



بررسی رفتار رهایش ترکیبات زیست فعال از پودرهای درون پوشانی شده بر پایه آب انار با استفاده از

مدل های تجربی

سمیرا امیرسلمانی پور^۱، شیما یوسفی^{۲*}، محمدرضا حسین پور^۳

۱-دانش اموزخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ایران.

۲-استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۳- استادیار، گروه شیمی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

کلمات کلیدی:

آب انار،

ریزدرون پوشانی،

رهایش،

مالتودکسترین،

مدل سازی.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.297

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.2.5

* مسئول مکاتبات:

shyousefi81@gmail.com

بهینه سازی شرایط عملیاتی خشک کردن پاشی می تواند بستر مناسبی جهت تولید فرآورده هایی با کیفیت فیزیکی و شیمیایی ایده آل باشد. در این تحقیق تاثیر غلظت های متفاوت دیواره (مالتودکسترین) به هسته (عصاره آب انار) بر پاسخ های راندمان ریزدرون پوشانی، محتوی ترکیبات پلی فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات آنتوسیانین با استفاده از روش آماری سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی بررسی شد. میزان بهینه سازی بر اساس بالاترین مقدار ترکیبات آنتوسیانین، پلی فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و راندمان ریزدرون پوشانی انجام شد. معادله درجه دوم با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۶) می تواند به خوبی شرط بهینه نسبت پوشش دیواره (مالتودکسترین) به هسته (عصاره آب انار) $18/5:5/7$ را با مطلوبیت ۷۰٪ جهت حصول بالاترین بازده خصوصیات فیزیکوشیمیایی را پیش بینی نماید. جهت مقایسه نتایج تجربی و مدل پیش بینی شده در قالب آزمون تی استیودنت، از نرم افزار آماری SPSS و طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. تاثیر فرآیند ریزدرون پوشانی بر میزان رهایش ترکیبات زیست فعال طی ۶۰ روز نگهداری در چهار تیمار شامل یخچال/ تاریکی، یخچال/ نور، محیط/ تاریکی و محیط/ نور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس اختلاف معنی داری را بین تیمارها نشان داد و تیمار یخچال/ تاریکی بیشترین پایداری را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. با استفاده از نرم افزار متلب، نتایج تجربی بدست آمده از آزمایش ها با مدل های تجربی بدست آمده از مقالات برازش شدند. مدل درجه اول به عنوان مدل برتر برای هر سه پاسخ ترکیبات پلی فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان ترکیبات آنتوسیانین انتخاب شد. در نهایت اینکه تولید پودرهای ریزدرون پوشانی شده عصاره آب انار تحت شرایط بهینه، می تواند جهت توسعه غنی سازی فرآورده های غذایی با پودرهای بدست آمده محسوب گردد.

۱- مقدمه

خشک کردن پاششی روشی کارا و توجیه پذیر جهت خشک کردن محصولات غذایی و فصلی می باشد. فرآیند خشک کردن توسط خشک کن پاششی، عبارت است از تبدیل خوراک از حالت محلول به ذرات خشک جامد یا پودر. پایین بودن هزینه نیروی کار، انجام عملیات به صورت مداوم، افزایش زمان ماندگاری، کاهش وزن ماده غذایی و صرفه جویی بسیاری در هزینه های حمل و نقل و نگهداری می باشد از جمله مزایای این روش می باشد [۱]. کیفیت پودر حاصل از این خشک کن تا حد زیادی به نحوه پاشش مایع، انتقال جرم و حرارت بین مایع پاشیده شده و هوای گرم درون محفظه بستگی دارد [۲]. در این روش، هوای گرم (۳۰۰-۱۵۰°C) در محفظه خشک کن دمیده شده و با خوراک ورودی که توسط پاشنده یا اتمایزر^۱ به صورت قطرات/ ذرات ریز در آمده، تماس می یابد. در نهایت پودر خشک شده توسط هوا با سامانه سیکلونی حمل شده و ذرات ریز از جریان هوا جدا می گردند. به طور کلی سامانه خشک کن پاششی طوری طراحی می شود که گرم ترین قسمت هوای خشک کننده با قطراتی تماس می یابد که دارای بیشترین رطوبت هستند [۳].

انار^۲ از تیره پونیکاسه^۳ میوه ای است که از نظر تجاری اهمیت فراوانی داشته و به میزان وسیعی در قسمت هایی از آسیا، شمال آفریقا، کشورهای منطقه مدیترانه و خاورمیانه کشت داده می شود. ایران یکی از مهم ترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان انار در جهان می باشد. میوه انار به میزان وسیعی به شکل تازه یا فرآوری شده در قالب آبمیوه، مربا، شربت، و یا سس به کار می رود [۴]. انار یک منبع طبیعی غنی از ترکیبات فنلی است که حاوی آنتی اکسیدان هایی همچون تانن، پلی فنل، فلاونوئید و ویتامین ث می باشد [۵]. سایر آنتی اکسیدان های انار شامل توکوفرول ها و آنتوسیانین ها هستند که خواص پیشگیرنده و درمانی آنها به اثبات رسیده است. آب میوه انار فعالیت های

زیست شناختی بسیار خوبی همچون ضدسرطانی، ضدباکتریایی ضدجوش، ضدقارچی، فعالیت آنتی اکسیدانی و توانایی حذف رادیکال های آزاد و تقویت سیستم ایمنی بدن، پیشگیری از بیماری های قلبی و فیبروز کبدی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید حتی در غلظت های پایین تر از ویتامین E را دارد [۶].

آنتوسیانین ها که فلاونوئیدهایی با فعالیت آنتی اکسیدانی هستند و درخشندگی آب میوه انار را باعث می شوند، طی رسیدن میوه افزایش و پس از پلاسیدگی کاهش می یابند. مواد معدنی موجود در آب میوه انار شامل آهن و عناصری همچون کلسیم، سلنیم، کلر، کبالت، کروم، سزیم، مس، پتاسیم، منیزیم، منگنز، مولیبدن، سدیم، روبیدیوم، اسکاندیوم و روی می باشد. در دهه گذشته، مطالعات فراوانی بر روی خواص آنتی اکسیدانی انار صورت گرفته و نشان داده شده است که سطح ترکیبات آنتی اکسیدانی انار بیش از سایر آب میوه ها و نوشیدنی ها می باشد [۷]. این سطح بالای فعالیت آنتی اکسیدانی انار ناشی از محتوای بالای ترکیبات پلی فنلی شامل آنتوسیانین ها (۳-گلوکوزید و ۳،۵-دی گلوکوزید های دلفینیدین، سیانیدین و پلارگونیدین)، الازیک اسید، پونیکالازین و برخی مواد فلاوانولی می باشد [۸]. ترکیبات آنتوسیانینی در شرایطی مانند حضور آنزیم های درونی، اکسیژن، اسید اسکوربیک، نور، یون های فلزی و گرما ناپایدار می باشند. بنابراین ترکیبات آنتوسیانین در برابر عوامل محیطی حساس بوده و امکان تخریب و بی رنگ شدن آن ها وجود دارد [۹]. روش های مختلفی به منظور پایدارسازی آنتوسیانین ها وجود دارد که از آن جمله می توان به روش ریزدرون پوشانی^۴ اشاره نمود. ریزدرون پوشانی روشی برای حفظ رنگدانه های طبیعی بوسیله به دام انداختن در مواد پوششی دیواره می باشد. هدف اصلی از ریزدرون پوشانی محافظت از مواد هسته در شرایط نامطلوب محیطی از قبیل اثرات نامطلوب نور، رطوبت و اکسیژن می باشد. در نتیجه کمک به رهایش کنترل شده مواد هسته می کند. در فرآیند خشک کردن پاششی، کنترل ریزدرون پوشانی جهت تولید

4. Microencapsulation

1. Atomizer
2. Pomegranate
3. Punicaceae

۲۰ کیلوگرم میوه انار با بریکس ۱۶ از شهرستان ساوه خریداری شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده شامل اسیدگالیک، رادیکال آزاد (DPPH)^۲، معرف فولین سیوکالتو^۳، مالتودکسترین با درجه اکی والانت ۶ و متانول از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند. سایر مواد و معرف های موجود در این پژوهش از شرکت سیگما آلدریچ (کانادا) در درجه خلوص بالا تهیه شدند.

۲-۲- نحوه آماده سازی نمونه آب انار

ابتدا انارها جهت زدایش آلاینده ها شستشو داده شده و به صورت دستی پوست گیری شده و عمل آبگیری توسط آبمیوه گیر خانگی صورت گرفت. سپس نمونه ها فیلتر شدند و در ظرف های تتراپک ۵۰۰ میلی لیتر در فریزر (-18°C) نگهداری شدند.

۲-۳- تهیه ریزکپسول ها برای تعیین بهینه پوشش

به هسته

در این پژوهش، محلول هایی حاوی مالتودکسترین (ماده پوششی) و آب انار با بریکس ۶ (هسته) با نسبت های مختلف پوشش به هسته شامل ۲، ۱/۲۴، ۳/۲۴، ۱/۹۵، ۳، ۱/۵، ۱/۳ و ۲/۶۶ تهیه شدند. سپس محلول های تولیدی به کمک همزن مغناطیسی به مدت زمان ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند و در نهایت محلول همگنی توسط هموژنایزر (T25 digital IKA) مدل اولتراتراکس (Ultra-Turrax) ساخت شرکت آلمان (13000 rpm) به دست آمد. محلول تولیدی توسط یک لوله نازک از طریق پمپ پرستالتیک^۴ با سرعت دوران قابل کنترل (70%) به دستگاه خشک کن پاششی آزمایشگاهی (مدل ۱۹۱، بوچی، سوئیس)^۵ با اتمایزر دو سیالی^۶ با قطر نازل 0.7 mm تزریق شد.

بر اساس مطالعات اولیه^۷، متغیرهای ثابت در فرآیند خشک کن پاششی دمای هوای ورودی (130°C)، سرعت جریان هوای ورودی ($3/6\text{ m}^3/\text{h}$) و نرخ خوراک ورودی ($8\text{ mL}/\text{min}$)

محصول با کیفیت استاندارد بسیار مهم و ضروری است. بدین منظور پیش بینی چگونگی تغییر پارامترهای کیفی محصول با تغییرات شرایط محیطی و عملیاتی، پیش نیاز طراحی یک سیستم کنترلی مناسب است. شبیه سازی سیستم خشک کن پاششی با استفاده از مدل سازی فرآیندهای انتقال جرم و حرارت و مکانیسم خشک شدن ذرات پاشیده شده انجام می شود. مجموعه معادلات مدل سازی به کمک روش های عددی حل شده و برنامه شبیه سازی نیز با استفاده از نرم افزار برنامه نویسی می شود [۱۰]. روش سطح پاسخ (RSM)^۱ مجموعه ای از روش های ریاضی و آماری است که جهت توسعه، پیشبرد و بهینه کردن فرآیندهایی به کار می رود که در آن ها سطح مورد نظر تحت تاثیر متغیرهای بسیاری قرار داشته و هدف بهینه نمودن پاسخ مزبور است. روش سطح پاسخ کاربرد قابل توجهی در طرح ریزی، توسعه و فرموله کردن محصولات جدید، همچنین ارتقای طراحی محصولات جود دارد. این روش تاثیر متغیرهای مستقل بر فرآیند را به تنهایی یا با هم تعیین می کند. این روش شناسی تجربه ای، علاوه بر آنالیز تاثیرات متغیر مستقل، یک مدل ریاضی که توضیح دهنده فرآیند های شیمیایی و بیوشیمیایی است را در اختیار محقق قرار می دهد. در واقع روش سطح پاسخ می تواند یک طرح مناسب آزمایشگاهی را مبتنی بر داده های مقداری جهت تعیین و حل همزمان مسأله های چند متغیره استفاده کند، معادلات بدست آمده تاثیر متغیرهای غیروابسته آزمایشی را بر میزان متغیر پاسخ توضیح داده و رابطه متقابل بین متغیرهای آزمون را مشخص می کند [۱۱]. در مرحله بعد مدل بدست آمده حاصل از داده های آزمایشگاهی با مدل های تجربی بدست آمده از مقالات با استفاده از نرم افزار مطلب برازش خواهند شد و مدل برتر از میان مدل های تجربی انتخاب می شود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مورد استفاده در تحقیق

1. Response surface methodology (RSM)

2. 1,1- diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)
3. Folin-Ciocalteu's reagent
4. Peristaltic pump
5. Mini Spray dryer Buchi (B-191)
6. Two-fluid nozzle
7. Preliminary study

۲-۳-۱- ارزیابی بازده تولید

میزان آنتوسیانین پودر تولیدی وعصاره انار مورد استفاده قبل از عملیات خشک شدن پاششی بر حسب میلی گرم بر میلی لیتر جهت تعیین راندمان تولید به کار گرفته شدند [۱۳].
میزان آنتوسیانین بعد پودر - میزان آنتوسیانین هسته قبل پودر = راندمان
میزان آنتوسیانین هسته قبل پودر

انتخاب شدند [۱۲، ۱۱]. پودر تولیدی در محفظه زیر سیلکون در انتهای مسیر جمع آوری شده و بلافاصله برای سردکردن به دسیکاتور منتقل شدند. سپس در ظروف مخصوص تیره رنگ و شیشه ای در دمای محیط و در یخچال در مقابل نور و تاریکی برای انجام سایر آزمایش ها نگهداری شدند. پس از تهیه پودر آب انار اندازه گیری محتوی ترکیبات پلی فنلی، آنتوسیانین و فعالیت آنتی اکسیدانی در ۱۳ تیمار انجام شد (جدول ۱).

Table 1 determination optimal of the wall to the core by CCD*

Run	Wall/core	Polyphenol (µg/mL)	Anthocyanin (mg/mL)	Antioxidant activity (%)	Encapsulation efficiency (%)
1	2.017	16.53	51.45	32.11	53.22
2	1.2	26.816	78.55	28.87	28.59
3	3.24	14.344	40.6	37.32	63.09
4	1.95	17.28	70.45	23.1	35.95
5	3	16.528	43.35	32.74	60.59
6	1.5	21.936	75.85	27.81	31.04
7	1.34	23.264	77.65	39.62	29.40
8	2.66	16.752	46.05	38.65	58.13
9	2	16.75	50.55	30.24	54.04
10	2	17.56	54.95	30.88	50.04
11	2	18.06	60.05	29.56	45.40

Central composite design*

۲-۳-۲- تعیین محتوای کل ترکیبات فنلی

روش Lu و همکاران (۲۰۱۱) جهت ارزیابی محتوای ترکیبات فنل کل با استفاده از معرف فولین سیوکاتیو به کار گرفته شد. به طور خلاصه، مقدار ۰/۱ میلی لیتر از نمونه به ۰/۷۵ میلی لیتر واکنشگر فولین که به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر رقیق شده بود، افزوده گردید. پس از ۱۰ دقیقه نگهداری مخلوط در دمای محیط، ۰/۷۵ میلی لیتر کربنات سدیم (۲۰٪) اضافه شد. پس از ۴۵ دقیقه نگهداری در تاریکی، جذب مخلوط نهایی با استفاده از دستگاه اسپکتوفوتومتر (مدل CEILE-2، انگلستان) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. به منظور ارزیابی صحیح مقادیر قرائت شده، منحنی استاندارد برای اسید گالیک ترسیم شد. میزان کل ترکیبات فنلی بر اساس منحنی استاندارد گالیک اسید منحنی استاندارد گالیک اسید تعیین گردید [۱۴].
 $(Y=0.0776X+0.0117, R^2=0.9986)$

۲-۳-۳- سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی اکسیدانی در قالب درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH و بر طبق روش توضیح داده شده توسط Yousefi و همکاران (۲۰۱۴) ارزیابی شد [۱۵]. براساس محلول استوک با حل نمودن ۶ میلی گرم رادیکال آزاد در ۱۰۰ میلی لیتر متانول (۰/۰۶۲۵ میلی مول بر لیتر) تهیه و در دمای اتاق تحت شرایط تاریکی نگهداری شد. ۰/۱ میلی لیتر از نمونه حاوی عصاره رقیق شده با ۳/۹ میلی لیتر محلول استاک آماده شده مخلوط گردید. محلول کنترل رادیکال آزاد با استفاده از ترکیب محلول DPPH و متانول هم حجم آن تهیه گردید. جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر در زمان های متوالی متفاوت تا رسیدن به شرایط پایدار شیمیایی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری (مدل CEILE 2، انگلستان) خوانده شد. غلظت DPPH در محیط واکنشی با استفاده از منحنی کالیبراسیون تعیین گردید.
مقدار DPPH باقیمانده (DPPH_{rem}) در شرایط پایا با استفاده از رابطه ۲ بدست آمد.

گردید (جدول ۱). طرح آزمایشی شامل چهار تیمار فاکتوریلی (آزمایش ۱ تا ۴)، چهار تیمار محوری (آزمایش ۵ تا ۸) و ۵ تیمار مرکزی (آزمایش ۹ تا ۱۳)

که A, MW, DF, L و ε به ترتیب مقدار جذب، وزن مولکولی، عامل رقت، عرض سل و ضریب جذب مولی مولکول سیانیدین-۳-گلوکوزید در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر می باشند.

می باشد. پاسخ های طرح نیز شامل راندمان ریزدرون پوشانی، محتوای ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی بودند. سطح آلفای α چرخشی بر اساس رابطه ۵ در این طرح لحاظ گردید:

(۵)

$$\alpha = (\text{تعداد تیمارهای فاکتوریلی موجود در طرح})^{1/25}$$

از آنجایی که در طرح حاضر تعداد تیمارهای فاکتوریلی ۴ می باشد، لذا بر پایه رابطه فوق مقدار $\alpha = 1.41 \pm$ برای α در نظر گرفته شد، پس از انجام آزمایش ها (میزان آنتوسیانین، درصد بازدارندگی رادیکال آزاد و میزان فنل کل)، آنالیز پاسخ ها نسبت به تعیین بهینه پوشش به هسته انجام شد. کیفیت مدل های برازش یافته با استفاده از شاخص هایی همچون ضریب همبستگی (R^2)، ضریب همبستگی تنظیم یافته (R^2_{adj})، ضریب دقت کافی (ADP)² و ضریب تغییرات (CV)³ ارزیابی شدند (جدول ۲) [۱۷]. در فاز دوم این پژوهش تاثیر سه متغیر شامل دمای نگهداری (۴ و ۲۴ درجه سانتی گراد)، شرایط نگهداری (نور و تاریکی) و زمان ماندگاری در روزهای (۱، ۳، ۷، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰) بر پاسخ محتوای ترکیبات آنتوسیانین، محتوای ترکیبات آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنل کل بررسی شدند. در مرحله بعد داده های تجربی بدست آمده از آزمایش ها با مدل های تجربی آماده موجود در مقالات با استفاده از نرم افزار SPSS توسط آزمون تی استیودنت مقایسه شدند. مدلی که کمترین خطا و ضریب همبستگی بالاتری را برخوردار بود به عنوان مدل مطلوب انتخاب شد. همچنین برای مقایسه نتایج تجربی بهینه بدست آمده از طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد.

$$DPPH = \frac{(DPPH)_{ss_{rem}}}{(DPPH)_c} \times 100$$

که $(DPPH)_c$ و $(DPPH)_{ss}$ به ترتیب مقادیر رادیکال آزاد اولیه و مقدار آن در شرایط پایا می باشد.

۲-۳-۴- تعیین محتوای آنتوسیانین

اندازه گیری محتوای ترکیبات آنتوسیانین بر اساس روش Worstad و Garzin (۲۰۰۱) انجام گرفت که اساس این روش بر اساس اختلاف pH می باشد. برای ساخت بافر ۱، مقدار ۰/۱۸ گرم پتاسیم کلراید در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. سپس به محلول، قطره قطره اسید کلریدریک و آب مقطر (نسبت ۱:۱) اضافه شد تا pH روی ۱ تثبیت شود. برای ساخت بافر ۵/۴، ۴/۲۳ گرم استات سدیم را در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر حل نموده و به محلول قطره قطره اسید استیک و آب (نسبت ۱:۱) را تا رسیدن به pH=۴/۵ اضافه می کنیم. سپس ۰/۵ میلی لیتر از نمونه آب انار صاف شده با کاغذ صافی با هر کدام از بافرها در بالن ۵ میلی لیتر به حجم رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در تاریکی نگهداری شدند. سپس نمونه ها با دستگاه سانتریفوژ با ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شده و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری با طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر جذب نمونه خوانده شد. در این آزمایش از بافرهای ۴/۵ و ۱ به عنوان شاهد استفاده شده است و میزان آنتوسیانین ها معادل سیانیدین-۳-گلوکوزید طبق روابط (۳-۴) محاسبه گردید [۱۶].

(۳)

$$(A510nm - A700nm) pH1 - (A510nm - A700nm) pH4.5$$

$$\text{Anthocyanin(mg/ml)} = A \times MW \times DF \times 1000 / \varepsilon \times L$$

۲-۴- بهینه سازی و آنالیز آماری

در این طرح ابتدا با کمک نرم افزار آماری دیزاین اکسپرت (نسخه ۸، آمریکا) در قالب طرح مرکب مرکزی چرخشی (CCRD)^۱ نسبت به بهینه سازی نسبت پوشش به هسته با ۱۳ تیمار اقدام

2. Adequate precision
3. Coefficient of variation

1. Central composite rotatable design (CCRD)

Table 2 Variance analysis compounds Anthocyanin, polyphenol, antioxidant activity

Reference	Anthocyanin(mg/ml)			Polyphenol (µg galic acid/ml)			Antioxidant activity (%)		
	Coefficient	Sum of squares	P-value	Coefficient	Sum of squares	P-value	Coefficient	Sum of squares	P-value
Liner									
Core (A)	-13	52.84	<0.0001**	-3.24	83.96	<0.0001**	-1.93	29.77	0.0006**
Wall (B)	5.34	8.23	0.11600 ^{ns}	0.3242	0.8408	0.2026 ^{ns}	0.88	56.23	0.0001**
Quadratic									
Square of core(A ²)	-0.343	0.22	0.5959 ^{ns}	0.1629	0.1629	0.5312 ^{ns}	-0.75	0.12	0.7105 ^{ns}
Square of wall(B ²)	-14.01	54.80	<0.0001**	2.49	0.4297	<0.0001**	3.68	22.45	0.0013**
Interaction									
wall & core (A×B)	-0.037	0.040	0.8200 ^{ns}	0.2600	0.2705	0.4515 ^{ns}	0.49	0.98	0.3138 ^{ns}
Lack-of-fit		1.07	0.78430 ^{ns}		0.4656	0.8638 ^{ns}		0.98	0.3767 ^{ns}
Pure error		3.94			2.52			0.72	
R ²	0.9552			0.9773			0.9499		
Radj	0.9301			0.9611			0.9141		
Cv	6.52			3.38			1.76		
Adequate precesion	19.197			23.346			16.680		

** , *, ns :Represent significant at level of p<0/05, p<0/01 and not- significant respectively

۲-۴-۱- یافته ها

دوم شاخص های پاسخ یعنی ترکیبات آنتوسیانین، محتوی فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی به ترتیب ۰/۹۵۹۴، ۰/۹۷۷۳، ۰/۹۴۹۹ و ۰/۹۳۰۱، ۰/۹۶۱۱، ۰/۹۱۴۱ تعیین شد (جدول ۲). مقادیر ضریب تغییرات مدل های تبیین یافته برای ترکیبات آنتوسیانین، فنل کل و آنتی اکسیدانی به ترتیب ۶/۵۲، ۳/۳۸، ۱/۷۶ محاسبه شدند (جدول ۲). در نهایت ضریب دقت بین ۱۶/۶۸۰ تا ۲۳/۰۳۴۶ متغیر بود که این امر می تواند کیفیت مدل های برازش یافته را اثبات نماید [۱۱]. شکل (۱) نیز با مقایسه داده های تجربی و پیش بینی شده، کارایی مدل های درجه دوم برازش یافته را تایید می نماید. نتایج نشان داد که اثرات خطی متغیرهای غیروابسته بر میزان محتوی ترکیبات آنتوسیانین، فنل کل و ترکیبات آنتی اکسیدانی معنی دار بودند. در میان اثرات درجه دوم و برهمکنش، تنها اثر درجه دوم پوشش دیواره معنی دار بود. بر پایه آنالیز واریانس و ضریب رگرسیونی مدل درجه دوم برازش شده اثر خطی غلظت ترکیبات هسته (A) و اثر درجه دوم پوشش دیواره (B²) و اثر خطی درصد پوشش دیواره (B) به ترتیب تاثیرگذارترین پارامترهای موجود بر میزان ترکیبات زیست فعال بودند.

۲-۴-۲- برازش داده ها و مدل سازی سطح پاسخ

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، داده های آزمایشی حاصل از آنالیز محتوی ترکیبات فنلی کل، فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوی ترکیبات آنتوسیانین با استفاده از معادلات درجه دوم به طور رضایت بخشی برازش یافت. برازش داده ها در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۰۰۱ معنی دار بودند، درحالی که شاخص عدم برازش^۱ به طور قابل توجهی غیر معنی دار ارزیابی شد. معادلات برازش یافته درجه دوم برای پاسخ های سه گانه محتوی ترکیبات آنتوسیانین (Y₁)، فنلی کل (Y₂)، فعالیت آنتی اکسیدانی (Y₃) به ترتیب در روابط ۶-۸ آمده است:

$$Y_1 = 11.35 - 2.57 * A + 1.01 * B + 0.10 * A * B - 0.18 * A^2 + 2.81 * B^2 \quad (۶)$$

$$Y_2 = 17.683.24 * A + 0.32 * B + 0.26 * A * B + 0.16 * A^2 + 2.49 * B^2 \quad (۷)$$

$$Y_3 = 50.74 - 1.93 * A + 2.65 * B - 0.49 * A * B - 0.13 * A^2 + 1.80 * B^2 \quad (۸)$$

در این روابط، A و B به ترتیب دو متغیر مستقل هسته و پوشش می باشند. ضریب R² و R²_{adj} برای مدل های درجه

1. Lack of fit

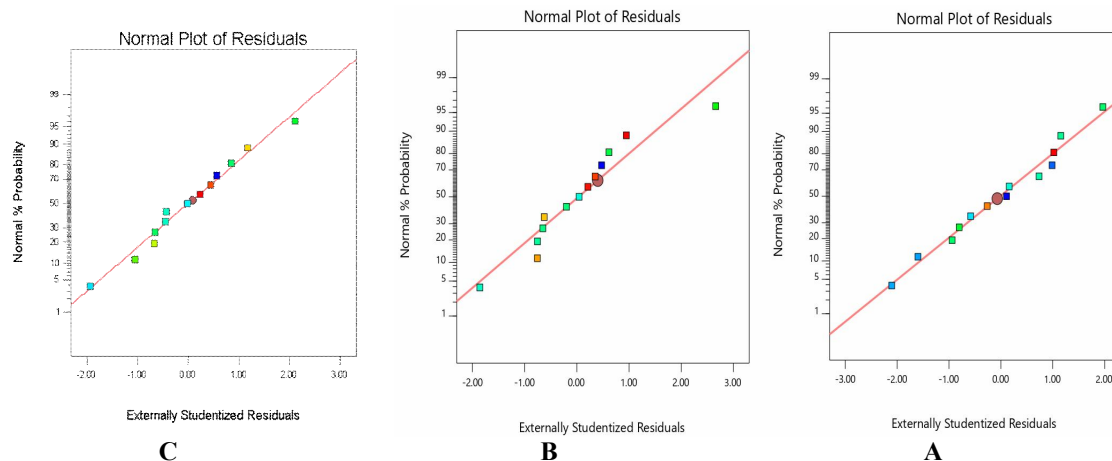


Fig 1 Comparison of experimental and predicted data for A: Anthocyanin B: Polyphenol C: antioxidant activity of encapsulated pomegranate juice powder

با مطلوبیت^۱ ۰/۷۰ به دست آمد. میزان آنتوسیانین، محتوی فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در نقطه بهینه به ترتیب ۸۸/۳۰۹ میلی گرم در میلی لیتر، ۲۳/۶۳۶ میکروگرم بر میلی لیتر بر حسب گالیک اسید و ۳۶/۲۱۷ درصد بود. جهت مقایسه نتایج تجربی و مدل پیش بینی در نرم افزار RSM از SPSS در قالب آزمون تی استیودنت بهره گرفته شد. با توجه به میزان p -value بدست آمده ($p < ۰/۰۱$) تفاوت معنی داری بین داده های تجربی و مدل پیش بینی شده وجود ندارد و داده های تجربی و مدل پیش بینی شده اختلاف کمی با هم دارند همچنین برای مقایسه نتایج تجربی بهینه بدست آمده از طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد با توجه به خطای استاندارد کمتر داده های تجربی ترکیبات فنل کل نسبت به فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان آنتوسیانین ها نتایج بهتری را نشان دادند و به عنوان نتایج تجربی بهینه شناخته شدند.

در فاز دوم پژوهش، تاثیر شرایط نگهداری (دمای محیط و یخچال) و زمان ماندگاری ۶۰ روز به ترتیب در روزهای (۱، ۳، ۷، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰) بر پاسخ محتوای ترکیبات زیست فعال (ترکیبات آنتوسیانین، پلی فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی) پودرهای ریزدرون پوشانی شده عصاره آب انار به ترتیب در نمونه های یخچال- تاریکی، یخچال-نور، محیط-تاریکی، محیط-نور مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲، ۳ و ۴). در مورد

نتایج نشان داد افزایش غلظت ترکیبات دیواره (مالتودکسترین) از ۱۱/۵۰ تا ۱۵ درصد منجر به کاهش معنی داری در میزان ترکیبات زیست فعال خواهد شد و از طرفی با افزایش غلظت ترکیبات دیواره از ۱۵ تا ۱۹/۹۵ درصد، افزایش معنی داری در میزان ترکیبات زیست فعال پودر آب انار تولیدی مشاهده شده است. همچنین با افزایش مقدار ترکیبات هسته از ۴/۹۵ به ۱۰/۰۵ درصد، میزان ترکیبات زیست فعال پودر تولیدی به صورت خطی کاهش یافت. مطابق نتایج اختلاف معنی داری بین مقادیر تجربی و میزان عددی پیش بینی شده در این تحقیق مشاهده نگردید. پراکنش مقادیر باقی مانده که تفاوت بین میزان عددی پیش بینی و مقدار تجربی را نشان می دهد خط مستقیمی را تشکیل می دهد و مقادیر باقی مانده به شکل نرمال در دو سمت خط پراکنده اند. این نمودار نشان دهنده برازش معقول نقطه مورد آزمایش با مقدار پیش بینی شده توسط مدل بود (شکل ۱). همچنین مقدار عددی داده های تجربی و داده های قابل پیش بینی در ترکیبات آنتوسیانین، محتوی فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در جدول ۳ آورده شده است. بهینه سازی متغیرهای مستقل پس از تجزیه و تحلیل آماری بر اساس دستیابی به بالاترین میزان آنتوسیانین، محتوی فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی صورت پذیرفت. فرمولاسیون بهینه در نمونه تولیدی شامل ترکیب هسته (۵/۷۰ درصد) و مالتودکسترین به عنوان پوشش دیواره (۱۸/۵۰ درصد)

بر حسب درصد) را دارا بودند. به این ترتیب تیمار یخچال- تاریکی به عنوان مطلوب ترین تیمار شناخته شد، بعد از تیمار یخچال- تاریکی تیمار مربوط به یخچال-نور، محیط-تاریکی و محیط-نور به ترتیب حائز رتبه های بیشترین تا کمترین میزان فعالیت آنتی اکسیدان را شامل شدند ($P < 0.05$). نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده های اندازه گیری شده نشان داد که میزان ترکیبات آنتوسیانین، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در نمونه شاهد (نمونه عصاره آب انار بدون فرآیند ریزدرون پوشانی در شرایط مشابه) با نمونه یخچال-تاریکی اختلاف کمی دارد.

چهار تیمار مورد بررسی، تیمار مربوط به یخچال-تاریکی به طور معنی داری بیشترین ترکیبات زیست فعال (میزان ترکیبات آنتوسیانین $109/11 \pm 0/11$ میلی گرم در میلی لیتر، میزان ترکیبات فنل کل $28/97 \pm 0/4$ بر حسب میکروگرم گالیک اسید بر میلی لیتر و میزان فعالیت آنتی اکسیدانی $34/47 \pm 0/76$ بر حسب درصد) و تیمار محیط-نور کمترین میزان ترکیبات زیست فعال (میزان ترکیبات آنتوسیانین $91/96 \pm 0/11$ میلی گرم بر میلی لیتر، میزان ترکیبات فنل کل $20/779 \pm 0/3$ میکروگرم گالیک اسید بر میلی لیتر، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در این تیمار $1/5 \pm 26/5$)

Table 3 Comparison of experimental results and predicted model

Parameter	Dependent Variable		
	Anthocyanin (mg/mL)	Polyphenol (μ g/mL)	Antioxidant (%)
Prediction	87.57 \pm 0.95	23.35 \pm 0.39	36.80 \pm 0.65
Experimental*	87.53 \pm 0.60	23.37 \pm 0.08	36.5 \pm 0.60

*Experimental data obtained from three repetition tests & Data in the table has been shown as mean \pm standard deviation

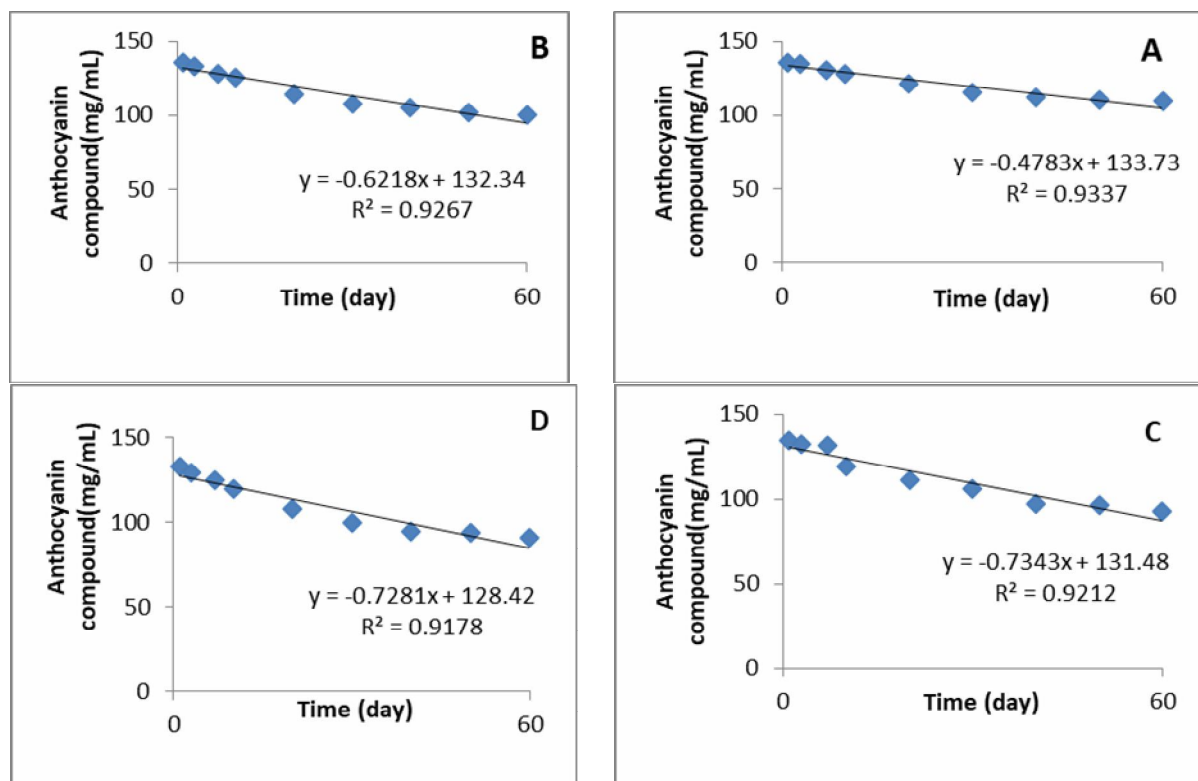


Fig 3 Changes of concentration in anthocyanin compounds during 60 days. A: refrigerator-dark, B: refrigerator-light, C: environment-dark, and D: environment-light conditions.

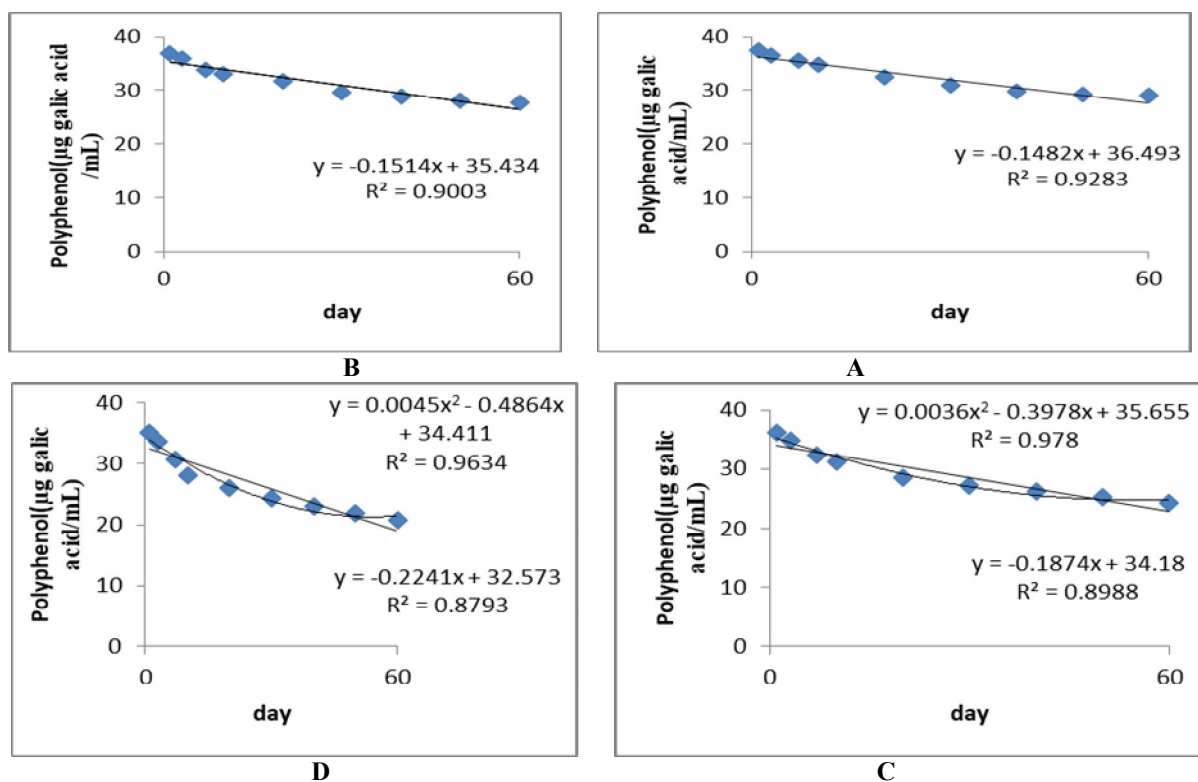


Fig4 Changes of concentration in Polyphenol compounds ($\mu\text{g gallic acid/mL}$) during 60 days A: refrigerator-dark, B: refrigerator-light, C: environment-dark, D: environment-light conditions

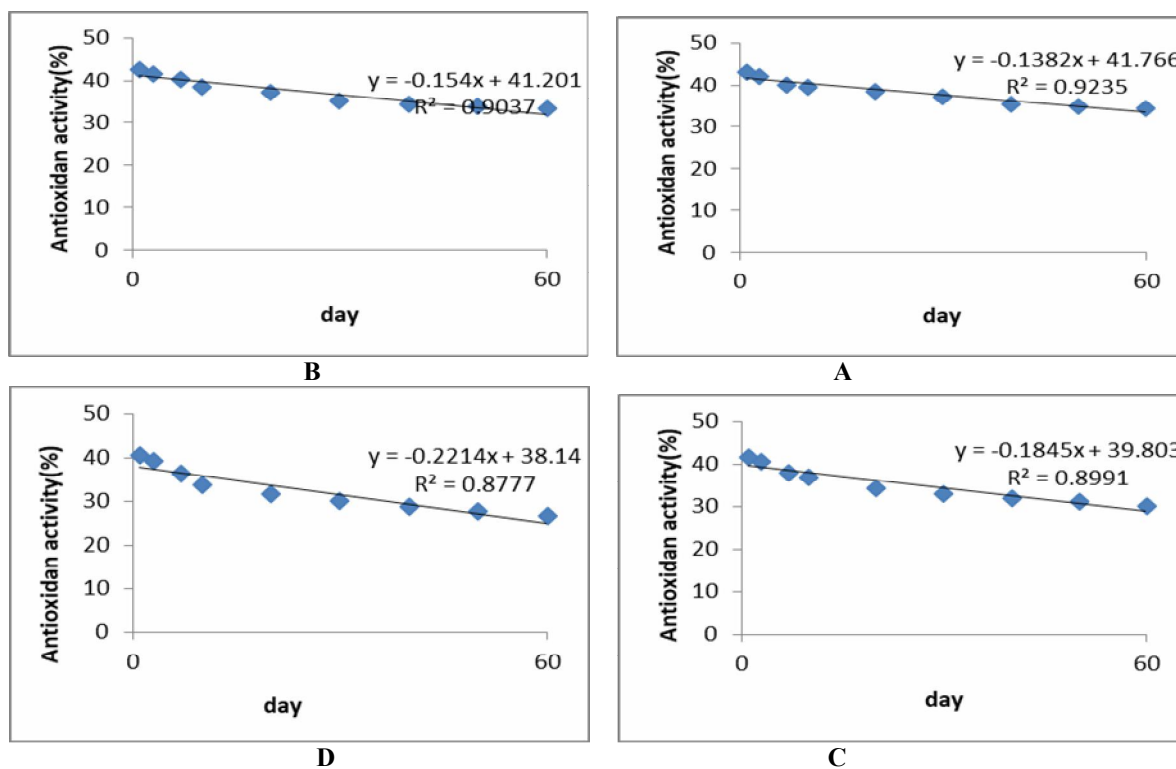


Fig 5 Changes of concentration in antioxidant activity (%) during 60 days A: refrigerator-dark B:refrigerator-light C: environment-dark D: environment-light conditions

فعال در چهار تیمار و مدل‌های تجربی انتخاب شده موجود در مقالات (**zero-order** و **First-order**)، توسط ابزار برازش منحنی نرم افزار متلب برازش شدند که نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

در قسمت نهایی تحقیق، مدل سازی سینتیکی رفتار رهایش ترکیبات زیست فعال در چهار تیمار با استفاده از نرم افزار متلب انجام شد. با توجه به اینکه رفتار رهایش ترکیبات زیست فعال از دو مدل **Zero-order** و **First-order** تبعیت می کند. داده های آزمایشگاهی بدست آمده ناشی از رهایش ترکیبات زیست

Table 4 Coefficients of the synthetic models used to release the compounds

Column1	Column2	Column3	Column4T	Treatments	Column8	Column10
Compound	model	Reduction	dark-refrigerator	light-refrigeratore	dark-environment	light-environment
constant rate						
Anthocyanin (mg/ml)	zero-order	k	-0/6207	-0/6296	-0/7233	-0/7361
	First-order	k	0/0055	0/0059	0/0066	0/0068
Polyphenol (µg galic acid/ml)	zero-order	k	0/1352	0/1463	-0/1834	0/241
	First-order	k	0/0043	0/0048	0/0066	0/0089
Antioxidan activity(%)	zero-order	k	-0/1342	-0/1442	-0/1805	-0/2262
	First-order	k	0/0036	0/0040	0/0053	0/0073

داده هایشان متناظر تجربی و پیش بینی شده نزدیک به ۱ می باشد، لذا می توان بیان کرد که مدل ها تبیین یافته از پتانسیل بالایی برای برازش داده های آزمایشی برخوردار می باشند. ضریب تغییرات می بایستی عددی ما بین ۰ و ۱۰ باشد تا میزان خطای مدل جهت تعیین نقطه بهینه قابل پذیرش باشد. از آنجایی که مقادیر این ضریب برای میزان آنتوسیانین، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی به صفر نزدیک بودند، بنابراین می توان نتیجه گرفت که درصد عدم برازش به طور قابل توجهی پایین باشد. در نهایت ضریب دقت بالای بدست آمده نیز می تواند گویای کارایی مدل های برازش یافته برای سنجش شرایط بهینه نهایی جهت تولید پودرهای ریزدرون پوشانی شده عصاره انار باشد، چرا که ضرایب دقت بالاتر از نشان دهنده تبیین مدلی مناسب با اختلافات یا خطاهای ناخواسته کمتر می باشد [۱۴]. راندمان پودر ریزدرون پوشانی شده یکی از مهم ترین شاخص های فرآیند خشک کردن پاششی محسوب می شود. با افزایش مقدار مالتودکسترین به عنوان پوشش دیواره، میزان ترکیبات زیست فعال و نیز راندمان ریزدرون پوشانی افزایش یافت. مدل های پیشنهادی در این پژوهش دارای مقادیر بالای R^2 (adj) و R^2 هستند که ضعف برازش بی معنی و ضریب تغییرات پایین آنها نشان دهنده کارایی مدل های ارائه شده در پیش بینی پارامترهای

در مرحله بعد مدل‌های سینتیکی بدست آمده با توجه به ضرایب تعیین شده برای سه گروه ترکیبات زیست فعال (آنتوسیانین، فنل کل و آنتی اکسیدانی) به صورت جداگانه رسم شد. میزان **R** (ضریب تبیین) و **RMSE** (ریشه میانگین مربعات خطا) هر مدل برای سه گروه ترکیبات زیست فعال مربوط به ۴ تیمار، توسط نرم افزار متلب به دست آمد. معیار مدل برتر، حداکثر مقدار **R** و حداقل مقدار **RMSE** بود. با توجه به مقادیر **R** و **RMSE** بدست آمده در گروه آنتوسیانین‌ها، پلی فنل ها و آنتی اکسیدان هادر ۴ تیمار، مدل **First-order** با حداکثر مقدار **R** و حداقل مقدار **RMSE** به عنوان مدل برتر انتخاب شد. مقادیر **R** و **RMSE** برای مدل **First-order** در شرایط آزمایش شده به ترتیب در ترکیبات آنتوسیانین (۰/۹۹۰۴، ۱/۶۸۴۴)، فنل کل (۰/۹۱۳۰، ۰/۶۲۷۸) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۰/۹۸۴۵، ۰/۶۱۹۸) بدست آمد.

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱- بحث

در ارتباط با برازش داده های تجربی با مدل های درجه دوم در نرم افزار **RSM**، از آنجایی که کلیه ضرایب بدست آمده برای

آنتوسیانین را در ۴ گونه بلوبری در حضور نور و در غیاب نور بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان تخریب آنتوسیانین در حضور نور بیشتر بود و میزان ترکیبات آنتوسیانین نمونه‌ها در غیاب نور بیشتر بود [۲۱]. تاثیر دما بر پایداری آنتوسیانین‌ها توسط محققان بررسی شده است. تجزیه آنتوسیانین‌ها موجب تبدیل رنگ قرمز شفاف آب‌میوه به محصول بی‌رنگ یا قهوه‌ای مایل به قرمز می‌شود. مارکاکیس در سال ۱۹۸۲ از روی شواهد احتمال باز شدن حلقه هیتروسیکلک و تشکیل شالکون را، اولین قدم در تجزیه معرفی کرده است. **Savatovic** و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات آنتوسیانین در آب سیب میکروکپسوله شده با روش خشک کردن پاششی در دو دمای ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند که مقدار ترکیبات آنتوسیانین در دمای ۴ درجه بیشتر گزارش شد [۲۲]. کاهش ترکیبات پلی‌فنل در آب انار در اثر دما و زمان به علت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و واکنش تجزیه‌ای غیرآنزیمی مانند تخریب آنتوسیانین‌ها توسط اسید اسکوربیک و همچنین تشکیل ساختارهای پلیمری از ترکیبات فنلی می‌باشد [۲۳]. **Klimczak** و همکاران در سال ۲۰۰۷ نیز روند کاهش را برای میزان ترکیبات فنل کل نمونه‌های آب پرتقال طی شش ماه دوره نگهداری در دماهای ۱۸، ۲۸ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد را بررسی کردند و کاهش معنی‌داری را در میزان ترکیبات فنلی مشاهده نمودند [۲۴]. همچنین بوران بابوا و همکاران در سال ۲۰۱۴ تغییرات در میزان آنتوسیانین و پلی‌فنل شاه‌توت را پس از ۸ ماه نگهداری در دمای ۲۰، ۳۰، ۴۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند. بر اساس تحقیقات انجام شده، پایداری ترکیبات فنل در دماهای پایین و عدم حضور نور بیشتر می‌باشد. همچنین نور سبب القای واکنش‌های اتواکسیداسیون شده و در نتیجه تجزیه ترکیبات پلی‌فنلی را تسریع می‌نمایند. تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها به طور مستقیم تحت تاثیر فاکتورهای دما و زمان می‌باشد. با تخریب و کاهش ترکیبات فنلی کل و سایر ترکیبات فیتوشیمیایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز کاهش می‌یابد [۲۵]. **Rababah** و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند که قابلیت مهارکنندگی رادیکال آزاد تحت تاثیر ساختار اسید فنلیک، فلاونوئیدها و همچنین مشتقات آن‌ها مانند تعداد گروه‌های هیدروکسیل در مولکول می‌باشد [۲۳]. مشابه نتایج تحقیق حاضر، **Klimczak** و همکاران در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که خاصیت مهارکنندگی

مورد ارزیابی است. **Tumbas Šaponjac** و همکاران (۲۰۱۶) از روش سطح پاسخ به منظور دستیابی به بالاترین مقدار پلی‌فنل و بیشینه فعالیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره تفاله چغندر قند با استفاده از خشک‌کن پاششی استفاده کردند. تاثیر فاکتور نسبت‌های مختلف دیوار به هسته (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰) در پاسخ‌ها مورد آزمایش قرار گرفت که در شرایط بهینه نسبت دیوار به هسته ۱۵۰ بدست آمد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۱۸]. طبق نمودارهای رسم شده (۵-۳) میزان رهایش ترکیبات زیست‌فعال (آنتوسیانین، پلی‌فنل و آنتی‌اکسیدانی) در طی مدت زمان ماندگاری ۶۰ روز، بیانگر این است که در دمای محیط و در معرض نور با گذشت زمان، مقادیر ترکیبات زیست‌فعال به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). کمترین میزان ترکیبات زیست‌فعال مربوط به تیمار محیط-نور و بیشترین میزان ترکیبات زیست‌فعال مربوط به تیمار یخچال-تاریکی می‌باشد. با مقایسه روند کاهش در ترکیبات زیست‌فعال در ۶۰ روز با توجه به شیب منحنی بدست آمده، بیشترین سرعت رهایش در روزهای اول نگهداری صورت گرفت که روند کاهش ترکیبات زیست‌فعال در روزهای آخر با سرعت کمتری اتفاق افتاد. روند کاهش تغییرات در ترکیبات پلی‌فنل و آنتی‌اکسیدانی طی ۶۰ روز نگهداری، با توجه به ضریب همبستگی بدست آمده از نمودار (R^2) مشابه بوده است. کاتیون فلاویلیوم آنتوسیانین‌ها به دلیل کمبود الکترون دارای قابلیت واکنش زیادی است که این واکنش‌ها سبب تغییر رنگ این رنگدانه می‌شود. بنابراین همانگونه که انتظار می‌رود آنتوسیانین‌ها معمولاً در غذاهایی که به مدت طولانی ذخیره می‌شوند تا حدی تجزیه می‌شوند. نتایج حاصل مبین این نکته است که زمان عامل مهمی در تخریب و تجزیه آنتوسیانین‌ها به شمار می‌رود. این یافته‌ها با نتایج حاصل از مطالعات **Ray** و همکاران در سال ۲۰۱۶، در مورد تخریب ترکیبات آنتوسیانین پودر آب‌آلبالو و آب‌انار مطابقت داشت و درصد این ترکیبات بعد از دو ماه کاهش پیدا کرده بودند [۱۹]. همچنین **Hernandez** و همکاران (۱۹۹۹)، تخریب ترکیبات آنتوسیانین آب‌توت‌فرنگی را طی زمان بررسی کردند که به نتایج مشابهی دست پیدا کردند [۲۰]. همچنین نور سبب القای واکنش‌های اتواکسیداسیون شده و در نتیجه تجزیه آنتوسیانین‌ها را تسریع می‌نمایند. **Laleh** و همکاران (۲۰۰۱)، میزان تغییرات ترکیبات

می تواند بهترین مدل جهت تعیین مدل سازی سینتیکی رفتار رهایش ترکیبات زیست فعال در چهار تیمار به کار رود.

۳-۲- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر شرایط بهینه میزان هسته به پوشش در روش خشک کردن پاششی به منظور تولید پودرهای ریزدرون پوشانی شده عصاره آب انار با محتوای بالای آنتوسیانین، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی ارزیابی شد. شرایط بهینه به دست آمده شامل ۵/۷۰ درصد ترکیبات هسته و ۱۸/۵۰ درصد مالتودکسترین (پوشش دیواره) با مطلوبیت ۰/۷ می باشد. میزان آنتوسیانین، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در نقطه بهینه به ترتیب ۸۸/۳۰۹ میلی گرم در میلی لیتر، ۲۳/۶۳۶ میکروگرم بر میلی لیتر بر حسب گالیک اسید و ۳۶/۲۱۷ درصد بود. آنالیز رگرسیون خطی چندگانه در قالب توابع درجه دوم ریاضی در رهایش ترکیبات زیست فعال نشان داد که این مدل ها از قابلیت متناسبی به منظور برازش داده های تجربی بدست آمده برای متغیرهای پاسخ شامل راندمان پودرهای تولیدی، محتوای ترکیبات آنتوسیانین، فنل و آنتی اکسیدانی عصاره برخوردار می باشند.

رادیکال آزاد در آب پرتقال طی شش ماه نگهداری در دمای ۳۸ درجه سانتی گراد کاهش می یابد. به طور عمده، دلیل اصلی کاهش ترکیبات آنتی اکسیدانی ناشی از دست رفتن آسکوربیک اسید طی دوره نگهداری می باشد [۲۴]. **Igual** و همکاران در سال ۲۰۱۱ آب انگور را به مدت دو ماه در دو دمای ۴ و ۱۸- درجه سانتی گراد نگهداری و فعالیت آنتی اکسیدانی آن را بررسی کردند. نتایج بیانگر آن بود که فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه های نگهداری شده در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد بیشتر از نمونه های نگهداری شده در ۴ درجه سانتی گراد بود [۲۶]. **Noranizan** و همکاران (۲۰۱۲) نیز تاثیر حرارت و نور ماوراء بنفش را بر پایداری ترکیبات آنتی اکسیدانی آب آناناس در مدت زمان ماندگاری در یخچال را بررسی کردند. میزان ترکیبات آنتی اکسیدانی در طول مدت نگهداری در نور کاهش چشمگیری داشته است [۲۷]. بر اساس تحلیل نتایج مدل سازی می توان نتیجه گرفت که در پژوهش حاضر، مدل درجه دوم با حداکثر مقدار **R** و حداقل مقدار **RMSE** توسط ابزار برازش متلب

۴- علایم و اختصارات

فعالیت آنتی اکسیدانی	Y₃	وزن مولکولی سیانیدین-۳-گلوکوزید (۴۴۹،۲)	M_w
میزان پوشش	A	فاکتور رقیق سازی	DF
میزان هسته	B	ضریب خاموشی سیانیدین-۳-گلوکوزاید (۲۴۸۶۵)	ε
ضریب همبستگی	R²	عرض سل (۱ سانتی متر در نظر گرفته شد)	L
ضریب همبستگی تنظیم یافته	R²_{adj}	رادیکال آزاد DPPH اولیه (جذب در ۷۱۵ نانومتر)	DPPH_c
ضریب دقت کافی	ADP	رادیکال آزاد DPPH در شرایط پایا (جذب در ۷۱۵ نانومتر)	DPPH_{cc}
ضریب تغییرات	CV	رادیکال آزاد DPPH باقیمانده در شرایط پایا (جذب در ۷۱۵ نانومتر)	DPPH_{rem}
		آنتوسیانین	Y₁
		فنل کل	Y₂

Investigation of suitable spray drying conditions for sugarcane juice powder production with an energy consumption study, *Agriculture and Natural Resources*, 50, 139-145.

[3] Oakley, D. (1997). Produce uniform particles by spray drying, *Chemical Engineering Progress*, 93, 48-58.

۵- منابع

- [1] Krishnaiah, D., Nithyanandam, R. & Sarbatly, R. (2014). A Critical review on the spray drying of fruit extract: Effect of additives on physicochemical properties, *Food Science and Nutrition*, 54, 449-473.
- [2] Khuenpet, K., Charoenjarasrer, N., Jaijit, S., Arayapoonpong, S. & Jittanit, W. (2016).

- [13] Soottitanatawat, A., Yoshi, H., Furuta, T., Ohgawara, M. & Linko, P. (2005). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated d-limonene by spray drying, *Innovative Food Science of Emerging Technology*, 6(1), 107-114.
- [14] Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H. M., Ross, C. F., Powers, J. R., Tang, J., & Rasco, B. A. (2011). Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared Spectroscopy, *Food Chemistry*, 129, 637-644.
- [15] Yousefi, Sh., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, M., Kobarfard, F. & Zbicinski, I. (2014). Retention rate enhancement of antioxidant and cyaniding 3-o-glucoside components of the reconstituted product from spray-dried black raspberry juice by optimizing process parameters, *Drying Technology*, 32, 1683-1691.
- [16] Garzin, G.A. & Worstad. R.F. (2001). The stability of pelargonidin based anthocyanins in solution, *Photochemistry Anal*, 9, 28-34.
- [17] Gharibzahedi, S. M. T., Razavi, S. H. & Mousavi, S. M. (2015a). Optimization and kinetic studies on the production of intracellular canthaxanthin in fed-batch cultures of *Dietzia natronolimnaea* HS-1, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7, 757-767.
- [18] Tumbassaponja, J., Cetkovic, G., Jakisic, M., Djilas, S. & Vulic, S. (2016). Encapsulation of beetroot pomace Extract: RSM Optimization, storage and Gastrointestinal stability, *Journal of Molecules*, 21, 1-16.
- [19] Ray, S., Raychaudhuri, U. & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compound used in food products by drying technology, *Food Bioscience*, 13, 76-83.
- [20] Hernandez, F., Melgarejo, P. & Tomas-barberan, F. (1999). Evaluation of juice antocyanins during ripening of new selected pomegranate (*Punic agranatum*) clones, *European Food Research & Technology*, 39, 42-210.
- [21] Laleh, G. H., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jamaei, R. & Zare, S. (2006). The effect of
- [4] Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B. & Vazifeshenas, M.R., (2010). Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars, *Scientia Horticulturae*, 126, 180-185.
- [5] Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K., & Haddad Khodaparast, M. H. (2009). Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry*, 115, 1274-1278.
- [6] Tezcan, F., Gültekin-Özgülven, M., Diken, T., Özçelik, B., & Erim, F. B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115, 873-877.
- [7] Mirsaedghazi, H., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M., Ahmadkhaniha, R., & Shafiee, A. (2010). Effect of membrane clarification on the physicochemical properties of pomegranate juice, *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1457-1463.
- [8] González-Molina, E., Moreno, D.A., & García-Viguera, C. (2009). A new drink rich in healthy bioactives combining lemon and pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115(4), 1364-1370.
- [9] Cavalcanti, R. N., Santos, D. T., & Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems—An overview, *Food Research International*, 44, 499-509.
- [10] Gibbs, B. F., Ketmasha, S., Alli, I. & Mulligan, C. N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50, 213-224.
- [11] Yousefi, Sh., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, M., Kobarfard, F. & Zbicinski, I. (2015). Developing spray-dried powders containing anthocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum, *Advanced Powder Technology*, 26, 462-469.
- [12] Gula, A., M., & Adamopoulos, K.G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: The effect of powder properties, *Journal of Food Engineering*, 66, 35-42.

- [25] Wrolstad, R.E., Durst, R.W. & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products, *Trends in Food Science & Technology*, 16, 423-428.
- [26] Igual, M., Garcia-Martinez, E., Camacho, M. & Martinez-Navarrete, N. (2011). Chang in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage, *Innovative Food Science & Emergency Technologies*, 12, 153-162.
- [27] Noranizan, M.A., China, S.L., Shamsudin, R. & Ramliwandaud, W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized pineapple juice, *International Journal of Food Research*, 19(3), 1001-1010.
- light, temperature, pH and species, *Department of surgical science*, 5(1), 90-92.
- [22] Savatovic, S., Tepic, A., Sumic, Z., Nicolic, M. (2009). Antioxidant activity of polyphenol enriched apple juice, *Journal APTEFF*, 40, 95-102.
- [23] Rababah, T.M., Hettiarachechy, N.S. & Horax, R. (2004). Total Phenolics, *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 13, 137-148.
- [24] Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M. & Gliszczynska-swiglo, A. (2007). Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and antioxidant activity of orange juice, *Journal of food composition and analysis*, 20, 313-322.



Study of bioactive compounds release behavior from pomegranate juice-based microencapsulated powders using experimental models

Amirsalmanipour, S.¹, Yousefi, Sh.^{2*}, Hosseinpour, M.³

1. Graduated master, Department of Food industry group, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran.
2. Assistant professor, Department of food industry group, Faculty Agriculture, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran.
3. Assitant pofessor, Department of Food industry group, Faculty Agriculture, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran.

ARTICIE INFO

Article History:

Received 2020/07/20
Accepted 2020/11/01

Keywords:

Pomegranate,
Microcapsulation,
Release,
Maltodextrin,
Modeling.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.297

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.2.5

*Corresponding Author E-Mail:
shyousefi81@gmail.com

ABSTRACT

Spraying drying method is one of the most important ways to prevent the loss of strategic food products and increase their shelf life. Optimizing the operating conditions of this system can be a good platform for the production of products with ideal physicochemical quality. In this study, the effect of different wall concentrations (maltodextrin) on the core (pomegranate juice extract) on efficacy encapsulation, concentration of polyphenolic compounds (μg garlic acid /ml), antioxidants (%), anthocyanins (mg/ml), using the RSM and the central composite design were investigated. The optimization rate was based on the highest amount of anthocyanin, polyphenol and antioxidant activity. Optimized conditions were: 5.70% for core compounds and 18.50% for maltodextrin as wall coatings with 70% permeability using SPSS statistical software (Version 16, USA) To compare the experimental results and the model in the form of t-student test and for the optimal experimental results, the factorial design in the form of a randomized complete block at the 95% probability level was used. The effect of microcapsulation process on the release rate of bioactive compounds during 60 days of storage was analyzed in 4 treatments: refrigerator-dark, refrigerator-light, medium-dark, environment-light. The results of the analysis of variance showed a significant difference between the 4 treatments ($p < 0.05$) and the refrigerator-dark treatment had the highest stability compared to other treatments. MATLAB software was fitted for all three groups of antioxidants, polyphenols, anthocyanins, the First-order model was selected as the top model. Finally, under optimal conditions, the production of microdermabrasion powder can be considered to develop the enrichment of food products with the obtained powders