



## ارزیابی ویژگی‌های حسی و مدل‌سازی سینتیک شاخص‌های رنگی فندق در حین برشته شدن توسط امواج مادون قرمز

امیر پورفرزاد<sup>۱\*</sup>، سیامک غیبی<sup>۱</sup>، زهرا احمدیان<sup>۲</sup>

۱. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت  
 ۲. دانشجوی دکتری، علوم و صنایع غذایی، گروه فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی مشهد

(تاریخ دریافت: 95/7/24، تاریخ پذیرش: 95/9/28)

### چکیده

در این پژوهش، اثرات پرتوهای مادون قرمز در فرایند برشته کردن فندق در سه توان 700، 1100 و 1550 وات در زمان‌های 3، 6، 9 و 15 دقیقه بررسی گردید. هم‌چنین، از روش‌های چندمتغیره متقارن (تعیین ضرایب همبستگی و آنالیز شاخص‌های اصلی) و نامتقارن (فاکتوریل کاملاً تصادفی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی) به منظور بررسی شاخص‌های رنگی (L، a و b) و ویژگی‌های حسی (رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی) استفاده گردید. افزایش توان و زمان فرایند برشته کردن موجب کاهش شاخص L و افزایش شاخص a گردید. با افزایش زمان فرایند برشته کردن تا زمان 6 دقیقه، شاخص b افزایش و پس از آن به طور معنی‌داری کاهش یافت. بالاترین امتیاز ویژگی‌های حسی در شرایط زمان به مدت 6 دقیقه با توان 1550 وات و 12 دقیقه با توان 1100 وات به دست آمد. برای شبیه‌سازی رفتار شاخص‌های رنگی فندق در طول زمان فرایند برشته شدن، مدل‌های مختلفی با هم مقایسه و با توجه به پارامترهای آماری ضرایب همبستگی، مربع چپ، خطای یک طرفه میانگین و خطای مجذور میانگین ریشه، مدل‌های مناسب تعیین گردیدند. از تجزیه و تحلیل نمودار آنالیز شاخص‌های اصلی می‌توان دریافت که نمونه‌های دارای بالاترین امتیاز ویژگی‌های حسی، در سطح متوسطی از شاخص‌های رنگ بودند. ضرایب همبستگی بین ویژگی حسی رنگ و تمامی شاخص‌های رنگ سنجی معنی‌دار و از بین سه شاخص رنگ سنجی، شاخص b دارای بیشترین ارتباط معنی‌دار با ویژگی‌های حسی بود.  $R^2$  مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی به دست آمده در محدوده متوسط به بالا بود که نشان دهنده کارایی بالای این معادلات در پیشگویی ویژگی‌های حسی نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز با استفاده از پارامترهای رنگ سنجی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فندق، سینتیک، برشته کردن، توان مادون قرمز.

\* نویسنده مسئول: [amir.pourfarzad@gmail.com](mailto:amir.pourfarzad@gmail.com)

## 1- مقدمه

درخت فندق متعلق به خانواده کوریلانسه<sup>۱</sup> است و جزء قدیمی‌ترین درختان میوه یافت شده در مناطق شمال غرب اروپا و امریکای شمالی طبقه بندی می‌شود. امروزه محبوب‌ترین درخت فندق (*Corylus avellana* L.) در اروپا و آسیا رشد می‌کند. فندق با دارا بودن اسیدهای آمینه ضروری و هم‌چنین محتوی فسفر و ویتامین‌های گروه B و E از ارزش غذایی بالایی برخوردار است [1]. کشور ترکیه با داشتن 71 درصد سطح زیر کشت فندق و تولید سالانه 660 هزار تن فندق بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول در سطح جهان به‌شمار آمده و پس از آن، کشورهای ایتالیا، آمریکا، آذربایجان، گرجستان، چین، ایران و اسپانیا قرار می‌گیرند. ایران با 21 هزار هکتار سطح زیر کشت فندق، هفتمین تولیدکننده جهانی فندق است. با این وجود، نقش قابل توجهی در تجارت جهانی فندق ندارد [2].

متداول‌ترین شکل آجیل‌های مورد استفاده در فراوری مواد غذایی، مغزهای با پوست هستند که تحت فرایندهای مختلفی مانند بلانچینگ، قطعه قطعه کردن، برشته کردن و آسیاب کردن قرار می‌گیرند تا شرایط لازم برای استفاده در فرمولاسیون و مشتری پسندی لازم را کسب کنند. برشته کردن یکی از مهم‌ترین فرایندهای مورد استفاده در فراوری مغزهای خوراکی است [3]. برشته کردن فندق برای تشدید طعم و ایجاد تغییر در بافت، رنگ و ظاهر محصول انجام می‌گردد. به‌علاوه، اسیدهای آمینه آزاد، پپتیدها، اسیدهای چرب، ویتامین E، استرول‌های گیاهی و لیگنان‌ها در حین برشته کردن، تغییر می‌کنند. آنزیم‌هایی که موجب کاهش ارزش تغذیه‌ای می‌شوند، غیرفعال شده و میکروارگانیسم‌های نامطلوب، توکسین‌ها یا مواد آلرژن و آلوده کننده‌های مواد غذایی کاهش یافته و نیز پوسته نازک مغز فندق نیز جدا می‌گردد [4-5]. فندق‌های برشته شده اغلب به‌عنوان پیش غذا و نیز به‌عنوان ماده خام در محصولات فنادی، شکلات و بیسکویت‌ها مصرف می‌شوند. در صنعت فراوری و تجارت فندق، پیش بینی رفتار برشته کردن و کیفیت فندق‌ها اهمیت به‌سزایی دارد [6]. در حین برشته کردن فندق، بر هم کنش دما-زمان بر ویژگی‌های کیفی به‌ویژه بافت، تاثیر زیادی دارد. یکی از مهم‌ترین اهداف برشته کردن، به‌دست آوردن فندق‌هایی با ویژگی‌های کیفی یکسان است.

1. Corylaceae

بدین منظور، شرایط فراوری مختلف و تجهیزات گوناگونی برای برشته کردن، استفاده شده است. در صنعت، فندق‌ها به‌طور معمول در دمای 100-180 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 تا 60 دقیقه برشته می‌شوند [5]. از لحاظ صنعتی، فندق‌ها با استفاده از آن‌های برشته کردن در کم‌ترین دمای ممکن و با سرعت هوای پائین برشته می‌شوند تا محصولاتی یکنواخت تولید شود [7].

تابش مادون قرمز، یک نوع انرژی الکترومغناطیسی است که سرعت انتقال حرارت بالاتری نسبت به روش‌های هدایت و همرفت دارد. حرارت دهی با مادون قرمز کارایی بهتری نسبت به روش‌های حرارت دهی متداول دارد [8]. برشته کردن با پرتوهای مادون قرمز در محصولاتی مانند کنجد [9]، چای سبز [10]، بلوط [11] و بادام [12] بررسی گردیده است. علاوه بر کوتاه‌تر بودن زمان برشته کردن، محصولات برشته شده با مادون قرمز ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و حسی بهتری نسبت به محصولات برشته شده با هوای داغ دارند [13].

رنگ، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کیفی مواد غذایی خشک شده برای مشتریان است. از لحاظ تجربی، رنگ به‌عنوان یک شاخص کیفی تلقی می‌شود، زیرا رنگدانه‌های قهوه‌ای در اثر پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون افزایش می‌یابند [14]. برشته نمودن فندق محصولاتی با انواع رنگ‌ها از قبیل سفید، زرد طلایی، برشته تیره و برشته بسیار تیره ایجاد می‌کند. کنترل کیفیت محصولات برشته شده، بر اساس مشاهدات رنگ و توسط اپراتور انجام می‌شود. اما چون این روش مبتنی بر فرد است، انتخاب شرایط برشته کردن تنها از طریق رنگ، منجر به بروز معایب طعم می‌گردد [15]. بنابراین ایجاد یک روش کنترل کیفی سیستماتیک برای برشته کردن فندق ضروری و مستلزم پیشگویی شرایط برشته نمودن برای دستیابی به یک رنگ مطلوب می‌باشد. اثر فرایند برشته کردن بر سینتیک تغییرات رنگ فندق برشته شده به روش هوای داغ قبلاً توسط محققان مختلفی مطالعه و مدل‌سازی شده است [4, 16]. پتاشاک [17] و یوسال [18] از روش مادون قرمز برای برشته نمودن فندق استفاده کردند.

هدف اصلی مدل‌سازی آماری، توصیف کامل مجموعه‌ای از داده‌ها می‌باشد. مدل‌سازی می‌تواند برای پیش بینی، کنترل

توصیف شاخص‌های  $L$  و  $a$  در برشته نمودن بادام زمینی از یک مدل چند جمله‌ای درجه یک و برای شاخص  $b$  از یک مدل درجه سوم استفاده نمودند [15].

هدف از این پژوهش، مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگ فندق در طول فرایند برشته نمودن به روش مادون قرمز بود. در گام بعدی، ارتباط بین ویژگی‌های حسی و رنگ با استفاده از روش‌های چند متغیره متقارن (تعیین ضرایب همبستگی و آنالیز شاخص‌های اصلی) و نامتقارن (رگرسیون حداقل مربعات جزئی) مورد ارزیابی قرار گرفت.

فرایند، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی انجام شود. مدل‌های تجربی به‌طور گسترده‌ای در مدل‌سازی فراوری مواد غذایی به کار می‌روند، زیرا واکنش‌ها پیچیده و ساختار محصولات غذایی غیرهمگن است. همچنین، از لحاظ عملی، بیان آماری ساده، راحت‌تر می‌تواند برای اهداف کاربردی و کنترل فرایند استفاده شود [19]. یک شاخص کیفی از قبیل رنگ، به‌طور معمول با استفاده از یک معادله سرعت واکنش عمومی مدل‌سازی می‌شود:

$$dC/dt = \pm kC^n \quad (1)$$

با توجه به مقدار پارامتر  $n$  معادله به صورت زیر تغییر می‌یابد:

$$n=1, C/C_1 = (1 + (n-1)kt)^{1/(1-n)} \quad (2)$$

$$n=1, C = C_0 \exp(-kt) \quad (3)$$

$$n=0, C = C_0 - kt \quad (4)$$

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- مواد اولیه

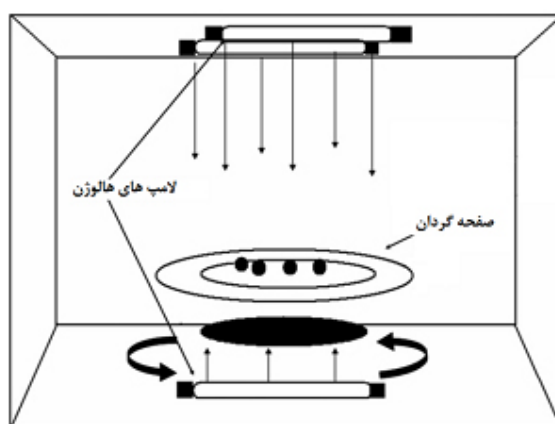
فندق خام از واریته رسمی<sup>1</sup> بود که از شهرستان رودسر (گیلان، ایران) تهیه و در مکانی خشک و خنک نگهداری گردید. فندق‌های استفاده شده در آزمایشات، دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یکسانی بودند. قبل از برشته نمودن، پوست شکسته و از مغز جدا شد که مغز به‌دست آمده، دارای رطوبت  $8/3 \pm 0/21$  درصد بود.

یک واکنش شیمیایی برای توصیف یک سیستم شیمیایی عموماً درجه صفر یا یک است. واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در مواد غذایی عموماً درجه یک (معادله 3) یا درجه صفر (معادله 4) است [20، 21]. کامارن و همکاران برای بررسی سینتیک فرایند قهوه‌ای شدن در حین برشته نمودن از سینتیک‌های درجه صفر استفاده کردند [22]. در حالی که موس و اوتن برای

### 2-2- برشته کردن با امواج مادون قرمز

آون مادون قرمز (Solardom, model 3855SCR, LG Company, Korea)، در شکل (1) نشان داده شده است. ابعاد دستگاه شامل ارتفاع 40 طول 53 و عرض 48 سانتی‌متر بود. در این دستگاه، حرارت دهی با امواج مادون قرمز از طریق سه

1. Rasmi



شکل (1) طرح شماتیک آون مادون قرمز

قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل انجام گردید به منظور بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین اعداد (سه تکرار برای هر آزمایش)، پس از آنالیز واریانس، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95 درصد استفاده شد. سپس منحنی‌های تغییرات شاخص‌های رنگ سنجی (L, a و b) مورد پردازش قرار گرفتند تا مناسب‌ترین مدل از بین ده مدل متداول در فرایندهای حرارت دهی انتخاب گردد. لذا رگرسیون‌های خطی و غیرخطی بر روی داده‌های شاخص‌های رنگ سنجی انجام شد. در تمام مراحل، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار مینی تب (Minitab 15, Minitab Inc., State College, PA, USA) صورت گرفت. ضریب همبستگی (r) یکی از ابتدائی‌ترین شاخص‌هایی است که برای انتخاب بهترین مدل استفاده می‌گردد. علاوه بر ضریب همبستگی، پارامترهای آماری مختلفی از قبیل مربع چی<sup>1</sup> ( $2\chi$ )، خطای یک طرفه میانگین<sup>2</sup> (MBE) و خطای مجذور میانگین ریشه<sup>3</sup> (RMSE) برای تعیین بهترین مدل و کیفیت برازش داده‌ها، مطابق ذیل تعیین گردید:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (C_{exp,i} - C_{pre,i})^2}{N-n} \quad (5)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{pre,i} - C_{exp,i}) \quad (6)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{pre,i} - C_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

در روابط استفاده شده، عبارت  $C_{exp,i}$  مربوط به شاخص رنگ اندازه‌گیری شده و عبارت  $C_{pre,i}$  مربوط به شاخص رنگ پیش‌بینی شده توسط مدل‌های آماری است. N و n نیز به ترتیب تعداد اندازه‌گیری‌ها و تعداد ثابت‌های مربوط به هر مدل است.

سپس آنالیز شاخص‌های اصلی<sup>4</sup> و تعیین ضرایب همبستگی و نیز رگرسیون حداقل مربعات جزئی<sup>5</sup> بر روی داده‌های رنگ

لامپ هالوژن با حداکثر قدرت 1550 وات انجام گرفت. دو لامپ در 15 سانتی‌متری بالای سطح نمونه و لامپ سوم در زیر صفحه گردان بود. برای هر تیمار، حدود  $20 \pm 0.5$  گرم نمونه فندق روی صفحه گردان قرار داده شد.

### 3-2- ارزیابی رنگ

شاخص‌های رنگی نمونه‌های فندق برشته شده، از طریق پردازش تصویر تعیین گردید. بدین منظور، از هر تیمار، 10 نمونه فندق انتخاب و آسیاب شده و اندازه ذرات آن با استفاده از الک با مش 50 میکرومتر تنظیم گردید. برای ارزیابی رنگ نمونه‌ها، نمونه‌های پودر شده با اسکنر (HP Scanjet G4010 Photo Scanner, Japan)، اسکن و با فرمت JPEG ذخیره شدند. تصویرگیری با نرم افزار فوتواسمارت (HP Photosmart Essential, Version 3.5, USA) و رزولوشن 180 dpi انجام شد. سپس توسط نرم افزار ایمیج جی (ImageJ, Version 1.4j, National Institute of Health, USA) از فضای رنگی RGB به Lab تبدیل شد. این فضای رنگی از سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  تشکیل شده است. پارامتر  $L^*$  شاخص روشنایی تصویر و در محدوده بین صفر (مشکی) تا 100 (سفید) است. شاخص  $a^*$  طیف سبز-قرمز را نشان می‌دهد که بین -60 (سبز) تا +60 (قرمز) متغیر است. شاخص  $b^*$  نیز نشان دهنده طیف آبی-زرد و بین -60 (آبی) تا +60 (زرد) است [14].

### 4-2- ارزیابی حسی

آنالیز حسی نمونه‌های فندق برشته شده توسط 10 پانلیست آموزش دیده انجام شد. هر نمونه شامل 5 عدد فندق بود که در ظروف پلاستیکی شفاف و در دمای اتاق در اختیار پانلیست‌ها قرار گرفت. رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها توسط سنجش لذت بخشی 5 نقطه‌ای آنالیز گردید. سپس میانگین امتیازات حاصل برای هر یک از ویژگی‌های حسی محاسبه و با استفاده از روش مقایسه چند دامنه‌ای دانکن میزان معنی‌دار بودن اختلاف بین نمونه‌ها تعیین شد [23].

### 5-2- مدل‌سازی سینتیک و تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌ها و بررسی اثر زمان و توان مادون قرمز در

1. chi-square

2. mean bias error

3. root mean square error

4. Principal Components Analysis (PCA)

5. Partial Least Squares Regression Analysis (PLSR)

به‌طوری که بیش‌ترین مقدار این شاخص در زمان 6 دقیقه بود (شکل 4). افزایش شاخص  $b$  مربوط به تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای در حین قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و کاهش آن احتمالا به‌علت کاهش شاخص  $L$  است [25]. بنابراین برشته کردن با توان 1550 وات و زمان‌های بیش‌تر از 6 دقیقه منجر به تیره‌تر شدن رنگ فندق و در نتیجه کاهش شاخص  $b$  می‌گردد.

روند تغییرات شاخص‌های رنگ در نمونه‌های فندق برشته‌شده در طول زمان برشته کردن نشان می‌دهد که شاخص‌های رنگ می‌توانند برای نشان دادن تغییرات در حین این فرایند مورد استفاده قرار گیرند. همچنین می‌توان دریافت که تغییرات رنگ فندق در حین برشته کردن به روش مادون قرمز، از ابتدای فرایند برشته کردن آغاز می‌گردد و فاقد مرحله القایی است. وجود مراحل القایی برای قهوه‌ای شدن در خشک کردن سیر [14]، برشته کردن بادام زمینی [26] و نیز برشته کردن فندق به روش هوای داغ [5] گزارش شده است. با توجه به این که حرارت دهی به روش مادون قرمز سرعت نفوذ حرارت بالاتری نسبت به روش هوای داغ دارد، لذا سرعت فرایند و در نتیجه سرعت تغییرات رنگ بیش‌تر است [24]. به‌همین دلیل در برشته نمودن فندق به روش مادون قرمز، مرحله القایی مشاهده نشد.

### 3-2- مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگ

رنگ یکی از مهم‌ترین جنبه‌های ظاهری مواد غذایی است. زیرا بر پذیرش کلی محصول تاثیر می‌گذارد. علاوه بر پذیرش محصول توسط مصرف کننده، رنگ برای کنترل فرایند نیز به‌کار می‌رود. در روش‌های معمول، کنترل فرایند برشته کردن از طریق بررسی تغییرات رنگ صورت می‌پذیرد، زیرا رنگدانه‌های قهوه‌ای با پیشرفت واکنش‌های کاراملیزاسیون و قهوه‌ای شدن، افزایش می‌یابند [23]. عمده‌ترین چالش در برشته کردن فندق، تغییرات رنگ شدید محصول است. اگر فندق بیش از حد برشته شود، ممکن است محصول مورد قبول مصرف کنندگان قرار نگیرد. بنابراین، تغییرات رنگ در حین برشته کردن باید به‌طور صحیح کنترل شود. سینتیک تغییرات رنگ، عامل مهمی برای مدل کنترلی است. برای مدل‌سازی تغییرات رنگ در حین برشته کردن فندق به روش مادون

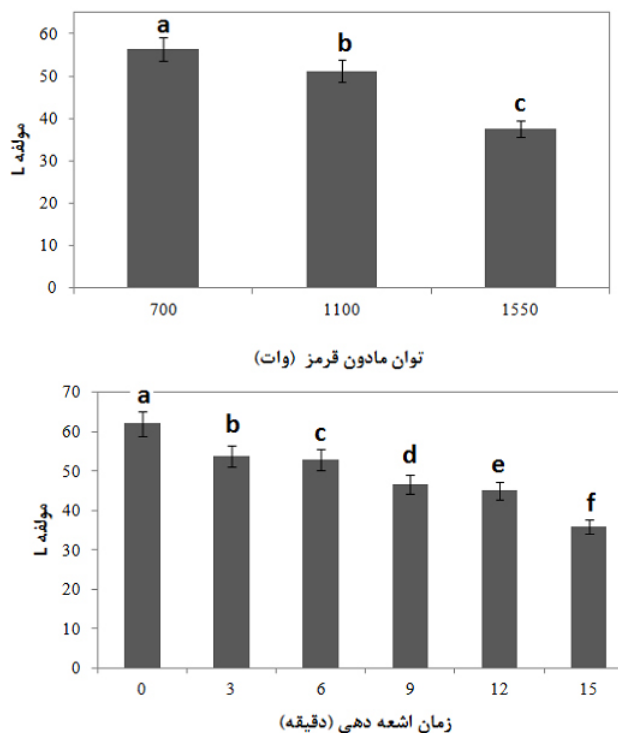
سنجی و حسی نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز، انجام گرفت.

### 3- نتایج و بحث

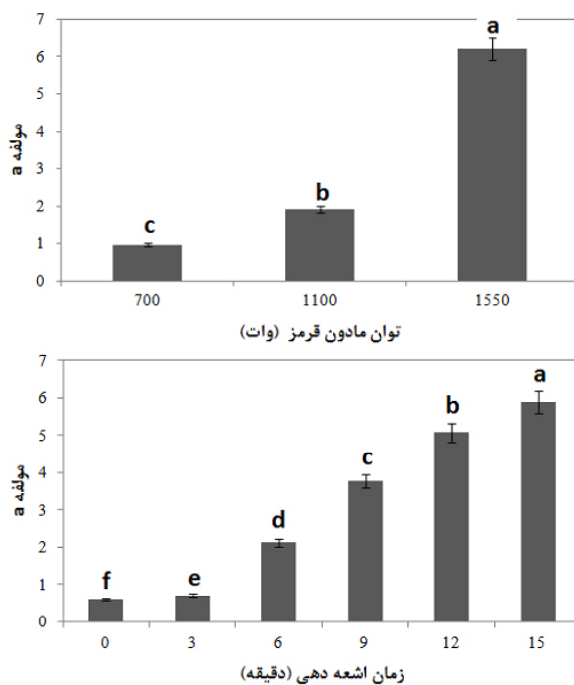
#### 3-1- تاثیر توان مادون قرمز و زمان پرتودهی بر شاخص‌های رنگ

واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی، واکنش‌هایی بسیار پیچیده هستند. از آن‌جا که آنزیم‌های شرکت‌کننده در واکنش‌های قهوه‌ای شدن در دماهای به‌کار رفته در فرایند برشته کردن صنعتی آجیل‌ها (بیش از 100 درجه سانتی‌گراد) غیرفعال می‌شوند، امکان قهوه‌ای شدن آنزیمی ناچیز و قابل چشم‌پوشی در نظر گرفته می‌شود [14] و قبلا تغییرات رنگ در حین برشته کردن بادام زمینی و فندق به عنوان غیرآنزیمی طبقه بندی شده است [4، 15].

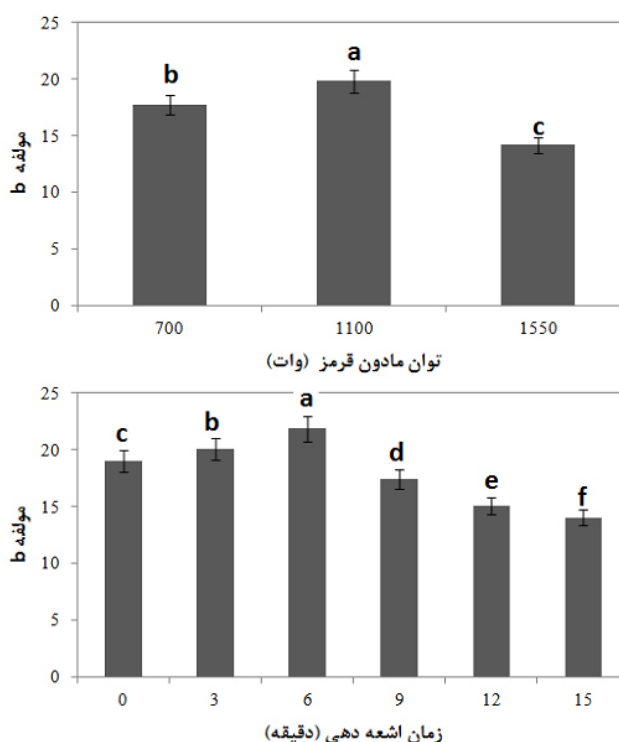
نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ در نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز در طی برشته کردن با توان‌های مختلف مادون قرمز در شکل‌های 2 تا 4 گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، افزایش توان و زمان برشته کردن موجب کاهش معنی‌دار ( $p \leq 0/05$ ) در مقدار شاخص  $L$  گردیده است. همچنین مشخص گردید که شاخص  $a$  با افزایش توان و زمان برشته کردن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به بیان دیگر، وقتی که توان و زمان اشعه دهی به روش مادون قرمز افزایش یافت، نمونه‌ها تیره‌تر (شاخص  $L$  کم‌تر) و قرمزتر (شاخص  $a$  بیش‌تر) شدند (شکل‌های 2 و 3) که این مسئله احتمالا به‌خاطر افزایش مقدار رنگدانه‌های قهوه‌ای در اثر واکنش مایلارد بود [24]. مقدار شاخص  $L$  به توجه به توان و زمان اشعه دهی از 61/99 تا 35/83 کاهش یافت. به‌طور مشابه، شاخص  $a$  از 0/59 تا 5/88 افزایش یافت. مقدار شاخص  $b$  نیز در محدوده بین 14/05 تا 21/87 بود. از مقایسه میانگین مقادیر حاصل از رنگ سنجی نمونه‌ها می‌توان دریافت که نمونه‌های برشته شده با توان مادون قرمز 1100 وات دارای بیش‌ترین و نمونه‌های برشته شده با توان 1550 وات دارای کم‌ترین مقدار شاخص  $b$  بودند. از سوی دیگر این آزمایش نشان داد که با افزایش زمان برشته کردن تا زمان 6 دقیقه، شاخص  $b$  افزایش و پس از آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛



شکل (2) تاثیر توان مادون قرمز (بالا) و زمان اشعه دهی (پائین) بر شاخص L فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز؛ حروف یکسان، نشان دهنده عدم وجود معنی داری در سطوح آماری 95 درصد می‌باشد.



شکل (3) تاثیر توان مادون قرمز (بالا) و زمان اشعه دهی (پائین) بر شاخص a فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز؛ حروف یکسان، نشان دهنده عدم وجود معنی داری در سطوح آماری 95 درصد می‌باشد.



شکل (4) تاثیر توان مادون قرمز (بالا) و زمان اشعه دهی (پائین) بر شاخص b فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز؛ حروف یکسان، نشان دهنده عدم وجود معنی داری در سطوح آماری 95 درصد می‌باشد.

قرمز، 10 مدل رگرسیونی تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی آماری تغییرات رنگ به عنوان تابعی از زمان [27] شامل شاخصه‌های برازش و ثابت‌های معادلات به دست آمده، در جدول‌های 1 تا 3 مشاهده می‌گردد. هر چه مقدار  $r$  یک مدل بیش‌تر و مقادیر RMSE، MBE و  $2\chi$  آن کم‌تر باشد، مدل مربوطه برای برازش داده‌ها مناسب‌تر است. از بین مدل‌های ارزیابی شده برای شاخص L (جدول 1)، مدل‌های درجه دوم و خطی در توان‌های مادون قرمز 700 و 1550 وات، و مدل درجه دوم در توان 1100 وات هم‌زمان دارای بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین مقدار مربع چپ، خطای یک طرفه میانگین و خطای مجذور میانگین ریشه بودند. همان‌طور که مدل‌های برازش شده برای شاخص a در جدول (2) نشان داده شده است، مدل درجه دوم برای توان 700 وات، مدل‌های خطی و درجه دوم برای توان 1100 وات و مدل هریس برای توان 1550 وات مناسب‌ترین مدل‌ها بودند. هم‌چنین مطابق جدول (3)، مدل درجه دوم برای توان 700 وات، مدل نمایی برای توان 1100 وات و مدل‌های درجه دوم و عقلانی برای

توان 1550 وات، بهترین شرایط را برای برازش و پیشگویی داده‌های شاخص b داشتند. بنابراین، مدل‌های به دست آمده می‌توانند برای شبیه‌سازی سینتیک تغییرات شاخص‌های رنگ فندق در حین برشته شدن به روش مادون قرمز مورد استفاده قرار گیرند. در پژوهش مشابهی، ازدمیر و دورس از یک مدل چندجمله‌ای درجه سوم برای توصیف شاخص‌های رنگ در فندق در حال برشته شدن به روش هوای داغ استفاده نمودند [5]. موس و اوتن نیز گزارش نمودند که در حین برشته شدن بادام زمینی، تغییرات شاخص‌های L و a به وسیله مدل درجه دوم و تغییرات شاخص b به وسیله مدل مکعبی می‌تواند توصیف شود [15].

### 3-9- ارزیابی حسی

یک ارزیابی حسی بر روی نمونه‌های فندق در حال برشته شدن انجام شد تا اثرات ممکن بر پروفایل حسی هر نمونه در طی مدت برشته کردن و با توجه به توان برشته کردن، مطالعه گردد. این بررسی نشان داد که تفاوت‌های مشخصی بین

مدل‌های درجه دوم و عقلانی برای

جدول (۱) نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص L نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
1	خطی	TC = a + bt	700	a = 60/51 b = -0/56	0/810	-1/07×10 <sup>-14</sup>	2/08	6/49
			1100	a = 62/63 b = -1/12	0/661	-1/07×10 <sup>-14</sup>	6/51	63/57
			1550	a = 60/02 b = -2/99	0/974	-7/11×10 <sup>-15</sup>	3/54	18/78
2	درجه دوم	TC = a + bt + ct <sup>2</sup>	700	a = 60/80 b = -0/71 c = 0/0097	0/812	-1/06×10 <sup>-14</sup>	2/068	8/55
			1100	a = 57/32 b = 1/53 c = -0/18	0/804	-9/47×10 <sup>-15</sup>	5/16	53/21
			1550	a = 63/60 b = -4/77 c = 0/12	0/989	-1/59×10 <sup>-14</sup>	2/32	10/74
3	هریس	TC = 1 / (a + bt <sup>c</sup> )	700	a = 1/79 b = -1/61 c = 0/0037	-0/737	51/54	51/79	5364/94
			1100	a = 0/32 b = -0/29 c = 0/019	-0/516	21/26	29/15	1699/73
			1550	a = 0/013 b = 0/0014 c = 1/23	0/978	-2/21	5/67	64/26
4	عقلانی	TC = (a + bt) / (1+ct+dt <sup>2</sup> )	700	a = 62 b = -1/58×10 <sup>37</sup> c = -1/49×10 <sup>37</sup> d = -2/71×10 <sup>35</sup>	0/717	45/26	49/64	7393/78
			1100	a = 62 b = -9/78×10 <sup>48</sup> c = -2/24×10 <sup>49</sup> d = -3/14×10 <sup>48</sup>	0/401	43/73	48/56	7072/99
			1550	a = 61/99 b = 18/56 c = 0/22 d = 0/06	0/722	22/93	27/21	2220/89
5	نیوتنی	TC = exp(-at)	700	a = -0/28	-0/674	36/61	44/89	2418/91
			1100	a = -0/27	-0/869	37/61	46/31	2574/04
			1550	a = -0/22	-0/814	28/01	37/04	1646/70
6	صفحه ای	TC = exp(-at <sup>b</sup> )	700	a = -4/99 b = -0/01	0/510	10/33	25/41	967/75
			1100	a = -4/18 b = -0/026	0/382	26/36	10/32	1042/04



ادامه جدول (1) نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص L نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
			1550	a = -4/78 b = -0/16	0/977	10/25	25/43	969/93
7	لگاریتمی	TC = a exp(-bt) + c	700	a = -251/955 b = -0/002 c = 316/543	0/810	2/21	-0/66	9/81
			1100	a = 23/25 b = 0/002 c = 33/88	0/659	-2/52	8/87	157/43
			1550	a = -271/47 b = -0/001 c = 320/34	0/974	-8/58	16/36	535/27
8	نمایی	TC = a(b - exp(-ct))	700	a = 0/0000039 b = 3956209/21 c = -1/037	0/450	45/37	45/89	4212/02
			1100	a = -2/66 b = -16/28 c = -0/05	-0/712	6/84	11/68	272/88
			1550	a = 0/00019 b = -29299/5 c = -0/66	-0/606	31/49	35/55	2526/95
9	لجستیک	TC = a / (1 + b exp(-ct))	700	a = 55/16 b = -8/88 × 10 <sup>20</sup> c = 4581/91	-0/718	10/33	25/43	1293/5
			1100	a = 52/68 b = -8/31 × 10 <sup>21</sup> c = 17167/41	-0/4	10/33	26/53	1407/72
			1550	a = 32/76 b = -1/31 × 10 <sup>23</sup> c = 106 × 1/11	-0/694	10/33	27/72	1536/86
10	دوجمله‌ای	TC = a exp(-bt) + c exp(-dt)	700	a = 3/51 × 10 <sup>17</sup> b = 1000 c = -3/51 × 10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/479	56/30	56/41	9548/08
			1100	a = 7/1724 × 10 <sup>17</sup> b = 1000 c = -7/1724 × 10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/5	54/24	54/93	9050/75
			1550	a = 2/52 × 10 <sup>17</sup> b = 1000 c = -2/52 × 10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/694	53/63	71/99	15547/55

جدول (2) نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص a نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
1	خطی	TC = a + bt	700	a = 0/19 b = -0/10	0/783	-2/04×10 <sup>-16</sup>	0/42	0/26
			1100	a = 0/52 b = 0/19	0/978	-1/48×10 <sup>-16</sup>	0/21	0/06
			1550	a = 0/45 b = 0/89	0/977	-1/04×10 <sup>-15</sup>	0/99	1/49
2	درجه دوم	TC = a + bt + ct <sup>2</sup>	700	a = 0/67 b = -0/13 c = 0/016	0/943	-1/11×10 <sup>-16</sup>	0/22	0/10
			1100	a = 0/52 b = 0/19 c = 0/00001	0/978	-3/15×10 <sup>-16</sup>	0/20	0/08
			1550	a = -0/38 b = 0/85 c = 0/002	0/977	-8/14×10 <sup>-16</sup>	0/99	1/98
3	هریسی	TC = 1 / (a + bt <sup>c</sup> )	700	a = 1/47 b = 1/86 c = 0/028	0/166	-0/58	1/26	3/15
			1100	a = -38/98 b = 39/41 c = -0/002	0/969	-0/075	0/82	1/33
			1550	a = 0/074 b = 49/62 c = -3/21	0/999	0/097	0/27	0/15
4	عقلانی	TC = (a + bt) / (1+ct+dt <sup>2</sup> )	700	a = 0/6 b = -1/78×10 <sup>47</sup> c = -5/92×10 <sup>47</sup> d = -9/95×10 <sup>47</sup>	-0/382	0/76	1/07	3/45
			1100	a = 0/53 b = 0/15 c = -0/022 d = 0/00088	0/978	0/00002	0/2	0/12
			1550	a = 0/6 b = 4/08×10 <sup>42</sup> c = 2/03×10 <sup>43</sup> d = -1/11×10 <sup>42</sup>	0/632	5/67	7/23	156/63
5	نیوتنی	TC = exp(-at)	700	a = -0/029	0/814	9/79	24/91	744/58
			1100	a = -0/814	0/963	-0/092	0/31	0/11
			1550	a = -0/177	0/906	0/68	2/12	5/39
6	صفحه ای	TC = exp(-at <sup>b</sup> )	700	a = -5/51 b = -1/93	0/474	0/27	0/67	0/67
			1100	a = 68/61 b = -9/48	0/803	1/08	1/35	2/73

ادامه جدول (2) نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص a نمونه‌های فندقی برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
			1550	a = 7/46 b = -31/13	0/778	5/38	6/99	73/25
7	لگاریتمی	TC = a exp(-bt) + c	700	a = -17/85 b = -0/0024 c = 18/35	0/780	0/15	0/54	0/59
			1100	a = -2369/18 b = 0/001 c = 2369/7	0/978	0/054	0/21	0/09
			1550	a = -8/42 b = 565/68 c = 9/02	0/538	-1/41	4/22	35/55
8	نمایی	TC = a(b - exp(-ct))	700	a = 16/66 b = 1/05 c = 0/0008	0/782	-0/008	0/62	0/77
			1100	a = -0/0001 b = -10490/28 c = 1/69	-0/607	0/37	1/04	2/17
			1550	a = 58/03 b = 1/0001 c = -0/00004	0/977	6/18	7/73	119/53
9	لجستیک	TC = a / (1 + b exp(-ct))	700	a = 105/34 b = 612/27 c = 0/011	0/796	0/78	1/01	2/10
			1100	a = 3/92 b = 5/52 c = 0/22	0/977	-0/0036	0/21	0/09
			1550	a = 7/33 b = 11/21 c = 1000	0/538	-5/32 × 10 <sup>-12</sup>	3/92	30/79
10	دوجمله ای	TC = a exp(-bt) + c exp(-dt)	700	a = -3/42 × 10 <sup>16</sup> b = 1000 c = 3/42 × 10 <sup>16</sup> d = 1000	0/352	-1/69	6/39	122/56
			1100	a = -5/82 × 10 <sup>15</sup> b = 1000 c = 5/82 × 10 <sup>15</sup> d = 1000	-0/603	1/41	2/35	16/54
			1550	a = -1/09 × 10 <sup>17</sup> b = 1000 c = 1/09 × 10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/538	-4/46	27/02	2190/24

**جدول (3)** نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص b نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

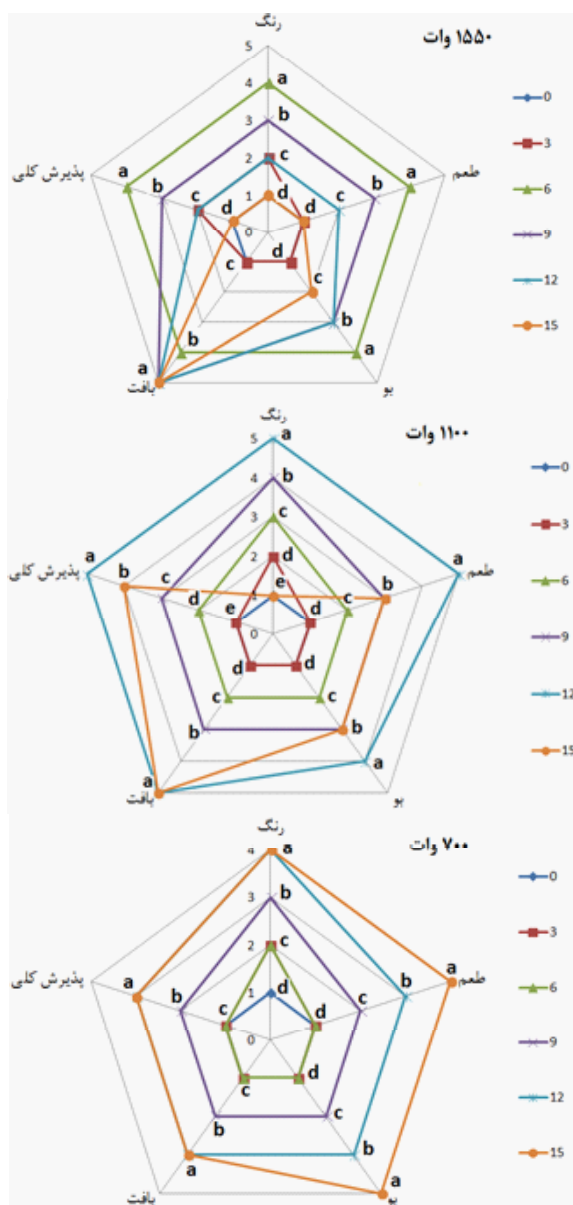
شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
1	خطی	TC = a + bt	700	a = 19/51 b = 0/029	0/168	-4/74×10 <sup>-15</sup>	0/88	1/15
			1100	a = 19/45 b = 0/052	0/286	-4/18×10 <sup>-15</sup>	0/88	1/18
			1550	a = 24/25 b = -1/34	0/826	-1/48×10 <sup>-15</sup>	4/69	32/96
2	درجه دوم	TC = a + bt + ct <sup>2</sup>	700	a = 18/92 b = 0/33 c = -0/019	0/527	-3/55×10 <sup>-15</sup>	0/76	1/14
			1100	a = 19/66 b = -0/053 c = 0/007	0/333	-3/55×10 <sup>-15</sup>	0/87	1/52
			1550	a = 19/81 b = 0/88 c = -0/15	0/918	3/81×10 <sup>-15</sup>	3/29	21/77
3	هریس	TC = 1 / (a + bt <sup>c</sup> )	700	a = 0/066 b = -0/008 c = 0/029	0/369	2/59	2/78	15/48
			1100	a = -2/78 b = 2/96 c = -0/0078	-0/098	13/52	13/78	380/07
			1550	a = 1/45 b = -1/25 c = 0/013	-0/374	9/07	12/96	335/90
4	عقلانی	TC = (a + bt) / (1+ct+dt <sup>2</sup> )	700	a = 19 b = -3/98×10 <sup>55</sup> c = -2/98×10 <sup>55</sup> d = 2/88×10 <sup>53</sup>	-0/369	15/34	16/83	849/75
			1100	a = 19 b = 6/45×10 <sup>24</sup> c = 2/89×10 <sup>23</sup> d = 1/85×10 <sup>22</sup>	-0/167	4/49	5/49	90/61
			1550	a = 20/87 b = -3/09 c = -0/047 d = -0/017	0/929	-0/23	3/11	29/12
5	نیوتنی	TC = exp(-at)	700	a = -0/22	0/005	10/97	13/95	233/57
			1100	a = -0/22	0/359	10/87	13/83	229/65
			1550	a = -0/14	-0/892	10/59	14/94	267/72
6	صفحه ای	TC = exp(-at <sup>b</sup> )	700	a = -2/98 b = 0/0009	0/368	2/99	7/39	82/02
			1100	a = -3/02 b = -0/005	0/168	3/17	7/80	91/29

ادامه جدول (3) نتایج آنالیز آماری حاصل از مدل‌سازی تغییرات شاخص b نمونه‌های فندقی برشته شده به روش مادون قرمز در طول زمان

شماره	نام مدل	معادله مدل	توان مادون قرمز	ثابت‌ها	r	MBE	RMSE	$\chi^2$
			1550	a = -4/06 b = -0/23	0/704	2/83	9/68	140/48
7	لگاریتمی	TC = a exp(-bt) + c	700	a = -64/61 b = -0/0007 c = -45/35	0/167	0/14	0/89	1/59
			1100	a = -0/71 b = 0/001 c = 19/7	0/406	0/25	0/89	1/58
			1550	a = -2/28 b = -0/16 c = 24/13	0/892	-8/15×10 <sup>-10</sup>	3/75	28/19
8	نمایی	TC = a(b - exp(-ct))	700	a = 0/88 b = 22/65 c = 1000	0/368	-5/92×10 <sup>-16</sup>	0/83	1/37
			1100	a = 1/01 b = 19/86 c = 1000	0/406	2/96×10 <sup>-15</sup>	0/84	1/43
			1550	a = -5/77 b = -2/29 c = 1000	0/259	1/39×10 <sup>-8</sup>	7/08	129/21
9	لجستیک	TC = a / (1 + b exp(-ct))	700	a = 19/88 b = -2/35×10 <sup>28</sup> c = 4/57×10 <sup>115</sup>	0/368	3/17	7/81	121/71
			1100	a = 21/53 b = 0/11 c = -24/36	-0/406	16/62	18/28	668/62
			1550	a = 13/22 b = -8/81×10 <sup>31</sup> c = 283/001	-0/259	3/17	11/17	249/54
10	دوجمله‌ای	TC = a exp(-bt) + c exp(-dt)	700	a = 5/11×10 <sup>16</sup> b = 1000 c = -5/11×10 <sup>16</sup> d = 1000	0/352	19/73	19/75	1170/35
			1100	a = -1/42×10 <sup>17</sup> b = 1000 c = 1/42×10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/406	14/51	19/04	1087/38
			1550	a = 6/05×10 <sup>17</sup> b = 1000 c = -6/05×10 <sup>17</sup> d = 1000	-0/259	35/52	61/74	11435/58

وات، بهترین ویژگی‌های حسی در زمان 12 دقیقه به دست آمد. بررسی امتیازات صفات حسی نشان داد که به جز بافت که با افزایش زمان برشته کردن، افزایش یافت، امتیاز بقیه صفات حسی تا زمان 12 دقیقه افزایش و پس از آن کاهش یافت. در حین برشته کردن فندق با توان مادون قرمز 700 وات، با افزایش زمان فرایند، امتیازات حسی به طور معنی داری افزایش یافت. به طوری که بهترین رنگ، بو و طعم مربوط به نمونه‌ای بود که به مدت 15 دقیقه برشته شده بود و بهترین بافت و پذیرش کلی مربوط به دو نمونه برشته شده به مدت 12 و 15 دقیقه بود.

ویژگی‌های حسی در حین برشته کردن ایجاد می‌شود (شکل 5). هر چه امتیاز یک ویژگی در دیاگرام عنکبوتی بیش تر باشد، نمودار آن ویژگی تیزتر خواهد بود. در طی زمان برشته کردن با توان 1550 وات، بهترین امتیازهای حسی به جز بافت در زمان 6 دقیقه حاصل شد. بافت نمونه‌ها در زمان‌های بیش تر از 3 دقیقه با افزایش زمان برشته نمودن، به طور معنی داری افزایش یافته است. سایر صفات حسی نیز تا زمان 6 دقیقه بیش ترین امتیاز را کسب نموده و پس از آن امتیازهای مربوطه کاهش یافت. در مدت زمان برشته نمودن با توان مادون قرمز 1100

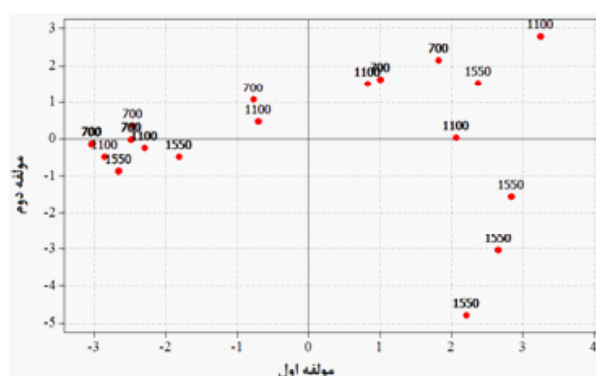


شکل 5) تاثیر توان مادون قرمز و زمان اشعه دهی بر ویژگی‌های حسی فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز؛ حروف متفاوت در هر ویژگی حسی، نشان دهنده وجود معنی داری در سطوح آماری 95 درصد می‌باشد.

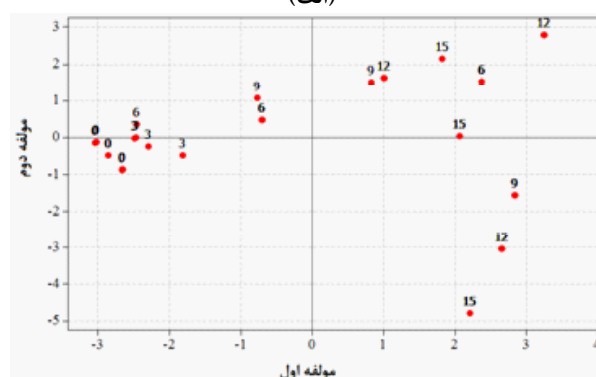
## 3-10- آنالیز شاخص‌های اصلی

ساکلار و همکاران نشان دادند که افزایش دما، زمان و سرعت جریان هوا منجر به افزایش معنی‌دار تردی و بافت نمونه‌های فندق در حین برشته شدن به روش هوای داغ گردید [23]. یانگ و همکاران نیز از روش مادون قرمز برای برشته نمودن بادام استفاده نموده و گزارش کردند که در حین برشته نمودن، هیچ گونه تاثیر نامطلوبی بر ظاهر، بافت و طعم نمونه‌ها به نحوی که برای ارزیاب‌های حسی قابل تشخیص باشد، مشاهده نشد [12].

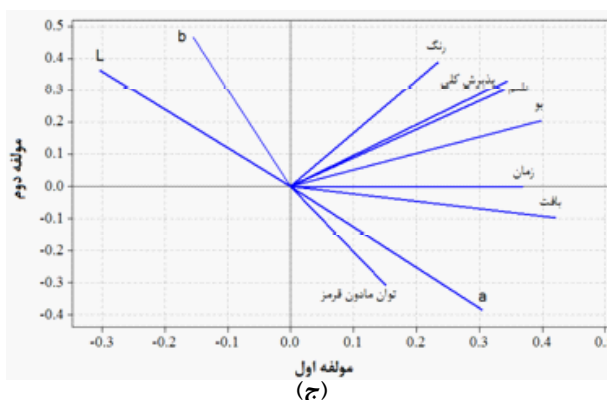
به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده و بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف، آنالیز شاخص‌های اصلی و نیز تعیین ضرایب همبستگی پیرسون بر روی ویژگی‌های نمونه‌های فندق برشته شده انجام گرفت (شکل 6 و جدول 4). شاخص اول، 51/9٪ و شاخص دوم، 32/3٪ و در مجموع 84/3٪ از تغییرپذیری را پیش بینی نمودند. همان‌طور که نمودار



(الف)



(ب)



(ج)

شکل 6) نمودار آنالیز شاخص‌های اصلی بر روی خصوصیات (الف) نمونه‌های فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز در زمان‌های مختلف (ب) و توان‌های مادون قرمز مختلف (ج).

جدول (4) ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین خصوصیات نمونه های فندق در فرایند برشته کردن به روش مادون قرمز

بافت	بو	طعم	رنگ	b	a	L	
							a
						-0/932***	b
						0/718***	رنگ
				0/811***	-0/760**	0/716**	طعم
			0/825***	0/229*	0/140	-0/140	بو
		0/948***	0/740***	-0/007	0/390**	-0/385**	بافت
	0/801***	0/661***	0/333*	-0/477***	0/786***	-0/781***	پذیرش کلی
0/685***	0/883***	0/947***	0/720***	0/257*	0/128	-0/188	

ضرایب با اندیس یک ستاره، دو ستاره و سه ستاره، به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطوح 95٪، 99٪ و 99/9٪ می‌باشد.

غیرمستقیمی با بافت و بو و ارتباط مستقیمی با رنگ بود. در حالی که شاخص a رابطه مستقیمی با بافت و بو اما رابطه‌ای غیرمستقیم با رنگ، از خود نشان داد. از سوی دیگر، شاخص b با رنگ، طعم و پذیرش کلی نمونه‌های فندق برشته شده دارای ارتباط مستقیم و با بافت آن‌ها دارای ارتباطی غیرمستقیم بود. از بین سه شاخص رنگ سنجی، شاخص b دارای بیشترین ارتباط معنی‌دار با ویژگی‌های حسی بود. همچنین، همه ضرایب همبستگی درونی بین پارامترهای رنگ سنجی و نیز بین پارامترهای حسی متوسط به بالا و معنی‌دار بود. ساکلار و همکاران نیز ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های حسی و دستگای فندقی‌های برشته شده به روش هوای داغ را تجزیه و تحلیل نمودند [23]. مکفی و هدرلی ارتباط بین ویژگی‌های حسی و دستگای همبرگر را در حین سرخ کردن با استفاده از روش آنالیز چندمتغیره بررسی کرده و با استفاده از این روش، اطلاعات مفیدی در زمینه درک بهتر فرایند گزارش نمودند [28].

### 3-11- رگرسیون حداقل مربعات جزئی

از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های حسی و رنگ سنجی استفاده گردید. لذا برای پیشگویی ویژگی‌های حسی نمونه‌های فندق برشته شده، پارامترهای به‌دست آمده از رنگ سنجی به عنوان شاخص‌های رگرسیونی به کار برده شدند. معادله رگرسیونی به‌دست آمده جهت پیشگویی ویژگی‌های حسی به صورت زیر می‌باشد:

(7)

$$R^2 = 85/5 \quad \text{رنگ} = 0/18 + 0/053L + 0/17a - 0/045b$$

آنالیز شاخص‌های اصلی نشان می‌دهد، شاخص‌های L و b ارتباط غیرمستقیمی با شاخص اول داشتند در حالی که سایر پارامترها، ارتباطی مستقیم از خود نشان دادند. شاخص اصلی دوم، با پارامترهای a و بافت، ارتباطی غیرمستقیم و با سایر پارامترهای مورد بررسی در نمونه‌های فندق، ارتباطی مستقیم داشت. از تجزیه و تحلیل نمودار آنالیز شاخص‌های اصلی می‌توان دریافت که صرف نظر از توان برشته نمودن، امتیاز ویژگی‌های حسی با افزایش زمان افزایش یافت. زمان بهینه در هر توان مادون قرمز متفاوت بود. به‌طوری که بهترین نمونه‌ها از لحاظ ویژگی‌های حسی در شرایط برشته کردن 6 دقیقه با توان 1550، 12 و 15 دقیقه با توان 700 وات به‌دست آمد. بیشترین مقدار شاخص L مربوط به دقایق ابتدائی فرایند برشته نمودن بود. همزمان با کاهش شاخص L، امتیاز ویژگی‌های حسی نیز افزایش یافته است. بیشترین مقدار شاخص b در شرایط برشته نمودن 6 دقیقه با توان 1100 و 9 دقیقه با توان 700 وات به‌دست آمد. کمترین مقدار شاخص‌های L و b و بیشترین مقدار شاخص a مربوط به نمونه‌های برشته شده در توان 1550 وات و زمان‌های بیش‌تر از 9 دقیقه بود. نمونه‌های دارای بهترین ویژگی‌های حسی، در سطح متوسطی از شاخص‌های رنگ بودند.

بررسی ضرایب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که ویژگی حسی رنگ با تمامی شاخص‌های رنگ ارتباط معنی‌دار داشت که این ارتباط در مورد شاخص a به صورت غیرمستقیم ( $r = -0/760$ ) و در مورد دو شاخص b ( $r = 0/811$ ) و L ( $r = 0/716$ ) به‌صورت مستقیم بود. شاخص L دارای همبستگی معنی‌دار و



روش مادون قرمز افزایش یافت، نمونه‌ها تیره‌تر (شاخص L کم‌تر) و قرمزتر (شاخص a بیش‌تر) شدند. نمونه‌های برشته شده با توان مادون قرمز 1100 وات دارای بیش‌ترین و نمونه‌های برشته شده با توان 1550 وات دارای کم‌ترین مقدار شاخص b بودند. با افزایش زمان برشته کردن تا زمان 6 دقیقه، شاخص b افزایش و پس از آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری که بیش‌ترین مقدار این شاخص در زمان 6 دقیقه بود. برای شبیه‌سازی رفتار شاخص‌های رنگ فندق در طول زمان برشته شدن، مدل‌های مختلفی با هم مقایسه شدند. بر اساس مقایسات آماری، برای هر کدام از شاخص‌های تصویر، بهترین مدل برازش‌کننده انتخاب گردید که می‌تواند برای پیشگویی رفتار نمونه‌های در حال برشته شدن به روش مادون قرمز به‌کار رود. هم‌چنین، یک ارزیابی حسی بر روی نمونه‌های فندق در حال برشته شدن انجام شد تا اثرات ممکن بر پروفایل حسی هر نمونه در طی مدت برشته کردن و با توجه به توان برشته کردن، مطالعه گردد. این بررسی نشان داد که تفاوت‌های مشخصی بین ویژگی‌های حسی در حین برشته کردن ایجاد می‌شود. آنالیز شاخص‌های اصلی و تعیین ضرایب همبستگی پیرسون بر روی ویژگی‌های نمونه‌های فندق برشته شده انجام گرفت. از طریق روابط به‌دست آمده بین پارامترهای مختلف، نتایج به‌دست آمده از رنگ سنجی و ارزیابی حسی، تجزیه و تحلیل گردید. هم‌چنین، مدل‌های به‌دست آمده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی، امکان پیشگویی ویژگی‌های حسی نمونه‌های فندق برشته شده را با استفاده از شاخص‌های رنگ سنجی، فراهم نمود.

$$(8) \quad R^2 = 81/2 = 3/24 + 0/017L + 0/019a - 0/0081b$$

$$(9) \quad R^2 = 61/5 = 3/12 + 0/021L + 0/046a - 0/00032b$$

$$(10) \quad R^2 = 93/8 = 5/37 + 0/072L + 0/097a - 0/043b$$

$$(11) \quad R^2 = 74/9 = 5/63 + 0/051L + 0/13a - 0/028b$$

$R^2$  معادلات رگرسیونی به‌دست آمده در محدوده متوسط به بالا بود که نشان دهنده کارایی بالای این معادلات در پیشگویی ویژگی‌های حسی نمونه‌های فندق برشته شده به روش مادون قرمز با استفاده از پارامترهای رنگ سنجی می‌باشد. محققان مختلفی، از پارامترهای دستگاهی برای ارزیابی ویژگی‌های حسی استفاده نموده‌اند. گروسو و رسورسیون با استفاده از ارزیابی هگزانال، پذیرش کلی مصرف‌کننده را در بادام زمینی برشته شده، پیشگویی کردند [29]. در پژوهش دیگری، پیشگویی پروفایل حسی قهوه اسپرسو، توسط آزمون‌های دستگاهی مدل‌سازی گردید [30].

#### 4- نتیجه‌گیری

روند تغییرات شاخص‌های رنگ در نمونه‌های فندق برشته شده در طول زمان برشته کردن نشان می‌دهد که شاخص‌های رنگ می‌توانند برای نشان دادن تغییرات در حین فرایند مورد استفاده قرار گیرند. وقتی که توان و زمان پرتو دهی به

#### مراجع

United Nations. 2012, Rome, Italy.

[3] Demir, A.D., Cronin, K. (2005). Modelling the kinetics of textural changes in hazelnuts during roasting. *Simul. Modell. Pract. Theory*, 13(2), 97-107.

[4] Özdemir, M., Devres, O. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using

[1] Maguire, L., O'sullivan, S., Galvin, K., O'connor, T., O'brien, N. (2004). Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 55(3), 171-178.

[2] FAO, *Food and Agriculture Organization of the*

- browning kinetics of garlic. *Food Aust.*, 46(2), 66-71.
- [15] Moss, J., Otten, L. (1989). A relationship between colour development and moisture content during roasting of peanuts. *Can. J. Food Sc. Tech. J.*, 22(1), 34-39.
- [16] Demir, A.D., Celayeta, J.M.a.F.a., Cronin, K., Abodayeh, K. (2002). Modelling of the kinetics of colour change in hazelnuts during air roasting. *J. Food Eng.*, 55(4), 283-292.
- [17] Potchak, K.M. (1985). Infrared roasting of nuts, particularly hazelnuts. *Confect. Prod.*, 51(6), 313-313.
- [18] Uysal, N., Sumnu, G., Sahin, S. (2009). Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut. *J. Food Eng.*, 90(2), 255-261.
- [19] Alvarez, M.D., Canet, W. (2002). A comparison of various rheological properties for modelling the kinetics of thermal softening of potato tissue (cv Monalisa) by water cooking and pressure steaming. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 37(1), 41-55.
- [20] Shin, S., Bhowmik, S.R. (1995). Thermal kinetics of color changes in pea puree. *J. Food Eng.*, 24(1), 77-86.
- [21] Rupasas, R., Driscoll, R. (1995). Kinetics of non-enzymatic browning in onion slices during isothermal heating. *J. Food Eng.*, 24(3), 417-429.
- [22] Cammarn, S., Lange, T., Beckett, G. (1990). Continuous fluidized-bed roasting. *Chem. Eng. Prog.*, 86(6), 40-46.
- [23] Saklar, S., Urgan, S., Katnas, S. (1999). Instrumental crispness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlations with sensory assessment. *J Food Sci.*, 64(6), 1015-1019.
- [24] İbano'lu, E. (2002). Kinetic study on colour changes in wheat germ due to heat. *J. Food Eng.*, 51(3), 209-213.
- [25] Kahyaoglu, T., Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds response surface methodology. *J. Food Eng.*, 45(1), 17-24.
- [5] Özdemir, M., Devres, O. (2000). Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *J. Food Eng.*, 44(1), 31-38.
- [6] Özdemir, M., Seyhan, F.G., Özdeş Bodurb, A., Onur Devres, Y. (2000). Effect of initial moisture content on the thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Drying Technol.*, 18(7), 1465-1479.
- [7] Perren, R., Escher, F.E. (1997). Investigations on the hot air roasting of nuts. *Manufacturing Confectioner*, 77, 123-127.
- [8] Zhu, Y., Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *J. Food Eng.*, 90(4), 441-452.
- [9] Chandrasekara, N., Shahidi, F. (2011). Effect of roasting on phenolic content and antioxidant activities of whole cashew nuts, kernels, and testa. *J. Agric. Food. Chem.*, 59(9), 5006-5014.
- [10] Park, J.-H., Lee, J.-M., Cho, Y.-J., Kim, C.-T., Kim, C.-J., Nam, K.-C., Lee, S.-C. (2009). Effect of far-infrared heater on the physicochemical characteristics of green tea during processing. *J. Food Biochem.*, 33(2), 149-162.
- [11] Sakai, N., Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Sci. Technol.*, 5(11), 357-362.
- [12] Yang, J., Bingol, G., Pan, Z., Brandl, M.T., McHugh, T.H., Wang, H. (2010). Infrared heating for dry-roasting and pasteurization of almonds. *J. Food Eng.*, 101(3), 273-280.
- [13] Hebbar, H.U., Vishwanathan, K., Ramesh, M. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. Food Eng.*, 65(4), 557-563.
- [14] Driscoll, R., Madamba, P. (1994). Modelling the

during the conventional roasting. *J. Food Eng.*, 75(2), 167-177.

[26] Buckholz, L.L., Daun, H., Stier, E., Trout, R. (1980). Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts. *J. Food Sci.*, 45(3), 547-554.

[27] Giannuzzi, L., Pinotti, A., Zaritzky, N. (1998). Mathematical modelling of microbial growth in packaged refrigerated beef stored at different temperatures. *Int. J. Food Microbiol.*, 39(1), 101-110.

[28] MacFie, H.J., Hedderley, D. (1993). Current practice in relating sensory perception to instrumental measurements. *Food Qual. Prefer.*, 4(1), 41-49.

[29] Grosso, N., Resurreccion, A. (2002). Predicting consumer acceptance ratings of cracker-coated and roasted peanuts from descriptive analysis and hexanal measurements. *J Food Sci.*, 67(4), 1530-1537.

[30] Lindinger, C., Labbe, D., Pollien, P., Rytz, A., Juillerat, M.A., Yeretian, C., Blank, I. (2008). When machine tastes coffee: Instrumental approach to predict the sensory profile of espresso coffee. *Anal. Chem.*, 80(5), 1574-1581.