

بهینه‌یابی تأثیر پارامترهای دما، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر در خشک کردن پاششی عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی بر خصوصیات کیفی و کمی پودر با روش سطح پاسخ

سحر نماینده^۱، زهرا امام جمعه^{۲*}، سید حسن هاشم آبادی^۳ و سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی^۲

۱ و ۲- به ترتیب: دانش آموخته دکترا؛ و استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، جلفا، ایران
۳- استاد گروه مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸

چکیده

در این تحقیق، تأثیر پارامترهای دما، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر مقدار رطوبت، راندمان (بر مبنای وزن خشک)، فعالیت آبی، انحلال‌پذیری، زاویه استقرار ریپوز و مقدار آنتوسیانین کل پودر عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی در یک خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی بررسی گردید. در این فرآیند از مالتودکسترین به عنوان ماده حامل استفاده شد. طرح آزمایشی، طرح بهینه و روش آماری سطح پاسخ بود. متغیرهای مستقل شامل دمای هوای ورودی (+۱۲۰، +۱۸۰ و +۲۴۰ درجه سلسیوس)، غلظت ماده حامل (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد) و فشار اتمایزر (۰/۵، ۱، ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) بودند. تولید پودر عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی، با هدف کمینه کردن مقدار رطوبت و فعالیت آبی و بیشینه کردن راندمان، میزان انحلال‌پذیری و میزان آنتوسیانین کل با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه‌یابی شد. روش سطح پاسخ نشان داد که در شرایط بهینه دمای هوای ورودی ۲۱۹ درجه سلسیوس، غلظت مالتودکسترین ۴۲ درصد و فشار اتمایزر ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌توان پودری با راندمان (بر مبنای وزن خشک) ۵۲/۶۸ درصد، مقدار رطوبت ۱/۳۸ درصد، فعالیت آبی ۰/۱۲، میزان انحلال‌پذیری ۹۵/۹۲ درصد، زاویه استقرار ریپوز ۲۰ درجه و میزان آنتوسیانین کل ۵۲/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر تولید کرد. با توجه به اهمیت هایپرسیین، حضور و پایداری این ماده در پودر تولید شده در شرایط بهینه‌ها استفاده از طیف‌سنجی اسپکتروفتومتری فوریه تأیید شد.

واژه‌های کلیدی

آنتوسیانین، خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی، رئولوژی پودر، زاویه ریپوز، هایپرسیین

مقدمه

شیمیایی با بروز عوارضی همراه است و از این رو نگاه تازه‌ای به داروهای افکنده‌اند که منشأ گیاهی دارند. به طور کلی، گیاهان دارویی به گیاهانی اطلاق می‌شود که دارای مواد مؤثر باشند، بنابراین اصطلاح "گیاهان دارویی" تنها به آن دسته از گیاهان گفته

از دیرباز تاکنون، گیاهان دارویی ارزش و اهمیت خاصی در تأمین بهداشت و سلامتی جوامع، هم به لحاظ درمان و هم به لحاظ پیشگیری از بیماری‌ها داشته‌اند. امروزه پی برده‌اند مصرف داروهای

Malvaceae که در ایران بیشتر چای ترش^۵ شناخته شده است. قسمت‌های مختلف این گیاه از جمله گل‌ها، برگ‌ها و دانه‌های آن در صنایع غذایی و صنعت داروسازی قابل استفاده‌اند. این گیاه سرشار از آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، اسید اسکوربیک و بسیاری از مواد دیگر است و دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌باکتریایی بالایی است. این گیاه، در طب سنتی جایگاهی ویژه دارد و اثر ضد فشار خون، ضد سرطان زایی، ضد تکثیر و ازدیاد سلول‌های سرطانی به خصوص در سرطان‌های سینه، رحم و تخمدان و کاهش خطر بیماری سکت قلبی و مغزی دارد. این گیاه و فرآورده‌های آن کاربردهای مختلفی در صنعت غذا دارند از جمله در تهیه انواع نوشیدنی و دمنوش، مربا، ژله، سس، مارمالاد، بستنی و غیره (Chen et al., 2003; Molahoseini et al., 2019; Kalita et al., 2013). در صنایع غذایی، خشک کردن یکی از بهترین و قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است. در خشک‌کن‌های پاششی برای به دست آوردن پودر از خوراک مایع استفاده می‌شود (Goula & Adamopoulos, 2004). توزیع کننده هوا که در اطراف پاشنده خشک‌کن قرار دارد، هوا را وارد محفظه خشک‌کن می‌کند. تماس هوای داغ با قطره‌های کوچک مایع سبب انتقال جرم و حرارت بین قطره و هوا می‌شود که به تبخیر سریع آب آن می‌انجامد. سپس، مخلوط پودرهای تولیدی و هوا وارد سیکلون می‌شود و پودر و هوا از هم جدا می‌شوند (Jangam & Thorat, 2010). مطالعات نشان داده است که تقریباً تمام مایعات برای خشک شدن نیاز به ماده افزودنی و حامل دارند. مالتودکسترین پرکاربردترین ماده حامل است.

نمی‌شود که در درمان یا پیشگیری از بیماری‌ها به کار می‌روند بلکه به گیاهانی نیز گفته می‌شود که در داروسازی، صنایع غذایی و آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد گسترده‌ای دارند. با توجه به عوارض جانبی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، بیشتر کشورهای دنیا به داروهای گیاهی و گیاه‌درمانی روی آورده‌اند (Wölflé et al., 2013). ایران دارای شرایط آب و هوایی متنوعی است که موجب شده است تنوع گونه‌های گیاهی، از جمله گیاهان دارویی، در آن چشمگیر باشد. تحقیقات در زمینه استفاده از عصاره گیاهان دارویی در صنایع غذایی فراوان است. گل راعی با نام علمی *Hypericum Perforatum* L. و نام عمومی مخمر یوحنا^۱ از خانواده Hypericaceae از گیاهان گلدار (با گل‌های زرد) و رده دولپه‌ای^۲ است. این گیاه گل هزار چشم، علف چای و هوفاریقون نیز نامیده می‌شود. گیاهی است علفی و پایا به ارتفاع ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر با برگ‌های متقابل که در حاشیه راه‌های روستایی، مزارع متروک، نواحی کم‌درخت جنگل‌ها، بیشه‌ها و غیره می‌روید. این گیاه بومی اروپا، غرب آسیا و شمال آفریقا است و در آمریکا و استرالیا نیز به طور طبیعی پراکنده شده است (Wagner & Blatt, 1994). گیاه گل راعی، از نظر طب قدیم ایران، گرم و خشک است و خواص درمانی بسیاری دارد. این گیاه ضد کرم معده و روده است و گرفتگی صدا را باز می‌کند. گل راعی درمان‌کننده بیماری مننژیت، درد پشت، درد و خشکی گردن و ضدافسردگی است. مواد مؤثر موجود در این گیاه هایپرفورین^۳ و هایپرسین^۴ است (Wölflé et al., 2013).

چای ترش یا چای مکی گیاهی است یکساله با نام علمی *Hibiscus Sabdariffa* L. از خانواده

1- *St. John`s wort*

3- Hyperforin

5- Sour Tea

2- Eudicots

4- Hypericin

الموت استان قزوین و گلبرگ‌های خشک شده چای ترش با شماره هرباریوم HSBU-8400109 از شهر زاهدان در استان سیستان و بلوچستان، یکی از عمده‌ترین مراکز تولید چای ترش در ایران، خریداری شد، هر دو گیاه به تأیید هرباریوم دانشکده علوم و فناوری زیستی در دانشگاه شهید بهشتی رسیدند. در این مطالعه، از پودر مالتودکسترین روکت^۱ ساخت فرانسه با معادل دکستروز^۲ و سلولوز میکروکریستاله^۳ محصول شرکت سیگما -آلد ریچ آمریکا^۴ استفاده شد.

آماده سازی نمونه‌ها

گلبرگ‌های خشک شده چای ترش، پس از جدا کردن کلیه زوائد و ناخالصی‌های آن، با آب مقطر شسته و بار دیگر خشک گردید. گلبرگ‌های مجدداً خشک شده چای ترش با آسیاب آزمایشگاهی ایکا^۵ ساخت آلمان، آسیاب و از الک با مش ذرات ۳ میلی‌متر عبور داده شد. اندام هوایی گیاه گل راعی نیز پس از جمع‌آوری، شستن، خشک‌کردن و جدا کردن قسمت‌هایی مثل ساقه‌های چوبی آن، با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب و از الک با مش ذرات ۳ میلی‌متر عبور داده شد. سپس با آب از این دو گیاه عصاره‌گیری شد. گیاهان آسیاب شده در آب مقطر با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به نسبت ۱:۱۰ حل شدند (Santiago-Adame et al., 2015). عصاره‌گیری با همزن مغناطیسی ساخت ایران ۸ ساعت به‌انجام رسید و برای استخراج بهتر ترکیبات گیاهان و همگن شدن، به عنوان روش کمکی از دستگاه فراصوت پروب دار هلشر^۶ ساخت آلمان، با فرکانس ۲۶ کیلوهرتز و دامنه نوسان ۹۰ درصد و پالس ۸۰ درصد در مدت زمان ۵ دقیقه نیز استفاده شد (Xia et al., 2006). پس از عصاره‌گیری به

شرایط خشک‌کردن پاششی مانند سرعت خوراک دهی، سرعت اتمایزر و دمای هوا و درصد ماده حامل نیز بر ویژگی‌های فیزیکی پودر مؤثر است (Yousefi et al., 2010; Tonon et al., 2009).

تعیین شرایط بهینه فرآیند برای تولید پودری با ویژگی‌های کیفی مطلوب نیز با اهمیت است. در این میان، روش سطح پاسخ بیشترین کاربرد را دارد (Horuz et al., 2012). هدف، توصیف رابطه‌ای بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ است. مدل استفاده در روش سطح پاسخ، عموماً رابطه درجه دوم است (Bas et al., 2007). مدل درجه دوم را می‌توان به صورت رابطه ۱ نوشت:

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

که در آن،

β_0 = عرض از مبدأ؛ β_i ، β_{ii} و β_{ij} = ضریب‌های رگرسیونی به ترتیب خطی، درجه دوم و برهم‌کنش؛ و X_i و X_j = متغیرهای مستقل کد بندی شده (Rouissi et al., 2007). در این تحقیق ترکیب عصاره چای ترش و گل راعی در یک خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی به منظور ماندگاری بالا، به عنوان مکمل‌های غذایی و دارویی خشک و سپس تأثیر بعضی پارامترهای فرآیند بر ویژگی‌های کیفی و کمی پودر بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

گل راعی مورد استفاده در این پژوهش با شماره هرباریوم HSBU-2000208، از منطقه

1- Roquette

3- Microcrystalline Cellulose (MCC)

5- IKA-MF 10 basic

2- DE

4- Sigma

6- Hielscher-UP200 Ht

منظور همسان شدن شرایط نمونه‌ها، بریکس دو عصاره با هم یکسان شدند (توسط رقیق سازی عصاره با بریکس بالاتر با آب مقطر) و به نسبت مساوی با یکدیگر ترکیب شدند. عصاره ترکیبی به دست آمده در دستگاه سانتریفیوژ^۱ ساخت آلمان، با ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، قرار داده شد و بخش رویی جدا گردید. عصاره ترکیبی آماده شده با دستگاه روتاری تحت خلأ هیدولف^۲ ساخت آلمان، تا بریکس معادل ۱۰ درصد، غلیظ گردید. سپس، مقادیر مالتودکسترین با درجه دکستروز ۶ به نسبت‌های (۲۵، ۳۵، ۴۵ درصد) همراه با ۱/۵ درصد سلولز میکروکریستاله به عصاره ترکیبی اضافه شد. برای حصول اطمینان از همگن شدن، از دستگاه هوموژنایزر دورانی (هیدولف) ساخت آلمان، با ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه استفاده گردید. از خوراک تولیدی بلافاصله برای تولید پودر استفاده شد (Crompton et al., 1988).

خشک‌کن پاششی^۳

در این پژوهش، از خشک‌کن پاششی یک مرحله‌ای غیر همسو نیمه‌صنعتی اپکس^۴ با اتمایزر دیسکی دورانی^۵ ساخت انگلستان، استفاده گردید (شکل ۱).

منظور همسان شدن شرایط نمونه‌ها، بریکس دو عصاره با هم یکسان شدند (توسط رقیق سازی عصاره با بریکس بالاتر با آب مقطر) و به نسبت مساوی با یکدیگر ترکیب شدند. عصاره ترکیبی به دست آمده در دستگاه سانتریفیوژ^۱ ساخت آلمان، با ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، قرار داده شد و بخش رویی جدا گردید. عصاره ترکیبی آماده شده با دستگاه روتاری تحت خلأ هیدولف^۲ ساخت آلمان، تا بریکس معادل ۱۰ درصد، غلیظ گردید. سپس، مقادیر مالتودکسترین با درجه دکستروز ۶ به نسبت‌های (۲۵، ۳۵، ۴۵ درصد) همراه با ۱/۵ درصد سلولز میکروکریستاله به عصاره ترکیبی اضافه شد. برای حصول اطمینان از همگن شدن، از دستگاه هوموژنایزر دورانی (هیدولف) ساخت آلمان، با ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه استفاده گردید. از خوراک تولیدی بلافاصله برای تولید پودر استفاده شد (Crompton et al., 1988).



شکل ۱- خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی

$$y\% = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

مقدار رطوبت^۶

مقدار رطوبت پودر تولید شده با استفاده از دستگاه اندازه گیری مقدار رطوبت سارتریس^۷ ساخت ایتالیا،

راندمان (بر مبنای وزن خشک)

درصد راندمان (بر مبنای وزن خشک)، از تقسیم کردن وزن پودر به دست آمده (W_2) بر میزان مواد جامد عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی (W_1) محاسبه شد.

1- Centrifugus-3K-18
3- Spray dryer
5- Atomizer-SSE68
7- Sartorius-MA30

2- Heidolph
4- APEX
6- MC: Moisture content

گذاری شد و شاخص انحلال‌پذیری در آب از رابطه ۳ به‌دست آمد:

$$WSI\% = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

که در آن،

m_2 = وزن ظرف پس از خارج کردن آن از آون؛ m_1 = وزن ظرف خالی؛ و m_0 = وزن نمونه براساس وزن خشک و نتیجه به درصد بیان می‌شود (Phoungchandang & Sertwasana, 2010).

زاویه استاتیک و استقرار ریپوز

ده گرم پودر تولیدی از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده شد تا بر سطح افقی صاف ریخته شود و توده‌ای تشکیل دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه‌ای محاسبه شد که شیب توده محصول نسبت به سطح مینا تشکیل می‌دهد، زاویه ریپوز هرچه کمتر باشد، جریان‌پذیری بهتر است (Bhandari et al., 1998).

به روش توزین حرارتی اندازه‌گیری شد. آزمون در دمای 1 ± 10.5 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت.

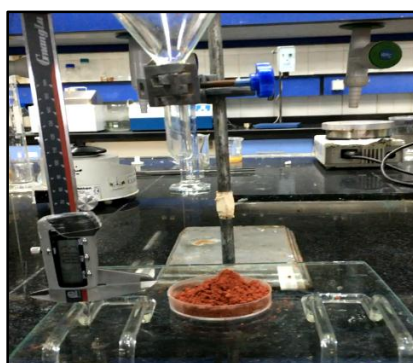
تعیین فعالیت آبی^۱

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آبی پودرهای تولید شده، که شاخص مهم کیفی است و بیشترین تأثیر را روی مدت زمان ماندگاری، طعم، رنگ، کیفیت و سلامت دارد، از دستگاه لب مستر^۲ شرکت نواسینا^۳ سوئیس استفاده شد. پس از واسنجی دستگاه، میزان فعالیت آبی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تعیین شد.

انحلال‌پذیری^۴

از روش زیر برای اندازه‌گیری شاخص انحلال‌پذیری در آب استفاده شد:

دو و نیم گرم پودر تولیدی در آب مقطر حل و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۳۷ درجه سلسیوس قرار داده شد و با سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول فوقانی به ظرف مخصوص توزین منتقل و به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰.۵ درجه سلسیوس گرمخانه



شکل ۲- اندازه‌گیری زاویه استاتیک ریپوز پودر

مولار با اسید کلریدریک (هر دو ساخت شرکت مرک آلمان) به $pH=1$ رسانیده شد و پس از آن $3/6$ میلی لیتر از این محلول با $0/4$ میلی لیتر از نمونه (پودر

مقدار آنتوسیانین کل^۵

مقدار ترکیبات آنتوسیانینی با استفاده از روش تغییر pH تعیین شد. محلول کلرید پتاسیم $0/25$

1- aw
3- Novasina³
5- TAC

2- Lab Master
4- WSI: Water Solubility Index

شد. متغیرهای مستقل شامل دمای هوای ورودی (X_1) در سه سطح (۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ درجه سلسیوس)، غلظت ماده حامل مالتودکسترین (X_2) در سه سطح (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد)، و فشار اتمایزر (X_3) در سه سطح (۰/۵، ۱، ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بودند و اثرهای متقابل این متغیرها بر راندمان، مقدار رطوبت، فعالیت آبی، انحلال پذیری، جریان پذیری و مقدار آنتوسیانین کل پودر تولیدی به عنوان متغیر وابسته (Y) بررسی گردید. نخست براساس تعداد متغیرها و سطوح آنها، ۲۰ تیمار مختلف خشک کردن پاششی انتخاب شد (جدول ۱) و پس از آن آزمایش‌ها تصادفی شدند. پنج تکرار برای تعیین خطای آزمایش منظور گردید. آزمایش بر اساس طرح آزمایشی بهینه^۲ طراحی شد. شرایط عملیاتی بهینه برای تهیه پودر با روش سطح پاسخ، با نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۸.۰.۴^۳ طراحی و آزمایش^۴ گردید. جملات معنی دار در مدل با استفاده از تجزیه واریانس^۵، برای هر پاسخ یافت شد.

شایستگی مدل با استفاده از ضریب تبیین^۶ و ضریب تبیین تعدیل شده^۷ ارزیابی شد. مقدار ضریب تبیین همواره بین صفر و ۱ تغییر می‌کند و ضریب تبیین بیشتر از ۰/۷۵ مناسب بودن مدل را نشان می‌دهد ولی باید توجه داشت که بالا بودن مقدار ضریب تبیین همیشه بیانگر مناسب بودن مدل نیست؛ بنابراین از ضریب تبیین تعدیل شده ترجیحاً برای ارزیابی شایستگی مدل استفاده می‌شود (Myers & Montgomery, 1995).

تولیدی که در آب مقطر به نسبت ۱:۵ رقیق شده) مخلوط و میزان جذب آن با اسپکتروفتومتر نوع فرا بنفش مرئی واریان^۱ ساخت انگلستان در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر تا رسیدن به حالت پایدار اندازه‌گیری شد. محلول استات سدیم ۰/۴ مولار با اسید استیک (هر دو ساخت شرکت مرک آلمان) به $pH = 4.5$ رسانیده شد. سپس ۳/۶ میلی لیتر از محلول جدید با ۰/۴ میلی لیتر نمونه مخلوط و میزان جذب آن در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر بعد از حصول حالت پایدار اندازه‌گیری شد. آنگاه مقدار جذب (A) و مقدار آنتوسیانین کل از رابطه‌های ۳ و ۴ به دست آمد:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4.5} \quad (4)$$

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{MA} \quad (5)$$

که در آن،

TAC = میزان آنتوسیانین کل بر اساس میلی گرم آنتوسیانین در لیتر؛ MW = وزن مولکولی آنتوسیانین غالب برابر ۴۴۹/۲ گرم؛ DF = فاکتور رقت (مقدار رقت در رقیق‌سازی پودر نیز در این فاکتور لحاظ شده)؛ و M = جذب مولی آنتوسیانین غالب برابر ۲۶۹۰۰ (Lako et al., 2007; Cam et al., 2009).

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، از روش سطح پاسخ استفاده

1- Varian- CARY-100 Cone
3- Design Expert 8.0.4
5- ANOVA
7- Adj-R²

2- Optimal
4- Design of Experiment (DOE)
6- R²

جدول ۱- شرایط تیمارهای مختلف خشک‌کردن پاششی بر اساس روش سطح پاسخ

ردیف	دمای هوای ورودی (درجه سلسیوس) (X_1)	غلظت ماده حامل (درصد) (X_2)	فشار اتمایزر (کیلوگرم/سانتی‌متر مربع) (X_3)
۱	۱۲۰	۴۵	۰/۵
۲	۱۸۰	۲۵	۱
۳	۲۴۰	۴۵	۱/۵
۴	۱۲۰	۲۵	۱/۵
۵	۲۴۰	۴۵	۰/۵
۶	۱۲۰	۴۵	۱/۵
۷	۱۸۰	۳۵	۱
۸	۲۴۰	۴۵	۰/۵
۹	۱۸۰	۳۵	۰/۵
۱۰	۲۴۰	۲۵	۰/۵
۱۱	۱۲۰	۴۵	۰/۵
۱۲	۲۴۰	۴۵	۱/۵
۱۳	۱۲۰	۳۵	۱
۱۴	۱۲۰	۴۵	۱/۵
۱۵	۲۴۰	۲۵	۱/۵
۱۶	۱۲۰	۲۵	۰/۵
۱۷	۱۸۰	۴۵	۱
۱۸	۲۴۰	۲۵	۰/۵
۱۹	۱۸۰	۳۵	۱/۵
۲۰	۲۴۰	۳۵	۱

طیف‌سنجی اسپکتروفتومتری فوریه^۱

با توجه به اهمیت هایپرسیین (به عنوان ماده مؤثر عصاره ترکیبی) در مصارف دارویی و همچنین حضور و پایداری آن در پودر تولیدی، در شرایط بهینه نیز عملیات خشک‌کردن صورت گرفت. طیف‌سنجی با اسپکتروفتومتر فوریه ترمو نیکولت^۲، ساخت انگلستان اجرا شد و طیف‌های به دست آمده از عصاره ترکیبی (گل راعی و چای ترش) و پودر

تولیدی در شرایط بهینه مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج با استفاده از جدول ۲ (ANOVA) برای هر پاسخ، که نماینده جمله‌های خطی، درجه دوم و اثر متقابل هر متغیر و ضرایب مدل پیش بینی کننده برای پودر تولید شده از عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی است، بررسی شد.

1- FTIR

2- Thermo Nicolet-Nexus B70

جدول ۲- جدول ANOVA برای راندمان، رطوبت، فعالیت آبی، انحلال پذیری، زاویه استقرار ریوز و آنتوسیانین کل پودر تولیدی

منبع	درجه آزادی	راندمان (درصد)		رطوبت (درصد)		فعالیت آبی (بدون واحد)		انحلال پذیری (درصد)		زاویه استقرار ریوز (درجه)		آنتوسیانین کل (میلی گرم برلیتر)	
		P	ضرایب	P	ضرایب	P	ضرایب	P	ضرایب	P	ضرایب	P	ضرایب
مدل	۹	۰/۰۰۰۱	۶۵/۷۲	۰/۰۰۰۱	۲/۶۷	۰/۰۰۰۱	۰/۲۱	۰/۰۰۰۱	۹۳/۰۶	۰/۰۰۰۱	۲۶/۳۸	۰/۱۹۷۴	۷۱/۳۱
X ₁	۱	۰/۰۱۷۴	-۱/۳۲	۰/۰۰۰۱	-۰/۳۷	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۱	-۰/۸۹	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۸	۰/۹۹۲۲	-۳/۳۳
X ₂	۱	۰/۰۰۰۱	-۴/۵۲	۰/۰۰۰۱	-۱/۲۷	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۰۱	۲/۰۸	۰/۰۰۰۱	۱/۱۶	۰/۵۳۵۰	-۱۳/۹۷
X ₃	۱	۰/۰۴۹۶	-۱/۰۴	۰/۰۰۰۱	-۰/۱۸	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۰۹	-۰/۱۹	۰/۰۰۲۶	۴/۱۳	۰/۰۴۴۹	۰
X ₁ X ₂	۱	۰/۸۹۴۲	-۰/۰۶۹	۰/۰۰۰۱	-۰/۴۰	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۱	-۰/۵۷	۰/۰۰۰۱	-۱/۲۲	۰/۵۴۳۱	۲/۳۹
X ₁ X ₃	۱	۰/۷۴۴۰	-۰/۱۶	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۶۳۴۵	۰	۰/۳۰۷۰	۰	-۱/۵۱	۰/۴۴۰۳	۰
X ₂ X ₃	۱	۰/۶۵۴۸	-۰/۲۳	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۶۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۷۳	۰	۰/۳۱۱۶	۰	۰/۷۳	۰/۷۱۴۱	۰
X ₁₁	۱	۰/۰۰۰۶	-۵/۲۵	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۸۵	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴۲۰	۰	۰/۱۴۷۵	۰/۱۳	۰/۲۸۸۷	۰/۴۹۹	-۱/۴۰
X ₂₂	۱	۰/۰۰۰۱	-۱۵/۱۵	۰/۰۰۰۱	-۰/۱۲	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۵۶۰	-۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۱	-۱/۴۸	۰/۴۴۲	-۰/۵۹
X ₃₃	۱	۰/۵۸۹۵	-۰/۶۰	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۳۵	۰/۰۰۰۱	۰/۵۲۷۱	۰	۰/۳۳	۰/۰۱۵۷	-۲/۳۱	۰/۵۸۷۷	۰/۷۹
ضریب تبیین		۰/۹۸		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۶۱	۰/۹۸
ضریب تبیین تعدیل شده		۰/۹۶		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۹۹		۰/۲۶	۰/۹۶
ضریب تغییرات		٪۳/۵۲		٪۳/۵۳		٪۲/۴۹		٪۰/۱۹		٪۲/۷۱۹		٪۲/۷۹	
انحراف معیار		۱/۷۳		۰/۰۸۶		۰/۰۰۴۳		۰/۱۸		۶/۶۸		۱/۹۸	
میانگین		۴۹/۲۷		۲/۴۵		۰/۱۷		۹۳/۷۵		۲۴/۵۷		۷۰/۷۴	

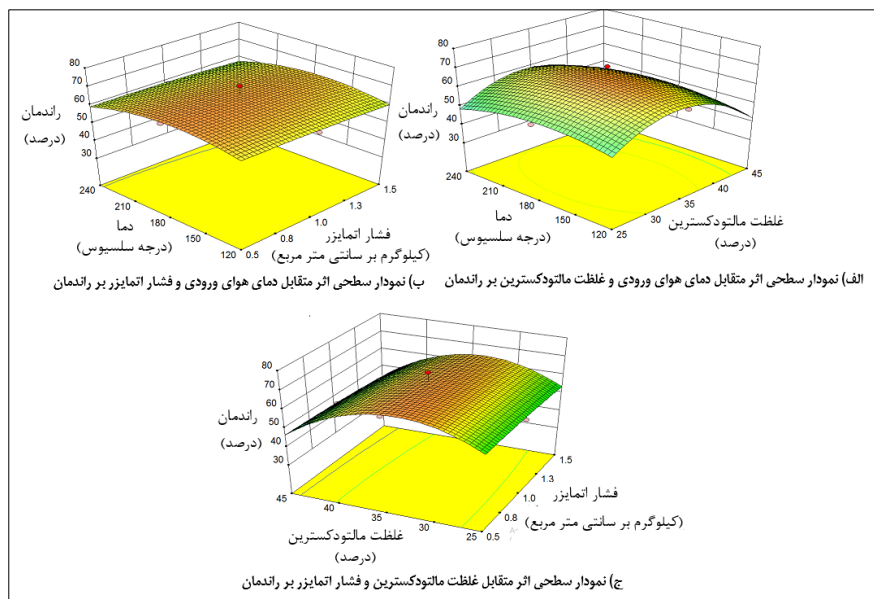
راندمان بر مبنای وزن خشک

راندمان از طریق تعیین نسبت میزان پودر به دست آمده و میزان مایع تغذیه شده به خشک کن (براساس ماده خشک) محاسبه شد. راندمان کمتر ناشی از چسبندگی پودر به دیواره‌های خشک کن و احتمالاً کشیده شدن محصول به داخل جریان خلأ است. نتایج آنالیز واریانس راندمان نشان می‌دهد اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر و توان دوم دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، پارامترهای معنی‌دار مؤثر بر راندمان پودر هستند ($p < 0/05$). با توجه به جدول ۲، مقدار ضریب تبیین برای راندمان ۰/۹۸ و مقدار ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۶ بودند که مناسب بودن مدل را نشان می‌دهند. در این پژوهش با توجه به شکل ۳، با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۲۰ به ۱۸۰ درجه سلسیوس راندمان افزایش یافت. نتایج مشابهی

در این زمینه روی پودر حاصل از عصاره آکایی^۱، آب گوجه و آب شاتوت در خصوص افزایش راندمان گزارش شده است (Tonon et al., 2008; Fazaeli et al., 2012; Goula & Adamopoulos, 2005). ابتدا، افزایش دما باعث افزایش اختلاف دما بین ذرات و هوای ورودی شد، در نتیجه سرعت تبخیر یا سرعت انتقال جرم و حرارت افزایش و احتمال برخورد ذرات کاملاً خشک نشده به دیواره کاهش یافت و این امر سبب افزایش راندمان شد (Goula & Adamopoulos, 2010). در این پژوهش، با افزایش بیشتر دمای هوای ورودی از ۱۸۰ به ۲۴۰ درجه سلسیوس به علت افزایش سوختگی و چسبندگی پودر به دیواره خشک کن، راندمان کاهش یافت. نتیجه‌ای مشابه نیز در این زمینه روی پودر حاصل از عصاره انگور گزارش شده است (Papadakis et al., 2006). با توجه به شکل ۳، افزایش غلظت

اندازه دمای انتقال شیشه‌ای خوراک است، زیرا افزایش غلظت مالتودکسترین در این محدوده باعث افزایش بیش از اندازه دمای انتقال شیشه‌ای شده‌است در نتیجه حالت آمورف بیشتر از حالت کریستالی و پودری شده راندمان کاهش یافته‌است. نتیجه مشابهی نیز در این زمینه روی پودر حاصل از عصاره آکایی در خصوص کاهش راندمان گزارش شده است (Tonon *et al.*, 2008). همچنین، با توجه به شکل ۳، افزایش فشار اتمایزر از ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باعث کاهش راندمان پودر شده‌است. زیرا با افزایش فشار اتمایزر، به علت ریزتر شدن اندازه ذرات، احتمال کشیده شدن محصول به داخل جریان خلأ وجود دارد (Goula & Adamopoulos, 2005).

مالتودکسترین از ۲۵ تا ۳۵ درصد باعث افزایش راندمان پودر شده‌است که دلیل آن احتمالاً افزایش دمای انتقال شیشه‌ای خوراک با افزودن مالتودکسترین است زیرا مالتودکسترین سرشار از قندهای ساده با وزن مولکولی پایین است که افزایش غلظت آن در این محدوده، دمای انتقال شیشه‌ای را افزایش می‌دهد و با ایجاد لایه‌ای در اطراف ماده، از چسبندگی پودر به دیواره خشک‌کن جلوگیری می‌کند (Papadakis *et al.*, 2006). نتایج مشابهی در این زمینه روی پودر حاصل از آب پرتقال و آب هندوانه گزارش شده است (Shrestha *et al.*, 2007; Quek *et al.*, 2007). مالتودکسترین از ۳۵ تا ۴۵ درصد، راندمان پودر کاهش یافته که علت آن احتمالاً افزایش بیش از



شکل ۳- نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر راندمان

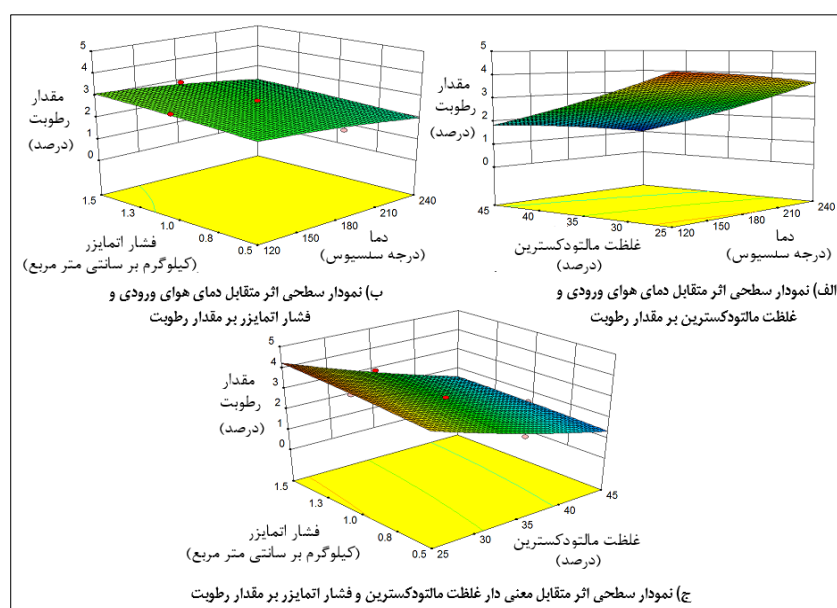
مالتودکسترین و فشار اتمایزر، پارامترهای معنی‌دار مؤثر بر مقدار رطوبت پودر هستند ($p < 0.05$). با توجه به جدول ۲، ضریب تبیین برای مقدار رطوبت ۰/۹۹ و ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۹ هستند که

بررسی مقدار رطوبت پودر

نتایج آنالیز واریانس مقدار رطوبت نشان می‌دهد، اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر و اثر متقابل غلظت

مالتودکسترین از تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و ماده جلوگیری می‌کند و باعث کاهش مقدار رطوبت می‌گردد (Papadakis *et al.*, 2006; Crompton *et al.*, 1988). پیشین نیز نتایج مشابهی به دست داده‌اند (Grabowski *et al.*, 2006; Kha *et al.*, 2010). با توجه به شکل ۴، با افزایش فشار اتمایزر، مقدار رطوبت پودر افزایش یافته‌است زیرا با افزایش فشار اتمایزر، ذرات ریزتر و سبک‌تر شده‌اند در نتیجه سریع‌تر به قسمت پایین خشک‌کن و خروجی منتقل شده‌اند و چون زمان کمتری در داخل خشک‌کن بوده‌اند، مقدار رطوبت پودر نهایی نیز بیشتر شده است (Goula & Adamopoulos, 2010).

مناسب بودن مدل را نشان می‌دهند. در شکل ۴ دیده می‌شود افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش مقدار رطوبت پودر تولیدی شده‌است زیرا افزایش دمای هوای ورودی، باعث افزایش دمای هوای خروجی می‌شود و سرعت تبخیر را افزایش می‌دهد، در نتیجه مقدار رطوبت محصول نهایی کاهش می‌یابد (Goula & Adamopoulos, 2010). نتایج مشابهی نیز در تولید پودر پرتقال و آناناس مشاهده شده است (Abadio *et al.*, 2004; Chegini & Ghobadian, 2005). با توجه به شکل ۴، افزایش غلظت مالتودکسترین باعث کاهش مقدار رطوبت پودر شده‌است زیرا افزایش غلظت ماده حامل باعث تشکیل لایه‌ای نازک در اطراف ذرات ماده شده و از جذب آب توسط آنها جلوگیری می‌کند.



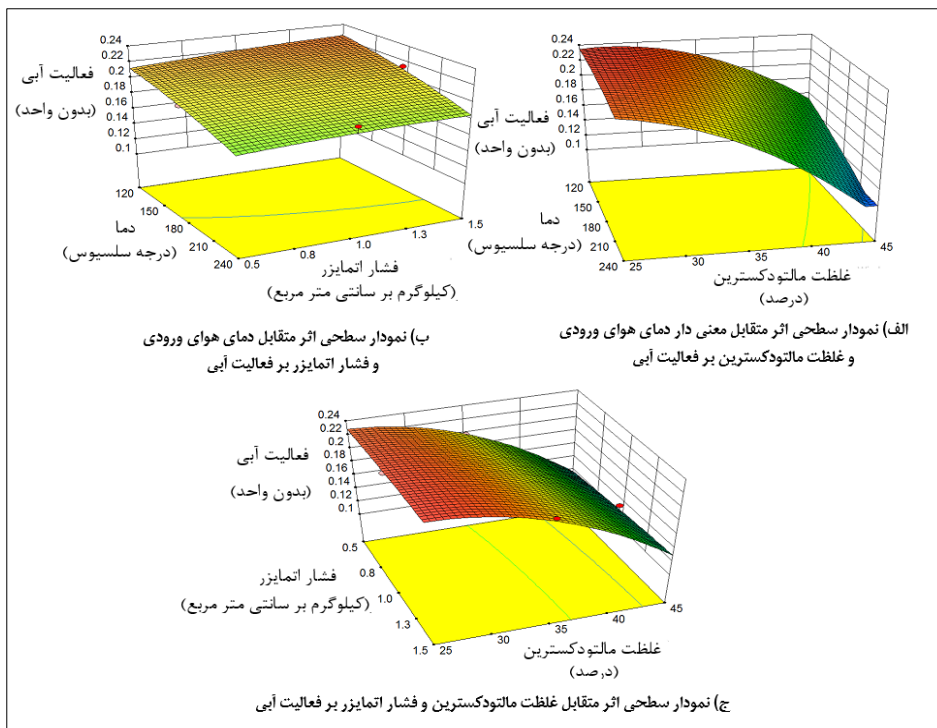
شکل ۴- نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر مقدار رطوبت پودر

با مصرف خوراکی، باید کمتر از ۰/۲۵ باشد (Kumar & Mishra, 2004). نتایج آنالیز واریانس راندمان نشان می‌دهد اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر و اثر متقابل

تعیین فعالیت آبی (a_w)
 فعالیت آبی فاکتور مهمی در پودرهای حاصل از خشک‌کردن پاششی است زیرا نشان دهنده زمان ماندگاری پودر خواهد بود. فعالیت آبی هر نوع پودر

ماده حامل باعث تشکیل لایه‌ای نازک در اطراف ذرات ماده شده که مانع تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و ماده گردید. در نتیجه، با افزایش آب آزاد و در دسترس برای تبخیر، باعث کاهش فعالیت آبی پودر شده‌است (Quek *et al.*, 2007). پژوهش‌های پیشین نیز نتایج مشابهی در این زمینه به دست داده‌اند (Grabowski *et al.*, 2010; Kha *et al.*, 2006). با توجه به شکل ۵، با افزایش فشار اتمایزر فعالیت آبی افزایش یافته زیرا با افزایش فشار اتمایزر ذرات ریزتر و سبک‌تر و در نتیجه سریع‌تر به قسمت پایین خشک‌کن و خروجی منتقل شده‌اند و چون زمان کمتری در داخل خشک‌کن بوده‌اند، آب آزاد و در دسترس کمتر تبخیر شده و فعالیت آبی پودر نهایی نیز بیشتر شده است (Goula & Adamopoulos, 2010).

غلظت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی و توان دوم غلظت مالتودکسترین، پارامترهای معنی‌دار مؤثر بر فعالیت آبی پودر هستند ($p < 0.05$). با توجه به جدول ۲، ضریب تبیین برای فعالیت آبی ۰/۹۹ و ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۹ هستند که مناسب بودن مدل را نشان می‌دهند. در این پژوهش، افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش فعالیت آبی و افزایش ماندگاری پودر تولیدی و در نتیجه باعث تبخیر سریع آب آزاد و در دسترس شده‌است (Goula & Adamopoulos, 2010). نتایج مشابهی نیز در تولید پودر پرتقال و آناناس مشاهده شده است (Abadio *et al.*, 2004; Chegini & Ghobadian, 2005). با توجه به شکل ۵، افزایش غلظت مالتودکسترین باعث کاهش فعالیت آبی و افزایش ماندگاری پودر شده‌است زیرا افزایش غلظت

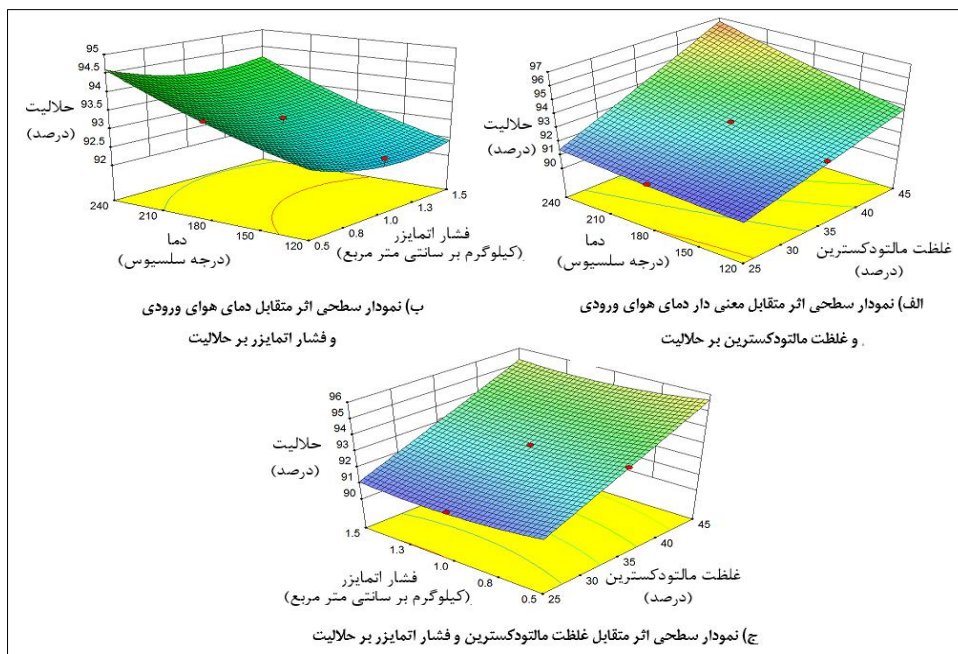


شکل ۵- نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر فعالیت آبی پودر

بررسی انحلال پذیری پودر

در بیشتر پودرهای تولید شده از عصاره گیاهان دارویی، هدف انحلال سریع و کامل در آب، غوطه ور شدن (شناور نشدن)، پراکنده شدن و حل شدن بدون تشکیل کلوخه است (Goula & Adamopoulos, 2005). نتایج آنالیز واریانس انحلال پذیری پودر نشان می دهد اثر خطی دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر و توان دوم فشار اتمایزر و اثر متقابل غلظت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی، پارامترهای معنی دار مؤثر بر انحلال پذیری پودر هستند ($p < 0/05$). با توجه به جدول ۲، ضریب تبیین برای انحلال پذیری ۰/۹۹ و ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۹ است که مناسب بودن مدل را نشان می دهند. در این پژوهش، افزایش دمای هوای ورودی انحلال پذیری پودر تولیدی را افزایش داده است 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 آنها نفوذ می کند، ولی ذرات ریز در آب شناور می شوند (Goula & Adamopoulos, 2005). نتایج مشابهی نیز در تولید پودر پرتقال حاصل شده است (Goula & Adamopoulos, 2010). با توجه به شکل ۶، افزایش غلظت مالتودکسترین باعث افزایش انحلال پذیری پودر شده است که علت آن به ویژگی های فیزیکی مناسب و انحلال پذیری بالای مالتودکسترین بر می گردد. از دلایل کاربرد گسترده مالتودکسترین در خشک کردن پاششی نیز انحلال پذیری بالای آن است (Goula & Adamopoulos, 2005). نتایج مشابهی نیز در تولید پودر پرتقال گزارش شده است (Goula & Adamopoulos, 2010). با توجه به شکل ۶، افزایش فشار اتمایزر باعث ریزتر شدن اندازه ذرات و کاهش انحلال پذیری پودر شده است (Jinapong et al., 2008).

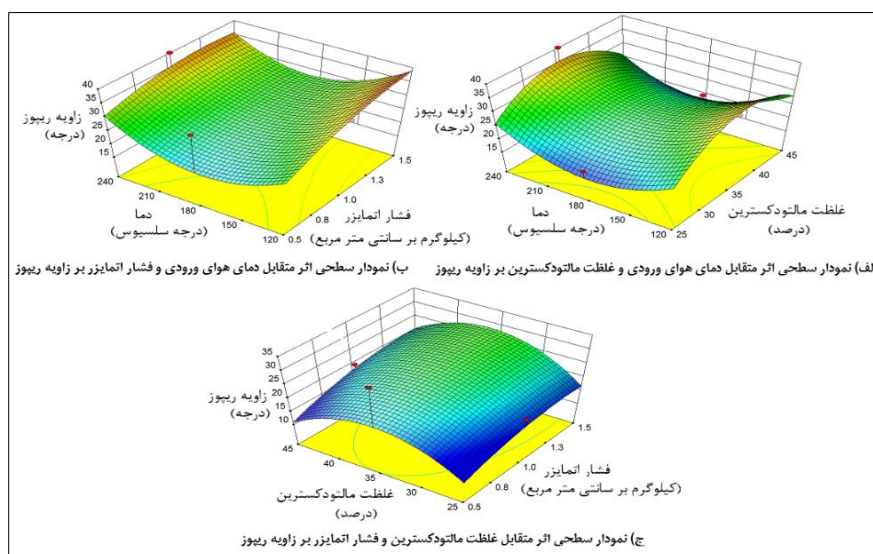


شکل ۶ - نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر انحلال پذیری پودر

تبیین تعدیل شده ۰/۲۶ هستند که نامناسب بودن مدل را نشان می‌دهند. در این پژوهش، افزایش دما از ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس سبب کاهش زاویه ریپوز و افزایش جریان‌پذیری شده که علت آن کاهش رطوبت و چسبندگی است (Jinapong *et al.*, 2008).

زاویه استاتیک و استقرار ریپوز

نتایج آنالیز واریانس زاویه ریپوز نشان می‌دهد اثر خطی فشار اتمایزر و توان دوم دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، پارامترهای معنی‌دار مؤثر بر زاویه ریپوز پودر هستند ($p < 0.05$). با توجه به جدول ۲، ضریب تبیین ۰/۶۱ و ضریب



شکل ۷- نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر زاویه ریپوز پودر

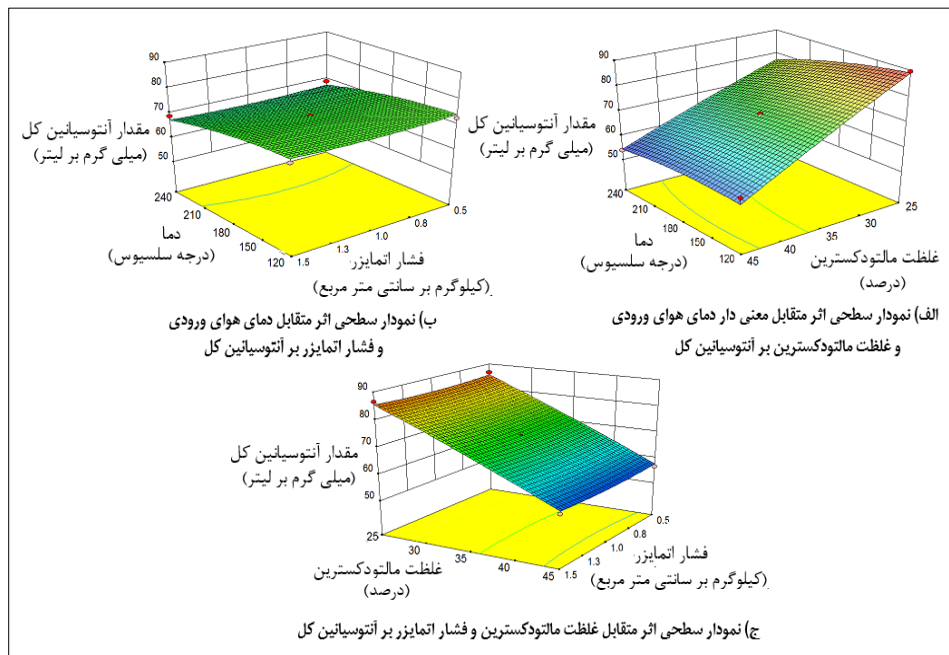
پژوهش‌های پیشین نیز نتایج مشابهی را به دست داده‌اند (Jinapong *et al.*, 2008).

بررسی میزان آنتوسیانین کل

نتایج آنالیز واریانس میزان آنتوسیانین کل پودر نشان می‌دهد اثر خطی دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و اثر متقابل غلظت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی، پارامترهای معنی‌دار مؤثر بر میزان آنتوسیانین کل پودر هستند ($p < 0.05$). در جدول ۲، ضریب تبیین ۰/۹۸ و ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۶ دیده می‌شوند که مناسب بودن مدل را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۸، افزایش دما تأثیری منفی بر میزان آنتوسیانین پودر گذاشته‌است؛ علت اصلی آن احتمالاً، تجزیه حرارتی و

با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۸۰ تا ۲۴۰ درجه سلسیوس، زاویه ریپوز افزایش و جریان‌پذیری کاهش یافته که دلیل آن افزایش سوختگی و چسبندگی است (Jinapong *et al.*, 2008). با توجه به شکل ۷، افزایش غلظت مالتودکسترین از ۲۵ تا ۳۵ درصد سبب افزایش زاویه ریپوز و کاهش جریان‌پذیری شده است. با افزایش غلظت مالتودکسترین از ۳۵ تا ۴۵ درصد، زاویه ریپوز کاهش و جریان‌پذیری افزایش یافته‌است. این شکل همچنین نشان می‌دهد افزایش فشار اتمایزر باعث ریزتر شدن پودر و افزایش اصطکاک بین ذرات شده‌است و ذرات کمتر روی هم غلتیده‌اند و زاویه ریپوز افزایش و جریان‌پذیری کاهش یافته‌است.

اکسیداسیون این ترکیبات است. یادآوری می‌شود (Adamopoulos, 2005). نتایج مشابهی نیز در این هر چه میزان چسبندگی پودر به دیواره کمتر باشد، (Quek & Kha et al., 2010) آسیب حرارتی نیز کمتر است (Goula & et al., 2007)



شکل ۸- نمودارهای سطحی اثر متقابل دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر میزان آنتوسیانین کل پودر

آنتوسیانین کل و کمینه کردن مقدار رطوبت و فعالیت آبی، با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه یابی شد. شرایط بهینه، دمای هوای ورودی ۲۱۹ درجه سلسیوس، غلظت مالتودکسترین ۴۲ درصد و فشار اتمایزر ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع انتخاب گردید. در شرایط بهینه میزان راندمان ۵۲/۶۸ درصد، مقدار رطوبت ۱/۳۸ درصد، فعالیت آبی ۰/۱۲، میزان انحلال پذیری ۹۵/۹۲ درصد، زاویه استقرار ریپوز ۲۰ درجه، و میزان آنتوسیانین کل ۵۲/۲۲ میلی گرم بر لیتر محاسبه شد.

مقایسه طیف‌های اسپکتروفوتومتر فوریه در

شرایط بهینه پودر و عصاره ترکیبی

با توجه به اهمیت هایپرسیکسین طیف‌های اسپکتروفوتومتر فوریه در حالت عصاره ترکیبی (گل

در شکل ۸ دیده می‌شود با افزایش غلظت مالتودکسترین، میزان آنتوسیانین کل کاهش یافته است و علت آن پدیده رقیق سازی است (Kha et al., 2010) از آنجا که میزان آب عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی تغذیه شده به دستگاه خشک کن ثابت است، افزایش میزان حامل‌ها باعث کاهش ترکیبات زیست فعال در پودر شده و در نتیجه میزان آنتوسیانین کل کاهش یافته است (Yousefi et al., 2010; Mahdavi et al., 2016; Fazaeli et al., 2012). با توجه به شکل ۸، تغییرات فشار اتمایزر بر میزان آنتوسیانین کل پودر تاثیری نداشته است.

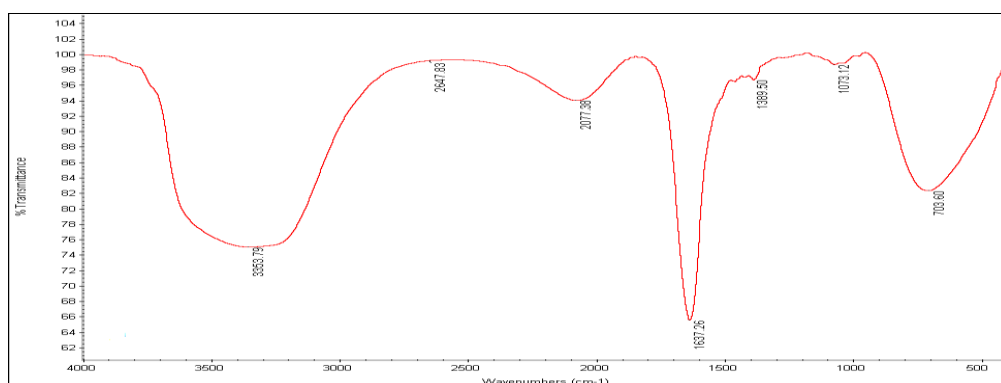
بهینه یابی

تولید پودر از عصاره ترکیبی چای ترش و گل راعی با خشک کن پاششی نیمه صنعتی، با هدف بیشینه کردن راندمان، میزان انحلال پذیری و میزان

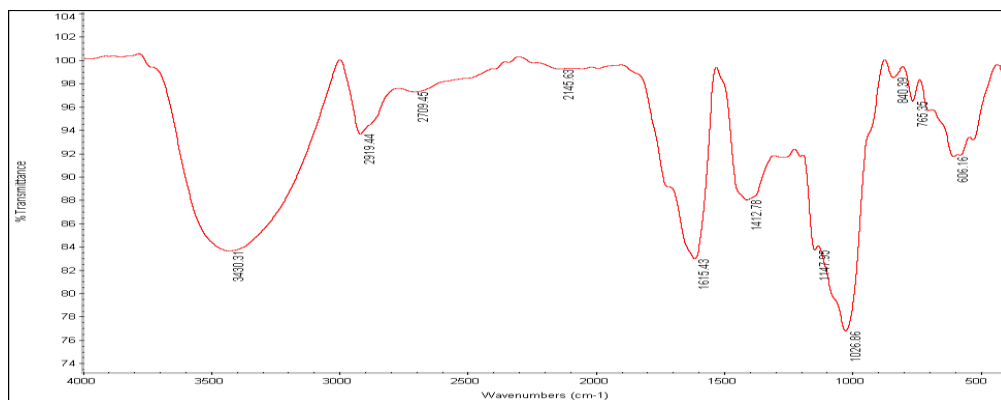
درجه سلسیوس است و نیز با توجه به نوارهای طیفی به دست آمده، می‌توان به حضور و پایداری این ماده پس از خشک کردن پاششی در پودر بهینه تولید شده، اشاره کرد (Nuevs-Paz *et al.*, Pace & Mackinney, 1941). 2005

راعی و چای ترش) و پودر خشک شده حاصل از آن در شرایط بهینه مقایسه شدند.

همان گونه که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است، با توجه به اینکه دمای بهینه برای تولید پودر ۲۱۹ درجه سلسیوس به دست آمده است و دمای غیر فعال شدن هایپرسیس حدود ۳۰۰-۳۲۰



شکل ۹- طیف اسپکتروفوتومتر فوریه از عصاره ترکیبی گل چای ترش



شکل ۱۰- طیف اسپکتروفوتومتر فوریه از پودر تولیدی در شرایط بهینه

کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست آمد. در شرایط بهینه، میزان راندمان ۵۲/۶۸ درصد، مقدار رطوبت ۱/۳۸ درصد، فعالیت آبی، ۰/۱۲، میزان انحلال‌پذیری ۹۵/۹۲ درصد، زاویه استقرار ریپوز ۲۰ درجه و میزان آنتوسیانین کل ۵۲/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شدند. با استفاده از طیف‌سنجی اسپکتروفوتومتری فوریه، حضور و پایداری هایپرسیس در پودر تولید شده در شرایط بهینه، تأیید شد.

نتیجه‌گیری

با به‌کارگیری طرح بهینه برای بررسی اثر متغیرهای دمای هوای ورودی، غلظت مالتودکسترین و فشار اتمایزر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر تولید شده از عصاره ترکیبی چای ترش و گل چای، از روش سطح پاسخ استفاده شد. شرایط بهینه، دمای هوای ورودی ۲۱۹ درجه سلسیوس، غلظت مالتودکسترین ۴۲ درصد و فشار اتمایزر ۰/۵

مراجع

- Abadio, F., Domingues, A., Borges, S. and Oliveira, V. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3):285-287.
- Bas, D., Boyaci, H. and Smail H. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 78(3): 836-845.
- Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B.R. and Rintoul, G.B. 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT-Food Science and Technology*, 31(2):138-142.
- Cam, M., Hisil, Y. and Durmaz, G. 2009. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*. 112(3): 721- 726.
- Chegini, G. and Ghobadian, B. 2005. Effect of spray drying condition on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*. 23(3): 657-668.
- Chen, C.C., Hsu, J.D., Wang, S.F., Chiang, H.C., Yang, M.Y., Kao, E.S., Ho, Y.C. and Wang, C.J., 2003. *Hibiscus sabdariffa* extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(18):5472-5477.
- Crompton, C., Hall, I., Jensen, K. and Hildebrand, P. 1988. The biology of Canadian weeds: *Hypericum perforatum*. *Canadian Journal of Plant Science*. 68(1): 149-162.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A. and 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(4): 667-675.
- Goula, A. and Adamopoulos, K. 2004. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. *Drying Technology*. 22(10): 2309-2330.
- Goula, A. and Adamopoulos, K. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: the effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*. 66(1): 25-34.
- Goula, A. and Adamopoulos, K. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 11(2): 342-351.
- Grabowski, J., Truong, V. and Daubert, C. 2006. Spray drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*. 71(5): E 209-E217.
- Horuz, E., Altan, A. and Maskan, M. 2012. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technology*. 30(7): 787-798.
- Jangam, S. and Thorat, B. 2010. Optimization of spray drying of ginger extract. *Drying Technology*. 28(12): 1426-1434.
- Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84(2): 194-205
- Kalita, B., Jose, S., Baruah, S., Kalita, S. and Saikia, S. 2019. *Hibiscus sabdariffa* L. (Roselle): A potential source of bast fiber. *Journal of Natural Fibers*. 16(1):49-57.
- Kha, T., Nguyen, M. and Roach, P. 2010. Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98(3): 385-392.
- Kumar, H. and Mishra, N. 2004. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials. *Journal of Food Engineering*. 65(4): 569-576.
- Lako, J., Trenerry, V., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S. and 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(4): 1727-1741.

- Mahdavi, S., Jafari, S. and Dehnad, D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*. 85, 379-385.
- Molahoseini, M., Maghsoodloo, Y. and Alimi, M. 2013. Investigating the medicinal and nutritional effects of sour tea with a special view on its use in food and pharmaceutical food products and food products. The Second National Security Seminar. 10-17 October. Azad University, Savadkuh Branch, Iran (in Persian)
- Myers, R. and Montgomery, D. 1995. *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization using Designed Experiment (2nd Ed.)*. New York: John Wiley and Sons.
- Nuevas-Paz, L., Molina-Torres, J. and Prieto-González, S. 2005. Determination of hypericin in *Hypericum* species grown in Cuba. *Acta Farm Bonaerense*. 24(1):89-90.
- Pace, N. and Mackinney, G. 1941. Hypericin, the photodynamic pigment from St. John'swort'. *Journal of the American Chemical Society*. 63(10): 2570-2574.
- Papadakis, S., Gardeli, C. and Tzia, C. 2006. Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*. 24(2): 173- 180.
- Phoungchandang, S. and Sertwasana, A. 2010. Spray drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. *Science Asia*. 36(1): 40-45.
- Quek, S., Chok, N. and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*. 46(5): 386-392.
- Rouissi, T., Mahmoudi, A., Tyagi, R., Brar, S., PrVost, D. and Surampalli, R. 2007. Optimisation of spray drying by response surface methodology for the production of *Sinorhizobium meliloti* powder formulation by using starch industry wastewater. *Biosystems Engineering*. 114(3): 334-343.
- Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J., Calderas, F., González-Laredo, R., Rocha-Guzmán, N., Ochoa-Martínez, L. and Bernad-Bernad, M. 2015. Spray drying microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT-Food Science and Technology*. 64(2): 571-577.
- Shrestha, A., Ua-arak, T., Adhikari, B., Howes, T. and Bhandari, B. 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(3): 661-673.
- Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88(3): 411-418.
- Tonon, R.V., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P. and Hubinger, M. 2009. Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced with different carrier agents. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(10): 1950-1958.
- Wagner, H. and Bladt, S. 1994. Pharmaceutical quality of *Hypericum* extracts. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*. 7(1): S65-S68.
- Wölfle, U., Seelinger, G. and Schempp, C. 2013. Topical Application of St. John's Wort (*Hypericum perforatum L.*). *Planta Medica*. Epub Ahead of Print. 80(02/03):109-120.
- Xia, T., Shi, S. and Wan, X. 2006. Impact of ultrasonic assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion. *Journal of Food Engineering*. 74(4): 557-560.
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S. 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(6): 677-684.

Optimization of the effects of Temperature, Maltodextrin Concentration and Atomizer Pressure, in Spray Drying of Blend of *Hibiscus Sabdariffa* L. Extract and St' John's wort (*Hypericum Perforatum* L.) Extracts, on Quality and Quantity Properties of the Powder, with Response Surface Methodology

S. Namayandeh, Z. Emam-Djomeh*, S. H. Hashemabadi and S. M. Mousavi

* Corresponding Author: Professor, Faculty of Food Science and Engineering, Aras International Campus Branch, University of Tehran, Jolfa, Iran. Email: emamj@ut.ac.ir

Received: 5 October 2018, Accepted: 17 February 2020

Abstract

In this study, the effects of temperature, maltodextrin concentration and atomizer pressure on moisture content, yield (on dry weight basis), water activity, solubility, angle of repose and total anthocyanin (TAC) of *Hibiscus sabdariffa* L. and St' John's wort (*Hypericum perforatum* L.) blend extract powder on quality and quantity properties of the powder were investigated. In this process, Maltodextrin was used as carrier agent. Experimental design involved the use of optimal design and response surface statistical method. Independent variables were inlet air temperature (120, 180 and 240 degrees celsius), concentration of drying aids (25, 35 and 45 percent) and atomizer pressure (0.5, 1, 1.5 kilograms per square centimeter). Optimization of production of *Hibiscus sabdariffa* L. - *Hypericum perforatum* L. blend extract powder with the aim of minimizing the amount of moisture content and water activity and maximizing the yield, solubility and total anthocyanin (TAC) were carried out using response surface methodology (RSM). RSM described that upon optimum conditions of 219 (degrees Celsius) inlet temperature, 42 (percent) maltodextrin concentration and 0.5 (kilograms per square centimeter) atomizer pressure, it was possible to produce powder with yield (on dry weight basis) of 52.68 (percent), moisture content of 1.38 (percent), water activity of 0.12, solubility of 95.92 (percent), angle of repose of 20 (degrees) and total anthocyanin (TAC) of 52.22 (milligrams per liter). Then, due to the importance of hypericin, the presence and stability of this material in produced powder in optimum conditions was confirmed by IR spectrometry analysis (FTIR).

Keywords: Angle of ripose, Anthocyanin, Hypericin, Pilot plant spray dryer, Powder rheology