increased at first and then gradually decreased at the end of process time. Regarding the sample weight decreased simultaneously, therefore, yield factor and density increased and porosity reduced.

**Keywords:** Susceptor, Cupcake, colour, Microwave baking

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: s.soleimanifard@ag.iut.ac.ir