

بهینه سازی ریزپوشانی ترکیبات پلی فنولی ضایعات غوره (*Vitis vinifera*) با مالتودکسترین و صمغ دانه ریحان

بهرام حسنی^۱، فخری شهیدی^۲، سید علی مرتضوی^{۲*}، محبت محبی^۲، رضا فرحوش^۲

۱ دانشجوی دکتری، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲ استاد، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

ریزپوشانی ترکیبات پلی فنولی با هدف بهبود پایداری و رهائش آن ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر عصاره پلی فنولی ضایعات غوره استخراج شده توسط اثر توام تیمار آنزیمی و فراصوت توسط مالتودکسترین و صمغ دانه ریحان ریزپوشانی شد. جهت بهینه سازی تهیه میکروکپسول ها، از روش سطح پاسخ استفاده گردید. این طراحی شامل ۳ متغیر مستقل سطح مالتودکسترین، سطح صمغ دانه ریحان (BSG) و دمای ورودی خشک کن پاششی بود. طراحی آزمون در قالب طرح مرکب مرکزی و ۴ تکرار در نقطه مرکزی انجام گرفت. طبق نتایج، افزایش دمای ورودی خشک کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان حامل، کارایی ریزپوشانی و فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول ها را به صورت غیرخطی کاهش داد. افزایش دمای خشک کن و سطح حامل BSG منجر به کاهش غیر خطی کارایی ریزپوشانی و محتوای رطوبت کپسول های عصاره گردید. افزایش هر دو عامل پوشش دهی موجب افزایش حلالیت کپسول ها و کاهش غیرخطی ظرفیت جذب آب و کاهش خطی دانسیته توده کپسول ها گردید. شرایط بهینه شامل ۱۲/۱۲۹ درصد مالتودکسترین، ۰/۵ درصد BSG و دمای ورودی خشک کن ۱۷۷/۲۲ درجه سانتی گراد بود و در این شرایط بهینه، کارایی ریزپوشانی ۷۵/۶۰ درصد، فعالیت آنتی اکسیدانی ۶۳/۶۵۷ درصد، محتوای رطوبت ۲/۰۶۴ درصد، حلالیت در آب ۷۳/۳۳۹ درصد، ظرفیت جذب آب ۴۵/۸۸g/100g، دانسیته توده ۰/۴۵۴g/cm^۳ و فعالیت آبی ۰/۲۳۲ پیش بینی گردید. از آنجایی که مطلوبیت این مدل برای بهینه سازی تولید کپسول های عصاره ضایعات غوره ۸۰/۳۷ درصد بود، بنابراین این مدل قابلیت خوبی جهت بهینه سازی تولید کپسول های عصاره غوره از خود نشان داد.

کلید واژگان: غوره، مالتودکسترین، ریزپوشانی، صمغ دانه ریحان

جهت افزایش پایداری ترکیبات فعال زیستی با هدف بکارگیری آن‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی، یکی از بهترین روش‌ها، ریز پوشانی می‌باشد. ریزپوشانی یا میکروانکپسولاسیون فرایندی است که در آن ذرات ریز و قطرات یک ماده به وسیله مواد مختلف پوشانده می‌شوند تا خصوصیات مفید آنها حفظ گردد. یکی از روش‌های انکپسولاسیون استفاده از خشک کن پاششی است (۱۸). طی فرایند ریزپوشانی از انواع مختلف کربوهیدرات‌ها (نشاسته، مالتودکسترین، شربت ذرت، ساکارز و ..)، سلولز (کربوکسی متیل سلولز، متیل سلولز، اتیل سلولز و ...)، صمغ‌ها (صمغ آکاسیا، سدیم آلژینات و ...)، چربی‌ها (واکس، پارافین، بیس واکس و ...)، پروتئین‌ها (گلوتن، کازئین، ژلاتین و ...) و پلیمرهایی با درجه غذایی (پلی پروپیلن، پلی وینیل، استات و ...) غالباً به عنوان ماده ی دیواره یا حامل استفاده می‌شود (۳). بسیاری از تکنیک‌های ریزپوشانی مرسوم و پیشرفته وجود دارند که برای انواع مواد غذایی مناسب هستند (۱۹).

انتخاب روش ریزپوشانی بسته به اندازه، فراهمی زیستی و زیست تخریب پذیری ریزذرات، ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی هسته و دیواره، کاربرد مواد ریزپوشانی شده و انتشار مواد فعال متفاوت است (۳۷). ریزپوشانی با روش‌های مختلفی نظیر خشک کردن پاششی^۱، پوشش دهی بستر سیال، اکستروژن^۲، خشک کردن انجمادی^۳، محصورسازی لیپوزومی، سرد کردن پاششی و روش تبلور و غیره انجام می‌شود. از مزایای استفاده از خشک کن پاششی عبارتند از: هزینه عملیاتی پایین، کیفیت بالای کپسول‌ها، بازده خوب، حلالیت سریع کپسول‌ها، اندازه کوچک و پایداری بالای کپسول می‌باشد (۱۳). تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ریزپوشانی ترکیبات فنولی با روش‌های مختلف انجام شده است. Rocha و Estevinho (۲۰۲۲) طی ریزپوشانی پنج ترکیب پلی فنولی (روتین، گالیک اسید، اپی گالوکاتچین گالات (EGCG)، رسوراترول و کورکومین) توسط فرایند خشک کردن پاششی بیان نمودند عوامل محصورکننده مورد استفاده بر نوع ذرات به دست آمده و ویژگی‌های آن‌ها تأثیر گذار بود و از طرفی ریز ذرات پلی فنولی تهیه شده توسط فرایند خشک کردن پاششی، پتانسیل زیادی را برای محصور کردن و محافظت از ترکیبات فعال زیستی حساس برای کاربردهای مرتبط با مواد غذایی نشان داد. (۲۰).

Ricci و همکاران (۲۰۲۲) در استخراج و ریزپوشانی ترکیبات پلی فنولی شراب قرمز، شرایط بهینه خشک کردن پاششی را ۷ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر مالتودکسترینو دمای ورودی ۱۱۰ درجه سلسیوس گزارش نمودند (۴۶). تفاله غوره یک پسماند لیگنوسولوزی و باقیمانده فرایند آب گیری از میوه غوره است. تفاله غوره حدود بیست درصد وزن مرطوب میوه اولیه را تشکیل می‌دهد. به طور معمول این

¹Spray Drying

²Extrusion

³Freeze-drying

پسماند در زمین مدفون می‌شود، اما این روش علاوه بر هزینه بر بودن باعث مشکلات زیست محیطی نیز می‌گردد. از طرفی به دلیل میزان پروتئین و هضم پذیری پایین، کاربرد مستقیم تفاله به عنوان خوراک دام چندان مناسب نیست. بنابراین در دهه‌های اخیر توجه محققان به بازیافت محصولات مفید از تفاله غوره و بهبود کیفیت آن برای خوراک دام جلب شده است. میزان تولید غوره در کشور در سال ۱۳۷۶، ۲۱۵۰ هزار تن بوده است و مقدار قابل توجهی از آن جهت تولید آب غوره در کارخانه‌های صنایع تبدیلی مورد استفاده قرار گرفته است. غوره منبع غنی از ترکیبات فلاونوئیدی است، به طور عمده تانن‌های دانه و پوست، فلاونول‌ها و اسیدهای هیدروکسی سینامیک، اما دارای آنتوسیانین کمتری نسبت به انگور رسیده است. رسوراترول عمدتاً در پوست دانه قرار دارد. مقدار رسوراترول در غوره زیاد است در حالی که غلظت آن در میوه رسیده کم می‌شود (۳۶). تنوع غلظت فنول به عوامل بسیاری مانند میزان رسیدگی، قرار گرفتن در معرض نور خورشید، دما و دسترسی به آب بستگی دارد (۲۸، ۱۸). Tinello و Lante (۲۰۱۷) تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای را در غلظت ترکیبات فنولیک غوره‌های نوع باربرا و مرلو مشاهده کردند (۵۱). مقدار فنول‌های استخراج شده در آب میوه همچنین به محل قرارگیری آن‌ها در ساختار دانه (پوست، پالپ و دانه‌ها) و قابلیت استخراج بستگی دارد (۲۳) و به شدت تحت تأثیر تکنیک استخراج و متغیرهای فرآیند مانند دما، زمان و استفاده از حلال‌ها است (۴۷). غلظت آنتوسیانین در غوره‌ها کم است و از طرفی حاوی اسیدهای هیدروکسی سینامیک و بنزوئیک، فلاوان ۳-اول و فلاونول است. محققان مشاهده کردند که آب میوه‌های ارقام مرلو و باربرا حاوی فلاوان ۳-اول (عمدتاً اپی گالوکاتچین گالات) و اسیدهای فنولیک هستند. اسیدهای فنولیک، فلاونول‌ها، فلاوان ۳-اول‌ها، پروسیانیدین و رسوراترول در عصاره مایع به دست آمده از غوره سانچوویزه^۱ (یک رقم انگور قرمز ایتالیایی) شناسایی شده‌اند و فراوان ترین ترکیبات فنولی کافتاریک و فرتاریک اسید، (+) - کاتچین، (-) - اپیکاتچین و کورستین-۳-O-گلوکورونید بودند (۲۱). به طور کلی، ترکیبات فنولی انگور به عنوان آنتی اکسیدان عمل می‌کنند و غلظت ترکیبات فنولیک با ظرفیت آنتی اکسیدانی انگور مرتبط است (۱۶). هدف از انجام تحقیق حاضر بهینه سازی ریزپوشانی ترکیبات پلی فنولی ضایعات غوره (*Vitis vinifera*) با مالتودکسترین و صمغ دانه ریحانو بررسی ویژگی‌های ریزپوشینه‌ها بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد

¹Sangiovese

² Urcetin-3-O-glucuronide

تفاله غوره از کارخانه‌های تولید آبغوره تهیه شد. غوره‌های زراعی ایران متعلق به جنس *Vitis*، گونه *Vinifera* و زیرگونه *Sativa* هستند. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده جهت آنالیزهای شیمیایی از برند مرک آلمان بودند.

۲-۲ روش‌ها

۲-۲-۱ نمونه برداری، تعیین ترکیبات شیمیایی و خشک کردن تفاله غوره

تفاله‌ها بلافاصله پس از فرایند آبگیری، جمع‌آوری و ترکیبات شیمیایی و pH آن تعیین شد. این تفاله‌ها تا زمان خشک کردن در حالت انجماد نگه داری شدند. خشک کردن تفاله‌ها در دمای اتاق و به مدت زمان تقریبی ۴۸ ساعت انجام شد تا رطوبت آن‌ها به حدود ۱۰٪ برسد. سپس تفاله خرد شده و الک شدند تا ذرات دارای ابعاد بین ۰/۶ تا یک میلی متر انتخاب شوند (۳۹).

۲-۲-۲ استخراج با آنزیم

استخراج توسط آنزیم پکتیناز و با کمک فراصوت مطابق با نتایج بهینه تحقیقات گذشته بود که ابتدا تفاله غوره تحت تاثیر امواج فراصوت (۴۰ دقیقه، شدت صوت ۹۰ درصد) و سپس تحت تاثیر ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم آنزیم پکتیناز (پکتینکس یلدمش، نووزیمز، دانمارک) قرار گرفت. برای اثر بخشی آنزیم، در دمای بهینه فعالیت آن (۵۵ درجه سانتی گراد) در زمان ۴۰ دقیقه گرمخانه گذاری انجام شد. بعد از گرمخانه گذاری نمونه‌ها در ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند تا آنزیم پکتیناز غیر فعال شود. سپس عصاره تحت خلاء صاف شد و عصاره غوره داخل ظروف شیشه‌ای تیره بسته بندی و در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی گراد نگهداری شد. عصاره صاف شده ابتدا توسط تبخیر کننده دوار تحت خلاء، در دمای ۴۰ درجه سلسیوس غلیظ و نیز قرار گرفت تا اثر توام تیمار آنزیمی و امواج فراصوت روی محتوای ترکیبات فنولی استخراج شده بررسی شد (۴۰، ۱۷).

۲-۲-۳ ریزپوشانی

از مالتو دکسترین با درجه هیدرولیز ۷ در سه سطح و صمغ دانه ریحان در سه سطح مختلف به عصاره بهینه تفاله غوره اضافه شده و بریکس به ۲۷ رسید. سپس محلول‌های تهیه شده با خشک کن پاششی خشک شدند. شرایط خشک کن پاششی دمای هوای ورودی ۱۶۰ درجه سانتی گراد، سرعت جریان هوا ۶۰۰ لیتر در ساعت و سرعت پمپ خوراک دهی ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه برای دستگاه خشک کن پاششی (Buchi Laboratoriums-Technik, Switzerland Model B-191) آزمایشگاهی بود (۱). جهت بهینه‌سازی تهیه

میکروکپسول‌های عصاره ضایعات غوره، از نرم‌افزار Design-Expert 13.0 و روش سطح پاسخ^۱ استفاده گردید. این طراحی شامل ۳ متغیر مستقل (جدول ۱) سطح مالتودکسترین، سطح صمغ دانه ریحان^۲ (BSG) و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بود. برای انتخاب بهترین ترکیب متغیرهای مستقل برای تولید کپسول‌های عصاره، بالاترین کارایی ریزپوشانی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حلالیت‌پذیری در آب، ظرفیت جذب آب و پائین‌ترین فعالیت آبی، محتوای رطوبت و دانسیته توده در نظر گرفته شد. طراحی آزمون در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD)^۳ و ۴ تکرار در نقطه مرکزی انجام گرفت. از مقادیر میانگین آزمون‌ها به منزله متغیر پیوسته یا پاسخ استفاده شد و نتایج حاصله‌ی RSM به صورت شکل‌های سه‌بعدی ترسیم گردید. در جدول ۲، تیمارهای مورد مطالعه در این مرحله تحقیق نشان داده شده است.

جدول ۱ سطوح واقعی و کدگذاری شده متغیرهای مستقل مورد استفاده برای CCD

واحد	سطوح متغیرات			کد	متغیرهای مستقل
	۱	۰	-۱		
%	۵	۱۰	۱۵	A	مالتودکسترین
%	۰/۵	۱/۰	۱/۵	B	BSG
°C	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰	C	دمای ورودی

جدول ۲ تیمارهای مورد بررسی در مرحله بهینه‌سازی تولید پودر عصاره غوره

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3
	A: Maltodextrin (%)	B: BSG (%)	C: Inlet temperature (°C)
1	10	1	160
2	10	1	126.364
3	10	1	160
4	10	1	160
5	5	1.5	180
6	5	0.5	180
7	15	0.5	140
8	10	1	160
9	1.59104	1	160
10	5	1.5	140
11	10	1	160
12	5	0.5	140
13	15	1.5	140
14	10	1	193.636
15	10	0.159104	160
16	15	1.5	180
17	18.409	1	160

¹Response surface methodology

²Basil seed Gum

³ Central composite design

18	10	1.8409	160
19	10	1	160
20	15	0.5	180

۲-۳-۲ آزمون های مربوط به ریزپوشانی

۲-۳-۲-۱ راندمان ریزپوشانی

جهت بدست آوردن راندمان از تقسیم وزن پودر حاصل از خشک کن پاششی بر میزان مواد جامد عصاره تفاله غوره تغذیه شده به دستگاه استفاده شد. جهت بدست آوردن میزان مواد جامد عصاره تفاله غوره تغذیه شده به دستگاه باید وزن عصاره را در بریکس آن ضرب کرده و همچنین وزن مواد افزودنی را نیز به آن اضافه شد. جهت اندازه گیری ترکیبات فنولی باقیمانده در پودر انکپسوله تولیدی از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد (۴۱).

۲-۳-۲-۲ میزان رطوبت

میزان رطوبت پودر انکپسوله شده به روش خشک کردن با آون محاسبه شد. ۵/۰ گرم از پودر در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۱۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و با استفاده از وزن اولیه و نهایی، میزان رطوبت محاسبه و بر اساس وزن مرطوب گزارش شد (۱۴).

۲-۳-۲-۳ درصد جذب رطوبت

درصد رطوبت جذب شده توسط هر گرم پودر هنگامی که به مدت یک هفته در مجاورت محلول اشباع سولفات سدیم در دمای محیط قرار گرفت. اندازه گیری شد و رطوبت هیگروسکوپی بر مبنای گرم رطوبت جذب شده به ازای هر ۱۰۰ گرم ماده جامد پودر بیان شد (۱۸).

۲-۳-۲-۴ چگالی توده ای پودر

برای این منظور مقدار 10 ± 0.1 گرم از پودر توزین و در استوانه‌ای مدرج ۱۰ میلی لیتری ریخته شد. پس از ۲۰ بار ضربه زدن با کف استوانه به میز کار، حجم پودر درون استوانه اندازه گیری و به کمک معادله زیر چگالی توده بر حسب سانتیمتر مکعب پودر بر گرم محاسبه شد (۱۸).

$$\text{چگالی توده ای} = \frac{V (\text{cm}^3)}{m (\text{gr})}$$

۲-۳-۲-۵ فعالیت آب

فعالیت آب پودر ریزپوشانی شده پلی فنولی های تفاله غوره بلافاصله پس از تولید و پس از رسیدن دمای پودر به دمای اتاق، به کمک دستگاه سنجش فعالیت آب، با دمای $25 \pm 1/0^{\circ}\text{C}$ در کلیه آزمایش ها و با سه بار تکرار در هر آزمون اندازه گیری شد (۴۹).

۲-۳-۶-حلالیت

۱۰۰ میلی لیتر آب در بشری ریخته شد و یک گرم پودر ریز پوشانی شده به آن اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با همزن مغناطیسی در سرعت بالا هم زده شد و سپس به مدت ۵ دقیقه با شتاب 3000 g سانتریفیوژ شد. ۲۵ میلی لیتر از مایع سطحی به پتری دیش انتقال یافت و در آون با دمای 105°C درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت خشک گردید. درصد حلالیت با استفاده از تفاوت وزن ها محاسبه شد (۴۹).

۳- نتایج و بحث

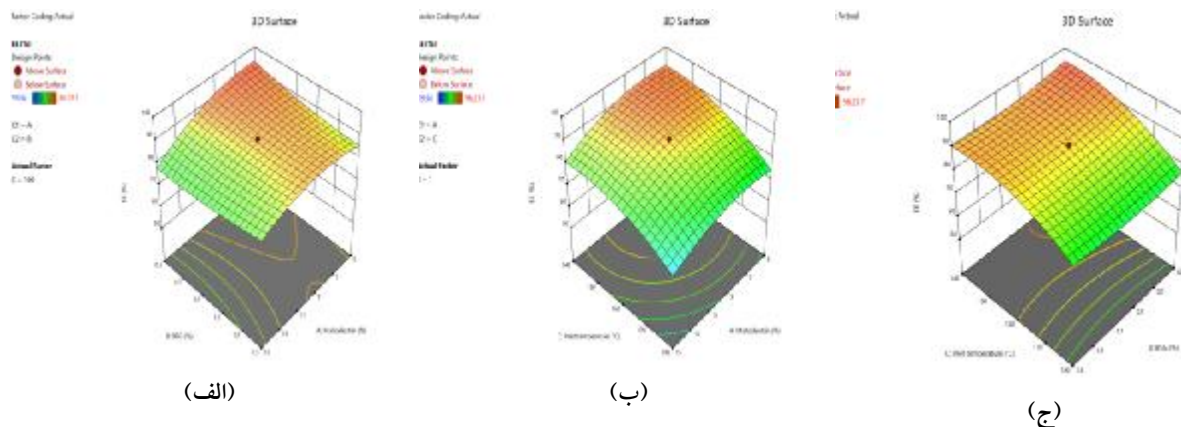
۳-۱-۳ بهینه سازی تهیه میکروکپسول های عصاره ضایعات غوره توسط RSM

۳-۱-۱-۳ بررسی کارآیی یا راندمان ریزپوشانی کپسول های عصاره ضایعات غوره

مدل رگرسیونی پیش بینی شده برای کارآیی ریزپوشانی کپسول های عصاره ضایعات غوره در معادله ۱ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه ی بین کارآیی ریزپوشانی کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقلمر کارآیی ریزپوشانی کپسول های عصاره معنی دار بود ($p < 0/05$). تأثیرات متقابل دوتایی مالتودکسترین و BSG و همچنین اثر نمایی سه-سه سسرین و دمای ورودی خشک کن نیز معنی دار بود ($p < 0/05$)، ولی اثرات متقابل دوتایی مالتودکسترین و دما و همچنین اثر نمایی BSG معنی دار نبود ($p > 0/05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل $95/00$ و ضریب تبیین اصلاح شده آن $90/50 (R^2_{adj})$ بود و عدم تناسب مدل بی معنی بود ($p = 0/0733$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده های آزمایشی می باشد.

معادله ۱ $\text{Efficiency} = 88.13 - 4.67A - 1.00B - 7.63C + 3.13AB + 0.8794AC + 1.16BC - 4.68A^2 + 1.52B^2 - 4.91C^2$
میزان کارآیی ریزپوشانی کپسول های عصاره ضایعات غوره در محدوده $73/52 - 96/22$ درصد قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترین و BSG بر کارآیی ریزپوشانی کپسول های عصاره ضایعات غوره در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش دهی موجب کاهش غیرخطی کارآیی ریزپوشانی کپسول ها گردید. در شکل ۱ (ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن پاششی نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان

حامل، کارآیی ریزپوشانی کپسول‌ها را به صورت غیرخطی کاهش داد. در شکل ۱ (الف)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل BSG منجر به کاهش غیر خطی کارآیی ریزپوشانی کپسول‌های عصاره گردید. تأثیر دمای خشک‌کن بر کارآیی ریزپوشانی بالاتر از سطح حامل‌های مالتودکسترین و BSG بود و در بین این دو حامل، درصد مالتودکسترین تأثیر بالاتری نشان داد. کارآیی ریزپوشانی یک پارامتر مهم در بهبود روش ریزپوشانی، بدون توجه به فرآیندها و مواد ریزپوشانی شده می‌باشد (۳۳). در این تحقیق، از طریق محاسبه محتوای فنول کل اولیه عصاره ضایعات غوره و عصاره ریزپوشانی شده نهایی، درصد کارآیی یا راندمان ریزپوشانی پودرهای تولیدی محاسبه گردید و نتایج نشان داد که با افزایش درصد حامل‌های پوشش‌دهی مالتودکسترین و صمغ دانه ریحان، کارآیی ریزپوشانی عصاره کاهش یافت، که این کاهش احتمالاً به رقیق شدن مواد مغذی خوراکی و ورودی به خشک‌کن در اثر افزایش سطح حامل مربوط می‌باشد. دمای ورودی خشک‌کن پاششی نیز تأثیر قابل توجهی بر کارآیی ریزپوشانی پودر عصاره ضایعات غوره نشان داد، به طوری که با افزایش دمای خشک‌کن نیز به دلیل تخریب ترکیبات فنولی به سبب حساسیت آن‌ها به حرارت، کارآیی ریزپوشانی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. ملکی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود به ریزپوشانی عصاره سماق با مالتودکسترین و روش خشک‌کن پاششی پرداخته و به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر، کاهش کارآیی ریزپوشانی کپسول‌ها در اثر افزایش دمای خشک‌کن را مشاهده کردند (۴). Asik و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش اُفت ترکیبات فنولی عصاره مورد ریزپوشانی در اثر افزایش دمای خشک‌کن پاششی را گزارش کردند (۷). نتایج حاصله توسط Abdel-Aty و همکاران (۲۰۲۳) با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. این محققین دریافته‌اند که در ریزپوشانی عصاره فنولی شاهی، افزایش مالتودکسترین موجب کاهش کارآیی ریزپوشانی گردید (۵). Singh و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که در تهیه پودر میوه جمبو، با افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی، محتوای ترکیبات فنولی پودرها کاهش یافت و بنابراین کارآیی ریزپوشانی پودرها کمتر شد (۴۸). Cegledi و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند که افزایش دمای خشک‌کن پاششی از ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش راندمان ریزپوشانی پودر عصاره برگ گزنه گردید (۱۱).



شکل ۱ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر کارآیی ریزپوشانی پودر عصاره ضایعات غوره

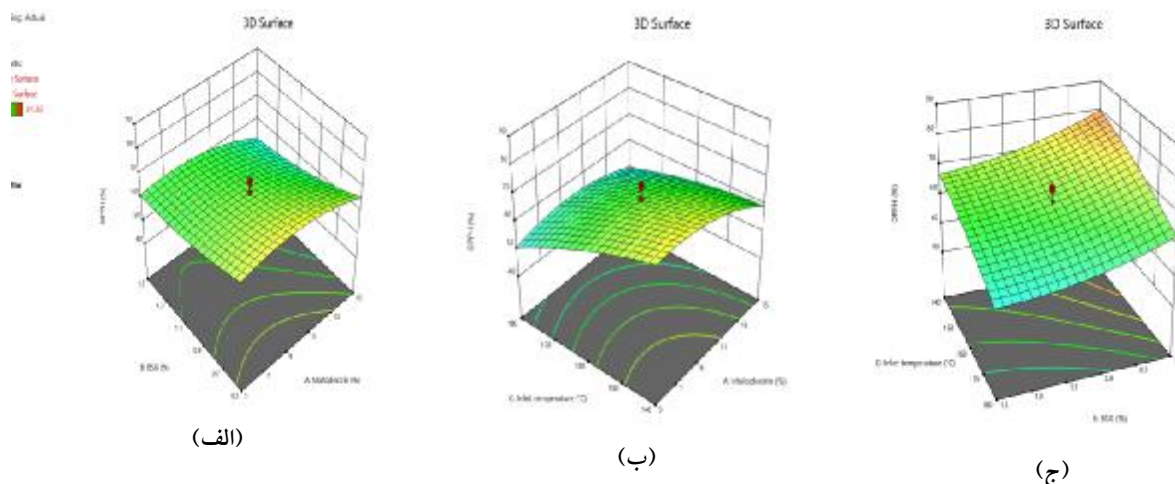
۳-۱-۲ نتایج بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول های عصاره ضایعات غوره

مدل رگرسیونی پیش بینی شده برای فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول های عصاره ضایعات غوره در معادله ۲ نشان داده شده است. در این معادله، رابطه ی بین درصد مهار رادیکال DPPH کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقل بر فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول های عصاره معنی دار بود ($p < 0.05$). تأثیر اثر نمایی مالتودکسترین نیز معنی دار بود ($p < 0.05$)، ولی هر سه اثر متقابل دوتایی و همچنین اثرات نمایی BSG و دمای ورودی خشک کن معنی دار نبود ($p > 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۹۰/۲۸ و ضریب تبیین اصلاح شده آن ۸۲/۵۴ ($R^2 \text{adj}$) بود و عدم تناسب مدل بی معنی بود ($p = 0.0644$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده های آزمایشی می باشد.

$$\text{DPPH} = 64.84 - 3.56A - 5.92B - 8.01C - 1.15AB + 3.03AC + 0.6075BC - 4.76A^2 + 2.44B^2 - 1.82C^2$$

فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول های عصاره ضایعات غوره در محدوده ۴۰/۲۲-۸۴/۳۲ درصد قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترین و BSG بر فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول های عصاره ضایعات غوره در شکل ۲ الف) نشان داده شده است. افزایش مالتودکسترین موجب کاهش غیرخطی و جزئی درصد مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول ها گردید، ولی در اثر افزایش سطح BSG، فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش داد. در شکل ۲ ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن پاششی بر فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان حامل، فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول ها را به صورت غیرخطی کاهش داد، ولی تأثیر دمای خشک کن به طور قابل

توجهی بالاتر بود. در شکل ۲ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی بر فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای خشک کن موجب کاهش غیرخطی و افزایش سطح حامل BSG منجر به افزایش غیر خطی فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول‌های عصاره گردید. آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH، اساس و پایه مطالعه ظرفیت آنتی اکسیدانی ترکیبات گیاهی می‌باشد، زیرا یک روش راحت و سریع برای ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی محصولات مورد نظر است (۱۲). در اثر افزایش دمای ورودی خشک کن پاششی، فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای عصاره ضایعات غوره کاهش نشان داد، زیرا ترکیبات فنولی، ترکیبات زیست‌فعال هستند که به شرایط خارجی حساس می‌باشند و بنابراین دمای بالا موجب تخریب حرارتی، پلیمریزاسیون و تغییر و تحول آن‌ها می‌گردد (۵۳). افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان حامل موجب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول‌ها گردید، زیرا افزایش ویسکوزیته موجب افزایش زمان تشکیل قطرات و اختلاط مواد هسته در طول فرآیند خشک کردن می‌باشد و بنابراین کارایی ریزپوشانی کاهش یافته و فعالیت آنتی اکسیدانی در اثر کاهش محتوای ترکیبات فنولی، کاهش نشان می‌دهد. با این حال، با افزایش صمغ دانه ریحان، فعالیت آنتی اکسیدانی کپسول‌ها کمی بهبود یافت. به طور کلی، صمغ دانه ریحان حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی بوده و فعالیت آنتی اکسیدانی از خود نشان می‌دهد (۲۸). از این رو، در اثر افزایش سطح صمغ دانه ریحان به عنوان عامل پوشش دهی، به دلیل افزایش محتوای ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای تولیدی افزایش یافت. در تحقیق انجام شده توسط Sharifi و Hajiaghahi (۲۰۲۲) نیز به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر، کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پودر فوری بر پایه عصاره‌های چغندر قرمز و میوه به در اثر افزایش درصد حامل مالتودکسترین مشاهده گردید (۲۲). در تحقیق Li و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شد که افزایش صمغ عربی به عنوان حامل در تهیه پودر طالبی، محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی پودرها را کاهش داده و بنابراین موجب کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی پودرها گردید (۳۰). در تحقیق Lourenco و همکاران (۲۰۲۰) نیز به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر، کاهش فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH پودرهای عصاره پوست آناناس در اثر افزایش دمای خشک کن پاششی از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (۳۱). در مطالعه انجام شده توسط Sablania و Bosco (۲۰۱۸) نیز افزایش دمای خشک کن پاششی تأثیر منفی بر محتوای ترکیبات فنولی و بنابراین بر فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره برگ درخت کاری نشان داد و سطوح مالتودکسترین و صمغ آکاسیا، کاهش در محتوای رطوبت پودر عصاره برگ درخت کاری مشاهده گردید (۴۷).



شکل ۲ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر فعالیت مهار رادیکال DPPH پودر عصاره ضایعات غوره

۳-۱-۳ نتایج بررسی محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

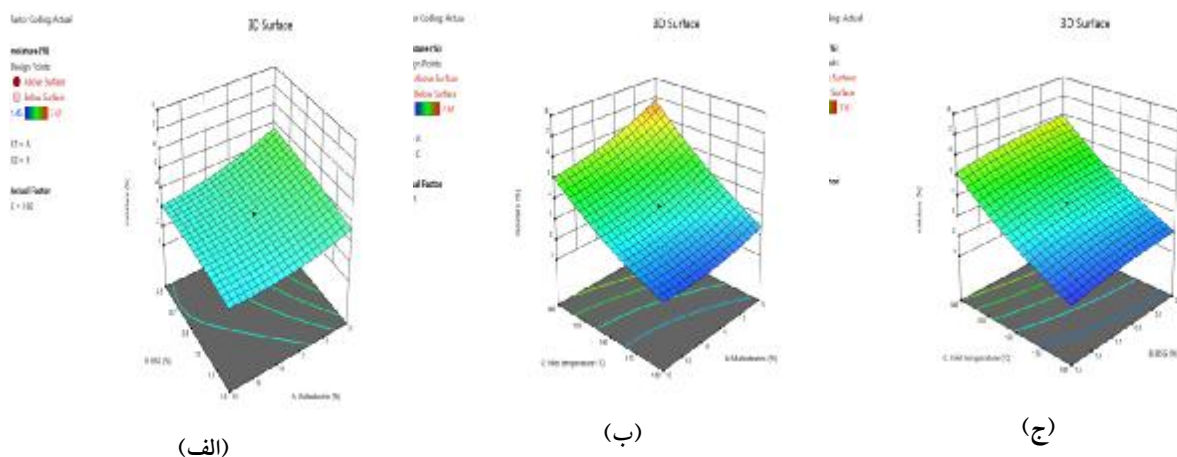
مدل رگرسیونی پیش‌بینی شده برای محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در معادله شماره ۳ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه‌ی بین محتوای رطوبت کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقلم بر محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره‌مغنی‌دار بود ($p < 0/05$). تأثیرات متقابل دوتایی مالتودکسترین و دمای خشک‌کن و همچنین اثر نمایی مالتودکسترین و دمای ورودی خشک‌کن نیز معنی‌دار بود ($p < 0/05$)، ولی اثرات متقابل دوتایی مالتودکسترین و BSG و BSG و دما و همچنین اثر نمایی مالتودکسترین معنی‌دار نبود ($p > 0/05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۹۷/۴۳ و ضریب تبیین اصلاح‌شده آن (R^2_{adj}) ۹۵/۱۲ بود و عدم تناسب مدل بی‌معنی بود ($p = 0/0701$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی می‌باشد.

$$\text{Moisture content} = 3.47 - 0.5988A - 0.3325B - 1.90C + 0.2037AB + 0.2988AC + 0.0488BC + 0.2755A^2 - 0.1222B^2 + 0.3232C^2$$

محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در محدوده ۱/۴۵-۷/۶۱ درصد قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترین و BSG بر محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در شکل ۳ الف) نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی موجب کاهش غیرخطی محتوای رطوبت کپسول‌ها گردید. در شکل ۳ ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترین و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر محتوای رطوبت کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک‌کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان

حامل، محتوای رطوبت کپسول‌ها را به صورت غیرخطی کاهش داد، ولی تأثیر دما به طور قابل توجهی بالاتر از تأثیر درصد مالتودکسترین بود. در شکل ۳ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر محتوای رطوبت نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل BSG منجر به کاهش غیر خطی محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره گردید. تأثیر دمای خشک‌کن بر محتوای رطوبت بالاتر از سطح حامل‌های مالتودکسترین و BSG بود و در بین این دو حامل، درصد مالتودکسترین تأثیر بالاتری نشان داد. محتوای رطوبت یک پارامتر مهم و مؤثر بر پایداری عصاره‌های ریزپوشانی شده می‌باشد. پودرهایی که حاوی مقادیر پایین رطوبت (کمتر از ۵ درصد) هستند، کمتر توسط میکروارگانیسم‌ها آلوده می‌شوند و عمر ماندگاری و پایداری بالاتری داشته و حلالیت‌پذیری بهتری نیز نشان می‌دهند (۵۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش سطوح حامل‌های مالتودکسترین و صمغ عربی و همچنین افزایش دمای ورودی خشک‌کن موجب کاهش محتوای رطوبت کپسول‌های عصاره غوره گردید. کاهش سریع‌تر محتوای رطوبت پودرها در اثر افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی بدین دلیل است که با افزایش دما، انتقال حرارت بین ماده مورد نظر برای خشک کردن و هوای داغ سریع‌تر رخ می‌دهد و در دماهای بالاتر، شیب دمایی بین ذرات متمیزه شده و هوای خشک‌کن بیشتر شده و در نتیجه آن، نیروهای محرک برای تبخیر آب بزرگ‌تر می‌شوند (۴۴). کاهش محتوای رطوبت در اثر افزایش سطح مالتودکسترین، به دلیل دمای انتقال شیشه‌ای پایین و همچنین ویسکوزیته پایین مالتودکسترین می‌باشد (۴۷). افزایش حامل‌ها همچنین از طریق افزایش ماده خشک، موجب کاهش محتوای رطوبت پودرها می‌گردند. در مطالعه انجام شده توسط حاجی‌آقائی و شریفی (۱۳۹۹) نیز به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش سطح مالتودکسترین موجب کاهش میزان رطوبت پودر عصاره چغندر قرمز گردید. با این حال، در تحقیق Singh و همکاران (۲۰۱۹) به بهینه‌سازی تهیه پودر میوه جمبو با استفاده از خشک کردن پاششی پرداخته شده و افزایش محتوای رطوبت پودرها در اثر افزایش سطح مالتودکسترین مشاهده گردید. در این تحقیق نیز افزایش دمای ورودی موجب کاهش محتوای رطوبت پودرها شد (۴۸). Lourenco و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در اثر افزایش دمای خشک‌کن پاششی از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، محتوای رطوبت پودرهای عصاره پوست آناناس کاهش یافت (۳۱). Cegledi و همکاران (۲۰۲۲) نیز کاهش محتوای رطوبت پودر عصاره برگ گزنه در اثر افزایش دمای خشک‌کن پاششی از ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را گزارش کردند (۱۱). Abdel-Aty و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که محتوای رطوبت نانو کپسول‌های عصاره فنولی شاهی تهیه شده با صمغ گیاهی دانه شاهی کمتر از پودرهای تهیه شده با مالتودکسترین بود (۵). در مطالعه انجام شده توسط Sablania و Bosco (۲۰۱۸)

نیز با افزایش دمای خشک کن پاششی و سطوح مالتودکسترین و صمغ آکاسیا، کاهش در محتوای رطوبت پودر عصاره برگ درخت کاری^۱ مشاهده گردید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت (۴۷).



شکل ۳ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر محتوای رطوبت پودر عصاره ضایعات غوره

۳-۱-۴ نتایج بررسی حلالیت در آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

مدل رگرسیونی پیش‌بینی شده برای حلالیت در آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در معادله شماره ۴ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه‌ی بین میزان حلالیت کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقل بر میزان حلالیت‌پذیری کپسول‌های عصاره معنی‌دار بود ($p < 0.05$). ولی هر سه اثر متقابل دوتایی معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۷۷/۴۳ و ضریب تبیین اصلاح‌شده آن (R^2_{adj}) ۷۳/۳۲ بود و عدم تناسب مدل بی‌معنی بود ($p = 0.1861$)، که بیانگر برازش نسبتاً خوب مدل به داده‌های آزمایشی می‌باشد.

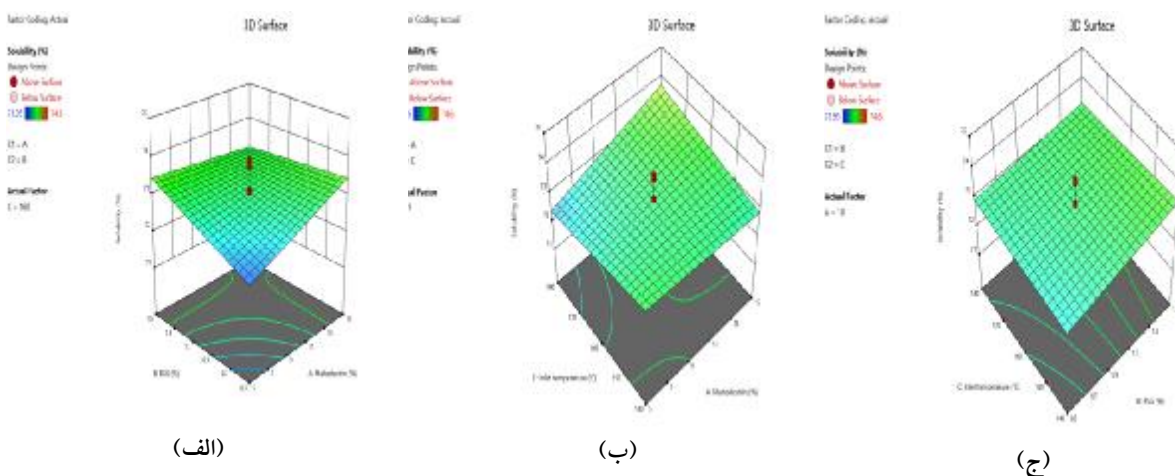
$$\text{Solubility} = 73.04 + 0.2578A + 0.2571B + 0.0170C - 0.4000AB + 0.4125AC - 0.1250BC$$

مقادیر حلالیت در آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در محدوده ۷۴/۶۰-۷۱/۹۵ درصد قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترین و BSG بر میزان حلالیت در آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در شکل ۴ الف) نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی موجب افزایش حلالیت کپسول‌ها گردید. در شکل ۴ ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن پاششی بر میزان حلالیت در آب کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک کن و نیز افزایش سطح

¹Murraya koenigii

مالتودکسترین به عنوان حامل، مقادیر درصد حلالیت کپسول‌ها را افزایش داد. در شکل ۴ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر میزان حلالیت در آب نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل BSG منجر به افزایش درصد حلالیت کپسول‌های عصاره گردید. در بین متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق، بیشترین تأثیر به ترتیب مربوط به دمای ورودی خشک‌کن، درصد مالتودکسترین و درصد BSG بود. حلالیت‌پذیری در آب بیانگر رفتار محصول در فاز آبی بوده و یک معیار کلی برای تعیین کیفیت بازسازی پودر می‌باشد. برای مصرف‌کنندگان، بازسازی سریع و کامل محصولات پودری یکی از شاخص‌های اصلی کیفیت است. حلالیت پودرها می‌تواند تحت تأثیر پارامترهای مختلفی از جمله ترکیبات اولیه ماده خام برای خشک کردن با اسپری، نوع حامل یا دیواره، سرعت جریان هوای فشرده و نرخ تغذیه کم است (۲۵). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش سطوح مالتودکسترین و صمغ دانه ریحان و همچنین افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی موجب افزایش حلالیت در آب کپسول‌های تولیدی گردید. محتوای رطوبت و اندازه ذرات، پارامترهای مؤثر بر حلالیت‌پذیری پودرها در آب هستند و در اثر کاهش محتوای رطوبت و بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات، انحلال پودر در آب سریع‌تر صورت گرفته و درصد حلالیت‌پذیری بالاتر می‌رود (۱۱). از آنجایی که در اثر افزایش سطوح حامل‌ها و دمای ورودی خشک‌کن، محتوای رطوبت کپسول‌ها کاهش یافت، بنابراین افزایش حلالیت‌پذیری این کپسول‌ها دور از انتظار نبود. از سوی دیگر، افزایش حلالیت‌پذیری پودرها در اثر افزایش سطح مالتودکسترین می‌تواند بدین دلیل باشد که مالتودکسترین حاوی تعداد بالایی گروه هیدروکسیل است که موجب تسهیل فرآیند حل شدن می‌گردد (۲۰) و با افزایش سطح مالتودکسترین، تعداد گروه‌های هیدروکسیل افزایش یافته و حلالیت‌پذیری پودر تهیه شده با آن نیز بیشتر می‌شود. Arepally و Soswami (۲۰۱۹) نیز اظهار داشتند که مشخصات هیدروفیلی یا آب‌دوستی مالتودکسترین، مسئول حلالیت‌پذیری بالاتر آن می‌باشد (۷). Pudziuelyte و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود به تهیه پودر گیاه *Elsholtziaciliate* پرداخته و بیان کردند که میزان حلالیت‌پذیری پودرهای تهیه شده با مالتودکسترین بالا بود (۴۲). Abdel-Aty و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که حلالیت‌پذیری پودرهای عصاره فنولی شاهی تهیه شده با صمغ گیاهی دانه شاهی کمتر از پودرهای تهیه شده با مالتودکسترین بود (۵). در مطالعه انجام شده توسط Sablania و Bosco (۲۰۱۸) نیز با افزایش دمای خشک‌کن پاششی و سطوح مالتودکسترین و صمغ آکاسیا، افزایش در حلالیت‌پذیری پودر عصاره برگ درخت کاری مشاهده گردید، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت (۴۷). در تحقیق Singh و همکاران (۲۰۱۹) نیز در فرآیند بهینه‌سازی تهیه پودر میوه جمبو با استفاده از خشک‌کردن پاششی گزارش شد که در اثر افزایش

سطح مالتودکسترین، میزان حلالیت‌پذیری پودرها افزایش یافت (۴۸). Lourenco و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که افزایش دمای خشک‌کن پاششی از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش معنی‌داری حلالیت‌پذیری در آب پودرهای عصاره پوست آناناس گردید (۳۱). با این حال، در تحقیق Cegledi و همکاران (۲۰۲۲)، افزایش دمای خشک‌کن پاششی از ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، تغییر معنی‌داری در حلالیت‌پذیری در آب پودرهای عصاره برگ گزنه حاصله ایجاد نکرد و حلالیت این پودرها در محدوده ۸۵/۴۶-۸۴/۰۰ درصد قرار داشت (۱۱).



شکل ۴ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک‌کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک‌کن بر حلالیت پودر عصاره ضایعات غوره

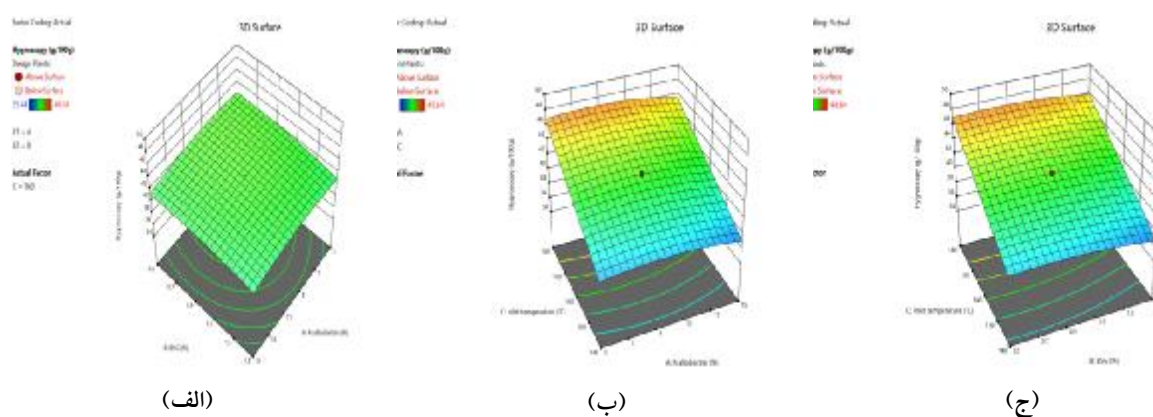
۳-۱-۵ نتایج بررسی ظرفیت جذب آب (هیگروسکوپي) کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

مدل رگرسیونی پیش‌بینی شده برای ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در معادله شماره ۵ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه‌ی بین میزان ظرفیت جذب آب کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر خطی متغیر مستقل دمای ورودی خشک‌کن و همچنین اثر نمایی مالتودکسترین بر میزان ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره معنی‌داری بود ($p < 0.05$)، ولی اثر متغیرهای مستقل سطح مالتودکسترین و BSG، هر سه اثر متقابل دوتایی و همچنین اثرات نمایی سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۹۷/۰۸ و ضریب تبیین اصلاح‌شده آن $94/45(R^2 \text{adj})$ بود و عدم تناسب مدل بی‌معنی بود ($p = 0.1161$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی می‌باشد.

$$\text{Hygroscopic} = 42.54 - 0.4315A - 0.5470B + 4.44C + 0.1688AB - 0.1838AC + 0.0537BC - 0.7178A^2 - 0.4738B^2 - 0.0743C^2$$

مقادیر ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در محدوده ۳۵/۴۴-۴۸/۶۴ g/100g قرار داشت. اثر متقابل سطح مالتودکستریز و BSG بر مقادیر ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در شکل ۵ (الف) نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی موجب کاهش غیرخطی ظرفیت جذب آب کپسول‌ها گردید. در شکل ۵ (ب)، اثر متقابل سطح مالتودکستریز و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر ظرفیت جذب آب کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک‌کن، ظرفیت جذب آب کپسول‌ها را به صورت خطی افزایش داد، ولی افزایش درصد مالتودکستریز تغییر معنی‌داری در ظرفیت جذب آب کپسول‌ها ایجاد نکرد. در شکل ۵ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر ظرفیت جذب آب کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن منجر به افزایش خطی ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره گردید، ولی افزایش سطح حامل BSG تأثیر قابل توجهی نشان نداد. هیگروسکوپ‌ی یا ظرفیت جذب آب پارامتری است که می‌توان برای تخمین رفتار عصاره ریزپوشانی شده طی دوره انبارمانی مورد استفاده قرار گیرد و نشان‌دهنده پایداری پودرهای تولیدی می‌باشد (۱۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی موجب افزایش ظرفیت جذب آب کپسول‌های عصاره گردید، ولی افزایش سطوح حامل‌ها تأثیر کمتری بر ظرفیت جذب آب کپسول‌های تولیدی نشان داد و موجب کاهش جزئی ظرفیت جذب آب گردید. محتوای رطوبت یکی از پارامترهای مؤثر بر ظرفیت جذب آب پودرها است و در اثر افزایش دمای خشک‌کن، به دلیل تشکیل سریع ذرات به دلیل نیروی محرکه بیشتر، ساختار ذرات به صورت آمورف خواهد بود و در نتیجه رطوبت بیشتری را از هوای اطراف جذب می‌کند (۳۴) بنابراین افزایش دمای خشک‌کن موجب افزایش ظرفیت جذب آب پودرهای تولیدی می‌گردد. افزایش سطح حامل‌های کربوهیدراتی به طور کلی موجب کاهش ظرفیت جذب آب گردید، زیرا با افزایش سطح حامل‌ها، محتوای ماده خشک پودر بیشتر شده و محتوای رطوبت پودرها کاهش می‌یابد و در نتیجه ظرفیت جذب آب آن‌ها نیز کمتر می‌شود (۴۹). محققین اظهار داشتند که افزایش میزان ماده دیواره یا حامل می‌تواند موجب افزایش دمای انتقال شیشه‌ای شده و از این طریق، میزان ظرفیت جذب آب پودرهای تولیدی را کاهش دهد (۹). در تحقیق Jakubczyk و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده شد که افزایش درصد مالتودکستریز به عنوان ماده دیواره موجب کاهش مقادیر ظرفیت جذب آب پودر سیب گردید (۲۶). در تحقیق دیگری نیز در اثر افزایش درصد صمغ عربی به عنوان حامل، کاهش در ظرفیت جذب آب پودرهای طالبی مشاهده شد (۳۰). در تحقیق Cegledi و

همکاران (۲۰۲۲)، افزایش دمای خشک کن پاششی از ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد، تغییر معنی داری در ظرفیت جذب آب پودرهای عصاره برگ گزنه تولیدی ایجاد نکرد و ظرفیت جذب آب این پودرها در محدوده $22/88 - 20/70$ g/100g درصد قرار داشت، با این حال با افزایش سطح حامل‌هایی نظیر مالتودکسترین، میزان ظرفیت جذب آب پودرهای حاصله کاهش یافت (۱۱). Moghaddam و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که افزایش سطح مالتودکسترین موجب کاهش ظرفیت جذب آب پودرهای آب آلبالو گردید، ولی با افزایش دمای خشک کن، ظرفیت جذب آب پودرها افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت (۳۴). کاهش ظرفیت جذب آب پودر آکای در اثر افزایش سطح مالتودکسترین نیز در تحقیق Tonon و همکاران (۲۰۰۸) گزارش گردید (۴۹).



شکل ۵ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر ظرفیت جذب آب پودر عصاره ضایعات غوره

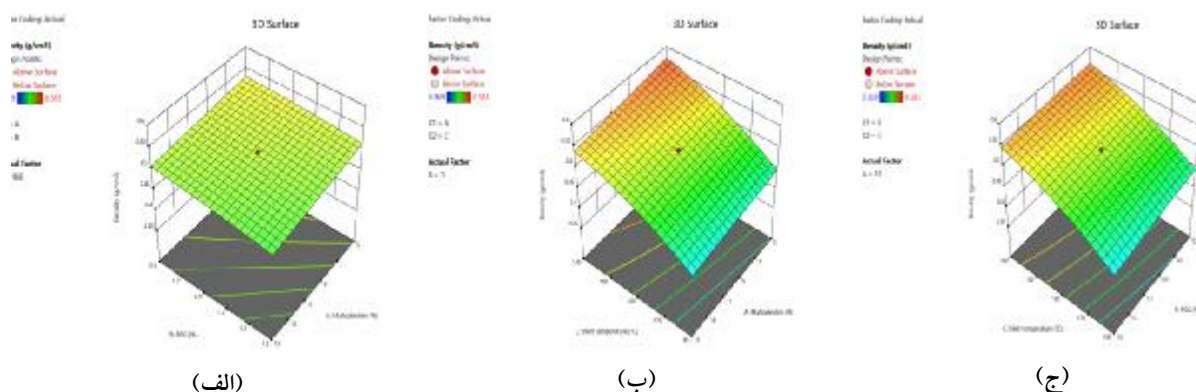
۳-۱-۶ نتایج بررسی دانسیته توده کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

مدل رگرسیونی پیش‌بینی شده برای دانسیته توده کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در معادله ۶ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه‌ی بین دانسیته توده کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقل و همچنین اثر نمایی دمای ورودی خشک کن بر دانسیته توده کپسول‌های عصاره معنی دار بود ($p < 0.05$)، ولی تأثیر هر سه اثر متقابل دوتایی و همچنین اثرات نمایی مالتودکسترین و BSG معنی دار نبود ($p > 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۹۵/۰۷ و ضریب تبیین اصلاح شده آن $R^2_{adj} = 90/64$ بود و عدم تناسب مدل بی‌معنی بود ($p = 0/1020$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی می‌باشد.

$$\text{Density} = 0.5106 - 0.0148A - 0.0111B - 0.0605C - 0.0029AB + 0.0029AC - 0.0031BC - 0.0001A^2 - 0.0026B^2 - 0.0153C^2$$

مقادیر دانسیته توده کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در محدوده $0/583-0/369$ g/cm³ قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترتین و BSG بر دانسیته توده کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در شکل ۶ (الف)، نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی موجب کاهش خطی دانسیته توده کپسول‌ها گردید. در شکل ۶ (ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترتین و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر دانسیته توده کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک‌کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترتین به عنوان حامل، مقادیر دانسیته توده کپسول‌ها را کاهش داد. در شکل ۶ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر دانسیته توده نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل BSG منجر به کاهش غیرخطی دانسیته توده کپسول‌های عصاره گردید. تأثیر دمای خشک‌کن بر دانسیته توده کپسول‌های عصاره بالاتر از سطح حامل‌های مالتودکسترتین و BSG بود و در بین این دو حامل، درصد مالتودکسترتین تأثیر بالاتری نشان داد. دانسیته توده یک فاکتور مهم است که در ارتباط با راحتی در بسته‌بندی، بازیابی (آب‌گیری مجدد)، حمل‌ونقل و همچنین بازاریابی پودرهای غذایی می‌باشد. پودرهایی که دارای دانسیته توده پایین‌تری هستند، برای فرمولاسیون محصولات غذایی آماده مناسب‌تر و مطلوب‌تر می‌باشند و با دیگر ترکیبات موجود در ماتریکس غذا راحت‌تر واکنش برقرار می‌کنند. به طور کلی، پودرهای دارای دانسیته توده پایین‌تر، حلالیت‌پذیری بالاتری از خود نشان می‌دهند (۲۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی و همچنین افزایش سطوح حامل‌های پوشش‌دهی مالتودکسترتین و صمغ دانه ریحان موجب کاهش دانسیته توده کپسول‌های عصاره غوره گردید. کاهش دانسیته پودرهای عصاره ضایعات غوره در اثر افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل‌ها، در ارتباط با کاهش محتوای رطوبت و افزایش حلالیت‌پذیری پودرها می‌باشد. با افزایش دمای خشک‌کن پاششی، سرعت تبخیر رطوبت سریع‌تر رخ داده و بنابراین پودرهای تولیدی دارای ساختار آمورف می‌باشند و شکستگی کمتری دارند و در نتیجه دانسیته کمتری نشان می‌دهند (۳۴). در تحقیق Asik و همکاران (۲۰۲۱)، دانسیته توده پودرهای عصاره مورد تهیه شده توسط خشک‌کن پاششی $357/6$ kg/m³ به دست آمد (۸). در تحقیق صورت گرفته توسط Moghaddam و همکاران (۲۰۱۷) به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر مشاهده گردید که افزایش دمای خشک‌کن پاششی موجب کاهش دانسیته پودر آب‌آلبالو گردید (۳۴). در این تحقیق نیز با افزایش سطح مالتودکسترتین، کاهش در دانسیته توده پودرها مشاهده شد. در تحقیق Caliskan و Dirim (۲۰۱۳) نیز با افزایش سطح مالتودکسترتین، دانسیته توده پودر سماق کاهش نشان داد. با این حال، Lourenco

همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در اثر افزایش دمای خشک کن پاششی از ۱۵۰ به ۱۹۰ درجه سانتی گراد، میزان دانسیته توده‌ی پودرهای عصاره پوست آناناس افزایش یافت (۳۱).



شکل ۶ الف) اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر دانسیته توده پودر عصاره ضایعات غوره

۳-۱-۷ نتایج بررسی فعالیت آبی (a_w) کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

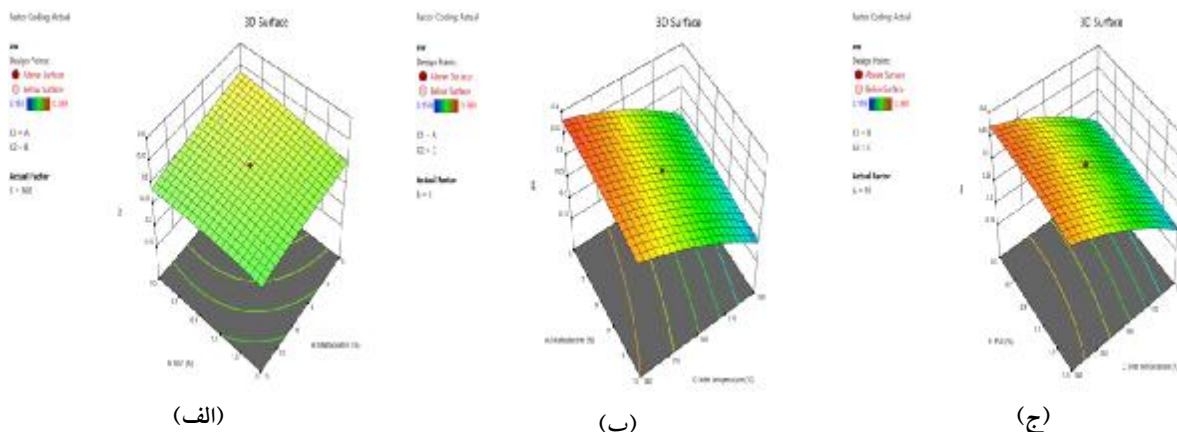
مدل رگرسیونی پیش‌بینی شده برای فعالیت آبی کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در معادله شماره ۷ نشان داده شده است و در این معادله، رابطه‌ی بین فعالیت آبی کپسول و متغیرهای مستقل تحقیق شامل سطوح مالتودکسترین، BSG و دمای ورودی خشک کن پاششی مشخص شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر خطی هر سه متغیر مستقل و همچنین اثر نمایی دمای ورودی خشک کن بر فعالیت آبی کپسول‌های عصاره‌هم‌معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، ولی تأثیر هر سه اثر متقابل دوتایی و همچنین اثرات نمایی مالتودکسترین و BSG معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) این مدل ۹۷/۹۲ و ضریب تبیین اصلاح‌شده آن (R^2_{adj}) ۹۶/۰۵ بود و عدم تناسب مدل بی‌معنی بود ($p = 0.0669$)، که بیانگر برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی می‌باشد.

$$a_w = 0.3112 - 0.0179A - 0.0114B - 0.0742C + 0.0064AB - 0.0024AC - 0.0036BC - 0.0040A^2 - 0.0065B^2 - 0.0157C^2$$

مقادیر a_w کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در محدوده ۰/۳۸۹-۰/۱۵۹ قرار داشت. اثر متقابل سطوح مالتودکسترین و BSG بر فعالیت آبی کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در شکل ۷ الف)، نشان داده شده است. افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی موجب کاهش خطی فعالیت آبی کپسول‌ها گردید. در شکل ۷ ب)، اثر متقابل سطح مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن پاششی بر فعالیت آبی کپسول‌ها نشان داده شده است. افزایش دمای ورودی خشک کن و نیز افزایش سطح مالتودکسترین به عنوان حامل، مقادیر فعالیت آبی

کپسول‌ها را کاهش داد. در شکل ۷ (ج)، اثر متقابل سطح BSG و دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر فعالیت آبی نشان داده شده است. افزایش دمای خشک‌کن و سطح حامل BSG منجر به کاهش فعالیت آبی کپسول‌های عصاره گردید. تأثیر دمای خشک‌کن بر فعالیت آبی کپسول‌های عصاره بالاتر از سطح حامل‌های مالتودکستروزین و BSG بود و در بین این دو حامل، درصد مالتودکستروزین تأثیر بالاتری نشان داد. فعالیت آبی (aw) یک فاکتور کلیدی برای پودرهای تهیه شده با خشک‌کن پاششی است، زیرا می‌تواند بر دوره ماندگاری پودر حاصله اثر گذارد. فعالیت آبی به صورت نسبت فشار بخار آب در سیستم غذایی به فشار بخار آب خالص در دمای یکسان، تعریف می‌شود. فعالیت آبی بالا نشان‌دهنده‌ی آب آزاد در دسترسی بالاتر برای واکنش‌های می‌باشد و بنابراین، عمر ماندگاری را کاهش می‌دهد. مقادیر aw به طور کلی در محدوده ۰ تا ۱ قرار دارد و محصولات دارای aw کمتر از ۰/۶ به عنوان محصولات پایدار از لحاظ میکروبیولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند (۴۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی و همچنین افزایش سطوح حامل‌های مالتودکستروزین و صمغ دانه ریحان موجب کاهش فعالیت آبی کپسول‌های عصاره گردید و همانطوری که انتظار می‌رفت، نتایج مقادیر فعالیت آبی کپسول‌های تولیدی در راستای نتایج محتوای رطوبت آن‌ها بود. مقادیر فعالیت آبی کپسول‌های تولیدی در این تحقیق در محدوده ۰/۳۸۹-۰/۱۵۹ بود و به دلیل محتوای aw پایین‌تر از ۰/۶ پودرهای تولیدی در تحقیق، این پودرها در مقابل رشد میکروبی پایدار هستند. در تحقیق صورت گرفته توسط Asik و همکاران (۲۰۲۱) نیز پودرهای عصاره مورد تهیه شده توسط خشک‌کن پاششی دارای فعالیت آبی پایینی ($aw=0/177$) بودند (۷). در تحقیق Navarro-Flores و همکاران (۲۰۲۰) نیز پودرهای عصاره چیپیلین^۱ تهیه شده توسط خشک‌کن پاششی و حامل‌های کربوهیدراتی، فعالیت آبی پایینی (در محدوده ۰/۳۹-۰/۲۵) داشتند (۳۶). در تحقیق Pui و همکاران (۲۰۲۰) نیز به طور موافق گزارش گردید که افزایش دمای خشک‌کن پاششی و سطح مالتودکستروزین موجب کاهش فعالیت آبی پودرها میوه Cempedak گردید و تأثیر دمای در کاهش فعالیت آبی بالاتر از سطح حامل بود. میزان فعالیت آبی پودرهای تولیدی در تحقیق این محققین در محدوده ۰/۲۷-۰/۱۹ قرار داشت (۴۳).

¹ Chipilin



شکل ۷ اثر متقابل مالتودکسترین و BSG، (ب) اثر متقابل مالتودکسترین و دمای ورودی خشک کن (ج) اثر متقابل BSG و دمای ورودی خشک کن بر فعالیت آبی پودر عصاره ضایعات غوره

۳-۱-۸ بهینه‌سازی بهترین ترکیب جهت تهیه کپسول‌های عصاره ضایعات غوره

پارامترهای خشک‌کن پاششی مورد مطالعه در این تحقیق برای تولید بهینه کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در جدول ۳ آورده شده‌اند. پارامترهای ورودی شامل دمای ورودی خشک‌کن پاششی (۱۸۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد)، سطح مالتودکسترین (۵-۱۵ درصد) و سطح BSG (۱/۵-۰/۵ درصد) بودند. شرایط بهینه برای تولید کپسول‌های عصاره ضایعات غوره در جدول ۴ آورده شده است. این شرایط بهینه شامل ۱۲/۱۲۹ درصد مالتودکسترین، ۰/۵ درصد BSG و دمای ورودی خشک‌کن ۱۷۷/۲۲ درجه سانتی‌گراد بود و در این شرایط بهینه، کارآیی ریزپوشانی ۷۵/۶۰ درصد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۶۳/۶۵۷ درصد، محتوای رطوبت ۲/۰۶۴ درصد، حلالیت در آب ۷۳/۳۳۹ درصد، ظرفیت جذب آب ۴۵/۸۸ g/100g، دانسیته توده ۰/۴۵۴g/cm³ و فعالیت آبی ۰/۲۳۲ پیش‌بینی گردید. از آنجایی که مطلوبیت این مدل برای بهینه‌سازی تولید کپسول‌های عصاره ضایعات غوره ۸۰/۳۷ درصد بود، بنابراین این مدل قابلیت خوبی جهت بهینه‌سازی تولید کپسول‌های عصاره غوره از خود نشان داد.

جدول ۳ پارامترهای مورد بررسی جهت انتخاب تیمار بهینه

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Maltodextrin	is in range	5	15	1	1	3
B:BSG	is in range	0.5	1.5	1	1	3
C:Inlet temperature	is in range	140	180	1	1	3
EE	maximize	59.34	96.217	1	1	3
moisture	minimize	1.45	7.61	1	1	3

Hygroscopic	maximize	35.44	48.64	1	1	3
Density	is in range	0.369	0.583	1	1	3
Solubility	maximize	71.95	74.6	1	1	3
aw	minimize	0.159	0.389	1	1	3
DPPH	maximize	40.28	84.32	1	1	3

جدول ۴ تیمار بهینه نهایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی این تیمار

ویژگی‌ها	مقادیر پیش بینی شده	مقادیر واقعی
مالتودکسترین (%)	۱۲/۱۲۹	
BSG (%)	۰/۵۰۰	
دمای ورودی خشک کن (°C)	۱۷۷/۲۲۰	
کارآیی ریزپوشانی (%)	۷۵/۶۰۰	۷۶/۱۱
فعالیت آنتی اکسیدانی (%)	۶۳/۶۵۷	۶۳/۹۹۳
محتوای رطوبت (%)	۲/۰۶۴	۲/۲۶۵
حلالیت در آب (%)	۷۳/۳۳۹	۷۱/۹۰۳
ظرفیت جذب آب (g/100g)	۴۵/۸۸۰	۴۶/۴۱۶
دانسیته توده (g/cm ³)	۰/۴۵۴	۰/۴۱۴
فعالیت آبی	۰/۲۳۲	۰/۲۴۶

۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش دمای ورودی خشک کن و افزایش سطوح مالتودکسترین، کارآیی ریزپوشانی و فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول‌ها به صورت غیرخطی کاهش یافت. از طرفی با افزایش دمای خشک کن و سطوح BSG، کارآیی ریزپوشانی و محتوای رطوبت کپسول‌ها به طور غیر خطی کاهش یافت. با افزایش هر دو عامل پوشش‌دهی، حلالیت کپسول‌ها افزایش و ظرفیت جذب آب به صورت غیرخطی کاهش و دانسیته توده کپسول‌ها به صورت خطی کاهش یافت. شرایط بهینه شامل ۱۲/۱۲۹ درصد مالتودکسترین، ۰/۵ درصد BSG و دمای ورودی خشک کن ۱۷۷/۲۲ درجه سانتی‌گراد بود و در این شرایط بهینه، کارآیی ریزپوشانی ۷۵/۶۰ درصد، فعالیت آنتی اکسیدانی ۶۳/۶۵۷ درصد، محتوای رطوبت ۲/۰۶۴ درصد، حلالیت در آب ۷۳/۳۳۹ درصد، ظرفیت جذب آب ۴۵/۸۸g/100g، دانسیته توده ۰/۴۵۴g/cm³ و فعالیت آبی ۰/۲۳۲ پیش‌بینی گردید. از آنجایی که

مطلوبیت این مدل برای بهینه‌سازی تولید کپسول‌های عصاره ضایعات غوره ۸۰/۳۷ درصد بود، بنابراین این مدل قابلیت خوبی جهت بهینه‌سازی تولید کپسول‌های عصاره غوره از خود نشان داد.

۵- تقدیر و تشکر

این مطالعه با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (گرنٲ ۳/۳۷۰۹۰) انجام شده است.

۵- منابع

- ۱) احمدی، عباس، مرتضوی، سید علی، میلانی، الناز و رضائی مکرّم، رضا، ۱۳۹۱. ارزیابی بقاء باکتری ریزپوشانی شده لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس در طول دوره نگهداری بستنی ماستی سین بایوتیک. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۸ (۳)، صص. ۲۷۸-۲۷۱. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v8i3.18467>
- ۲) حاجی آقایی، مرضیه و شریفی، اکرم، ۱۳۹۹. بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی پودر نوشیدنی فوری بر پایه عصاره چغندر قرمز، کف پوشی شده به دو روش هوای داغ و انجمادی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۷ (۱۰۷)، صص. ۸۰-۶۷. <https://doi.org/10.52547/fsct.17.107.67>
- ۳) کمالی، آزاده، شرایعی، پروین، نیازمند، راضیه و عین افشار، سودابه، ۱۳۹۱. تاثیر غلظت‌های مختلف مالتودکسترین و پلی وینیل پیرولیدون بر پایداری ترکیبات موثره ی ریزپوشانی شده ی زعفران با روش خشک کن پاششی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۱ (۴)، صص. ۲۵۴-۲۴۱. [10.22101/JRIFST.2013.03.15.142](https://doi.org/10.22101/JRIFST.2013.03.15.142)
- ۴) ملکی زاده، نسرین، پیغمبردوست، سیدهادی، اولادغفاری، عارف، و سرابندی، خشایار، ۱۳۹۷. بررسی ویژگی‌های جریان پذیری پودر عصاره ی سماق ریزپوشانی شده و خشک شده به روش پاششی و اثر شرایط مختلف نگهداری آن بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی. پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۷ (۳)، صص. ۲۸۱-۲۹۶. SID. <https://sid.ir/paper/234049/fa>
- 5) Abdel-Aty, A. M., Barakat, A. Z. and Mohamed, S. A., 2023. Garden cress gum and maltodextrin as microencapsulation coats for entrapment of garden cress phenolic-rich extract: Improved thermal stability, storage stability, antioxidant and antibacterial activities. *Food Science and Biotechnology*, 32(1), pp. 47-58. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3>
- 6) Ali, B. H., Ziada, A. and Blunden, G., 2009. Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.001>
- 7) Arepally, D. and Goswami, T. K., 2019. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *Lwt*, 99, pp. 583-593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.022>
- 8) Asik, S., Atbakan Kalkan, T. and Topuz, A., 2021. Optimization of spray drying condition and wall material composition for myrtle extract powder using response surface methodology. *Drying Technology*, 39(12), pp. 1869-1882. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914077>

- 9) Bhusari, S.N., Muzaffar, K. and Kumar, P., 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266(2), pp. 354-364. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>
- 10) Caliskan, G. and Dirim, S. N., 2013. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioprocess Processing*, 91(4), pp. 539-548. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>
- 11) Cegledi, E., Garofulić, I. E., Zorić, Z., Roje, M. and Dragović-Uzelac, V., 2022. Effect of Spray Drying Encapsulation on Nettle Leaf Extract Powder Properties, Polyphenols and Their Bioavailability. *Foods*, 11(18), pp. 2852. <https://doi.org/10.3390/foods11182852>
- 12) Chen, Z., Bertin, R. and Froldi, G., 2013. EC₅₀ estimation of antioxidant activity in DPPH assay using several statistical programs. *Food Chemistry*, 138(1), pp. 414-420. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.001>
- 13) Cittadini, A., Munekata, PES., Pateiro, M., Sarriés, MV., Domínguez, R. and Lorenzo JM., 2022. Encapsulation techniques to increase lipid stability. *Food Lipids*, 1 (12), pp. 413-59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823371-9.00010-1>
- 14) Dadi, DW., Emire, SA., Hagos, AD. and Eun, J-B., 2020. Physical and functional properties, digestibility, and storage stability of spray-and freeze-dried microencapsulated bioactive products from moringa stenopetala leaves extract. *Industrial Crops and Products*, 156(1), pp. 112891. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112891>.
- 15) De Beer, D., Harbertson, J. F., Kilmartin, P. A., Roginsky, V., Barsukova, T., Adams, D. O. and Waterhouse, A. L., 2004. Phenolics: A comparison of diverse analytical methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(4), pp. 389-400. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.4.389>
- 16) Dehghan Thanha., R., Mahdian, H., Amini Fard, M. H., Bayat, H. and Garajian, R., 2018. Optimizing the extraction conditions of red pepper phenolic compounds using ultrasound waves using the response surface method. *Innovation in Food Science and Technology*, 11(1), pp. 87-97. <https://doi.org/10.30495/jfst.2019.541229>
- 17) Downey, M. O., Dokoozlian, N. K. and Krstic, M. P., 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), pp. 257-268. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.257>
- 18) Ersus, E. and Yurdagel, U., 2006. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80 (2), pp. 805–812. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>
- 19) Estevinho, B. N. and Rocha, F., 2022. Development of Food–Grade Controlled Delivery Systems by Microencapsulation of Polyphenols with Health Benefits. In *Central European Congress on Food*, pp. 495-510. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02652-9>
- 20) Fernandes, D.B.R.V., Borges, S.V. and Botrel, D.A., 2014. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), pp. 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>

- 21) Fia, G., Bucalossi, G., Gori, C., Borghini, F. and Zanoni, B., 2020. Recovery of bioactive compounds from unripe red grapes (*cv. Sangiovese*) through a green extraction. *Foods*, 9(5), pp. 566- 573. <https://doi.org/10.3390/foods9050566>
- 22) Hajiaghahi, M. and Sharifi, A., 2022. Physicochemical Properties of Red Beetroot and Quince Fruit Extracts Instant Beverage Powder: Effect of Drying Method and Maltodextrin Concentration. *Journal of Food Quality*, 2 (2), pp. 1-8. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.257>.
- 23) Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.A., Ahmadi, M. and Regenstien, J.M., 2019. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(7), pp. 794-805. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3>.
- 24) Hanlin, R. L., Hrmova, M., Harbertson, J. F. and Downey, M. O., 2010. Condensed tannin and grape cell wall interactions and their impact on tannin extractability into wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1), pp. 173-188. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.4.389>.
- 25) Jafari, S. M., Ghalenoei, M. G. and Dehnad, D., 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technology*, 311(2), pp. 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>
- 26) Jakubczyka, E., Gondeka, E., Tamborb, K., Jakubczyk, E., Gondek, E. and Tambor, K., 2011. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. In *ICEF 11 International Congress on Engineering and Food*. Athens, Greece: International Association of Engineering and Food. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914077>.
- 27) Kennedy, J. A., Matthews, M. A. and Waterhouse, A. L., 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), pp.268-274. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.001>.
- 28) Kim, S. Y., Hyeonbin, O., Lee, P. and Kim, Y. S., 2020. The quality characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of reduced-fat yogurt and nonfat yogurt supplemented with basil seed gum as a fat substitute. *Journal of Dairy Science*, 103(2), pp. 1324-1336.
- 29) Li, T.S., Sulaiman, R., Rukayadi, Y. and Ramli, S., 2021. Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116(2), pp. 106-122. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.080>
- 30) Li, Y., Tang, B., Chen, J. and Lai, P., 2017. Microencapsulation of plum (*Prunus salicina* Lindl.) phenolics by spray drying technology and storage stability. *Food Science and Technology*, 38(2), pp. 530-536. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.257>.
- 31) Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M. and Alves, V. D., 2020. Microencapsulation of pineapple peel extract by spray drying using maltodextrin, inulin, and Arabic gum as wall matrices. *Foods*, 9(6), pp. 718-728. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>.
- 32) Mahdi, A. A., Mohammed, J. K., Al-Ansi, W., Ghaleb, A. D., Al-Maqtari, Q. A., Ma, M. and Wang, H., 2020. Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic,

- modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152(3), pp. 1125-1134. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.001>.
- 33) Mattivi, F., Guzzon, R., Vrhovsek, U., Stefanini, M. and Velasco, R., 2006. Metabolite profiling of grape: flavonols and anthocyanins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), pp. 7692-7702. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.4.389>.
- 34) Mishra, P., Mishra, S. and Mahanta, C. L., 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), pp. 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>
- 35) Moghaddam, A. D., Pero, M. and Askari, G. R., 2017. Optimizing spray drying conditions of sour cherry juice based on physicochemical properties, using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Science and Technology*, 54(2), pp. 174-184. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3>.
- 36) Navarro-Flores, M. J., Ventura-Canseco, L. M. C., Meza-Gordillo, R., Ayora-Talavera, T. D. R. and Abud-Archila, M., 2020. Spray drying encapsulation of a native plant extract rich in phenolic compounds with combinations of maltodextrin and non-conventional wall materials. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), pp. 4111-4122. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.001>.
- 37) Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F. and Durrieu, V., 2013. Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. *Industrial crops and products*, 42(1), pp. 469-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>.
- 38) Öncül, N. and Karabiyikli, Ş., 2015. Factors affecting the quality attributes of unripe grape functional food products. *Journal of Food Biochemistry*, 39(6), pp. 689-695. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12175>
- 39) Ordoñez, A. AL., Gomez, J.D., Vattuone, M. A. and Isla M I., 2006. Antioxidant activities of sechium edule (Jacq) Swartz extracts. *Food Chemistry*, 97(3), pp. 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
- 40) Oszmiański, J., Wojdyło, A. and Kolniak, J., 2011. Effect of pectinase treatment on extraction of antioxidant phenols from pomace, for the production of puree-enriched cloudy apple juices. *Food Chemistry*, 127(2), pp. 623-631. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914073>.
- 41) Pellicer, J. A., Fortea, M. I., Trabal, J., Rodríguez-López, M. I., Carazo-Díaz, C., Gabaldón, J. A. and Núñez-Delicado, E., 2018. Optimization of the microencapsulation of synthetic strawberry flavour with different blends of encapsulating agents using spray drying. *Powder Technology*, 338 (2), pp. 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.080>
- 42) Pudziuvelyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D. M. and Bernatoniene, J., 2019. Microencapsulation of Elsholtzia ciliata herb ethanolic extract by spray-drying: impact of resistant-maltodextrin complemented with sodium caseinate, skim milk, and beta-cyclodextrin on the quality of spray-dried powders. *Molecules*, 24(8), pp. 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.002>.

- 43) Pui, L. P., Karim, R., Yusof, Y. A., Wong, C. W. and Ghazali, H. M., 2020. Optimization of spray-drying parameters for the production of ‘Cempedak’ (*Artocarpus integer*) fruit powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), pp. 3238-3249. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01271-7>.
- 44) Quek, S. Y., Chok, N. K. and Swedlund, P., 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), pp. 386-392. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.257>.
- 45) Ricci, A., Mejia, J. A. A., Versari, A., Chiarello, E., Bordoni, A. and Parpinello, G. P., 2022. Microencapsulation of polyphenolic compounds recovered from red wine lees: Process optimization and nutraceutical study. *Food and Bioproducts Processing*, 132(2), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>
- 46) Sablania, V. and Bosco, S.J.D., 2018. Optimization of spray drying parameters for *Murraya koenigii* (Linn) leaves extract using response surface methodology. *Powder Technology*, 335(3), pp. 35-41. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914077>.
- 47) Setford, P. C., Jeffery, D. W., Grbin, P. R. and Muhlack, R. A., 2017. Factors affecting extraction and evolution of phenolic compounds during red wine maceration and the role of process modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 69 (2), pp. 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>.
- 48) Singh, C.S., Paswan, V.K. and Rai, D.C., 2019. Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini* L.) pulp powder. *LWT*, 109(2), pp. 1-6.
- 49) Tinello, F. and Lante, A., 2018. Recent advances in controlling polyphenol oxidase activity of fruit and vegetable products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50 (2), pp. 73-83. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3>.
- 50) Tonon, R. V., Freitas, S. S. and Hubinger, M. D., 2011. Spray drying of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), pp. 691-700. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00518.x>
- 51) Vanzo, A., Cecotti, R., Vrhovsek, U., Torres, A.M., Mattivi, F. and Passamonti, S., 2007. "The fate of trans-caftaric acid administered into the rat stomach". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (4), pp. 1604–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>.
- 52) Vidović, S. S., Vladić, J. Z., Vaštag, Ž. G., Zeković, Z. P. and Popović, L. M. 2014. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja Montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technology*, 258 (2), pp. 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>
- 53) Zorić, Z., Pelaić, Z., Pedisić, S., Garofulić, I. E., Kovačević, D. B. and Dragović-Uzelac, V., 2017. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. *LWT-Food Science and Technology*, 118 (2), pp. 109-121. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3>.

Optimization of the microcoating of polyphenolic compounds of *Vitis vinifera* wastes with maltodextrin and basil seed gum

Bahram Hasani¹, Fakhri Shahidi², Seyed Ali Mortazavi²*, Mohabbate Mohibi², Reza Farhoosh²

¹ PhD student, Department of Food Industry, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Professor, Department of Food Industry, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Microencapsulation of polyphenolic compounds with the aim of improving their stability and release has received much attention. In the present research, the polyphenolic extract of the wastes extracted by the combined effect of enzyme treatment and ultrasound was coated with maltodextrin and basil seed gum. In order to optimize the preparation of microcapsules, Design-Expert 13.0 software and response surface method were used. This design included 3 independent variables of maltodextrin level, basil seed gum (BSG) level and spray dryer inlet temperature. The design of the test was done in the form of a central composite design (CCD) and 4 repetitions at the central point. According to the results, increasing the inlet temperature of the dryer and increasing the level of maltodextrin as a carrier decreased the microcoating efficiency and the DPPH radical scavenging activity of the capsules in a non-linear manner. Increasing the temperature of the dryer and the level of the BSG carrier led to a non-linear decrease in the microencapsulation efficiency and the moisture content of the extract capsules. The increase of both coating factors caused an increase in the solubility of the capsules and a non-linear decrease in the water absorption capacity and a linear decrease in the mass density of the capsules. The optimal conditions included 12.129% maltodextrin, 0.5% BSG and the inlet temperature of the dryer was 177.22 degrees Celsius, and in these optimal conditions, microencapsulation efficiency was 75.60%, antioxidant activity was 63.657%, moisture content was 2.064%, water solubility was 73.339%, water absorption capacity was 88.45 g/100g, and bulk density was 63.657%. 0.454 and water activity was predicted to be 0.232. Since the desirability of this model for optimizing the production of capsules of extract of gourd waste was 80.37%, so this model showed a good ability to optimize the production of capsules of gourd extract.

Key words: Sour grape, maltodextrin, microcapsule, basil seed gum

* Corresponding Author: mortazavia292@gmail.com