



تعیین شرایط بهینه خشک کردن پاششی مخلوط آب هلو و شیر خشک بدون چربی با استفاده از روش سطح پاسخ

آذین باقری^۱، وجیهه فدائی نوغانی^{۲*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۶/۱۲/۱۱، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۱۴)

چکیده

هدف از این پژوهش، تعیین شرایط بهینه خشک کردن پاششی آب هلو با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) در قالب یک طرح باکس‌بنکن (BBD) با سه متغیر و هر یک در سه سطح بود. در این تحقیق، اثرات متغیرهای نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی در نسبت‌های ۴۰:۶۰-۶۰:۴۰ به عنوان کمک خشک‌کن، دمای هوای ورودی به خشک‌کن در محدوده ۱۱۰-۱۳۰°C و دبی هوای فشرده در ۷۰-۳۰۰ L/h بر پاسخ‌های راندمان خشک‌کردن، ویژگی‌های فیزیکی شامل فعالیت آبی، رطوبت، چگالی توده‌ای، شاخص حلالیت، جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس‌پذیری و هم‌چنین فعالیت ضد اکسیدانی بررسی شدند. نتایج نشان داد که افزایش دمای هوای ورودی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش راندمان خشک‌کردن، چگالی توده‌ای، شاخص حلالیت، جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس‌پذیری و کاهش فعالیت آبی و رطوبت می‌شود ($p < 0.05$). افزایش نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی در خوراک ورودی به خشک‌کن نیز منجر به همین نتایج شد، ولی تاثیر آن بر رطوبت و جاذبه‌الرطوبگی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p \geq 0.05$). دبی هوای ورودی از تاثیر معنی‌داری بر راندمان خشک‌کردن و ویژگی‌های فیزیکی تحت بررسی برخوردار نبود ($p \geq 0.05$)، ولی فعالیت ضد اکسیدانی پودر میوه را به گونه نامطلوبی تحت تاثیر قرار داد ($p < 0.05$). افزایش دمای هوای خشک‌کن نیز به‌طور معنی‌داری باعث کاهش فعالیت ضد اکسیدانی شد ($p < 0.05$)، ولی در طرف مقابل، افزایش نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی در خوراک ورودی به خشک‌کن، باعث بهبود آن شد ($p < 0.05$). روش سطح پاسخ نشان داد که تحت شرایط بهینه ۶۰:۴۰٪ نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی، ۱۲۶°C دمای هوای ورودی و ۴۰۴ L/h دبی هوای ورودی می‌توان پودری با راندمان خشک‌کردن ۶۵/۸٪، فعالیت آبی ۰/۲۷، رطوبت ۳۸/۳٪، چگالی توده‌ای ۶/۵۴ g/cm³، شاخص حلالیت ۸۵/۶۵٪، جاذبه‌الرطوبگی ۰/۳۵ g water/g powder، زمان خیس‌پذیری ۷/۲s و فعالیت ضد اکسیدانی ۳۱/۳۵٪ تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: آب هلو، شیر خشک بدون چربی، خشک کردن پاششی، روش سطح پاسخ.

۱. مقدمه

می‌شود که در دمای معمول مورد استفاده برای خشک کردن پاششی، به یکدیگر و به دیواره خشک‌کن چسبیده و به جای پودر مورد انتظار از فرایند خشک کردن پاششی آب‌میوه‌ها، ساختاری خمیر مانند را تشکیل دهند [۸]. بر این اساس و به منظور افزایش دمای انتقال شیشه‌ای، به‌طور معمول از ترکیباتی با وزن مولکولی بالا به‌عنوان کمک‌خشک‌کن در فرایند خشک کردن پاششی آب میوه‌ها، بهره‌جسته می‌شود [۸]. مالتودکسترین، صمغ عربی، ژلاتین و شیر خشک بدون چربی از رایج‌ترین کمک‌خشک‌کن‌های مورد استفاده در فرایند خشک کردن پاششی آب‌میوه‌ها به شمار می‌آیند [۹].

دستیابی به شرایط بهینه خشک کردن از جمله نسبت مطلوب ماده خشک‌شونده و کمک‌خشک‌کن، و هم‌چنین، دما و دبی هوای ورودی به خشک‌کن، امری هزینه‌بر و وقت‌گیر است. طی سال‌هایی اخیر، روش سطح پاسخ، به‌عنوان یک روش کارآمد برای بهینه‌سازی فرمولاسیون و شرایط فرایند محصولات غذایی نوین، توجه زیادی را در بین پژوهشگران صنعت غذا به خود جلب کرده است. روش سطح پاسخ، تعداد تیمارهای مورد نیاز برای یک آزمون را کمینه کرده و با ارائه مدل‌های ریاضی توصیف‌کننده رابطه بین شرایط فرایند و ویژگی‌های محصول، علاوه‌بر تعیین اثر مستقل و متقابل شرایط فرایند بر ویژگی‌های فرآورده، نقاط بهینه هرکدام از متغیرهای فرایند برای تولید محصولی با اهداف از پیش تعریف شده را نیز معرفی می‌کند [۱۰]. تا کنون، پژوهشی در زمینه خشک کردن پاششی آب هلو انجام نشده است. بر این اساس، هدف از پژوهش پیش‌رو، تعیین شرایط بهینه خشک کردن پاششی آب هلو شامل نسبت آب هلو به پودر شیر خشک بدون چربی به‌عنوان کمک‌خشک‌کن، دمای هوای ورودی به خشک‌کن و دبی هوای فشرده، در جهت تولید پودر مخلوط آب هلو و شیرخشک بدون چربی با بالاترین راندمان خشک کردن، کم‌ترین فعالیت آبی و رطوبت، بالاترین شاخص حلالیت و بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آب هلو بدون نگه‌دارنده و شکر افزوده با کربوهیدرات کل: ۹ گرم، پروتئین: ۲۴۰ میلی‌گرم، چربی: ۵ میلی‌گرم و خاکستر: ۱۱۰

هلو با نام علمی *Prunus persica L.* میوه گیاهی متعلق به خانواده گل‌سرخیان از جنس پرونوس می‌باشد [۱]. از آنجایی که، اولین بار هلو از ایران به اروپا راه یافت، رومیان نام پرسیکا که برگرفته از نام سرزمین پارس یا همان ایران می‌باشد را بر آن نهادند. با این حال، بر اساس مطالعات ژنتیک، خاستگاه اصلی این میوه، سرزمین چین می‌باشد [۲]. مانند بسیاری از میوه‌ها، هلو نیز میوه فصلی است و در تمام طول سال در دسترس نمی‌باشد. به‌علاوه، سرشار بودن هلو از مواد مغذی مانند پروتئین، ویتامین و مواد معدنی، محتوای رطوبت بالا و هم‌چنین بافت نرم و آسیب‌پذیر آن، جملگی سبب شده که هلو از ماندگاری بسیار کوتاهی برخوردار باشد و از این‌رو، سالانه بخش قابل توجهی از آن به‌صورت ضایعات دور ریخته شود [۳]. این امر یکی از چالش‌های اصلی کشورهای عمده تولیدکننده این محصول در سطح دنیا، از جمله ایران می‌باشد.

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین، و هم‌چنین، رایج‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی می‌باشد [۴]. محصولات خشک‌شده، به‌دلیل محتوای آب کم، دارای ماندگاری به مراتب طولانی‌تری نسبت به همتایان خشک‌نشده خود می‌باشند. به‌علاوه، جرم و حجم کم‌تر آن‌ها، نگهداری و حمل و نقل را تسهیل می‌کند [۳]. خشک کردن پاششی، یکی از شیوه‌های نوین خشک کردن می‌باشد که بیش‌تر در ارتباط با آب میوه‌ها کاربرد دارد [۵]. از پودر آب‌میوه‌ها برای تولید فرآورده‌هایی مانند آب میوه‌های بازسازی‌شده و هم‌چنین در فرمولاسیون بستنی‌ها، کاستارد‌های میوه، ماست میوه‌ای، غذای کودک و محصولات دارویی، استفاده می‌شود [۶]. علاوه‌بر برخورداری از مزایای کلی عنوان‌شده برای محصولات خشک‌شده، در فرایند خشک کردن پاششی، به‌دلیل زمان فراوری کوتاه، ارزش غذایی، عطر و طعم، رنگ و به‌طور کلی ویژگی‌های ارگانولپتیک محصولات خشک شده به این روش، دستخوش تغییرات کم‌تری می‌شود [۷]. البته، فرایند تولید پودر آب میوه‌ها به‌وسیله روش خشک کردن پاششی، بدون چالش نمی‌باشد. بیش از ۹۰٪ ماده خشک آب میوه‌ها را اجزایی با وزن مولکولی پایین مانند ساکاروز، گلوکز و فرکتوز و هم‌چنین اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید تارتاریک تشکیل می‌دهند [۸]. دمای انتقال شیشه‌ای پایین این اجزا سبب

مخلوط آب هلو و شیر خشک بدون چربی در بسته‌های نفوذناپذیر به هوا جمع‌آوری شدند و تا زمان انجام آزمون‌های فیزیکوشیمیایی، در دمای محیط نگهداری شدند.

۲-۳- طرح آزمون و تحلیل آماری

تعیین شرایط بهینه خشک کردن پاششی مخلوط آب هلو و شیر خشک بدون چربی، با استفاده از روش سطح پاسخ و با به کارگیری طرح باکس‌بنکن صورت پذیرفت. طرح مورد نظر با استفاده از سه فاکتور و هر فاکتور دارای سه سطح راه‌اندازی شد. فاکتورها شامل نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی، دمای هوای ورودی و دبی هوای ورودی بودند که سطوح هر کدام از آن‌ها در جدول (۱) به صورت کددار و غیرکددار مشخص شده است. طرح مختلط مرکزی با استفاده از ۳ فاکتور دارای ۳ سطح، ۱۵ تیمار مختلف شامل سه گروه مجزا ارائه کرد. گروه تیمارهای مرکزی شامل ۳ نمونه بوده که تمام متغیرها در سطح صفر تعریف شدند. گروه تیمارهای محوری شامل ۱۲ نمونه بوده که هر کدام از آن‌ها شامل ۱ سطح صفر و دو سطح -۱ و +۱ می‌باشند. نمونه‌های مرکزی امکان بررسی تکرارپذیری پاسخ‌ها و نمونه‌های محوری امکان برآورد جملات درجه دوم، بررسی برهمکنش‌ها و تاثیرات خطی را فراهم می‌کند [۱۲]. یک مدل چند جمله‌ای درجه دوم (رابطه ۱) به داده‌های تجربی به دست آمده از اندازه-

میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه، از فروشگاه‌های محلی و پودر شیر خشک بدون چربی از شرکت پگاه ساخت کشور ایران تهیه شد. تمامی محلول‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده در پژوهش شامل دی فنیل پیکریل هیدرازیل و متانول، از استانداردهای آنالیزی برخوردار بودند و از شرکت مرک، ساخت کشور آلمان خریداری شدند.

۲-۲- تهیه پودر هلو

به منظور تهیه پودر هلو، ابتدا آب هلو و پودر شیر خشک بدون چربی در نسبت‌های مختلف تعریف شده به وسیله طرح آزمون (جدول ۱)، با یکدیگر مخلوط شده و با استفاده از دستگاه هم‌زن Moulinex مدل HM412، ساخت کشور چین با سرعت ۱۵۰rpm، به خوبی همگن شدند [۱۱]. به منظور اطمینان از عاری بودن نمونه‌ها از ذرات معلق، که ممکن است در پاشنده مشکل ایجاد کنند، مخلوط‌های آب هلو و پودر شیر خشک بدون چربی از پارچه صافی عبور داده و سپس به دستگاه خشک‌کن پمپ شدند [۱۱]. فرایند خشک کردن، به وسیله یک دستگاه خشک‌کن پاششی Büchi Laboratoriums-Technik مدل B-290، ساخت کشور سوئیس و در دماها و زمان‌های متفاوت هوای ورودی به خشک‌کن که به وسیله طرح آزمون تعریف شده بود (جدول ۱)، صورت پذیرفت. پودر حاصل از خشک کردن

جدول (۱) سطوح کدگذاری شده و نشده متغیرهای فرایند خشک کردن پاششی آب هلو

Table 1 Coded and un-coded levels of independent variables for spray-drying of peach juice

| سطوح کدگذاری شده متغیرهای مستقل Coded levels of independent variables | | | سطوح کدگذاری نشده متغیرهای مستقل Un-coded levels of independent variables | | | ترتیب استاندارد نمونه‌ها Standard order |
|--|---|---|--|---|---|--|
| دبی هوای فشرده Compressed air flow rate (L/h) | دمای هوای ورودی به خشک‌کن Inlet air temperature (°C) | نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی Peach juice-to-skim milk powder ratio | دبی هوای فشرده Compressed air flow rate (L/h) | دمای هوای ورودی به خشک‌کن Inlet air temperature (°C) | نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی Peach juice-to-skim milk powder ratio (%) | |
| 0 | -1 | -1 | 500 | 110 | 60 :40 | 1 |
| 0 | +1 | -1 | 500 | 130 | 60 :40 | 2 |
| 0 | -1 | +1 | 500 | 110 | 40 :60 | 3 |
| 0 | +1 | +1 | 500 | 130 | 40 :60 | 4 |
| -1 | -1 | 0 | 300 | 110 | 50 :50 | 5 |
| -1 | +1 | 0 | 300 | 130 | 50 :50 | 6 |
| +1 | -1 | 0 | 700 | 110 | 50 :50 | 7 |
| +1 | +1 | 0 | 700 | 130 | 50 :50 | 8 |
| -1 | 0 | -1 | 300 | 120 | 60 :40 | 9 |
| -1 | 0 | +1 | 300 | 120 | 40 :60 | 10 |
| +1 | 0 | -1 | 700 | 120 | 60 :40 | 11 |
| +1 | 0 | +1 | 700 | 120 | 40 :60 | 12 |
| 0 | 0 | 0 | 500 | 120 | 50 :50 | 13 |
| 0 | 0 | 0 | 500 | 120 | 50 :50 | 14 |
| 0 | 0 | 0 | 500 | 120 | 50 :50 | 15 |

به خوبی حل شد. به منظور جدا شدن بخش‌های نامحلول، محلول تولیدی به مدت ۱۰ min در سرعت ۳۰۰۰ g با دستگاه سانتریفیوژ Gerber Instruments AG مدل CH-8307، ساخت کشور سوئیس، سانتریفیوژ شد. سپس ۲۵ ml از بخش شفاف بالای لوله آزمایش برداشته و به مدت ۵ h در آن با دمای ۱۰۵ °C قرار گرفت. مقدار حلالیت بر حسب درصد و از نسبت وزن ماده جامد محلول خشک شده و پودر اولیه محاسبه شد [۸].

۲-۵-۴- زمان خیس‌پذیری

۲ g پودر آب میوه بر سطح ۴۰۰ ml آب مقطر، بدون همزدن ریخته شد. مدت زمان لازم برای ته‌نشست ذرات از سطح آب، به گونه‌ای که هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد، به عنوان زمان خیس‌پذیری گزارش شد [۱۵].

۲-۵-۵- میزان جذب رطوبت

قابلیت جذب رطوبت پودرهای تولیدی، از اندازه‌گیری گرم آب جذب شده توسط ۱۰۰ g پودر، طی ۴۸ h نگهداری در دمای محیط در یک دیسکاتور با محلول اشباع کلرید منیزیم به دست آمد [۱۶].

۲-۵-۶- فعالیت ضد اکسیدانی

فعالیت ضد اکسیدانی نمونه‌های مختلف پودر میوه با استفاده از روش مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) تعیین شد. ابتدا، ۲/۵ mg DPPH در ۱۰۰ ml اتانول حل شد. سپس، ۱ ml از رقت‌های تهیه شده از پودر میوه به ۳ ml محلول DPPH افزوده شد و به مدت ۳۰ min در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شد. جذب نمونه‌ها به وسیله یک دستگاه اسپکتروفتومتر Sigma مدل ZFP 22، ساخت کشور آلمان در طول موج ۵۱۷ nm خوانده شد. برای تهیه نمونه بلانک، به جای پودر میوه از آب مقطر استفاده شد. درصد فعالیت ضد اکسیدانی نمونه‌های مختلف پودر با رابطه (۲) محاسبه شد:

$$(\%) = \frac{OD_c - (OD_s - OD_b)}{OD_c} \quad (2)$$

که OD_c میزان جذب محلول DPPH، OD_s میزان جذب محلول حاوی پودر میوه و OD_b میزان جذب محلول بلانک بود [۱۷].

گیری راندمان خشک کردن، محتوای رطوبت، فعالیت آبی، چگالی توده، جاذب الرطوبگی، شاخص حلالیت پودر در آب، زمان خیس‌پذیری و فعالیت ضد اکسیدانی تیمارهای مختلف، برآزیده شد:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=i+1}^2 \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

که Y پاسخ و β_0 ، β_i ، β_{ii} و β_{ij} ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبدا، خطی، درجه دوم و برهمکنش‌ها بوده و X_i و X_j متغیرهای مستقل می‌باشند [۱۲]. تحلیل سطح پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار مینی تب نسخه ۱۵/۱/۱۰ انجام شد.

۲-۴- راندمان خشک کردن

راندمان خشک کردن از نسبت وزن پودر حاصل به میزان مواد جامد آب هلو و شیرخشک بدون چربی تغذیه شده به دستگاه خشک‌کن محاسبه شد [۱۳].

۲-۵-۵- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی

۲-۵-۱- فعالیت آبی و محتوای رطوبت

فعالیت آبی پودر مخلوط آب هلو و شیرخشک بدون چربی با استفاده از یک دستگاه سنجش فعالیت آبی AQUA-LAB مدل CX-3، ساخت کشور آمریکا و در دمای ۲۵ °C اندازه‌گیری شد. محتوای رطوبت نمونه‌ها به وسیله روش خشک کردن در آن Memmert مدل UL40، ساخت کشور آلمان، در دمای ۷۰ °C تا رسیدن به وزن ثابت، اندازه‌گیری شد [۱۴].

۲-۵-۲- چگالی توده‌ای

به منظور اندازه‌گیری چگالی توده‌ای، ۵ ml از پودر میوه در یک استوانه مدرج ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد و وزن آن با یک ترازوی دیجیتالی Mettler Instrument مدل PM 4000، ساخت کشور آمریکا با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. چگالی توده‌ای از نسبت جرم پودر به حجم آن محاسبه شد [۱۳].

۲-۵-۳- شاخص حلالیت در آب

به منظور اندازه‌گیری شاخص حلالیت در آب، ۱ g از پودر تولیدی به ۱۰۰ ml آب مقطر افزوده و در یک مخلوط‌کن Waring مدل 13DL44، ساخت کشور آمریکا با سرعت ۱۵۰۰۰ rpm،

۳- نتايج و بحث

۳-۱- راندمان خشك كردن

يافته‌هاى حاصل از بررسى آمارى تاثير متغيرهاى فرايند خشك كردن بر راندمان خشك كردن پودر مخلوط آب هلو و شير- خشك بدون چربى در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس نتايج، افزايش دماى هواى ورودى به‌طور معنيدارى باعث افزايش راندمان خشك كردن شد ($p < 0.05$). افزايش دماى هواى ورودى، باعث افزايش اختلاف دما بين ذرات محصول و هواى ورودى مى- شود كه در نتيجه آن، سرعت تبخير يا همان انتقال جرم و حرارت افزايش پيدا مى‌كند. از آن‌جا كه احتمال چسبیدن ذرات خيس به ديواره‌هاى خشك‌كن بيش‌تر است، افزايش سرعت خشك‌شدن خوراك ورودى به خشك‌كن ممكن است با کاهش احتمال بروز اين رخداد، هدررفت محصول را کاهش و به دنبال آن، راندمان خشك‌شدن را افزايش دهد [۸]. در اين ارتباط، يافته‌هاى مشابهى در مورد پودر حاصل از خشك كردن آب آكايى [۵]، آب گوجه فرنگى [۱۸] و آب شاتوت [۸] گزارش شده است. با افزايش نسبت آب هلو به شير خشك بدون چربى در خوراك ورودى نيز راندمان خشك كردن به‌طور معنيدارى افزايش پيدا كرد ($p < 0.05$) (جدول ۲). تونون و همكاران بيان كردند كه با افزايش ميزان مالتودكسترين به‌عنوان حامل در خوراك ورودى به خشك‌كن، راندمان خشك كردن محصول کاهش پيدا مى‌كند و علت آن را به افزايش ويسكوزيته نسبت دادند كه فرايند انتقال حرارت و جرم را با مشكل مواجه مى‌كند [۵]. بر اين اساس، مى‌توان عنوان داشت كه در پژوهش پيش‌رو، کاهش سهم پودر شير خشك و در مقابل افزايش سهم آب ميوه در خوراك ورودى، احتمالاً باعث کاهش ويسكوزيته و به دنبال آن، انتقال بهتر جرم و حرارت شده كه در نهايت، محصول زودتر خشك شده و احتمال چسبیدن ذرات به ديواره خشك‌كن كه با کاهش راندمان خشك كردن همراه است کاهش مى‌يابد. تاثير مثبت نسبت آب هلو به شير خشك بدون چربى در خوراك ورودى و دماى ورودى بر راندمان خشك كردن، در نمودار اثر متقابل اين دو متغير نيز قابل مشاهده است (شكل ۱). همان‌طور كه در اين نمودار مى‌توان ديد، بالاترين راندمان خشك كردن براى بالاترين نسبت آب هلو به شير خشك بدون چربى و دماى هواى ورودى حاصل شده است. البته، پژوهشگرانى هم‌چون شرسزا و همكاران [۹] در ارتباط با آب پرتقال، كويك و همكاران در ارتباط با آب هندوانه [۱۹]

پاپاداكييس و همكاران در ارتباط با آب انگور [۲۰]، افزايش راندمان خشك كردن در نتيجه افزايش غلظت كمك خشك‌كن را گزارش كردند. در ارتباط با ديگر متغير فرايند، يعنى ديبى هواى ورودى، و تاثير آن بر راندمان خشك كردن، همبستگى معنيدارى مشاهده نشد ($p \geq 0.05$) (جدول ۲). نتايج هم‌چنين حاكى از آن بودند كه اثر متقابل هيچ‌كدام از متغيرها بر ميزان راندمان خشك- كردن از لحاظ آمارى معنيدار نمى‌باشد ($p \geq 0.05$) (جدول ۲).

۳-۲- ويژگى‌هاى فيزيكى

۳-۲-۱- فعاليت آبى و رطوبت

يافته‌هاى اين پژوهش نشان داد كه متغيرهاى فرايند خشك كردن پاششى از تاثير مشابهى بر دو پارامتر ميزان رطوبت و فعاليت آبى پودر هلو برخوردار مى‌باشند (جدول ۲). در واقع، متغيرهاى فرايند شامل سهم آب هلو از خوراك ورودى به خشك‌كن و دماى هواى ورودى به خشك‌كن، به گونه‌اى منفى، دو پارامتر ياد شده را تحت تاثير قرار دادند ($p < 0.05$) و ديگر متغير فرايند يعنى ديبى هواى ورودى نيز از تاثير معنيدارى بر اين دو پارامتر برخوردار نبود ($p \geq 0.05$). همان‌طور كه پيش‌تر نيز عنوان شد، افزايش سهم آب هلو از خوراك ورودى به خشك‌كن و افزايش دماى هواى ورودى به‌ترتيب به دليل کاهش ويسكوزيته خوراك و افزايش گراديان دمائى بين هواى خشك‌كن و خوراك ورودى موجب تسريع خشك شدن، و به دنبال آن، کاهش بيش‌تر رطوبت محصول مى‌شوند. فضائلى و همكاران نيز در پژوهشى در ارتباط با خشك كردن پاششى آب شاه‌توت، به يافته‌هاى مشابه در ارتباط با تاثير دماى هواى خشك‌كن بر دو پارامتر ياد شده دست يافتند [۸]. پژوهش‌هاى بسيارى وجود دارد كه در همگى آن‌ها، از دماى هواى خشك‌كن به‌عنوان يك متغير داراى اثر منفى بر رطوبت ياد شده است كه مى‌توان به پژوهش- هاى گولا و آداموپولوس [۲۱]، قباديان و چگينى [۲۲]، رودريگز- هرناندز و همكاران [۲۳] و يورداگل و ارسوس [۲۴] به‌ترتيب در ارتباط با خشك كردن پاششى آب گوجه فرنگى، آب پرتقال، آب گلابى و آب هويج سياه اشاره داشت. على رغم اتفاق نظرى كه در ارتباط با تاثير دما بر رطوبت وجود دارد، در ارتباط با تاثير آن بر فعاليت آبى تفاوت نظرهابى در پژوهش‌هاى مختلف ديده مى- شود؛ به‌عنوان نمونه، كويك و همكاران، بر خلاف يافته‌هاى اين پژوهش و پژوهش فضائلى و همكاران [۸]، نشان دادند كه دماى

جدول (۲) نتایج تحلیل آماری تاثیر متغیرهای فرایند خشک کردن بر راندمان خشک کردن، فعالیت آبی، رطوبت و چگالی توده‌ای پودر هلو
Table 2 Effect of spray drying variables on drying yield, water activity, moisture content and bulk density of peach juice powder

| چگالی توده‌ای | | رطوبت | | فعالیت آبی | | راندمان خشک کردن | | متغیرها Variables |
|---------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|------------------|---------------|---------------------------------|
| Bulk density | | Moisture content | | Water activity | | Drying yield | | |
| p عدد | ضریب b | p عدد | ضریب b | p عدد | ضریب b | p عدد | ضریب b | |
| P value | b Coefficient | P value | b Coefficient | P value | b Coefficient | P value | b Coefficient | |
| 0.000 | 5.4433 | 0.000 | 3.5300 | 0.000 | 0.3200 | 0.000 | 55.1 | عرض از مبدا Constant |
| 0.001 | 0.4512 | 0.175 | -0.0612 | 0.024 | -0.0237 | 0.001 | 4.1 | X ₁ |
| 0.000 | 1.3200 | 0.005 | -0.1862 | 0.001 | -0.0475 | 0.000 | 12.05 | X ₂ |
| 0.276 | -0.0712 | 0.903 | -0.0050 | 0.873 | 0.0012 | 0.557 | -0.35 | X ₃ |
| 0.391 | -0.0804 | 0.291 | -0.0675 | 0.172 | -0.0175 | 0.439 | -0.6875 | X ₁ , X ₁ |
| 0.086 | -0.1829 | 0.835 | -0.0125 | 0.404 | -0.0100 | 0.761 | 0.2625 | X ₂ , X ₂ |
| 0.203 | -0.1254 | 0.342 | 0.0600 | 0.306 | 0.0125 | 0.919 | -0.0875 | X ₃ , X ₃ |
| 0.774 | 0.0250 | 0.072 | 0.1250 | 0.016 | 0.0375 | 0.612 | 0.4250 | X ₁ , X ₂ |
| 0.796 | -0.0225 | 0.897 | -0.0075 | 1.000 | 0.0000 | 0.976 | 0.0250 | X ₁ , X ₃ |
| 0.466 | 0.0650 | 0.829 | -0.0125 | 0.509 | -0.0075 | 0.270 | 0.9750 | X ₂ , X ₃ |
| 99.1% | | 87% | | 93.2% | | 99.1% | | R ² |
| 97.6% | | 63.7% | | 81% | | 97.4% | | R ² -adjust |

X₁، X₂ و X₃ به ترتیب نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی، دمای هوای ورودی به خشک کن و دبی هوای فشرده هستند.

(p < 0.05) نشان دهنده اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

(p < 0.01) نشان دهنده اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۹٪ است.

(p ≥ 0.05) نشان دهنده عدم اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

X₁, X₂ and X₃ are peach juice-to-skim milk powder ratio, inlet air temperature and compressed air flow rate, respectively.

(p < 0.05) indicates significant effect of the variable on the response at the 95% confidence level.

(p < 0.01) indicates significant effect of the variable on the response at the 99% confidence level.

(p ≥ 0.05) indicates non-significant effect of the variable on the response at the 95% confidence level.

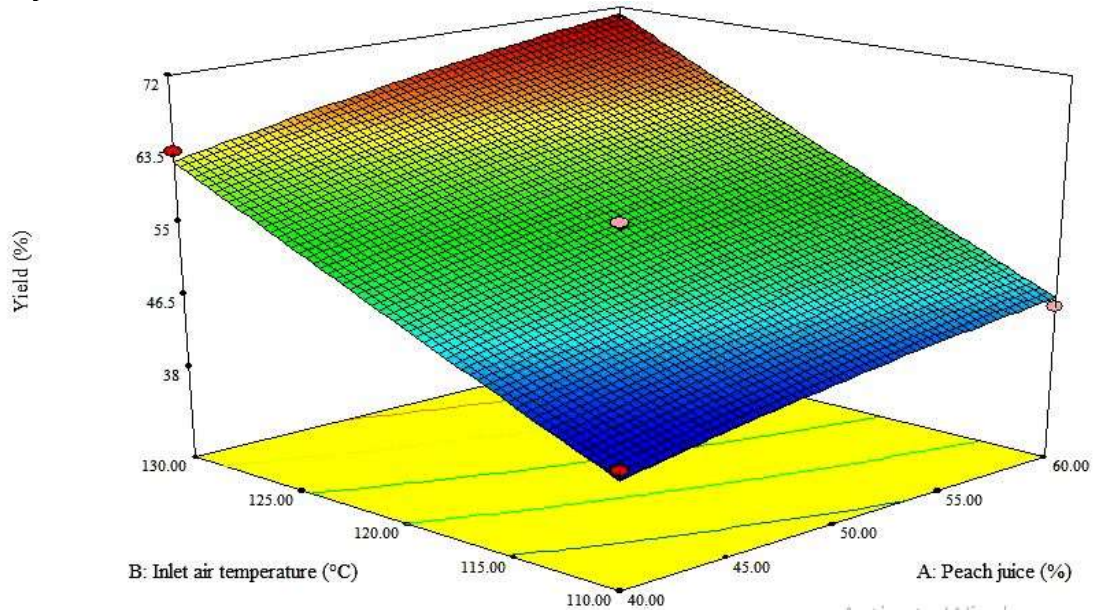
در ارتباط با برهم کنش این دو متغیر بر رطوبت پودر هلو نیز مشاهده شد (شکل ۲).

۲-۲-۳ چگالی توده‌ای

یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزایش نسبت آب میوه به شیر خشک در خوراک ورودی یا دمای هوای خشک کن به گونه معنی داری باعث چگال تر شدن پودر به دست آمده می شود (جدول ۲). (p < 0.05) دبی هوای ورودی به خشک کن از تأثیر معنی داری بر چگالی توده ای برخوردار نبود (p ≥ 0.05) ولی ضریب آن در مدل ریاضی پیشنهادی به وسیله روش سطح پاسخ، نشان دهنده کاهش چگالی توده‌ای با افزایش دبی هوای ورودی می باشد (جدول ۲). در توجیه رابطه منفی دبی هوای ورودی با چگالی توده‌ای می توان عنوان داشت که در حجم هوای بیش تر احتمالاً میزان بیش تری از هوا ممکن است درون پودر خشک شده به دام بیافتد و از آن جا که چگالی هوا کم تر از چگالی خوراک

هوای خشک کن دارای تأثیر معنی داری بر میزان فعالیت آبی نمی باشد [۱۹]. خا و همکاران نیز عدم تأثیر معنی دار دمای هوای ورودی بر فعالیت آبی پودر حاصل از خشک کردن پاششی کنسانتره کدوی خاردار را گزارش کردند [۷]. این در حالی است که در هر دو پژوهش یادشده، افزایش دما به طور معنی داری باعث کاهش میزان رطوبت محصول شد.

نتایج تحلیل آماری تاثیر متقابل متغیرهای فرایند خشک کردن بر این دو پارامتر نشان داد که در مورد فعالیت آبی، تنها "سهم آب هلو از خوراک ورودی" و "دمای هوای ورودی"، دارای تاثیر معنی دار آماری می باشند و در مورد رطوبت، هیچ یک از اثرات متقابل، دارای اهمیت آماری نمی باشند (جدول ۲). همان طور که در نمودار برهم کنش سهم آب هلو از خوراک ورودی و دمای هوای ورودی بر رطوبت پودر هلو نیز می توان مشاهده کرد (شکل ۱)، در غلظت های بالای آب میوه، افزایش دمای هوای ورودی، آنگونه که انتظار می رفت باعث کاهش فعالیت آبی نشد. این پدیده



شکل (۱) نمودار سطح پاسخ تاثیر متقابل نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی و دمای هوای ورودی به خشک کن بر راندمان خشک کردن.
Fig. 1 Response surface plot for interaction effect of peach juice-to-skim milk powder ratio and inlet air temperature on drying yield.

اساس یافته‌های آماری، تأثیر هیچ کدام از برهم کنش‌های متغیرهای فرایند بر چگالی توده‌ای پودر هلو معنی‌دار نبود ($p \geq 0.05$) (جدول ۲).

۳-۲-۳- شاخص حلالیت

نتایج بررسی تغییرات میزان حلالیت پودر هلو در نتیجه تغییر شرایط فرایند خشک کردن (جدول ۳) نشان داد که افزایش سهم آب میوه در فرمولاسیون خوراک تزریقی به خشک کن، و همچنین دمای هوای ورودی به خشک کن، به طور معنی‌داری باعث افزایش حلالیت پودر حاصل از خشک کردن آب هلو می‌شود ($p < 0.05$). این در حالی بود که دیگر متغیر فرایند، یعنی دبی هوای ورودی به خشک کن، از تأثیر آماری معنی‌داری بر پاسخ یاد شده برخوردار نبود ($p \geq 0.05$). در پژوهش فضالی و همکاران در مورد خشک کردن آب شاه‌توت [۸] و خا و همکاران در مورد خشک کردن کنستانتره کدو خاردار [۷]، علت تأثیر مثبت دما بر شاخص حلالیت پودر آب میوه به بزرگ‌تر بودن اندازه ذرات در دماهای بالاتر خشک کن نسبت داده شده است. در واقع، اعتقاد بر این است که ذرات درشت‌تر دارای تخلخل بیشتری بوده و از این رو، حلالیت بیشتری نیز دارند [۷]. البته، آنچه در این پژوهش مشاهده شد، تأثیر مثبت دما به طور هم‌زمان بر چگالی و

می‌باشد، چگالی محصول نهایی کاهش می‌یابد. تأثیر مثبت دو پارامتر دیگر بر چگالی توده‌ای را نیز می‌توان از این رهگذر توجیه کرد که همان‌طور که پیشتر اشاره شد، افزایش هر دو متغیر باعث کاهش بیش‌تر رطوبت محصول نهایی می‌شود و از آن‌جا که احتمالاً چگالی آب از چگالی پودر میوه کم‌تر است، خروج بیش‌تر آب باعث افزایش چگالی محصول می‌شود. در یافته‌هایی متفاوت، احمدی راد در ارتباط با آب ذغال اخته [۱۳]، فضالی و همکاران در مورد آب شاه‌توت [۸] خا و همکاران درباره کنستانتره کدو خاردار [۷] گزارش کردند که افزایش دمای هوای ورودی به خشک کن پاششی باعث کاهش چگالی محصول پودری نهایی می‌شود. شهیدی و همکاران با تکیه بر نتایج آزمون اندازه ذره پودر حاصل از خشک کردن پاششی آب انار عنوان داشتند که قرار گرفتن ذرات در معرض دمای بالاتر سبب افزایش سرعت تبخیر در نمونه‌ها می‌شود که همین امر باعث متورم شدن ذرات طی خشک کردن می‌شود؛ در حالی که با کاهش دمای خشک کن، سرعت خشک کردن کاهش می‌یابد و همین امر سبب افزایش چروکیدگی ذرات و کاهش اندازه آن‌ها می‌شود [۱۱]. بدیهی است که با بزرگ شدن ذرات، نسبت جرم به حجم یا همان چگالی کاهش می‌یابد و با کوچک شدن آن‌ها به دلیل افزایش نسبت یادشده، چگالی افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که بر-

جدول (۳) نتایج تحلیل آماری تاثیر متغیرهای فرایند خشک کردن بر حلالیت، جاذبه‌الرطوبگی، زمان خیس پذیری و فعالیت ضداکسیدانی پودر هلو
Table 3 Effect of spray drying variables on solubility, hygroscopicity, wet ability and antioxidant activity of peach juice powder

| فعالیت ضداکسیدانی Antioxidant activity | | زمان خیس پذیری Wettability time | | جاذبه‌الرطوبگی Hygroscopicity | | حلالیت Solubility | | متغیرها Variables |
|---|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| عدد p P value | ضریب b b Coefficient | عدد p P value | ضریب b b Coefficient | عدد p P value | ضریب b b Coefficient | عدد p P value | ضریب b b Coefficient | |
| 0.000 | 35.000 | 0.000 | 8.5666 | 0.000 | 0.03000 | 0.000 | 81.6800 | عرض از مبدا Constant |
| 0.000 | 3.125 | 0.003 | 0.8625 | 0.175 | 0.00125 | 0.003 | 1.7975 | X ₁ |
| 0.000 | -6.250 | 0.003 | 0.8750 | 0.005 | 0.00375 | 0.000 | 6.5625 | X ₂ |
| 0.011 | -1.125 | 0.614 | -0.0875 | 1.000 | 0.00000 | 0.281 | -0.3950 | X ₃ |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 | -0.2833 | 0.332 | 0.00125 | 0.101 | -0.9675 | X ₁ , X ₂ |
| 0.577 | 0.250 | 0.817 | -0.0583 | 0.003 | 0.00625 | 0.163 | -0.7875 | X ₂ , X ₃ |
| 0.287 | -0.500 | 0.375 | -0.2333 | 0.332 | -0.00125 | 0.172 | -0.7675 | X ₃ , X ₃ |
| 0.122 | 0.750 | 0.217 | 0.3250 | 0.076 | -0.00250 | 0.065 | -1.0900 | X ₁ , X ₂ |
| 1.000 | -0.000 | 0.682 | 0.1000 | 1.000 | 0.00000 | 0.572 | -0.2800 | X ₁ , X ₃ |
| 0.562 | 0.250 | 0.785 | -0.0750 | 1.000 | -0.00000 | 0.798 | -0.1250 | X ₂ , X ₃ |
| 99.2% | | 97.6% | | 92.5% | | 98.9% | | R ² |
| 97.8% | | 93.2% | | 79% | | 96.9% | | R ² -adjust |

X₁, X₂ و X₃ به ترتیب نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی، دمای هوای ورودی به خشک کن و دبی هوای فشرده هستند.

(p < 0.05) نشان دهنده اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

(p < 0.01) نشان دهنده اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۹٪ است.

(p ≥ 0.05) نشان دهنده عدم اثر معنی دار آماری متغیر مورد نظر بر پاسخ مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

X₁, X₂ and X₃ are peach juice to skim milk powder, inlet air temperature and compressed air flow rate, respectively.

(p < 0.05) indicates significant effect of the variable on the response at the 95% confidence level.

(p < 0.01) indicates significant effect of the variable on the response at the 99% confidence level.

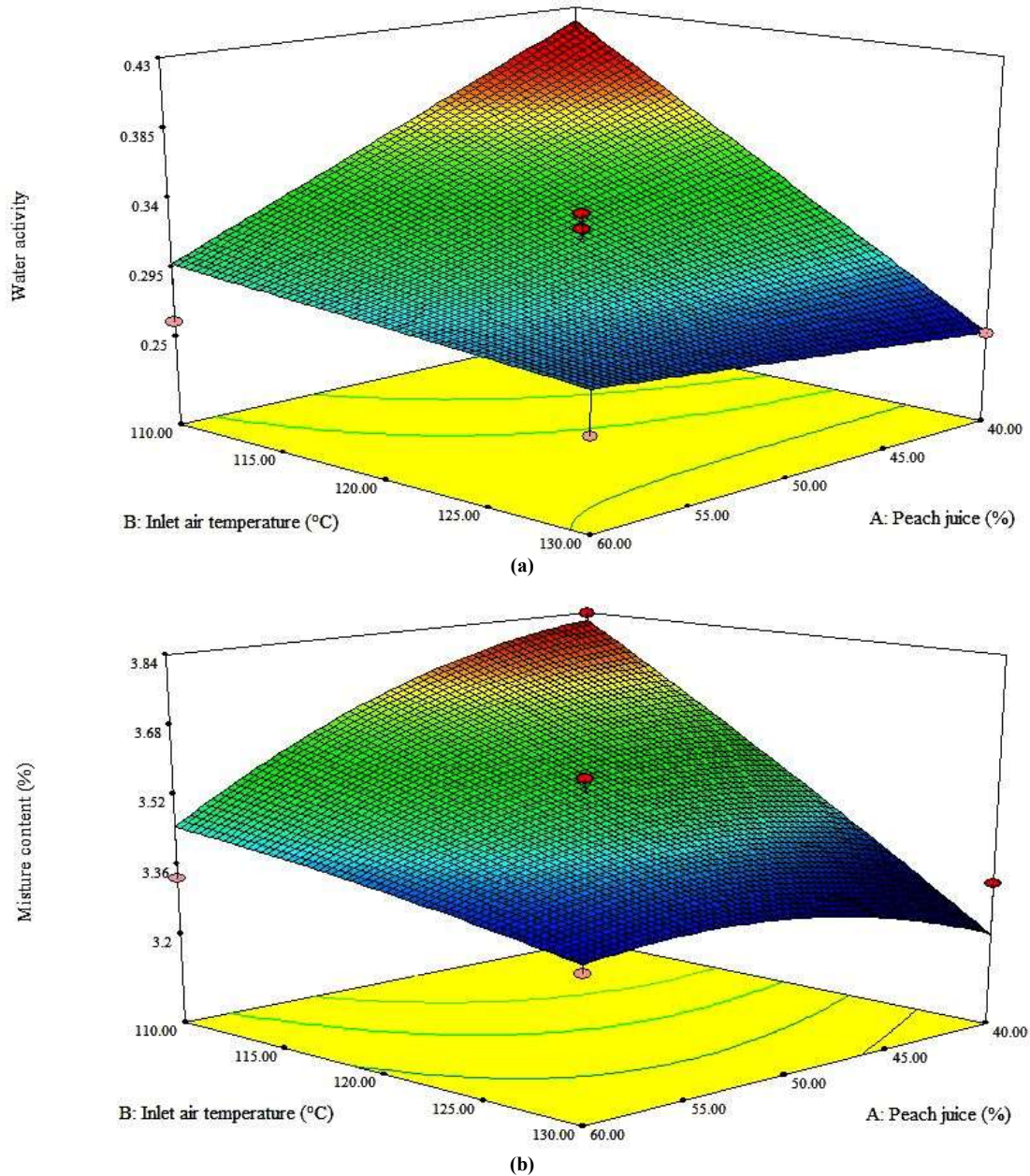
(p ≥ 0.05) indicates non-significant effect of the variable on the response at the 95% confidence level.

حلالیت بود. بر این اساس، شاید نتوان فرضیه ذکر شده را به عنوان تنها فرضیه قابل اعتماد در این زمینه پذیرفت. بر اساس یافته‌های آماری، برهم کنش هیچ یک از متغیرهای مورد بررسی بر حلالیت پودر هلو معنی دار نبود (جدول ۳). این پدیده در نمودارهای اثرات متقابل این پارامترها هم به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۲). همان طور که در این نمودارها می توان دید، بیشترین حلالیت پودر آب هلو زمانی حاصل شده که نسبت آب میوه به شیر خشک در خوراک تزریقی، و هم‌چنین، دمای هوای ورودی به خشک کن، در بیشینه حالت خود بوده‌اند (شکل ۳).

۳-۲-۳- جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس پذیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که دمای هوای ورودی به خشک کن دارای تاثیر مثبت و معنی‌داری بر دو پارامتر جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس‌پذیری می‌باشد (p < 0.05) (جدول ۳). دیگر متغیر مورد بررسی یعنی "نسبت آب میوه به پودر شیر

خشک در خوراک ورودی"، اگرچه دارای اثر مثبتی بر دو پارامتر یادشده بود، ولی اثر آن تنها در مورد زمان خیس‌پذیری از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). تأثیر مثبت این دو متغیر بر پارامترهای زمان خیس‌پذیری و میزان جذب رطوبت را می‌توان از نقطه‌نظر تأثیر کاهنده آن‌ها بر رطوبت مورد بررسی قرار داد. در واقع، رطوبت کم‌تر محصول، در نتیجه افزایش دو متغیر یاد شده، باعث افزایش گرادیان رطوبت بین محصول پودری و آب می‌شود و همین امر باعث افزایش قابلیت جذب رطوبت آن می‌شود [۵]. از سوی دیگر، توانایی جذب آب بیش‌تر به دلیل خشک تر بودن، باعث افزایش زمان مورد نیاز برای حلالیت کامل پودر در آب (زمان خیس‌پذیری) می‌شود. کویک و همکاران در یافته‌هایی مشابه گزارش کردند که نمونه‌های آب‌هندوانه پودر شده در دمای پایین‌تر خشک‌کن، به دلیل رطوبت بیش‌تر، دارای زمان خیس‌پذیری کم‌تری بودند [۱۹]. در پژوهش مشابه دیگری، پاتیل و همکاران نیز افزایش زمان خیس‌پذیری پودر حاصل از

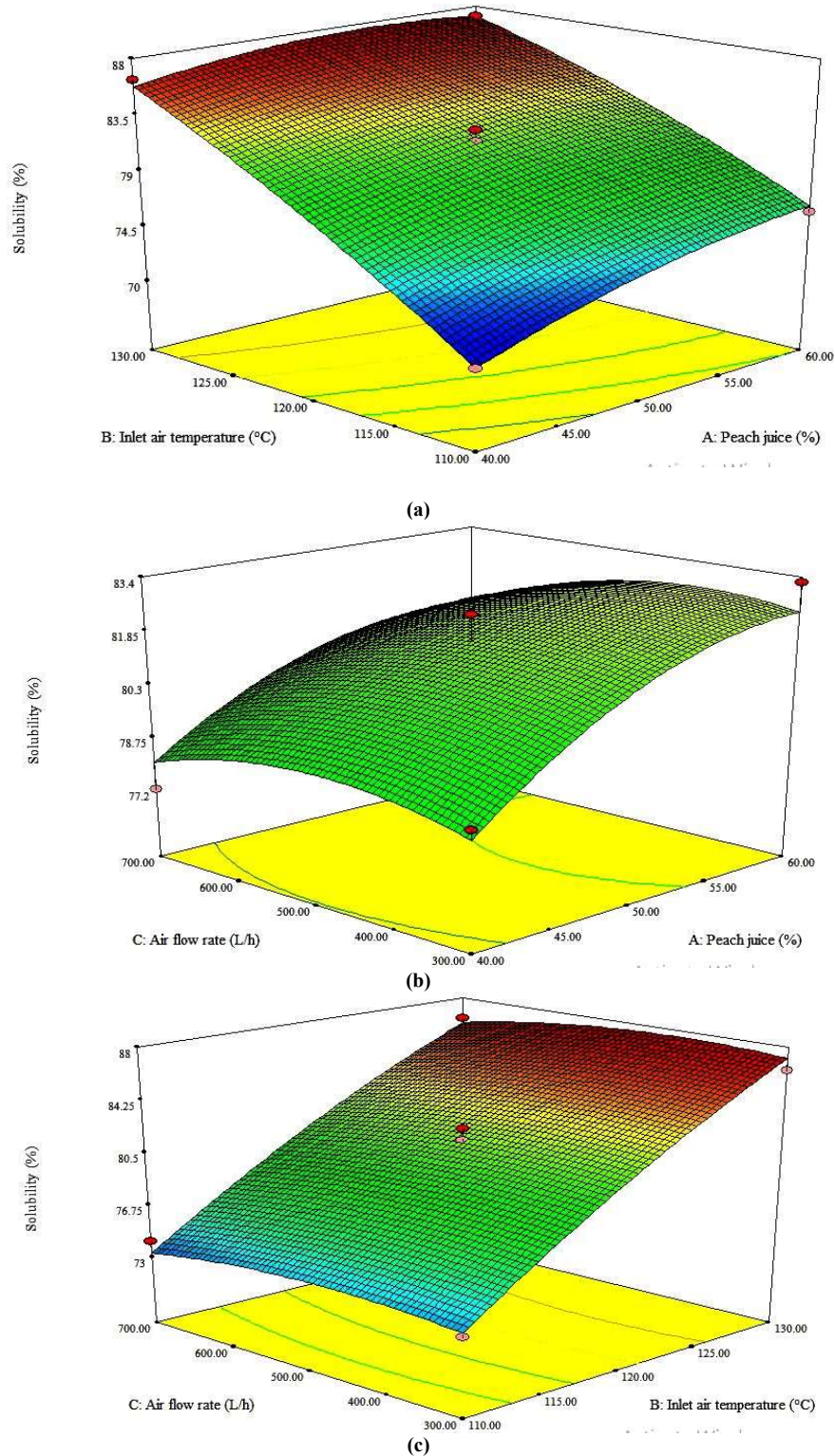


شکل (۲) نمودار سطح پاسخ تاثیر متقابل نسبت آب هلو به شیر خشک بدون چربی و دمای هوای ورودی به خشک کن بر (a) فعالیت آبی و (b) میزان رطوبت پودر هلو.

Fig. 2 Response surface plot for interaction effect of peach juice-to-skim milk powder ratio and inlet air temperature on a) water activity and b) moisture content of peach juice powder.

پژوهش‌های مشابه نیز این متغیر کم‌تر در فرایند خشک کردن مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان در توجیه مشاهدات این پژوهش عنوان داشت که احتمالاً محدوده انتخاب شده برای این متغیر به گونه‌ای بوده که تأثیری بر پارامترهای مورد بررسی

خشک کردن گواوا را در نتیجه افزایش دمای هوای ورودی به خشک کن گزارش کردند [۴]. به مانند سایر پارامترهای فیزیکی مورد بررسی، تأثیر دبی هوای ورودی بر این دو پارامتر نیز از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($p \geq 0.05$) (جدول ۳). البته، در



شکل (۳) نمودارهای سطح پاسخ تأثیر متقابل متغیرهای فرایند خشک کردن (a) آب هلو-دمای هوای ورودی، (b) آب هلو-دبی هوای ورودی و (c) دبی هوا-دمای هوای ورودی بر میزان حلالیت پودر هلو.

Fig. 3 Response surface plots for interaction effects of spray drying variables a) Peach juice-Inlet air temperature, b) Peach juice-Air flow rate and c) Air flow rate-Inlet air temperature on solubility of peach juice powder.

نسبت آب میوه به شیر خشک در خوراک ورودی به خشک‌کن، ۶۰ به ۴۰ باشد و دما و دبی هوای ورودی به خشک‌کن نیز به ترتیب برابر با 126°C و 4.4 L/h باشند. به منظور تأیید صحت روش سطح پاسخ در پیش‌گویی شرایط بهینه، نمونه بهینه تحت شرایط پیشنهاد شده خشک شد و سپس ویژگی‌های مختلف پودر به دست آمده، مورد ارزیابی و مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله روش سطح پاسخ قرار گرفت (جدول ۴). نتایج آزمون مقایسه‌ای تی نشان داد که در سطح اطمینان ۰.۹۵، بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در بیش‌تر پارامترهای پودر حاصل از خشک‌کردن پاششی آب هلو، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که نشان‌دهنده صحت پیش‌گویی مدل‌ها در مورد شرایط بهینه فرایند می‌باشد (جدول ۴).

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، تعیین شرایط بهینه خشک‌کردن پاششی آب هلو با استفاده از روش سطح پاسخ بود. نتایج نشان داد که افزایش نسبت آب هلو به پودر شیر خشک بدون چربی در خوراک تغذیه شده به خشک‌کن و همچنین افزایش دمای هوای ورودی، هر دو باعث افزایش راندمان خشک‌کردن، چگالی توده‌ای، شاخص حلالیت، جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس‌پذیری و کاهش فعالیت آبی و رطوبت می‌شود، ولی دبی هوای ورودی از تاثیر معنی‌داری بر آن‌ها برخوردار نبود. در حالی که نسبت آب هلو به پودر شیر خشک بدون چربی دارای اثر مثبتی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود، دو متغیر دیگر یعنی دما و دبی هوای ورودی آن را به گونه‌ای منفی تحت تاثیر قرار دادند. نتایج بهینه سازی به روش سطح پاسخ نشان داد در صورتی که نسبت آب میوه به شیر خشک در خوراک ورودی به خشک‌کن، ۶۰ به ۴۰ باشد و دما و دبی هوای ورودی به خشک‌کن نیز به ترتیب برابر با 126°C و 4.4 L/h باشند می‌توان به محصولی پودری با حداکثر راندمان خشک‌کردن، مطلوب‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و بیش‌ترین فعالیت ضداکسیدانی دست یافت.

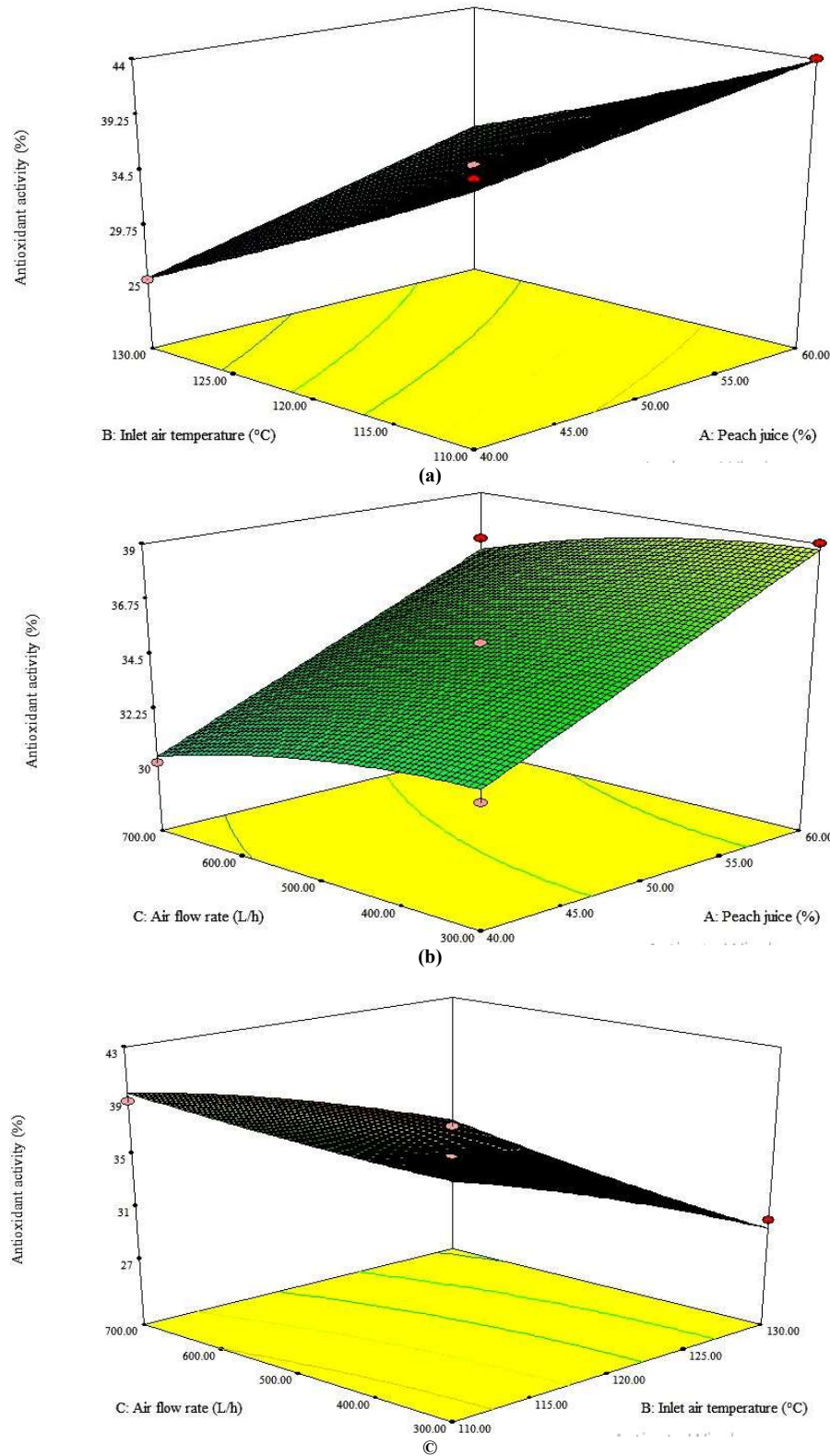
نداشته و یا به نظر می‌رسد محدوده انتخاب شده برای سایر متغیرها باعث شده تاثیر این متغیر در ویژگی‌های محصول از اهمیت قابل توجهی برخوردار نباشد. بر اساس نتایج تحلیل آماری، تاثیر متقابل هیچ‌یک از متغیرهای مورد بررسی بر میزان جاذبه‌الرطوبگی و زمان خیس‌پذیری پودر هلو معنی‌دار نبود.

۳-۳ فعالیت ضد اکسیدانی

همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، با افزایش سهم آب میوه در خوراک ورودی به خشک‌کن، فعالیت ضداکسیدانی به گونه معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($p < 0.05$) (جدول ۳). یوسفی و همکاران نیز به نتایج مشابهی در این ارتباط دست یافتند و تأیید کردند که کاهش سهم آب میوه از خوراک ورودی باعث کم شدن غلظت ترکیبات ضداکسیدانی آن می‌شود [۱۷]. تأثیر منفی دمای خشک‌کن بر فعالیت ضداکسیدانی (جدول ۳) نیز قابل انتظار بود چرا که به طور معمول ترکیبات دارای فعالیت ضداکسیدانی موجود در آب‌میوه‌ها به حرارت حساس می‌باشند و ممکن است در حرارت‌های بالا تخریب شوند. خا و همکاران نیز کاهش شدید فعالیت ضداکسیدانی پودر کندسانتره کدوی خاردار در نتیجه افزایش دمای خشک‌کن را مشاهده کردند [۷]. بر خلاف پارامترهای فیزیکی، فعالیت ضداکسیدانی به‌طور معنی‌داری متأثر از دبی هوای ورودی به خشک‌کن بود ($p < 0.05$). در واقع، با افزایش دبی هوا، فعالیت ضداکسیدانی پودر حاصله کاهش یافت که شاید بتوان علت آن را به اکسید شدن بیش‌تر ترکیبات ضداکسیدانی در نتیجه افزایش این متغیر نسبت داد [۲۵]. بر اساس نتایج تحلیل آماری، تأثیر متقابل هیچ‌یک از متغیرهای فرایند بر فعالیت ضداکسیدانی معنی‌دار نبود ($p \geq 0.05$). این امر در نمودارهای برهم‌کنش این متغیرها نیز کاملاً مشهود می‌باشد (شکل ۴).

۳-۴ بهینه‌سازی و تأیید مدل

تعیین شرایط بهینه خشک‌کردن پاششی آب هلو با هدف دستیابی به محصولی پودری با حداکثر راندمان خشک‌کردن، حداقل رطوبت و فعالیت آبی، بالاترین شاخص حلالیت، کم‌ترین زمان خیس‌پذیری و بیش‌ترین فعالیت ضداکسیدانی صورت پذیرفت. یافته‌های بهینه سازی با روش سطح پاسخ (جدول ۴) نشان داد که دستیابی به این مهم در صورتی میسر است که



شکل (۴) نمودارهای سطح پاسخ تأثیر متقابل متغیرهای فرایند خشک کردن (a) آب هلو-دمای هوای ورودی، (b) آب هلو-دبی هوای ورودی و (c) دبی هوا-دمای هوای ورودی بر میزان فعالیت ضداکسیدانی پودر هلو.

Fig. 4 Response surface plots for interaction effects of spray drying variables a) Peach juice-Inlet air temperature, b) Peach juice-Air flow rate and c) Air flow rate-Inlet air temperature on antioxidant activity of peach juice powder.

جدول (۴) نتایج تأیید آماری مدل در پیش‌گویی شرایط بهینه خشک کردن مخلوط آب هلو و شیر خشک بدون چربی به روش پاششی

Table 4 Performance of models in predicting the optimum conditions for spray-drying of peach juice-skim milk blend

| عدد p P value | اختلاف میانگین Mean difference | میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean | مقدار به دست آمده ^a Experimental value | مقدار پیش‌بینی شده Predicted value | پارامتر Parameter |
|------------------|-----------------------------------|--|---|--|--|
| 0.051 | -1.73 | 0.40 | 64.06±0.7 | 65.8 | راندمن خشک کردن Drying yield |
| 0.057 | 0.013 | 0.003 | 0.283±0.006 | 0.27 | فعالیت آبی Water activity |
| 0.053 | 0.12 | 0.028 | 3.5±0.05 | 3.38 | رطوبت Moisture content |
| 0.085 | 0.093 | 0.029 | 6.63±0.05 | 6.54 | چگالی توده‌ای Bulk density |
| 0.018 | -2.11 | 0.29 | 83.53±0.62 | 85.65 | حلالیت Solubility |
| 0.01 | -0.33 | 0.034 | 6.86±0.06 | 7.2 | زمان خیس‌پذیری Wettability time |
| 0.667 | -0.0016 | 0.004 | 0.033±0.005 | 0.035 | میزان جذب رطوبت Hygroscopicity |
| 0.081 | -2.74 | 0.82 | 32.56±1.4 | 35.31 | فعالیت ضد اکسیدانی Antioxidant activity |

^a مقادیر ارائه شده میانگین سه تکرار می‌باشد.

^a Mean ± standard deviation (n=3)

منابع

- [1] اجنوردی، س.؛ جوانمرد، م.؛ اسداللهی، ا. (۱۳۹۱). بررسی اثر پوشش خوراکی بر پایه آب پنیر حاوی عصاره آویشن شیرازی بر ماندگاری میوه هلو (رقم انجیری). نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، شماره ۸، دوره ۳، ص ۳۳۷-۳۴۸.
- [2] Faust, M., Timon, B. L. (2010). "Origin and Dissemination of Peach". *Hortic. Rev.*, pp 331.
- [3] Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 42, 65-69.
- [4] Patil, V., Chauhan, A.K., Singh, S.P. (2014). Influence of spray drying technology on the physical and nutritional properties of guava powder. *Int. J. Curr Microbiol. Appl. Sci.*, 3, 1224-1237.
- [5] Tonon, R.V., Brabet, C., Hubinger, M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J. Food Eng.*, 88, 411-418.
- [6] Jaishankar, H.P. (2016). Spray drying- a new emerging technology in post harvest: an overview. *Adv. Life Sci.*, 5, 5438-5442.
- [7] Kha, T.C., Nguyen, M.H., Roach, P.D. (2010). Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J. Food Eng.*, 98, 385-392.
- [8] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi., Ashtari, A., Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod. Process.*, 90, 667-675.
- [9] Shrestha, A. K., Ua-arak, T., Adhikari, B. R., Howes, T., Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *Int. J. Food Prop.*, 10, 661-673.
- [10] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., Emam-Djomeh, Z. (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *Int. J. Dairy Technol.*, 68, 70-78.



- Archila, M. (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technol.*, 23, 955–973.
- [24] Ersus, S., Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *J. Food Eng.*, 80, 805–812.
- [25] Horuz, E., Altan, A., Maskan, M. (2012). Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technol.*, 30, 787-798
- [۱۱] شهیدی، ف؛ وریدی، م؛ محبی، م؛ نوشاد، م؛ خلیلیان موحد، م. (۱۳۹۳) بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن پاششی آب انار با استفاده از روش سطح پاسخ. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، شماره ۳، دوره ۲، ص ۱۲۹-۱۴۲.
- [12] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., Emam-Djomeh, Z. (2012). Optimized preparation of ACE-inhibitory and antioxidative whey protein hydrolysate using response surface method (RSM). *Dairy Sci. Technol.*, 92, 641–653.
- [۱۳] احمدی‌راد، م؛ امام‌جمعه، ز؛ اسدی، ح. (۱۳۹۵) بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن پاششی آب زغل اخته با استفاده از روش سطح پاسخ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۵۰، دوره ۱۳، ص ۶۷-۷۸.
- [14] AOAC International. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC. AOAC International, Gaithersberg, MD.
- [15] Vissotto, F.Z., Jorge, L.C., Makita, G.T., Rodrigues, M.I., Menegalli, F.C. (2010). Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. *J. Food Eng.*, 97, 283–291.
- [16] Kurozawa, L. E., Park, K. J., Hubinger, M. D. (2009). Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. *J. Food Eng.*, 91, 287-296.
- [17] Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M. A., Askari, G. (2012). Comparing the effects of microwave and conventional heating methods on the evaporation rate and quality attributes of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate. *Food Bioprocess Technol.*, 5, 1328–1339.
- [18] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 1. the effect on product recovery. *J. Food Eng.*, 66, 25-34.
- [19] Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. *Chem. Eng. Process.*, 46, 386–392.
- [20] Papadakis, S.E., Gardeli, C., Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technol.*, 24, 173-180.
- [21] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 2. The effect on powder properties. *J. Food Eng.*, 66, 35–42.
- [22] Chegini, G.R., Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying condition on physical properties of orange juice powder. *Drying Technol.*, 23, 657–668.
- [23] Rodriguez-Hernandez, G.R., Gonzalez-Garcia, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M.A., Abud-