

بهینه سازی فرآیند تولید پودر دوغ با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ

حمید رضا عبادتی^۱، اکرم شریفی^۲، مهرداد نیاکوثری^۳

^۱گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

^۲گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

^۳گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱/۲۳

چکیده

دوغ از سال های بسیار دور بخشی از تغذیه مردم ایران و سراسر دنیا را تشکیل داده است ولی به این دلیل که نگهداری آن مشکلاتی از قبیل دو فاز شدن و ماندگاری ایجاد می کند، در این تحقیق در مرحله اول به بررسی امکان تولید پودر دوغ با خشک کردن کف پوشی به روش سطح پاسخ پرداخته شد و در مرحله دوم درصد ترکیبات کف زا ورودی به خشک کن و اثر دماهای مختلف خشک کردن (۶۰، ۵۰ و ۷۰ درجه ی سانتی گراد) بر دانسیته توده، رطوبت، حلالیت، دانسیته کف، ظرفیت جذب آب، فعالیت آبی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده مدل ارائه شده توسط روش سطح پاسخ برای همه پاسخ ها معنی دار شد. دانسیته فشرده با افزایش میزان مالتودکسترین در ابتدا کاهش و سپس افزایش داشت و در مورد دانسیته غیر فشرده نتیجه عکس بود. رطوبت با خاصیت آب دوستی مالتودکسترین در انتها کاهش و حلالیت با افزایش مالتودکسترین و آلومین به طور خطی افزایش نشان داد. ظرفیت جذب آب و فعالیت آبی با افزایش دما و دنا توره شدن پروتئین ها کاهش داشت. تیمار بهینه معرفی شده توسط مدل، مالتودکسترین ۲۰ درصد و آلومین ۶ درصد در دمای ۶۰ درجه ی سانتی گراد بود که در آزمایشات صورت گرفته بالاترین کیفیت را نشان داد و کمترین دانسیته کف به طور خاص در این تیمار مشاهده شد.

واژه های کلیدی: خشک کردن کف پوشی، روش سطح پاسخ، پودر دوغ، حلالیت

۱- مقدمه

وآلبومین تخم مرغ در سطوح مختلف به عنوان عامل کف ساز مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط ماست و عوامل کف ساز هم زده شد. ویژگی های کف از جمله دانسیته کف، پایداری کف و انبساط کف اندازه گیری شد. ۳٪ آلبومین با زمان هم زدن ۱۲ دقیقه بهترین نتیجه را داد (۱۶). همچنین فبرایانتو^۲ و همکاران (۲۰۱۲) فرایند خشک کردن پودر شیر را مورد بررسی قرار دادند. مالتو دکسترین و صمغ عربی به عنوان پوشش مورد استفاده قرار گرفت. نوع و غلظت صمغ عربی و مالتو دکسترین تاثیر واقعی بر عملکرد حلالیت، مقدار آب و پروتئین موجود در شیر خشک شده را داشت. نتایج نشان داد بهترین کیفیت مربوط به پودر شیر با مالتو دکسترین با غلظت ۱۵٪ بود (۱۳). هدف از این تحقیق بهینه سازی فرایند تولید پودر دوغ به روش کف پوشی بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱ آماده سازی نمونه ها

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل دوغ تهیه شده از ماست محلی به روش استاندارد شماره ۹۲۵/۲۱ (۸)، مالتو دکسترین تهیه شده از شرکت مرک آلمان و آلبومین تازه تخم مرغ خریداری شده از سطح شهر سبزوار بود.

جهت تهیه ی کف در ابتدا مقدار مشخصی دوغ درون بشر توزین شد و میزان مشخصی مالتو دکسترین (۱۵، ۱۰، ۲۰٪ وزنی / وزنی) و آلبومین تازه تخم مرغ (۴، ۲ و ۶٪ وزنی / وزنی) اضافه گردید، سپس مخلوط مورد نظر با همزن مکانیکی (Germany IKA LABORTECHNIK) با بیشترین سرعت در دمای محیط به مدت ۱۵ دقیقه، هم زده شد. کف تولیدی درون پلیت های آلومینیومی با ضخامت و ارتفاع مشخص ریخته شد و در دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد توسط خشک کن هوای داغ (JEIO TECH, F-02G) خشک شد. سپس نمونه ها از خشک کن خارج شده، لایه خشک شده از سطح پلیت تراشیده و با آسیاب خانگی، آسیاب گردید. به منظور جلوگیری از جذب رطوبت، پودر پس از عبور از الک (مش ۶۰) درون پلاستیک ریخته و تا زمان انجام آزمایشات در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد.

از سال های بسیار دور بخشی از تغذیه ی مردم ایران را شیر و فرآورده های آن تشکیل می داده است. توسعه ی صنعت لبنیات در کشور به خصوص در یکی دو دهه اخیر، باعث شد تا این محصول مورد توجه صنعتگران قرار گیرد. در نتیجه کارخانجات یکی پس از دیگری شروع به تولید دوغ به روش صنعتی نمودند، امروزه تولید دوغ در ایران و برخی از کشورهای دیگر از جمله ترکیه، هندوستان، آذربایجان، ارمنستان، افغانستان و... به عنوان یک نوشیدنی مغذی و مقوی، در مقایسه با انواع نوشیدنی های دیگر قابل توجه می باشد. طبق آخرین آمارهای ارائه شده میزان تولید سالانه ی دوغ در ایران ۱۲۰۰۰۰ تن می باشد. این محصول به عنوان یک نوشیدنی سالم و مفید که تامین کننده ی یک چهارم کلسیم مورد نیاز روزانه ی بدن و حاوی ویتامین های گروه B₆, B₁₂ و B₂ است و در سلامت و استحکام استخوان و دندان ها موثر می باشد، مطرح است. به طوری که گفته می شود ارزش غذایی هر دو لیوان دوغ معادل یک لیوان شیر است. دوغ ۵۰ درصد ارزش غذایی ماست و ۶۰ درصد ارزش غذایی شیر را داراست. در هر لیتر دوغ ۱/۵ تا ۲ درصد پروتئین ۱ درصد چربی و ۷۵۰ میلی گرم کلسیم وجود دارد (۷).

خشک کردن کف پوشی از روش های خشک کردن مواد غذایی مایع، کنسانتره و پوره مانند می باشد که در سال های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. ابتدا ماده غذایی مایع یا شبه مایع با افزودن ترکیبات کفزا و پایدارکننده کف و سپس فرآیند ایجاد کف، به صورت کف نسبتا پایداری متناسب با زمان فرآیند خشک کردن درآمده، سپس خشک می شود. به دلیل ساختار متخلخل کف و سرعت انتقال جرم بالا، سرعت خشک کردن افزایش پیدا کرده و در نهایت خشک کردن در دمای پایین تر و مدت زمان کمتر صورت می گیرد. از سایر روش های خشک کردن کف پوشی می توان به خشک کردن کف پوششی پاششی، خشک کردن کف پوشی تحت خلا^۳ و خشک کرن کف پوشی تسمه ای اشاره نمود (۳). از تحقیقاتی که در سالهای گذشته انجام شده است میتوان به کراسایکو پت و بهاتیا^۱ (۲۰۱۲) اشاره کرد که تولید پودر ماست را با استفاده از روش کف پوشی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق متیل سلولز

² Febrianto¹ Krasaekoopt, and Bhatia

نامحلول، به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ (Sigma, 2-16KC, Germany) با سرعت ۷۵۰۰ دور در ثانیه با دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار گرفت. سپس ۲۵ میلی لیتر از بخش شفاف بالای لوله آزمایش برداشته شد و به مدت ۵ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت. مقدار حلالیت بر حسب درصد از رابطه زیر محاسبه شد (۱۰).

$$S = \frac{m_2 - m_1}{0.25} \times 100 \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

S: حلالیت

m_1 : وزن خالی پلیت

m_2 : وزن نمونه و پلیت پس از خارج کردن آن از آون بعد از ۵ ساعت

۲-۷- اندازه گیری فعالیت آبی

فعالیت آبی توسط دستگاه واتر اکتیویته متر مدل lab master standard اندازه گیری شد.

۲-۸- طرح آماری مورد استفاده و روش آنالیز نتایج

شرایط بهینه سازی با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم افزار دیزاین اکسپرت^۱ نسخه ۷ تعیین شد. به منظور ارزیابی صحت مدل های برازش یافته، آزمون فقدان برازش، ضریب تغییرات، مقادیر R^2 ، $R^2(\text{adj})$ تعیین شدند. مهمترین قسمت در جدول تحلیل آماری در بخش آنالیز واریانس ها پارامتر فقدان برازش (Lack of fit) می باشد و از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون فقدان برازش آن معنی دار نباشد. این پارامتر نشان دهنده مناسب بودن مدل می باشد. بدین منظور معادلات ریاضی چند جمله ای درجه دوم با استفاده از آنالیز رگرسیون بر روی متغیرهای وابسته در رابطه زیر برازش شدند:

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{33}C^2 + b_{12}AB + b_{13}AC + b_{23}BC$$

در معادله فوق، Y بیانگر پاسخ های مورد نظر شامل محتوای دانسیته کف، دانسیته توده، رطوبت، ظرفیت جذب آب، حلالیت، فعالیت آبی و b_n نشان دهنده ی ضرایب رگرسیون می باشد. این ضرایب اثرات خطی، دو جمله ای و نیز اثرات متقابل فاکتورهای

۲-۲- اندازه گیری دانسیته کف

دانسیته کف با اندازه گیری وزن ۵۰ میلی لیتر از کف که بلافاصله پس از هم زدن درون استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتر در دمای محیط ریخته شد، تعیین گردید. انتقال کف به درون استوانه برای جلوگیری از تخریب ساختار کف و همچنین اطمینان از اینکه هیچ حفره هوایی درون استوانه مدرج ایجاد نشود، با دقت انجام شد (۱۴).

۲-۳- اندازه گیری دانسیته توده (فشرده و غیر فشرده)

دانسیته حجمی فشرده و دانسیته حجمی غیر فشرده طبق روش ذکر شده در استاندارد شماره ۳۳۴۵ موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای ۲۰ نمونه پودر دوغ اندازه گیری شد (۶).

$$\text{Loosed density g/ml} : M/V_1 \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

$$\text{Packed density g/ml} : M/V_2 \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

V_1 : حجم پودر داخل مزور (۵۰ میلی لیتر)

M: وزن پودر دوغ

V_2 : حجم پودر داخل مزور بعد از فشرده شدن

۲-۴- رطوبت

رطوبت پودر دوغ طبق روش حسینی و همکاران (۱۳۷۸) برای ۲۰ نمونه پودر دوغ اندازه گیری شد (۲).

۲-۵- ظرفیت جذب آب

بدین منظور ۱ گرم 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 سانتریفیوژ (Sigma, 2-16KC, Germany) با سرعت ۲۵۰۰ (دور بر ثانیه) قرار داده شد. در انتها میزان ظرفیت نگهداری آب از رابطه زیر محاسبه شد (۱۱).

$$R = m_2 - m_1 \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

R: مقدار آب جذب شده توسط یک گرم پودر

m_2 : مقدار آب اضافه شده به یک گرم پودر

m_1 : مقدار مایع

۲-۶- حلالیت

برای انجام آزمایش ۱ گرم از پودر تولیدی در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و محلول تولیدی به منظور جدا شدن بخش های

¹Design-Expert

متغیر فرآیند را بیان می کنند. مقادیر AB، و C نیز به ترتیب نشان دهنده ی فاکتورهای مستقل فرآیند هستند.

جدول ۱- مقادیر کد شده و سطوح متغیرهای مستقل فرآیند تولید

پودردوغ			متغیرهای مستقل
کد و سطوح مربوطه			
+1	۰	-1	دما (C, درجه سانتی گراد)
۷۰	۶۰	۵۰	مالتودکسترین (B درصد)
۲۰	۱۵	۱۰	البومین (A درصد)
۴	۳	۲	

۳- نتایج و بحث

۳-۱- دانسیته کف

بر اساس نتایج جدول واریانس (۲) تنها جمله ی اثر متقابل آلبومین و مالتودکسترین AB به طور کامل معنی دار شد و بقیه ی جملات اثر معنی داری بر میزان دانسیته ی کف نداشتند. بنابراین این اثرات از مدل حذف شدند. با بررسی مقادیر عددی ضرایب جمله اثر متقابل آلبومین و مالتو دکسترین AB بیشترین اثر کاهش دما C بیشترین اثر افزایش دما را داشت. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر می باشد.

$$Y = +0/99 - 0/063 AB$$

دانسیته از پارامترهای مهم اندازه گیری شده به هنگام بررسی خصوصیات سیستم های کفی می باشد و بیانگر میزان هوای محبوس شده طی فرآیند هم زدن درون کف می باشد. به عبارتی هرچه میزان هوای وارد شده به درون سیستم کف بیشتر باشد دانسیته کمتر و انبساط کف بیشتر خواهد بود. نتایج حاصل نشان داد که بر اساس نمودار با افزایش میزان مالتودکسترین و آلبومین دانسیته کف کاهش می یابد که این امر بیانگر بهبود خاصیت کف زایی ناشی از برهم کنش مالتودکسترین و آلبومین با دیگر اجزای موجود در پودر تولید شده می باشد که دانسیته کف در بیشترین میزان آلبومین و مالتودکسترین به کمترین مقدار خود رسید و از لحاظ پایداری بیشترین پایداری داشت و لازم به ذکر است که در این مورد به خصوص، فقط کف پایدار و خوبی تولید شد.

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق $0/۹۳۷۳$ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش $0/۰۳۵۹$ بود.

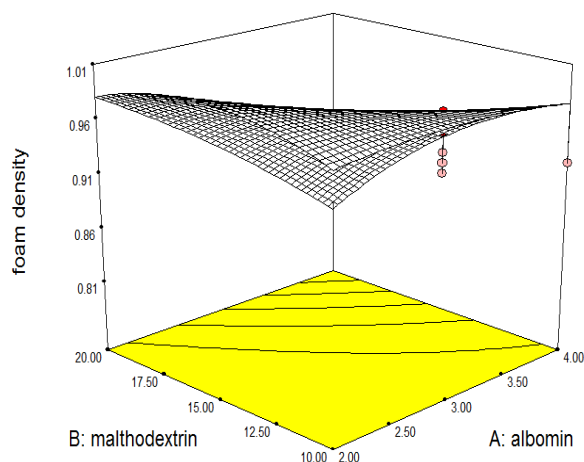
۳-۲- دانسیته فشرده

۳-۳- دانسیته فشرده

جدول تجزیه واریانس (۳) و شکل ۲ نشان داد که جمله ی خطی مربوط به مالتودکسترین B تاثیر معنی دار و جمله ی اثر متقابل دما و مالتو دکسترین BC تاثیر کاملا معنی داری بر میزان دانسیته ی فشرده داشتند، و جملات خطی آلبومین A، دما C و جملات اثر متقابل آلبومین و دما AC و مالتودکسترین و آلبومین AB و جملات اثرات درجه دوم آلبومین A^2 ، مالتو دکسترین B^2 ، دما C^2 تاثیر معنی داری بر میزان دانسیته ی فشرده نداشته است، بنابراین اثرات فوق از مدل حذف شدند. با بررسی مقادیر عددی ضرایب، BC بیشترین اثر افزایش دما را بر میزان دانسیته ی فشرده داشته است. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر می باشد.

$$Y = + 0/۸۵ + 0/۰۲۰ B + 0/۰۳۵ BC$$

در کمترین مقدار آلبومین با افزایش میزان مالتودکسترین دانسیته فشرده افزایش می یابد و سپس کاهش میابد و همچنین با افزایش دما در کمترین میزان آلبومین ابتدا کاهش دانسیته ی فشرده را شاهد هستیم و بعد از آن دانسیته ی فشرده افزایش می یابد و آلبومین در مقایسه با دما و مالتودکسترین تاثیری چندانی بر دانسیته فشرده ندارد. از آنجایی که مالتودکسترین دارای مولکول های طویل بوده و دمای انتقال شیشه ای بالایی را در پودر ایجاد میکند در نتیجه رفتار آمورفی پودر کمتر و اندازه ذرات کوچکتر



شکل ۱- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین و آلبومین، بر میزان

دانسیته کف

جدول ۲- تجزیه و تحلیل واریانس دانسیته کف پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۰/۲۹	۹	۰/۰۳۲	۱۶/۶۰	۰/۰۰۱
A	+۳/۳۶۵ E - ۰۰۳	۳/۳۶۵ E - ۰۰۳	۱	۵/۳۶۵ E - ۰۰۳	۲/۷۴	۰/۱۲۸۶
B	۲/۲۳۱ E - ۰۰۳	۲/۲۳۱ E - ۰۰۳	۱	۲/۲۳۱ E - ۰۰۳	۱/۱۴	۰/۳۱۰۵
C	+۴/۹۳۸ E - ۰۰۳	۵/۲۸۴ E - ۰۰۵	۱	۷/۲۸۴ E - ۰۰۵	۰/۰۴۲	۰/۸۴۱۰
AB	+۳/۹۳۸ E - ۰۰۳	۰/۰۵۶	۱	۰/۰۵۶	۲۸/۷۸	۰/۰۰۰۳
AC	+۵/۰۲۶ E - ۰۰۳	۶/۶۱۳ E - ۰۰۵	۱	۶/۱۳ E - ۰۰۵	۰/۰۳۴	۰/۸۵۷۸
BC	+۰/۰۳۵	۳/۱۲ E - ۰۰۵	۱	۳/۶۱۲ E - ۰۰۵	۰/۰۱۸	۰/۸۹۴۶
A ²	-۳/۸۵ E - ۰۰۳	۳/۶۹ E - ۰۰۳	۱	۳/۶۹ E - ۰۰۳	۱/۵۷	۰/۲۳۸۷
B ²	+۰/۰۲۳	۱/۳ E - ۰۰۳	۱	۱/۴۴۳ E - ۰۰۳	۰/۷۴	۰/۴۱۰۴
C ²	+۰/۰۲۲	۱/۴۴۳ E - ۰۰۳	۱	۱/۹۵۵ E - ۰۰۳	۰/۷۴	۰/۴۱۰۴
Lack of Fit	-	۰/۰۱۷	۵	۳/۳۵۱ E - ۰۰۳	۵/۹۸	۰/۰۳۵
R-Squared	-	۰/۹۳۷	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۸۸۰	-	-	-	-

جدول ۳- تجزیه و تحلیل واریانس دانسیته فشرده پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۰/۰۲۰	۹	۲/ E - ۱۹۳۰۰۳	۵/۱۷	۰/۰۰۸۵
A	+۵/۷۲۰ E - ۰۰۳	۶/۳۳۶ E - ۰۰۵	۱	۶/۳۳۶ E - ۰۰۵	۰/۱۵	۰/۷۰۷۲
B	۰/۰۲۰	۲/۴۱۱ E - ۰۰۳	۱	۲/۴۱۱ E - ۰۰۳	۵/۶۸	۰/۰۳۸۳
C	+۴/۹۳۸ E - ۰۰۳	۱/۴۳۱ E - ۰۰۴	۱	۱/۴۳۱ E - ۰۰۴	۰/۳۴	۰/۵۷۴۱
AB	+۳/۹۳۸ E - ۰۰۳	۲/۲۰۵ E - ۰۰۴	۱	۲/۲۰۵ E - ۰۰۴	۰/۵۲	۰/۴۸۷۴
AC	+۵/۰۲۶ E - ۰۰۳	۳/۶۴۵ E - ۰۰۴	۱	۳/۶۴۵ E - ۰۰۴	۰/۸۶	۰/۳۷۵۷
BC	+۰/۰۳۵	۹/۹۴۰ E - ۰۰۳	۱	۹/۹۴۰ E - ۰۰۳	۲۳/۴۴	۰/۰۰۰۷
A ²	-۳/۸۵ E - ۰۰۳	۱/۲۷۸ E - ۰۰۴	۱	۱/۲۸۷ E - ۰۰۴	۰/۳۰	۰/۵۹۵۰
B ²	+۰/۰۲۳	۱/۴۳۲ E - ۰۰۳	۱	۱/۴۳۲ E - ۰۰۳	۳/۳۸	۰/۰۹۶۰
C ²	+۰/۰۲۲	۱/۳۵۳ E - ۰۰۳	۱	۱/۳۵۳ E - ۰۰۳	۳/۱۹	۰/۱۰۴۴
Lack of Fit	-	۲/۶۵۶ E - ۰۰۳	۵	۵/۳۱۲ E - ۰۰۴	۱/۶۸	۰/۲۵ ۲۹
R-Squared	-	۰/۸۲۳۱	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۶۶۳۹	-	-	-	-

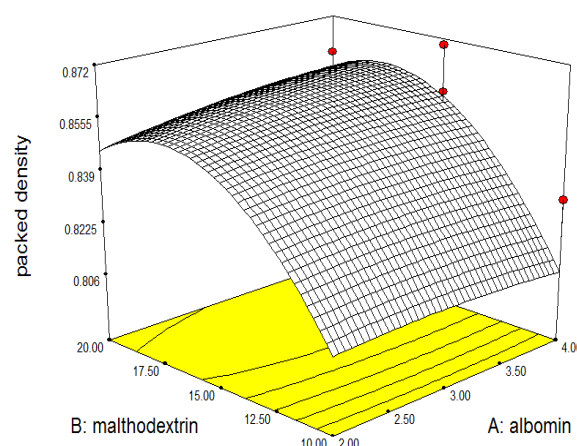
ضریب تبیین (R²) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۸۲۳۱ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۲۹۲۵ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

خواهد بود و سبب افزایش میزان دانسیته میشود و در ادامه به دلیل تغییرات ساختاری در مولکول پروتئین آلبومین اندازه ذرات افزایش یافته و باعث کاهش دانسیته ی تولیدی پودر می شود. خلیلیان و همکاران (۲۰۱۳) و مستری^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابه دست یافتند (۱۷،۳).

¹ Mestry

۳-۳- دانسیته غیر فشرده

جدول تجزیه واریانس (۴) نشان داد که جمله ی خطی مربوط به اثر متقابل دما و آلومین AC و مالتودکسترین و آلومین AB تاثیر معنی داری بر میزان دانسیته ی غیر فشرده داشته است و جملات خطی آلومین A، دما C، مالتودکسترین B و جملات اثر متقابل مالتودکسترین و دما BC و جملات اثرات درجه دوم آلومین A^2 ، مالتو دکسترین B^2 ، دما C^2 تاثیر معنی داری بر میزان دانسیته ی غیر فشرده نداشته است، بنابراین این اثرات از مدل $Y = +0.548 - 0.03AB - 0.03AC$



شکل ۲- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، آلومین بر میزان دانسیته فشرده

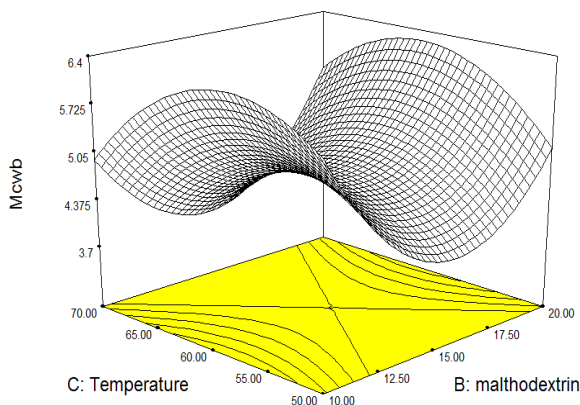
حذف شدند. با بررسی مقادیر عددی ضرایب AB بیشترین اثر افزایشنده را بر میزان دانسیته ی غیر فشرده داشته است. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر میباشد. بر اساس نتایج شکل ۳ در ابتدا با افزایش دما و مالتودکسترین دمای گذار شیشه ای پایین تر می آید و در نتیجه رفتار آمورفی پودر بیشتر و در نتیجه اندازه ذرات کوچکتر می شود و در نتیجه دانسیته غیر فشرده افزایش می یابد. ولی به طور کل افزایش دما و مالتودکسترین به دلیل رفتار آمورفی بیشتر و ذرات بزرگتر دانسیته ی غیر فشرده کاهش می یابد و با تغییرات ساختاری در مولکول های آلومین اندازه ذرات افزایش یافته و باعث کاهش دانسیته پودر می شود. مستری و همکاران (۲۰۱۱) و خلیلیان و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابه دست یافتند (۳،۱۷).

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۷۷۳۱ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش ۰/۱۰۳۹ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

جدول ۴- تجزیه و تحلیل واریانس دانسیته غیر فشرده پودر دوج

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۲/۱۸۹ E- ۰۰۳	۹	۲/۴۲۳ E- ۰۰۴	۳/۷۹	۰/۰۲۴۹
A	+۴/۶۹۵ E- ۰۰۳	۹/۳۶۷ E- ۰۰۶	۱	۹/۳۶۷ E- ۰۰۶	۰/۱۵	۰/۷۱۰۶
B	-۱/۸۴۸ E- ۰۰۳	۲/۰۰۴ E- ۰۰۵	۱	۲/۰۰۴ E- ۰۰۵	۰/۳۱	۰/۵۸۸۹
C	-۴/۵۹۲ E- ۰۰۳	۱/۲۳۸ E- ۰۰۴	۱	۱/۲۳۸ E- ۰۰۴	۱/۹۳	۰/۱۹۵۳
AB	+۶/۷۸۸ E- ۰۰۳	۶/۵۵۲ E- ۰۰۴	۱	۶/۵۵۲ E- ۰۰۴	۱۰/۱۹	۰/۰۰۹۶
AC	+۵/۶۶۲ E- ۰۰۳	۴/۵۶۰ E- ۰۰۴	۱	۴/۵۶۰ E- ۰۰۴	۷/۱۰	۰/۰۲۳۷
BC	+۱/۲۰۰ E- ۰۰۳	۱/۱۵۲ E- ۰۰۵	۱	۱/۱۵۲ E- ۰۰۵	۰/۱۸	۰/۶۸۱۰
A^2	+۱/۲۴۸ E- ۰۰۳	۱/۳۵۳ E- ۰۰۵	۱	۱/۳۵۳ E- ۰۰۵	۰/۲۱	۰/۶۵۶۲
B^2	+۲/۱۸۲ E- ۰۰۳	۱/۳۰۹ E- ۰۰۷	۱	۱/۳۰۹ E- ۰۰۷	۲/۰۳۷ E- ۰۰۳	۰/۹۶۴۹
C^2	-۰/۰۱۰ E- ۰۰۳	۲/۹۹۳ E- ۰۰۴	۱	۲/۹۹۳ E- ۰۰۴	۴/۶۶	۰/۰۵۶۳
Lack of Fit	-	۴/۹۵۹ E- ۰۰۴	۵	۹/۹۱۸ E- ۰۰۵	۳/۳۸	۰/۱۰۳۹
R-Squared	-	۰/۷۷۳۱	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۵۶۸۸	-	-	-	-

که نشان از عدم خروج کامل رطوبت در اثر خشک شدن دارد. رضوی و الهامی راد (۱۳۹۳) به نتایج مشابه دست یافتند (۴).



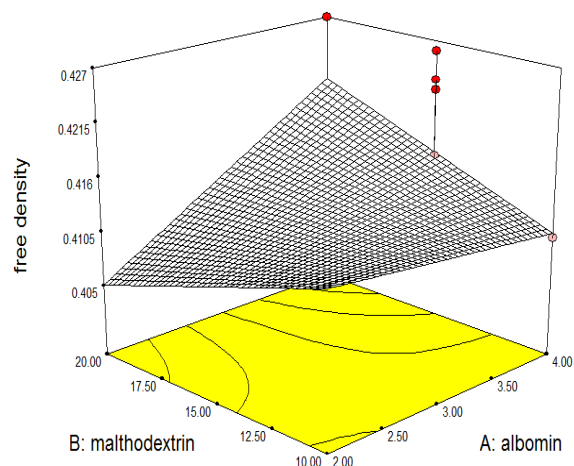
شکل ۴- نمایش سه بعدی اثر دما، مالتودکسترین بر میزان رطوبت

۳-۵- حلالیت

جدول تجزیه واریانس (۶) نشان داد که تنها جمله ی خطی مربوط به مالتودکسترین تاثیر کاملا معنی داری بر میزان حلالیت داشت و آلبومین A و دما C تاثیر معنی داری بر میزان حلالیت نداشت، بنابراین این اثرات از مدل حذف شدند. با بررسی مقادیر عددی، ضریب B بیشترین اثر افزایش داری بر میزان حلالیت داشت. بنابراین با توجه به پارامتر های دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر میباشد.

$$Y = 50/16 + 4/5VB$$

با بررسی نمودار سه بعدی آلبومین مالتودکسترین (شکل ۶) در کمترین میزان آلبومین با افزایش مالتودکسترین میزان حلالیت به صورت خطی افزایش یافت و همچنین در بررسی تاثیر دما و آلبومین (شکل ۵) مشاهده شد که تاثیر این دو فاکتور نسبت به مالتودکسترین خیلی کم است. افزایش غلظت مالتودکسترین و آلبومین سبب افزایش پایداری ساختار کف در نتیجه ی تخلخل بیشتر طی فرآیند خشک کردن می شود و هرچه ساختار کف پایدار تر باشد حباب ها تا انتهای خشک کردن بهتر حفظ می شوند و در نتیجه ی افزایش تخلخل، حلالیت نیز افزایش می یابد و همچنین افزایش دما به حفظ بهتر حباب ها تا انتهای خشک کردن و در نتیجه افزایش تخلخل و حلالیت کمک می کند. هارمایانی و همکاران (۲۰۱۱) که از مالتودکسترین و کربوکسی متیل سلولز در تولید پودر اینولین استفاده کردند، به نتایج مشابه



شکل ۳- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، آلبومین بر میزان دانسیته غیر فشرده

۳-۴- رطوبت بر مبنای مرطوب (تر)

جدول تجزیه واریانس (۵) نشان داد که جملات اثرات درجه دوم مربوط به دما تاثیر معنی داری C^2 و جمله ی اثر درجه دوم مالتودکسترین B^2 تاثیر کاملا معنی داری بر میزان محتوای رطوبتی در مبنای تر داشتند و جملات خطی آلبومین A، دما C، مالتودکسترین B و جملات اثر متقابل آلبومین و دما AC و مالتودکسترین و آلبومین AB و مالتودکسترین و دما BC و جمله ی اثر درجه دوم آلبومین A^2 تاثیر معنی داری بر میزان محتوای رطوبتی در مبنای تر نداشته است، بنابراین این اثرات از مدل حذف شدند.

با بررسی مقادیر عددی ضرایب B^2 بیشترین اثر افزایش داری C^2 بیشترین اثر کاهنده را بر میزان محتوای رطوبتی در مبنای تر داشته است. بنابراین با توجه به پارامتر های دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر میباشد.

$$Y = +4/80 + 1/48 B^2 - 0/90 C^2$$

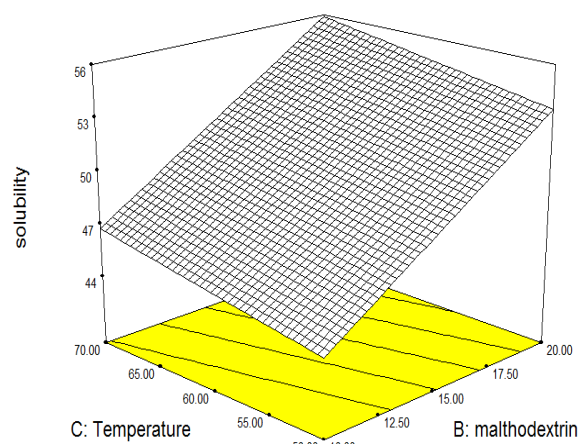
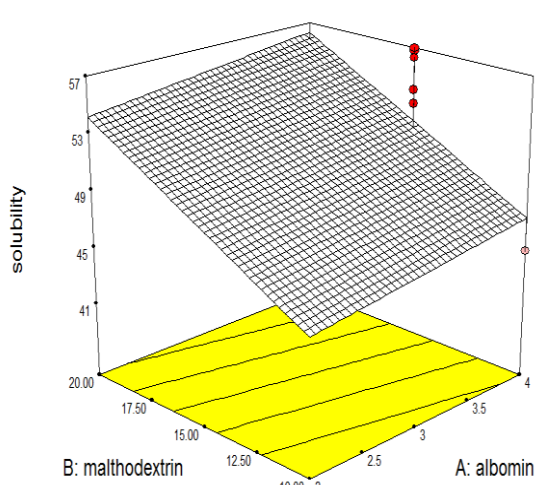
بر اساس نتایج شکل ۴ در ابتدا به دلیل مقدار پایین مالتودکسترین مقدار رطوبت کاهش یافت و با افزایش میزان آن به دلیل خاصیت آب دوستی و جاذبه الرطوبه بودن مالتودکسترین و وجود قند ها با وزن مولکولی کم در ساختار آن، افزایش رطوبت مشاهده شد. افزایش دما باعث کاهش محتوای رطوبتی شد البته در ابتدا یعنی دمای ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش محتوای رطوبتی اتفاق افتاد

جدول ۵- تجزیه و تحلیل واریانس رطوبت پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۱۱/۱۸	۹	۱/۲۴	۳/۷۹	۰/۰۲۴۸
A	-۰/۳۰	۰/۱۸	۱	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۴۷۸۹
B	-۰/۰۳۴	۶/۷۰۵ E- ۰۰۳	۱	۶/۷۰۵ E- ۰۰۳	۰/۰۲۰	۰/۸۸۹۱
C	-۰/۱۲	۰/۰۸۳	۱	۰/۰۸۳	۰/۲۵	۰/۶۲۶۷
AB	-۱/۴۰۶ E- ۰۰۳	۲/۸۱۳ E- ۰۰۵	۱	۲/۸۱۳ E- ۰۰۵	۸/۵۷۶ E- ۰۰۵	۰/۹۹۲۸
AC	-۰/۱۹	۰/۵۱	۱	۰/۵۱	۱/۵۴	۰/۲۴۲۳
BC	+۰/۳۳	۰/۸۶	۱	۰/۸۶	۲/۶۱	۰/۱۳۷۲
A ²	+۰/۰۱۵	۱/۹۰۵ E- ۰۰۳	۱	۱/۹۰۵ E- ۰۰۳	۵/۸۰۸ E- ۰۰۳	۰/۹۴۰۸
B ²	+۱/۴۸	۶/۰۰	۱	۶/۰۰	۱۸/۳۰	۰/۰۰۱۶
C ²	+۰/۹۰	۲/۲۳	۱	۲/۲۳	۶/۸۱	۰/۰۲۶۰
Lack of Fit	-	۲/۱۶	۵	۰/۴۳	۱/۹۳	۰/۲۴۳۸
R-Squared	-	۰/۷۷۳۲	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۵۶۹۰	-	-	-	-

جدول ۶- تجزیه و تحلیل واریانس حلالیت پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۲۶۷/۴۸	۳	۸۹/۱۶	۶/۵۴	۰/۰۰۴۳
A	+۱/۵۸	۴۴/۶۱	۱	۴۴/۶۱	۳/۲۷	۰/۰۸۹۲
B	+۴/۵۷	۲۰۸/۶۷	۱	۲۰۸/۶۷	۱۵/۳۱	۰/۰۰۱۲
C	+۱/۱۹	۱۴/۲۱	۱	۱۴/۲۱	۱/۰۴	۰/۳۲۲۴
Lack of Fit	-	۱۴۸/۶۰	۱۱	۱۳/۵۱	۰/۹۷	۰/۵۵۲۳
R-Squared	-	۰/۵۵۰۹	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۴۶۶۸	-	-	-	-



شکل ۵- نمایش سه بعدی اثر دما، مالتودکسترین بر میزان حلالیت

شکل ۶- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، آلبومین بر میزان حلالیت

۳-۶- میزان جذب آب

جدول تجزیه واریانس (۷) نشان داد که جمله ی خطی مربوط به آلومین A، دما C، و جمله ی اثر متقابل دما و آلومین AC و جمله ی اثر درجه دوم آلومین A^2 تاثیر کاملا معنی داری بر میزان جذب مجدد آب داشتند و جملات اثرات درجه دوم مالتو دکسترین B^2 ، دما C^2 تاثیر معنی داری بر میزان جذب مجدد آب داشت و جمله ی خطی مربوط به مالدکسترین B و جمله ی اثر درجه دوم دما C^2 تاثیر معنی داری بر میزان دانسیته ی فشرده نداشت، بنابراین این اثرات از مدل حذف شدند.

با بررسی مقادیر عددی ضرایب C بیشترین اثر افزایشدهنده و A بیشترین اثر کاهشدهنده را بر میزان جذب مجدد آب داشت. بنابراین با توجه به پارامتر های دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر می باشد.

$$Y = +\frac{4}{61} - \frac{0}{64} A + \frac{0}{37} C - \frac{0}{18} C + \frac{0}{29} A^2 - \frac{0}{27} B^2 - \frac{0}{32} C^2$$

بر اساس نمودار سه بعدی در کمترین مقدار آلومین با افزایش میزان مالتو دکسترین ظرفیت جذب آب افزایش می یابد و در کمترین میزان مالتو دکسترین با افزایش دما نیز ظرفیت جذب آب افزایش می یابد ولی با افزایش دما و میزان آلومین ظرفیت جذب

آب کاهش می یابد. قابلیت جذب آب یکی از ویژگی های پودر و بیانگر توانایی پودر در جذب و نگهداری آب بر خلاف نیروی جاذبه می باشد. پروتئین ها یکی از مهمترین عوامل جذب آب در پودر می باشند که توانایی جذب آب در آن ها بسته به غلظت پروتئین، شرایط محیطی نظیر pH، دما، قدرت یونی محیط و حضور سایر ترکیبات تغییر می کند. کربوهیدرات ها به دلیل دارا بودن طبیعت هیدروفیل از دیگر عوامل مهم جذب آب در پودر تولیدی به روش خشک کردن کف پوشی می باشند.

با افزایش دمای خشک کردن به دلیل افزایش ظرفیت جذب آب مالتو دکسترین و دناتوره نشدن کامل آلومین میزان جذب آب افزایش می یابد و در ادامه با دناتوره شدن آلومین و قرار گرفتن گروه های آبگریز در سطح پروتئین از دلایل کاهش قابلیت جذب آب در دماهای بالای خشک کردن می باشد. براگادوتیر و همکاران (۲۰۰۷) و خلیلیان و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابه دست یافتند (۹، ۳). در عین حال پایداری حرارتی مالتو دکسترین از دلایل اصلی حفظ قابلیت جذب آب در تولید پودر تولیدی می باشد. گارسیا اوچوآ و همکاران (۲۰۰۰) به نتایج مشابه دست یافتند و صمغ عربی را عامل اصلی حفظ قابلیت جذب آب بیان کردند و همچنین با افزایش زمان خشک کردن تغییرات

جدول ۷- تجزیه و تحلیل واریانس جذب آب پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	۱/۹۵	۹	۰/۲۲	۵/۵۰	۰/۰۰۶۸
A	+۰/۶۴	۰/۷۹	۱	۰/۷۹	۲۰/۰۹	۰/۰۰۱۲
B	+۰/۰۳۶	۷/۵۱۷ E- ۰۰۳	۱	۷/۵۱۷ E- ۰۰۳	۰/۱۹	۰/۶۷۱۳
C	+۰/۳۷	۰/۷۹	۱	۰/۷۹	۲۰/۱۶	۰/۰۰۱۲
AB	-۰/۰۳۹	۰/۰۲۲	۱	۰/۰۲۲	۰/۵۶	۰/۴۷۲۳
AC	-۰/۱۸	۰/۴۵	۱	۰/۴۵	۱۱/۳۱	۰/۰۰۷۲
BC	+۰/۱۴	۰/۱۶	۱	۰/۱۶	۴/۰۴	۰/۰۷۲۳
A^2	+۰/۲۹	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱۹/۱۲	۰/۰۰۱۴
B^2	-۰/۲۷	۰/۲۰	۱	۰/۲۰	۵/۱۱	۰/۰۴۷۳
C^2	-۰/۳۲	۰/۲۸	۱	۰/۲۸	۷/۲۰	۰/۰۲۳۰
Lack of Fit	-	۰/۳۲	۵	۰/۰۶۴	۴/۳۳	۰/۰۶۶۸
R-Squared	-	۰/۸۳۲۰	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	۰/۶۸۰۸	-	-	-	-

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق $0/8302$ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش $0/0668$ بود. این مقادیر نشان می دهد که مدل ارائه شده می تواند بخوبی پاسخ مورد نظر را پیش بینی نماید.

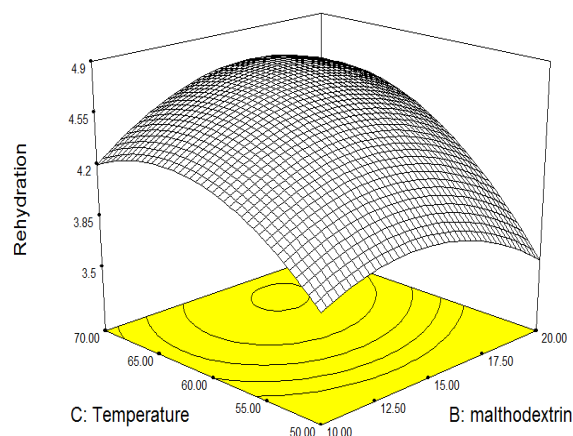
۳-۷- فعالیت آبی

جدول تجزیه واریانس (۸) نشان داد که تنها جمله ی خطی مربوط به دما C تاثیر کاملا معنی داری بر میزان فعالیت آبی و آلومین A و مالتودکسترین B تاثیر معنی داری بر میزان فعالیت آبی نداشت، بنابراین این اثرات از مدل حذف شدند. با بررسی مقادیر عددی، ضریب C بیشترین اثر کاهنده را بر میزان فعالیت آبی نشان داد. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت زیر می باشد.

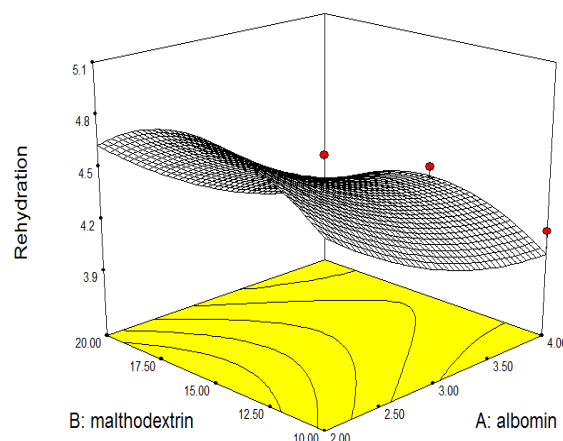
$$Y = +0/40 - 0/062 C$$

بر اساس نمودار سه بعدی تنها با افزایش دما فعالیت آبی کاهش می یابد و مالتودکسترین و آلومین به میزان کمی باعث کاهش فعالیت آبی می شوند. خروج آب آزاد در طی فرایند خشک کردن و در ادامه آب چند لایه در اثر افزایش دما باعث کاهش فعالیت آبی و مالتودکسترین و آلومین با جذب آب چند لایه و آزاد باعث کاهش کم فعالیت آبی می شوند. کراسایی کوپت و همکاران (۲۰۱۲) که به تولید پودر ماست با استفاده از خشک کردن کف پوشی پرداختند به نتایج مشابه دست یافتند (۱۶).

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش بینی شده در مورد پاسخ فوق $0/4224$ و مقدار p برای آزمون فقدان برازش $0/2818$ بود.



شکل ۷- نمایش سه بعدی اثر دما، مالتودکسترین بر میزان جذب آب



شکل ۸- نمایش سه بعدی اثر مالتودکسترین، آلومین بر میزان جذب آب

ساختاری در پروتئین آلومین بیشتر بوده و بیشتر ظرفیت جذب آب را کاهش میدهد.

جدول ۸- تجزیه و تحلیل واریانس فعالیت آبی پودر دوغ

منابع تغییر	ضریب	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F
Model	-	0/040	3	0/013	3/90	0/0288
A	-9/075 E-003	1/464 E-003	1	1/464 E-003	0/43	0/5235
B	-7/800 E-003	6/084 E-004	1	6/084 E-004	0/18	0/6797
C	-0/062	0/038	1	0/038	11/10	0/0042
Lack of Fit	-	0/044	11	3/968 E-003	1/74	0/2818
R-Squared	-	0/4224	-	-	-	-
Adj R-Squared	-	0/3141	-	-	-	-

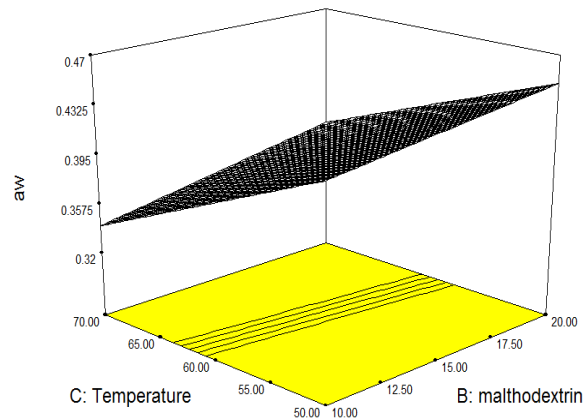
جدول ۹- شرایط بهینه تولید پودر دوغ

آلبومین	مالتودکسترین	دما	دانسیته	دانسیته	حلالیت	جذب	رطوبت	فعالیت	دانسیته
۶	۲۰	۶۱/۵	۰/۸۷	۰/۴۳	۵۷/۸۲	۴/۴۸	۴/۹۳	آبی	کف

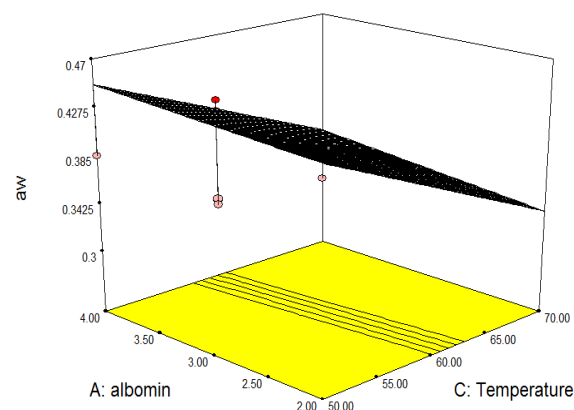
کاهش چشمگیری داشت. با افزایش میزان مالتودکسترین دانسیته فشرده در ابتدا کاهش و سپس افزایش داشت و در مورد تاثیر دما بر دانسیته فشرده عکس این اتفاق افتاد. با افزایش دما دانسیته غیر فشرده ابتدا افزایش و سپس کاهش داشت و مالتودکسترین و آلبومین سبب کاهش آن با شیب ملایم شدند. با افزایش دما رطوبت ابتدا افزایش و سپس کاهش داشت و با افزایش مالتودکسترین ابتدا کاهش و سپس افزایش نشان داد. با افزایش مالتودکسترین، حلالیت به طور خطی افزایش یافت. با افزایش دما و قرار گرفتن گروه های آب گریز در سطح و دناتوره شدن آلبومین جذب آب کاهش یافت. فعالیت آبی با افزایش دما و خروج آب آزاد و آب چند لایه کاهش چشمگیری داشت. تیمار بهینه معرفی شده توسط مدل، مالتودکسترین ۲۰ درصد و آلبومین ۶ درصد در دمای ۶۰ درجه ی سانتی گراد بود. نتایج بیانگر امکان تولید پودر دوغ با خصوصیات کیفی مطلوب به روش کف پوشی بود.

۵- منابع

۱. توکلی پور، ح. شریفی، ا. و سلامی نیا، م. ۱۳۹۰. تعیین پارامترهای موثر در خشک کردن ریواس با هوای داغ و بررسی امکان تهیه ی پودر از آن. مجله ی علمی پژوهشی علوم و فناوری غذایی، سال سوم، شماره دوم.
۲. حسینی، ز. ۱۳۷۸. روش های متداول در تجزیه مواد غذایی انتشارات دانشگاه تبریز.
۳. خلیلیان، ص. شهیدی، ف. محبی، م. بررسی شرایط خشک کردن بر برخی ویژگی های پودر کنسانتره انار تولیدی به روش کف پوشی. ۱۳۹۲، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز.
۴. رضوی، ط. ۱۳۹۳. بهینه سازی فرمولاسیون بن بن رژیم بر پایه ی جایگزینی نسبی ساکاروز با مالتو دکسترین و سایر انواع شیرین کننده ها، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی



شکل ۹- نمایش سه بعدی اثر دما، مالتودکسترین بر میزان فعالیت آبی



شکل ۱۰- نمایش سه بعدی اثر آلبومین، دما بر میزان فعالیت آبی

۳-۸- تعیین شرایط بهینه

بهترین تیمار پیشنهاد شده توسط مدل بعد انجام آزمایشات به خصوص در مورد کف تولیدی که کمترین دانسیته را داشت و پایدار بود به شرح جدول ۹ می باشد. ضریب مطلوبیت در این مدل، ۰/۷۷۱ گزارش شد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از دوغ همراه با آلبومین و مالتودکسترین به روش کف پوشی پودر دوغ تولید شد. نتایج بدست آمده نشان داد، دانسیته کف فقط در تیمار مالتودکسترین ۲۰ و آلبومین ۶ درصد

Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon, Drying Technology: An International Journal, 29:10,1121-1131.

کشاورزی، علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار.

۵. عباسی، ع. شفافی زنونزبان، م. و الهامی راد، ا. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر خشک کردن کف پوشی بر برخی خصوصیات پودر آلبالو، دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی شماره ی ۳۳۴۵، چاپ اول.

۶. موسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۲. اندازه گیری چگالی توده ی فشرده و ریزش آزاد. استاندارد ملی ایران. ۷. میرچولی، ع. صداقت، ن. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر دما و بسته بندی بر ماندگاری دوغ بدون گاز، مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری غذایی، سال دوم، شماره سوم.

8. Anon. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.

9. Bragadottir, M, E. Reynisson, k. porarinsdottir, & Arason. S. 2007. Stability of fish powder made from saithe (*pollachius virens*) as measured by lipid oxidation and functional properties. Journal of aquatic food product technology, 16(1).

10. Cano-chauca, M. Stringheta, P.C. Sardagna, L.D. and cal-vidal, J. 2004. Mango juice dehydration spray drying using different carries and functional characterization. 14th International Drying Symposium, PP. 2005-2012.

11. Dunkwal, V. S., Jood, & Singh. S. 2007. Physicochemical properties and sensory evaluation of *Pleurotus sajor caju* powder as influenced by pretreatments and drying methods. British Food Journal, 109(9): 749-759.

12. Febrianto, A, Kumalaningsih, S, Windi Aswari, A. 2012. Process engineering of drying milk powder with foam mat drying method, a study of the effect of the concentration and types of filler, Journal of basic and applied scientific research, 2(4), 3588-3592.

13. Harmayani, E. Winari, S, and Nuvismanto, R. 2011. Preparation of Inulin Powder from *Dioscorea Esculenta* Tuber With foam Mat Drying Method. The 12. ASEN FOOD CONFERENCE.

14. Karim, A.A. Wai. C.C. 1999. Foam-mat drying of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. Food chemistry, 64 (3), 337-343.

15. Kamath, S. Huppertz, T. Houliham, A.V. and Deeth, H. 2008a. The influence of temperature on the

16. Krasaekoopt, W., and Bhatia, S. 2012. Production of Yogurt Powder Using Foam-mat Drying. AU J.T, 15(3): 166-171

17. Mestry, A. P. , A. S. Mujumdar & Thorat, B. N. 2011, Optimization of Spray Drying of an