



تعیین شرایط بهینه فندق خشک شده به روش مادون قرمز با استفاده از روش سطح پاسخ

مریم احمدی قویدلان^{۱*} و رضا امیری چایجان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
maryam.ahmadi18@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

چکیده

در این پژوهش، برای تعیین شرایط بهینه خشک کردن فندق به روش بستر سیال مادون قرمز از روش سطح پاسخ استفاده شد. با استفاده از این روش مدل‌های رگرسیون برای پاسخ‌های L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن بدست آمدند و شرایط بهینه تعیین شدند. نمونه‌های فندق در سه سطح دمای هوا (۴۵، ۶۵ و ۸۵ درجه سانتیگراد)، سه سطح سرعت هوا (۱،۳۰، ۳،۹۹ و ۴،۸۷ متر بر ثانیه) و سه سطح توان مادون قرمز (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات) خشک شدند. دمای هوا، سرعت هوا و توان مادون قرمز به عنوان متغیرهای مستقل و L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن به عنوان متغیرهای وابسته انتخاب شدند. آزمایش‌ها بر اساس طرح مکعب مرکزی با در نظر گرفتن سه سطح شامل نقاط حقیقی، مرکزی و محوری برای هر یک از متغیرهای ذکر شده، انجام شدند. شرایط بهینه برای خشک کردن فندق در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۲/۵۶ متر بر ثانیه و توان مادون قرمز ۵۰۰ وات بدست آمد. این شرایط بهینه برای دستیابی به حداقل ΔE ، حداکثر L^* ، حداقل a^* و b^* و حداقل زمان خشک کردن تعیین شدند. مقدار L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن در این شرایط بهینه به ترتیب ۵۶/۸۸، ۱۵/۹۳۲، ۱۹/۳۰۲، ۲/۹۲ و ۳۸۱/۶۶۳ (دقیقه) پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، روش سطح پاسخ، خشک‌کن مادون قرمز، فندق



مقدمه

فندق (*Corylus avellana* L.) در میان مواد دانه‌ای به دلیل داشتن مواد مغذی از قبیل پروتئین‌ها (۱۵-۱۹ درصد)، کربوهیدرات‌ها (۱۵-۱۷ درصد)، چربی‌ها (۶۰ درصد)، ویتامین‌ها و مواد معدنی نقش مهمی را در تغذیه و سلامت انسان دارد (Alphan *et al.*, 1996). فندق یکی از مهمترین مواد خام مصرفی در صنایع غذایی برای تولید شکلات، بیسکویت، آب‌نبات، شیرینی و بستنی می‌باشد. همچنین علاوه بر نقش تغذیه‌ای و سلامتی، در برخی از فرآورده‌های غذایی برای اضافه کردن طعم، عطر، بافت و فیبر به غذاهای مختلف استفاده می‌شود (Delgado *et al.*, 2010). به طور کلی ۸۰ درصد فندق تولید شده در صنایع غذایی به صورت ماده خام استفاده می‌شود و باقی آن برای تولید روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین مهم است که نقاط بهینه در خشک کردن فندق تعیین شود به نحوی که ویژگی‌های فندق تازه حفظ شود. خشک کردن یکی از معمول‌ترین روش‌های نگهداری فندق در طی عملیات پس از برداشت است. خشک کردن به معنای حذف رطوبت از محصولات کشاورزی به دلیل انتقال همزمان حرارت و جرم است. همچنین خشک کردن یکی از روشهای نگهداری محصولات کشاورزی و حفاظت آنها در برابر حشرات، کپک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها، افزایش ماندگاری محصول و کاهش هزینه حمل و نقل محصول می‌باشد، که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف خشک کردن حذف رطوبت تا یک سطح از پیش تعیین شده است (Liu *et al.*, 2012). خشک کردن مواد دانه‌ای در صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اندازه و طبیعت مواد دانه‌ای از انواع مختلف خشک‌کن از قبیل خشک‌کن پاششی، مادون قرمز، میکروویو و غیره استفاده می‌شود (Topuz *et al.*, 2004). زمانی که از اشعه مادون قرمز برای خشک کردن استفاده می‌شود این اشعه اندکی به داخل موادی که در معرض تابش هستند نفوذ می‌کند و انرژی تابشی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. در واقع تشعشع وسیله‌ای برای انتقال حرارت بین دو جامد است و این حرارت برای خشک کردن به کار می‌رود. خشک‌کن مادون قرمز نسبت به سایر خشک‌کن‌ها دارای مزایایی است از قبیل: انتقال حرارت بالا، کاهش زمان خشک کردن و هزینه کم. یکی از مهمترین چالش‌ها در طول فرآیند خشک کردن مواد غذایی این است که عطر، طعم، رنگ و مواد مغذی آنها از دست نرود. از مهمترین راه‌ها برای کاهش عوارض جانبی ناشی از خشک کردن و یا برای اطمینان از کیفیت اولیه محصول خشک شده این است که در طراحی خشک‌کن‌ها دقت لازم شود (Lewicki, 2006). یکی از مهمترین معیارها برای بازاریابی مواد غذایی، رنگ آنها است. تغییرات نامطلوب در رنگ غذا ممکن است باعث کاهش کیفیت و ارزش بازاریابی آن شود. تغییرات ناشی از خشک شدن باعث می‌شود که ویژگی‌های سطحی ماده غذایی تغییر کند و در نهایت منجر به تغییر رنگ ماده غذایی شود. تغییرات شیمیایی رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدها ناشی از گرما و اکسیداسیون در حین خشک کردن اتفاق می‌افتد. واکنش‌های اکسیداسیون و فعالیت آنزیم‌ها سبب قهوه‌ای شدن محصولات غذایی در حین انبارداری می‌شود (فلاحی، ۱۳۷۶).



روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که برای فرآیندهای گسترش، بهبود و بهینه‌سازی مفید می‌باشد. با این روش تعداد آزمایش‌ها برای ارزیابی پارامترهای چندگانه و روابط متقابل آن‌ها، کاهش می‌یابد (Myers *et al.*, 2009). روش سطح پاسخ کاربرد مهمی در صنعت از قبیل طراحی، توسعه و بهبود کیفیت محصول دارد، بعلاوه این روش برای تجزیه و تحلیل تأثیر متغیرهای مستقل و وابسته و ارائه مدل ریاضی بکار می‌رود که بیانگر فرآیندهای غذایی و صنعتی می‌باشد (Chakraborty *et al.*, 2007). در واقع متدولوژی صفحات پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و روش‌های آماری جمع‌آوری اطلاعات است که می‌تواند با مدل‌سازی‌های ریاضی و آماری فاکتورهای موثر در یک فرآیند، اثر آنها را بر پاسخ بهینه‌سازی نماید. روش سطح پاسخ اغلب برای بهینه‌سازی فرآیندهای غذایی استفاده می‌شود (Kumar *et al.*, 2009). با توجه به اهمیت غذایی و دارویی فندق، مزایای خشک‌کن مادون قرمز و به دلیل این‌که قبلاً از خشک‌کن مادون قرمز برای خشک کردن فندق جهت تعیین ویژگی‌های کیفی استفاده نشده و همچنین مطالعات بهینه‌سازی خشک کردن فندق صورت نگرفته است، لذا هدف این پژوهش عبارت است از تعیین شرایط بهینه خشک کردن فندق در خشک‌کن مادون قرمز با استفاده از روش سطح پاسخ.

مواد و روش‌ها

روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌های خشک کردن با استفاده از یک خشک‌کن بستر سیال مادون قرمز که در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا طراحی و ساخته شده است، انجام شد. نمونه‌های فندق تازه از باغ‌های شهرستان رحیم آباد، استان گیلان، تهیه شدند. سپس نمونه‌ها در یخچال در دمای 3 ± 1 درجه سلسیوس برای جلوگیری از دست دادن رطوبت ذخیره شدند. سپس برای تعیین مقدار رطوبت اولیه فندق نمونه‌های 23 گرمی در آن در دمای 1 ± 10 درجه سلسیوس به مدت شش ساعت قرار گرفته و خشک شدند (Ceylan and Aktaş, 2008). به طوری که تغییر وزنی بین دو بار توزین مشاهده نشد. و از یک ترازو با دقت 0.01 برای وزن کردن استفاده شد. مقدار رطوبت اولیه با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$MC_{db} = \frac{M_i - M_d}{M_d} \quad (1)$$

مقدار رطوبت اولیه 0.42 بر پایه خشک به دست آمد. در طی انجام آزمایش‌ها رطوبت فندق توسط خشک‌کن از یک مقدار اولیه 0.42 به مقدار 0.04 پایه خشک رسانده شد. خشک‌کن شامل 4 لامپ مادون قرمز با توان 1500 وات بود که با توجه به شرایط آزمایش تنها از 3 لامپ استفاده شد. آزمایش‌های خشک کردن تحت شرایط سه سطح دمای هوای 45 ، 65 و 85 درجه سلسیوس، سه سطح سرعت هوای $1/30$ ، $3/99$ و $4/87$ متر بر ثانیه و سه سطح توان مادون قرمز 500 ، 1000 و 1500 وات انجام شدند. برای



انجام هر آزمایش، تقریباً مقدار ۵۳ گرم فندق در داخل ظرف به صورت لایه نازک قرار داده شد. در این خشک‌کن اشعه مادون قرمز از سطح ماده به درون آن نفوذ می‌کند و مولکول‌ها را به نوسان در می‌آورد و باعث ایجاد حرارت در ماده می‌شود.

طرح آزمایش

تأثیر سه متغیر مستقل (دمای هوا، سرعت هوا، توان مادون قرمز) بر روی متغیرهای وابسته (L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن) با استفاده از طرح مکعب مرکزی (Face-CCD) بررسی شد. فرض شد که سه تابع ریاضی f_k برای y_k وجود داشته باشد که به صورت زیر است:

$$y_k = f_k(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) \quad (2)$$

که در آن $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$ متغیرهای طبیعی هستند به دلیل این که بر حسب واحدهای طبیعی می‌باشند. ε_1 دمای هوای خشک کردن (درجه سلسیوس)، ε_2 سرعت هوای خشک کردن (متر بر ثانیه) و ε_3 توان مادون قرمز (وات) می‌باشند. در مسائل RSM این متغیرهای طبیعی به متغیرهای کد شده (x_1, x_2, x_3) تبدیل می‌شوند به صورت زیر:

$$y_k = f_k(x_1, x_2, x_3) \quad (3)$$

در این پژوهش برای مدل‌سازی فرآیند خشک کردن از یک مدل چندجمله‌ای مرتبه دوم استفاده شد (Lin et al., 2007):

$$y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

که در رابطه بالا y_k پاسخ‌های پیش‌بینی شده از قبیل L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن می‌باشند که به عنوان متغیرهای وابسته بودند ($k=1, 2, \dots, 5$). x_i متغیرهای کد شده ورودی یا همان متغیرهای مستقل می‌باشد ($i=1, 2, 3$). مقدار متغیرهای مستقل بین -۱ و +۱ کدبندی شد (جدول ۱). β_0 ، β_i ، β_{ij} و β_{ii} پارامترهای ضرایب رگرسیون می‌باشند. با استفاده از مدل درجه دوم، پنج مدل ریاضی به فرم مذکور برای هر متغیر وابسته (پاسخ) ارزیابی شدند. هر فاکتور در طرح مکعب مرکزی در سه سطح مختلف (-۱، ۰، +۱)، دو نقطه محوری و شش تکرار در نقطه مرکزی مطالعه شد. در طرح مکعب مرکزی ۲۰ واحد آزمایشی حاصل شد (جدول ۲).



جدول ۱. متغیرهای مستقل و مقادیر آنها

سطوح			علائم	متغیرهای مستقل
-۱	۰	+۱	متغیرهای کد شده	متغیرهای طبیعی
۴۵	۶۵	۸۵	ε_1	X_1 دمای هوا (درجه سلسیوس)
۱/۳۰	۳/۹۹	۴/۸۷	ε_2	X_2 سرعت هوا (متر بر ثانیه)
۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	ε_3	X_3 توان مادون قرمز (وات)

جدول ۲. طرح آزمایش و نتیجه هر واحد آزمایشی

واحد آزمایشی	فاکتورها				توان مادون قرمز (X_3)	سرعت هوا (X_2)	دمای هوا (X_1)	
	ΔE (Y ₄)	b* (Y ₃)	a* (Y ₂)	L* (Y ₁)				
۱	۲۵۰	۳/۵۳۸	۱۹/۷۸۶	۱۶/۹۳۲	۵۶/۶۷	-۱	۰	۰
۲	۱۳۰	۹/۱۱۸	۱۷/۹۵۸	۱۷/۲۱۸	۵۱/۱۲	-۱	-۱	۱
۳	۹۰	۷/۵۱۰	۱۸/۷۵۸	۱۷/۲۴۴	۵۲/۶۴	۱	۱	۱
۴	۲۲۰	۶/۰۷۱	۱۹/۶۵۹	۱۶/۶۱۰	۵۳/۸۳	۰	۰	۰
۵	۸۲۰	۴/۹۰۵	۱۸/۲۰۴	۱۵/۸۴۲	۵۵/۲۹	-۱	۱	-۱
۶	۵۸۰	۳/۴۳۹	۱۹/۴۸۴	۱۶/۰۷۲	۵۶/۴۷	۰	۰	-۱
۷	۲۱۰	۴/۸۰۶	۱۹/۴۹۶	۱۶/۹۳۲	۵۵/۲۹	۱	۰	۰
۸	۱۹۰	۶/۶۵۳	۱۹/۸۹۴	۱۷/۶۷۸	۵۳/۵۵	۰	-۱	۰
۹	۳۲۰	۶/۳۳۷	۱۹/۰۶۴	۱۷/۰۳۴	۵۳/۷۶۶	۱	-۱	-۱
۱۰	۶۵۰	۴/۵۷۲	۱۹/۲۹۲	۱۶/۳۸	۵۵/۴۰۲	-۱	-۱	-۱
۱۱	۶۵۰	۴/۸۰۶	۱۹/۸۹۴	۱۷/۶۷۸	۵۳/۵۵	۰	۰	۰
۱۲	۱۲۰	۸/۵۳۱	۱۹/۷۷۴	۱۷/۲۸۸	۵۱/۴۶	۰	۰	۱
۱۳	۲۰۵	۶/۰۹۱	۱۹/۶۱۲	۱۶/۶۳۰	۵۳/۸۵	۰	۰	۰
۱۴	۲۴۰	۵/۷۰۶	۱۹/۰۹۸	۱۷/۲۷۴	۵۴/۵۲	۰	۱	۰
۱۵	۸۵	۱۱/۴۰۸	۱۹/۳۹۴	۱۷/۶۸۸	۴۸/۶۱۸	۱	-۱	۱
۱۶	۱۳۰	۶/۰۶۱	۱۹/۶۵۸	۱۶/۶۰۰	۵۳/۸۲	۰	۰	۰
۱۷	۱۲۰	۱۰/۴۸۹	۱۸/۵۷۴	۱۷/۵۷۸	۴۹/۶۳	-۱	۱	۱
۱۸	۳۲۰	۶/۱۰۱	۱۹/۶۲۳	۱۶/۶۴۰	۵۳/۸۶	۰	۰	۰
۱۹	۵۸۰	۵/۰۷۳	۱۸/۰۴۴	۱۶/۴۴۲	۵۵/۳۰	۱	۱	-۱
۲۰	۲۱۰	۶/۰۵۱	۱۹/۶۵۷	۱۶/۵۹۰	۵۳/۸۱	۰	۰	۰



طراحی آزمایش و همچنین بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7 انجام شد. همچنین تجزیه واریانس بر روی ضرایب مدل درجه دوم با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد. جملات معنادار در مدل با استفاده از تجزیه واریانس برای هر پاسخ بدست آمد. در پژوهش حاضر با توجه به تعدد عوامل تأثیرگذار بر بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن فندق، روش آماری سطح پاسخ به عنوان گزینه مناسبی برای بهینه‌سازی فرآیند انتخاب شد. در تکنیک‌های روش سطح پاسخ، طرح‌های فاکتوریل مختلفی وجود دارد که در این پژوهش یک مدل با سه متغیر مستقل و پنج پاسخ به عنوان طرح فاکتوریل مکعب مرکزی استفاده شد. بر اساس درجه مطلوبیت بدست آمده شرایط بهینه فرآیند شامل کمترین مقدار a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن و بیشترین مقدار L^* تعیین شدند.

نتیجه و بحث

سینتیک خشک کردن

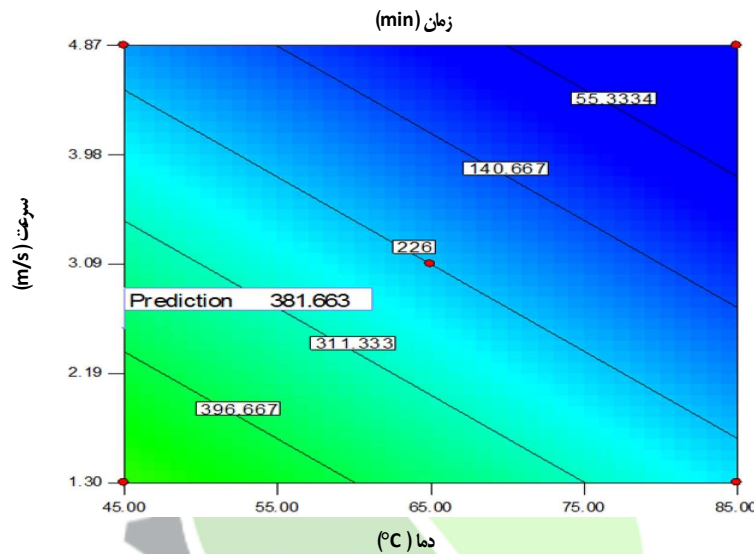
نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که دمای هوای خشک کردن تأثیر معناداری بر روی مقدار رطوبت دانه‌های فندق داشت و زمان خشک کردن با افزایش دمای هوای خشک کردن از ۴۵ به ۸۵ درجه سلسیوس و همچنین با افزایش توان مادون قرمز از ۵۰۰ به ۱۵۰۰ وات تقریباً ۴ برابر کمتر شد. از آنجا که ویژگی‌های مواد غذایی و ترکیبات آن‌ها به طور همزمان هم بر انتقال حرارت و هم بر انتقال جرم تأثیر می‌گذارند و در نهایت هر دوی این موارد بر خصوصیات محصول نهایی اثر می‌گذارند و همچنین به دلیل این که فندق مقدار بالایی چربی داشت همین امر باعث شد که انتقال حرارت و جرم به سختی صورت گیرد و زمان خشک کردن به خصوص در دماهای پایین بسیار بالا باشد.

بهینه‌سازی

با استفاده از نرم افزار Design Expert 7، ۲۱ انتخاب در بهینه‌سازی فرآیند برای رسیدن به هدف‌های مورد نظر پیشنهاد شد. در بین همه راه‌حل‌های انتخابی توسط نرم افزار نقطه بهینه با توجه به بیشترین مقدار شاخص L^* و کمترین مقدار شاخص‌های a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن انتخاب شد. در طول بهینه‌سازی خشک کردن فندق، پارامتر کیفی رنگ دارای اهمیت بیشتر و زمان خشک کردن از درجه اهمیت کمتری برخوردار بود و برای آن از ضرایب وزنی بیشتری استفاده شد. بهترین شرایط بهینه مربوط به دمای ۴۵ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۲/۵۶ متر بر ثانیه و توان مادون قرمز ۵۰۰ وات بود. مقادیر بهینه برای L^* ، a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن در شرایط بهینه به ترتیب ۵۶/۸۸، ۱۵/۹۳۲، ۱۹/۳۰۲، ۳/۰۹۵ و ۳۸۱/۶۶۳ (دقیقه) پیشنهاد شد. بر اساس روند فرآیند خشک کردن همان‌طور که انتظار داشتیم در دماها و سرعت‌های هوای بالا، خشک کردن اولیه نمونه‌های فندق سریعتر

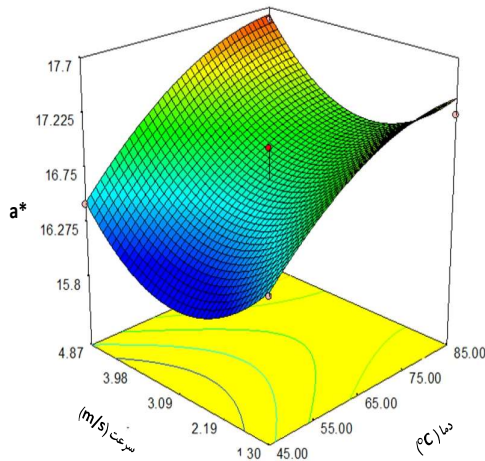


انجام شد و زمان خشک کردن کاهش یافت (شکل ۱). علت کوتاه‌تر بودن زمان خشک کردن در دماهای هوای بالا، افزایش گرادیان حرارتی و همچنین افزایش نرخ تبخیر رطوبت بود. در سرعت‌های هوای بالا به دلیل دور شدن بخار از محفظه خشک‌کن، کاهش فشار بخار اطراف نمونه‌ها، جلوگیری از اشباع شدن هوای اطراف و در نهایت افزایش مکش سطحی، زمان خشک شدن کاهش یافت.

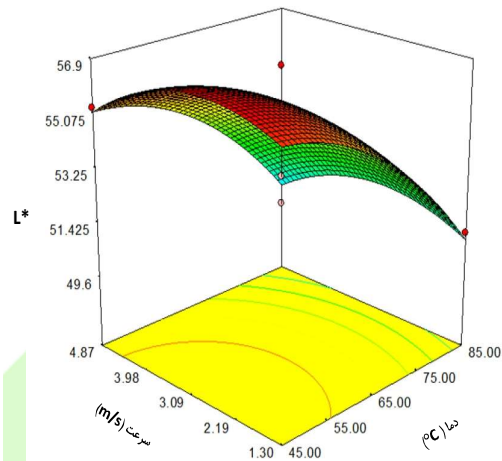


شکل ۱. تأثیر دما و سرعت هوا بر زمان خشک کردن

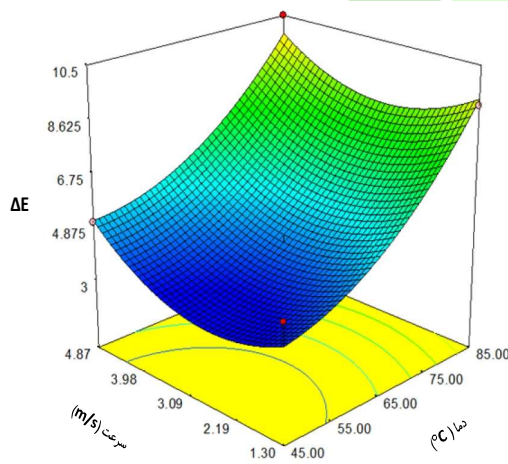
زمان بهینه خشک کردن توسط نرم افزار در دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۲/۵۶ متر بر ثانیه و توان مادون قرمز ۵۰۰ وات، ۳۸۱/۶۶۳ دقیقه پیشنهاد شد. دماها و سرعت‌های بالا اگرچه باعث کاهش زمان خشک کردن شد اما از طرفی باعث افزایش تغییرات رنگ شد. با توجه به شرایط بهینه مشاهده شد که بیشترین مقدار L^* و کمترین مقدار تغییر رنگ کل نمونه‌ها مربوط به دمای پایین می‌باشد و دماهای بالا تأثیر منفی بر تغییرات رنگ نمونه‌های فندق خشک شده گذاشت و باعث شد که مقدار ΔE و a^* نمونه‌های فندق خشک شده بیشتر شود (شکل ۳ و ۵)، و مقدار L^* و b^* کاهش یابد (شکل ۲ و ۴). در طی فرآیند خشک کردن اکسیداسیون کاروتن صورت می‌گیرد در نتیجه این اکسیداسیون از شدت رنگ کاروتن کاسته می‌شود و در اثر حرارت ممکن است رنگدانه سبز کلروفیل تبدیل به فتوفتین شود که رنگ زیتونی مایل به قهوه‌ای دارد، به طور کلی، زمانی که دما افزایش می‌یابد ظرفیت نگهداری رنگدانه نیز کاهش می‌یابد (فاطمی، ۱۳۹۱). عمدتاً این تغییر در رنگ دانه‌ها می‌تواند به علت تأثیر حرارت بر روی ترکیبات حساس به حرارت از قبیل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها باشد که همین امر منجر به تغییر در رنگ در طول فرآیند خشک کردن می‌شود.



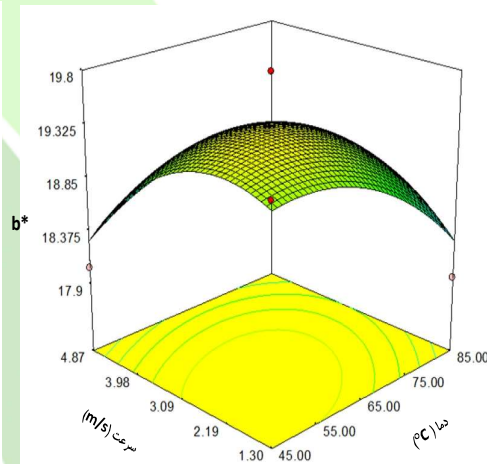
شکل ۳. رابطه بین دما و سرعت هوا با شاخص رنگ a^*



شکل ۲. رابطه بین دما و سرعت هوا با شاخص رنگ L^*



شکل ۵. رابطه بین دما و سرعت هوا با شاخص رنگ ΔE



شکل ۴. رابطه بین دما و سرعت هوا با شاخص رنگ b^*

همچنین در طول فرآیند خشک کردن واکنش قهوه‌ای شدن اتفاق می‌افتد که این تغییرات رنگ (کاهش L^* و b^* و افزایش ΔE و a^*) می‌تواند به دلیل قهوه‌ای شدن محصول باشد (Bchir *et al.*, 2010). در دماهای بالا میزان قهوه‌ای شدن محصول افزایش می‌یابد. این نتیجه با برخی از تحقیقات انجام شده بر روی تغییرات رنگ محصول در طول فرآیند خشک کردن مطابقت داشت از جمله در خشک کردن برگ‌های گزنه گزارش شد که با افزایش دمای هوا مقدار شاخص ΔE و a^* افزایش و مقدار شاخص L^* و b^* کاهش یافت (Alibas, 2007).



نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تأثیر دمای هوا، سرعت هوا و توان مادون قرمز بر روی خشک کردن نمونه‌های فندق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که منحنی‌های خشک شدن نمونه‌های فندق بیشتر تحت تأثیر دمای هوا قرار دارند. بر اساس آزمایش‌های انجام شده شرایط بهینه ی جهت حصول حداکثر L^* و حداقل a^* ، b^* ، ΔE و زمان خشک کردن، دمای هوای ۴۵ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۲/۵۶ متر بر ثانیه و توان مادون قرمز ۵۰۰ وات به عنوان شرایط بهینه تعیین گردید. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که تأثیر دمای هوا و اثر متقابل سرعت- توان مادون قرمز بر روی تغییرات همه شاخص‌های رنگ (b^* ، a^* ، L^*) و همچنین زمان خشک کردن، در سطح ۵٪ معنادار بود. افزایش دمای هوا، منجر به افزایش ΔE و a^* و کاهش مقدار L^* و b^* و همچنین کاهش معنی دار زمان خشک شدن محصول گردید. با توجه به شرایط بهینه‌ای که توسط نرم افزار پیشنهاد شد می‌توان از نتایج بدست آمده چنین برداشت نمود که بهتر است خشک کردن دانه‌های فندق برای افزایش کیفیت و افزایش بازارپسندی در دمای هوای ، سرعت هوای و توان مادون قرمز پایین صورت بگیرد.

منابع

- ۱- فلاوز، پ.ج. ترجمه: فلاحی، م. ۱۳۷۶، تکنولوژی فرآوری مواد غذایی مقدمه‌ای بر ماشین‌آلات. چاپ اول، انتشارات بارثاوا (ترجمه).
- ۲- فاطمی، ح. ۱۳۹۱. اصول تکنولوژی نگهداری مواد غذایی. چاپ پنجم، شرکت سهامی انتشار.
- 3- Alibas, I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering* 96 (4): 495-502.
- 4- Alphan, E., M. Pala, F. Açkurt, and T. Yılmaz. 1996. Nutritional composition of hazelnuts and its effects on glucose and lipid metabolism. *International Society for Horticultural Science* 445: 305-310.
- 5- Bchir, B., S. Besbes, R. Karoui, H. Attia, M. Paquot, and CH. Blecker. 2010. Effect of air-dryin conditions on physico-chemical prope of osmotica -treated pomegranate seeds. *Food and Bioprocess Technology* 5: 1840-1852.
- 6- Ceylan, İ., M. Aktaş. 2008. Modeling of a hazelnut dryer assisted heat pump by using artificial neural networks. *Applied Energy* 85: 841-854.
- 7- Chakraborty S.K., B.K. Kumbhar, and B.C. Sarkar. 2007. Process parameter optimization for instant pigeon pea dhal using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 81(1): 171-178.
- 8- Delgado, T., R. Malheiro, J.A. Pereira, and E. Ramalhosa. 2010. Hazelnut (*Corylus avellana*L.) kernels as a source of antioxidants and their potential in relation to other nuts. *Industrial Crops and Products* 32: 621-626.
- 9- Kumar, Y.S., R.S. Prakasam, and O.V.S. Reddy. 2009. Optimisation of fermentation conditions for mango (*Mangifera indica* L.) wine production by employing response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 2320-2327.
- 10- Lewicki, P.P. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology* 17: 153-163.
- 11- Lin, Y.P., T.Y. Lee, J.H. Tsen, and V.A.E. King. 2007. Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *Journal of Food Engineering* 79: 1295-1301.
- 12- Liu, G., J. Chen, M. Liu, and X.Wan. 2012. Shrinkage, porosity and density behaviour during convective drying of bio-porous material. *Procedia Engineering* 31: 634-640.
- 13- Myers, R.H., D.C. Montgomery, and C.M. Anderson-Cook. 2009. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey USA.
- 14- Topuz, A., M. Gur, and M.Z. Gul. 2004. An experimental and numerical study of fluidized bed drying of hazelnuts. *Applied Thermal Engineering* 24: 1535-1547.

Determination of optimum conditions of hazelnut drying under infrared radiation using response surface methodology

Maryam Ahmadi Ghavidelan^{1*} and Reza Amiri Chayjan²

- 1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan
maryam.ahmadi18@yahoo.com
- 2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan

Abstract

In this study, response surface methodology was used to determine the optimum conditions of hazelnut drying under infrared fluidized bed. L^* , a^* , b^* , ΔE responses and infrared time were attained by regressions models and the optimum conditions were determined. Hazelnut samples were dried within under three levels of air temperature (45, 65, 85 °C), three levels of air velocity (1.30, 3.99, 4.87 m/s) and three levels of infrared power (500, 1000, 1500 W). Air temperature, air velocity and infrared power were applied as independent variables, as well as, drying time, L^* , a^* , b^* and ΔE were selected as dependent variables. The experiments were conducted based on central composite design (CCD) by considering three levels such as: fact, central and axial points for every aforementioned variable. The optimum conditions to drying hazelnut involved 45°C for air temperature, 2.56 m/s for air velocity and 500 W for infrared power. The optimum conditions were determined to be attained minimum of a^* , b^* , ΔE and drying time and maximum of L . During this condition, amounts of L^* , a^* , b^* , ΔE and drying time was suggested 56.88, 15.932, 19.302, 2.92 and 381.663 min respectively.

Key words: Optimisation, Response surface methodology, Infrared drying, Huzelnut.