

خشک کردن کف پوشی پوره قارچ دکمه ای (*Agaricus bisporus*) و مدلسازی ریاضی فرآیند خشک کردن

آتنا پاسبان^۱، محبت محبی^{۲*}، هاشم پورآذرنگ^۲، مهدی وریدی^۳، آرزو عباسی^۴،
سمیرا سیدی مرغکی^۵

- ۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 ۲- استاد، عضو هیئت علمی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 ۳- دانشیار، عضو هیئت علمی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 ۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
 ۵- دانش آموخته کارشناسی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳۰)

چکیده

خشک کردن کف پوشی از روش‌های خشک کردن در حال توسعه در مواد غذایی مایع، کنسانتره و پوره مانند می‌باشد. از مزایای روش خشک‌کردن کف‌پوشی می‌توان به سرعت بالای فرآیند خشک شدن، بازسازی آسان و خصوصیات مطلوب فرآورده نهایی اشاره نمود. در این مطالعه اثر دماهای خشک‌کردن کف‌پوشی بر خصوصیات نهایی پودر قارچ دکمه ای مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که کف بهینه شده با استفاده از روش سطح پاسخ، در دمای ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک کن با جریان هوای داغ خشک شده و ویژگی‌های پودر شامل رنگ، ظرفیت جذب آب و فعالیت آبی مورد بررسی قرار گرفت. جهت مدلسازی ریاضی فرآیند خشک کردن، ۱۶ مدل تجربی با داده‌های آزمایشی برازش داده شدند. چهار معیار ضریب همبستگی (R^2)، مربع کای (χ^2)، ریشه میانگین مربعات خط (RMSE) و خطای میانگین مربعات (SSE) برای سنجش مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده نشان داد که مدل میدیلی در دمای ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدل ویبل در دمای ۶۵ سانتی‌گراد با بیشترین مقدار R^2 و کم‌ترین مقدار χ^2 و $RMSE$ بهترین انطباق را با داده‌های آزمایشی دارند.

کلید واژگان: خشک کردن کف‌پوشی، قارچ دکمه ای، صمغ دانه شاهی، مدلسازی ریاضی

*مسئول مکاتبات: mohebbatm@gmail.com

۱- مقدمه

قارچ‌های خوراکی از بزرگترین منابع تولید پروتئین حاصل از ضایعات و بقایای محصولات کشاورزی و پساب‌های صنعتی به ویژه صنایع غذایی می‌باشند که ضایعاتی تولید نمی‌کنند و بستر مورد استفاده برای کشت آنها نیز پس از تولید، به عنوان غذای دام و عامل حاصلخیز کننده اراضی کشاورزی بکار می‌رود. قارچ دکمه‌ای سفید از نظر ارزش‌های تغذیه‌ای و فواید درمانی با سایر قارچ‌های خوراکی تفاوت چندانی ندارد اما گسترش جهانی تولید قارچ دکمه ای، این قارچ را از سایر قارچ‌ها متمایز ساخته است [۱ و ۲].

قارچ دکمه ای به دلیل رطوبت و سرعت تنفس بالا، فقدان کوتیکول و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمی بوده و به سرعت فاسد می‌شوند از این رو استفاده از روش‌های مناسب برای افزایش زمان ماندگاری و حفظ ارزش تغذیه‌ای آنها ضروری می‌باشد [۳].

خشک کردن کف پوشی^۱ از روش‌های خشک کردن مواد غذایی است که بدلیل وجود ساختار متخلخل کف، امکان خشک کردن ماده غذایی در دمای پایین‌تر و مدت زمان کمتر وجود دارد. ساختار متخلخل کف خشک شده، زمان و دمای پایین خشک کردن سبب بهبود خصوصیات پودر نظیر رنگ، سرعت جذب آب و انحلال می‌گردد [۴]. با توجه به ارزش تغذیه‌ای بالای قارچ و زمان ماندگاری پایین آن، خشک کردن کف پوشی قارچ با هدف تهیه پودر قارچ جالب توجه است.

تهیه کف پایدار با دانسیته مطلوب از مهم‌ترین عوامل موثر در فرایند خشک کردن کف پوشی و کیفیت پودر نهایی می‌باشد. پژوهش‌های صورت گرفته و آزمایشات اولیه نشان داد که قارچ دکمه ای دارای قابلیت کف‌زایی می‌باشد اما کف ایجاد شده ناپایدار بوده و با گذشت زمان از بین می‌رود. امروزه انواع مختلفی از پایدار کننده جهت ایجاد کف پایدار به فرآورده‌های غذایی افزوده می‌شود.

موسیلاژهای دانه‌ای و پلی ساکاریدی گیاهی، منابع مهم پلی ساکاریدی هستند که به آسانی در دسترس بوده و دارای قیمت مناسبی می‌باشند. با توجه به فواید استفاده از صمغ‌های گیاهی و اثرات درمانی و خصوصیات عملکردی آنها، کاربرد صمغ‌های دانه‌ای و گیاهی بعنوان ترکیبات هیدروکلوئید با

خواص عملکردی ویژه در فرآورده های غذایی دارای اهمیت می‌باشد [۵].

شاهی با نام علمی لپیدیوم ساتیوم^۲، گیاهی علفی است که هنگامی که دانه های آن در آب خیسانده می‌شود به سرعت جذب آب کرده و لایه‌ی موسیلاژی چسبناک تولید می‌نماید. صمغ دانه شاهی حاوی مقدار بالایی کربوهیدرات با مقدار قند حدود (۷۷ درصد) و مقدار اندک چربی (۱/۸۵ درصد) و پروتئین (۲/۴۰ درصد) می‌باشد [۶ و ۵].

در مطالعه‌ای که توسط ناجی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی خصوصیات عملکردی صمغ دانه شاهی و صمغ زانتان صورت گرفت، نشان داده شد که صمغ دانه شاهی با وجود داشتن ویسکوزیته پایین‌تر از صمغ زانتان، خصوصیات امولسیون‌کنندگی و رفتار تیکسوتروپی مطلوبی داشته و از نظر قابلیت کف‌کنندگی بهتر از صمغ زانتان می‌باشد. تیمار حرارتی موجب افزایش ویسکوزیته محلول صمغ و باز شدن بخش های پروتئینی متصل به پلیمرها می‌شود که در نهایت منجر به افزایش قابلیت کف‌کنندگی صمغ دانه شاهی می‌گردد [۷].

پاسبان و همکاران (۲۰۱۳) به مقایسه اثر صمغ‌های بومی شامل صمغ دانه شاهی، صمغ دانه بالنگو، صمغ دانه ریحان و صمغ دانه قدومه شیرازی در مقایسه با صمغ تجاری زانتان، بر خصوصیات کف‌زایی پوره‌ی قارچ دکمه‌ای پرداخته و مناسب‌ترین صمغ را با استفاده از روش خوشه بندی انتخاب نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که صمغ دانه شاهی نسبت به سایر صمغ‌های مورد بررسی قادر است قابلیت کف‌زایی پوره قارچ را بالاتر ببرد و سطوح ۰/۳ تا ۰/۵ (وزنی/وزنی) این صمغ قادر به تولید کف با دانسیته و پایداری مطلوب می‌باشد [۸].

پاسبان و همکاران (۲۰۱۳) بهینه‌سازی شرایط تولید کف پایدار از پوره قارچ دکمه‌ای را با استفاده از صمغ دانه شاهی بعنوان عامل پایدار کننده، با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش شرایط تولید کف بهینه با کمترین دانسیته و بیشترین پایداری در غلظت ۰/۵۷ درصد صمغ دانه شاهی، زمان هم زدن ۶/۴۹ دقیقه و نسبت آب به پوره ۱:۰/۵ حاصل شد [۹].

هدف از این پژوهش بررسی اثر دماهای خشک کردن بر خصوصیات پودر تهیه شده از کف قارچ دکمه‌ای پایدار شده

2. *Lepidium sativum*
3. Clustering

1. Foam mat drying

۲-۳- خشک کردن کف بهینه شده توسط

خشک کن با جریان هوای داغ

خشک کردن نمونه‌ها توسط خشک کن غیر مداوم کابینتی با جریان هوای داغ (ساخت شرکت طبی سروش) مجهز به ۳ سینی مشبک انجام پذیرفت. در این خشک کن هوای داغ با سرعت ثابت ۱/۵ متر بر ثانیه از قسمت مرکزی خشک کن دمیده می‌شود. جهت خشک کردن کف، دقایقی قبل از شروع آزمون خشک کن روشن و بر روی دمای مورد نظر تنظیم گردید. نمونه‌های کف بهینه شده درون پلیت‌های آلومینیومی با قطر ۹۵ میلی‌متر و ضخامت ۷ میکرومتر به صورت لایه نازک با ضخامت حدود ۳ میلی‌متر ریخته شده و درون خشک کن با دمای ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. نمونه‌های کف تا رسیدن به رطوبت تعادلی خشک شدند. در مرحله‌ی بعد کف خشک شده از خشک کن خارج و توسط آسیاب خانگی تفال تبدیل به پودر گردید و پس از عبور از صافی درون ظروف پلی اتیلنی بسته بندی و در یخچال نگهداری شد.

۲-۴- آزمایشات مربوط به پودر

۲-۴-۱- اندازه گیری ظرفیت جذب آب

ظرفیت جذب آب با استفاده از روش اصلاح شده دانکوال و همکاران (۲۰۰۷) اندازه گیری شد [۱۱]. به این منظور ۱ گرم نمونه پودر در ۳۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده، به مدت ۱۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. سپس محلول تهیه شده به مدت ۴۰ دقیقه در سانتریفوژ (Sigma, 2-16KC, Germany) با سرعت $3400 \times g$ و دمای محیط قرار داده شد. در انتها میزان ظرفیت نگهداری آب از رابطه زیر محاسبه گردید.

تفاوت روش انجام شده با روش دانکوال و همکاران (۲۰۰۷)، در مدت زمان نگهداری محلول حاوی پودر قارچ می‌باشد. در روش مذکور مدت زمان نگهداری ۱۲ ساعت می‌باشد. علت افزایش زمان، افزایش فرصت جذب آب به هیدروکلوئید موجود در نمونه پودر می‌باشد.

مقدار مایع جدا شده از نمونه بعد از سانتریفوژ (مایع رویی) -

مقدار آب اضافه شده به ۱ گرم پودر

= مقدار آب جذب شده توسط یک گرم پودر

۲-۴-۲- اندازه گیری رنگ

با استفاده از پایدار کننده صمغ دانه شاهی و مدل‌سازی فرایند خشک کردن با استفاده از مدل‌های تجربی و رگرسیون می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی محلول هیدروکلوئید صمغ

دانه شاهی

صمغ دانه شاهی با استفاده از روش ارائه شده توسط گاراژیان و همکاران (۲۰۱۱) استخراج گردید [۶]. جهت هیدراسیون صمغ دانه شاهی، محلول آبی حاوی صمغ دانه شاهی با غلظت های ۰/۲ درصد تهیه گردید. به این صورت که مقادیر لازم از هیدروکلوئید همراه با مخلوط کردن توسط همزن مغناطیسی به آب مقطر اضافه شد. پس از آن محلول صمغ به مدت یک شبانه روز در یخچال قرار گرفت تا آب‌پوشانی کامل مولکول‌های صمغ صورت پذیرد. در زمان آزمون مقدار مورد نظر صمغ محاسبه و به سوسپانسیون مورد نظر اضافه گردید.

۲-۲- آماده سازی پورهی قارچ و تهیه کف

قارچ دکمه‌ای تازه از یکی از فروشگاه‌های محصولات پروتئینی در مشهد خریداری و تا زمان شروع آزمون در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری گردید. جهت انجام آزمایش قارچ تازه از یخچال خارج و شو و شست و توزین توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، در قطعات کوچک برش داده شد. به منظور جلوگیری از واکنش‌های قهوه‌ای شدن قطعات خرد شده قارچ به مدت ۱۰ دقیقه در محلول آبی حاوی ۲ گرم/لیتر متابی‌سولفیت سدیم غوطه‌ور گردیدند [۱۰]. در مرحله‌ی بعد برش‌های قارچ از محلول آبی خارج و با آب شست و شو داده شدند. پس از جدا کردن آب اضافی قطعات برش خورده‌ی قارچ توسط خردکن خانگی (تفال، ۲۱۰ وات) با بیشینه دور (۱۵۰۰۰ در دقیقه) به هم زده شدند تا پورهی همگنی به دست آمد. سپس ۱۰۰ گرم سوسپانسیون حاوی ۰/۵۷ گرم صمغ دانه شاهی، ۶۶/۶۶ گرم پوره قارچ و ۳۳/۳۳ سی سی آب تهیه شده و به مدت ۶/۴۹ دقیقه، توسط همزن خانگی سانی (مدل SM88) با بیشینه دور (۱۵۰۰ دور در دقیقه) به هم زده شدند.

مورد استفاده می‌باشد [۱۲]. در تحقیقات صورت گرفته مدل‌های تجربی متعددی برای توصیف کینتیک خشک کردن مواد بیولوژیکی به صورت لایه نازک پیشنهاد شده‌اند (جدول ۱). پس از اتمام مرحله خشک کردن، به منظور بررسی تغییرات رطوبت طی زمان خشک کردن مدل‌های تجربی ارائه شده در جدول ۱ جهت برازش داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفتند. پارامتر بدون بعد MR با محاسبه میزان رطوبت نمونه در هر لحظه از خشک کردن و رطوبت اولیه و رطوبت تعادلی از رابطه ۲، محاسبه گردید.

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

MR = نسبت رطوبت، X_1 = رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه، X_0 = رطوبت اولیه نمونه‌ها و X_e = رطوبت تعادلی نمونه‌ها می‌باشد.

رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه کالریمتر (۱۶۰ reflectance) درصد تا $y=0,01$ و $E = \Delta 0/6$ و Illuminant=C) استاندارد شده با کاشی سفید ($L^*=98/14$ ، $a^* = -0/23$ و $b^* = 1/89$) اندازه‌گیری شد. ارزیابی رنگ در فضای a^* ، L^* و b^* انجام پذیرفت.

۲-۳-۴- اندازه گیری فعالیت آب

فعالیت آب توسط دستگاه a_w متر ساخت سوئیس (2 Rotronic Hygrolab) اندازه گیری شد.

۲-۵- مدلسازی کینتیک انتقال جرم

هدف از فرآیند مدلسازی، برداشش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های تجربی پیشنهادی و انتخاب مناسب ترین مدل جهت بررسی روند تغییرات ماده غذایی طی فرایند خشک کردن، طراحی خشک کن‌های صنعتی مناسب و یا بهبود سیستم‌های

Table 1 implemented Empirical models for evaluation of drying kinetics

Refrence	Equation	Model
[13]	$MR = \exp(-kt)$	Newton
[14]	$MR = \exp(-kt^n)$	Page Two-term
[15]	$MR = \exp[-((-kt)]^n)$	Modified page
[16]	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson & Pabis
[17]	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Modified Henderson & Pabis
[18]	$MR = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$	Two-term
[19]	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Two-term exponential
[20]	$MR = a \exp(-kt) + \square$	Logarithmic
[21]	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh
[22]	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Appromiximation of diffusion
[23]	$MR = a \exp\left(-c\left(\frac{t}{L^2}\right)\right)$	Simplified Fick's diffusion equation
[24]	$MR = a \exp(-kt^n) + b \square$	Midilli
[25]	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma
[26]	$MR = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + \square$	Jena & Das
[27]	$MR = \frac{a}{1+b \exp(kt)}$	Logestic
[28]	$MR = a - b \exp(-kt^n)$	Weibull distribution

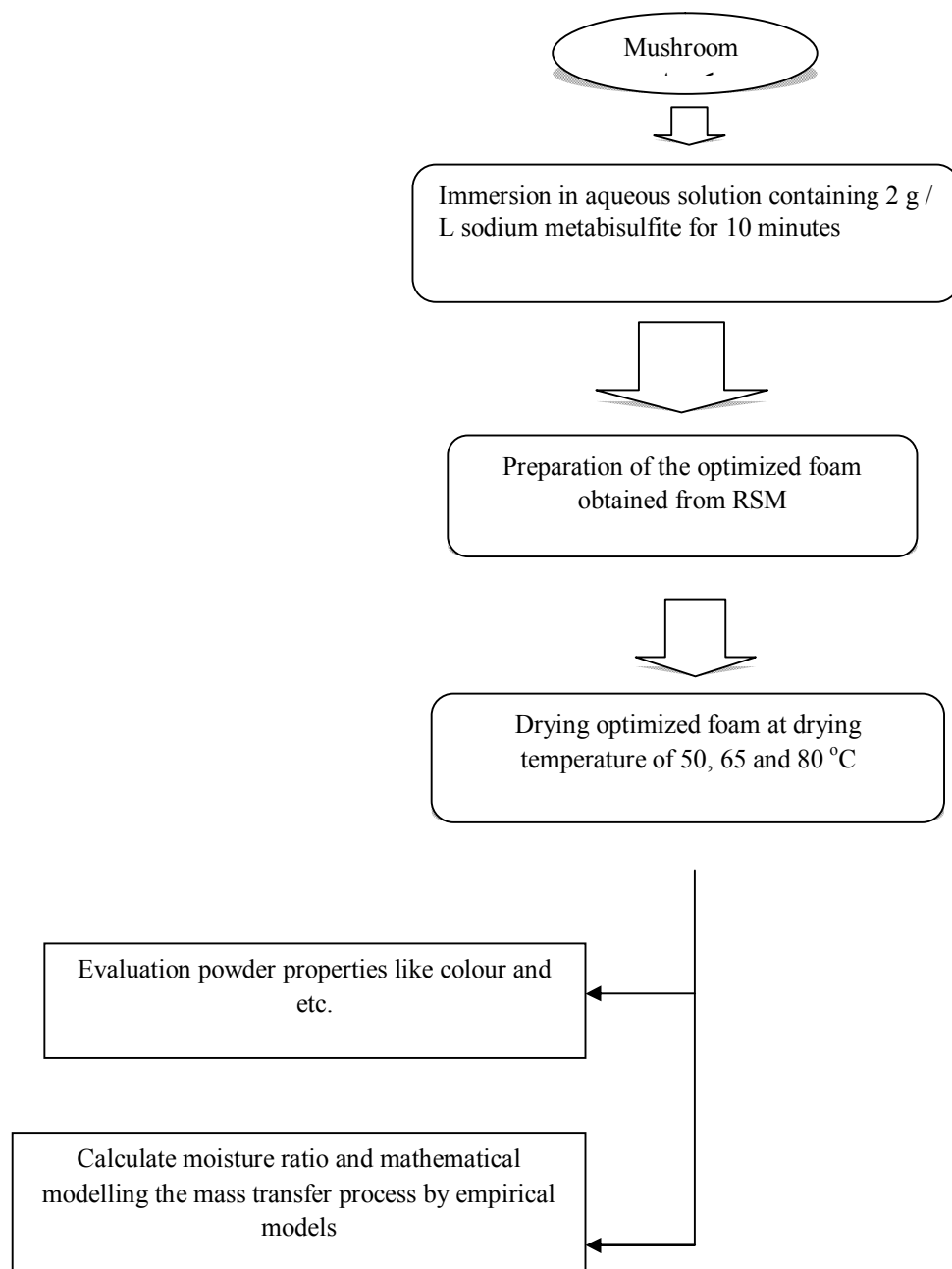


Fig 1 Flow chart of experimental work

تصادفی انجام گرفت. مقایسه میانگین با آزمون دانکن و $p < 0/05$ صورت پذیرفت.

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به ویژگی‌های پودر تهیه شده با استفاده از نرم افزار SPSS در قالب طرح کاملاً

Table 2 The effect of drying temperature on water holding capacity of mushroom powder

Water holding capacity	Drying temperature
4/092±0/505 ^a	50
3/265±0/035 ^{ab}	65
2/675±0/120 ^{bc}	80

۳-۱-۲- ارزیابی رنگ

رنگ از اولین و مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی پودر می‌باشد که به طور مستقیم بیانگر شرایط اعمال شده به هنگام خشک کردن و کیفیت محصول نهایی است. واکنش‌های مایلارد و قهوه‌ای شدن آئزیمی از مهم‌ترین عوامل تغییر رنگ قارچ طی فرآیند خشک کردن می‌باشند.

نتایج مربوط به پارامتر روشنایی (L^*) رنگ پودر قارچ دکمه‌ای تهیه شده به روش خشک کردن کف پوشی در جدول، ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش دمای خشک کردن از ۵۰ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد تغییر معنی‌داری در مقدار پارامتر L^* صورت نگرفته است. این در حالی است که با افزایش دما از ۶۵ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد این پارامتر به طور معنی‌داری کاهش یافته است. به طور کلی پارامتر رنگی L^* به تغییرات رنگی (تیرگی) ناشی از واکنش‌های قهوه‌ای شدن در بافت میوه‌ها مرتبط می‌باشد، به طوری که با افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مقدار L^* کاهش می‌یابد [۳۰]. واکنش مایلارد به دلیل رطوبت و دمای بالا طی خشک کردن با هوای داغ از دلایل کاهش L^* در دماهای بالای خشک کردن (۸۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. وجود مقدار بالای قند و مقدار ناچیز پروتئین در صمغ دانه شاهی نیز از عوامل تشدید کننده واکنش‌های مایلارد در پودر تهیه شده از این صمغ می‌باشند. لازم بذکر است حروف یکسان در جدول نشانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($p < 0.05$) است.

Table 3 The effect of drying temperature on lightness (L^*)

L^*	Drying temperature
1/11 ^a ±67/83	50
0/473 ^a ±63/38	65
1/329 ^b ±55/79	80

برای برآزش داده‌ها روش رگرسیون غیرخطی بکار گرفته شد و به کمک نرم افزار آماری مطلب ۲۰۰۸ ویرایش ۷,۶,۰,۳۲۴ مدل‌های مذکور با داده‌ها برآزش داده شدند. در هنگام ارزیابی مدل‌ها از سه معیار ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربعات خط (RMSE) و مربع کای (χ^2) برای سنجش مدل‌ها استفاده شد و نهایتاً مدلی به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید که دارای بیشترین مقدار R^2 (نزدیک به ۱) و کم‌ترین مقدار χ^2 و RMSE (نزدیک به صفر) باشد.

(۳)

$$R^2 = \frac{\sum_j^n (MR_{Exp,j} - MR_{p,mean})^2 - \sum_j^n (MR_{p,j} - MR_{Exp,j})^2}{\sum_j^n (MR_{Exp,j} - MR_{p,mean})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_j^n (MR_{p,j} - MR_{Exp,j})^2}{n}} \quad (۴)$$

(۵)

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

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی خصوصیات پودر

۳-۱-۱- بررسی قابلیت جذب آب

قابلیت جذب آب یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های پودر و بیانگر توانایی پودر در جذب و نگهداری آب بر خلاف نیروی جاذبه می‌باشد. پروتئین‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل جذب آب در پودر قارچ می‌باشند که توانایی جذب آب در آن‌ها بسته به غلظت پروتئین، شرایط محیطی نظیر pH، دما، قدرت یونی محیط و حضور سایر ترکیبات تغییر می‌کند. صمغ‌ها به دلیل دارا بودن طبیعت هیدروفیل از دیگر عوامل مهم جذب آب در پودر قارچ تهیه شده به روش خشک کردن کف پوشی می‌باشند.

همانطور که در جدول ۲، نشان داده شده است، افزایش دمای خشک کردن، قابلیت جذب آب پودر تهیه شده توسط صمغ دانه شاهی را به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش می‌دهد. داناتوره شدن پروتئین‌ها (پروتئین‌های طبیعی قارچ و پروتئین‌های صمغ دانه شاهی) و قرار گرفتن گروه‌های آبگریز در سطح پروتئین از دلایل کاهش قابلیت جذب آب در دماهای بالای خشک کردن می‌باشد [۲۹].

۳-۱-۳- بررسی فعالیت آب

فعالیت آب یا میزان آب در دسترس، یکی از خصوصیات مهم ترمودینامیکی و برابر نسبت فشار بخار آب در ماده غذایی به فشار بخار اشباع شده در همان درجه حرارت می‌باشد. با توجه به اینکه آب از مهم‌ترین عوامل فساد میکروبی، آنزیمی و شیمیایی در مواد غذایی می‌باشد، کاهش و کنترل فعالیت‌های آب روش بسیار موثری برای افزایش زمان ماندگاری و جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب در مواد غذایی می‌باشد [۳۱]. مقادیر فعالیت آب پودر حاصل از صمغ دانه شاهی در جدول ۴، ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مقادیر فعالیت آب کمتر از ۰/۲ بوده و با افزایش دمای خشک کردن کاهش یافته است.

به نظر می‌رسد وجود ساختار متخلخل در کف و خروج قسمت اعظم آب آزاد طی فرایند خشک کردن و حضور صمغ با خاصیت هیدروفیلی بالا از دلایل اصلی پایین بودن مقدار

فعالیت آب در پودرهای مورد بررسی باشد. از آنجا که اغلب واکنش‌های میکروبی، شیمیایی و آنزیمی در فعالیت آب کمتر از ۰/۶ متوقف می‌شوند می‌توان اظهار داشت که پودر تهیه شده به روش خشک کردن کف پوشی در صورت نگهداری مناسب و عدم جذب رطوبت، دارای زمان ماندگاری بالایی خواهد بود [۳۲].

Table 4 the effect of drying temperature on water activity

Water activity	Drying temperature
0/121±0/007	50
0/088±0/026	65
0/073±0/003	80

۳-۲- مدلسازی کینتیک خشک کردن

جدول ۵ تا ۷، مقادیر ثابت‌ها و نتایج آماری حاصل از برازش داده‌های آزمایشی خشک کردن کف بهینه شده را با مدل‌های منتخب نشان می‌دهند.

Table 5 The results obtained from fitting the experimental data with empirical models at drying temperature of 50°C

RMSE	SSE	χ^2	R ²	Constans	Model
0/09436	0/3027	0/008649	0/9247	k = 0/02754	Newton
0/03542	0/0414	0/001294	0/9897	k = 0/001733, n = 1/735	Page Two-term
0/03597	0/0414	0/001333	0/9897	c = 3/544, l = -9/003, n = 1/735	Modified page
0/8329	0/2289	0/006935	0/943	a = 1/143, k = 0/03102	Henderson & Pabis
0/04438	0/05711	0/00198	0/9858	a = 204/9, b = 0/3776, c = -204/3, g = 0/4002, h = 0/06908, k = 0/06852	Modified Henderson & Pabis
0/06474	0/1299	0/004224	0/9677	a = 58, b = 0/0115, c = -57/01, d = 0/01132	Two-term
0/05325	0/09357	0/002835	0/9767	a = 0/064, k = 0/04326	Two-term exponential
0/05398	0/9352	0/002914	0/9768	a = 1/326, c = -0/2889, k = 0/0183	Logarithmic
0/04667	0/0718	0/002179	0/9821	a = -0/01961, b = 0/00009232	Wang and Singh
0/04947	0/07831	0/002448	0/9805	a = -427/8, b = 0/9987, k = 0/05763	Appromixation of diffusion
0/08458	02289	0/007154	0/943	a = 1/143, c = 3/055, l = 9/923	Simplified Fick's diffusion equation
0/0268	0/02270	0/000718	0/9945	a = 0/9729, b = -0/04793, k = -0/06868, n = 0/06832	Midilli
0/05008	0/08026	0/00251	0/98	a = -60/25, g = 0/0598, k = 0/06092	Verma
0/04558	0/06439	0/00208	0/984	a = 1/094, b = 0/8563, c = -0/1521, k = 0/03255	Jena & Das
0/08458	02289	0/00715	0/943	a = 25/24, b = 21/09, k = -0/03102	Logestic
0/02719	0/02291	0/000739	0/994	a = -0/02137, b = -0/9559, k = 0/0007896, n = 1/908	Weibull distribution

Table 6 The results obtained from fitting the experimental data with empirical models at drying temperature of 65°C

RMSE	SSE	χ^2	R ²	Constants	Model
0/07288	0/1593	0/00514	0/950	k =0/04423	Newton
0/265	0/0203	0/000728	0/993	k =0/005713, n =1/615	Page Two-term
0/02697	0/0203	0/000754	0/993	c=5/707, l=8/49, n =1/615	Modified page
0/06471	0/1214	0/004187	0/962	a =1/122, k = 1/04879	Henderson &Pabis
0/03833	0/0367	0/00147	0/988	a = 243/4, b = -242/5, c = 0/1464, g = 0/08659, h =0/05299, k =0/08629 a = -0/02102, b =11/56, c =1/121,	Modified Henderson &Pabis
0/05964	0/0960	0/003556	0/970	d =0/05217	Two-term
0/03863	0/0432	0/001492	0/986	a = 2/023, k =0/06749	Two-term exponential
0/05321	0/0792	0/002831	0/975	a =1/174, c = -0/08394 , k =0/0397	Logarithmic
0/03527	0/0360	0/001244	0/988	a = -0/03038, b = 0/0002218	Wang and Singh
0/03557	0/0354	0/001288	0/989	a = -1442, b = 0/9993, k =0/0891	Appromixation of diffusion
0/06585	0/1214	0/004437	0/962	a =1/122, c =0/7335, l = 3/877	Simplified Fick's diffusion equation
0/02287	0/1412	0/000523	0/995	a =0/9455, b = -0/00006837 , k =0/003091, n = 1/778	Midilli
0/0356	0/0354	0/00127	0/989	a =-24/31, g =0/08876, k =0/09247	Verma
0/04142	0/0463	0/00172	0/985	a =1, b = 0/1286, c =-0/0445 , k = 0/06319	Jena & Das
0/06588	0/1214	0/00434	0/962	a =-24/41, b =-22/75, k =- 0/0488	Logestic
0/02262	0/1382	0/000512	0/995	a =-0/007307, b =-0/0954, k =0/003238, n =761/1	Weibull distribution

Table 7 The results obtained from fitting the experimental data with empirical models at drying temperature of 80°C

RMSE	SSE	χ^2	R ²	Constants	Model
0/08548	0/1096	0/00685	0/941	k =0/05947	Newton
0/02748	0/01057	0/000813	0/994	k =0/009 , n =1/633	Page Two-term
0/02852	0/01057	0/000880	0/994	c =6/2 , l =7/398 , n =1/633	Modified page
0/07795	0/08507	0/006077	0/954	a =1/111 , k =0/06537	Henderson &Pabis
0/09623	0/09259	0/009249	0/950	a =275/2, b = -274/3, c =0/1471, g =0/08662, h =0/5277 , k =0/08644	Modified Henderson &Pabis
0/07023	0/05919	0/004933	0/968	a = -0/2387, b =27/49, c =1/238, d =0/07222	Two-term
0/04339	0/02639	0/001883	0/986	a =2/04, k =0/09291	Two-term exponential
0/04224	0/02319	0/001784	0/988	a =1/378, c = -0/3265, k =0/03703	Logarithmic
0/03386	0/01605	0/001146	0/991	a = -0/0421, b = 0/0004427	Wang and Singh
0/04487	0/02618	0/003124	0/986	a =-250/2, b =1/005, k =0/01879	Appromixation of diffusion
0/08089	0/0850	0/006544	0/954	a =1/111, c =0/9426, l =3/798	Simplified Fick's diffusion equation
0/013	0/00202	0/000169	0/999	a =0/9941, b = -0/09316, k =-0/08499, n =0/7434	Midilli
0/04035	0/02117	0/00164	0/989	a =-23/2, g =0/1202, k =0/1255	Verma
0/03289	0/01298	0/000999	0/993	a =1/158, b =0/08882, c =-0/1727, k = 0/06274	Jena & Das
0/08089	0/08507	0/00654	0/954	a =804/8, b = 6/927, k =-0/06536	Logestic
0/02012	0/00485	0/000405	0/997	a =-0/04659, b = -1/019, k =0/008864, n =1/59	Weibull distribution

توصیف فرآیند خشک کردن کف پایدار شده قارچ دکمه‌ای با استفاده از پایدار کننده صمغ دانه شاهی می‌باشند.

۵- منابع

- [1] Farsi, M. and Garden, H.R. 2007. Breeding of edible fungi with emphasis on: White button mushrooms. Mashhad University Jahadverlag.
- [2] Niyazmand, A. 2005. Evaluation of white button mushroom shelf life increasing by using polysaccharide coating and others components. MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad.
- [3] Brennan, M., Le Port, G., Pulvirenti, A. and Gormley, R. 2000. Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 33, 285-289.
- [4] Kadam, D. M., Patil, R. T. and Kaushik, P. 2010. Foam Mat Drying of Fruit and Vegetable Products. In: Jangam, S. V., Law, C. L. and Mujumdar, A. S (eds) Drying of Foods, Vegetables and Fruits, Vol 1, pp 113-124. Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology, Ludhiana, India.
- [5] Karazhiyan, H. 2009. Extraction optimization of crude hydrocolloids from garden cress seed (*Lepidiumsativum*) and evaluation of its functional. PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad.
- [6] Karazhiyan, H., Razavi, S. M. A. and Phillips, G. O. 2011. Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidiumsativum*) using response surface methodology. Journal of Food Hydrocolloids. 25(5), 915-920.
- [7] Naji, S., Karazhiyan, H. and Razavi, S. M. A. 2012. Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidiumsativum*) and xanthan gums: A comparative study. Journal of Food Hydrocolloids. 28(1), 75-81.
- [8] Pasban, A., Mohebbi, M., PourAzarang, H. and Varidi, M. 2014. Effects of Endemic Hydrocolloids and Xanthan Gum Addition on Foaming Properties of White Button Mushroom Puree Foam Studied By Cluster Analysis: A comparative study. Journal of Taibah University. 8(1), 31-38.
- [9] Pasban, A., Mohebbi, M., PourAzarang, H., Varidi, M. and Abasi, A. 2014. Optimization of Foaming Condition of Button Mushroom (*Agaricusbisporus*) Puree

همان طور که مشاهده می‌شود، تمامی مدل‌ها دارای ضریب تعیین بالای ۰/۹۲ می‌باشند که نشان از برازش خوب همه مدل‌ها با داده‌های آزمایشی در خشک کردن کف های بهینه شده دارد. با توجه به معیارهای ذکر شده برای انتخاب بهترین مدل (بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار χ^2 و $RMSE$) مدل میدلی دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی کف خشک شده در دماهای ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدل ویبل دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقایسه مقادیر تجربی نسبت رطوبت با مقادیر پیش بینی شده توسط مدل میدلی در دماهای ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدل ویبل در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در شکل ۲ نشان داده شده است. انطباق خوب بین مقادیر نسبت های رطوبت تجربی و پیش بینی شده بیانگر مناسب بودن مدل های مذکور جهت پیش بینی سینتیک خشک کردن کف قارچ دکمه ای در شرایط مورد بررسی می‌باشد.

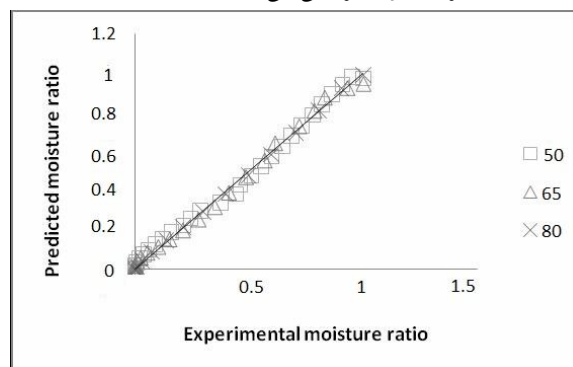


Fig 2 Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental results at drying temperatures 50 and 80 °C by Midlilli model and drying temperature 65 °C weibull model.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، کف بهینه حاصل از صمغ دانه شاهی در ۳ دمای ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده، ویژگی‌های پودر و مدلسازی فرآیند انتقال جرم مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که افزایش دمای خشک کردن موجب افزایش قهوه‌ای شدن و کاهش روشنی رنگ در پودر حاصل از صمغ دانه شاهی می‌گردد. افزایش دمای خشک کردن، قابلیت جذب آب پودر تهیه شده توسط صمغ دانه شاهی را به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) کاهش داد. مقادیر فعالیت آب کمتر از ۰/۲ نیز بیانگر ماندگاری بالای پودر قارچ تهیه شده می‌باشد. نتایج حاصل از مدل‌سازی سینتیک خشک کردن نشان داد که مدل میدلی در دمای ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدل ویبل در دمای ۶۵ سانتی‌گراد بهترین مدل های تجربی برای

- American Society of Agricultural Engineers. 11, 668–672.
- [22] Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy journal*. 26(5), 457–465.
- [23] Diamante, L.M. and Munro, P.A. 1991. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*. 26(1), 99 – 109.
- [24] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002. A new model for single layer drying. *Journal of Drying Technology*. 20(7), 1503–1513.
- [25] Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*. 28, 296–301.
- [26] Jena, S. and Das, H. 2007. Modeling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake. *Journal of Food Engineering*. 79(1), 92–99.
- [27] Chandra, P.K. and Singh, R.P. 1995. *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. Boca Raton, FL: CRC Press. 163–167.
- [28] Machado, M.F., Oliveira, F.A.R., Gekas, V. and Singh, P. 1998. Kinetics of moisture uptake and soluble solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. *International Journal of Food Science and Technology*. 33(3), 225–237.
- [29] Bragadottir, M., Reynisson, E., porarinsdottir, k. and Arason, S. 2007. Stability of fish powder made from saithe (*pollachiusvirens*) as measured by lipid oxidation and functional properties. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 16(1), 115–136.
- [30] andala, I., Anagnostaras, E. and Oikonomou, C. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 69(3), 307–316.
- [31] Jangam, S. V. and Mujumdar, A. S. 2010. Basic Concepts and Definitions. In: Jangam, S. V., Law, C. L. and Mujumdar, A. S (eds) *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, Vol 1, 3–26. Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology, Ludhiana, India.
- [32] Thankitsunthorn, S., Thawornphiphatdit, C., Laohaprasit, N. and Srzednicki, G. 2009. Effects of drying temperature on quality of dried Indian Gooseberry powder. *International Food Research Journal*. 16, 355–361.
- by Cress seed Gum as Stabilizer. *Journal of Food Processing and Preservation*. DOI: 10.1111/jfpp.12283.
- [10] Pasban, A., Mohebbi, M., PourAzarang, H and Varidi, M. 2013. The effect of ascorbic acid, citric acids and sodium metabisulphite on color and foaming properties of mushroom purees (*Agaricusbisporus*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 9(2), 138–146.
- [11] Dunkwal, V., Jood, S. and Singh, S. 2007. Physico chemical properties and sensory evaluation of *Pleurotussajorcaju* powder as influenced by pretreatments and drying methods. *British Food Journal*. 109(9), 749–759.
- [12] Abbasi, S., Mousavi S. M. and Mohebbi, M. 2010. Mathematical Modeling of Onion Drying Process Using Hot Air Dryer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 6(3), 229–234.
- [13] O’Callaghan, J.R., Menzies, D.J., Bailey, P.H. 1971. Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 16(3), 223–244.
- [14] Page, G.E. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. MSc thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA.
- [15] White, G.M., Ross, I.J., Ponekert, R. 1981. Fully exposed drying of popcorn. *Transactions of the ASAE*. 24, 466–468.
- [16] Henderson, S.M. and Pabis, S. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 6, 169–174.
- [17] Karathanos, V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*. 39(4), 337–344.
- [18] SharafEldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y. 1980. A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*. 23(5), 1261–1265.
- Henderson, S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*. 17, 1167–1168.
- Togrul, I.T. and Pehlivan, D. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*. 55, 209–216.
- [21] Wang, C.Y, Singh, R.P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of*

Foam mat drying of white button mushroom (*Agaricusbisporus*) puree and mathematical modeling of drying process

Pasban, A.¹, Mohebbi, M.^{2*}, PourAzarang, H.², Varidi, M.³, Abasi, A.⁴,
Seyedi Margaki, S.⁵

1. PhD Graduated, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
5. Bachelor Graduated, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 2014/04/14 Accepted:2015/02/19)

Foam mat drying is a promising new development in the field of liquid and semi liquid material drying. The advantages of the foam mat drying process include relatively fast drying, easy reconstitution and better quality of the product. In this study, the effect of drying temperature on the quality of white button mushroom powder is investigated. The optimized mushroom puree foams prepared by response surface methodology are subjected to air drying at 50, 65, and 80 °C and physical parameters of powder including color, water holding capacity and water activity are analyzed. In order to mathematical modeling of drying process, 16 different thin layer drying models are fitted to the experimental data and are evaluated with the correlation coefficient (R^2), the reduced chi-square (χ^2), the root mean square error (RMSE) and the sum of square error (SSE). The result showed the Midilli model at 50 and 80 and weibull model at 65°C are the best descriptive models with the highest value of R^2 and lowest values of χ^2 , SSE and RMSE.

Key word: Foam mat drying, White mushroom, Cress seed gum, Mathematical Modeling

* Corresponding Author E-Mail Address mohebbatm@gmail.com: