Archive of SID

مدل‌سازی فرآیند برشته کردن مغز بادام زمینی با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز

هادی باقری[a*]، مهدی کاشانی نژاد[b]، امان محمد ضیائی فر[c]، مهران اعلمی[d]

[a] دانشجوی دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[b] استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[c] استادیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[d] دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۹/۱۹

چکیده

مقدمه: برشته کردن یکی از متداول‌ترین اشکال فرآوری مغزها بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فرآورده است. استفاده از هوای داغ به منظور برشته کردن مغزها، اغلب با مشکلاتی همچون نرخ پائین تولید، کیفیت پائین محصول و بالا بودن هزینه انرژی همراه است، بنابراین ضرروی است که از روش‌های مناسب جدید برای برشته کردن بادام زمینی استفاده گردد. از روش‌های جدید برشته کردن مغزها می‌توان به استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز اشاره کرد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مغزهای بادام زمینی با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز تحت تیمارهای دمای (۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و توان (۱۳۰، ۱۶۵ و ۲۰۰ وات) قرار گرفتند و میزان رطوبت نهایی و انرژی مصرفی سامانه ترکیبی تحت شرایط مختلف اندازه‌گیری شد. سینتیک برشته شدن مغز بادام زمینی مورد بررسی قرار گرفت و برای مدل‌سازی برشته شدن مغز بادام زمینی از ۵ مدل لایه نازک استفاده شد. به منظور تعیین ضرایب این مدل ها، از آنالیز رگرسیون غیر خطی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مدل‌سازی نشان‌دهنده برتری مدل دوجمله‌ای و مدل لگاریتمی نسبت به سایر مدل‌ها برای برازش داده‌های آزمایشگاهی بود. این دو مدل، RMSE بسیار پایین، ضریب تعین (R^2) و ضریب تعیین متعادل شده ($adj\ R^2$)، بالایی داشتند. مقدار ضریب نفوذ موثر در محدوده $۱/۹۱۵\times۱۰^{-۷}$ - $۶/۰۵۴\times۱۰^{-۷}$ متر مربع بر ثانیه قرار داشت و با افزایش دما و توان افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما و توان، مقدار رطوبت نهایی مغز بادام زمینی کاهش یافت و مقدار مصرف انرژی با افزایش دمای هوای داغ افزایش یافت، این درحالی است که با افزایش توان لامپ، مقدار انرژی مصرفی سامانه کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از تحقیق نشان‌دهنده این است که استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز یک روش مقرون به صرفه از نظر مصرف انرژی به شمار می‌آید و با افزایش توان از میزان مصرف انرژی سامانه کاسته شد، بنابراین با به کارگیری توان‌های بالا می‌توان باعث کاهش مصرف انرژی در سامانه‌های ترکیبی شد.

واژه های کلیدی: *انرژی، بادام زمینی، برشته کردن، مدل‌سازی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: bagherihadi51@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بادام زمینی (*Arachis hypogaea L*) یک ماده غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا و از خانواده لگومینوزها می‌باشد (Burns, 2010). این ماده غذایی با ارزش حاوی ۳۶ تا ۵۴ درصد روغن، ۱۶ تا ۳۶ درصد پروتئین و ۱۰ تا ۲۰ درصد کربوهیدرات می‌باشد. در حال حاضر بعد از پسته به عنوان یکی از محبوب‌ترین آجیل‌ها در بین مردم کشورهای مختلف به خصوص ایران مطرح است. ارزش غذایی بالا، خوشمزه بودن، هضم راحت و کالری بالا از ویژگی‌هایی است که باعث شده این محصول جزء آجیل‌های پرمصرف شناخته شود، به علاوه بادام زمینی منبع سرشار از مواد معدنی و ویتامین‌های مختلف به شمار می‌آید (Vollmannn & Rajcan, 2010).

برشته کردن یکی از مراحل اساسی در فرایند تولید قهوه، مغزها، آجیل‌ها و خشکبار به شمار می‌آید، که این مرحله باعث ایجاد تغییرات مهم فیزیکی، شیمیایی، ساختاری و حسی در دانه فرآوری شده می‌شود (Ozdemir & Devres, 2000; Pittia *et al.*, 2001; Saklar *et al.*, 2001). به‌عبارتی دیگر برشته کردن یکی از متداول‌ترین شکل‌های فرآوری دانه بادام زمینی است که هدف از آن افزایش پذیرش کلی فرآورده است. این فرایند باعث تغییر و بهبود معنی‌دار عطر و طعم، بافت و ظاهر دانه‌ها می‌شود، درنتیجه فرآورده‌های حاصل نسبت به آجیل‌های خام بسیار خوشمزه‌تر و لذیذتر می‌باشند. در حال حاضر روش متداول برشته کردن صنعتی، استفاده از برشته-کن‌های جریان هوای داغ و سطح داغ است که با اشکالاتی همچون اتلاف عظیمی انرژی حرارتی، بالا بودن زمان عملیات، پایین بودن کیفیت محصول برشته شده و غیر متراکم دستگاه‌های برشته کن هوای داغ و سطح داغ، همراه است (Hosseini Ghaboos *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2009; Jun *et al.*, 2011). از روش‌های جدید برشته کردن مغزها می توان به استفاده از سامانه مادون قرمز و سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز اشاره کرد (Nachaisin *et al.*, 2016).

با توجه به اهمیت برشته کردن در ریز ساختار و خصوصیات بافتی و نقش انتقال جرم و رطوبت در این پارامترها بررسی خصوصیات برشته شدن لایه نازک بادام زمینی با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ و مادون قرمز ضروری به نظر می‌رسد. به منظور بهبود کیفیت بادام زمینی برشته شده، لازم است که تغیرات سینتیکی رطوبت، بافت، میکروبی و فیزیکی در طول برشته کردن مورد بررسی قرار بگیرد. سینتیک برشته شدن در دانه‌ها و آجیل‌ها وابسته به خصوصیات انتقال حرارت و جرم محصول درحال برشته شدن است و دانش توزیع دما و رطوبت در محصول برای طراحی دستگاه و فرایند، کنترل کیفیت، انتخاب شرایط نگهداری و خصوصیات حمل و نقل حیاتی و ضروری است (Mayer, 1985; Perren & Escher, 1996). مدل‌های ریاضی که توصیف کننده مکانیسم‌های خشک کردن در مواد غذایی هستند، می‌توانند اطلاعات درباره رطوبت و دما برای طراحی فرایندها و تجهیزات را فراهم کنند (Parry, 1985; Parti, 1993). از میان مدل‌های ریاضی، مدل‌های لایه نازک خشک کردن دارای کاربرد گسترده‌ای اند چرا که استفاده از آنها نیازمند داده‌ها و اطلاعات پیچیده همچون مدل‌های تئوری نیست (Madamba *et al.*, 1996). مدل‌های لایه نازک خشک شدن برای بسیاری از میوه‌ها، سبزیجات و بسیاری از مواد غذایی که توسط روش‌های مختلف خشک شدند، مورد استفاده قرار گرفته است (Jayas *et al.*, 1991; Karathanos & Belessiotis, 1999; Yaldiz *et al.*, 2001; Midilli *et al.*, 2002; Akpinar & Bicer, 2008; Thuwapanichayanan *et al.*, 2008). اما در مورد مدل‌سازی سینتیک برشته شدن با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. خصوصیات سینتیک برشته شدن مغز فندق با استفاده از هوای داغ توسط Ozdemir و Devres (۱۹۹۹) مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهشگران برای بررسی سینتیک برشته شدن از چندین مدل نیمه تئوری و تجربی استفاده کردند و نشان دادند که مدل تجربی تامسون قادر به توصیف سینتیک برشته شدن می‌باشد. همچنین ضریب نفوذ و انرژی فعال سازی برای برشته کردن مغز فندق با استفاده از قانون دوم فیک و آرنیوس توسط این محققان تعیین و مورد محاسبه قرار گرفت.

با توجه به اینکه برشته شدن یک مرحله ضروری در فرآوری مغزها و دانه‌های روغنی محسوب می‌شود و با توجه به محدودیت و فقدان مطالعات در زمینه تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی در حین برشته شدن به خصوص

www.SID.ir

Archive of SID

بحث خشک شدن در طول فرآیند برشته شدن، و با توجه به اهمیت و اثر پذیری بحث خشک شدن بر سایر فاکتورها و تغییرات فیزیکی و شیمیایی، فرآیند خشک شدن در حین برشته کردن بادام زمینی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. برای نیل به این هدف، خصوصیات لایه نازک خشک شدن مغز بادام زمینی در طول فرآیند برشته شدن به صورت تجربی تعیین شد و در ادامه با استفاده از مدل‌های لایه نازک مورد برازش قرار گرفت و بهترین مدل انتخاب گردید. همچنین رطوبت نهایی مغزها، ضریب نفوذ موثر رطوبت و انرژی مصرفی دستگاه‌ها نیز برای برشته کردن مغز بادام زمینی مورد محاسبه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بادام زمینی خام (توده محلی مینودشت (رقم گلی)) از مزرعه مینودشت تهیه و پس آن به روش آفتابی خشک گردید و سپس تا زمان آزمایش در محل خشک و عاری از رطوبت نگهداری شد. بعد از سایزبندی، نمونه‌های با ابعاد یکسان برای انجام آزمایش انتخاب گردید. میزان رطوبت اولیه در مغزهای بادام زمینی حدود ۵/۱ درصد بر پایه ماده خشک بود و متوسط ابعاد بادام زمینی استفاده شده برای این آزمایش به ترتیب حدود ۱۸/۶۸، ۹/۶۳ و ۷/۸۵ میلی‌متر بود.

- آماده‌سازی نمونه‌ها

برای برشته کردن نمونه‌ها ابتدا محلول ۲۵ درصد نمک طعام تهیه شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، مغز بادام زمینی‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با نسبت یک به پنج در محلول آب نمک قرار گرفت. در طی این مدت نمونه‌ها به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها از آب نمک خارج و توسط فیلتر پارچه‌ای آب نمک اضافی آن‌ها گرفته شد و در ادامه فرایند برشته کردن بر روی بادام زمینی‌ها انجام گرفت. در این مرحله رطوبت مغز بادام زمینی به حدود ۸/۲۷ درصد بر پایه ماده خشک رسید.

- فرآیند برشته کردن

قبل از قرار دادن نمونه‌ها در اتاقک برشته‌کن، برشته‌کن به مدت ۱۵ دقیقه برای ایجاد شرایط ثابت روشن گردید. مغزهای بادام زمینی به صورت لایه نازک در اتاقک برشته کن قرار گرفت و سپس برشته کردن نمونه‌ها براساس تیماربندی جدول ۱ انجام گردید. برای این امر کاهش وزن نمونه‌های مغز بادام زمینی طی زمان توسط توسط ترازوی دیجیتالی تعبیه شده در دستگاه با دقت ۰/۰۱ گرم در فواصل ۱۰ ثانیه ثبت گردید.

- برازش داده‌ها و برآورد ضرایب ثابت در مدل‌های ریاضی

مدل‌سازی رفتار برشته‌شدن بادام زمینی اهمیت زیادی در بررسی خصوصیات برشته‌کردن بادام زمینی دارد. معمولا رفتار افت رطوبت در طی زمان در فرآیند برشته‌شدن توسط معادلات نمایی به خوبی توصیف می‌شود. چندین مدل برای بیان سرعت افت رطوبت در طی برشته‌شدن لایه نازک مغزها پیشنهاد شده است (Ozdemir & Devres, 1999). در این مطالعه اطلاعات تجربی برشته‌کردن بادام زمینی در روش‌های مختلف برشته‌کردن با مدل‌های خشک‌کردن (برشته کردن) لایه نازک برازش شدند. تعدادی از این مدل‌ها برای بررسی روند برشته شدن لایه نازک بادام زمینی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

تخمین شاخص‌های مدل‌های تجربی از داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات ۱۲ توسط

جدول ۱- تیمارهای مورد مطالعه (شرایط دمایی و توانی مورد استفاده)

نوع سیستم	دمای هوای داغ(°C)	توان مادون قرمز(W)	کد نمونه‌ها
سامانه هوای داغ- مادون قرمز	۱۰۰	۱۳۰	HA100-IR130
		۱۶۵	HA100-IR165
		۲۰۰	HA100-IR200
	۱۲۰	۱۳۰	HA120-IR130
		۱۶۵	HA120-IR165
		۲۰۰	HA120-IR200

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده برای برازش داده‌ها

شماره	نام مدل	مدل ریاضی
۱	لوئیس (نیوتنی) (نمایی)	MR = exp(-at)
۲	پیج	MR = exp(-a.tb)
۳	لگاریتمی	MR = a exp(-bt) + c
۴	دو جمله‌ای	MR = a exp(-bt)+ c exp(-dt)
۵	میدیلی	MR = a exp(-bt c) + dt

رگرسیون غیرخطی روی تمام تیمارهای آزمایشی برشته‌شدن انجام شد. بدین‌ترتیب ضرایب و ثابت‌ها در فرایند برشته‌شدن محاسبه شد. عامل‌های متعددی نظیر ضریب تعیین[1] (R^2)، ضریب تعیین متعادل شده[2] (Adj R^2)، ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها[3] (RMSE) و متوسط انحراف نسبی مدل (P) برای ارزیابی برازش مدل‌های تجربی بر داده‌های آزمایشی استفاده شد (Madamba *et al*., 1996; Palipane & Driscoll, 1994).

- اندازه‌گیری رطوبت نهایی

رطوبت نهایی براساس وزن خشک ماده محاسبه شد. بدین‌ترتیب که ۳ عدد مغز بادام زمینی جدا و درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد (Kashaninejad *et al*., 2007). جهت به‌دست آوردن داده‌های قابل قبول این آزمایش در ۴ تکرار انجام شد و میانگین داده‌ها گزارش شد.

- محاسبه میزان انرژی مصرفی

میزان انرژی مصرفی توسط دستگاه آنالیز توان لوترون (مدل DW-6090A) اندازه‌گیری شد. این دستگاه سر راه مصرف برق توسط دستگاه برشته‌کن قرار گرفت و جریان ورودی به دستگاه خشک‌کن ابتدا از دستگاه آنالیز توان عبور نموده و ثبت شد. نتایج به‌صورت فایل اکسل ذخیره شده و محاسبات توسط نرم افزار اکسل انجام گرفت.

- تجزیه و تحلیل آماری

تاثیر متغیرهای مستقل و برهمکنش آنها بر رطوبت و میزان انرژی مصرفی با استفاده از طرح کاملا تصادفی بر پایه فاکتوریل و تجزیه واریانس (GLM) توسط نرم‌افزار آماری Minitab 16 انجام شد. مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

یافته‌ها

سینتیک کاهش رطوبت طی برشته شدن در شکل ۱ آورده شده است. جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس برخی از خصوصیات کیفی مغزهای بادام زمینی برشته شده را نشان می‌دهد. اثر مستقل دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر پارامترهای کیفی در جدول ۴ نشان داده شده است و اثر متقابل دوگانه آن‌ها در شکل‌های۲، ۴ و ۵ آورده شده است. جدول ۵ نشان دهنده نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های تجربی بر داده‌های آزمایشی است و جدول ۶ شاخص‌های دو مدل دو جمله‌ای و لگاریتمی در شرایط متفاوت برشته کردن در سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نسبت رطوبت مشاهده شده و پیش‌گویی شده بوسیله مدل دو جمله‌ای مقایسه شده است.

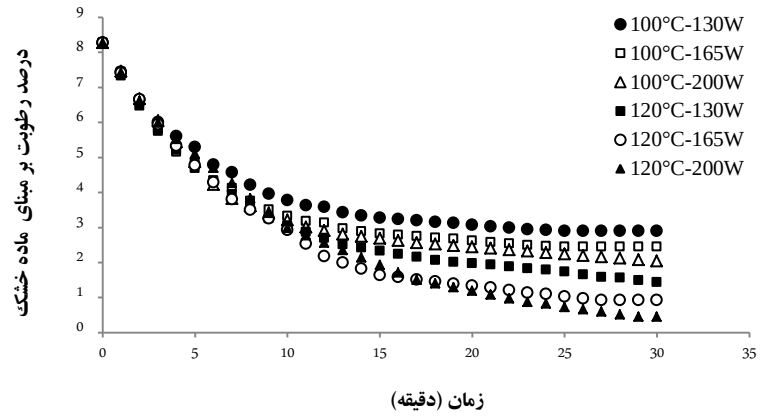
بحث

مطالعه سینتیک برشته شدن برای رسیدن به اطلاعاتی درباره سرعت و کاهش نرخ رطوبت برای برشته کردن صحیح محصول ضرروی می‌باشد. سینتیک افت رطوبت طی برشته کردن مغزها به عوامل مختلفی مانند دما، رطوبت اولیه مغز و غیره وابسته است و با تغییر شرایط فرایند سینتیک برشته شدن نیز تغییر می‌کند (Ozdemir & Devres, 1999). شکل ۱ منحنی‌های سینتیک برشته

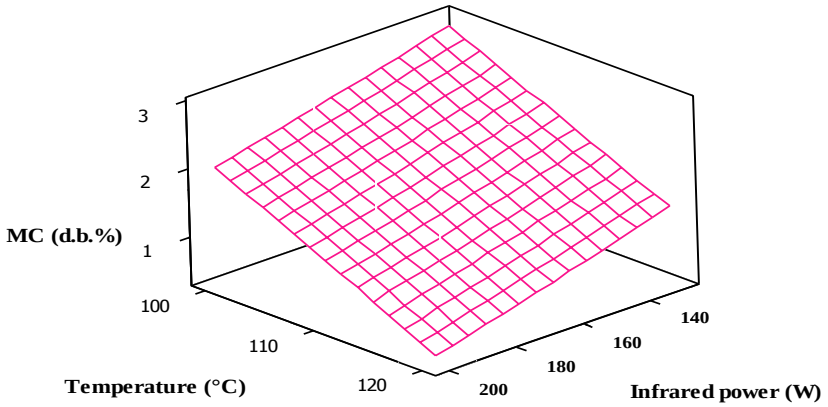
[1] Coefficient of Determination [2] Adjusted R-Squared [3] The Root Mean Square Error (RMSE)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- اثر دما و توان‌های مختلف سامانه ترکیبی هوای داغ - مادون قرمز بر سینتیک کاهش رطوبت



شکل۲- اثر برهمکنش دوگانه دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر میزان رطوبت نهایی مغز بادام زمینی (%, db.)

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس مغز بادام زمینی برشته شده با سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز

ویژگی مورد نظر	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات متوالی	مجموع مربعات تعدیل شده	میانگین مربعات تعدیل شده	F	P
رطوبت نهایی (%, db.)	دما	۱	۶/۸۵۱۶	۶/۸۵۱۶	۶/۸۵۱۶	۱۶۷۸/۹۴	۰/۰۰۱
	توان	۲	۱/۷۳۴۹	۱/۷۳۴۹	۰/۸۶۷۵	۲۱۲/۵۷	۰/۰۰۵
	توان× دما	۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۴۱	۱۸/۲۸	۰/۰۰۳
	خطا	۶	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲		
	کل	۱۱	۸/۵۹۶۰				
میزان مصرف انرژی (kwh)	دما	۱	۰/۰۶۷۳۳۵۷	۰/۰۶۷۳۳۵۷	۰/۰۶۷۳۳۵۷	۵۳۳۸/۳۷	۰/۰۰۰
	توان	۲	۰/۳۰۳۸۷۸	۰/۳۰۳۸۷۸	۰/۱۵۱۹۳۹	۱۲۰۴۱/۸۴	۰/۰۰۰
	توان× دما	۲	۰/۰۵۸۰۱۲	۰/۰۵۸۰۱۲	۰/۰۲۹۰۰۶	۲۲۹۸/۸۶	۰/۰۰۰
	خطا	۶	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۰۱۳		
	کل	۱۱	۰/۴۲۹۳۲۴				
ضریب نفوذ موثر رطوبت (m^2/s)	دما	۱	۱۸/۲۸۵۹	۱۸/۲۸۵۹	۱۸/۲۸۵۹	۱۴۵۶۱/۳۰	۰/۰۰۰
	توان	۲	۵/۶۳۱۸	۵/۶۳۱۸	۲/۸۱۵۹	۲۲۴۲/۳۴	۰/۰۰۰
	توان× دما	۲	۲/۲۷۵۲	۲/۲۷۵۲	۱/۱۳۷۶	۹۰۵/۸۷	۰/۰۰۰
	خطا	۶	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۱۳		
	کل	۱۱	۲۶/۲۰۰۵				

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- اثر مستقل دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر پارامترهای کیفی

پارامتر کیفی مورد نظر	دمای هوای داغ (درجه سانتی‌گراد)		توان لامپ مادون قرمز (وات)		
	۱۰۰	۱۲۰	۱۳۰	۱٦٥	۲۰۰
رطوبت نهایی (%, db.)	۲/۴۵۰۸[a]	۰/۹۳۹۶[b]	۲/۱۶۷۷[a]	۱/۶۸۱۴[b]	۱/۲۳۶۶[a]
میزان مصرف انرژی (kwh)	۰/۷۰۶۷[b]	۰/۸۵۶۵[a]	۰/۹۹۱۵[a]	۰/۷۴۶۹[b]	۰/۶۰۶۴[c]
ضریب نفوذ موثر رطوبت $(m^2/s)\times10^{-7}$	۲/۲۲۴[b]	۴/۶۹۳[a]	۲/۶۱۲[c]	۳/۴۷۴[b]	۴/۲۹۰[a]

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد است.

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های تجربی بر داده‌های آزمایشی

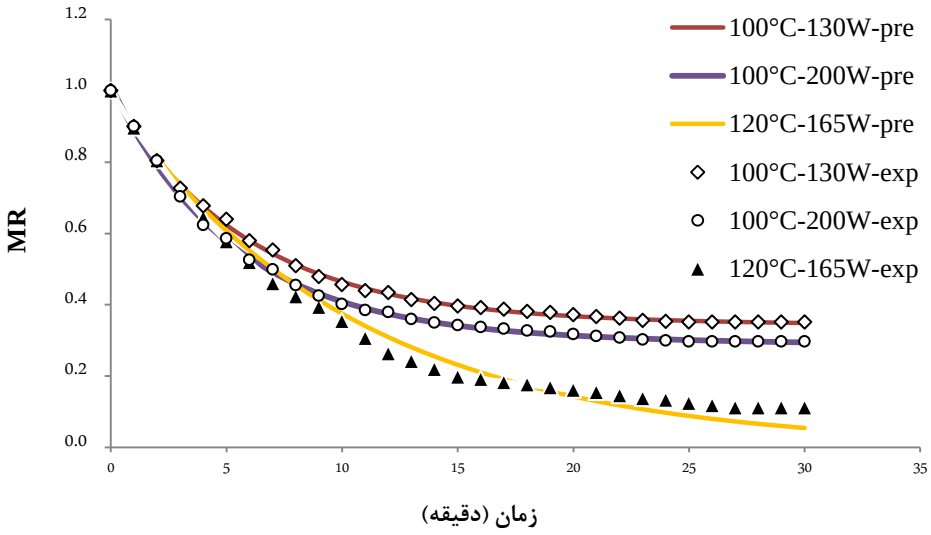
کد تیمار	نام مدل	SSE	R^2	Adj. R^2	RMSE	P (%)
HA100-IR130	نیوتنی	۰/۰۰۹۸۵۹	۰/۶۹۰۸	۰/۶۶۷۹	۰/۰۹۹۲۹۴	۲۰/۳۸۵۱۷
	پیج	۰/۰۰۱۲۴۲	۰/۹۱۴۵	۰/۹۰۸۱	۰/۰۳۵۲۳۸	۶/۵۱۸۸۹
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۰۳۰	۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۷۹	۰/۰۰۵۴۶	۰/۸۹۱۷۱
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۰۲۹۵	۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۷۹	۰/۰۰۵۴۲۷	۰/۸۷۸۷۰
	میدیلی	۰/۰۰۰۲۶۲	۰/۹۸۲۸	۰/۹۸۱۵	۰/۰۱۶۳۱۲	۳/۲۲۹۳۸
HA100-IR165	نیوتنی	۰/۰۱۰۱۷	۰/۷۱۴۰	۰/۶۹۲۸	۰/۱۰۰۸۴۶	۲۳/۹۶۶۲۸
	پیج	۰/۰۰۱۶۱۱	۰/۹۰۵۵	۰/۸۹۸۵	۰/۰۴۰۱۳۹	۸/۱۱۹۹۹
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۰۳۹	۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۶۲۵	۱/۱۹۳۹۸
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۹۹۷۹	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۶۰۸	۱/۰۶۹۹
	میدیلی	۰/۰۰۰۳۴۳	۰/۹۸۱۲	۰/۹۷۹۸	۰/۰۱۸۵۱۹	۴/۲۸۸۰
HA100-IR200	نیوتنی	۰/۰۰۸۲۰۲	۰/۷۷۳۸	۰/۷۵۷۰	۰/۰۹۰۵۷	۲۳/۸۵۱۷۲
	پیج	۰/۰۰۱۶۵۴	۰/۹۱۵۶	۰/۰۴۰۷	۰/۰۹۰۹۳	۲/۷۷۰۰۶
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۱۳۶	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۲۹	۰/۰۱۱۶۴۷	۲/۷۱۰۸۰
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۳۴	۰/۰۱۱۲۰۳	۲/۳۱۱۱۳
	میدیلی	۰/۰۰۰۴۲۹	۰/۹۷۹۴	۰/۹۷۷۸	۰/۰۲۰۷۲	۵/۳۱۰۳۱۰
HA120-IR130	نیوتنی	۰/۰۰۴۵۵۹	۰/۸۷۷۷	۰/۸۶۸۶	۰/۰۶۷۵۲	۲۱/۸۶۰۳
	پیج	۰/۰۰۰۶۵۶	۰/۹۷۲۳	۰/۹۷۰۲	۰/۰۲۵۶۱۲	۷/۳۳۵۲۹
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۰۷۰۵	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۸۳۹۶	۲/۷۲۹۷۱
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۰۲۴۷	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	۰/۰۰۴۹۶	۱/۴۹۹۲۸
	میدیلی	۰/۰۰۰۲۴۲	۰/۹۹۰۱	۰/۹۸۹۳	۰/۰۱۵۵۴۸	۴/۹۰۲۴۳
HA120-IR165	نیوتنی	۰/۰۰۱۰۵۹	۰/۹۷۲۱	۰/۹۷۰۰	۰/۰۳۲۵۴۷	۱۷/۱۳۸۵۸
	پیج	۰/۰۰۰۵۰۴	۰/۹۸۴۵	۰/۹۸۳۳	۰/۰۲۲۴۴۱	۹/۳۴۹۹
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۰۹۰۶	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۷۰	۰/۰۰۹۵۱۸	۳/۲۱۰۵۲۲
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۰۹۰۶	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۷۰	۰/۰۰۹۵۱۸	۳/۲۱۰۵۲۲
	میدیلی	۰/۰۰۰۰۷۲۱	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۸۴۹۱	۳/۱۵۲۳۱۰
HA120-IR200	نیوتنی	۰/۰۰۰۰۶۲۵	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۷۹۰۸	۲/۱۰۳۰۱
	پیج	۰/۰۰۰۰۵۶۵	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۸۴	۰/۰۰۷۴۸۷	۲/۱۳۵۷۶
	لگاریتمی	۰/۰۰۰۰۵۱۵	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۷۱۷۷	۱/۹۴۰۰۰۸
	دو جمله ای	۰/۰۰۰۰۴۶۴	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۶۸۱۳	۱/۹۶۳۳۵۳
	میدیلی	۰/۰۰۰۰۵۱۵	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۷۱۷۷	۱/۹۳۹۵۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

جدول٦- شاخص‌های دو مدل دو جمله‌ای و لگاریتمی در شرایط متفاوت برشته کردن

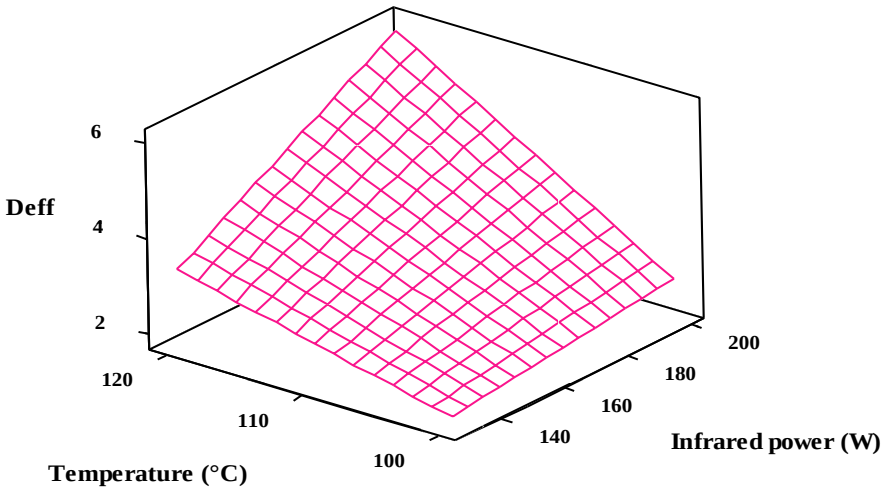
تیمار	شاخص‌های مدل	مدل دو جمله‌ای	مدل لگاریتمی
HA100-IR130	a	۰/۳۵۳۰	۰/۶۵۲۵
	b	۰/۰۰۰۷	۰/۱۷۰۸
	c	۰/۶۴۶۵	۰/۳۴۶۲
	d	۰/۱۷۳۴	
HA100-IR165	a	۰/۷۰۱۸	۰/۷۱۵۳
	b	۰/۱۹۰۲	۰/۱۸۴۱
	c	۰/۳۱۰۲	۰/۲۹۴۶۱
	d	۰/۰۰۲۰	
HA100-IR200	a	۰/۲۹۷۵	۰/۷۵۷۰
	b	۰/۰۰۵۱	۰/۱۷۲۶
	c	۰/۷۲۴۱	۰/۲۶۰۳
	d	۰/۱۸۵۲	
HA120-IR130	a	۰/۶۹۲۵	۰/۸۰۵۲
	b	۰/۱۷۹۰	۰/۱۴۶۱
	c	۰/۳۱۰۶	۰/۱۸۶۱
	d	۰/۰۱۸۳	
HA120-IR165	a	۰/۹۲۵۷	۰/۹۲۵۷
	b	۰/۱۲۸۹	۰/۱۲۸۹
	c	۰/۰۸۵۴	۰/۰۸۵۴
	d	۰/۰۰۸۱	
HA120-IR200	a	۰/۰۱۶۳	۰/۹۹۱۲
	b	۲/۲۸۰۰	۰/۰۹۶۳
	c	۰/۹۸۳۹	۰/۰۰۰۱
	d	۰/۰۹۶۴	



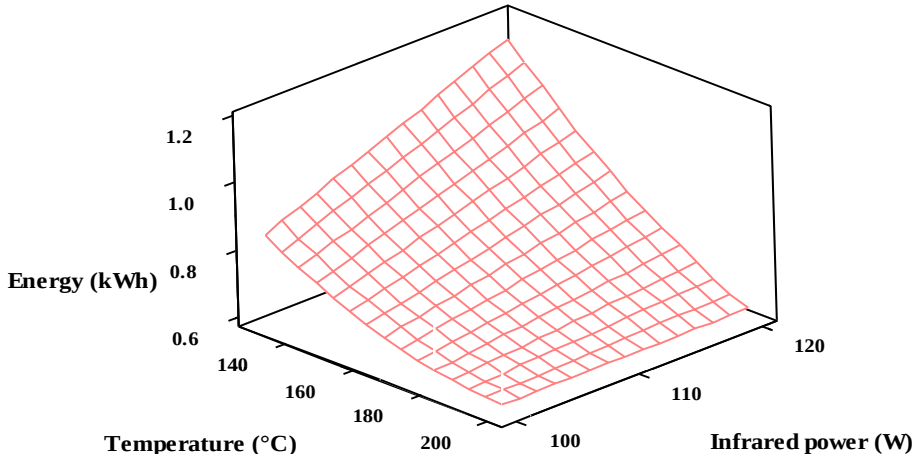
شکل ۳- مقایسه نسبت رطوبت مشاهده شده و پیش‌گویی شده بوسیله مدل دو جمله‌ای

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤- اثر برهمکنش دوگانه دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر ضریب نفوذ موثر رطوبت (m^2/s)



شکل ٥- اثر برهمکنش دوگانه دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر میزان مصرف انرژی (Kwh)

شدن مغز بادام زمینی را به صورت درصد رطوبت بر پایه ماده خشک در طول زمان برشته شدن و در سطوح مختلف بر اساس جدول ١ نشان می‌دهد. این منحنی‌ها نشان می‌دهند که محتوی رطوبت نمونه‌های بادام زمینی در طول برشته‌شدن بصورت مداوم و نمایی کاهش می‌یابد، همانطور که در شکل ١ دیده می‌شود.

با افزایش دما سینتیک برشته شدن افزایش یافت (شکل ١). علت افزایش سینتیک کاهش رطوبت و نرخ برشته شدن با افزایش دما به خاطر افزایش انرژی وارد شده به ملکول‌های آب در دماهای بالاتر می‌باشد به گونه‌ای که در دمای ١٢٠ درجه سانتی‌گراد فرایند برشته شدن با شدت و سرعت بیشتری انجام می‌شود (Doymaz, 2011).

بررسی اثر توان لامپ مادون قرمز نیز نشان دهنده افزایش نرخ و شدت برشته شدن با افزایش توان لامپ می‌باشد. این موضوع به این دلیل است که با افزایش توان لامپ مادون قرمز، لایه سطحی و قسمت‌های داخلی مغز بادام زمینی به شدت گرم شده و در نتیجه باعث افزایش سرعت انتقال جرم و حرارت می گردد و رطوبت به سرعت خارج می شود (Doymaz, 2012)

شکل ١ نشان دهنده اثر دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر میزان رطوبت مغزها طی برشته کردن لایه نازک بادام زمینی می‌باشد. به گونه‌ای که بالاترین سینتیک کاهش رطوبت مربوط به مغز برشته شده با دمای ١٢٠ درجه سانتی‌گراد و توان ٢٠٠ وات بود و پائین‌ترین سینتیک

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش رطوبت مربوط به مغز برشته شده با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و توان ۱۳۰ وات بود.

یکی از پارامترهای مهم که باید طی فرایند برشته کردن کنترل شود، میزان رطوبت نهایی مغز برشته شده است (Ozdemir & Devres, 1999). نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای هوای داغ و توان لامپ مادون قرمز بر میزان رطوبت نهایی مغزهای بادام زمینی در جدول ۳ به نمایش درآمده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، اثر فاکتورهای دمای هوای داغ و توان لامپ و هم چنین اثر همزمان و متقابل آن‌ها بر میزان رطوبت نهایی مغزها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است ($P<0.05$). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش میزان رطوبت نهایی شده است. افزایش دمای برشته کردن از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۲۰ درجه سانتی گراد باعث کاهش رطوبت نهایی به میزان ۶۱ درصد شد. که علت آن به خاطر تامین انرژی بالاتر در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد می‌باشد.

مطالعات انجام شده توسط Kahyaoglu و Kaya (۲۰۰۶) و Bhattacharya و Prakash (۱۹۹۷) در ارتباط با برشته کردن دانه کنجد و نخود نشان داد که دما بطور معنی‌داری در طی برشته کردن بر از دست دادن رطوبت مؤثر است و با افزایش دما، کاهش رطوبت بیشتر اتفاق می‌افتد. بین توان لامپ مادون قرمز و میزان رطوبت رابطه معکوس وجود دارد و با افزایش توان لامپ از ۱۳۰ به ۱۶۵ وات کاهش میزان رطوبت به میزان ۲۲ درصد شد و استفاده از توان ۲۰۰ وات میزان رطوبت را به ۱/۲۳۶۶ درصد رساند. افزایش توان لامپ مادون قرمز باعث افزایش دمای برشته کن می‌گردد و این امر باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا، به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و در نتیجه در مدت زمان مورد نظر باعث کاهش بیشتر رطوبت می‌گردد (Doymaz, 2012). به طور کلی طی فرآیند برشته کردن، دانه‌های مغز بادام زمینی شکننده شده و از میزان رطوبت آنها کاسته می‌شود (Ozdemir & Devres, 1999).

بهترین مدل توصیف کننده روند برشته شدن لایه نازک بادام زمینی با بیشترین ضریب تعیین (R^2)، بیشترین ضریب تعیین متعادل شده ($Adj\ R^2$)، کمترین مربع میانگین خطا (RMSE) و کمترین مدل انحراف نسبی میانگین (P) انتخاب شد (Togrul & Pehlivan, 2002). نتایج آماری به دست آمده از مدل‌سازی برشته کردن بادام زمینی با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز در سطوح مختلف دمایی و توانی نشان داد که مدل دو جمله‌ای و مدل لگاریتمی بهترین مدل جهت برازش داده‌های این روش می‌باشد (جدول ۵)

برای انتخاب مدل مناسب جهت برازش داده‌ها باید انحراف نسبی میانگین (P) کمتر از ۱۰٪ باشد (Madamba *et al.*, 1996; Palipane & Pehlivan, 1994). تمام مدل‌های مورد استفاده به جز مدل نیوتنی جهت برازش دارای این شرط بودند و دو مدل دوجمله‌ای و لگاریتمی دارای مقادیرP کمتر نسبت به سایر مدل‌ها بودند. بنابراین دو مدل یاد شده پیش‌گویی بهتری نسبت به سایر مدل‌ها از داده‌های آزمایشی دارند و به خوبی ویژگی‌های برشته‌شدن لایه نازک مغز بادام زمینی را توصیف می‌کنند (شکل ۳). جزئیات آنالیز آماری این پنج مدل در جدول ۵ نشان داده شده است. عموما دو مدل دوجمله‌ای و لگاریتمی توصیف بهتری را از رفتار برشته شدن از خود نشان دادند. این دو مدل RMSE بسیار پایین، ضریب تعیین (R^2) و ضریب تعیین متعادل شده ($adj\ R^2$)، بالایی نیز داشتند.

همچنین جدول ۵ نشان داد که مدل میدلی در دما و توان‌های بالا از اعتبار بالای برای برازش داده‌ها برخوردار است این در حالی است که در دماها و توان‌های پائین مدل دوجمله‌ای و لگاریتمی دارای قابلیت برازش بهتری نسبت به سایر مدل‌ها هست. از طرفی با توجه به بالا بودن مقدار انحراف نسبی میانگین (P) برای مدل پیج در برازش داده‌های فرآیند HA120-IR165، این مدل برای این فرآیند مناسب نیست.

مدل‌سازی سینتیک خشک کردن برای بسیاری از مواد غذایی از جمله، خشک کردن توت (Izli *et al.*, 2014) و خشک کردن سیب (Wang *et al.*, 2007) انجام شده است و نتایج این مطالعات نشان‌دهنده سازگاری مدل‌های مختلف بر سینتیک خشک شدن این محصولات کشاورزی می‌باشد. اما در مورد مدل‌سازی سینتیک برشته شدن مطالعه‌ای صورت نگرفته است به جز Ozdemir و Devres (۱۹۹۹) که نشان دادند که مدل تجربی تامسون قادر به توصیف سینتیک برشته شدن فندق می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

ضرایب دو مدل دو جمله‌ای و لگاریتمی برای هر تیمار برشته شدن محاسبه شد (جدول ۶). لذا استفاده از این مدل برای بررسی فرآیند برشته کردن مغز بادام زمینی با استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز توصیه می‌شود. نسبت رطوبت پیش‌گویی شده توسط دو مدل دو جمله‌ای و لگاریتمی در برابر نسبت رطوبت مشاهده شده در دما و توان های مختلف برشته‌شدن در شکل ۳ نشان داده شده است. این نتایج بیان می‌دارد که این دو مدل به خوبی داده‌های مشاهده شده نسبت رطوبت را در تمام تیمارهای آزمایشی پوشش می‌دهد.

با توجه به قرار گرفتن منحنی آهنگ برشته شدن بادام زمینی در مرحله سرعت نزولی، برای تشریح فرآیند برشته شدن بادام زمینی و بررسی ضریب نفوذ رطوبت از قانون دوم فیک استفاده شد. برای آنالیز تحلیلی، مغزهای دانه بادام زمینی به‌عنوان تیغه نامحدود در نظر گرفته شد. اثرات شیب حرارتی بر روی ضریب نفوذ حرارتی نادیده گرفته شد. تحت این شرایط انتقال رطوبت در داخل بادام‌زمینی به‌وسیله قانون دوم نفوذ فیک قابل توصیف می‌باشد.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D.\frac{\partial^2 X}{\partial z} \qquad (۱)$$

که X برابر میزان رطوبت (کیلوگرم آب/ کیلوگرم ماده خشک)، D برابر با ضریب نفوذ موثر رطوبت (m^2/s)، t در این معادله زمان (ثانیه) و Z فاصله یا ضخامت برای نفوذ رطوبت می‌باشد. فرایند نفوذ را می‌توان با استفاده از قانون فیک به صورت ریاضی توصیف کرد. روش‌های تحلیلی برای حل معادله (۱) در بسیاری از منابع ارائه شده که توسط Crank (۱۹۸۵) با در نظر گرفتن هندسه ماده غذایی و شرایط مرزی بیان گردیده است. حل تحلیلی معادله ۲ برای تیغه نامحدود به به صورت زیر است.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}exp\left[-\frac{-(2n+1)^2\pi^2 Dt}{4d^2}\right] \qquad (۲)$$

که M میزان رطوبت بر پایه ماده خشک در هر زمان، M_e و M_0 نشان دهنده میزان رطوبت تعادلی و رطوبت اولیه بر پایه ماده خشک، D ضریب نفوذ موثر رطوبت و d برابر با نصف ضخامت نمونه می‌باشد.

بررسی اثر دما، توان و هم چنین اثر همزمان و متقابل آن‌ها نشان دهنده اثر معنی‌دار این پارامتر ها بر ضریب نفوذ موثر رطوبت بود ($P<0.05$) (جدول ۳) جدول۴ و شکل ۴ به ترتیب اثر شرایط مختلف برشته کردن به صورت مستقل و همزمان را بر میزان ضریب نفوذ نشان می‌دهد. ضریب نفوذ موثر رطوبت طی فرآیند برشته کردن در دماها و توان‌های مختلف سامانه ترکیبی، در دامنه $-۶/۰۵۴\times۱۰^{-۷}$ $۱/۹۱۵\times۱۰^{-۷}$ قرار داشت و با افزایش دما و توان افزایش یافت به طوری که بالاترین ضریب نفوذ موثر مربوط به دمای ۱۲۰ هوای داغ و توان لامپ ۲۰۰ وات بود.

با توجه به اینکه ضریب نفوذ موثر رطوبت به دما و ترکیب مواد بستگی دارد (Rizvi, 2005)، بنابراین ضریب نفوذ به شدت وابسته به دما و توان به کار گرفته است. افزایش ضریب نفوذ موثر رطوبت با افزایش دما و توان توسط محققان دیگر هم گزارش شده است (Doymaz, 2012; Doymaz & Pehlivan, 2002). این نتایج مشابه نتایج Ozdemir و Devres (۱۹۹۹) برای برشته کردن دانه‌های فندق در دما، زمان و سرعت جریان‌های هوای مختلف می‌باشد. این محققان گزارش دادند که طی برشته کردن دانه با افزایش دما، ضریب نفوذ موثر رطوبت پیدا کرد.

جدول ۴ اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر میزان مصرف انرژی نشان می‌دهد. اثر دما و توان برشته کردن بر انرژی مصرفی و همچنین اثر همزمان دما و توان بر میزان مصرف انرژی معنی دار بود ($P<0.05$) (جدول ۳). شکل ۵ نشان دهنده میزان مصرف انرژی در برشته کن ترکیبی هوای داغ- مادون قرمزدر دما و توان‌های مختلف است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، پائین‌ترین مقدار مصرف انرژی برای برشته کردن مغز بادام زمینی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و توان ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد و بالاترین میزان مصرف انرژی مربوط به دمای ۱۲۰ و توان ۱۳۰ وات می‌باشد. در سامانه ترکیبی هوای داغ- مادون قرمز با افزایش دما، میزان مصرف انرژی افزایش یافت، این در حالی است که با افزایش توان مصرفی لامپ مادون قرمز از میزان مصرف انرژی کاسته شد. نتایج مشابهی توسط Motevali و همکاران (۲۰۱۱) برای خشک کردن اسلایس‌های قارچ توسط سیستم خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ گزارش شده است . علت

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش میزان مصرف انرژی با افزایش میزان توان لامپ مصرفی این است که با افزایش توان لامپ مصرفی، المنت‌های گرم کننده هوای داغ به مدت زمان بیشتری خاموش مانده و در نتیجه مقدار انرژی کمتری مصرف می‌کند.

نتیجه‌گیری

برشته کردن باعث تغییر و بهبود معنی‌دار عطر، طعم، بافت و ظاهر مغزها می‌شود. در طی برشته کردن، مغز شکننده‌تر و تردتر می‌شود که اینها جزء ویژگی‌های معمول فرآورده‌های برشته شده می‌باشند، بنابراین برشته کردن یک مرحله اساسی در تولید مغزها به حساب می‌آید و کنترل و بهینه‌سازی آن اهمیت زیادی دارد. از این رو به کارگیری روش‌های جدید و مطالعه خصوصیات فیزیکی و سنتیکی فرایند، مبرم و ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه خصوصیات سنیتیکی برشته شدن بادم زمینی مورد بررسی قرار گرفت. براساس یافته‌ها فرآیند برشته شدن در دوره نزولی اتفاق میافتد و انتقال رطوبت در مغز بادام زمینی به وسیله مدل نفوذ فیک توصیف شد. از طرفی وابستگی دمایی و توانی ضریب نفوذ با استفاده از رابطه آرنیوس و آرنیوس اصلاح شده توصیف شد. مدل دو جمله‌ای و مدل لگاریتمی به عنوان بهترین مدل برای برازش داده‌های آزمایشگاهی برشته شدن انتخاب شدند. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اذعان کرد که استفاده از سامانه ترکیبی هوای داغ– مادون قرمز یک روش مقرون به صرفه از نظر مصرف انرژی به شمار می‌آید و با افزایش توان از میزان مصرف انرژی سامانه کاسته شد، بنابراین به کارگیری توان‌های بالا می تواند باعث کاهش مصرف انرژی در سامانه‌های ترکیبی شود.

منابع

Ajibola, O. O. (1989). Thin layer drying of melon seed. Journal of Food Engineering, 9(4), 305–320.

Akpinar, E. K. & Bicer, Y. (2008). Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. Energy Conversion and Management, 49(6), 1367–1375.

Bhattacharya, S. & Prakash, M. (1997). Kinetics of roasting of split chickpea (Cicer arietinum). International Journal of Food Science and Technology, 32, 81-84.

Burns, S. P. (2010). Strategies for enhancing leaf spot (Cercospora arachisicola and Cercosporidium personatum) tolerance in peanut (Arachis hypogaea L.0. University of Florida.

Crank, J. (1985). The mathematics of diffusion (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

Dadali, G. & Ozbek, B. (2008). Microwave heat treatment of leek: Drying kinetic and effective moisture diffusivity. International Journal of Food Science Technology, 43, 1443–1451.

Doymaz, I. (2011). Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. Journal Food Processing and Preservation, 35(2), 280-289.

Doymaz, I. (2012). Drying of Pomegranate Seeds Using Infrared Radiation. Food Science and Biotechnology, 21, 1269-1275.

Doymaz, I. T. & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. Journal of Food Engineering, 55(3), 209–216.

Falade, K. O. & Abbo, E. S. (2007). Air-drying and rehydration characteristics of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits. Journal of Food Engineering, 79(2), 724-730.

Hosseini Ghaboos, S. H., Seyedain Ardabili, S. M., Kashaninejad, M., Asadi, G. & Alami, M. (2015). Mass Transfer Kinetics of Combined Infrared-Hot Air Drying of Pumpkin. Food Science and Nutrition Journal, 3, 14-23.

Izli, N., Yıldız, G., Unal, H., Isik, E. & Uylaser, V. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (Physalis peruviana L.). International Journal of Food Science and Technology, 49, 9–17.

Jayas, D. S., Cenkowski, S., Pabis, S. & Muir, W. E. (1991). Review of thin layer drying and wetting equations. Drying Technology, 9(3), 551–588.

Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, and J. & Demirci, A. (2011). Fundamentals and theory of infrared radiation. In: Pan, Z. Atungulu, G. G. (Eds.). Infrared heating for food and agricultural processing. New York. CRC press. 1019.

Kahyaoglu, T. & Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color and texture

www.SID.ir

Archive of SID

changes in sesame seeds during the conventional roasting. Journal of Food Engineering, 75, 167-177.

Karathanos, V. T. & Belessiotis, V. G. (1999). Application of a thin layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. Journal of Agricultural Engineering Research, 74, 355–361

Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. & Tabil, L. G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. Journal of Food Engineering, 78, 98–108.

Kumar, C. M., Rao, A. G. & Singh, S. A. (2009). Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from Sesamum indicum L. Journal of Food Science, 74, 105–111.

Madamba, P. S., Driscoll, R. H. & Buckle, K. A. (1996). Thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering, 29, 75-97.

Mayer, K. P. (1985). Infrared roasting of nuts, particularly hazelnuts. Confectionary Production, 51, 313-314.

Midilli, A., Kucuk, H. & Yapar, Z. A. (2002). New model for single-layer drying. Drying Technology, 20, 1503-1513.

Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H. & Amirnejat, H. (2011). Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. Energy 36, 6433-6441.

Nachaisin, M., Jamradloedluk, J. & Niamnuy, C. (2016). Application of combined far-infrared radiation and air convection for drying of instant germinated brown rice. Journal Food Process engineering, 39 (3), 306–18.

Ozdemir, M. & Devres, O. Y. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. Journal of Food Engineering, 42, 225–233.

Ozdemir, M. & Devres, O. Y. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 45, 17–24.

Palipane, K. B. & Driscoll, R. H. (1994). Thin-layer drying behavior of Macadamia in-shell nuts and kernels. Journal of Food Engineering, 23, 129-144.

Parry, J. L. (1985). Mathematical modeling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying. Journal of Agricultural Engineering Research, 32, 1-29.

Parti, M. (1993). Selection of mathematical models for drying grain in thin layers. Journal of Agricultural Engineering Research, 54, 339-352.

Perren, R. & Escher, F. (1996). Rosttechnologie von Haselnussen, Teil III: Optimierung des rostverfahrens flour nusse. Zucker und Susswaren Wirthschaft, 49, 142-145.

Pittia, P., Rosa, M. D. & Lerici, C. R. (2001). Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. Lebensmittel-Wissenshaft und Technologie, 34, 168–171.

Rizvi, S. S. H. (2005). Thermodynamic properties of foods in dehydration. Third Edition. Taylor and Francis Publisher.

Saklar, S., Katnas, S. & Ungan, S. (2001). Determination of optimum hazelnut roasting conditions. International Journal of Food Science and Technology, 36, 271–281.

Simal, S., Mulet, A., Tarrazo, J. & Rosello, C. (1996). Drying models for green peas. Food Chemistry, 55, 121–128.

Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S. & Soponronnarit, S. (2008). Drying characteristics and quality of banana foam mat. Journal of Food Engineering, 86, 573-583.

Vollmannn, J. & Rajcan, I. (2010). Oil Crops. Springer. London

Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F. & Zhao, G. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. Food Research international, 40, 36-46.

Yaldiz, O., Ertekin, C. & Uzun, H. I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy, 26, 457–465.

www.SID.ir