

## بررسی عوامل موثر در فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر برخی خواص کیفی باقلا

آمنه ملکی<sup>۱</sup>، حسین احمدی چناربن<sup>۲\*</sup>، سارا موحد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۲۴)

### چکیده

باقلا گیاهی است از خانواده بقولات که همانند بسیاری از حبوبات، پروتئین دانه آن از دو فراکسیون آلبومین و گلوبولین تشکیل شده است. محتوای بالای پروتئین قابل هضم و نشاسته، دلیل استفاده گسترده آن است. در تحقیق حاضر تاثیر دما در سه سطح (۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس) و سرعت هوای داغ در دو سطح (۱ و ۲ متر بر ثانیه) بر برخی خواص کیفی، حسی و رفتار خشک شدن باقلا مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، بیشترین مقدار پروتئین، در تیمار T<sub>۲</sub> (دمای ۵۵°C و سرعت هوای ۲ m/s)، به مقدار ۲۱/۳ درصد و کمترین میزان تغییرات رنگ (EA)، در تیمار T<sub>۱</sub> (دمای ۵۵°C و سرعت هوای ۱ m/s)، به مقدار ۲۷/۶۶ مشاهده شد. همچنین کمترین زمان خشک شدن در تیمار T<sub>۶</sub> (دمای ۷۵°C و سرعت هوای ۲ m/s)، به مدت ۲۹ دقیقه اندازه گیری گردید. در ادامه، بهترین مدل برای فرآیند خشک کردن و چروکیدگی به ترتیب مدل های پیچ و گاززا پیشنهاد گردیدند. قابل توجه اینکه بیشترین مقدار چروکیدگی به تیمار T<sub>۵</sub> (دمای ۷۵°C و سرعت هوای ۱ m/s)، به مقدار ۱۵/۲ درصد تعلق گرفت. طبق نتایج، بیشترین مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت و کمترین مقدار انرژی فعالسازی به ترتیب  $4/53 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $15/9 \text{ kJ/mol}$  در تیمار T<sub>۱</sub> مشاهده گردید. از سوی دیگر T<sub>۴</sub> (دمای ۶۵°C و سرعت هوای ۱ m/s) به عنوان بهترین تیمار از نظر ارزیابی حسی انتخاب شد. در یک جمع بندی کلی و نظر به عدم وجود اختلاف معنی دار بین اکثر تیمارها، T<sub>۴</sub> به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

کلید واژگان: باقلا، پروتئین، چروکیدگی، خشک کردن.

\* مسئول مکاتبات: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir

## ۱- مقدمه

باقلا گیاهی است علفی، یک ساله، دیپلوئید از خانواده بقولات با نام علمی *Vicia faba* که همانند بسیاری از حبوبات، پروتئین دانه آن از دو فراکسیون اصلی به نام‌های آلبومین و گلوبولین تشکیل شده است. میلیون‌ها سال است که باقلا یکی از اجزای اصلی غذای انسان و دام است و استفاده گسترده‌ای در مناطق مدیترانه‌ای، عراق، سوریه، ایران، شمال غرب هند، پاکستان و جنوب چین دارد. محتوای بالای پروتئین قابل هضم و نشاسته، دلیل استفاده گسترده آن است. مطالعات اخیر فواید و سلامت بخش بودن باقلا را به دلیل این‌که یکی از منابع غنی فیبر، ویتامین و مواد معدنی است تأیید می‌کند همچنین این دانه از خواص هیگروسکوپی خاصی برخوردار است. با توجه به رشد جمعیت و گسترده‌گی سوء تغذیه پروتئین، به‌خصوص در کشورهای جهان سوم، تولید غذاهای پروتئین بالا از منابع سنتی، مورد توجه می‌باشد [۱]. قاره آسیا نسبت به سایر قاره‌ها از نظر سطح زیر کشت حبوبات، بیشترین سطح زیر کشت و تولید را به خود اختصاص داده است و ایران از نظر سطح زیر کشت در مکان ششم قرار دارد ولی از نظر عملکرد در مکان سی‌ویک آسیا می‌باشد. سطح زیر کشت و تولید باقلا طی ۱۳ سال اخیر به ترتیب بین: ۶۹۲۰۰ - ۳۵۲۰۰ هکتار و ۷۱۴۸۰ - ۴۰۸۴۰ تن بوده است [۲]. با عنایت به اینکه ۵٪ مردم ایران دارای سوء تغذیه بوده همچنین ۱۰/۹٪ - ۱/۵٪ از اطفال کمتر از ۵ سال نیز دارای سوء تغذیه و پایین‌تر از وزن طبیعی می‌باشند لذا ضرورت افزایش تولید و مصرف حبوبات برای تأمین کالری و پروتئین از اهمیت بالایی برخوردار است.

پایداری انباری فرآورده‌های کشاورزی تابع دو عامل فیزیکی، دمای محیط و رطوبت محصول می‌باشد. با کاهش رطوبت یا دما و یا هر دو می‌توان به میزان قابل ملاحظه‌ای طول این دوره را افزایش داد. خشک کردن فرآیندی است که طی آن فعالیت آبی ماده غذایی با کاهش میزان رطوبت آن، توسط عمل تبخیر یا

تصعید کاهش می‌یابد و یا به عبارت دیگر عبارت است از خارج کردن رطوبت از محصولات به طوری که فعالیت آنزیم‌ها کاهش یافته و باکتری‌ها و عوامل بیماری‌زا قادر به رشد و نمو نبوده و از فساد ماده غذایی جلوگیری شود. فرآیند خشک کردن، بایستی به گونه‌ای باشد که کمترین تغییرات را در شاخص‌های کیفی محصول ایجاد نماید. این شاخص‌ها می‌توانند شامل تغییرات فیزیکی نظیر ابعاد و اندازه، شکل بافت، چروکیدگی، سختی و تغییرات شیمیایی نظیر واکنش‌های قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ، تغییرات در ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، چربی‌ها، و اکسیداسیون در مواد باشند. به‌طور خلاصه اهم دلایل خشک کردن محصولات کشاورزی عبارت‌اند از: ۱- نگهداری و ذخیره سازی مواد غذایی برای مدت طولانی با حداقل امکانات ۲- کاهش وزن و حجم مواد غذایی به منظور سهولت و کم نمودن هزینه‌های بسته بندی، حمل و نقل و انبارداری ۳- جلوگیری از کاهش خواص کمی و کیفی مواد غذایی مانند طعم، رنگ، بو و ارزش غذایی آن‌ها ۴- تولید محصولی مناسب که به راحتی مصرف شود مانند میوه خشک، پودر سیب و شیر خشک [۳].

در عملیات خشک کردن، سه اصل کلی می‌بایست رعایت شود که عدم توجه به هر کدام از این اصول ممکن است محصول را دچار آسیب‌های جدی از لحاظ کیفیت و بافت کند. این اصول عبارتند از: انتخاب بهترین نوع خشک کن برای محصول، انتخاب بهترین تیمار در هر یک از مکانیسم‌های خشک کردن و حفظ خواص کمی و کیفی محصول حین خشک کردن [۱].

در تحقیقی تغییرات ویژگی‌های بافتی گلابی تحت تیمارهای مختلف خشک کردن به صورت لایه نازک در یک خشک کن قفسه‌ای توسط حیدری فروشانی و نصیری (۱۳۹۵) بررسی گردید. آزمایش‌های خشک کردن در سه سطح دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) و سه سطح سرعت هوا (۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ متر بر ثانیه) انجام پذیرفت و ویژگی‌های بافتی نمونه‌های گلابی در پنج سطح محتوای رطوبتی (۸۲، ۶۶، ۵۱، ۳۵ و ۲۰ درصد

قارچ دکمه ای به ترتیب بین  $10^{-9} \times 6/2$  تا  $10^{-9} \times 19/7$  متر مربع بر ثانیه و  $23/76$  تا  $30/73$  کیلوژول بر مول به دست آمد. برای مدل سازی فرآیند خشک شدن، مدل های پیچ، نیوتن و لگاریتمی به ترتیب با میانگین ضریب تبیین برابر  $0/996$ ،  $0/988$  و  $0/998$  و میانگین خطای استاندارد برابر  $0/023$ ،  $0/042$  و  $0/015$ ، در مقایسه با سایر مدل ها، خطای کمتری داشتند [5].

باروکا و گاین (۲۰۱۲) تاثیر روش های متفاوت خشک کردن (خشک کردن با هوای داغ و خشک کردن فریز) را بر بافت و رنگ سبزیجات (کدو تنبل و فلفل سبز) مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج، افزایش درجه حرارت خشک کردن از  $30^{\circ}\text{C}$  به  $70^{\circ}\text{C}$  باعث کاهش سختی و قابلیت جویدن محصول خشک شده گردید. از سوی دیگر خشک کردن با هوا در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  تغییرات کمی در رنگ سبز فلفل و خشک کردن با هوا در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  و خشک کردن فریز سبب تغییرات شدید تر رنگ محصول گردیدند [6]. فتی مکلوک و همکاران (۲۰۱۲) خشک کردن لایه نازک برش های گوجه فرنگی را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش ها در ۴ دمای متفاوت (۵۰، ۶۰، ۶۵، ۷۰ درجه سلسیوس) انجام شد و تاثیر دماهای مختلف خشک کردن مورد بررسی قرار گرفت. برش های خشک شده در دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس از میزان بالای قند کل، لیکوپن، نسبت قند به اسید برخوردار بودند. از سوی دیگر خشک کردن برش ها در  $50^{\circ}\text{C}$  سبب حفظ بهینه اسید آسکوربیک، نسبت قند به اسید و رنگ قرمز گردید. قابل توجه این که خشک کردن در دماهای بالاتر (۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس) منجر به کاهش قابل توجهی در مواد مغذی و کیفیت رنگ برش ها گردید [7]. رودریگز و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات رنگ، بافت، قابلیت آبرسانی و ترکیبات فنولی آلوهای نیمه اسمز خشک شده و خشک شده نهایی توسط هوای داغ را بررسی کردند. هدف، بررسی تاثیر فرآیند خشک کردن توسط روش های ترکیبی از دست دادن اسمزی آب با استفاده از محلول های سوربیتول یا گلوکز در

براساس وزن مرطوب) اندازه گیری شد. طبق نتایج، ویژگی های بافتی نمونه ها طی فرآیند خشک کردن تغییر نمود و این تغییرات مرتبط با شرایط خشک کردن بود. با کاهش رطوبت محصول طی فرآیند خشک شدن سختی به صورت نمایی و پیوستگی به صورت خطی کاهش و قابلیت ارتجاعی و چسبندگی به صورت خطی افزایش یافت. قابلیت جویدن در دامنه رطوبت اندازه گیری شده روند سهمی شکل از خود نشان داد به نحوی که بیشترین مقدار آن در محدوده رطوبت ۴۰ تا ۵۰ درصد مشاهده شد. تجزیه واریانس نشان داد تاثیر دما بر ویژگی های سختی، قابلیت ارتجاعی و قابلیت جویدن معنی دار بود در حالی که بر پیوستگی و چسبندگی معنی دار نبود. افزون بر آن، مشخص شد که اثر سرعت هوا بر تمام این ویژگی ها معنی دار است. از آنجا که براساس نتایج به دست آمده کمترین مقدار قابلیت جویدن ( $0/46$  ژول) مربوط به دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه بوده این تیمار به عنوان مطلوب ترین تیمار خشک کردن گلابی پیشنهاد می گردد. مدت زمان خشک شدن در این تیمار در حدود  $33/5$  ساعت بود که از کمترین زمان خشک شدن در شرایط  $60$  درجه سلسیوس و  $1/5$  متر بر ثانیه تقریباً ۲۴ ساعت طولانی تر و از بلندترین آن در شرایط خشک شدن ۴۰ درجه سلسیوس و  $0/5$  متر بر ثانیه در حدود  $6/5$  ساعت کوتاه تر بود [4].

صالحی و همکاران (۱۳۹۵) خشک شدن قارچ دکمه ای را در یک خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ در توان های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات، دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه بررسی نمودند. با توجه به نتایج تاثیر توان لامپ، دما و سرعت جا به جایی هوا بر فرآیند خشک شدن محصول قارچ دکمه ای معنی دار بود. افزایش توان لامپ مادون قرمز از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، افزایش دما از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس و تغییر سرعت جریان هوا از ۱ به ۳ متر بر ثانیه زمان خشک شدن نمونه ها را به ترتیب  $28/6$ ،  $42/7$  و  $15/2$  درصد کاهش داد. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و انرژی فعالسازی

نمونه های باقلایی بودند که در خشک کنی با شرایط دمایی ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ و ۲ متر بر ثانیه خشک شدند. قابل توجه این که تیمارهای مورد استفاده در تحقیق در جدول ۱ ارایه شده اند. به منظور خشک کردن دانه های باقلا از سه دستگاه خشک کن آزمایشگاهی نوع کیلن<sup>۱</sup> استفاده گردید. این نوع خشک کن دو طبقه بوده که در طبقه اول مولد گرمایی و در طبقه دوم محفظه ای است که محصول برای خشک کردن در آن قرار می گیرد. در کف این طبقه سوراخ هایی برای عبور هوای داغ تعبیه شده است. طرح خشک کن موجود در آزمایشگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. طول و عرض خشک کن ها ۴۰ cm و ارتفاع آن ها ۱۶۵ cm می باشد. محل قرار گرفتن نمونه ها در خشک کن حدود ۱۰۰ cm از کف دستگاه فاصله داشته و فاصله آن ها تا سقف خشک کن حدود ۶۰ cm است. در فاصله ای حدود ۴۰ cm بالاتر از محل قرارگیری نمونه ها، دریچه ای برای خروج هوای مرطوب تعبیه شده است. هر کدام از این خشک کن ها دارای دو المنت برقی مستقل برای تامین دمای مورد نیاز می باشند که یکی به وسیله ترموستات دیجیتالی و دیگری به صورت دستی کنترل می گردد. جریان هوا توسط یک دمنده که در زیر المنت ها قرار دارد تامین می شود. میزان هوادهی این دمنده ها  $180-220 \text{ m}^3/\text{h}$  توسط یک دیمتر قابل تنظیم می باشد که توسط یک سرعت سنج (Anemometer, lutron YK, AM, Taiwan) با دقت  $\pm 0.1 \text{ m/s}$  اندازه گیری می گردد. برای اندازه گیری دما دو حسگر دما (Lutron- TM-925, Taiwan) با دقت  $\pm 0.1$  درجه سلسیوس، یکی در قسمت زیرین و دیگری در قسمت رویی ظرف تعبیه شده که دمای هوا را قبل و بعد از تماس با نمونه های آزمایشی اندازه گیری می کنند.

غلظت های متفاوت (۴۰ یا ۶۰ بریکس) ، دماهای متفاوت (۲۵ یا ۴۰ درجه سلسیوس) و دو نسبت میوه به شربت (۱:۱۰ یا ۱:۴) بود. ارزیابی ها کاهش درخشندگی و افزایش قرمزی ناشی از شروع قهوه ای شدن، طی فرآیند خشک کردن را نشان داد. استحکام و سفتی آلوها در دماهای بالاتر خشک کردن مشهودتر بود. همچنین مقدار فنول ها و فلاونوئید ها در نمونه ها زمانی که در دمای  $70^\circ\text{C}$  خشک شده بودند، بالاتر بود [۸]. همان گونه که گفته شد، طی سال های اخیر، تولید باقلا در کشور به طور چشمگیری در حال افزایش است (تولید باقلا در ایران حدود ۴۶ هزار تن است که از سطحی معادل ۳۶ هزار هکتار حاصل می شود. عملکرد این محصول در کشور ۱۲۷۸ کیلو گرم در هکتار است). اما درصد بالای ضایعات تولید، خصوصا در بخش فناوری پس از برداشت، نگرانی شدید کشاورزان را به دنبال داشته است لذا بررسی فرآیندهای پس از برداشت، خصوصا خشک کردن که اولین و یکی از مهمترین عملیات فرآوری محسوب می شود، از اهمیت خاصی در کاهش ضایعات برخوردار است. در این راستا پژوهش حاضر، به منظور بررسی عوامل مؤثر در فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر برخی خواص کیفی باقلا انجام پذیرفت.

## ۲- مواد و روش ها

باتوجه به پیوستگی انجام مراحل آزمایش، کلیه غلاف های باقلای (رقم برکت) مورد نیاز برای خشک کردن به صورت یکجا از بازار میوه و تره بار تهران خریداری و در پاکت های پلاستیکی مجزا بسته بندی گردیدند و در دمای  $4 \pm 1$  درجه سلسیوس در درون یخچال به منظور جلوگیری از کپک زدگی قرار داده شدند و سپس در شرایط دمایی و سرعت هوای ذکر شده در بخش تیمارها به منظور خشک شدن قرار گرفتند. قابل توجه اینکه رطوبت نمونه ها قبل از انجام آزمایش ۴۸ درصد بر پایه خشک محاسبه گردید که طی فرآیند خشک کردن رطوبت آنها به ۱۱ درصد بر پایه خشک کاهش یافت. جامعه مورد بررسی شامل

1. Kiln dryer

Table 1 Treatment of study

Row	Temperature(°C)	Hot air velocity(m/s)	Code
1	55	1	T <sub>1</sub>
2	55	2	T <sub>2</sub>
3	65	1	T <sub>3</sub>
4	65	2	T <sub>4</sub>
5	75	1	T <sub>5</sub>
6	75	2	T <sub>6</sub>

که در آن: MR: نسبت رطوبت (بدون بعد)، M<sub>t</sub>: رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بر پایه خشک (d.b)، M<sub>e</sub>: رطوبت تعادلی نمونه‌ها (d.b)، M<sub>0</sub>: رطوبت اولیه نمونه‌ها (d.b) می‌باشند. طرف چپ معادله، نسبت رطوبت را که مشخص کننده فرآیند خشک کردن است، نشان می‌دهد. برای زمان های طولانی خشک شدن مقادیر M<sub>e</sub> در مقایسه با مقادیر M<sub>0</sub> بسیار کوچک هستند بنابراین می‌توان معادله نسبت رطوبت طی فرآیند خشک شدن را

$$MR = \frac{M_t}{M_0}$$

بصورت ساده کرد. در ادامه برخی از مدل‌های استاندارد خشک شدن لایه نازک محصولات کشاورزی در جدول (۲) ارائه شده است. در معادلات  $k, k_1, k_0, g, c, a, n, k$  ضرایب مدل‌ها می‌باشند. قابل توجه اینکه نسبت‌های رطوبت بدست آمده طی آزمایشات مختلف، با استفاده از نرم افزار (Matlab R2013a) و به روش رگرسیون غیر خطی با مدل های ارائه شده برآزش گردیدند و برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، مربع کای (X<sup>2</sup>) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

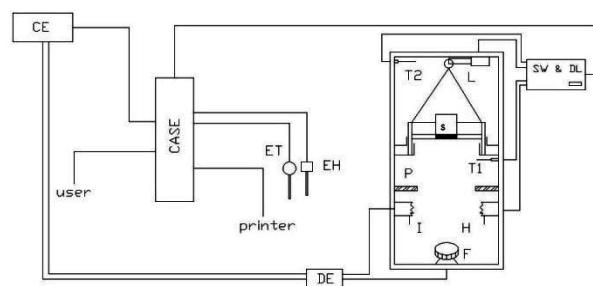


Fig 1 Experimental dryer

## ۲-۱- تعیین رطوبت اولیه محصول

رطوبت نمونه‌های باقلا براساس استاندارد AOAC اندازه‌گیری شد [۹].

## ۲-۲- مدل سازی ریاضی منحنی های خشک شدن

برای مدل سازی خشک شدن لایه نازک دانه‌های باقلا، از نسبت رطوبت طی خشک شدن نمونه‌ها استفاده شد. نسبت رطوبت باتوجه به رابطه ۱، به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه طی خشک شدن وابسته است [۶].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Table 2 The models that used in order fitting the experimented data

Model	Equation	Reference
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[7]
Henderson & pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[7]
Page	$MR = a \exp(-kt^n)$	[6]
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	[10]
Yagcioglu	$MR = a \exp(-kt) + C$	[10]
Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	[11]
Tow term model	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$	[11]

برای محاسبه مقدار چروکیدگی و دانسیته ظاهری نمونه‌ها، حجم دانه‌ها قبل و پس از فرآیند خشک کردن (تحت تیمارهای مختلف که پیش‌تر توضیح داده شد) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جابجایی تولوئن و به کمک پیکنومتر انجام پذیرفت. به منظور محاسبه جرم (AND- GF-600, Japan با دقت ۰/۰۰۱ گرم) و حجم تولوئن جابجا شده و به دنبال آن محاسبه حجم و دانسیته نمونه‌ها از روابط (۴) و (۵) استفاده گردید.

که در آن‌ها:  $V$ : حجم تولوئن جابجا شده = حجم نمونه‌ها ( $m^3$ ),  $m$  و  $m'$ : به ترتیب جرم پیکنومتر حاوی تولوئن و جرم نمونه‌ها ( $kg$ ),  $m''$ : جرم پیکنومتر حاوی تولوئن و نمونه‌ها ( $kg$ ),  $\rho_0$ : دانسیته تولوئن ( $kg.m^{-3}$ ),  $\rho$ : دانسیته ظاهری نمونه‌های باقلا ( $kg.m^{-3}$ )

$$V = \frac{M}{\rho_{\text{tol}}} = \frac{(m + m') - m''}{\rho_{\text{tol}}} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

از سوی دیگر مقدار چروکیدگی حجمی نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید.

$$sh = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100 \quad (6)$$

که در آن:  $V_t$ : حجم نمونه خشک شده در زمان مورد نظر ( $m^3$ ),  $V_0$ : حجم اولیه همان نمونه (قبل از خشک کردن) ( $m^3$ ),  $Sh$ : درصد چروکیدگی.

برای تعیین بهترین مدل ریاضی و به منظور توصیف تغییرات چروکیدگی دانه‌های باقلا از مدل‌های ذکر شده در جدول ۳ استفاده شد که در آن‌ها  $K_1$  تا  $K_{15}$ , ضرایب مدل‌ها،  $X$  محتوای رطوبت بر اساس وزن خشک (کیلوگرم ماده خشک/کیلوگرم آب) و  $X_0$  محتوای رطوبت اولیه بر اساس وزن خشک (کیلوگرم ماده خشک/کیلوگرم آب) می‌باشند.

## ۲-۳- محاسبه ی ضریب نفوذ رطوبت

به‌منظور تعیین ضریب نفوذ رطوبت برای یک صفحه تخت، از حل معادله فیک، مطابق رابطه (۲) و به روش کرانک استفاده گردید.

(۲)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{L^2}\right)$$

در این معادله:  $MR$ : نسبت رطوبت (بدون بعد)،  $M_t$ : رطوبت در لحظه  $t$  (کیلوگرم بر کیلوگرم ماده خشک)،  $M_e$ : رطوبت تعادلی (کیلوگرم بر کیلوگرم ماده خشک)،  $M_o$ : رطوبت اولیه (کیلوگرم بر کیلوگرم ماده خشک)،  $D_{eff}$ : ضریب نفوذ (مجذور متر بر ثانیه)،  $L$ : ضخامت صفحه (متر). برای حل این معادله، مفروضاتی در نظر گرفته شد که می‌توان آن‌ها را به ترتیب زیر بیان کرد: ۱- انتقال رطوبت در یک جهت انجام می‌گیرد. ۲- مقدار رطوبت ماده در تمام نقاط آن یکنواخت است. ۳- مقاومت داخلی در مقابل انتقال رطوبت در نظر گرفته و از مقاومت خارجی صرف نظر می‌شود. ۴- از اثرات انتقال حرارت داخلی و خارجی صرف‌نظر می‌شود [۱۱].

## ۲-۴- انرژی فعال سازی

با توجه به تابعیت ضریب نفوذ با دما، برای تعیین انرژی فعال سازی هر تیمار از رابطه آرنوس (۳) استفاده گردید [۱۲].

$$D_{eff} = \frac{D_0 \exp(-E_a)}{RT} \quad (3)$$

در این رابطه:  $D_{eff}$ : ضریب نفوذ (مجذور متر بر ثانیه)،  $D_0$ : ضریب نفوذ در دمای مبنا (مجذور متر بر ثانیه)،  $E_a$  = انرژی فعال سازی (کیلو ژول بر کیلوگرم در مول)،  $R$ : ثابت جهانی گازها (۸/۳۱۴ ژول بر مول درجه کلونین)،  $T$ : دما (کلونین).

## ۲-۵- محاسبه ضریب چروکیدگی و تعیین

بهترین مدل ریاضی برای توصیف چروکیدگی

**Table 3** Non linear experimental model in order to define the shrinkage changes

Reference	Equation	Model
[13]	$Sh = K_1 + \frac{K_2 x}{x_0} + K_3 \left(\frac{x}{x_0}\right)^2$	Mayor & Sereno
[13]	$Sh = K_4 + K_5 x + K_6 x^2 + K_7 x^3$	Ratti
[13]	$Sh = K_8 + K_9 \left(\frac{x}{1+x}\right) + \exp\left(K_{10} \frac{x}{1+x}\right)$	Mulet
[13]	$Sh = K_{11} + K_{12} x + K_{13} x^{\frac{3}{2}} + K_{14} \exp(K_{15} x)$	Garza

### ۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها (غیر از داده‌های مربوط به ویژگی‌های حسی که از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد) از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید و برای کلیه صفات مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال  $\alpha=0.1$  توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۴ انجام پذیرفت. در فرآیند مدلسازی، برای برازش داده‌ها و انتخاب مناسب‌ترین مدل، از روش رگرسیون غیرخطی استفاده و به منظور تعیین مناسب بودن برازش، از شاخص‌های ارزیابی نظیر  $R^2$ ،  $X^2$ ، RMSE استفاده گردید. برآورد ضرایب مدل‌ها در محیط نرم افزار متلب (Matlab R2013a) و به کمک ابزار برازش منحنی (Curve Fitting Tool) صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به زمان و متوسط آهنگ خشک شدن، چروکیدگی، ضریب انتشار موثر رطوبت، انرژی فعال سازی، مقدار پروتئین و تغییرات رنگ ( $E\Delta$ ) در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

### ۲-۶- روش اندازه‌گیری پروتئین

پروتئین دانه‌های باقلا قبل و پس از آن‌که تحت تیمارهای مختلف خشک شدند، طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۲-۴۶، اندازه‌گیری شدند [۱۴].

### ۲-۷- روش سنجش رنگ نمونه‌ها

پس از اتمام فرآیند خشک کردن، نمونه‌ها به وسیله دستگاه Hunterlab مدل D25-9000 تعیین رنگ شدند. روش کار دستگاه بر اساس اندازه‌گیری سه پارامتر  $L^*$ ،  $b^*$  و  $a^*$  می‌باشد. پارامتر اختلاف رنگ کل ( $\Delta E$ ) که برای توصیف تغییرات رنگ به کار می‌رود با استفاده از رابطه (۷) محاسبه گردید.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

که در آن:  $L_0^*$ ،  $a_0^*$ ،  $b_0^*$  مقادیر اولیه این پارامترها هستند.

### ۲-۸- ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی شامل طعم، بافت و رنگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. این آزمون توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده جهت تعیین بهترین تیمار انجام گرفت. امتیازدهی به شیوه مقیاس ۵ نقطه‌ای شامل: غیر قابل مصرف = ۱، غیر قابل قبول = ۲، قابل قبول = ۳، مطلوب = ۴ و عالی = ۵ انجام گرفت.

**Table 4** Analysis variance data of drying time, rate of drying, effective moisture diffusion coefficient, activation energy, protein content, shrinkage and discoloration ( $\Delta E$ ) of bean seed

Discoloration ( $\Delta E$ )	Protein content	Activation energy	Effective moisture diffusion coefficient	Shrinkage	Rate of drying	Drying time	S.O.V
F	F	F	F	F	F	F	Temperature(A)
**273.5	**147.31	**89.41	**273.52	**141.7	**741.25	**2854.2	Hot air velocity(B)
6.31 <sup>ns</sup>	**110.11	**65.02	**195.14	2.6 <sup>ns</sup>	**984.51	**431.12	B×A
**101.2	**37.41	**41.6	**101.47	**84.3	**87.21	**38.47	

\*\* : significant at 1% , <sup>ns</sup> : no significant

مقایسه میانگین ۵، بیشترین مدت زمان خشک شدن معادل ۸۸ دقیقه در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s و کمترین مدت زمان خشک شدن معادل ۲۹ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s مشاهده گردید.

### ۳-۱- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا در فرآیند خشک کردن دانه های باقلا

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما، سرعت هوای داغ و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر زمان خشک شدن دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. طبق جدول

**Table 5** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on drying time of bean seed

Temperature (°C)			Hot air velocity (m/s)
75	65	55	
36 <sup>c</sup>	48 <sup>c</sup>	88 <sup>a</sup>	1
29 <sup>d</sup>	31 <sup>d</sup>	64 <sup>b</sup>	2

خرمالو به دو روش هوای داغ و مادون قرمز، نتایج مشابهی حاصل گردید [۱۵]. نتایج مشابه دیگری توسط اوین (۲۰۱۲) که فرآیند خشک کردن بر روی محصولات مختلف را انجام داد، به دست آمد [۱۶].

### ۳-۲- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا بر آهنگ فرآیند خشک کردن

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما، سرعت هوای داغ و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر آهنگ خشک شدن دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین ۶، بیشترین مقدار آهنگ خشک شدن معادل ۰/۸۸ (کیلوگرم رطوبت/ کیلوگرم ماده خشک در ساعت) در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s و کمترین مقدار آهنگ خشک شدن معادل ۰/۵۳ (کیلوگرم رطوبت/ کیلوگرم ماده خشک در ساعت) در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s مشاهده گردید.

بر اساس نتایج، افزایش دما موجب گردید که سرعت خروج رطوبت از محصول افزایش یافته، نرخ خشک شدن افزایش یابد و تغییرات نسبت رطوبت محصول در واحد زمان دارای روند کاهشی قابل توجهی باشد. هرچه دمای هوای ورودی افزایش یافت، رطوبت با سرعت بیشتری از باقلا خارج شد و موجب کاهش زمان خشک شدن گردید. این پدیده می تواند به دلیل افزایش جنبش مولکول های آب موجود در محصول در اثر گرما باشد. از سوی دیگر با افزایش سرعت هوای ورودی به تدریج مدت زمان خشک کردن کاهش یافت. نکته قابل توجه این که هوا صرفاً باعث انتقال رطوبت از سطح محصول می گردد به عبارت دیگر کاهش مقاومت در مقابل انتقال جرم از سطح محصول را فراهم می آورد. لذا زمانی که سرعت هوای ورودی زیاد باشد سطح بیشتری از دانه باقلا را احاطه کرده و در نتیجه تمامی سطح دانه گرم شده و رطوبت سریع تر از مرکز به سطح هدایت و خارج می شود. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی دیگر به منظور مدل سازی خشک کردن لایه نازک

**Table 6** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on rate of drying of bean seed

Temperature (°C)			Hot air velocity (m/s)
75	65	55	
0.80 <sup>ab</sup>	0.65 <sup>c</sup>	0.53 <sup>d</sup>	1
0.88 <sup>a</sup>	0.72 <sup>b</sup>	0.62 <sup>c</sup>	2

در واقع افزایش آهنگ خشک شدن در مراحل ابتدایی فرآیند، به دلیل وجود رطوبت بالا در جدار داخلی و سطح دانه و لذا جدا شدن سریع تر رطوبت از لایه های سطحی، توجیه می شود. از سوی دیگر با محدود شدن سرعت انتقال رطوبت از لایه های

با توجه به نتایج، در شروع فرآیند خشک کردن، از آنجا که محتوای رطوبت اولیه محصول زیاد بود لذا آهنگ از دست دادن رطوبت نیز افزایش نشان داد، اما به تدریج با گذشت زمان و کاهش رطوبت محصول، آهنگ کاهش رطوبت نیز کاهش یافت.



مقادیر ضرایب و معیار های ارزیابی مدل مذکور ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۸، با افزایش دما، مقدار  $K$  در سرعت  $1\text{ m/s}$ ، روند کاهشی داشت اما در سرعت  $2\text{ m/s}$ ، با افزایش دما مقدار آن افزایش یافت. از سوی دیگر با توجه به مقادیر حاصل شده برای  $k$  در سرعت  $2\text{ m/s}$ ، مقدار  $MR$  با افزایش دما با افزایش روبه رو شد. علت آن است که با افزایش دما، گرادیان رطوبتی افزایش یافت و از سوی دیگر با افزایش سرعت جریان هوای داغ، جرم بیشتری در واحد زمان منتقل گردید که عاملی موثر در افزایش مقدار  $MR$  در دماهای بالا محسوب می شود اما برای مقادیر مختلف  $k$  در سرعت  $1\text{ m/s}$ ، با افزایش دما، مقدار  $MR$  با کاهش روبه رو شد. زیرا اگرچه با افزایش دما گرادیان رطوبتی مطلوبی ایجاد شد اما این رطوبت با آهنگ مطلوبی به دلیل پایین بودن سرعت هوای داغ خارج نشد و افزایش دما به نوعی سبب تخریب بافت و لوله های موین گردید. سیمال و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی به منظور شبیه سازی سینتیک خشک شدن میوه کیوی، مدل پیچ را مناسب ترین مدل برای پیش بینی رفتار این محصول طی فرآیند خشک شدن پیشنهاد نمودند [۱۹].

داخلی به سطح ماده در انتهای فرآیند، روند خشک شدن کند گردید لذا آهنگ خشک شدن کاهش نشان داد. نکته قابل توجه این که با افزایش دما و سرعت هوای عبوری از محفظه خشک کن، رطوبت نسبی محصول بیشتر کاهش می یابد که این کاهش باعث انتقال بیشتر جرم می گردد. همچنین با افزایش سرعت جریان هوای داغ به دلیل افزایش حجم هوای عبوری از سطح محصول، ظرفیت هوا برای جذب رطوبت بیشتر شده لذا آهنگ خشک شدن افزایش می یابد. فهیمی و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی به منظور تعیین بهترین مدل سینتیکی در فرآیند خشک کردن لایه نازک کدوی سبز با استفاده از هوای داغ به نتایج مشابهی رسیدند [۱۷]. چن و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر روی آهنگ خشک کردن سبزیجات مختلف انجام دادند به نتایج مشابهی دست پیدا کردند [۱۸].

### ۳-۳- مدل سازی فرآیند خشک کردن

طبق نتایج، که نمونه ای از آن در جدول ۷ ارائه شده است، مدل پیچ به علت دارا بودن بیشترین  $R^2$  و حداقل ترین مقادیر  $\chi^2$ ،  $RMSE$  و  $P$ -value از بهترین برآزش برخوردار بود. حال با توجه به انتخاب مدل پیچ به عنوان بهترین مدل، در جدول ۸

Table 7 Evaluation of dryings models at (65°C and 1 m/s) for bean seeds

Model	Equation	$R^2$	$\chi^2 \times 10^{-2}$	$RMSE \times 10^{-2}$	P-value (%)	Reference
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	0.97	27	20	11.41	[7]
Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	0.90	52	32	23.12	[11]
Henderson & pabis	$MR = a \exp(-kt)$	0.95	31	47	13.14	[7]
Yagcioglu	$MR = a \exp(-kt) + C$	0.97	27	21	20.15	[10]
Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$	0.97	41	18	13.14	[10]
Tow term model	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	0.95	25	15	10.71	[11]
Page	$MR = a \exp(-kt)^n$	0.99	8	6	5.95	[6]

Table 8 Fittings of data by page model in drying process of bean seeds

P- value(%)	$RMSE \times 10^{-2}$	$\chi^2 \times 10^{-2}$	$R^2$	A	k	n	Hot air (m/s) velocity	(°C) Temperature
5.2	13	27	0.98	0.011	0.17	0.10	1	
6.7	17	20	0.98	0.018	0.21	0.17	2	55
10.2	13	15	0.98	0.11	0.13	0.05	1	
8.4	12	13	0.97	0.23	0.27	0.24	2	65
13.2	18	15	0.99	0.47	0.11	0.106	1	
5.4	6	9	0.99	0.29	0.33	0.09	2	75

احتمال ۱٪ معنی دار بودند. اما سرعت هوای داغ بر صفت مذکور در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ تاثیر معنی دار نداشت. با توجه به جدول مقایسه میانگین ۹، بیشترین میزان چروکیدگی معادل ۱۵/۲ در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s و کمترین میزان چروکیدگی معادل ۶/۸۷ در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s مشاهده گردید.

### ۳-۴- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا بر چروکیدگی دانه های باقلا طی فرآیند خشک کردن

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر چروکیدگی دانه های باقلا در سطح

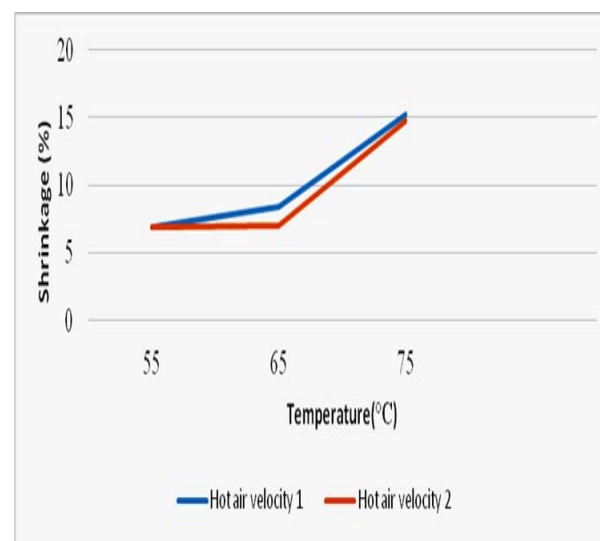
**Table 9** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on shrinkage of bean seed

Temperature(°C)			Hot air (m/s) velocity
75	65	55	
15.2 <sup>a</sup>	8.41 <sup>b</sup>	6.92 <sup>c</sup>	1
14.7 <sup>a</sup>	7.03 <sup>c</sup>	6.87 <sup>c</sup>	2

سرعت جدا گردید و هوا فرصت کافی برای جایگزین شدن پیدا نکرد. لذا باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی شد که در نتیجه آن بافت قادر به نگهداری شبکه ساختمانی خود نبود به طوری که ساختمان بیرونی سلول فرو ریخت و چروکیدگی حاصل شد. قابل توجه این که بیشترین چروکیدگی در نخستین مراحل خشک کردن مشاهده گردید. امیری پور و همکاران (۱۳۹۶) در فرآیند خشک کردن اسمز- هوای داغ برگه های گلابی به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما و سرعت هوای داغ، چروکیدگی محصول افزایش می یابد [۲۰]. ژو و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق مشابهی بر روی محصولات مختلف به نتایجی همسو با نتایج پژوهش حاضر رسیدند [۲۱].

### ۳-۵- تعیین مدل چروکیدگی

طبق نتایج، که نمونه ای از آن در جدول ۱۰ ارایه شده است، مدل گارزا به علت دارا بودن بیشترین  $R^2$  و حداقل ترین مقادیر  $\chi^2$ ، RMSE و P-value از بهترین برآزش برخوردار بود. رسولی و سیدلو (۱۳۹۱) طی تحقیقی در زمینه ی مدل سازی ریاضی چروکیدگی حبه های سیر، طی خشک کردن به صورت همرفتی به نتایج مشابهی دست پیدا کردند [۲۲].



**Fig1** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on shrinkage of bean seed

طی فرآیند خشک شدن، با خارج گشتن آب از سلول، تنشی که از طرف مایع درون سلولی بر دیواره سلول وارد می شود، کاهش می یابد. این کاهش تنش، باعث چروکیدگی بافت تشکیل دهنده ماده می گردد. با توجه به نتایج، با افزایش دما، به دلیل سرعت بخشیدن به نرخ خروج رطوبت، چروکیدگی افزایش نشان داد. زیرا در این حالت طی فرآیند خشک شدن، آب بین سلولی به

**Table 10** Evaluation of shrinkage models at (65°C and 2 m/s) for bean seeds

Reference	P-value (%)	RMSE×10 <sup>-2</sup>	$\chi^2 \times 10^{-2}$	R <sup>2</sup>	Equation	Model
[13]	17.2	16	47	0.95	$Sh = K_1 + \frac{K_2 x}{x_0} + K_3 \left(\frac{x}{x_0}\right)^2$	Mayor & Sereno
[13]	14.6	25	35	0.97	$Sh = K_4 + K_5 x + K_6 x^2 + K_7 x^3$	Ratti
[13]	13.2	14	22	0.97	$Sh = K_8 + K_9 \left(\frac{x}{1+x}\right) + \exp\left(K_{10} \frac{x}{1+x}\right)$	Mulet
[13]	4.7	13	10	0.98	$Sh = K_{11} + K_{12} x + K_{13} x^2 + K_{14} \exp(K_{15} x)$	Garza

مقایسه میانگین ۱۱، که تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ را بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت نشان می دهد، بیشترین مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت معادل  $4/53 \times 10^{-8}$  مجذور متر بر ثانیه در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s و کمترین مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت معادل  $2/05 \times 10^{-8}$  مجذور متر بر ثانیه در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s مشاهده گردید.

### ۳-۶- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت طی فرآیند خشک کردن دانه باقلا

با توجه به جدول ۴، تأثیر دما، سرعت هوای داغ و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. با توجه به جدول

**Table 11** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on effective moisture diffusion coefficient of bean seed during drying process

Temperature °C		Hot air velocity (m/s)	
75	65	55	1
ab 8-10×4.02	cd 8-10×3.21	e 8-10×2.05	2
a 8-10×4.53	bc 8-10×3.97	d 8-10×2.84	

نتیجه ضریب پخش مؤثر رطوبت افزایش می یابد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) طی تحقیقی بر روی سینتیک خشک کردن برش های میوه ی به (Cydoniaoblonga) با روش جا به جایی با هوای داغ، به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۳]. خیاطی و امیری چایجان (۱۳۹۵) نیز در تحقیقی بر روی برخی خصوصیات حرارتی، فیزیکی و مکانیکی میوه بنه، پس از خشک کردن با خشک کن پیوسته نیمه صنعتی به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما، ضریب انتشار مؤثر رطوبت افزایش می یابد [۲۴].

### ۳-۷- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا بر انرژی فعالسازی طی فرآیند خشک کردن دانه باقلا

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما، سرعت هوای داغ و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر انرژی فعال سازی دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. با توجه به جدول

با افزایش دما و سرعت هوا طی فرآیند خشک شدن دانه های باقلا، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت روند افزایشی پیدا نمود که در این میان تأثیر دما در این امر بارزتر بود. دلیل وقوع این نتیجه تأثیر بارز دما و سرعت هوا در ایجاد جنبش مولکولی و مکش سطحی بیشتر می باشد. افزایش دما و سرعت هوای ورودی، آنتالپی هوای ورودی را افزایش داده و افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت را افزایش می دهد که باعث افزایش ضریب نفوذ مؤثر می شود. به طور خلاصه علت این پدیده به دو علت قابل ذکر کردن است: ۱- با افزایش دما میزان جنبش مولکولی آب یا بخار آب داخل محصول افزایش یافته و با سرعت بیشتری در داخل محصول جریان می یابد. ۲- با افزایش دما، رطوبت تعادلی سطح محصول با هوای خشک کننده کاهش یافته و رطوبت سطح محصول بیشتر کاهش می یابد، با کاهش بیشتر رطوبت سطح محصول، گرادیان رطوبت سطح و مرکز محصول بیشتر شده رطوبت با سرعت بیشتری در داخل محصول حرکت کرده و در

سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s و کمترین مقدار انرژی فعال سازی معادل ۱۵/۹ کیلوژول بر مول در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s به دست آمد.

مقایسه میانگین ۱۲، که تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ را بر انرژی فعال سازی نشان می دهد، بیشترین مقدار انرژی فعال سازی معادل ۲۷/۳۲ کیلوژول بر مول در دمای ۵۵ درجه

**Table 12** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on activation energy of bean seed during drying process

Temperature (°C)		Hot air velocity (m/s)	
75	65	55	1
16.7 <sup>d</sup>	20.51 <sup>b</sup>	27.32 <sup>a</sup>	1
15.9 <sup>d</sup>	18.41 <sup>c</sup>	21.12 <sup>b</sup>	2

افزایش سرعت هوای داغ، انرژی فعال سازی کاهش می یابد [۵]. همچنین شریفیان و کاوه (۱۳۹۳) در تحقیقی بر روی سینتیک خشک کردن ذرت با جریان هوای گرم، به نتایج مشابهی دست پیدا کردند [۲۵].

### ۳-۸- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا بر مقدار پروتئین طی فرآیند خشک کردن دانه

#### باقلا

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما، سرعت هوای داغ و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر مقدار پروتئین دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین ۱۳، که تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ را بر مقدار پروتئین نشان می دهد، بیشترین مقدار پروتئین معادل ۲۲/۳ در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s و کمترین مقدار پروتئین معادل ۸/۲ در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s مشاهده گردید.

در میان برخوردهای متعدد بین ذرات تشکیل دهنده یک جسم، فقط تعداد محدودی از آنها منجر به انجام واکنش می شوند. در واقع انرژی ذره ها هنگام برخورد باید به حدی باشد که بتواند پیوندهای موجود میان مواد واکنش دهنده را سست کند. این انرژی را انرژی فعال سازی می گویند. در واقع انرژی فعال سازی مانند یک سد است که مانع انجام واکنش شده و باعث کندی آن می شود و به بیان بهتر انرژی فعال سازی کمترین مقدار انرژی لازم برای شروع یک واکنش است. انرژی فعال سازی نشان دهنده رابطه بین دمای فرآیند و ضریب نفوذ رطوبت می باشد. انرژی فعال سازی بیانگر مقدار انرژی لازم برای شروع فرآیند خشک شدن می باشد [۲۴]. افزایش دما و سرعت هوا موجب افزایش انتقال جرم و حرارت گردید به عبارت دیگر افزایش دمای هوا، آنالپی هوای ورودی را افزایش داد که این افزایش آنالپی سبب افزایش میزان انتقال جرم و حرارت گردید لذا مصرف انرژی کاهش پیدا کرد [۲۵]. صالحی و همکاران (۱۳۹۵) طی تحقیقی بر روی سینتیک خشک شدن لایه نازک قارچ دکمه ای در خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ به این نتیجه رسیدند که با

**Table 13** Mean comparison of interaction between treatment × hot air velocities on protein content of bean seed during drying process

Temperature (°C)		Hot air velocity (m/s)	
75	65	55	1
8.2 <sup>d</sup>	18.6 <sup>b</sup>	21 <sup>a</sup>	1
9.7 <sup>c</sup>	20 <sup>ab</sup>	21.3 <sup>a</sup>	2

ساختار اول نیز از بین می رود. اساساً ساختمان فضایی پروتئین ها به دلیل ضعف کلی نیروهای به وجود آورنده آن، ساختمانی حساس و شکننده می باشد و تحت اثر عوامل و شرایطی ممکن است دستخوش تغییر شود. فرآیندی را که سبب ایجاد چنین تغییر می گردد دنا توره شدن گویند که به معنی از دست رفتن حالت طبیعی پروتئین می باشد. در این جریان، پیوندهای پپتیدی

نتایج نشان داد حرارت باعث تغییر خواص طبیعی پروتئین و تغییر ساختار دوم و سوم پروتئین و در نتیجه رسوب آن می گردد. دما سبب شکسته شدن پیوند های ضعیف نظیر هیدروژنی و واندروالسی می شود و با افزایش دما پیوندهای پپتیدی<sup>۱</sup> که نوعی پیوند کووالان و قوی می باشند نیز شکسته می شود و

1. Peptide

شکسته می شود. به همین ترتیب عمل شکستن پیوندهای بعدی نیز به شکل فزاینده ای تسهیل و تسریع می گردد. در عملیات خشک کردن باقلا که مقادیر بسیار زیادی از آب آن به خصوص در درجه حرارت بالا گرفته می شود، اتصالات فراوانی میان زنجیره های مختلف پروتئین ها به وجود می آید و سبب تجمع آنها می گردد. عمل خشک کردن اساساً با تشکیل یک ساختمان خلل و فرج دارد در این مواد همراه می باشد. در عملیاتی که خشک کردن به شکل مطلوب و صحیح صورت گیرد، میزان این خلل و فرج ها بسیار زیاد است که طبیعتاً به معنای حلالیت بهتر و بیشتر پروتئین موجود می باشد. فرآیند های حرارتی همچنین سبب جدا شدن گروه های آمین یا گوگردی، آب گیری از اسیدهای آمینه الکلی، اکسیداسیون اسیدهای آمینه گوگرد دار و برخی تغییرات نامطلوب شیمیایی می شوند [۲۶].

### ۳-۹- ارزیابی تأثیر دما، سرعت جابه جایی هوا

#### بر تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) طی فرآیند خشک کردن

##### دانه باقلا

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۴، تأثیر دما و تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ بر تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند اما تأثیر سرعت هوای داغ بر تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) دانه های باقلا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار نبود. با توجه به جدول مقایسه میانگین ۱۴، که تأثیر متقابل دما در سرعت هوای داغ را بر تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) نشان می دهد، بیشترین تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) معادل ۲۹/۱۴ در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۲ m/s و کمترین تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) معادل ۲۷/۶۶ در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای داغ ۱ m/s مشاهده گردید.

بدون تغییر باقی می ماند بنابراین ساختمان نوع اول پروتئین همچنان حفظ می گردد. در اثر شکسته شدن سایر پیوندها، پروتئین از حالت پیچ خورده یا در هم رفته خاص خود خارج می شود، شکل کشیده و بازی پیدا می کند که در نتیجه آن بسیاری از گروه ها یا قسمت هایی که قبلاً در داخل ساختمان قرار گرفته بودند در سطح پروتئین ظاهر می شوند. البته به طور کلی باید توجه شود که برخی از عوامل و شرایطی که باعث تغییر در ساختمان فضایی پروتئین می گردند و پدیده دناتوره شدن را برای آن به همراه دارند در صورتی که به شکل قوی و با شدت اعمال شوند (مانند اعمال حرارت شدید) می توانند در ساختمان نوع اول پروتئین نیز تغییراتی ایجاد کنند و به عبارتی پروتئین را تجزیه نمایند. این تغییر ساختمانی دارای اثرات مهمی بر خصوصیات پروتئین است که از جمله کاهش حلالیت، کاهش فعالیت بیولوژیکی، حساسیت بیشتر در مقابل اثر آنزیم های تجزیه کننده پروتئین و تغییر قدرت جذب آب می باشند. در میان عواملی که سبب تغییر خواص طبیعی پروتئین ها می شوند، حرارت نقش بسیار مشخصی دارد. حرارت در حد گسترده ای پیوندهای پایدار کننده ساختمان پروتئین را از بین می برد و آن را باز می کنند. در چنین حالتی قسمت های آب گریز در سطح پروتئین قرار می گیرند و به این ترتیب سبب کاهش حلالیت آن می شود. به طور کلی عمل تغییر خواص طبیعی و منعقد شدن پروتئین ها بین ۸۵-۵۵ درجه سلسیوس انجام می گیرد. اساساً عمل تغییر خواص طبیعی در محدوده حرارتی کم و با سرعت زیاد صورت می گیرد. علت آن این است که این جریان یک ماهیت تسهیل شونده دارد. به این معنی که وقتی اولین پیوند (که طبیعتاً ضعیف ترین پیوند است) شکسته می شود، به دلیل از بین رفتن اثر آن در حفظ ساختمان پروتئین، فشاری که بر پیوند بعدی وارد می گردد افزایش می یابد و این پیوند با سهولت بیشتری

**Table 14** Mean comparison of interaction between treatment  $\times$  hot air velocities on discoloration ( $\Delta E$ ) of bean seed during drying process

Temperature (°C)		Hot air velocity (m/s)	
75	65	55	
29.12 <sup>b</sup>	28.10 <sup>a</sup>	27.66 <sup>a</sup>	1
29.14 <sup>b</sup>	28.09 <sup>a</sup>	27.71 <sup>a</sup>	2

ترکیبات غیر گلیسریدی نظیر فسفاتید ها و رنگدانه های موجود به ویژه کلروفیل و گرانتوفیل می باشد. افزایش دما باعث افزایش آهنگ واکنش های قهوه ای شدن میلارد و تولید رنگدانه های

با توجه به نتایج، دلایل تیره شدن رنگ در دمای بالا، واکنش های قهوه ای شدن، تجزیه پروتئین ها، افزایش مقدار فسفاتیدهای فاقد قابلیت جذب آب، افزایش مقدار گوگرد و تأثیر دما بر سایر

در رنگدانه ها می تواند به علت تأثیر حرارت بر روی ترکیبات حساس به حرارت از قبیل کربوهیدرات، پروتئین و ویتامین باشد که همین امر موجب تغییر رنگ در طول فرآیند خشک کردن می شود. در اثر حرارت ممکن است رنگدانه سبز کلروفیل تجزیه شود و به فتوفیتین تبدیل گردد که رنگ آن قهوه ایی مایل به سبز است. آنتوسیانین ها نیز در فرآیند خشک کردن صدمه میبینند [۸]. یوسفیان و همکاران (۱۳۹۵) نیز طی تحقیقات خود به نتایج مشابهی در رابطه با افزایش تغییرات رنگ در اثر افزایش دمای خشک کردن رسیدند [۲۶]. ارسلان و اوزجان (۲۰۱۱) نیز در تحقیقی بر روی تکه های فلفل خشک شده با استفاده از هوای داغ، کاهش مقدار  $L^*$  را گزارش کردند [۲۷].

### ۳-۱۰- ارزیابی به روش حسی نمونه های باقلای

#### خشک شده تحت تیمارهای مختلف

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده های مربوط به ارزیابی رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی به روش حسی در دانه های باقلا در جدول های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده اند.

**Table 15** Analysis variance data of sensory evaluation of color, texture, flavor and general acceptance of dried bean seed

General acceptance	Flavor	Texture	Color	S.O.V
F	F	F	F	Treatment
**20.45	**20.45	**15.21	**18.52	

\*\* : Significant at 1%

**Table 16** Mean comparison of sensory evaluation of color, texture, flavor and general acceptance of dried bean seed

T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	
<sup>c</sup> 2.7	<sup>c</sup> 3	<sup>a</sup> 4.7	<sup>a</sup> 4.6	<sup>a</sup> 4.4	<sup>b</sup> 4	<b>Color</b>
<sup>c</sup> 3.8	<sup>b</sup> 4	<sup>a</sup> 4.8	<sup>a</sup> 4.7	<sup>a</sup> 4.7	<sup>b</sup> 4.1	<b>Texture</b>
<sup>b</sup> 2.8	<sup>b</sup> 2.8	<sup>a</sup> 4.7	<sup>a</sup> 4.6	<sup>a</sup> 4.6	<sup>a</sup> 4.6	<b>Flavor</b>
<sup>c</sup> 2.7	<sup>c</sup> 2.7	<sup>a</sup> 4.7	<sup>b</sup> 4.3	<sup>ab</sup> 4.6	<sup>b</sup> 4.4	<b>General acceptance</b>

T<sub>1</sub>: (55°C and 1 m/s), T<sub>2</sub>: (55°C and 2 m/s), T<sub>3</sub>: (65°C and 1 m/s), T<sub>4</sub>: (65°C and 2 m/s), T<sub>5</sub>: (75°C and 1 m/s), T<sub>6</sub>: (75°C and 2 m/s)

یا طولانی شدن زمان خشک کردن در روش های متداول خشک کردن با جریان هوای داغ می تواند به شدت به رنگ محصول صدمه بزند. رنگ نامطلوب به دلیل واکنش های قهوه ای شدن ایجاد می شود. عواملی نظیر رطوبت، دما، pH و ترکیبات ماده غذایی، سبب تسریع واکنش های قهوه ای شدن غیر آنزیمی

تیره می شود. رنگ قهوه ای تا سیاه ایجاد شده در واکنش میلارد ناشی از تشکیل ملانوئیدین ها است که ترکیباتی با وزن مولکولی بالا می باشند. برای تشکیل این مواد رنگی دو مکانیزم محتمل را که مورد قبول است می توان مورد توجه قرار داد: ۱- تشکیل ملانوئیدین ها ناشی از تجمع و پلیمر شدن ترکیبات چند کربونیلی غیر اشباع تولید شده در جریان واکنش میلارد. ۲- پلیمر شدن ترکیبات فورانی و پیروانی تشکیل شده در این واکنش. این واکنش ها در واقع بین عامل آمین ( $NH_2$ ) و اسید آمینه و پروتئین و یا بین پروتئین و عامل آلدئیدی یا کتونی قندها انجام می گیرد [۶]. همانطور که می دانیم مولکول های پروتئین، از اسیدهای آمینه ای که با پیوند پپتیدی به هم متصل شده اند، ساخته شده و چون در حالت عادی به هم متصل هستند، نمی توانند بر هم اثر داشته باشند اما حرارت در محل پیوند پپتیدی شکاف ایجاد نموده و گروه آمینی آن را آزاد می نماید و برای انجام این واکنش در کنار عامل کربونیل قرار می دهد. از سوی دیگر به واسطه انجام برخی تغییرات از جمله دی هیدراسیون قندها و یا پاره شدن زنجیره های بین آنها و تشکیل ترکیبات دی کربونیل فرم تازه ای از رنگدانه ها ایجاد می گردد. همچنین تغییر

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۱۵، تأثیر تیمارهای مختلف بر تغییرات رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بودند. طبق جدول مقایسه میانگین ۱۶، بیشترین امتیاز در ارزیابی صفت رنگ به تیمار T<sub>۴</sub> به مقدار ۴/۷ و کمترین امتیاز به تیمار T<sub>۱</sub> به مقدار ۲/۷ تعلق گرفت. به طور کلی بالا بودن دما

های اکسایشی در مواد غذایی خشک شده مربوط به اکسیداسیون لیپیدها است. اکسیداسیون لیپیدها در مواد غذایی عمدتاً به اسیدهای چرب غیر اشباع مربوط می شود و غالباً از نوع خود به خودی هستند یعنی ترکیبات حاصل از اکسیداسیون خود به عنوان کاتالیزور واکنش عمل کرده و سرعت واکنش با گذشت زمان افزایش می یابد. هیدروپراکسیدها که ترکیبات اصلی اکسیداسیون چربی ها می باشند به ترکیبات ثانویه ای مثل آلدئیدها، الکلها، کتون ها یا اسیدها تجزیه شده و طعم نامطلوبی را در ماده غذایی به وجود می آورند. پراکسیدها، رادیکال های آزاد اسیدهای چرب و ترکیبات ثانویه ذکر شده قادرند با پروتئین ها و ویتامین ها واکنش داده و باعث از بین رفتن ارزش تغذیه ای و خصوصیات کاربردی ترکیبات ماده غذایی گردند. با توجه به نتایج، فعالیت های پرواکسیداز که تماماً در سطح پوسته دانه باقلا قرار گرفته اند منجر به اکسید شدن ترکیبات فنلی موجود در پوسته می شود لذا با انجام واکنش های قهوه ای شدن، موجب کاهش طعم می گردند [۴]. کاشانی نژاد و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی تأثیر متغیرهای مختلف در فرآیند خشک کردن پسته رقم اوحدی به نتایج مشابهی رسیدند [۳۱]. سیمال و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی رسیدند [۱۹]. قابل توجه این که با توجه به جدول ۱۶، بیشترین امتیاز برای پذیرش کلی به تیمار T<sub>۴</sub> به مقدار ۴/۷ و کمترین امتیاز در ارزیابی این صفت، به تیمار T<sub>۶</sub> به مقدار ۲/۷ تعلق گرفت.

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر دما و سرعت هوای داغ بر برخی خواص کیفی و حسی باقلا طی فرآیند خشک کردن بررسی گردید. طبق نتایج، بیشترین مقدار پروتئین، در تیمار T<sub>۲</sub> به مقدار ۲۱/۳ درصد، کمترین زمان خشک شدن در تیمار T<sub>۶</sub>، به مدت ۲۹ دقیقه، کمترین میزان تغییرات رنگ (EΔ)، در تیمار T<sub>۱</sub>، به مقدار ۲۷/۶۶ همچنین بیشترین مقدار چروکیدگی در تیمار T<sub>۵</sub>، به مقدار ۱۵/۲ درصد مشاهده گردید. از سوی دیگر بیشترین مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت و کمترین مقدار انرژی فعالسازی به ترتیب  $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  (۴/۵۳) و  $150 \text{ kJ/mol}$  (۱۵/۹) در تیمار T<sub>۶</sub> اندازه گیری شد. همچنین بهترین مدل برای فرآیند خشک کردن و

میلارد می شوند. در واقع با افزایش درجه حرارت، شدت رنگ رنگدانه بیشتر می شود که علت آن افزایش مقدار کربن می باشد. صالحی زاده و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تأثیر دما را در فرآیند خشک کردن برگه های زردآلو با استفاده از هوای داغ مورد بررسی قرار دادند که به نتایج مشابهی دست پیدا کردند [۲۸]. شرما و پراساد (۲۰۰۱) در تحقیقی که بر روی حبه های سیر انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش دمای هوای خشک کردن، شدت قهوه ای شدن افزایش می یابد [۲۹]. بر اساس جدول مقایسه میانگین ۱۶، بیشترین امتیاز در ارزیابی صفت بافت در تیمار T<sub>۴</sub> به مقدار ۴/۸ و کمترین امتیاز در تیمار T<sub>۶</sub> به مقدار ۳/۸ مشاهده گردید. بافت محصول خشک به عواملی نظیر مقدار رطوبت، ترکیبات، وارپته، میزان رسیدگی دانه، ابعاد نمونه، روش خشک کردن و پیش تیمارهای آماده سازی آن وابسته می باشد [۳۰]. طی خشک کردن محصولات بیولوژیکی، حذف آب منجر به تغییر ساختمان سلولی می شود. این پدیده با تغییر شکل و ابعاد محصول همراه است. این قبیل تغییرات بر ویژگی های فیزیکی محصول تأثیر گذاشته و بافت نهایی محصول خشک شده را تغییر می دهند. با توجه به نتایج، نمونه های خشک شده در دمای ۷۵ درجه سلسیوس بافت سفت تری داشتند که دلیل آن شدت زیاد تغییرات ساختمان سلولی می باشد. به عبارت دیگر دما و سرعت هوای بالا، باعث خروج بیشتر رطوبت از لایه های بیرونی نمونه نسبت به لایه های درونی نمونه گردید که در نتیجه آن نمونه ها در لایه های سطحی خود، سختی بیشتری را نشان دادند. اما خشک کردن آهسته محصول در دمای ۶۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۲ متر بر ثانیه، منجر به تولید محصولاتی یکنواخت تر گردید. حیدری فروشانی و نصیری (۱۳۹۵) در بررسی ویژگی های بافتی میوه گلابی طی فرآیند خشک کردن در خشک کن قفسه ای به نتایج مشابهی رسیدند [۴]. رول و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافتند [۳۰]. از سوی دیگر طبق جدول مقایسه میانگین ۱۶، بیشترین امتیاز در ارزیابی صفت طعم به تیمار T<sub>۴</sub> به مقدار ۴/۷ و کمترین امتیاز در ارزیابی به تیمار T<sub>۶</sub> به مقدار ۲/۸ تعلق گرفت. در حین فرآیند خشک کردن، واکنش های نامطلوبی (به ویژه اکسیداسیون) رخ می دهد که به علت تشکیل طعم نامطلوب، باعث افت کیفیت محصول می شوند. مهمترین واکنش

- Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 1745-4549.
- [9] Anonymous. (2003). Approved methods of analysis of the American Association of Cereal Chemists (10<sup>th</sup>ed.), In., stpaul.
- [10]. Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Congress on Agricultural Mechanization and Energy. P. 565-569.
- [11] Mujumdar, A. S. (2000). Drying Technology in Agriculture and Food Science. Science Publisher, Inc. P. 313.
- [12] Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Sci. PP. 460.
- [13] Mayor, L., Sereno, A. M. (2004). Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(3): 373-386.
- [14] Anonymous. 1990. Approved methods of analysis of the American Association of Cereal Chemists (10<sup>th</sup>ed.), In., and stpaul.
- [15] Mousavi Bayegi, S. F., Farahmand, A., Taghizadeh, M., Ziafouroughi, M. A. (2016). Modeling on hot air and infrared thin layers drying of persimmon slices. *Journal Food Science Technology*, 53(13): 161-171. [In Farsi]
- [16] Evin, D. (2012). Thin layer drying kinetics of gundelia tournefortii L. *Food and Bioproducts processing*, 90(2): 323-332.
- [17] Fahimi, R., Askari, B., Ghareh Beglo, P., Mokhtari, F., Farzbood, P. (2014). Evaluation of the best kinetic model in thin layer drying of zucchini using convective hot air dryer. *Journal of Food Technology & Nutrition*, 11(2): 63-72. [In Farsi]
- [18] Chen, D., Zheng, Y., Xifeng, Z. (2012). Determination of effective moisture diffusivity and drying kinetics for poplar sawdust by thermogravimetric analysis under isothermal condition. *Bioresource Technology*, 107:451-455.
- [19] Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., Rossello, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66(3): 323-328.
- چروکیدگی به ترتیب مدل های پیچ و گارزا پیشنهاد گردیدند. قابل توجه اینکه تیمار T<sub>4</sub> به عنوان بهترین تیمار از نظر ارزیابی حسی انتخاب شد. در ادامه از آن جا که اختلاف معنی داری بین اکثر تیمارها وجود نداشت و با در نظر گرفتن شرایط بهینه برای تمام صفت ها، تیمار T<sub>4</sub> (خشک کردن در دمای 65°C و سرعت هوای داغ 2 m/s) به علت حفظ مطلوب پروتئین به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

## ۵- منابع

- [1] Vioque, J., Alaiz, M., Girón-Calle, J. (2012). Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food Chemistry*, 132(1): 67-72.
- [2] Anonymous. (2016). Statistical data of agriculture organization. IT Section of agricultural office. [In Farsi]
- [3] Cepeda, E., Villaran, M. C., Aranguiz, N. (1998). Functional properties of faba bean (*Vicia faba*) protein flour dried by spray drying and freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 36: 301-310.
- [4] Heydari Foroushani, M. M., Nasiri, S. M. (2016). Study on textural properties of pear fruit during drying in a cabinet dryer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(2): 214-225. [In Farsi]
- [5] Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaifar, A. M. (2017). Kinetics modeling of thin-layer drying of button mushroom in combined infrared-hot air dryer. *Journal Food Science Technology*, 61(13): 87-97. [In Farsi]
- [6] Barroca, M. j., Guine, R. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, 90: 58-63.
- [7] Fethi Mechlouch, R., Elfalleh, W., Ziadi, M., Hannachi, H., Chwikhi, M., Ben Aoun, A., Elakesh, I. (2012). Effect of different drying methods on the physico-chemical properties of tomato variety "Rio Grande". *International Journal of Food Engineering*, 8(2): 1-13.
- [8] Rodriguez, M., Rodriguez, A., Mascheroni, R. (2015). Color texture, rehydration ability and phenolic compounds of plums partially osmodehydrated and finish-dried by hot air.



- potato. *Iran Food Science and Technology*, 13(59): 85-96.
- [27] Arslan, D., Özcan, M. M. (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 504–513.
- [28] Salehizadeh, P., Bassiri, A., Mizani, M. (2011). The Effect of drying air temperature on the quality of dried apricots using convection oven. *Food Technology & Nutrition*, 8(3): 88-99. [In Farsi]
- [29] Sharma, G. P., Prasad, S. (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave- convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65(4): 609–617.
- [30] Rolle, L., Giordano, M., Giacosa, S., Vincenzi, S., Segadea, S. R., Torchio, F., Perrone, B., Gerbi, V. (2012). CIEL\*a\*b\* parameters of white dehydrated grapes as quality markers according to chemical composition. Volatile profile and mechanical properties. *Analytica Chimica Acta*, 732: 105-113.
- [31] Kashani nejad, M., Mortazavi, S. A., Saif kordi, A. A., Maghsoudloo, Y. (2005). Evaluation of effective drying parameters on qualitative properties of pistachios (Ohady variety). *Iranian Agricultural Science Journal*, 36(5): 1075-1085. [In Farsi]
- [20] Amiripour, M., Habibi Najafi, M. B., Mohebbi, M., Emadi, B. (2017). Optimization of osmosis-hot air drying of pear using Response Surface Methodology. *Journal Food Science Technology*, 62(14): 57-65. [In Farsi]
- [21] Zhou, G. H., Xu, X. L. Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat: a review. *Journal of Meat Science*, 86: 119–120.
- [22] Rasouli, M., Seiedlou, S. (2012). Study of the shrinkage changes and mathematical modeling of garlic (*Allium Sativum* L.) during convective drying. *Journal of Agricultural Machinery Engineering*, 2(1): 67-73. [In Farsi]
- [23] Mohammadi, M., Pourfallah, Z., Maskouki, A., Nahardani, M. (2012). Evaluation of drying kinetics of quince slices. *Science and Food Technology*, 4(1): 55-64. [In Farsi]
- [24] Khayati, S., Amiri Chayjan, R. (2016). Prediction of some thermal, physical and mechanical properties of terebinth fruit after semi-industrial continuous drying using artificial neural networks. *Journal Food Science Technology*, 52(13): 161-172. [In Farsi]
- [25] Sharifian, F., Kave, M. (2014). Convective air drying kinetics of corn. *Mechanical Science in Agriculture*, 2(2): 88-99. [In Farsi]
- [26] Yoosefian, S. H., Razdari, A. M., Kiani, H., Seyhoon, M. (2016). Determination of optimal conditions using response surface method and comparison of naural network and regression method of drying gamma irradiated

## Investigation of effective parameters in drying process using hot air on some qualitative properties of common bean

Maleki, A.<sup>1</sup>, Ahmadi Chenarbon, H.<sup>2\*</sup>, Movahhed, S.<sup>3</sup>

1. MSc Student, Department of Food Science, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Science, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

(Received: 2016/12/30 Accepted: 2017/07/15)

Faba bean is a plant from the legumes (Fabaceae) family, and like other legumes, the protein of its pulse has two albumin and globulin components. Its high starch and digestible protein contents are two other reasons for its widespread cultivation. In this study, the effect of temperature at three levels (55, 65, 75°C) and hot-air speed at two levels (1 and 2 m/s) on qualitative and sensory properties of faba beans were investigated during drying process. Results showed that the highest protein content (3.21) belonged to the T2 treatment (drying at 55°C and 2 m/s). As for discoloration ( $\Delta E$ ), T1 (drying at 55°C and 1 m/s) with 27.66 had the lowest results. Moreover, the lowest drying time belonged to T6 (drying at 75°C and 2 m/s) with 29 minutes. The best model for drying and shrinkage were Page and Garzera, respectively. The highest shrinkage (15.2%) was in T5 (drying at 75°C and 1 m/s). According to results, the highest effective moisture diffusion coefficient  $4.53 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  and the lowest activation energy 15.9 kJ/mol were reported in T6, respectively. In addition, T4 (drying at 65°C and 2 m/s) was the best treatment in all sensory properties. However, as there is no significant difference between some of treatment, Study findings suggest that T4 can be introduced as the best treatment.

**Key Words:** Bean, Drying, Protein, Shrinkage.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir