

بهینه سازی فرآیند خشک کردن پاششی آب زغال اخته با استفاده از روش سطح پاسخ

مریم احمدی راد^۱، زهرا امام جمعه^{۲*}، حسن اسدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سابق گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸)

چکیده

در این تحقیق، تاثیر بعضی از پارامترهای فرایند روی راندمان، میزان رطوبت، حلالیت و دانسیته توده ای پودر آب زغال اخته تولید شده با خشک کن پاششی بررسی شد. خشک کن پاششی آزمایشگاهی برای فرایند خشک کردن مورد استفاده قرار گرفت و از مالتودکسترین به عنوان حامل استفاده شد. طرح آزمایشی شامل استفاده از طرح Box-behnken و روش آماری سطح پاسخ بود. متغیرهای مستقل شامل دمای هوای ورودی ($110-170^{\circ}\text{C}$)، غلظت حامل (۰-۱۵٪) و سرعت جریان ورودی (۶-۱۲٪) بودند. نتایج نشان می دهد افزایش میزان مواد حامل باعث افزایش راندمان و حلالیت و کاهش محتوای رطوبت، دانسیته ظاهری، مقدار آنتو سیانین کل (TAC) و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر آب زغال اخته شد. همچنین افزایش دما باعث افزایش راندمان و کاهش حلالیت، محتوای رطوبت، دانسیته ظاهری، مقدار آنتو سیانین کل (TAC) و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر آب زغال اخته شد. بهینه سازی توسط روش سطح پاسخ انجام شد و شرایط نقطه بهینه شامل دمای هوای ورودی 140°C ، غلظت مالتودکسترین ۷٪ و سرعت جریان ورودی ۹٪ بود.

کلید واژه گان: آب زغال اخته، خشک کن پاششی، روش سطح پاسخ

۱- مقدمه

خانواده *Cornaceae* دارای بیش از ۶۰ گونه است که مهمترین آنها زغال اخته (*Cornus mas* L.) است. گونه زغال اخته دارای کاربردهای دارویی و خوراکی می باشد. مناطق انتشار آن اروپا، آسیا (مانند ایران: قزوین و جنگلهای ارسباران)، ارمنستان، قفقاز و آسیای صغیر می باشد.

زغال اخته با نام علمی *Cornus mas* L. از تیره *Cornaceae* است. این گیاه در طب سنتی برای درمان اسهال، ورم روده، رفع تب، درمان مالاریا، دفع سنگ کلیه و همچنین برای درمان عفونت های کلیه و مثانه به کار می رود. در میوه زغال اخته، میزان گلوکز و ساکاروز اندک بوده، اما آهن، کلسیم، اسید فولیک، ویتامین های C, B₁, B₂, E، آنتوسیانین ها، فلاونوئیدها، اسید گلی اکسیالیک و لعاب فراوان یافت می شود. زغال اخته همچنین دارای مواد آنتی اکسیدانت بوده و قابلیت بالایی برای مبارزه با سرطان دارد (۱).

زغال اخته میوه ای فصلی است و در تمام مدت سال قابل دسترس نیست. در ایران زغال اخته بیشتر مصرف تازه خوری دارد، اما به صورت خشک شده و یا ترش نیز مصرف می شود، در ضمن برای تولید مربا و شربت از آن استفاده می شود. در سالهای اخیر، از خشک کن پاششی برای تهیه آبمیوه ها استفاده شده است. آبمیوه باز سازی شده با این روش، کیفیت خوبی دارد. پودر تولید شده به دلیل کاهش حجم و وزن، هزینه حمل و نقل و بسته بندی کمتری خواهد داشت. در ضمن مدت ماندگاری آن افزایش خواهد یافت.

بزرگترین مشکل همراه پودر آبمیوه ها، خاصیت جذب آب و خاصیت ترموپلاستیکی آنهاست که باعث ایجاد مسابلی از قبیل چسبندگی به دیواره خشک کن، کلوخه شدن و مشکل بودن جابجایی بدون بسته بندی مناسب می شود. این موارد اضافه کردن یکسری از افزودنی ها (حامل) را جهت سهولت خشک کردن، بهبود خواص انتقالی و ذخیره سازی پودر اجباری می سازد

در تولید پودر، پارامتری مهم که بسیاری از فاکتورهای کیفی پودر مانند چسبندگی، حلالیت و کلوخه شدن به آن وابسته اند دمای انتقال شیشه ای است. دمای انتقال شیشه ای تابعی از ترکیب پودر است. از آنجا که در ترکیب آبمیوه بخش اصلی ماده خشک محلول، اجزای با وزن مولکولی پایین مانند ساکاروز، گلوکز و فروکتوز هستند، انتظار می رود که دمای

انتقال شیشه ای در این گونه محصولات پایین باشد. پایین بودن دمای انتقال شیشه ای موجب می شود که این محصولات طی دوران نگهداری در دمای محیط متحمل تغییرات چندی شوند که از جمله آن تغییر آرایش مولکولی، آزاد شدن آب اتصال یافته و در نهایت چسبیدن ذرات به یکدیگر و به بسته بندی می باشد. تغییر حالت آب از پیوسته به آزاد می تواند تسهیل کننده واکنش های شیمیایی و بیولوژیکی نامطلوب در محصول پودری باشد. استفاده از ترکیباتی با وزن مولکولی بالا (مانند مالتودکسترین) می تواند دمای انتقال شیشه ای را به اندازه ای افزایش دهد که در دمای محیط از تغییرات نامطلوب چسبندگی ذرات و کلوخه شدن و رسوب بر روی دیواره در محفظه خشک کن اجتناب شود (۲).

در این پژوهش از مالتودکسترین با معادل دکستروز ۶ به همراه سلولز کریستالی در سه سطح ۰، ۷/۵ و ۱۵٪ استفاده شد. متغیرهای این آزمایش نوع و میزان ترکیب حامل ها بود. همچنین اثر دمای هوای ورودی در سه سطح ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ و دبی جریان تغذیه (سرعت پمپ) در سه سطح ۶، ۹ و ۱۲٪ مورد آزمایش قرار گرفت. درجه سیکلون در ۶۵٪، فشار پمپ در ۷۰۰ L/h و ساعت و دمای نمونه در ۲۰°C ثابت بودند.

پودر تولیدی در محفظه زیر سیکلون در انتهای مسیر جمع آوری شده و بلافاصله برای سرد شدن به دسیکاتور منتقل شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودرهای حاصل شامل راندمان، درصد رطوبت، حلالیت، دانسیته توده ای، مقدار آنتو سیانین کل (TAC) و فعالیت آنتی اکسیدانی (IC₅₀) اندازه گیری شد.

۲- مواد و روش ها

میوه های زغال اخته از روستای هیر از توابع قزوین تهیه شد. مالتودکسترین با معادل دکستروز ۶، محصول شرکت راکوئی فرانسه، سلولز میکروکریستاله محصول شرکت مرک^۲ آلمان استفاده شد.

1. Roquette, France

2. Merck, Germany

3. Model B-191, Buchi Lab oratories Tednik Flawil, Switzerland.

آماده سازی نمونه ها

آب زغال اخته توسط پرس دستی استخراج و پالپ های تولید شده به منظور جدا سازی پوست و هسته ها، بوسیله فیلتر صاف شد و یکبار دیگر آب زغال اخته برای جلوگیری از گرفتگی اتمایزر، توسط فیلتر پارچه ای صاف گردید. در نهایت میزان مواد جامد کل (TSS) در حدود ۱۴/۵٪ تنظیم و نمونه ها سریعاً سرد شده و در دمای °C ۲۵- در فریزر نگهداری می شوند. برای تولید هر نمونه، آب زغال اخته تا ۹ درجه بریکس رقیق می شود و سپس حامل به همراه ۱/۵٪ سلولز کریستالی اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه توسط هموژنایزر آزمایشگاهی یکنواخت می شود.

خشک کن پاششی

از یک خشک کن پاششی آزمایشگاهی^۳ با اتمایزر two-fluid و قطر اتمایزر ۰/۷ mm استفاده شد.

راندمان

جهت بدست آوردن راندمان (درصد) از تقسیم وزن پودر حاصل بر میزان مواد جامد آب زغال اخته تغذیه شده به دستگاه استفاده شد.

میزان رطوبت

رطوبت پودر توسط آون در دمای °C ۷۰ اندازه گیری شد. زمان پایان آزمایش هنگامی تعیین شد که وزن نمونه ها به مقدار ثابتی رسید (۳).

حلالیت

۰/۴ گرم از پودر تولیدی در ۴۰ میلی لیتر آب حل شده و محلول تولیدی به منظور جدا شدن بخش های نامحلول، به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با سرعت ۷۵۰۰ دور بر دقیقه قرار گرفتند. سپس ۱۰ میلی لیتر از بخش شفاف بالای لوله آزمایش برداشته شد و به مدت ۵ ساعت در آون با دمای °C ۱۰۵ قرار گرفت (۴).

معادله ۱

$$S = \frac{m_2 - m_1}{0.1} \times 100$$

S حلالیت، m_1 وزن خالی ظرف و m_2 وزن ظرف پس از خارج کردن آن از آون.

دانسیته توده

مقدار ۵ میلی لیتر از پودر تولیدی در یک استوانه مدرج ریخته شده و وزن آن اندازه گیری شد. اندازه گیری سه بار تکرار شد و مقدار میانگین ثبت گردید. دانسیته توده ای با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

معادله ۲

$$\rho_b = \frac{m}{V_b}$$

که در این رابطه ρ_b دانسیته توده ای، m جرم نمونه و V_b حجم توده ای نمونه می باشد (۵).

تعیین مقدار آنتو سیانین کل (TAC)

مقدار ترکیبات آنتوسیانینی با استفاده از روش تغییر pH تعیین شد.

محلول کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ M توسط اسید کلریدریک (هر دو ساخت شرکت مرک آلمان) به pH = ۱ رسانیده شد و سپس ۳/۶ mL از این محلول با ۰/۴ mL آبمیوه مخلوط و میزان جذب آن توسط اسپکتروفتومتر نوع ماوراء بنفش مرئی ساخت شرکت سسیل انگلستان مدل CE 2502 در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر تا رسیدن به حالت یکنواخت اندازه گیری شد.

محلول استات سدیم ۰/۴ M با اسید استیک به pH = ۴/۵ رسانیده شد. سپس ۳/۶ mL از محلول جدید با ۰/۴ mL نمونه آبمیوه مخلوط و میزان جذب آن در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر بعد از حصول حالت پایدار اندازه گیری شد. آنگاه مقدار جذب (A) و مقدار آنتوسیانین کل از روابط زیر بدست آمد:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4.5}$$

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF \times 100}{MA}$$

که در آن TAC میزان آنتوسیانین کل بر اساس میلی گرم آنتوسیانین در ۱۰۰ میلی لیتر می باشد، MW وزن مولکولی آنتوسیانین غالب که در زغال اخته سیانیدین ۳- گلوکوزید و برابر ۴۴۹/۲ گرم است، DF فاکتور رقت و MA جذب مولی آنتوسیانین غالب برابر ۲۶۹۰۰ است (۶ و ۷).

تعیین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50})

جهت تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی از رادیکال آزاد و پایدار متانولیک ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده شد.

ابتدا غلظتهای گوناگونی از محلول DPPH ساخت شرکت مرک آلمان تهیه و جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ nm اندازه گیری شد و منحنی استاندارد آن بدست آمد. سپس ۳/۹ mL از محلول متانولیک ۲۵ میلی گرم در لیتر از ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل با ۰/۱ mL متانول مخلوط و جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm پس از رسیدن به حالت پایدار خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل در این جذب بدست آمده و تحت عنوان مقدار ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل اولیه در نظر گرفته شد. پس از آن ۳/۹ mL از محلول متانولیک ۲۵ میلی گرم در لیتر از ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل با ۰/۱ mL آبمیوه (در رقت های مختلف) مخلوط و پس از گذشت نیم ساعت مقدار جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm در حالت پایدار خوانده شد.

$$\%RSA = \left[\frac{(1 - A_{\text{sample}})}{A_{\text{control}}} \right] * 100$$

در این رابطه A_{sample} = میزان جذب نمونه و A_{control} = میزان جذب کنترل و RSA فعالیت گیرندگی

ادیکال می باشد. به جهت بررسی بهتر فعالیت آنتی رادیکالی از فاکتور IC_{50} استفاده شد که بیانگر غلظتی از آبمیوه است که قادر است ۵۰ درصد از رادیکال آزاد DPPH اولیه موجود در محیط را خنثی کند. محاسبه فاکتور IC_{50} به این صورت است که ابتدا نموداری از رابطه میان رقت های مختلفی از آبمیوه و درصد DPPH باقیمانده رسم شده و با توجه به نمودار حاصل، میزان آبمیوه ای که قادر به خنثی کردن ۵۰ درصد از رادیکال آزاد DPPH باشد، تعیین می شود که به این میزان از آبمیوه، IC_{50} گویند. لازم به ذکر است که تنظیم صفر دستگاه اسپکتروفتومتر ابتدا با متانول خالص انجام گرفت (۶ و ۷).

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

از آنجا که هدف اصلی پژوهش بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورهای دمای هوای ورودی، غلظت حامل و دبی جریان تغذیه بر راندمان، رطوبت، حلالیت و دانسیته بود، طرح آماری رویه سطح پاسخ RSM انتخاب شد (جدول ۱) از این رو نخست بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح آنها مطابق جدول ۲، شرایط ۱۵ تیمار مختلف خشک کردن پاششی انتخاب شد و سپس آزمایش ها تصادفی شدند، سه تکرار نقطه مرکزی جهت تعیین خطای آزمایش منظور گردید.

جدول ۱ نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه
		+۱ ۰ -۱
دمای هوای ورودی C°	X_1	۱۷۰ ۱۴۰ ۱۱۰
غلظت حامل (%)	X_2	۱۵ ۷/۵ ۰
دبی جریان تغذیه (%)	X_3	۱۲ ۹ ۶

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ اثرات خطی، $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ اثر مربعی و $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ اثرات متقابل و X_1, X_2, X_3 متغیرهای مستقل کد بندی شده هستند. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ از نرم افزار Design

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودرهای حاصل شامل راندمان، درصد رطوبت، حلالیت و دانسیته توده ای به عنوان متغیر وابسته یا پاسخ (Y) در نظر گرفته می شود. روش RSM اثر هر متغیر اصلی و تأثیر متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر به صورت جداگانه بیان می نماید و مدل چند متغیره به صورت زیر می باشد.

ارزیابی شد. بالا بودن مقدار R^2 همیشه دلالت بر مناسب بودن مدل نمی کند. بنابراین ترجیحا از R^2 -adj برای ارزیابی شایستگی مدل استفاده می شود که بایستی بالاتر از ۸۵ درصد باشد (۸).

Expert V 8 استفاده گردید. جملات معنی دار در مدل با استفاده از تجزیه واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ یافت شد. معنی دار بودن با تعیین سطح احتمال کمتر از ۵ درصد، قضاوت شد. شایستگی مدل با استفاده از R^2 ، R^2 -adj

جدول ۲ شرایط تیمارهای مختلف خشک کردن پاششی بر اساس طرح روش سطح پاسخ با طرح Box-behnken

ردیف	دمای هوای ورودی $C^0 (x_1)$	دبی جریان ورودی $(x_2)\%$	غلظت حامل $(x_3)\%$
۱	۱۷۰	۶	۷/۵
۲	۱۴۰	۹	۷/۵
۳	۱۱۰	۹	۱۵
۴	۱۱۰	۶	۷/۵
۵	۱۴۰	۱۲	۱۵
۶	۱۷۰	۹	۰
۷	۱۴۰	۱۲	۰
۸	۱۴۰	۹	۷/۵
۹	۱۴۰	۹	۷/۵
۱۰	۱۱۰	۹	۰
۱۱	۱۴۰	۶	۱۵
۱۲	۱۴۰	۶	۰
۱۳	۱۷۰	۹	۱۵
۱۴	۱۱۰	۱۲	۷/۵
۱۵	۱۷۰	۱۲	۷/۵

احتمال برخورد ذراتی که کاملاً خشک نشده اند، به دیواره کاهش پیدا کند. افزایش بیشتر دما باعث می شود که دما بیشتر از دمای انتقال شیشه ای (نقطه T_g) شود که باعث چسبندگی ذرات می شود.

نتایج مشابهی روی پودر حاصل از عصاره آکایی، آب گوجه و آب شاتوت کار در خصوص افزایش راندمان گزارش شده است (۵، ۹، ۱۰).

ولی Papadakis و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که افزایش دما از $83^\circ C$ به $167^\circ C$ باعث کاهش راندمان عصاره انگور از ۷۶٪ به ۴۷٪ می شود. که علت آن این است که دمای خشک کن بالاتر از دمای انتقال شیشه ای ماده موردنظر بوده و به علت افزایش چسبندگی پودر به دیواره خشک کن، میزان راندمان کاهش پیدا کرده است (۱۱).

۳- بحث و نتایج

بررسی راندمان پودر آب زغال اخته

راندمان فرآیند از طریق تعیین نسبت میزان پودر بدست آمده و میزان مایع تغذیه شده به خشک کن (بر اساس ماده خشک) محاسبه شد. راندمان کمتر ناشی از چسبندگی ذرات به یکدیگر و یا به دیواره های خشک کن و کشیده شدن محصول به داخل جریان خلا می باشد. در این پژوهش هنگام خشک کردن آب زغال اخته بدون حامل پودری حاصل نشد و افزایش دمای هوای ورودی تا $140^\circ C$ ، باعث افزایش راندمان شد. با توجه به شکل ۱ افزایش دما باعث افزایش اختلاف دما بین ذرات و هوای ورودی می شود در نتیجه سرعت تبخیر یا سرعت انتقال جرم و حرارت افزایش پیدا می کند. افزایش دما باعث می شود

سرعت جریان ۹٪، باعث راندمان بهتر می شود. با افزایش سرعت جریان، میزان بیشتری از ماده با مقدار ثابتی از هوای گرم تماس خواهد داشت که باعث می شود ذرات بطور کامل خشک نشوند و به دیواره های ستون بچسبند.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد، برای خشک کردن با مالتودکستری، اثر خطی غلظت مالتودکستری، توان دوم غلظت مالتودکستری و دبی جریان تغذیه پارامترهای معنی دار موثر بر راندمان پودر می باشند ($P < 0/05$). در ادامه فاکتورهایی که برازش مناسب مدل را نشان داد و نتایج مدل سازی بر اساس این آزمون در جدول ۳ آورده شده است.

با توجه به شکل ۱ افزایش غلظت حامل، باعث افزایش راندمان پودر آب زغال اخته شد. علت آن افزایش دمای انتقال شیشه ای ماده ورودی به خشک کن می باشد که سرشار از قندهای ساده با وزن مولکولی پایین است. نتایج مشابهی توسط Shrestha et al. (2007) روی پودر پرتقال، Quek et al. (2007) روی پودر هندوانه، Papadakis et al. (2006) روی عصاره انگور و فضایی و همکاران (۲۰۱۱) روی پودر آب شاتوت گزارش شد [۱۰-۱۳].

اگرچه Tonon et al. (2008) نشان دادند افزایش غلظت مالتودکستری باعث کاهش راندمان می شود که علت آن افزایش ویسکوزیته ماده ورودی به خشک کن بود [۵].

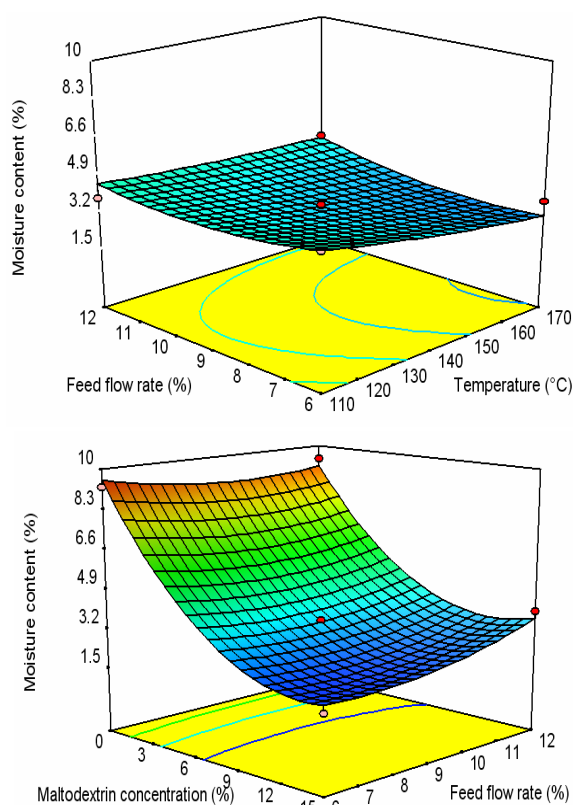
جدول ۳ جدول ANOVA نماینده ی جمله های خطی، درجه دوم و اثر متقابل هر متغیر و ضرایب (coef.) مدل پیش بینی کننده برای پودر تولید شده با مالتودکستری

منبع	درجه آزادی	راندمان (%)		رطوبت (%)		حلالیت (%)		دانسیته ظاهری (g/ml)		TAC (mg/100mL)		IC50 (mL)	
		Coef.	p	Coef.	p	Coef.	p	Coef.	p	Coef.	p	Coef.	p
مدل	۹	۴۸,۸	۰,۰۱	۳,۵	۰,۰۰۰۷	۸۱,۸۶	۰,۰۱	۰,۲۴۷	۰	۴,۴۴۶	۰,۰۱۸	۰,۰۰۹	۰
X_1	۱	۴,۶۴	۰,۱۷	-۰,۵۴	۰,۰۵	۰,۴۱۳	۰,۴۱	۰,۰۰۴۴	۰,۶۶	-۰,۶۰۸	۰,۰۲۹	۰,۰۰۲۵	۰,۰۰۰۲
X_2	۱	۱۹,۸	۰,۰۰۱	-۳,۱۷	۰	۳,۶	۰,۰۰۰۶	-۰,۳۲۳	۰	-۱,۳۹	۰,۰۰۱	۰,۰۱۰۳	۰
X_3	۱	-۳,۹۵	۰,۲۳	۰,۲۰۷	۰,۳۷	۰,۴۸۸	۰,۳۴	۰,۰۳۴	۰,۰۱	-۰,۳۰۷	۰,۱۸۷	۰,۰۰۰۶	۰,۰۵۸
X_1X_2	۱	۸,۸۵	۰,۰۸	۰,۰۶۵	۰,۸۴	-۰,۰۷۵	۰,۹۱	-۰,۰۱۵	۰,۳	۰,۴	۰,۲۱۹	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱۷
X_1X_3	۱	۲,۴۳	۰,۵۷	۰,۳۱	۰,۳۴	۱,۲۵	۰,۱۲	۰,۰۴۹	۰,۰۱	-۰,۱۱۵	۰,۷۰۳	۰,۰۰۰۲	۰,۵۶
X_2X_3	۱	-۲,۵۷	۰,۵۵	۰,۴۵۸	۰,۱۸	-۰,۱۲۵	۰,۸۶	-۰,۰۱	۰,۴۷	-۰,۲۴	۰,۴۳۸	۰,۰۰۰۱	۰,۷۴۳
X_{11}	۱	-۳,۰۴	۰,۵	۰,۱۲۶	۰,۷	۰,۹۶	۰,۲۲	۰,۰۷	۰,۰۰۴	۰,۰۸۹	۰,۷۷۵	۰,۰۰۲۷	۰,۰۰۰۸
X_{22}	۱	-۲۱,۳	۰,۰۰۴	۲,۱۵۸	۰,۰۰۰۹	۰,۲۴۲	۰,۷۴	۰,۲۶	۰	۰,۷۷۴	۰,۰۴۷	۰,۰۰۱۳	۰,۰۱۹
X_{33}	۱	-۱۲,۴	۰,۰۳۳	۰,۴۶۴	۰,۱۹	۰,۵۱۶	۰,۴۹	۰,۰۴۱۵	۰,۰۳	-۰,۲۱۱	۰,۵۰۸	۰,۰۰۲۵	۰,۰۰۱
R^2		۹۴,۶۲		۹۸,۲۹		۹۳,۰۳		۹۹,۶۸		۹۳,۳		۹۹,۷۳	
Adj- R^2		۸۴,۹۵		۹۵,۲۲		۸۰,۵		۹۹,۱۲		۸۱,۲۵		۹۹,۲۶	
CV		۰,۲۸		۰,۱۱		۰,۰۱۶		۰,۰۵۹		۰,۱۱۸		۰,۰۵۷	

پژوهش های پیشین نتایج مشابهی را نیز بدست آوردند (۱۳، ۱۶، ۱۷).

در صورتی که نتایج حاصل از (Goula et al., 2010) نشان داد افزایش مالتودکسترین باعث افزایش محتوای رطوبت پودر پرتقال می شود. زیرا افزایش مالتودکسترین، عبور مولکول های آب را از مولکول های بزرگ مالتودکسترین مشکل می سازد (۱۸).

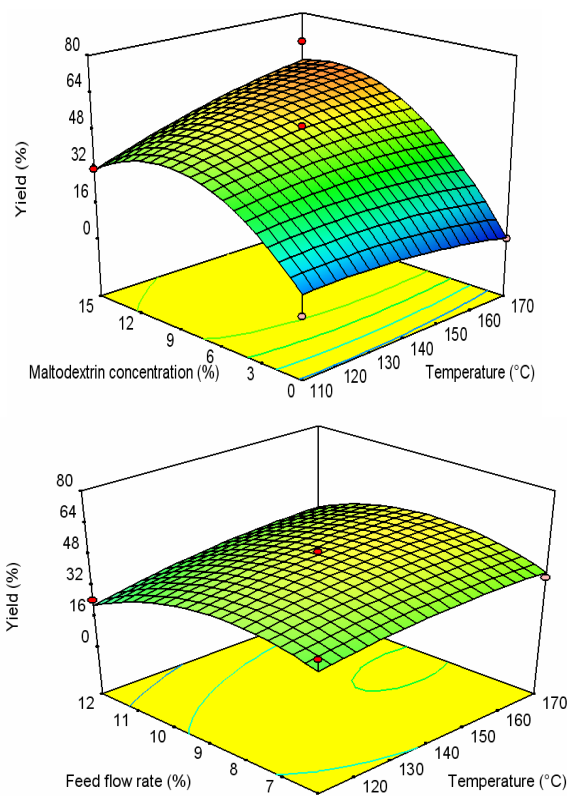
طبق آنالیز واریانس انجام گرفته، برای خشک کردن با مالتودکسترین، اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و توان دوم غلظت مالتودکسترین و دبی جریان تغذیه پارامترهای معنی دار و موثر بر محتوای رطوبت می باشند ($P < 0/05$). در ادامه فاکتورهای که برازش مناسب مدل را نشان داد و نتایج مدل سازی بر اساس این آزمون در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۲ نمودارهای سطحی محتوای رطوبت

بررسی حلالیت پودر آب زغال اخته

در بیشتر غذاهای پودر شده هدف انحلال سریع و کامل در آب، غوطه ور شدن (شناور نشدن)، پراکنده شدن و حل شدن بدون تشکیل کلوخه می باشد.



شکل ۱ نمودارهای سطحی راندمان

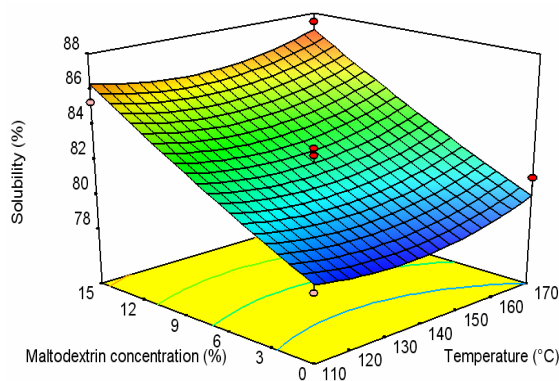
بررسی محتوای رطوبت پودر آب زغال اخته:

با توجه به شکل ۲، افزایش دما باعث کاهش محتوای رطوبت پودر آب زغال اخته شد. زیرا افزایش دمای هوای ورودی، باعث افزایش دمای هوای خروجی شده و سرعت تبخیر را افزایش می دهد، در نتیجه محتوای رطوبت محصول نهایی کاهش می یابد. همچنین افزایش دمای هوای ورودی باعث افزایش ظرفیت نگهداری بخار آن قبل از رسیدن به حالت اشباع می شود. نتایج مشابهی در تولید پودر پرتقال، هندوانه و آناناس مشاهده شد (۳، ۱۳، ۱۴).

با توجه به شکل ۲، نتایج بدست آمده با کار Fernandez-Perez et al. (2004) مطابقت داشت که مشاهده کردند در فرآیند خشک کردن پاششی یک نوع سوپ، با دبی جریان تغذیه ثابت، دمای هوای ورودی بالاتر باعث کاهش رطوبت شده و در دمای هوای ورودی ثابت، افزایش دبی جریان تغذیه، میزان رطوبت را افزایش داد (۱۵).

با توجه به شکل ۲، افزایش میزان حامل باعث کاهش محتوای رطوبت پودر آب زغال اخته شد. زیرا با افزایش میزان حامل، میزان مواد جامد آب میوه تغذیه شده به دستگاه را افزایش می دهد، در نتیجه محتوای رطوبت محصول نهایی کاهش می یابد.

سرعت بیشتری به مرکز ذرات نفوذ کرده و رطوبت با سرعت بیشتری از مرکز ذرات به سطح و فضای اطراف منتقل می شود.



شکل ۳ نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی و غلظت حامل بر حلالیت پودر

نتایج مشابهی توسط پژوهش های پیشین گزارش شد و است (۳، ۱۸، ۱۹). اما نتایج متفاوتی با حامل مالتودکسترین حاصل شد. که با نتایج فضایی و همکاران (۲۰۱۱) بر روی آب شاتوت مطابقت دارد (۱۰).

با توجه به شکل ۴، افزایش میزان حامل باعث کاهش دانسیته ظاهری شد. علت آن می تواند افزایش میزان هوای حبس شده در ساختار پودر و همچنین کاهش محتوای رطوبت پودر باشد. با توجه به اینکه حامل باعث تشکیل یک لایه در سطح ذرات می شود، افزایش میزان حامل باعث افزایش میزان هوای حبس شده در ذرات می شود و از آن جهت که آب دانسیته بیشتری نسبت به هوا دارد، هر چه میزان رطوبت پودر کمتر باشد، دانسیته ظاهری پودر کاهش می یابد. نتایج مشابهی توسط Goula et al. (2010) گزارش شد (۱۸).

طبق آنالیز واریانس انجام گرفته، برای خشک کردن با مالتودکسترین، اثر خطی غلظت و دبی جریان تغذیه و توان دوم دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و دبی جریان تغذیه و اثر متقابل دما و دبی جریان تغذیه پارامترهای موثر می باشند. در ادامه فاکتورهایی که برازش مناسب مدل را نشان داد و نتایج مدل سازی بر اساس این آزمون در جدول ۳ آورده شده است.

تعیین مقدار آنتو سیانین کل و تعیین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی میزان آنتوسیانین (سیانیدین ۳- گلوکوزید) در آب زغال اخته خام $7/5$ (mg/100ml) می باشد.

با توجه به شکل ۳، نتایج نشان داد افزایش دما باعث افزایش حلالیت پودر آب زغال اخته شد. زیرا افزایش دما باعث افزایش اندازه ذرات می شود و ذرات درشت راحت تر از ذرات ریز در آب حل می شوند، به عبارتی آب راحت تر در آن ها نفوذ می کند ولی ذرات ریز در آب شناور می شوند (۱۹). نتایج مشابهی توسط Goula et al. (2005b, 2010) در تولید پودر پرتقال و گوجه حاصل شد (۲۰، ۱۸).

چگینی و همکاران (2005) دریافتند افزایش دما باعث کاهش حلالیت پودر پرتقال می شود. با توجه به اینکه در این پژوهش از دمای بالاتر از 150°C استفاده شده بود، افزایش دما باعث تشکیل یک لایه سخت حول ذرات شده و از نفوذ مولکول های آب به درون ذرات جلوگیری کرد (۳).

افزایش میزان حامل باعث افزایش حلالیت پودر آب زغال اخته شد. علت آن به حلالیت بالای حامل برمی گردد، از دلایل کاربرد گسترده مالتودکسترین در خشک کردن پاششی نیز حلالیت بالای آن می باشد. نتایج مشابهی در تولید پودر پرتقال و سیب زمینی شیرین گزارش شده است (۱۷، ۱۸).

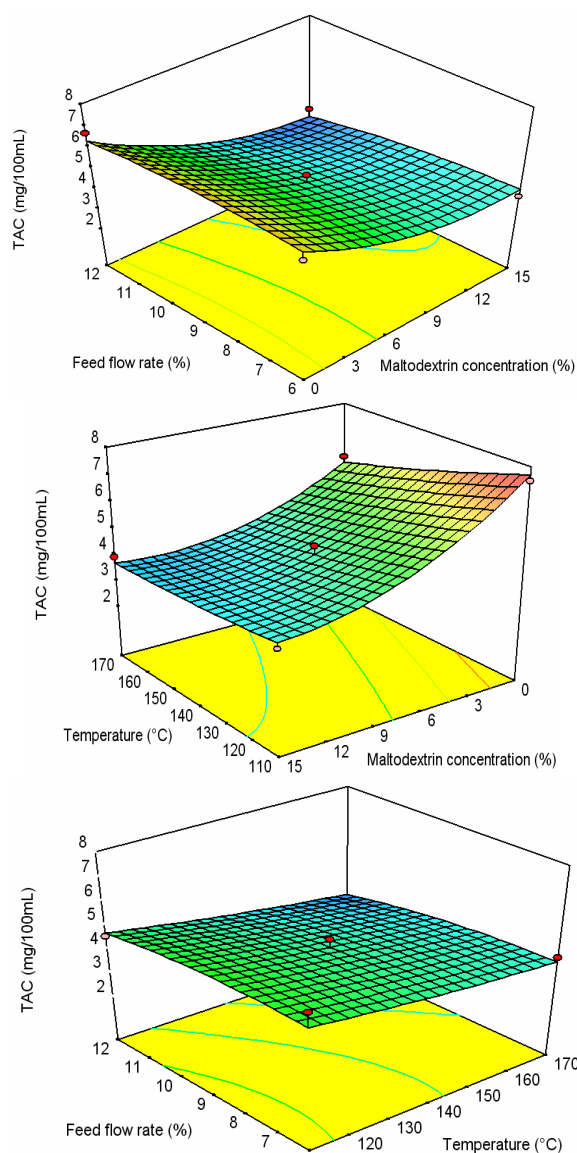
با کاهش دمای انتقال شیشه ای ماده حامل میزان حلالیت کاهش یافت. زیرا با کاهش دمای انتقال شیشه ای، میزان چسبندگی به دیواره افزایش یافته در نتیجه سطح تماس ذرات با هوای داغ کاهش یافته و محتوای رطوبت پودر افزایش می یابد. افزایش میزان رطوبت پودر نیز باعث کاهش حلالیت آن می گردد (۱۸).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد، برای خشک کردن با مالتودکسترین، اثر خطی غلظت مالتودکسترین تنها پارامتر معنی دار موثر بر حلالیت پودر تولید شده می باشد ($P < 0/05$). در ادامه فاکتورهایی که برازش مناسب مدل را نشان داد و نتایج مدل سازی بر اساس این آزمون در جدول ۳ آورده شده است.

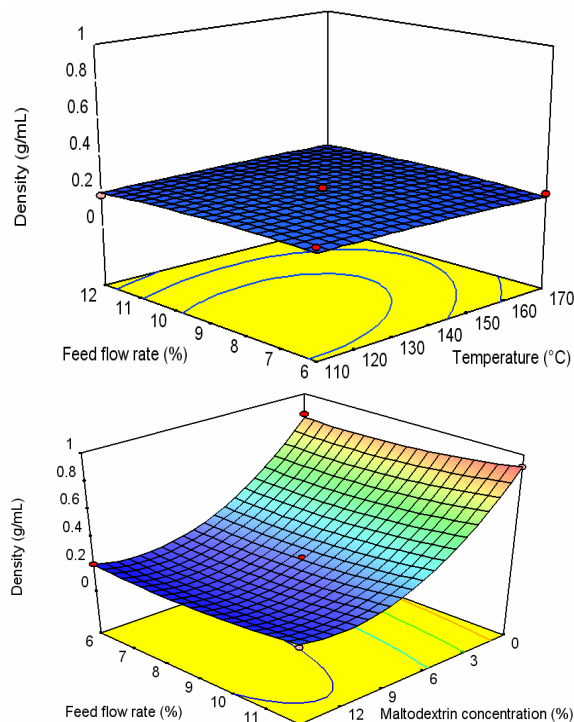
بررسی دانسیته ظاهری پودر آب زغال اخته

با توجه به شکل ۴، افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش دانسیته ظاهری در پودرهای تولید شده با حامل صمغ عربی می شود. زیرا افزایش دمای هوای خشک کن باعث افزایش اختلاف دمای ذرات و هوا می شود و در نتیجه حرارت با

طبق آنالیز واریانس انجام گرفته، برای خشک کردن با مالتودکسترین، اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و توان ۲ غلظت مالتو دکسترین، پارامترهای معنی دار موثر بر میزان آنتوسیانین کل TAC می باشند ($P < 0.05$)، همینطور اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و توان ۲ تمام متغیرها و اثر متقابل دمای هوای ورودی و غلظت مالتو دکسترین، پارامترهای معنی دار موثر بر فعالیت آنتی اکسیدانی می باشند ($P < 0.05$). در ادامه فاکتورهایی که برازش مناسب مدل را نشان داد و نتایج مدل سازی بر اساس این آزمون در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۵ نمودارهای سطحی میزان آنتوسیانین کل



شکل ۴ نمودارهای سطحی دانسیته ظاهری

نتایج نشان داد، با کاهش میزان آنتوسیانین، میزان IC_{50} افزایش می یابد. با کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی، میزان نمونه ای که لازم است تا غلظت اولیه DPPH را به ۵۰٪ برساند افزایش می یابد. نتایج حاصل از پژوهش های پیشین نشان داد فعالیت آنتی اکسیدانی رابطه مستقیم و شدیدی با میزان آنتوسیانین و ترکیبات فنولی ماده مورد نظر دارد (۱۰، ۲۱).

با توجه به شکل ۵، افزایش میزان حامل محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنتی اکسیدانی زغال اخته را کاهش می دهد و علت آن پدیده رقیق سازی می باشد. از آنجا که میزان آب زغال اخته تغذیه شده به دستگاه خشک کن ثابت می باشد، افزایش میزان حامل، باعث کاهش ترکیبات فیتوکیماکی در پودر آب زغال اخته می شود. نتایج مشابهی برای پودر آب انار گزارش شده است (۲۱). در نتایج مشابهی به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان مواد افزودنی باعث کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پودر حاصل از میوه Gac و کاهش میزان ترکیبات فنولی پودر حاصل از عصاره uvaia می شود (۱۳، ۱۶).

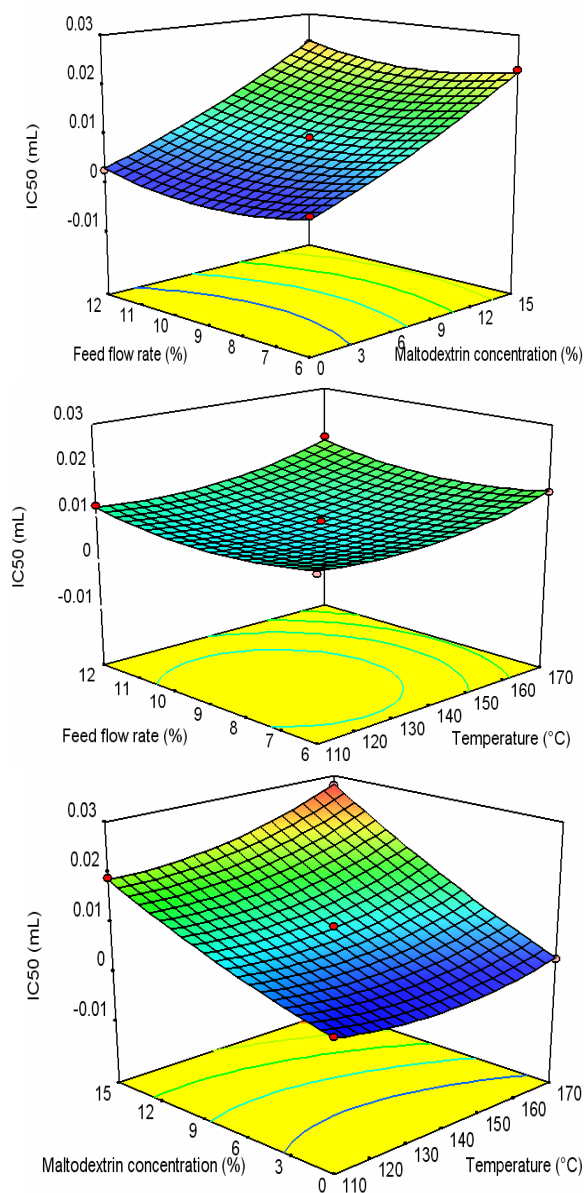
افزایش دما یک تأثیر منفی روی میزان آنتوسیانین و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر آب زغال اخته گذاشت (شکل ۵). علت اصلی آن تجزیه حرارتی و اکسیداسیون این ترکیبات می باشد. همین نتیجه برای محتوای لیکوپن در پودر گوجه، محتوای لیکوپن و بتا کاروتن در پودر هندوانه و میزان کارتنوئید عصاره میوه Gac گزارش شده است (۱۳، ۱۶، ۱۸).

۴- نتیجه گیری

روش سطح پاسخ برای بررسی اثر نوع و میزان ترکیب حامل، دمای هوای ورودی و سرعت جریان ورودی، روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر زغال اخته مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می دهد افزایش میزان مواد جامد-حل باعث افزایش راندمان و حلالیت و کاهش محتوای رطوبت، دانسیته توده، مقدار آنتو سیانین کل (TAC) و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر آب زغال اخته شد. همچنین افزایش دما باعث افزایش راندمان و کاهش حلالیت، محتوای رطوبت، مقدار آنتو سیانین کل (TAC) و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر آب زغال اخته شد. بهترین دبی جریان ورودی ۹٪ گزارش شد. در این پژوهش، بطور کلی دمای هوای ورودی و غلظت حامل عوامل موثرتری نسبت به دبی جریان ورودی هستند. اگرچه با افزایش حامل، راندمان افزایش می یابد اما به خاطر تاثیر نامطلوب روی میزان آنتوسیانین و فعالیت آنتی اکسیدانی توصیه نمی شود. دمای هوای ورودی بالا به دلیل تجزیه حرارتی مواد فیتوکیماکال و دمای هوای ورودی پایین به علت راندمان پایین، اثر خوبی ندارند. بهینه سازی توسط روش سطح پاسخ انجام شد و شرایط نقطه بهینه شامل دمای هوای ورودی 140°C ، غلظت مالتودکسترین ۷٪ و سرعت جریان ورودی ۹٪ بود.

۵- منابع

- [1] Seeram, N. P., Schutzki, R., Chandra, A., and Nair, M. G. (2002). Characterization, quantification, and bioactivities of anthocyanins in Cornus species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2519-2523.
- [2] Bhandari, B.R., Datta, N., Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15, 671-684.
- [3] Chegini, G.R., Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying condition on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 657-668.
- [4] Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Sardagna, L.D., Cal-Vidal, J. (2004). Mango juice dehydration spray drying using different carriers and functional characterization. *14th International Drying Symposium*, pp 2005-2012.



شکل ۶ نمودارهای سطحی فعالیت آنتی اکسیدانی

بهینه سازی

بهینه سازی متغیرهای وابسته بر اساس بیشترین راندمان و فعالیت آنتی اکسیدانی (کمترین IC_{50}) انجام شد. در این تحقیق محدوده دمای هوای ورودی ($110-170^{\circ}\text{C}$)، غلظت حامل (۰-۱۵٪) و سرعت جریان ورودی (۶-۱۲٪) انتخاب شدند. نقاط بهینه برای خشک کردن توسط مالتودکسترین بدست آمد، که در این نقطه دمای هوای ورودی 140°C ، غلظت مالتودکسترین ۷٪ و سرعت جریان ورودی ۹٪ بود. در این نقطه راندمان ۴۷/۷۹٪ و IC_{50} ۰/۰۰۸۴ (mL) محاسبه شدند.

- [13] Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386-392.
- [14] Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. (2004). Physical properties of powdered Pineapple (Ananas comosus) juice: effect of maltodextrin concenyration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 74, 285-287.
- [15] Fernández-Pérez, V., Tapiador, J., Martín, A., Luque de Castro, M.D. (2004). Optimization of the drying step for preparing a new commercial powdered soup. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 361-368.
- [16] 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. *Journal of Food Engineering*, 98, 385-392.
- [17] Grabowski, J.A., Truong, V.D., Daubert, C.R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolized sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of food science*, 71, 209-217.
- [18] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11, 342-351.
- [19] Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. *Drying Technology*, 18, 1943-1986.
- [20] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2005 b). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 2. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering* 66, 35-42.
- [21] Yousefi, S, Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M. (2010). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (Punica Granatum L.). *Journal of Food Science and Technology* 48, 677-684.
- [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. *Journal of Food Engineering*, 88, 411-418.
- [6] Cam, M., Hisil, Y., Durmaz, G. (2009). Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*, 112, 721-726.
- [7] Lako, J., Trenerry, V.C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101, 1727-1741.
- [8] Myers, R. H., Montgomery, D. C. (1995). *Response surface methodology, process and product optimization using designed experiment* (2nd ed.). New York: John Wiley and Sons.
- [9] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2005a). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 1. the effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66, 25-34.
- [10] 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 and Bioproducts Processing*, 90, 667-675.
- [11] Papadakis, S.E., Gardeli, C., Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24, 173-180.
- [12] 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). *International Journal of Food Properties*, 10, 661-673.

Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of cornelian pherry juice powder

Ahmadi Rad, M.¹, Emam-Djomeh, Z.^{2*}, Asadi, H.³

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

2. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj 31587-11167, Iran

3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

(Received: 92/10/23 Accepted: 93/4/8)

In this study, the effects of some processing parameters on drying yield, moisture content, solubility and bulk density of spray dried cornelian cherry (*Cornus mas L.*) juice powders were investigated. A pilot-scale spray dryer was employed for the spray drying process and maltodextrin and gum Arabic were used as carrier agent. Experimental design involved the use of Box-behnken design and response surface statistical method. Independent variables were inlet air temperature (110, 140, and 170 °C), concentration of drying aids (0, 7.5, and 15 %) and feed flow rate (6, 9, and 12 %). Results show that increasing in concentration of drying aids, increases drying yield and the solubility and reduces the moisture content and bulk density of powder; also increasing in inlet air temperature, increases drying yield and reduce solubility, moisture content and bulk density of powder. Optimization carried out using response surface methodology and optimum conditions were inlet air temperature of 140 °C, maltodextrin concentration of 7% and feed flow rate of 9%.

Keywords: Cornelian cherry juice, Spray -drying, Response surface methodology.

* Corresponding Author E-Mail Address: emamj@ut.ac.ir