



### مقاله پژوهشی

## بررسی ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی پودر نوشیدنی عصاره خاکشیر به دست آمده با روش اهمیک

بهار شهیدی<sup>۱</sup>، اکرم شریفی<sup>۲</sup>، لیلا روزبه نصیرایی<sup>۳\*</sup>، مهرداد نیاکوثری<sup>۳</sup>، محمد احمدی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
۲. استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
۴. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۰۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۹/۰۹/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۲)

### چکیده

دانه‌های خاکشیر (*Descurainia sophia*) منبع سرشار از پلی فنل‌هایی مانند کومارین، فلاون‌گلایکوزید و اسیدهای فنلی هستند. در این تحقیق ترکیبات زیست فعال دانه خاکشیر با استفاده از روش اهمیک و بر پایه‌ی حلال آب استخراج شد و از عصاره تولید شده پودر نوشیدنی فوری با نسبت‌های ۵۰ به ۵۰، ۵۰ به ۱۰۰ و ۱۰۰ به صفر مالتودکسترنین به صمع عربی و درصد مواد حامل ۳۰ تا ۱۶۰ در درجه سلسیوس در دمای ورودی ۱۴۰، ۱۲۰ و ۱۰۰ با استفاده از خشک‌کن پاششی تولید گردید. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودرهای حاصل شامل رطوبت، ضریب عدم حلالیت، اندازه ذرات، ترکیبات فنلی کل و قدرت آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. پودر برگزیده حاصل از نتایج روش سطح پاسخ انتخاب و عصاره مجدداً به گونه‌ای بازآپوشه شد که مقدار ماده جامد آن مشابه ماده جامد عصاره اولیه باشد سپس از لحاظ وضعیت ظاهری، طعم، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اثرات درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترنین و صمع عربی) و اثر دما روی مقدار رطوبت و عدم حلالیت معنی‌دار بود. درصد عوامل حامل و دمای خشک کن روی فعالیت آنتی اکسیدانی و درصد و نسبت عوامل حامل روی مقدار ترکیبات فنلی کل تأثیر معنی‌دار در سطح ۵٪ داشت. بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ نمونه پودر تولید شده در درجه سلسیوس ۱۶۰ با نسبت مالتودکسترنین به صمع عربی ۱۰۰ به ۰ و ۳۰٪ عوامل حامل را به عنوان تیمار بهینه انتخاب کرد. اندازه ذرات پودرهای تولیدی بین ۴۶۶۴ nm تا ۲۶۱۷ nm متغیر بود. نتایج مقایسه ارزیابی حسی پودر بهینه بازآپوشه شده با عصاره قبل از خشک کردن نشان داد از نظر امتیاز وضعیت ظاهری، طعم، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی دو نمونه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

**کلید واژه‌ها:** دانه‌های خاکشیر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، استخراج اهمیک، خشک کردن پاششی، ترکیبات فنلی.

\* نویسنده مسئول: [roozbehnasiraii@iaunour.ac.ir](mailto:roozbehnasiraii@iaunour.ac.ir)

می‌دهد و فرآیند استخراج را تسريع می‌نماید، توسعه یافته است. این فناوری‌ها شامل روش استخراج به کمک مایکروویو، استخراج به کمک اولتراسوند، استخراج با کمک اهمیک، استخراج توسط سیال فوق بحرانی و استخراج توسط حلال تسريع یافته، می‌باشد.

حرارت دهی اهمیک<sup>۱</sup> روش سریع و کارآمد برای استخراج ترکیبات زیست فعال با کمترین تخریب یاد می‌شود [۷]. شهیدی و همکاران (۲۰۲۰) ترکیبات زیست فعال دانه خاکشیر را با استفاده از روش‌های مختلف شامل ماسرسیون، اولتراسوند، اهمیک و دکوکشن استخراج کردند. نتایج بیانگر کارایی روش اهمیک با حلال آب در استخراج ترکیبات زیست فعال خاکشیر بود. در این روش ترکیبات فنلی کل به میزان mL ۱۰۰ mg GAE/ ۱۴۱/۵۹۸ و فعالیت آنتی اکسیدانی ۷۲/۹۱٪ تعیین شد. همچنین آنالیز عصاره حاکی از وجود ترکیبات فنلی مختلفی چون اسید کافئیک، کوماریک اسید، روتین، کوئرستین و کامپفرون در عصاره خاکشیر بود [۸].

دمیه و نیاکوثری (۲۰۱۷) زمان استخراج، عملکرد و انسان‌های روغنی *Pulicaria undulate* را با استفاده از روش اهمیک به عنوان یک روش دوستدار محیط زیست در مقایسه با روش جابجایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر کارایی روش اهمیک در کاهش زمان و افزایش بیانگر کارایی روش اهمیک در کاهش موجود در انسان استخراج شده همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات با اهمیک به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از روش جابجایی بود [۹].

برای افزایش ماندگاری عصاره زیست فعال استخراج شده از روش‌های مختلفی از جمله خشک کردن استفاده می‌شود. انواع مختلفی از روش‌های خشک کردن وجود دارند که بسته به ویژگی‌های مورد انتظار، به کار گرفته می‌شوند [۱۰]. از روش خشک کردن پاششی هم برای خشک کردن و هم برای ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال عصاره‌ها می‌توان استفاده کرد. ریزپوشانی فرآیندی است که در آن ذرات ریز و قطرات یک ماده زیست فعال توسط ترکیبات ویژه‌ای با عنوان دیواره

جیره‌های غذایی غنی از میوه‌ها و سبزی‌ها با کاهش خطر سرطان و بیماری‌های قلبی- عروقی مرتبط هستند [۱۱]. این اثرات سودمند به دلیل حضور ویتامین‌ها و ترکیبات شیمیایی طبیعی از قبیل اسید آسکوربیک، کاروتونوئیدها، پلی فنل‌ها و فیبر است که می‌توانند از ترکیبات بیولوژیکی مهم مانند لیپوپروتئین‌ها، غشاء‌ها و DNA حفاظت کند [۱۲]. ترکیبات گیاهی بسیاری در دسترس است که به دلیل ویژگی‌های آنتی اکسیدانی بالا می‌توانند برای محافظت مواد غذایی و دارویی حساس به اکسایش به کار گرفته شوند.

خاکشیر با نام علمی *Descurainia sophia* از تیره چلیپائیان است. خاکشیر دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بوده و این ویژگی با داشتن قابلیت پاکسازی رادیکال‌های آزاد، سلول‌ها را از آسیب‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند [۱۳]. زرشناس و نیمروزی (۲۰۱۶) کاربردهای دارویی سنتی و امروزی دانه خاکشیر را مورد بررسی قرار دادند. اثرات ضدالتهابی، ضد درد و فعالیت‌های آنتی اکسیدانی در مطالعات تجربی ارزیابی و تأیید شد [۱۴]. لی و همکاران (۲۰۱۰) ترکیبات انسان استخراج شده از دانه خاکشیر را با استفاده از روش کروماتوگرافی (GC/MS) تعیین کردند. نتایج کار این محققان شناسایی ترکیبات (20.1%) *cis*-β-ocimene ، (11.27%) *menthol* ، (3.5%) *alloaromadendrene* ، *neoisomenthyl acetate* (2.28%) و *longicyclene* (2.25%) بود [۱۵].

روش‌های استخراج و شناسایی ترکیبات زیست فعال خاکشیر و همچنین فرمولاسیون و تهیه اشکال مختلف خوراکی و دارویی از آنها بایستی مورد پژوهش قرار گیرد. استخراج روش‌هایی که بتواند بیشترین ماده عملکردا را با کمترین ناخالصی و حداقل تخریب از خاکشیر به دست آورد از اهمیت بسزایی برخوردار است.

روش‌های متداول جهت استخراج با حلال پلی فنل‌ها از بافت‌های گیاهی، استخراج مایع- مایع بر پایه انتخاب حلال تؤمن با استفاده از همزن یا اعمال حرارت می‌باشد. با این حال این روش‌ها اغلب زمان بر هستند، نیاز به مقادیر بالای حلال دارند و نیز برخی ترکیبات فعال طی چنین فرایندهای تجزیه می‌شوند [۱۶]. در سال‌های اخیر، فناوری‌های جدید متعددی که به طور قابل ملاحظه‌ای مصرف حلال‌ها را کاهش

پاششی، ریز پوشانی کردند [۱۵]. ارسوس و بورداگل (۲۰۰۷) روی ریزپوشانی آنتوسیانین استخراج شده از هویج سیاه بوسیله خشک کن پاششی و با دیواره مالتودکسترن به عنوان پوشش دهنده کار کردند [۱۶]. کورسیان و همکاران (۲۰۱۵) ویژگی‌ها فیزیکی ریزکپسول های عصاره تمشک سیاه وحشی تهیه شده با روش خشک کن پاششی را بررسی کردند [۱۷]. با بررسی پژوهش‌های انجام شده، در این تحقیق، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی پودر نوشیدنی فوری تولید شده از عصاره خاکشیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

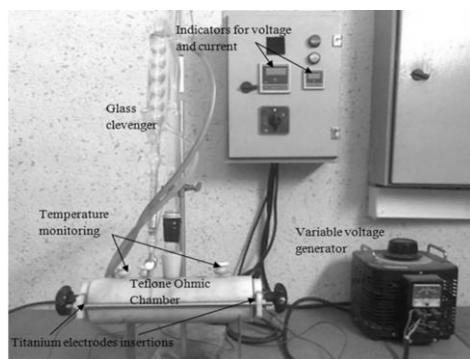
نمونه خاکشیر (*Descurainia sophia*) از بازار محلی شهر تهران خریداری و تمیز کردن دانه‌ها به روش خشک انجام شد. سپس نمونه‌ها به صورت دانه خرد شده (الک شماره ۲۰، قطر روزنه‌ها  $750\text{ }\mu\text{m}$ ) تحت تیمار گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت سیگما تهیه شد.

### ۱.۲. عصاره‌گیری

خاکشیر زیر الکی به نسبت ۲۵٪ وزنی / حجمی با حل آب به روش اهمیک (شکل ۱) (دما $70^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۵ min) با قدرت میدان الکتریکی  $200\text{ V cm}^{-1}$  عصاره‌گیری شد [۸].

(عمدتاً ترکیبات هیدروکلورئیدی) پوشانده می‌شوند تا این مواد زیست فعال در مقابل شرایط نگهداری (نور، اکسیژن و دمای بالا) و فرایند ماده‌ی غذایی محافظت شود. ضمن این‌که در این روش با رهایش کنترل شده ترکیب زیست فعال، تأثیر مثبت آن برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌شود [۱۱].

محققان زیادی به ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال موجود در عصاره‌های مختلف گیاهی پرداخته‌اند. برای مثال تنون و همکاران (۲۰۱۰) عصاره میوه گرمسیری آکائی<sup>۱</sup> را با انواع پوشش دهنده‌ها با استفاده از خشک کن پاششی به پودر تبدیل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد مالتودکسترن بهترین پوشش دهنده از نظر حفاظت از آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی اکسیدانی پودر تولیدی بود [۱۲]. تنون و همکاران (۲۰۰۸) نیز ترکیبات فلی میوه تمشک شمالی<sup>۲</sup> را با مواد دیواره مختلف ریزپوشانی نمودند. بهترین نتایج با استفاده از مالتودکسترن به دست آمد [۱۳]. شریفی و همکاران (۲۰۱۵) آنتوسیانین‌های میوه زرشک را توسط خشک کن پاششی ریزپوشانی کردند. در این مطالعه دیواره‌هایی با نسبت مساوی مالتودکسترن و صفحه عربی مناسب‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و مورفولوژیکی پودر تولیدی را نشان دادند [۱۴]. روزنبرگ و همکاران (۱۹۹۰) آنتوسیانین و فنلازهای میوه انار را توسط دیواره‌های مالتودکسترن و ایزوله پروتئین سویا با روش خشک کردن



شکل (۱) دستگاه اهمیک (ساخت دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز)

**Fig 1.** Ohmic apparatus (made in Agriculture School; Shiraz University; Iran)

1. Acai
2. Cloudberry

منظور  $0/1$  از عصاره بازسازی شده با پودر، با  $0/9$  ml بافر pH Tris-HCL با  $7/4$  ml مخلوط شده و DPPH  $1$  ml به آن اضافه شد. مخلوط حاصل به شدت تکان داده شد و به مدت  $30$  min در اتاق تاریک ثابت نگه داشته شد. میزان جذب این مخلوط در طول موج  $517$  nm توسط اسپکتروفوتومتر (مدل UV9200 ساخت شرکت Rayleigh، چین) خوانده و درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۱۵].

$$\text{DPPH\%} = (\text{A}_{\text{Blank}} - \text{A}_{\text{Sample}} / \text{A}_{\text{Blank}}) \times 100 \quad (1)$$

$\text{A}_{\text{Sample}}$ : جذب نمونه شاهد در طول موج  $517$  nm؛

$\text{A}_{\text{Blank}}$ : جذب نمونه اصلی در طول موج  $517$  nm؛  
درصد مهار رادیکال آزاد DPPH

**۶. اندازه‌گیری ترکیبات فنلی**  
مقدار کل ترکیبات فنلی با روش طیفسنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالت، اندازه‌گیری شد. مقدار  $0/5$  ml از عصاره بازآپوشی شده با  $2/5$  ml محلول  $10\%$  فولین سیوکالت مخلوط شد و بعد از  $3$  min،  $2$  ml محلول  $7/5\%$  کربنات سدیم به آن اضافه شد و جذب نمونه در  $765$  nm خوانده شد و نتایج بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک موجود در  $100$  ml عصاره استخراجی گزارش شد. منحنی استاندارد با رقت‌های  $25$  ppm،  $50$  و  $100$  اسید گالیک استاندارد به صورت سه نقطه‌ای رسم گردید و معادله خط نوشته شد [۲۰].

**۷. اندازه‌گیری اندازه ذرات**  
به منظور سنجش اندازه و پراکندگی ذرات پودرهای حاصل از خشک کن پاششی از دستگاه (DLS)<sup>۱</sup> استفاده شد [۲۱] برای این کار مقدار کمی از پودر در ایزوپروپانول  $99\%$  و به کمک همزن مغناطیسی پخش شد. اندازه ذرات بر اساس شدت، بر اساس تعداد ذرات و بر اساس حجم گزارش شد. در نمودار شدت، شدت پراکندگی نور توسط ذرات جامد گزارش می‌شود. میزان پراکندگی نور تقریباً با توان  $6$  اندازه ذرات

۲.۲. تولید پودر نوشیدنی از عصاره بهینه خاکشیر عصاره استخراج شده به روش اهمیک با استفاده از روتاری اوپرатор (BUCHI- water bath B-480، Flawil, Switzerland) به نسبت  $30\%$  ماده خشک رسید و سپس با نسبت‌های  $50$  به  $50$ ،  $0$  به  $100$  و  $100$  به  $140$  و  $160$  °C با به صفحه عربی در دمای ورودی  $120$  °C استفاده از خشک کن پاششی (Technik, Switzerland Model B-191) تبدیل به پودر شد [۱۶]. در نهایت برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر حاصل مورد بررسی قرار گرفت.

**۳. تعیین محتوای رطوبت پودرهای تولیدی**  
مقدار  $5$  gr نمونه را در یک ظرف کامل‌خشک قرار گرفت و به مدت  $4$  ساعت در دمای  $103$  °C قرار داده شد. در پوش ظرف را روی آن قرار گرفت به دیسکاتور منتقل شد. بعد از رسیدن دمای ظرف به دمای محیط، وزن ظرف و محتویات آن ثبت شد. توزین ظرف تا زمانی که اختلاف بین دو اندازه‌گیری کمتر از  $0/1\%$  وزن نمونه شد، ادامه یافت. با کسر میزان نهایی وزن نمونه از وزن اولیه و تقسیم آن بر وزن اولیه نمونه میزان درصد رطوبت به دست آمد [۱۸].

**۴. حلالیت**  
برای این آزمون  $2/5$  gr از پودر در  $30$  ml آب مقطر در دمای محیط حل شده و این سوسپنسیون در ورتس به مدت یک دقیقه هم زده شد و سپس در دور  $3500$  rpm و دمای  $4$  °C برای  $20$  min سانتریفیوژ شد. مایع رویی در پتری‌دیش از قبل وزن شده قرار داده شد و در دمای  $105$  °C و تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. سپس میزان ضریب انحلال‌پذیری از تقسیم وزن مایع رویی خشک شده تقسیم بر وزن نمونه اولیه به دست آمد. کسر این عدد از  $1$  می‌تواند ضریب عدم انحلال‌پذیری را نشان دهد که در شکل ضریب عدم انحلال‌پذیری ذکر شده است [۱۹].

**۵. بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی**  
میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر تولیدی به روش دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. برای این

سطح پاسخ بهینه سازی شد. برای این منظور از طرح مربع مرکزی<sup>۱</sup> با تعداد ۱۵ تیمار و ۳ تکرار در نقاط مرکزی استفاده استفاده گردید. فاکتورهای متغیر شامل نسبت مواد حامل (۳۰، ۴۰ و ۵۰٪)، نسبت مالتودکستربن به صمغ عربی (۰.۵٪)، به ۵۰، ۰ به ۱۰۰ و ۱۰۰ به ۰) و دمای ورودی خشک کن پاششی (۱۲۰°C، ۱۴۰ و ۱۶۰) بود. پاسخها مقدار رطوبت، ضریب عدم حلالیت، ترکیبات فلزی و فعالیت آنتی اکسیدانی بودند. مقادیر کد شده و واقعی متغیرهای مستقل مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. برای بهینه سازی فرایند خشک کردن و انتخاب پودر بهینه از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design expert نسخه 6.0.2 استفاده شد. نمودارها با استفاده از ۲۰۱۶ Excel رسم و همبستگی بین داده‌ها نیز توسط ضریب همبستگی پیرسون اندازه‌گیری و گزارش شد. داده‌های تجربی با کمک مدل چند جمله‌ای درجه‌ی دوم (رابطه ۲) برآش داده شدند:

$$Y = b_0 + b_1 A + b_2 B + b_3 C + b_{11} A^2 + b_{22} B^2 + b_{33} C^2 + b_{12} AB + b_{13} AC + b_{23} BC \quad (2)$$

که در رابطه‌ی (۲) Y بیانگر پاسخهای مورد نظر و  $b_n$  نشان دهنده‌ی ضرایب رگرسیون می‌باشد. این ضرایب اثرات خطی، دو جمله‌ای و نیز اثرات متقابل فاکتورهای متغیر فرآیند را بیان می‌کنند.

متناسب است از این رو در نمودار شدت ذرات بزرگتر پیک بسیار بزرگتری نسبت به ذرات کوچک‌تر دارند. در نمودار حجم، حجم ذرات با اندازه‌های مختلف گزارش می‌شود. در این نمودار نسبت حجمی (و اگر هم چگالی باشند نسبت جرمی) ذرات با اندازه‌های مختلف قابل مقایسه است. باید در نظر داشت که حجم ذرات تقریباً با توان ۳ اندازه آنها متناسب است. نمودار تعداد نشان دهنده توزیع اندازه ذرات است، این نمودار کاربردی‌ترین و معمول‌ترین داده مورد استفاده در DLS است.

## ۸.۲ ارزیابی حسی

پودر نوشیدنی توسط ۲۰ ارزیاب حسی آموزش دیده به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. روش کار طبق استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۰۸ بود. پودر برگزیده حاصل از نتایج روش سطح پاسخ انتخاب شده و پودر به نحوی بازآبپوشی شد که مقدار ماده جامد آن مشابه ماده جامد عصاره اولیه باشد سپس از لحاظ وضعیت ظاهری، طعم، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۹.۲ بهینه سازی فرآیند خشک کردن و انتخاب پودر بهینه

عوامل مؤثر بر فرآیند خشک کردن با استفاده از روش

جدول (۱) مقادیر کد شده و سطوح متغیرهای مستقل فرآیند خشک کردن عصاره خاکشیر  
Table 1. coding and level of independent variables of draying process of flixweed seed extract

متغیرهای مستقل independent variables	نماد Symbol	سطح Level		
		-1	0	+1
غلظت مواد حامل (%) Carrier concentration (%)	A	30	40	50
نسبت مالتودکستربن به صمغ عربی Maltodextrin to gum arabic ratio	B	0	0.5	1
دمای ورودی خشک کن افسانه‌ای (°C) Inlet temperature of spray drying (°C)	C	120	140	160

### ۳. نتایج و بحث

به روش خشک کن پاششی گزارش شده است [۲۴-۲۲]. بین مقادیر حاصل از آزمایشات و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، در پاسخ مقدار رطوبت همبستگی بالای مشاهده شد ( $R^2 = 0.992$ ). شکل ۲A نمایی سه بعدی از اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترن و صمغ عربی) در دمای  $140^\circ\text{C}$  بر میزان رطوبت پودرهای تولیدی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار رطوبت به میزان  $4/62\%$  در این دما در نسبت صفر به یک مالتودکسترن و صمغ عربی و درصد عوامل حامل  $30\%$  (کمینه مقدار حامل) مشاهده شد. به نظر می‌رسد مالتودکسترن بیش از صمغ عربی قادر به جذب رطوبت و کاهش آب آزاد نمونه شده است. همچنین طبیعی است که با افزایش درصد حامل‌ها از میزان آب آزاد (رطوبت محصول کاسته می‌شود. بنابراین کمترین میزان رطوبت  $0/312\%$ ) برای نسبت مالتودکسترن به صمغ عربی برابر یک به صفر و درصد مواد حامل  $50\%$  ثبت شد. Grabowski و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که مالتودکسترن نسبت به صمغ عربی تأثیر بیشتری بر کاهش محتوای رطوبت می‌گذارد [۲۵]. همچنین میکرو و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصاره ریزپوشانی شده سیب‌زمینی بنفس پوشش داده شده با مالتودکسترن گزارش کردند که مقدار رطوبت پودر تولیدی با افزایش مقدار مالتودکسترن کاهش پیدا می‌کند [۲۳]. مالتودکسترن‌ها به دلیل ساختار شیمیایی ویژه، به عنوان یک ماده خشک‌کننده مناسب و مقرر به صرفه برای تهیه پودر و ریزکپسول‌ها به کار می‌رود [۲۶]. با این حال صمغ عربی کمپلکسی هتروپلی ساکاریدی با ساختاری منشعب بوده که دارای گروه‌های هیدروفیل می‌باشد و در نتیجه با مولکول‌های آب پیوند داده و مانع خروج آنها می‌شود [۱۷]. بنابراین با افزایش نسبت صمغ عربی در ماده‌ی حامل رطوبت در پودرها نیز بیشتر شده است. همچنین در مورد تأثیر افزایش حرارت خشک کن بر کاهش رطوبت باید گفت که با افزایش حرارت سرعت حرکت ملکول‌ها افزایش یافته و افزایش فشار بخار، سرعت تبخیر افزایش و از میزان رطوبت محصول کاسته می‌شود [۲۴، ۲۷، ۲۸]. همچنین دمای بالا طرفیت جذب رطوبت بیشتری دارد. بنابراین رطوبت مورد نیاز خود را از محیط اطراف می‌گیرد و موجب کاهش رطوبت

بعد از انجام آزمایش‌ها و ثبت پاسخ‌ها و انجام تجزیه آماری، مدل مناسب با توجه به معنی‌دار بودن آزمون  $F (P \leq 0.01)$  معنی‌دار نبودن ضعف برازش ( $P > 0.05$ ) و همچنین بالاترین مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  تعديل شده و ضریب تغییرات انتخاب شد.

### ۱.۳. رطوبت

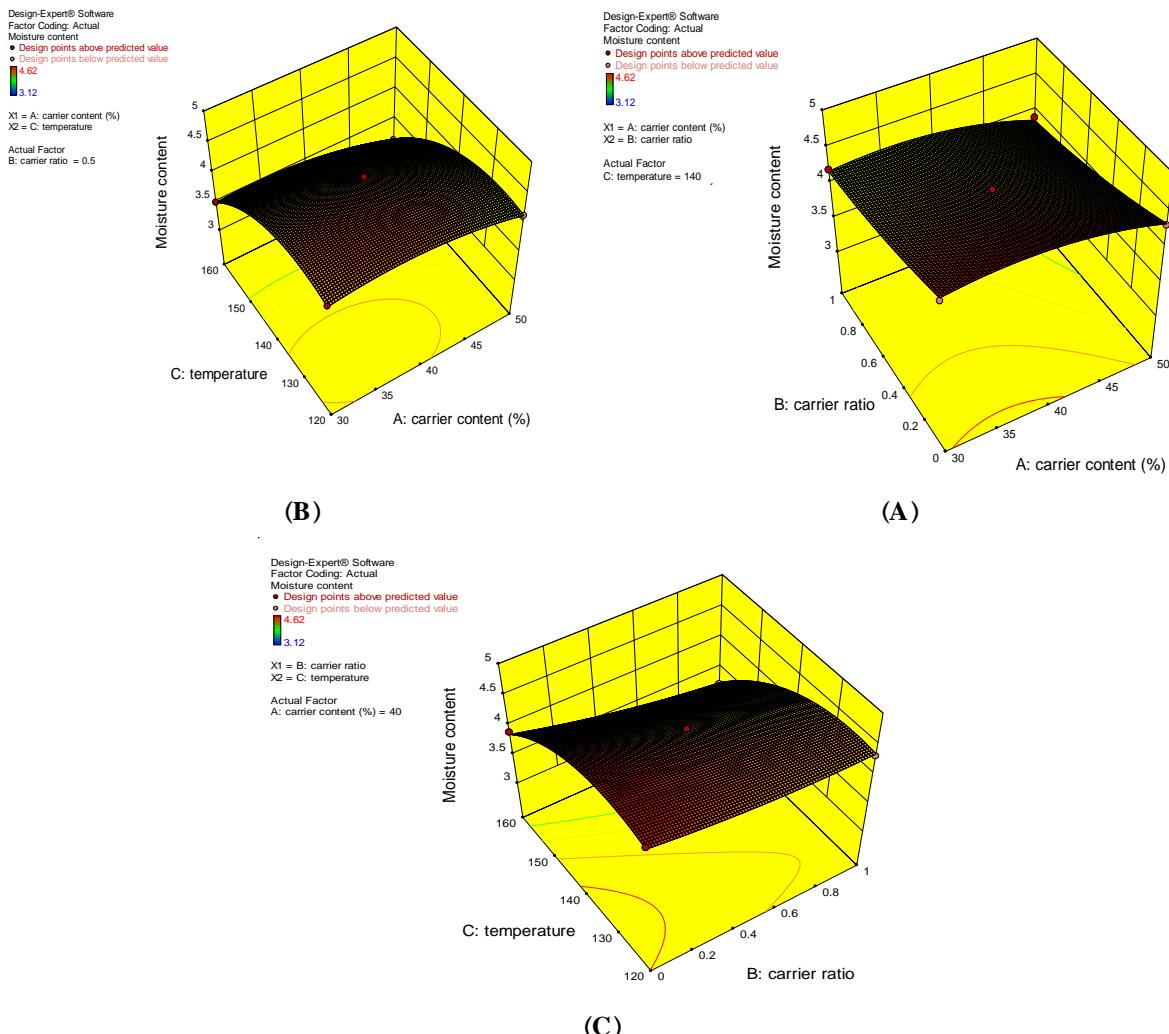
نتایج بررسی اثر فاکتورهای مستقل (غلظت مواد حامل، نسبت مالتودکسترن به صمغ عربی، دمای ورودی خشک کن افشاگری) بر رطوبت پودرهای تولیدی در شکل (۲) قابل مشاهده است. مدل مورد استفاده در این بررسی مدل درجه دوم بود. ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل پیش‌بینی شده در مورد پاسخ فوق  $0.9920$  و مقدار  $P$  برای آزمون ضعف برازش  $0.0804$  بود ( $P < 0.05$ ). این مقادیر بیانگر برازش مناسب مدل ارائه شده در معادله (۲) برای برآورده مقدار رطوبت بود. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی‌دار، معادله برازش داده شده رطوبت به شکل رابطه‌ی (۳) قابل ارائه است:

$$(3) Y = 4/33 - 0/14 A - 0/22 B - 0/47 C - 0/16 A^2 + 0/67 B^2 - 0/39 C^2 - 0/1 BC$$

همان‌طور که از معادله (۳) برمی‌آید اثرات خطی درصد عوامل حامل (مالتودکسترن و صمغ عربی) (A)، نسبت عوامل حامل (B)، و دمای ورودی خشک کن پاششی (C) در کنار جملات درجه دوم A2 و C2 و اثر متقابل B و C روی مقدار رطوبت پودرهای تولیدی تأثیر منفی داشت به عبارتی افزایش این عوامل باعث کاهش رطوبت پودرها گردید. اما جمله درجه دوم نسبت عوامل حامل ( $B^2$ ) تأثیر مثبت روی مقدار رطوبت نشان داد. از آنجایی که اثرات متقابل درصد و نسبت عوامل حامل (AB)، اثرات متقابل درصد عوامل حامل و دما (AC) تأثیر معنی‌داری بر رطوبت نداشت از مدل حذف شد ولی اثر متقابل نسبت عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن پاششی (BC) تأثیر معنی‌دار و منفی روی مقدار رطوبت داشت. در تمام نمونه‌ها رطوبت از  $3/12$  تا  $4/62\%$  متغیر بود. رطوبت زیر ۵٪ برای بسیاری از پودر نوشیدنی‌های تهیه شده

محصول می‌شود [۲۹]. نمایش سه بعدی اثر درصد عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن بر میزان رطوبت پودرهای متلودکسترنین به صفحه عربی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

محصول می‌شود [۲۹]. نمایش سه بعدی اثر درصد عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن بر میزان رطوبت پودرهای متلودکسترنین در شکل ۲B و نمایش سه بعدی اثر نسبت عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن



شکل (۲) (A) اثر درصد و نسبت عوامل حامل (متلودکسترنین و صفحه عربی) در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ( نقطه مرکزی )؛ (B) درصد عوامل حامل (متلودکسترنین و صفحه عربی) و دمای ورودی خشک کن در نسبت  $1/5$  متلودکسترنین به صفحه عربی ( نقطه مرکزی )؛ (C) اثر نسبت عوامل حامل (متلودکسترنین و صفحه عربی) و دمای ورودی خشک کن به صفحه عربی  $40\%$  متلودکسترنین به صفحه عربی ( نقطه مرکزی ) بر میزان رطوبت پودر خاک شیر

**Fig 1.** The effect of (A) carrier content (%) & carrier ratio (maltodextrin and gum arabic) at  $140^{\circ}\text{C}$  (Central point); (B) carrier content (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (Central point); (C) carrier ratio (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (central point) on moisture content of Flixweed seed powder

## ۳.۲ ضریب عدم حلالیت

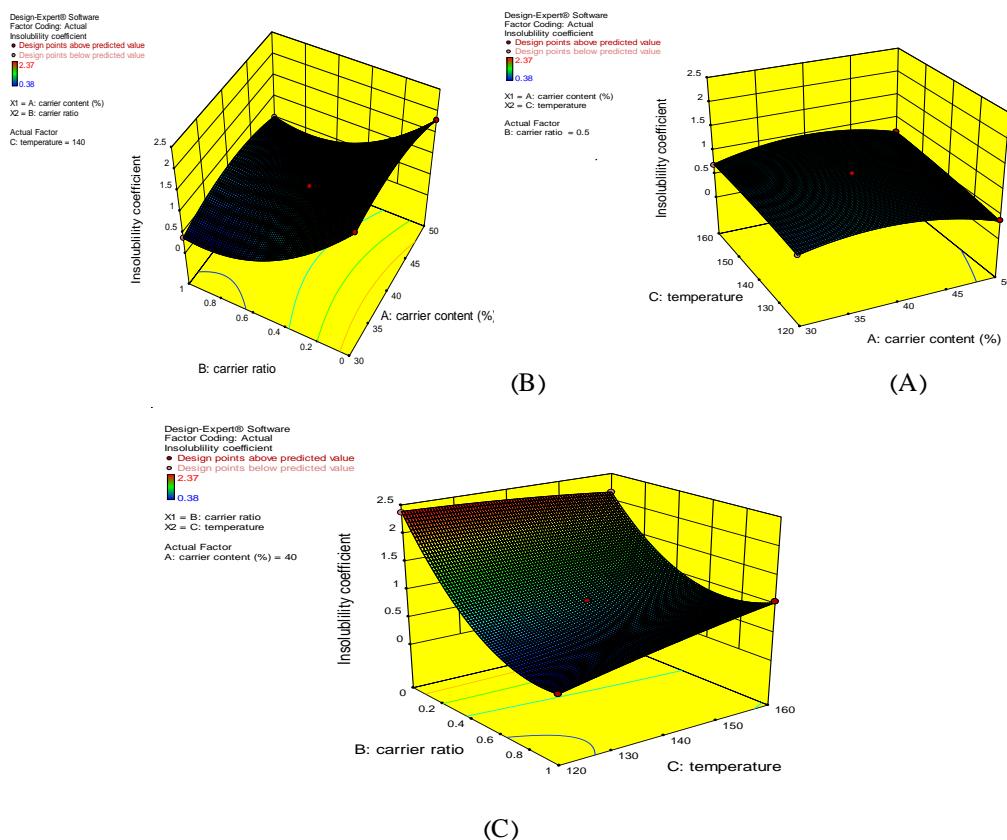
غیرقطبی در کنار ترکیبات قطبی را به دنبال داشته است که موجب افزایش مواد غیر قابل انحلال و در نتیجه کاهش ضریب حلالیت پودر نوشیدنی عصاره خاکشیر شده است [۳۰]. در این راستا فاضلی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر شرایط خشک کردن پاششی و استفاده از ترکیبات پوشش دهنده را بر روی ویژگی‌های فیزیکی پودر عصاره‌ی توت سیاه بررسی کردند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که مخلوط ۰٪ مالتودکسترنین و ۶٪ صمغ عربی بالاترین حلالیت (حدود ۸۷٪) را داشت [۳۱]. اما در پژوهش حاضر افزایش مالتودکسترنین تأثیر بیشتری بر حلالیت داشته است. همچنین Phongpipatpong و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند، در حرارت‌های پابین تر دمای ورودی خشک‌کن، با افزایش مالتودکسترنین بر سرعت حل شدن پودر نوشیدنی افزوده می‌شود [۳۲]. با این حال، این نتایج با نتایج برخی پژوهشگران همسو نبود. برای مثال پاتیل و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزودن درصد مواد مالتودکسترنین گروه‌های غیرقابل انحلال افزایش و در نتیجه از میزان ضریب انحلال پودر نوشیدنی گواوا کاسته شد. به عبارتی آن‌ها بیان کردند که هر چه میزان ماده‌ی خشک افزایش یابد شناسن خصوص مواد غیرقابل انحلال بیشتر می‌شود [۲۹]. از سوی دیگر نتایج به عبارتی با افزایش دما از میزان انحلال‌پذیری نمونه‌ها کاسته شد. این امر می‌تواند ناشی از تغییرات ساختار ترکیبات شیمیایی عصاره و حامل و در نتیجه کاهش انحلال‌پذیری آن‌ها باشد.

با توجه به شکل ۳B که اثر درصد عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن بر میزان ضریب عدم حلالیت پودرهای تولیدی در نسبت ۵/۰ مالتودکسترنین به صمغ عربی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش دما ضریب عدم حلالیت پودرهای تولیدی نیز افزایش یافته است. همان‌طور که گفته شد Phongpipatpong و همکاران (۲۰۰۷) نیز به تأثیر منفی افزایش حرارت بر سرعت انحلال پودرها اشاره کرده‌اند. احتمالاً حرارت بالا با تجزیه‌ی حرارتی ترکیبات حامل و حمل شونده از حلالیت آن‌ها کاسته است. با این حال، نتایج تحقیق شریفی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد افزایش درصد مالتودکسترنین یا صمغ عربی یا افزایش دما در افزایش حلالیت پودرها تأثیر معنی‌داری نداشت [۱۴].

ضریب عدم حلالیت در پودرهای خاکشیر بین ۰/۳۸ تا ۰/۳۷ (به عبارت ضریب حلالیت بسیار خوب ۹۹/۶۲ - ۹۷/۶۳٪) متغیر بود. در پژوهش‌های پیشین ضریب انحلال‌پذیری بین ۹۲ تا ۹۹٪ برای پودرهای نوشیدنی تهیه شده به روش خشک‌کن پاششی گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش قابل مقایسه است [۲۲]. مدل مورد برای برآورد این شاخص یک مدل درجه‌ی دوم بود. ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل برآورد ضریب عدم حلالیت ۰/۹۸۷ بود و مقدار P برای آزمون فقدان برازش ۰/۳۶۷۷ و به عبارتی معنی‌دار نبود ( $P > 0/05$ ). بنابراین مدل ارائه شده می‌تواند یک مدل مناسب برای پیش‌بینی ضریب عدم حلالیت پودر عصاره‌ی خاکشیر باشد. به این ترتیب معادله‌ی (۴) برای پیش‌بینی ضریب عدم حلالیت ارائه شد:

$$Y = 0/91 - 0/067A + 0/11C - 0/288A^2 + 0/053AC + 0/014AB + 0/23BC \quad (4)$$

اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترنین و صمغ عربی) و دمای خشک کن و همچنین رابطه‌ی متقابل آن‌ها بر میزان عدم حلالیت پودرهای تولیدی معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ) که همگی در رابطه‌ی (۴) قابل مشاهده است. اثرات خطی درصد عوامل حامل (مالتودکسترنین و صمغ عربی) (A)، نسبت عوامل حامل (B) تأثیر منفی معنی‌دار و دمای ورودی خشک‌کن پاششی (C) تأثیر مثبت معنی‌دار روی عدم حلالیت پودرهای تولیدی داشت ( $P \leq 0/05$ ). هر چه نسبت مالتودکسترنین به صمغ عربی بیشتر شد، انحلال‌پذیری نیز بیشتر شد. شکل (۳A) نمایش سه بعدی اثر درصد و نسبت عوامل حامل در دمای ۱۴۰ °C بر میزان ضریب عدم حلالیت پودرهای تولیدی را نشان می‌دهد. افزایش درصد و نسبت عوامل حامل باعث کاهش مقدار ضریب عدم حلالیت شد. تأثیر منفی نسبت عوامل حامل بیشتر بود. افزایش نسبت مالتودکسترنین کاهش ضریب عدم حلالیت را به دنبال داشت. مالتودکسترنین و صمغ عربی گروه‌های آبدوست بسیاری دارند و همین امر احتمالاً بر میزان انحلال‌پذیری پودرهای حاوی مقدار بیشتر حامل افزوده است [۱۷]. از آنجایی که عصاره‌گیری از خاکشیر به کمک روش اهمیک انجام شد، احتمالاً استخراج ترکیبات



شکل (۳) (A) اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکستربین و صمغ عربی) در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ( نقطه مرکزی )؛ (B) درصد عوامل حامل (مالتودکستربین و صمغ عربی) و دمای ورودی خشک کن در نسبت  $1/5$  مالتودکستربین به صمغ عربی ( نقطه مرکزی )؛ (C) اثر نسبت عوامل حامل (مالتودکستربین و صمغ عربی) و دمای ورودی خشک کن در مقدار  $40\%$  درصد مالتودکستربین به صمغ عربی ( نقطه مرکزی ) بر ضریب انحلال ناپذیری پودر خاک شیر

**Fig 3.** The effect of (A) carrier content (%) & carrier ratio (maltodextrin and gum arabic) at  $140^{\circ}\text{C}$  (Central point); (B) carrier content (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of  $40\%$  (Central point); (C) carrier ratio (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of  $40\%$  (central point) on insolubility coefficient of Flixweed seed powder

به صمغ عربی نشان داده شده است.

مدل مورد استفاده در این بررسی یک مدل درجه دوم با ضریب تبیین ( $R^2$ ) برابر  $0.9802$  بود. همچنین مقدار P برای آزمون فقدان برازش  $0.05813 / 0.050 < 0.05$  (P). این مقادیر بیانگر برازش مناسب مدل ارائه شده برای فعالیت آنتیاکسیدانی است که این مدل در رابطه (۵) قابل مشاهده است:

$$Y = \frac{41}{33} - \frac{4}{93}A - \frac{0.57}{58}B + \frac{2.20}{20}A^2 \quad (5)$$

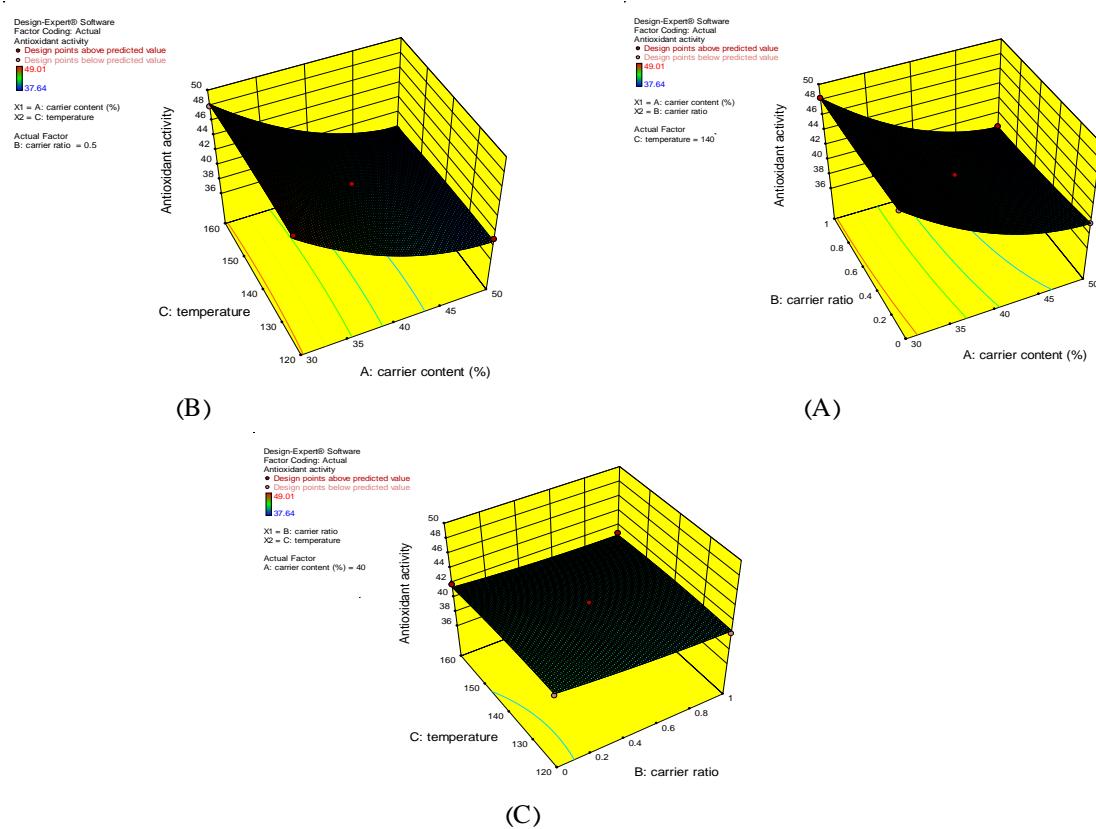
با توجه به معادله حاصل اثرات خطی درصد عوامل حامل (مالتودکستربین و صمغ عربی) (A) و نسبت عوامل حامل (B) تأثیر معنی دار و منفی روی فعالیت آنتی اکسیدانی

### ۳.۲. فعالیت آنتی اکسیدانی

با توجه به شرایط متغیر تیمارها از نظر نوع و نسبت و درصد عوامل حامل و دمای خشک کن میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه ها از  $37/64\%$  تا  $49/01\%$  متفاوت بود. در شکل ۴A اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکستربین و صمغ عربی) در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  بر فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای تولیدی قابل مشاهده است. در شکل (۴B) اثر درصد عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن بر فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای تولیدی در نسبت  $1/5$  مالتودکستربین به صمغ عربی و شکل (۴C) نیز اثر نسبت عوامل حامل و دمای ورودی خشک کن بر فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای تولیدی در مقدار  $40\%$  مالتودکستربین

شده نداشت [۱۱]. اگرچه انتظار می‌رفت با افزایش دما از میزان فعالیت آنتیاکسیدانی پودر نوشیدنی کاسته شود اما این شاخص تأثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنتیاکسیدانی پودرها نداشت و بنابراین از رابطه‌ی برآورد فعالیت آنتیاکسیدانی حذف شد. برخی دیگر از محققین نیز دمای ورودی خشک کن تا  $150^{\circ}\text{C}$  را بر ویژگی آنتیاکسیدانی بیشتر آن‌ها تأثیری بر ویژگی آنتیاکسیدانی محصول نداشته است. اندازه ملکولی دیواره‌های مورد استفاده، نیز نقش مهمی در خروج عصاره دارند، به این ترتیب با افزایش مواد حامل انتشار ملکولی ترکیبات زیست فعال به داخل پوسته اطراف ریزکپسول‌ها و جابجایی آنها به سطح کاهش می‌یابد [۲۳]. در تحقیقات مرتبط با این موضوع نتایج مختلفی دیده می‌شود. برای مثال متینی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود اعلام کردند که نسبت مالتودکسترین و صمغ عربی تأثیری در فعالیت آنتیاکسیدانی عصاره انگور ریز پوشانی

داشت ( $P \leq 0.05$ ). افزایش درصد و نسبت عوامل حامل فعالیت آنتیاکسیدانی را کاهش داد. که تأثیر کاهشی درصد عوامل حامل شدیدتر بود. طبیعی است که ترکیبات حامل ویژگی آنتیاکسیدانی برجسته‌ای ندارند و بنابراین مقادیر بیشتر آن‌ها تأثیری بر ویژگی آنتیاکسیدانی محصول نداشته است. اندازه ملکولی دیواره‌های مورد استفاده، نیز نقش مهمی در خروج عصاره دارند، به این ترتیب با افزایش مواد حامل انتشار ملکولی ترکیبات زیست فعال به داخل پوسته اطراف ریزکپسول‌ها و جابجایی آنها به سطح کاهش می‌یابد [۲۳]. در تحقیقات مرتبط با این موضوع نتایج مختلفی دیده می‌شود. برای مثال متینی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود اعلام کردند که نسبت مالتودکسترین و صمغ عربی تأثیری در فعالیت آنتیاکسیدانی عصاره انگور ریز پوشانی



شکل (۴) (A) اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترین و صمغ عربی) در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ( نقطه مرکزی )؛ (B) درصد عوامل حامل (مالتودکسترین و صمغ عربی) و دمای ورودی خشک کن در نسبت ۵/۰ مالتودکسترین به صمغ عربی ( نقطه مرکزی )؛ (C) اثر نسبت عوامل حامل مالتودکسترین و صمغ عربی و دمای ورودی خشک کن در مقدار ۴۰ درصد مالتودکسترین به صمغ عربی ( نقطه مرکزی ) بر فعالیت آنتیاکسیدانی پودر خاک شیر

**Fig 4.** The effect of (A) carrier content (%) & carrier ratio (maltodextrin and gum arabic) at  $140^{\circ}\text{C}$  (Central point); (B) carrier content (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (Central point); (C) carrier ratio (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (central point) on antioxidant activity of Flixweed seed powder

#### ۴.۳ میزان ترکیبات فنلی کل

مقدار ترکیبات فنلی کل در نمونه‌های پودر تولیدی از ۳۸/۴۱ تا ۵۹/۰۴ mgr گالیک اسید در ۱۰۰ gr متغیر بود. نتایج حاکی از این بود حضور حامل‌های هیدروکلوریدی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حفظ ترکیبات فنلی در مقابل شرایط محیطی داشته است. که این نتایج با یافته‌های پژوهش‌گران پیشین همخوانی داشت [۳۵، ۳۴]. مدل درجه دوم طراحی شده (رابطه‌ی ۶) به منظور برآورد میزان ترکیبات فنلی کل پودر بر اساس نسبت عوامل حامد و دمای ورودی خشک کن پاششی مدل قوی بود که ضریب تبیین آن برابر ۹۹۹۵/۰ بود. ضمن اینکه مقدار P برای آزمون فقدان برازش ۳۷۲۵/۰ بود که در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود. رابطه‌ی (۶) معادله‌ی پیش‌بینی ترکیبات فنلی کل، بعد از حذف عوامل غیر مؤثر را نشان می‌دهد:

$$Y = 49/51 - 5/20 A - 5/0.2C \quad (6)$$

رابطه‌ی (۶) نشان می‌دهد که تنها اثر خطی درصد عوامل حامل (مالتودکسترن و صمغ عربی) (A) و دمای ورودی خشک کن پاششی (C) تأثیر معنی‌دار بر معادله‌ی پیش‌بینی ترکیبات فنلی کل داشته است که تأثیر منفی بود ( $P \leq 0.05$ ).

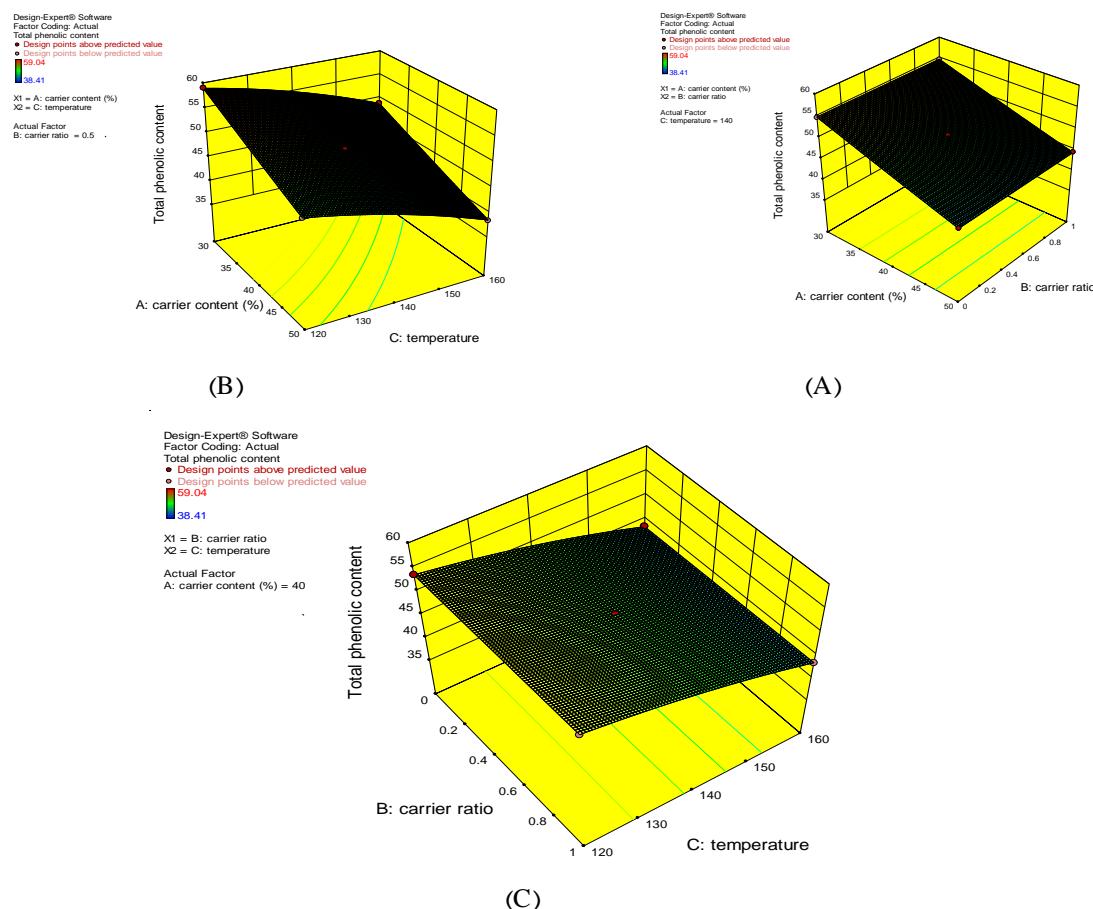
به عبارتی افزایش درصد عوامل حامل و افزایش دمای خشک کن موجب تخریب و در نتیجه کاهش ترکیبات فنلی شده است. ترکیبات فنلی در طی فرآیند تولید در اثر افزایش دما تخریب می‌شوند. افزایش دما منجر به کاهش ترکیبات فنلی نمونه‌های ریزپوشانی شده می‌شود [۳۶].

در این تحقیق نوع عوامل حامل روی مقدار ترکیبات فنلی تأثیر نداشت. محققان نشان دادند ترکیب دیواره مالتودکسترن و صمغ عربی برای محافظت ترکیبات فنلی

مناسب است. مالتودکسترن انحلال‌پذیری بالاتری در آب دارد، زیرا ترکیب امولسیون پایدار داده و مواد فرار را به خوبی نگهداری می‌کند. بنابراین افزایش آن می‌تواند باعث بهبود حفظ ترکیبات فنلی باشد [۳۵، ۳۷، ۳۸]. در تحقیقات مشابه دیگری نیز به اثر خشک کردن پاششی و دمای ورودی آن، در کاهش ترکیبات فنلی در پودرهای مختلف همچون پالپ گوجه [۳۹]، هویج سیاه [۱۶] و میوه گاک<sup>۱</sup> [۴۰] اشاره شده است. در شکل (A-C) اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترن و صمغ عربی) و دما در میزان ترکیبات فنلی کل دیده می‌شود.

#### ۴.۵ بهینه سازی

در فرآیند خشک کردن یا ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال عصاره خاکشیر، دستیابی به بیشترین میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتیاکسیدانی و کمترین میزان رطوبت و عدم حلالیت به عنوان اهداف مورد نظر آزمایشات در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفت. شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه‌سازی، سطوح پاسخ و متغیرهای مستقل تنظیم شد. با استفاده از تکنیک تابع مطلوبیت بهترین پاسخ‌ها به دست آمد. نتایج شرایط بهینه خشک کردن عصاره خاکشیر شامل دمای ورودی خشک کن ۱۶۰°C، درصد عوامل حامل (مالتودکسترن و صمغ عربی) ۳۰٪ و نسبت عوامل حامل ۱ به صفر و به عبارتی حضور مالتودکسترن به تنهایی بود که در این شرایط مقدار رطوبت ۳/۲۵٪، ضریب عدم حلالیت ۰/۶۳۶٪، فعالیت آنتی اکسیدانی ۴۸/۲۱٪ و ترکیبات فنلی ۴۸/۸۱mgr اسید گالیک در ۱۰۰ gr نمونه و مطلوبیت به دست آمده در شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ‌های مورد بررسی، ۰/۷۷۷ بود.



شکل (۵) (A) اثر درصد و نسبت عوامل حامل (مالتودکسترين و صمغ عربى) در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ( نقطه مرکزی )؛ (B) درصد عوامل حامل (مالتودکسترين و صمغ عربى) و دمای ورودی خشک کن در نسبت  $1/5$  مالتودکسترين به صمغ عربى ( نقطه مرکزی )؛ (C) اثر نسبت عوامل حامل (مالتودکسترين و صمغ عربى) و دمای ورودی خشک کن در مقدار  $40\%$  مالتودکسترين به صمغ عربى ( نقطه مرکزی ) بر میزان ترکیبات فنلی پودر خاکشیر

**Fig 5.** The effect of (A) carrier content (%) & carrier ratio (maltodextrin and gum arabic) at  $140^{\circ}\text{C}$  (Central point); (B) carrier content (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (Central point); (C) carrier ratio (%) and inlet temperature with maltodextrin to arabic gum ratio of 40% (central point) on total phenolic content of Flixweed seed powder

نهایی شدتی از آنها گزارش نشود. در روش تعیین اندازه ذرات بر اساس حجم میانگین اندازه ذرات  $3711/57 \text{ nm}$  تعیین شد. در تعیین اندازه ذرات بر اساس تعداد ذرات در هر نیز نتایج میانگین اندازه ذرات  $3318/77 \text{ nm}$  تعیین شد. بنابراین اندازه ذرات تهیه شده به کمک خشک کن پاششی در ابعاد میکرومتر بودند. بسیاری از پژوهشگران روش خشک کن پاششی را برای تهیه نانو ذرات مناسب ندانسته اند و در گزارش خود ابعاد میکرومتر را برای ذرات زیست فعال درون پوشانی شده به این روش گزارش کردند. همچنین کنترل اندازه ذرات در این روش چالش برانگیز

### ۶.۳ بررسی اندازه ذرات

اندازه ذرات نمونه پودر بهینه با دستگاه (DLS) تعیین گردید. اندازه ذرات بر اساس شدت، تعداد ذرات و بر اساس حجم گزارش شد. آزمایشات در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  انجام شد. ویسکوزیته پلی دیسپرس تهیه شده  $893 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  بود. در تعیین اندازه ذرات بر اساس شدت، طبق نتایج میانگین اندازه ذرات  $4475/93 \text{ nm}$  و همچنین میانگین  $Z$  نیز برای این روش  $6364/27 \text{ nm}$  تعیین شد. ذرات بزرگتر شدت بیشتری از خود پراش می کنند و این امر موجب شد تا در برخی موارد ذرات کوچک از دید حسگرها پنهان بمانند و در نتیجه

نتایج حاکی از این بود که طعم نمونه‌ی نوشیدنی حاصل از عصاره به شکل معنی‌داری برتر از نمونه‌ی حاصل از پودر نوشیدنی بود. مواد معطر ترکیبات فراری هستند که می‌تواند طی فرایند درون‌پوشانی از عصاره خارج شوند. از سوی دیگر فرایند حرارتی می‌تواند موجب تخرب ترکیبات مولد بو و طعم شود. استفاده از روش‌های غیر حرارتی مانند خشک کن انجامدادی یا خشک کن پاششی انجامدادی احتمالاً می‌تواند موجب تولید پودرهایی با طعم بیشتر و بهتر شود [۲۶]. با این حال نمونه‌ی بازآبپوشی شده نیز امتیاز بالای ۳ را دریافت کرد و در مجموع از نظر ارزیاب‌ها قابل قبول برآورد شد. از نظر بافت امتیاز نمونه‌ی بازآبپوشی شده کمی بیشتر از نمونه‌ی حاصل از عصاره بود هر چند این تفاوت اندک در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود اما برخی از ارزیاب‌ها قوام داشتن نمونه‌ی بازآبپوشی شده اشاره کردند که این امر می‌تواند ناشی از اثر مالتودکسترنین و به ویژه صمغ عربی بر بافت نمونه باشد.

است. اندازه‌ی ذرات درون پوشانی شده به روش خشک‌کن پاششی وابسته به اندازه‌ی نازل اسپری، موقعیت نازل، سرعت انتقال مایع، فشار پاشش و غلظت محلول ورودی به خشک‌کن دارد [۲۶، ۳۳، ۴۱].

۷.۳ ارزیابی حسی

اگر چه پودر نوشیدنی حاصل از عصاره‌ی خاکشیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مناسبی را نشان داد. اما اگر این پودر از ویژگی‌های حسی مطلوبی برخوردار نباشد نمی‌تواند به عنوان یک محصول عملگرا جای خود را در بازار باز کند. بنابراین انجام آزمون‌های حسی حائز اهمیت ویژه است [۴۲]. مقایسه‌ی نتایج ارزیابی حسی پودر عصاره بازآبپوشی شده و عصاره اولیه قبل از خشک کردن در جدول (۲) آمده است. از نظر وضعیت ظاهری، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی بین امتیازهای پودر عصاره بازآبپوشی شده و عصاره اولیه قبل از خشک کردن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. هرچند، وضعیت ظاهری، عطر و بو و پذیرش کلی در نمونه‌ی عصاره اولیه بهتر از نمونه‌ی پودری تهیه شده بود. در مورد طعم

**جدول (۲) ارزیابی حسی پودر بهینه بازآبپوشی شده و عصاره خاکشیر قبل از خشک کردن**

**Table 2.** Sensory evaluation of optimal reconstructed flixweed seed powder and flixweed seed extract before drying

نمونه Samples	وضعیت ظاهری Appearance	طعم Taste	عطر و بو Aroma	بافت Texture	پذیرش کلی Overall acceptance
A	$3.73 \pm 0.59^{\text{a}}$	$3.20 \pm 1.86^{\text{b}}$	$3.00 \pm 0.61^{\text{a}}$	$4.20 \pm 0.67^{\text{a}}$	$3.20 \pm 0.67^{\text{a}}$
B	$4.26 \pm 0.59^{\text{a}}$	$4.40 \pm 0.50^{\text{a}}$	$3.46 \pm 0.65^{\text{a}}$	$4.47 \pm 0.64^{\text{a}}$	$3.80 \pm 0.56^{\text{a}}$

A: پودر بهینه خاکشیر بازآبیوشی شده (optimal reconstructed flixweed seed powder)؛ B: عصاره خاکشیر قبل از خشک کردن (extract before drying)

\*حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو نمونه است ( $p < 0.05$ )

Different small letters in each column indicate significant difference between samples ( $p < 0.05$ ).

آنچه اکسیدانی) به کمک روش سطح پاسخ بهینه شد. افزایش دمای ورودی خشک کن ( $160^{\circ}\text{C}$ ) و کاهش غلظت صمغ عربی (نسبت مالتودکسترن به صمغ عربی برای ۱۰۰ به صفر) در کنار تنظیم حامل در مقدار ۳۰٪ بهترین نتیجه را حاصل کرد. نوشیدنی تهیه شده در شرایط بهینه از نظر ویژگی‌های حسی تفاوت معنی‌داری با عصاره‌ی استخراج شده (خشک نشده) نداشت. در مجموع به نظر می‌رسد غلظت ۳۰٪ مالتودکسترن (نسبت به عصاره) به خوبی، توانسته است

۴. نتیجہ گیری

در پژوهش حاضر مواد ترکیبات زیست فعال خاکشیر با روش اهمیک و با کمک حلل آب استخراج شد. سپس تهیه پودر نوشیدنی خاکشیر به کمک خشک کن افشارهای بر پایه‌ی سه متغیر ورودی شامل نسبت‌های مختلف مالتودکسترین به صمغ عربی، درصد ماده‌ی حامل و دمای ورودی خشک کن و چهار متغیر خروجی (میزان رطوبت، ضرب انحصاری، ترکیبات فنل، کل و فعالیت

اینکه در صورتی که هدف تولید نانو ذرات باشد بهتر از سایر روش‌های درون پوشانی از جمله روش الکتروریسی استفاده شود.

از عصاره خاکشیر در برابر حرارت خشک کردن محافظت کند. با این حال پژوهش‌های بیشتری به منظور بررسی پایداری پودر نوشیدنی فوری خاکشیر تحت شرایط نگهداری مختلف و در بازه‌ی زمانی طولانی مدت مورد نیاز است. ضمن

## منابع

- [1] Hooper, L. & Cassidy, A. (2006). A review of the health care potential of bioactive compounds. *J. Sci. Food Agr.*, 86(12), 1805-1813.
- [2] Szeto, Y., Kwok, T.C. & Benzie, I.F. (2004). Effects of a long-term vegetarian diet on biomarkers of antioxidant status and cardiovascular disease risk. *Nutr. J.*, 20(10), 863-866.
- [3] Souri, E., Amin, G., Farsam, H., & Barazandeh, T.M. (2008). Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *Daru J. Pharm. Sci.*, 16(2), 83-87.
- [4] Nimrouzi, M. & Zarshenas, M.M. (2016). Phytochemical and pharmacological aspects of *Descurainia sophia* Webb ex Prantl: modern and traditional applications. *Avicenna J. Phytomed.*, 6(3), 266.
- [5] Li, J., Liu, X., Dong, F., Xu, J., Zheng, Y., & Shan, W. (2010). Determination of the volatile composition in essential oil of *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl (Flixweed) by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). *Molecules*, 15(1), 233-240.
- [6] Aspé, E. & Fernández, K. (2011). The effect of different extraction techniques on extraction yield, total phenolic, and anti-radical capacity of extracts from *Pinus radiata* Bark. *Ind. Crops Prod.*, 34(1), 838-844.
- [7] Quarini, G. (1995). Thermalhydraulic aspects of the ohmic heating process. *J. Food Eng.*, 24(4), 561-574.
- [8] Shahidi, B., Sharifi, A., Nasiraei, L.R., Niakousari, M., & Ahmadi, M. (2020). Phenolic content and antioxidant activity of flixweed (*Descurainia sophia*) seeds extracts: Ranking extraction systems based on fuzzy logic method. *Sustain. Chem. Pharm.*, 16, 100245.
- [9] Damyeh, M.S., & Niakousari, M. (2017). Ohmic hydrodistillation, an accelerated energy-saver green process in the extraction of *Pulicaria undulata* essential oil. *Ind. Crops Prod.*, 98, 100-107.
- [10] Hardy, Z., & Jideani, V.A. (2017). Foam-mat drying technology: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57(12), 2560-2572.
- [11] Matini, S., Mortazavi, S.A., Sadeghian, A.R., & Sharifi, A. (2018). Studying Physicochemical Properties of Sardasht Red Grape Skin Encapsulated Extract and Stability Evaluation of These Compounds in Yoghurt. *J. Res. Innov. Food Sci. Technol.*, 7(3), 241-252.
- [12] Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Res. Int.*, 43(3), 907-914.
- [13] Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *J. Food Eng.*, 88(3), 411-418.
- [14] Sharifi, A., Niakousari, M., Maskooki, A., & Mortazavi, S. (2015). Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry (*Berberis vulgaris*) extract powder. *Int. Food Res. J.*, 22(6), 25-31.
- [15] Rosenberg, M., Kopelman, I., & Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *J. Agric. Food Chem.*, 38(5), 1288-1294.
- [16] Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *J. Food Eng.*, 80(3), 805-812.
- [17] Kursian, M., Sharifi, A., Mahdavian, E., & Blurjan, S. (2015). Physical properties of black currant extract of black raspberry extract prepared by spray drying method. *J. Innov. Food Sci. Technol.*, 7(4), 85-94.
- [18] ISO, 1999, *Animal feeding stuffs – Determination of moisture and other volatile matter content*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization: International Organization for Standardization.
- [19] Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch- Starke*, 22(4), 130-135.
- [20] Shahidi, F., & Naczk, M. (2003). *Phenolics in food and nutraceuticals*. Florida, USA: CRC press.
- [21] Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L., & Debut, A. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using

- Andean blackberry fruit extract. *Saudi J. Biol. Sci.*, 24(1), 45-50.
- [22] Yusof, N., Adzahan, M.M., & Muhammad, K. (2020). Optimization of Spray Drying Parameters for White Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Juice Powder using Response Surface Methodology (RSM). *Mal. J. Fund. Appl. Sci.*, 5(2), 45-56.
- [23] Mikro, K.P.G. (2018). Physicochemical properties of encapsulated purple sweet potato extract; effect of maltodextrin concentration, and microwave drying power. *Mal. J. Anal. Sci.*, 22(4), 612-618.
- [24] Shishir, M.R.I., Taip, F.S., Aziz, N.A., Talib, R.A., & Sarker, M.S.H. (2016). Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Sci. Biotechnol.*, 25(2), 461-468.
- [25] Grabowski, J., Truong, V.D., & Daubert, C. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *J. Food Sci.*, 71(5), E209-E217.
- [26] Sharif, N., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S.M. (2020). Nano/microencapsulation of anthocyanins; a systematic review and meta-analysis. *Food Res. Int.*, 132, 109077.
- [27] Yu, H., & Huang, Q. (2010). Enhanced in vitro anti-cancer activity of curcumin encapsulated in hydrophobically modified starch. *Food Chem.*, 119(2), 669-674.
- [28] Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *J. Food Eng.*, 66(1), 35-42.
- [29] Patil, V., Chauhan, A.K., & Singh, R.P. (2014). Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technol.*, 253, 230-236.
- [30] Li, X., Ye, C., Tian, Y., Pan, S., & Wang, L. (2018). Effect of ohmic heating on fundamental properties of protein in soybean milk. *J. Food Process Eng.*, 41(3), e12660.
- [31] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi-Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice. *Int. J. Food Eng.*, 8(1), 1-20.
- [32] Phongpipatpong, M., Patamarajvichian, P., Namkhot, S., & Amornviriyakul, S. (2007) Optimization of spray drying condition for longan drink powder using response surface methodology. in: Proceeding of the 1<sup>st</sup> Int. Worksh. Tropic. Subtropic. Fruits (pp. 784-787), Chiang Mai, Thailand.
- [33] Khoshnoudi-Nia, S., Forghani, Z., & Jafari, S.M. (2020). A systematic review and meta-analysis of fish oil encapsulation within different micro/nanocarriers. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1-22.
- [34] Araujo, H.C.S., Jesus, M., Leite Neta, M., Gualberto, N., Matos, C., Rajan, M., Rajkumar, G., Nogueira, J., & Narain, N. (2020). Effect of maltodextrin and gum arabic on antioxidant activity and phytochemical profiles of spray-dried powders of sapota (*Manilkara zapota*) fruit juice. *Dry. Technol.*, 1-13.
- [35] Ghandehari Yazdi, A., Barzegar, M., Sahari, M., & Ahmadi Gavighi, H. (2021). Encapsulation of Pistachio Green Hull Phenolic Compounds by Spray Drying. *J. Agric. Sci. Technol.*, 23(1), 51-64.
- [36] Kuck, L.S., & Noreña, C.P.Z. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chem.*, 194, 569-576.
- [37] Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 45(7), 1386-1394.
- [38] YousefiI, S. (2018). Optimization of Spray Drying Process to Produce Microencapsulated Powders of Functional Extract Obtained from Red-Beet. *J. Food Technol. Nutr.*, 15(2), 31-44.
- [39] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., Chatzitakis, P.C., & Nikas, V.A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *J. Food Eng.*, 74(1), 37-46.
- [40] Tuyen, C.K., Nguyen, M.H., & Roach, P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J. Food Eng.*, 98(3), 385-392.
- [41] Paim, D.R., Costa, S.D., Walter, E.H., & Tonon, R.V. (2016). Microencapsulation of probiotic jussara (*Euterpe edulis* M.) juice by spray drying. *LWT. Food Sci. Technol.*, 74, 21-25.
- [42] Youseftabar-Miri, N., Sedaghat, N., & Khoshnoudi-Nia, S. (2020). Effect of active edible coating on quality properties of green-raisin and ranking the samples using fuzzy approach. *J. Food Meas. Charact.*, 15(1), 46-58.

**Research Article****Phytochemical properties evaluation of drink powder of flixweed (*Descurainia Sophia*) extract produced by ohmic heating**

**Bahar Shahidi<sup>1</sup>, Akram Sharifi<sup>2</sup>, Leila Roozbeh-Nasirai<sup>3\*</sup>, Mehrdad Niakousari<sup>4</sup>, Mohammad Ahmadi<sup>3</sup>**

**1. Ph.D. graduated, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University of Nour**

**2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Qazvin**

**3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University of Nour**

**4. Professor, Food Science and Technology Department, University of Shiraz**

**Abstract**

Flixweed (*Descurainia sophia*) seeds (FS) is a rich source of polyphenols, such as coumarin compounds, flavonoids, flavonol glycoside and phenolic acids. In this study bioactive compounds of FS were extracted using ohmic-assisted extraction with water as a solvent. Drink powder was produced from extract with carrier ratios of 50-50, 0-100 and 100-0 of maltodextrin to gum Arabic and carrier content of 30-50% at 120, 140 and 160 °C using spray dryer. The powders physicochemical properties including moisture content, insolubility, particle size, total phenolic compounds and antioxidant activity of produced powers were evaluated. The optimal powder of response surface methodology was selected and the extract was reconstructed in such a way that the amount of solid material was similar to the solid material of the initial extract then in term of appearance, taste, aroma, texture and overall acceptance were evaluated. The results of the powder production showed the effects of the percentage and ratio of carriers (maltodextrin and gum arabic) and the effect of temperature on the moisture content and insolubility were significant. The carrier's percentage and the drying temperature had a significant effect on the antioxidant activity. The percentage and ratio of carriers had a significant effect on amount of total phenolic compounds at level of 5%. Optimization by response surface methodology was selected powder sample produced at 160 °C with a ratio of maltodextrin to arabic gum of 100-0 and carrier content of 30% as an optimal treatment. The particle size of the powders ranged from 2617 to 4664 nm. Comparison of sensory evaluation of optimal reconstructed powder with FS extract before drying showed there was no significant difference between two samples in terms of appearance, taste, aroma, texture and overall acceptance scores.

**Keywords:** Flixweed Seeds; Antioxidant Activity; Ohmic-Assisted Extraction; Spray Drying; Phenolic Contents

---

\* Corresponding authors: l\_roozbehnasiraii@iaunour.ac.ir