



## بررسی خواص فراسودمندی ترکیبات فنولی کپسوله شده پوست انار ایرانی

زهرا برجی زاده<sup>۱</sup>، محمد گلی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

| اطلاعات مقاله                                                           | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تاریخ های مقاله :                                                       | امروزه مواد غذایی علاوه بر اینکه به عنوان یک منبع تغذیه ای به حساب می آیند، همچنین به علت داشتن مواد زیست فعال طبیعی به عنوان مواد سلامتی بخش برای مصرف کنندگان نقش دارند. ترکیبات فنولیک که در پوست میوه انار به فراوانی دیده می شوند از جمله ترکیبات زیست فعال می باشند که می توان بوسیله ی نانو حامل ها برای غنی سازی مواد غذایی به آنها افزود. هدف از این مطالعه درون پوشانی ترکیبات فنولیک موجود در پنج رقم پوست انار واریته های ایرانی با روش نانونیوزوم و بررسی خصوصیات شیمیایی عصاره پوست انار از جمله فعالیت آنتی اکسیدانی، راندمان استخراج عصاره و خاصیت فنولی توسط منحنی استاندارد اسید گالیک طبق روش فولین-سیو کالتیو و همچنین بررسی خصوصیات ریز پوشش های حاصل با استفاده از تجزیه و تحلیل اندازه ذرات، پتانسیل زتا و مقایسه آنها برای دست یافتن به بیشترین کارایی در بین پنج رقم انار می باشد. نتایج مطالعه نشان داد که پوست انارهای جمع آوری شده تفاوت های معنی داری (در سطح احتمال یک درصد $p < 0.05$ ) از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دارند. بررسی نتایج حاصله از خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصاره پوست انار، حاکی از آن بود که انار پوست سفید رقم گرچ شهوار بالاترین میزان ترکیبات فنولیک ( $78.00 \pm 6.72$ میلی گرم معادل اسید گالیک در ۱۰۰ گرم) و همچنین بیشترین خاصیت آنتی اکسیدانی ۴۲٪ را دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می توان گفت که کپسول های حاوی عصاره پوست انار رقم پوست سفید گرچ شهوار بهترین کارایی کپسوله کردن (۷۱٪) را دارد، که استفاده از نانو حامل های حاوی این رقم انار در مواد غذایی می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای در حفظ و پایداری ترکیبات حساس به تغییرات محیطی داشته باشد. |
| کلمات کلیدی:<br>درون پوشانی،<br>نیوزوم،<br>ترکیبات فنولیک،<br>پوست انار |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| DOI:10.22034/FSCT.21.153.103.                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| * مسئول مکاتبات:<br>Mgolifood@yahoo.com                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

## ۱-مقدمه

انار، نار یا انار خوراکی با نام علمی (پونیکا گرانatum)<sup>۱</sup> [۱] یکی از میوه‌های درختی است که دانه‌هایی اغلب قرمز و گاهی سفید یا رنگ‌هایی بین آن دو دارد. رنگ پوست آن اغلب قرمز و گاه سیاه یا تقریباً زرد است. درخت انار در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری و در کشورهای مختلفی از جمله ایران، مصر، هند، ترکیه، کالیفرنیا، ایتالیا، اسپانیا و چین کشت می‌شود. در فراوری میوه انار بخش زیادی از ضایعات کارخانه که بسته به رقم آن از ۳۰ تا ۶۰٪ متغیر می‌باشد را پوست میوه تشکیل می‌دهد [۲] در واقع پوست انار یکی از مهم‌ترین محصولات جانبی کارخانه‌های آب انارگیری است و به دلیل اثبات وجود ترکیبات پلی فنولی و دارویی فراوان و خواص سلامتی بخش عصاره آن در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. تحقیقات زیادی، وجود ترکیبات فنولی از جمله پونیکالجین و مشتقات الاجی‌تان‌ها در پوست انار را اثبات و خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست انار را بررسی نموده است [۳، ۴]، همچنین شناسایی و ارزیابی ترکیبات دارویی و غذایی عصاره پوست انار ۱۰ واریته ایرانی توسط رضایی پاینده و همکاران (۱۳۹۴) و مطالعات روحانی و همکاران (۱۳۹۴) پیرامون بررسی میزان ترکیبات فنولی، راندمان استخراج، قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH در پرچم گل زعفران به روش فراصوت [۵، ۶]، اهمیت مطالعه این ترکیبات را روشن میکند. تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات انار و مشتقات آنها توسط محققین و متخصصین صنایع غذایی و کشاورزی جهت استفاده از آنها در صنایع غذایی به عنوان افزودنی‌های طبیعی جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی (که بطور چشمگیری به علت اثرات جانبی نامطلوب محدود می‌شوند) بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، به همین دلیل در مطالعات متعدد توجه خاصی به فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات انار دیده می‌شود، از جمله استخراج آنتوسیانین و بازده استخراج عصاره انار برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی توسط

مهدیان و همکاران (۱۳۹۳) صورت گرفت [۷] تمام این فعالیت‌ها به ترکیبات فنلی موجود در انار مربوط می‌شود. ترکیبات موجود در انار با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی به واسطه خواص لاشخواری رادیکالهای آزاد و متوقف کردن اکسیداسیون چربی‌ها در شرایط آزمایشگاهی معروف می‌باشد. ریز پوشانی به عبارتی یعنی قرار دادن ذرات یا اجزا در دیواره‌ها و یا کیسه‌های کوچک در اندازه‌های زیر میکرون که همان سایز نانو می‌باشد [۸] کپسوله کردن در فناوری مواد غذایی برای پوشش‌دهی عطر و طعم، اطمینان از دسترسی به ترکیب زیست فعال با سرعت خاص در یک زمان معین، سازگار بودن با دیگر ترکیبات در یک سیستم، کنترل کنش-های اجزی زیست فعال با ماتریکس غذا، حفاظت از ترکیبات زیست فعال در برابر تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی در حین فرایند، نگهداری، مصرف، گرما، رطوبت و همچنین کنترل آزاد شدن ترکیبات زیست فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. به کمک درون پوشانی، مواد زیست فعال به صورت محصور در اختیار مواد غذایی قرار گرفته و غنی‌سازی مواد غذایی انجام می‌شود. همانطور که در مطالعه سید حاجی زاده و همکاران (۱۴۰۰) تاثیر ریز پوشش اسانس رزماری در حفظ کیفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه زردآلو [۱۰]. بوژمهرانی و همکاران (۱۴۰۱) دریافتند که پایداری اکسایشی روغن سویا با استفاده از نانولپوزوم حاوی ترکیبات آنتی-اکسیدانی تفاله انگور می‌توان افزایش داد [۱۱]. برگ زیتون بعلت خواص آنتی‌اکسیدانی برای کاهش اکسیداسیون روغن سویا توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۵) ریزپوشانی گردید [۱۲]. درون پوشانی اسانس بیدمشک به منظور حفظ ترکیبات موثره آن انجام گردید [۱۳]. با توجه به حساسیت ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی به شرایط محیطی، امروزه درون پوشانی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است، هدف از این پژوهش نیز بررسی و مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بین پنج رقم انار واریته‌های ایرانی برای دستیابی به بهترین و بالاترین میزان

فعالیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی و همچنین بیشترین قدرت درون پوشانی بین این واریته ها می باشد.

## ۲-مواد و روش ها:

### ۲-۱- مواد

نمونه های انار که شامل پنج رقم واریته های ایرانی (گرچ شهوار- پوست قرمز رامهرمز- کن تهران- پوست سیاه یزد- پوست قرمز بافقی) می باشد، از مرکز تحقیقاتی یزد خریداری شد. انار پس از شستشو و پوست گیری در دمای محیط در سایه خشک شده و سپس بوسیله آسیاب (Molinox-684) (French) به صورت پودر درآمد، پودر پوست انار تا زمان استفاده به مدت یک روز در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. اتیلیک الکل ۹۶٪ حجمی (شرکت زیست فرآورده سپاهان- ایران) آب مقطر و سایر مواد نظیر اسپن ۶۰ (سوربیتان مونواسترات)، توئین ۸۰ (پلی اکسی اتیلن سوربیتان یا پلی سوربات) کربنات سدیم ۷/۵٪، معرف فولین ۱۰٪، متانول، کلروفرم از دو شرکت مرک و سیگما الدریج آلمان خریداری شد.

### ۲-۲- روش ها

#### ۲-۲-۱- استخراج عصاره پوست انار

مقدار ۵ گرم از نمونه با ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۶٪ حجمی در ظرف نمونه گیری درب دار مخلوط شد. سپس نمونه در انکوباتور شیکر دار (۱۰۸ لیتری- کیا ژن طب صدرا- ایران) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت. با توجه به مطالعات رهنمون و همکاران (۱۳۹۵) اتانول ۹۶٪ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت بیشترین میزان استخراج را دارد [۱۴]. محلول حاصل با کاغذ صافی شماره ۱ واتمن در دو مرحله صاف گردید. محلول پس از صاف شدن به دستگاه روتاری تحت خلاء (IKA-Rontgen-German) با دور ۱۱۰ rpm و دمای ۳۸ درجه سانتیگراد منتقل و تا یک پنجم حجم اولیه تغلیظ گردیدند. عصاره های حاصل تا زمان مصرف در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری شدند [۱۵].

### ۲-۲-۲- ارزیابی راندمان استخراج عصاره

برای بررسی راندمان استخراج به وزن عصاره خشک شده نیاز است به این منظور مقدار ۵ میلی لیتر از عصاره تغلیظ شده به پتری که از قبل توزین شده منتقل شد و در آن (۵۰ لیتری- بهداد- ایران) با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت سه ساعت قرار گرفت و پس از آن در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه به ۱۵ دقیقه وزن نمونه با ترازو (TE 15025- Sartorius America) توزین شد تا به وزن ثابت رسید، وزن ثابت حاصل برای هر نمونه از وزن پتری کم شد تا وزن عصاره خشک حاصل گردید. میزان پودر حاصل از پوست نمونه که برای استخراج عصاره مورد استفاده قرار گرفت، در فرمول محاسبه راندمان استخراج وارد شد. با توجه به پارامترهای فوق راندمان استخراج عصاره حاصل گردید.

$$\text{راندمان استخراج} = \frac{\text{وزن عصاره خشک شده}}{\text{وزن پوست خشک اولیه}} \times 100$$

### ۲-۲-۳- اندازه گیری ترکیبات پلی فنلی کل

میزان ترکیبات فنلی کل بر اساس روش فولین - سیوکالتیو توضیح داده شده توسط اسفهلان و همکاران (۲۰۰۹) اندازه گیری شد. میزان ترکیبات پلی فنلی با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید رسم شده برحسب میلی گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم عصاره گزارش شد [۱۷، ۱۶].

### ۲-۲-۴- اندازه گیری قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH

به منظور سنجش قدرت آنتی رادیکالی عصاره در جذب رادیکال های آزاد DPPH (۲ و ۲ دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازین) از روش یم و همکاران (۱۳۹۱) استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریک خانه گذاری در دمای اتاق آزمایشگاه جذب نوری نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (فتونیکس- طیف سنج- ایران) در مقابل شاهد خوانده شد. فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره ها طبق فرمول زیر بر اساس درصد مهار گزارش شد [۱۹، ۱۸].

برای توزیع اندازه ذرات پارامتر PDI را گزارش می‌دهند. اساس کار این دستگاه بر پایه پراکنش نور پویا می‌باشد. نمونه‌ها در غلظت‌های مختلفی در محدوده قدرت تشخیص دستگاه رقیق شدند. برای رقیق سازی از محلول مورد استفاده در نمونه که همان آب مقطر می‌باشد استفاده شد. در نهایت اندازه قطرات براساس میانگین حجم معادل (D4,3) یا میانگین قطر حجمی توسط دستگاه محاسبه و گزارش شد.

$$D[4,3] = \frac{\sum_1^n (D_i \cdot v_i)^4}{\sum_1^n (D_i \cdot v_i)^3}$$

یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری نانوذرات کلونیدی نحوه توزیع اندازه ذرات در سیستم می‌باشد. هرچقدر اندازه ذرات در سیستم کوچک‌تر باشد، سیستم پایدارتر خواهد بود.

#### اندازه‌گیری پتانسیل زتا:

این پارامتر بار الکترواستاتیک در سطح قطرات نانو امولسیون را تعیین می‌کند [۲۲، ۲۳، ۲۴]. به زبان علمی، پتانسیل الکترو جنبشی در سیستم‌های کلونیدی است [۲۴]. ساده‌ترین و بدیهی‌ترین روش برای اندازه‌گیری پایداری نانوامولسیون است و به راحتی با ارزیابی داده مربوط به غلظت، توزیع و جذب نتیجه‌گیری می‌شود [۲۵]. برای اندازه‌گیری این پارامتر از دستگاه DLS همانطور که در بند قبل اشاره شد استفاده گردید. طوری که هریک از نمونه به نسبت ۱:۲۰ با محلول مورد استفاده در خود نمونه که همان آب مقطر می‌باشد رقیق شدند. سپس نمونه‌ها توسط سرنگی داخل لوله موین منتقل و پتانسیل زتای آنها اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه سه تکرار در نظر گرفته شد و هر تکرار نیز دو بار مورد آنالیز قرار گرفت [۲۱].

#### اندازه‌گیری کارایی درون پوشانی:

میزان ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه در ۳/۵ میلی‌لیتر اتانول مخلوط شد و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت دو دقیقه در میکروفالکون سانتریفیوژ (K3-30-Sigma-America) گردید. قسمت آزاد نمونه در روی ظرف و قسمت کپسوله‌شده در ته ظرف قرار گرفت. قسمت رویی جدا شد و جذب آن در

$$\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد} = \frac{\text{درصد بازدارندگی}}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

#### ۵-۲-۲- تولید نانو نیوزوم‌های حاوی عصاره پوست انار

نانونیوزوم‌ها با استفاده از روش ترکیبی هیدراسیون لایه نازک و سونیکاسیون تولید شدند، بطوری که ابتدا مقدار ۱ گرم از توپین ۸۰، ۱ گرم اسپن ۶۰ و ۰/۱ میلی لیتر عصاره پوست انار توزین و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی شیکر یکنواخت گردید، سپس ۲۰ میلی لیتر ایزوپروپیل الکل بعنوان حلال به نمونه اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر مخلوط شد. جهت حذف حلال، نمونه در دستگاه اواپراتور تحت خلاء قرار گرفت و سرانجام لایه‌ی نازکی از نمونه بر روی دیواره بالن ایجاد شد. در این مرحله که به هیدراسیون لایه نازک معروف است، لایه‌ی نازک چسبیده به دیواره بالن، توسط ۴۰ میلی لیتر آب مقطر ۴۰ درجه سانتیگراد به صورت اندک، اندک حل گردید. نمونه‌ی حاصل به منظور کاهش دما تا ۴ درجه سانتیگراد در یخچال قرار گرفت. مرحله بعد، دستگاه سونیکاتور پروب دار (توان ۴۰۰ وات و ۲۰ هرتز- فناوری مافوق صوت- ایران) جهت حصول اندازه ذرات در مقیاس نانو مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که سونیکاسیون همراه با اعمال حمام یخ برای کنترل و حفظ دما در محدوده زیر نقطه انتقال فاز انجام شد [۲۰].

#### اندازه‌گیری قطر متوسط ذرات و اندازه ذرات:

جهت اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات و قطر متوسط ذرات از دستگاه DLS (Japan-Horiba-SZ100) استفاده شد. به این منظور میزان یک میلی‌لیتر از نمونه ریز پوشانی شده، در مراحل قبل را، با مقداری آب مقطر به صورت رقیق در لوله موین دستگاه ریخته و توسط سنسورهای دستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت، بطوریکه برای هر نمونه سه تکرار در نظر گرفته شد و هر تکرار نیز دو بار آنالیز شد و نتایج بصورت نمودار حاصل ارائه گردید [۲۱].

طول موج بیشینه یعنی همان ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. برای قسمت ریزپوشانی شده ۲ میلی‌لیتر از آن را با ۲ میلی‌لیتر کلروفرم مخلوط شد، به مدت ۵ دقیقه روی شیکر جهت تخریب نانو حامل تولیدشده قرارگرفت، سپس جذب آن در ۷۶۰ نانومتر (طول موج بیشینه) خوانده شد [۲۶]. سپس غلظت هریک از آن‌ها محاسبه گردید.

برای محاسبه کارایی درون‌پوشانی (EE%) از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$= \text{درصد کارایی درون پوشانی} = \frac{\text{مقدار عصاره کپسوله شده}}{\text{مقدار عصاره آزاد} + \text{مقدار عصاره کپسوله شده}} \times 100$$

### آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌های آزمایش در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. تحلیل و ارزیابی داده‌ها با استفاده از آزمون مقایسه چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ ( $P < 0.05$ ) برای تایید وجود اختلاف بین داده‌ها استفاده شد همچنین داده‌ها توسط نرم افزار آماری (Version SPSS 19.0 for Windows, SPSS Inc) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. داده‌ها به صورت انحراف میانگین انحراف معیار گزارش شدند.

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

#### بازده استخراج عصاره:

با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۱، راندمان استخراج عصاره در انار پوست قرمز بافقی بیشترین مقدار و در انارکن-تهران کمترین مقدار را دارا می‌باشد این در حالی است که با انارهای: پوست سفید گرج‌شهور، پوست قرمز رامهرمز و پوست سیاه یزد اختلاف معنی‌داری ندارند. در بررسی‌های انجام‌شده توسط رهنمون و همکاران (۱۳۹۵)، بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی عصاره، با استفاده از محلول الکلی ۹۶٪ به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به راندمان استخراج

بالای ۲۰٪ دست یافتند [۱۴]. بازدهی استخراج ترکیبات فنولی را با اتانول ۹۶٪ توسط یاسوبی و همکاران (۱۳۸۶) حدود ۲۵٪ گزارش شد که با مقادیر بدست‌آمده در این پژوهش مطابقت دارد [۲۷]. همچنین استخراج عصاره پوست سه رقم انار به وسیله چهار حلال (اتانول، اتیل استات، استون، و مخلوط مساوی از چهار حلال) در سه تکرار بالاترین راندمان استخراج مربوط به حلال اتانول ۹۶٪ با راندمان استخراج  $0.77 \pm 18/55$  بالاترین راندمان استخراج را شامل شده‌است و علت آن مربوط به قطبیت و ترکیب حلال می‌باشد، که در بین این حلال‌ها اتانول قطبی‌ترین حلال می‌باشد [۲]، همچنین رهنمون و همکاران به بیشترین بازده استخراج در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد دست یافتند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [۱۴]. تحقیقات نشان داده‌است که، سرعت و بازده استخراج الکل بدلیل تخریب دیواره سلولی و افزایش میزان دسترسی مواد قابل حل شدن افزایش می‌یابد [۲۸]. میزان تفاوت‌هایی که در راندمان استخراج بین ارقام مختلف انار همانطور که میگوئل و همکاران، (۱۳۸۳) بیان کردند به علت ژنوتیپ و محل جغرافیایی کشت محصولات می‌باشد [۲۹].

#### ترکیبات فنولیک کل:

در جدول ۱ باتوجه به نتایج ارائه شده بیشترین میزان ترکیبات فنلی کل در انار پوست سفید گرج‌شهور دیده شد، در حالی که با انار پوست سیاه یزد اختلاف معنی‌داری ندارد، همچنین کمترین مقدار ترکیبات فنلی کل مربوط به انار پوست قرمز بافقی می‌باشد، طوری که در تحقیقات تهرانی‌فر و همکاران (۱۳۸۹) نیز نتایج مشابهی مبنی بر مشاهده بیشترین میزان ترکیبات فنل کل در ملس پوست سفید و کمترین مقدار آن در انار ترش شاهوار کاشمر ارائه دادند [۳۰]. پس از آزمایش‌های انجام‌شده، روی عصاره پوست انار، مشخص شد، این عصاره حاوی مقادیر بالایی از ترکیبات فنولیک بوده. رهنمون و همکاران (۱۳۹۵) بیشترین میزان ترکیبات فنولیکی را از استخراج در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد و در مدت زمان ۲۴ ساعت بدست آوردند [۱۴]. ویجن-گارد و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند، اتانول به دلیل تخریب دیواره سلولی سرعت استخراج ترکیبات زیست‌فعال از جمله

ترکیبات فنولی را افزایش می‌دهد [۲۸]. میزان ترکیبات فنولیکی کل در عصاره استخراجی بر مبنای مقادیر جذب ناشی از واکنش عصاره با معرف فولین و بر اساس مقایسه آن با منحنی استاندارد بر حسب میلی گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم عصاره بدست آمد [۱۷]. در پژوهش تهرانی فر و همکاران (۱۳۸۹) بر روی بیست رقم انار از آنجایی که تمامی بیست رقم انار مورد استفاده در این تحقیق در یک مکان و با روش‌های مشابه زراعی کشت شده‌اند، تفاوت در ترکیبات فنلی نشان داد که تنوع ژنتیکی منجر به تغییر بیوستز متابولیت‌های ثانویه فنلی در آن‌ها شده است که با تفاوت‌هایی که در میزان ترکیبات فنولی در پوست پنج رقم انار در این پژوهش وجود دارد مطابقت می‌کند [۳۰].

#### فعالیت آنتی اکسیدانی:

بررسی نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، بیشترین خاصیت آنتی-اکسیدانی مربوط به انار پوست سفید گرج شهوار می‌باشد، این در حالی است که در انارهای پوست سیاه یزد، پوست قرمز بافقی، کن تهران و پوست قرمز رامهرمز در یک سطح قرار دارند و اختلاف معنی داری با هم ندارند. نتایج بدست آمده از این پژوهش با یافته‌های تهرانی فرد و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص بیشترین و کمترین فعالیت آنتی اکسیدانی که به ترتیب در ملس پوست سفید و ترش شاهوار کاشمر مشاهده شد، مطابقت دارد. در میان تمام روش‌های موجود برای تعیین خاصیت آنتی اکسیدانی آزمون مهار رادیکال DPPH به دلیل راحتی و سرعت در انجام آزمون در مقایسه با سایرین صورت می‌پذیرد [۳۰]. گیلمی و همکاران (۱۳۷۹) دریافتند که، فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره انار ۳ برابر بیشتر از شراب قرمز یا چای سبز است و به ترتیب ۲، ۶ و ۸ برابر بیشتر از فعالیت‌های آنتی اکسیدانی مشخص شده در آب انگور/قره قاط، گریپ فروت و پرتقال است [۳۱]. تفاوت‌های موجود در مقدار خاصیت آنتی-اکسیدانی پوست انارهای مختلف به علت تفاوت در رقم انارها می‌باشد بطوری که بررسی تأثیر نوع رقم انار کشت شده در ایران، گرجستان، ترکیه و اسرائیل روی فعالیت آنتی-

اکسیدانی نیز هدف مطالعه برخی از محققین بوده است [۳۲]. [۳۳، ۳۴]. بروچاونثوری و همکاران (۱۳۸۸) اهمیت زمان برداشت و تأثیر آن روی میزان ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی-اکسیدانی آنها را مورد بررسی قرار دادند [۳۴]. تحقیقات میگوئل و همکاران (۱۳۸۳) روی نمونه‌های مختلف انار برداشت شده از باغ‌های متفاوت، اختلاف شدیدی در ترکیبات پلی فنلی را نشان داد. یافته‌های این پژوهش مبنی بر این است که ترکیبات فنلی ممکن است مسئول فعالیت آنتی اکسیدانی مهم نمونه‌های اناری باشند که به طور معنی-داری از یک باغ به باغ دیگر تغییر می‌کنند، علت تفاوت‌های ناچیز در میزان ترکیبات آنتی اکسیدانی نمونه‌های پژوهش حاضر نیز به همین علت است [۲۹]. خاصیت آنتی اکسیدانی (حذف رادیکال‌های آزاد) پوست میوه در مقایسه با سایر اجزای میوه همچون گلبرگ‌ها، پرچم‌ها و نهج، به یک اندازه است، اما این خاصیت در برگ‌ها کمتر است [۳۵]. آزمایش-های لی و همکاران (۱۳۸۸) حاکی از فعالیت بسیار قوی آنتی اکسیدانی پوست میوه انار به خاطر داشتن مقدار زیادی پلی فنل موجود در آنها در مقایسه با دانه و آب میوه بود [۳۶].

**Table 1** Physicochemical properties of peel extract of five pomegranate cultivar

| Treatment                             | Total phenolic compounds<br>(mg GAE/100g Peel extract) | Extract efficiency (%)     | Antioxidant properties (RSA) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Yazd black peel pomegranate           | 72.34 ± 8.82 <sup>ab</sup>                             | 24.67 ± 6.50 <sup>ab</sup> | 10.95 ± 4.38 <sup>b</sup>    |
| Bafghi read peel pomegranate          | 34.19 ± 5.00 <sup>d</sup>                              | 30.67 ± 0.50 <sup>a</sup>  | 19.03 ± 2.76 <sup>b</sup>    |
| Kan Tehran pomegranate                | 61.33 ± 3.34 <sup>bc</sup>                             | 23.00 ± 1.00 <sup>b</sup>  | 11.09 ± 4.06 <sup>b</sup>    |
| Ramhormoz read peel pomegranate       | 51.00 ± 9.00 <sup>c</sup>                              | 27.00 ± 5.00 <sup>ab</sup> | 15.90 ± 0.65 <sup>b</sup>    |
| Garche shahvar white peel pomegranate | 78.00 ± 6.72 <sup>a</sup>                              | 30.00 ± 0.00 <sup>ab</sup> | 42.30 ± 8.11 <sup>a</sup>    |

### تعیین کارایی درون پوشانی نانونیوزوم‌ها:

با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۲، بیشترین درصد راندمان مربوط به انار پوست قرمز رامهرمز می‌باشد، در حالی که با نمونه پوست سفید گرچ‌شهور اختلاف معنی‌داری ندارد. کمترین درصد ریزپوشانی بدون اختلاف معنی‌دار مربوط به نمونه‌های پوست سیاه یزد، کن تهران و پوست قرمز بافقی می‌باشد. در تحقیق انجام‌شده کارایی ریزپوشانی تیمارها بالای ۵۰٪ حاصل گردید که، نشان از عملکرد مناسب مواد فعال زیستی و سورفاکتانت‌های مورد استفاده و کنترل شرایط آزمایش می‌باشد. پاندو و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که برای نیوزوم‌های تهیه شده با اسپن ۶۰، مقادیر راندمان درون پوشانی بین ۱۶/۸٪ و ۷۲/۵٪، با مقدار متوسط ۴۲٪ می‌باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۳۷]. بیشتر محققین از جمله لی و همکاران (۱۳۸۸) کارایی درون پوشانی را به عوامل متعددی نظیر نوع ماده فعال سطحی، غلظت مواد زیست فعال، میزان pH، شرایط دمایی، ساختار شیمیایی مواد زیست فعال (لیوفیل یا هیدروفیل بودن ماده فعال و تمایل آن به برهمکنش با

ساختار دو لایه‌ای غشاء)، مواد تشکیل دهنده لایه‌های وزیکول‌های نیوزوم، میزان اندازه ذرات، میزان و سرعت همزدن و ... نسبت می‌دهند. میزان کپسوله‌شدن بیشتر ترکیبات زیست‌فعال در نیوزوم‌ها احتمالاً به حلالیت بیشتر مواد زیست‌فعال در پایدار کننده‌ها می‌باشد. چون این مواد علاوه بر نقش پایدار کنندگی نقش حلال را نیز دارند، بطوریکه میزان حلالیت کوثرسین را در توئین ۸۰، ۳۸/۰ ± ۴/۷ میلی گرم بر میلی لیتر گزارش کردند [۳۶]. اسپن ۶۰ دارای بالاترین دمای انتقال فاز در میان مواد فعال سطحی بکار رفته در تهیه این نیوزوم‌ها بوده است (دمای انتقال فاز اسپن ۶۰، ۵۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد). بالاتر بودن دمای انتقال فاز سبب افزایش کارایی درون پوشانی می‌شود، در حالی که دمای انتقال فاز پایین باعث کاهش درصد کارایی درون پوشانی آن نیوزوم می‌شود [۳۸، ۳۹]. تفاوت در میزان درصد درون-پوشانی در تیمارهای مختلف را می‌توان به روش تعیین درصد ریزپوشانی مربوط دانست زیرا روش تعیین مقدار ماده

ریزپوشانی شده نیز بر درصد کپسوله شدن مؤثر می باشد [۴۰].

#### پتانسیل زتا:

با توجه به جدول ۲ بالاترین مقدار پتانسیل در نانو نیوزومها مربوط به نمونه پوست سیاه یزد و پوست قرمز رامهرمز می باشد که اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. پتانسیل زتا بار کلی ذره را در یک محیط مایع نشان می دهد که بهترین شاخص جهت مشخص نمودن وضعیت الکتریکی سطحی امولسیون ها می باشد. نیوزوم های باردار بیشترین پایداری را در مقابل ادغام و تجمع، نسبت به نیوزومهای بدون بار دارند. علت کمتر بودن پتانسیل زتا، نیروی الکترواستاتیکی کمتر می باشد [۴۱]. حد قابل قبول میزان پتانسیل زتا ( $30 \pm mV$ ) است که نشانگر پایداری نانو امولسیون می باشد [۴۲]. پتانسیل زتا نانو امولسیون تحت تاثیر چند عامل از قبیل سورفاکتانت، قدرت یونی، مورفولوژی، کوسورفاکتانت و pH سیستم می باشد [۲۲]. انتخاب امولسیون کننده مناسب در تغییر پتانسیل زتا سهیم است، مانند سورفاکتانت های آنتونی مثل اسپن ۶۰ که پتانسیل زتا منفی را وارد می کنند [۴۳]. قدر مطلق مقدار منفی بدست آمده از نمونه ها باید در محدوده مذکور باشند تا مناسب ترین پایداری حاصل گردد. همانطور که در تحقیقات مورتی و همکاران (۱۳۹۱) پتانسیل زتای فلفل سیاه و کورکومین ۲۹/۷- بدست آمد که با مقادیر بدست آمده از این پژوهش مطابقت دارد [۴۴].

#### اندازه ذرات:

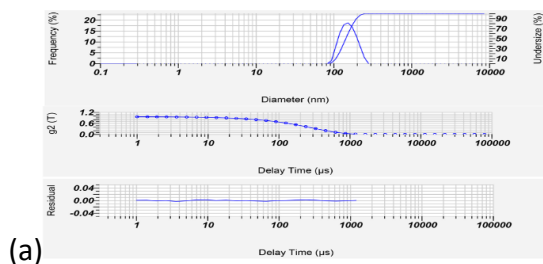
اندازه ذرات برای تمامی نمونه ها از نظر آماری در یک سطح و در کمترین مقدار خود می باشند و با هم اختلاف معنی داری ندارند. هرچه اندازه ذرات کمتر باشد دسترسی زیستی نیوزوم به مواد بیشتر می شود. اندازه ذرات کمتر سبب حلالیت بیشتر در محیط آبی مواد غذایی می شود. میزان پراکندگی اندازه ذرات نقش مهمی در خواص سیستم های کلوئیدی دارد هرچه این پارامتر کمتر باشد، نشان دهنده ی

یکنواختی بیشتر نمونه ها است. از آنجا که اندازه ذرات نیوزوم و توزیع آنها (شاخص پراکندگی) در سیستم های کلوئیدی یک پارامتر مهم محسوب می شود که بر ویژگی های وزیکول ها اعم از راندمان کپسوله شدن و پایداری آنها تأثیرگذار می باشد [۴۵]. کیم و همکاران (۱۳۹۳) پایداری نانوامولسیون لیکوپن را با استفاده از تکنیک DLS بررسی کردند. تخریب کاهش یافته لیکوپن با غظت فاز مایع نیز تأثیر مستقیم بر ویژگی تندازه ذر و همچنین پایداری آن دارد. اندازه متوسط قطره کمتر از ۱۰۰ nm در مقایسه با نانوامولسیون با اندازه متوسط قطره بیش از ۱۰۰ nm مشاهده شد [۴۶]. در مطالعه اخیر توسط الگوتانی و همکاران (۱۳۹۹) DLS با موفقیت به منظور تعیین پارامترهای مشخصه سازی نانو امولسیون برای فرمول کورکومین به کار گرفته شد [۴۷]. آنها رابطه مستقیم بین غلظت فاز روغن و اندازه متوسط قطره نانو امولسیون را نشان داد. در ۱۸٪ از غلظت روغن اندازه متوسط قطره ۱۰ nm بود در حالیکه در ۲۴٪ به بیش از ۵۰ nm افزایش میابد [۴۷]. علاوه بر این وقتی غلظت روغن به نصف غلظت اولیه کاهش یافت، اندازه متوسط قطره به کمتر از ۵۰ nm کاهش یافت [۴۷]. همینطور ماهر و همکاران (۱۳۹۰) نانو امولسیون پایداری سازی شده بتا کازئین را ارزیابی کرد. آنها رابطه مستقیم بین محتوای پروتئین و اندازه متوسط قطره نانو امولسیون را گزارش کردند. نشان داده شد که وقتی مقدار پروتئین تا ۷/۵٪ بتا کازئین w/w افزایش میابد، اندازه متوسط ذره از ۱۸۷ nm تا ۱۹۹ nm افزایش میابد، با این حال افزایش بیشتر در بتا کازئین تا ۱۰٪ w/w منجر به کاهش اندازه ذره می شود (۱۹۳ nm). پیشنهاد می شود که افزایش اندازه متوسط ذره به دلیل تئوری میدان خودپایداری (SCF) است که در پروتئین لایه هایی را اطراف قطرات روغن شکل می دهد [۴۸]. همینطور چئونگ و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که دسترسی زیستی دهانی نسبتاً افزایش یافته نانوامولسیون روغن دانه کنف با قطرات اندازه نانو کوچک مشاهده شد [۴۹]. رهنمون و همکاران دریافتند که کاهش اندازه ذرات به مقیاس نانومتری موجب افزایش ویژگی های مطلوب نظیر

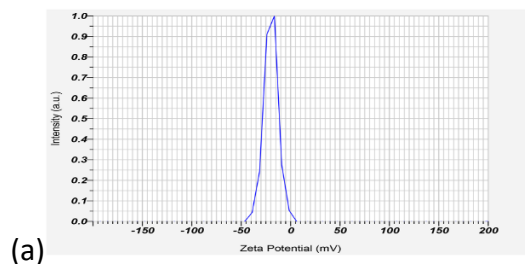
افزایش نسبت سطح به حجم، پایداری، شفافیت و کارایی کپسوله کردن سیستم می شود همچنین کاهش PH سبب افزایش اندازه ذرات می شود [۱۴].

**Table 2** Physicochemical properties of nano-capsules of peel extract of five pomegranate cultivar

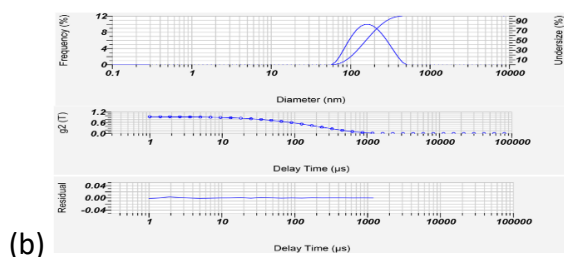
| Treatment                             | Particle size (nm) | Entrapment efficiency (%) | Zeta size (mv)     |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| Yazd black peel pomegranate           | $214.7 \pm 67.8^a$ | $53.33 \pm 5.43^c$        | $17.90 \pm 1.15^a$ |
| Bafghi read peel pomegranate          | $250.8 \pm 78.8^a$ | $63.67 \pm 11.6^{bc}$     | $11.97 \pm 0.85^b$ |
| Kan Tehran pomegranate                | $207.1 \pm 49.8^a$ | $54.00 \pm 5.81^c$        | $11.23 \pm 1.05^b$ |
| Ramhormoz read peel pomegranate       | $244.9 \pm 22.0^a$ | $82.00 \pm 2.86^a$        | $15.93 \pm 3.80^a$ |
| Garche shahvar white peel pomegranate | $187.9 \pm 18.2^a$ | $71.00 \pm 4.18^{ab}$     | $12.13 \pm 0.80^b$ |



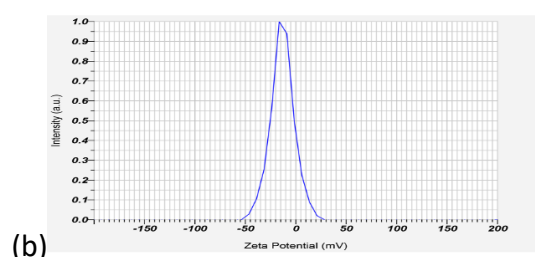
(a)



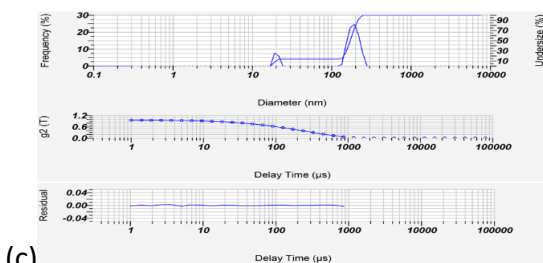
(a)



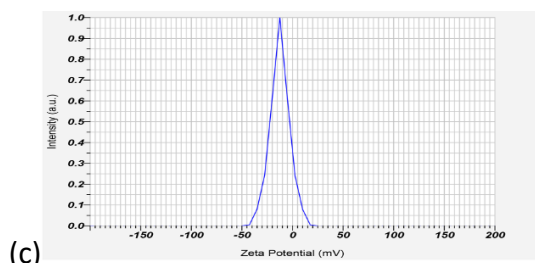
(b)



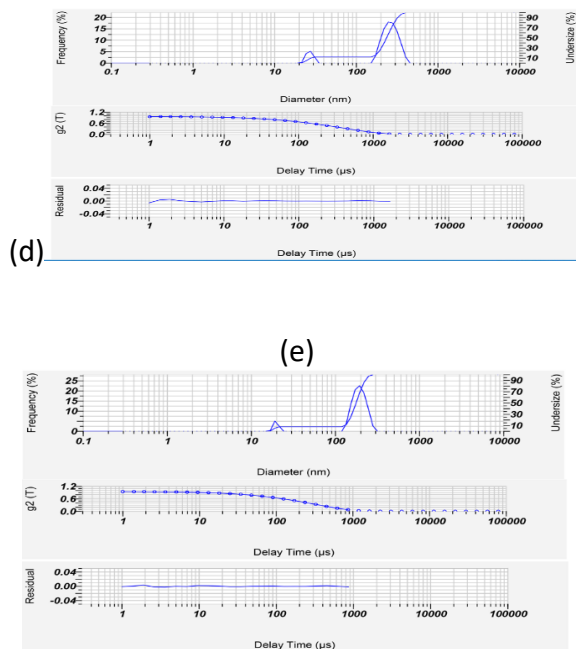
(b)



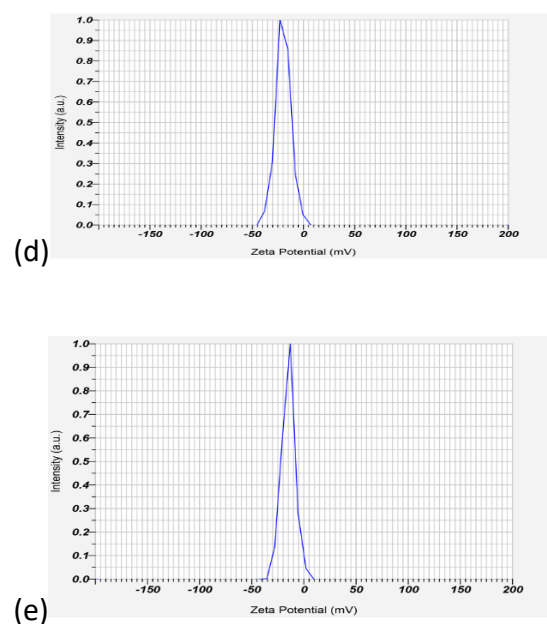
(c)



(c)



**Fig 1** Particel size of nano-capsules of peel extract of five pomegraranate cultivar; Yazd black peel (a), Bafghi read peel (b), Kan Tehran (c), Ramhormoz read peel (d) and Garche shahvar white peel (e).



**Fig 2** Zeta potential of nano-capsules of peel extract of five pomegraranate cultivar; Yazd black peel (a), Bafghi read peel (b), Kan Tehran (c), Ramhormoz read peel (d) and Garche shahvar white peel (e).

## ۴- منابع

- [1] Akhavan. H, Barzegar. M, Weidlich. H, Zimmermann. B. 2015. Phenolic compounds and antioxidant activity of juices from ten Iranian pomegranate cultivars. *Journal of Chemistry*, 1-7.
- [2] Zarezadeh Mehrizi, R. A., Emam-Jomeh, Z., Shahedi Bagh Khandan, M., Loni, E., Akhavan, H. R., Biabani, J. 2013. Identification and quantification of anthocyanins in pomegranate peel extract. *Journal of Food science and tech nology*. 49, 31-40.
- [3] Singh, R. P., Murkhy, K. N. C. & Jayakrapasha, G. H. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (punica granatum) peel and seed extraction using in vitro model. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 81-86.
- [4] Seeram. N. P., Lee, R., Hardy, M. & Herber, D. 2005. Rapid large scale purification of ellagitannin from pomegranate husk by product of the commercial juice industry. *Separation and purification Technology*, 41, 49-55.
- [5] Rezaeipayandeh, M. Giviyarad M.H. Mirsaedrazi H. 2015. Extraction of peel extract of Ten cultivar of Iranian pomegranate by soxhlet and ultrasound methods and measurement of total anthocyanin, *Nation congress of food industry science and technology* (23).
- [6] Rouhani, R. Eyanafshar, S. Ahmadzadeh, R. 2015. Study of anthocyanin and antioxidant compounds derived ethanol extract saffron flag with the help of ultrasound technology, *Iranian Food Science and Technology Research Journal* (11) 161-170.
- [7] Mahdian, E, Arfae, A, Mehrbansangatash, M, 2014. Optimization of anthocyanin extraction and efficiency of pomegranate extract by new ultrasound technology using surface response method, *National conference of medicinal plant and sustainable agriculture*, (2).
- [8] Momin, J., Jayakumar, C. and Prajapati, J. 2013. Potential of nanotechnology in functional foods. *Emirates Journal of Food Agriculture*, 25: 10-19.
- [9] Rashidi, L. and Khosravi, K. 2011. The application of nanotechnology in food industry. *Food Science and Nutrition*, 51: 723-730.
- [10] Seyed Hajizadeh, H. , Zahedi, S. M. , Rezaei, S. 2021. Effect of nano-encapsulation of rosemary in quality preserving and antioxidative activity of apricot (prunus armeniaca cv. Tabarzeh) during storage life. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. (18) 183-196.
- [11] Bojmehrani, A. , Hajirostamloo, B. , Vazifedoost, M. , Didar, Z. , Jafari, S. M. 2022. The effect of nanoliposomes containing antioxidant extract of grape pomace on oxidation parameters of

soybean oil. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. (19) 171-182.

[12] Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F. and Akhavan, S. 2016. Application of nano - encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food chemistry*. 190: 513 -519.

[13] Zandi, M. , Ganjloo, A. , Bimakr, M. 2022. Encapsulation of musk willow (*Salix aegyptiaca* L.) essential oil with sodium alginate and whey protein: Characterization, controlled release and mathematical modeling. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. (19) 121-133.

[14] Rahnemoon, P., Sarabi Jamab, M., Javanmard Dakheli, M., Bostan, A. 2016. Evaluation of Extraction Conditions on Phenolic Compounds and Antimicrobial Properties of Pomegranate (*Punica Granatum*) Peels. *Journal of the Food Science and technology*, 65, 51-62.

[15] Harikrishnan, R. Balasundaram, C and Bhuvaneswari, R. 2005. Restorative effect of *Azadirachta indicab* aqueous leaf extract dip treatment on haematological parameter changes in *Cyprinus carpio* (L.) experimentally infected with *Aphanomyces invadans* fungus. *Journal Applied Ichthyol*, 21(5), 410-413.

[16] Moka, A., Vlase, L., Vodnar, D., Bischin, C., Hanganu, D., Gheldiu, A. M., Oprean, R., Silaghi-Dumitrescu, R. & Crisan, G. 2014. Polyphenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of *Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill. *Leaves Molecules*, 10: 19(7), 10056-73.

[17] Sfahlan, A. J., Mahmoodzadeh, A., Hasanzadeh, A., Heidari, R., Jamei, R., 2009. Antioxidants and antiradicals in almond hull and shell (*Amygdalus communis* L.) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 115: 529-533.

[18] Sebaaly, C., Jraij, A., Fessi, H., Charcosset, C., & Greige-Gerges, H. 2015. Preparation & characterization of clove essential oil-loaded liposomes. *Food Chemistry*, 178, 52-62.

[19] Yim, H. S., Chye, F. Y., Koo, S. M., Matanjun, P., How, S. E., Ho, C. W., 2012. Optimization of extraction time and temperature for antioxidant activity of edible wild mushroom, *Pleurotus porrigens*. *Food & Bioproducts Processing*, 90: 235-242.

[20] Tavano, L., Aiello, R. and Muzzalupo, R. 2014. Niosomes from glucuronic acid-based surfactant as new carriers for cancer therapy: Preparation, characterization and biological properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 1; 118, 7-13.

[21] Pando, D., Gutierrez, G. and Pazos, C. 2013. Preparation and characterization of niosomes containing resveratrol. *Journal of Food Engineering*, 117, 227-234.

[22] Silva, H.D., Cerqueira, M.Â. & Vicente, A.A. 2012. Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. *Food Bioprocess Technol* 5, 854–867 <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0683-7>.

[23] WHO. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. 2020. [Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>]

[24] Honary, S & Zahir, F. 2013. Effect of Zeta Potential on the Properties of Nano-Drug Delivery Systems - A Review (Part 2). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 12. 10.4314/tjpr.v12i2.20. 265-73.

[25] Rabinovich-Guilatt L, Couvreur P, Lambert G, Goldstein D, Benita S, Dubernet C. 2004. Extensive surface studies help to analyse zeta potential data: the case of cationic emulsions. *Chem Phys Lipids*.;131(1):1-13. doi:10.1016/j.chemphyslip.2004.04.003.

[26] Pando, D., Caddeo, C. and Pazos, C. 2013. Nanodesign of olein vesicles for the topical delivery of the antioxidant resveratrol. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 65, 1158-1167.

[27] Yasoubi. P, Barzegar. M, Sahari. M, Azizi. M.H. 2007. Total Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Peel Extracts. *Journal of Agric. Sci. Technol*, 9, 35-42.

[28] Wijngaard, H., Hossain M.B., Rai D.K, Brunton. 2012. Technique to extract bioactive compounds from by food by-products of plant origin. *Food Research International*, 46, 505-513.

[29] Miguel, G., Dundlen, S., Antunes, D., Neves, A., Martins, D. 2004. The Effect of Two Methods of pomegranate (*Punica granatum* L.) Juice Extraction on Quality During Storage at 4°C. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 5, 332-337.

[30] Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B., Mohamad Reza 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.

[31] Gil MI, Tomás-Barberán FA, Hess-Pierce B, Holcroft DM, Kader AA. 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal Agric Food Chem*. 48(10), 4581-9.

- [32] Pande G, Akoh CC. 2009. Antioxidant capacity and lipid characterization of six Georgia-grown pomegranate cultivars. *J Agric Food Chem.* 28;57(20): 9427-36.
- [33] Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K. and Haddad Khodaparast, M. H. 2009. Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivar. *Food Chemistry*, 115, 1274-1278.
- [34] Borochoy-Neori H, Judeinstein S, Tripler E, Harari M, Greenberg A, Shomer I, Holland D. 2009. Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punicagranatum L.*) fruit. *J. Food Comp. Anal.* 22, 189 – 94.
- [35] Zhang, L., Fu, Q. & Zhang, Y. 2011. Composition of anthocyanins in pomegranate flowers and their antioxidant activity. *Food Chemistry*. 127, 1444-1449.
- [36] Li, H., Zhao, X. and Lou, H. 2009. Enhancement of gastrointestinal absorption of quercetin by solid lipid nanoparticles. *Journal of Controlled Release*. 133, 238-244.
- [37] Pando, D., Beltrán, M., Gerone, I., Matos, M., Pazos, C., 2015. Resveratrol entrapped niosomes as yoghurt additive. *Food Chemistry* (170) 281-287.
- [38] Yoshioka, T., Sternberg, B. and Florence, A. 1994. Preparation and properties of vesicles (niosomes) of sorbitan monoesters (Span 20,40,60 and 80) and a sorbitan trimester (Span 85). *International Journal of Pharmaceutics*, 105, 1-6.
- [39] Hao, Y., Zhao, F. and Li, K. 2002. Studies on a high encapsulation of colchicine by a niosome system. *International Journal of Pharmaceutics*, 244, 73-80.
- [40] Mokhtar, M., Sammour, S. and Megrab, N. 2008. Effect of some formulation parameters on flurbiprofen encapsulation and release rates of niosomes prepared from proniosomes. *International Journal of Pharmaceutics*, 361, 104-111.
- [41] Balakrishnan, P., Shanmugam, S. and Yong, Ch. 2009. Formulation and in vitro assessment of minoxidil niosomes for enhanced skin delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 377, 1-8.
- [42] Zhong Q, Zhang L. 2019. Nanoparticles fabricated from bulk solid lipids: Preparation, properties, and potential food applications. *Adv Colloid Interface Sci.*;273:102033. doi: 10.1016/j.cis.2019.102033. Epub 2019 Aug 31. PMID: 31614266.
- [43] McClements, D.J., & Rao, J. 2011. Food-Grade Nanoemulsions: Formulation, Fabrication, Properties, Performance, Biological Fate, and Potential Toxicity, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51:4, 285-330, DOI: [10.1080/10408398.2011.559558](https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558).
- [44] Moorthi, C., Krishnan, K. And Kathiresan, K. 2012. Preparation and characterization of curcumin-piperine dual drug loaded nanoparticles, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 841-848.
- [45] Junyaprasert, V., Singhsa, P. and Jintapattanakit, A. 2013. Influence of chemical penetration enhancers on skin permeability of ellagic acid-loaded niosomes. *Asian journal of pharmaceutical sciences*, 8, 110-117.
- [46] Kim SO, Ha TV, Choi YJ, Ko S. 2014. Optimization of homogenization-evaporation process for lycopene nanoemulsion production and its beverage applications. *J Food Sci.*;79(8):N1604-N1610. doi:10.1111/1750-3841.12472.
- [47] Algahtani, MS, & Ahmad, MZ, & Ahmad, J. 2020. Nanoemulsion loaded polymeric hydrogel for topical delivery of curcumin in psoriasis. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 59. 10.1016/j.jddst.2020.101847.
- [48] Maher PG, Fenelon MA, Zhou Y, Kamrul Haque M, Roos YH. 2011. Optimization of  $\beta$ -casein stabilized nanoemulsions using experimental mixture design. *J Food Sci.*;76(8):C1108-C1117. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02343.x.
- [49] Cheong AM, Tan CP, Nyam KL. Effect of Emulsification Method and Particle Size on the Rate of in vivo Oral Bioavailability of Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) Seed Oil. 2018. *J Food Sci.*;83(7):1964-1969. doi:10.1111/1750-3841.14191.



## Scientific Research

## Investigating the Functional properties of encapsulated phenolic compounds of Iranian pomegranate peel

Zahra Borjizadeh<sup>1</sup>, Mohammad Goli<sup>2\*</sup>

1- MSC graduated, Department of Food Science and Technology, Isfahan branch (Khorasgan), Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b><br/>Received: 2023/5/2<br/>Accepted: 2023/9/19</p> <hr/> <p><b>Keywords:</b><br/>Encapsulation,<br/>Niosome,<br/>Phenolic compounds,<br/>Pomegranate peel</p> <hr/> <p><b>DOI:</b> 10.22034/FSC.21.153.103.<br/>*Corresponding Author E-<br/>Mgolifood@yahoo.com</p> | <p>Today, food is considered as a source of nutrition. Foods are known as health-giving substances for consumers due to their natural bioactive substances. Phenolic compounds that are found in the peel of pomegranate fruit are among the bioactive compounds. These materials can be used by nanocarriers to enrich food. The purpose of this study is to investigate the phenolic compounds present in five cultivar of Iranian pomegranate peels using the nano method and to further investigate the chemical properties of pomegranate peel extract, including antioxidant, extract extraction efficiency and phenolic properties. This investigation was done by standard curve of gallic acid according to folin-ciocalteu method. Also, the characteristics of the resulting encapsulation were investigated using particle size analysis and zeta potential. The purpose of their comparison is to achieve the highest efficiency among five pomegranate cultivars. The results of the study showed that the peels of the collected pomegranates have significant differences (at the probability level of one percent <math>p &lt; 0.05</math>) in terms of physicochemical properties. Examining the results obtained from the physicochemical properties of pomegranate peel extract indicated that white peel pomegranate (Grech Shahwar) had the highest amount of phenolic compounds (<math>78.00 \pm 6.72</math> mg equivalent to gallic acid per 100 grams). It also had the highest antioxidant property of 42%. According to the results obtained from this research, it can be said that the capsules containing pomegranate peel extract (white skin type of Gherch Shahwar) have the best encapsulation efficiency (71%). The use of nanocarriers containing this cultivar of pomegranate in food can have a significant effect on the preservation and stability of compounds sensitive to environmental changes.</p> |