

بهینه‌سازی استخراج و میکروانکپسولاسیون آنتوسیانین حاصل از پوست‌پیاز قرمز و کلم قرمز

مهدیه انصاری^۱ و محمود رضا حجتی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

* مسئول مکاتبه: Email: Hojati_m@iaushiraz.ac.ir

چکیده

آنتوسیانین‌ها به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها و خصوصیت آنتی‌اکسیدانی، بسیار پرکاربرد و گزینه‌ی مناسبی برای استفاده به عنوان رنگ خوراکی در تولید غذاهای گوناگون است. در این پژوهش، اثر پارامترهای نوع حلال (اتانول اسیدی شده با HCL ۱/۵ نرمال و اتانول)، نسبت حلال به ماده اولیه (۱۰، ۱۵ و ۲۰)، دما ($^{\circ}\text{C}$ ۴۰، ۵۰ و ۵۰)، زمان (۲، ۲۵ و ۴۸ ساعت) و میزان نور بر استخراج آنتوسیانین از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به روش حلال بررسی و با استفاده از طراحی آزمایش فاکتوریل جزئی شرایط بهینه استخراج تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان استخراج از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به ترتیب در شرایط عملیاتی حلال اتانول اسیدی شده با HCL ۱/۵ نرمال (۱۵:۸۵)، اتانول ۸۰٪ و دمای ۳۱/۵۸، ۳۵/۸۸ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸/۳۲، ۳/۴ ساعت، نسبت حلال به ماده اولیه برابر ۱۸/۶۵، ۱۸/۰۴ (حجمی/جرمی) و در محیط تاریک است. به منظور افزایش پایداری رنگ مایع تولید شده در برابر عوامل محیطی، میکروانکپسولاسیون به روش خشک‌کن انجمادی و با دو عامل صمغ عربی و مالتودکسترین انجام شد. با توجه به نتایج آزمون TGA و DSC، عامل صمغ عربی در برابر حرارت مقاومت بیشتری داشته است به طوری که دمای آغاز تخریب پودر انکپسوله شده توسط این پوشش‌دهنده برای پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به ترتیب از ۶۳/۸۲ به ۲۵۰/۸۷ و از ۸۱/۰۳ به ۲۶۳/۶۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. متوسط اندازه ذرات پودر انکپسوله با عامل مالتودکسترین کوچکتر و به ترتیب برابر با ۶/۱ و ۲۱/۵ میکرومتر است، همچنین طیف‌سنجی با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، نشان می‌دهد ساختار پودرهای انکپسوله شده آمورف است.

واژگان کلیدی: آنتوسیانین، پوست پیاز قرمز، کلم قرمز، فاکتوریل جزئی، انکپسولاسیون

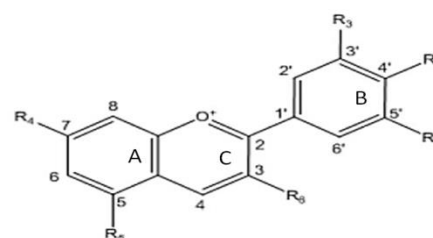
مقدمه

آن‌ها و همچنین با توجه به خصوصیات منحصر به فرد رنگدانه‌های طبیعی در پیشگیری از بیماری‌هایی همچون آلزایمر، سرطان و بیماری‌های قلبی، حصول رنگ از منابع طبیعی، به عنوان یک فناوری نوین در حال گسترش است. در بین رنگدانه‌های طبیعی که به طور

استفاده از رنگ‌های خوراکی به منظور بازیابی رنگ از دست‌رفته مواد غذایی در حین عملیات فرآوری و نگهداری پرکاربرد و رایج است. به دلیل محدودیت مصرف رنگ‌های مصنوعی و اثرات سوء اثبات شده‌ی

قطبی بودن، در حلال‌های قطبی بیشتر از حلال‌های غیرقطبی قابل حل هستند، همچنین به دلیل ناپایداری در محلول‌های قلیایی، بیشتر از حلال‌های آبی اسیدی استفاده می‌شود (رین ۲۰۰۵). منابع بسیار زیادی برای استخراج آنتوسیانین وجود دارد کلیفورد، ۲۰۰۰؛ میانگین مقادیر آنتوسیانین‌های موجود در تعدادی از میوه‌های قرمز رنگ از جمله اقلی، توت سیاه^۲ و ذغال اخته آبی^۳ را بالای ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش داد. تحقیقات انجام شده بر روی پوست پیاز قرمز نشان می‌دهد پوست پیاز دارای انواع گوناگون آنتوسیانین از جمله آنتوسیانین‌های آسیله و غیر آسیله از قبیل سیانیدین^۴، مونو و دی‌گلوکزید^۵، سیانیدین^۶، لمیناریوبیوساید^۷، سبانیدین^۸، گالاکتوز^۹، پئونیدین مونو و دی‌گلوکزید^{۱۰}، پئونیدین گلوکزید^{۱۱} و ۵-کربوکسی پیرانو-۳-سیانیدین گلوکزید^{۱۲} است (اسلیم استت و واگن ۲۰۰۷). طبق تحقیقات آرایتس‌اس و همکاران (۲۰۰۸)، کلم قرمز دارای ۲۴ ساختار مختلف از آنتوسیانین‌ها با ساختار پایه سیانیدین است که غیر آسیله، تک آسیله و یا دو آسیله با اسیدهای پاراکومادیک، کافئیک، فرولیک و سیناپیک است. آنتوسیانین‌ها در فرآورده‌های غذایی ناپایدار هستند، پایداری آن‌ها به طور قابل توجهی تحت تاثیر pH، حلال‌ها، دما، غلظت، ساختار آنتوسیانین، اکسیژن، نور و آنزیم‌ها است (آیشاه و همکاران ۲۰۱۳). در تحقیقات سلیم و همکاران (۲۰۰۸) بر استخراج آنتوسیانین از چای ترش، نتایج نشان داد با افزایش pH، دما و رطوبت، پایداری کاهش می‌یابد. قاجاریان (۱۳۹۳) ملاحظه کرد کمترین میزان تخریب آنتوسیانین بعد از ۳ ماه نگهداری

وسیع در طبیعت وجود دارند، آنتوسیانین‌ها به دلیل داشتن اثرات سلامت‌بخش و طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها بسیار پرکاربرد و گزینه مناسبی جهت استفاده به عنوان رنگ‌های خوراکی در تولید فرآورده‌های غذایی است. آنتوسیانین از دو کلمه یونانی ANTHOS به معنی گل و KYANOS به معنی آبی گرفته شده است (اندرسن و جردحیم ۲۰۱۰). آنتوسیانین‌ها بزرگترین گروه از رنگدانه‌های محلول در آب هستند که به طور گسترده در طبیعت یافت می‌شوند. از نظر شیمیایی آنتوسیانین‌ها متعلق به گروه فلاونوئیدها از پلی‌فنل‌ها هستند. اسکلت ساختاری آن‌ها (شکل ۱) به صورت C₆-C₃-C₆ و شامل یک آگلیکون (آنتوسیانیدین)، قند و در بسیاری از موارد گروه آسیل است (آتوکاران ۲۰۱۱). تاکنون حدود ۲۵ نوع آنتوسیانیدین شناسایی شده است (اندرسن و جردحیم ۲۰۱۰). از مهم‌ترین و رایج‌ترین آنتوسیانین‌ها می‌توان به پلارگونیدین، سیانیدین، پئونیدین، دلفینیدین، پئونیدین و مالویدین اشاره نمود که با جایگزینی ترکیبات H، OH و OCH₃ به جای گروه‌های R₁، R₂ و R₃ در حلقه B تشکیل می‌شوند (کلیفورد ۲۰۰۰).



شکل ۱- ساختمان آگلیکون

جهت استخراج رنگدانه‌های آنتوسیانینی روش‌های مختلفی مانند استخراج توسط خیساندن در حلال (کلاسیک)، حلال و رزین، مایع تحت فشار، سیال فوق بحرانی و امواج اولتراسونیک وجود دارد. انتخاب روش استخراج به عواملی نظیر ساختار آنتوسیانین و منبع مورد استفاده بستگی دارد. در مقایسه دو روش کلاسیک و فراصوت، قاجاریان (۱۳۹۳) نشان داد روش استخراج توسط حلال بازدهی بالاتری دارد. آنتوسیانین‌ها به دلیل

1. Elderberry

2. Blackberry

3. Blueberry

4. Cyanidin-3-mono- and diglucoside

5. Cyanidin-3-laminariobioside

6. Cyanidin-3-galactose

7. Peonidin mono- and diglucoside

8. Petunidin glucosid

9. 5-carboxypyranocyaniding 3-glucoside

در دمای فریزر و بیشترین میزان تخریب در دمای محیط بوده است.

افزایش پایداری آنتوسیانین‌ها مسئله‌ای بسیار حائز اهمیت است. انکپسولاسیون تکنیکی است که در آن یک ترکیب فعال (هسته، بخش مرکزی یا بخش درونی) با عامل انکپسوله (پوشش دهنده، پوسته، غشاء یا مواد دیواره) مخلوط می‌گردد و کپسول را به وجود می‌آورد تا از خواص هسته در حین فرآیند و نگهداری، محافظت شود. روش‌های گوناگونی از جمله امولسیفیکاسیون، سرد کردن پاششی، خشک کردن پاششی، پوشش‌دهی بوسیله بستر سیال، خشک کردن انجمادی و اکستروژن برای انکپسوله کردن استفاده می‌شود. رایج‌ترین روش انکپسولاسیون، خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی است (شهیدی و هان ۱۹۹۳). در فرآیند خشک کردن انجمادی، آب منجمد شده موجود در نمونه توسط فرآیند تصعید خارج می‌شود. به علت پایین بودن دما و جدا شدن حداکثر رطوبت به روش تصعید به جای تبخیر، تخریب حرارتی محصول به شدت کاهش یافته و خصوصیات آسیب‌پذیر از جمله طعم، رنگ، و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی، و فعالیت مواد زیست‌شناختی، داروها، کاتالیزورها، و محصولات نانو حفظ می‌شود (اوتجن و هاسیلی ۲۰۰۴؛ اکرمی و همکاران ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای که توسط اسوریو و همکاران (۲۰۱۰) بر پایداری آنتوسیانین استخراج شده از کروزو^۱ انجام شد نتایج نشان‌داد پایداری پودر حاصل از انکپسولاسیون توسط مالتودکسترین تا دمای ۱۰۰ °C افزایش یافته است.

در این پژوهش آنتوسیانین به روش کلاسیک از دو منبع ارزان قیمت و فراوان پوست پیاز قرمز و کلم قرمز استخراج و با استفاده از روش طراحی آزمایش فاکتوریل جزئی شرایط بهینه تعیین شده است. همچنین جهت افزایش پایداری، رنگ مایع تولید شده، توسط روش خشک‌کن انجمادی با دو عامل مالتودکسترین و

صمغ عربی در مقیاس میکرو انکپسوله شد. از صمغ عربی و مالتودکسترین به دلیل خصوصیات نظیر قیمت ارزان، ویسکوزیته پایین در غلظت‌های بالا و حلالیت بالا به عنوان پوشش‌دهنده در فرآیند انکپسولاسیون استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

پیاز قرمز و کلم قرمز از بازار محلی، اتانول مطلق از شرکت غدیر، هیدروکلریک اسید، صمغ عربی، پتاسیم کلراید، سدیم استات و توئین ۸۰ از شرکت مرک آلمان، مالتودکسترین DE 18 از شرکت دکستروز ایران تهیه گردید. در همه آزمایش‌ها از آب دوبار تقطیر شده استفاده شد.

استخراج آنتوسیانین

ابتدا پوست پیاز قرمز و کلم قرمز تهیه و با آب مقطر شست و شو شدند، سپس به قطعات کوچک خرد و در هوای آزاد و دور از نور خورشید خشک گردید. مقدار ۲۰ گرم از ماده اولیه توسط حلال به نسبت و مدت مشخص بسته به شرایط آزمایش خیسانده و در محیط تاریک و یا روشن قرارگرفت، سپس جهت جداسازی ذرات معلق، محلول را فیلتر و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قرار می‌دهیم. برای جداسازی حلال از دستگاه تبخیرکننده تحت خلاء استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری آنتوسیانین‌های مونومری کل:

پس از انجام آزمایش‌ها میزان کل آنتوسیانین مونومری به روش pH افتراقی و با استفاده از معادلات ۱ و ۲ (گیوستی ۲۰۰۱؛ لی ۲۰۰۵) محاسبه شده است.

$$TMA\left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{A \times Mw \times DF \times 1000}{\epsilon \times L} \quad (۱)$$

$$A = (A_{\lambda MAX} - A_{700})_{pH=1} - (A_{\lambda MAX} - A_{700})_{pH=4.5} \quad (۲)$$

Mw وزن مولکولی سیانیدین^۲-گلوکوزید، DF ضریب رقت، L طول سل برحسب سانتی‌متر، ϵ جذب مولی،

^۱. Corozo

اندازه‌گیری مواد جامد محلول^۱ TSS

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول (درجه بریکس)، از دستگاه رفاکتومتر چشمی مدل Atago-Atc-20 استفاده شده است (جامپانی و راقاوارائو ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری رنگ

رنگ توسط تعیین مقادیر L^* a^* b^* توسط دستگاه هانتربل مدل Lovibond Tintometer PFX99 اندازه‌گیری شده است.

انکپسولاسیون

پس از استخراج رنگ مایع، رنگ پودری با فرآیند انکپسولاسیون تولید گردید. ابتدا محلول ۲۰٪ پوشش‌دهنده‌ها تهیه و توسط هم‌زن مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه بر روی حرارت 50°C هم‌زده می‌شود تا محلولی همگن حاصل گردد. سپس چند قطره توئین ۸۰ به عصاره اضافه می‌شود و محلول پوشش‌دهنده به نسبت ۴ به ۱ با عصاره مخلوط شده و جهت تهیه امولسیون با ذرات یکنواخت، محلول پوشش‌دهنده و عصاره از دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک با شدت ۲۴ هرتز به مدت ۳ دقیقه استفاده می‌شود. امولسیون تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در فریزر با دمای -70°C نگهداری سپس به دستگاه خشک‌کن انجمادی منتقل می‌شود (حجتی و همکاران ۱۳۹۲؛ گارسیا تجدا و همکاران ۲۰۱۵).

آنالیز میکروکپسول‌های تولید شده

اندازه‌گیری رطوبت

به منظور اندازه‌گیری رطوبت پودر انکپسوله شده، یک گرم پودر تولیدی را به مدت یک شبانه‌روز در آون با دمای 100°C نگهداری و نمونه را وزن می‌کنیم، درصد رطوبت از تقسیم تفاضل وزن پودر اولیه و نمونه خشک شده بر وزن پودر اولیه محاسبه می‌شود (اسوریو و همکاران ۲۰۱۰).

MW و ε در فرمول به ترتیب برابر است با $449/2$ و 26900 که مربوط به سیانیدین ۳-گلوکزید است.

طراحی آزمایش

به منظور بهینه‌سازی فرآیند استخراج از روش فاکتوریل جزئی و نرم‌افزار Minitab17 استفاده شده است. در این روش ۵ پارامتر نوع حلال، نسبت حلال، دما، زمان و میزان نور در دو سطح اصلی و یک سطح مرکزی انتخاب گردیدند. سطوح در نظر گرفته‌شده برای پارامترها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. با توجه به سطوح تعیین‌شده تعداد ۱۶ آزمایش برای هر ماده پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱- پارامترها و سطوح تعیین شده برای استفاده در

آزمایش FFD

پارامترها	سطح ۱ (-۱)	سطح ۲ (+۱)	مرجع (۰)
S نوع حلال مصرفی	اتانول اسیدی شده با HCL ۱/۵۰ نرمال	اتانول ۸۰٪	*
H نسبت حلال به ماده اولیه مصرفی (حجمی/جرمی)	۱۰	۲۰	۱۵
T دما (درجه سانتی گراد)	۳۰	۵۰	۴۰
R زمان (ساعت)	۲	۴۸	۲۵
L میزان نور	تاریک	روشن	*

ویژگی‌های رنگ مایع

مواد جامد محلول، شدت جذب و مقادیر L^* a^* b^* برای نمونه‌های مایع با بیشترین میزان آنتوسیانین، اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری شدت جذب

شدت جذب نمونه در $\text{pH}=1$ و $\text{pH}=4/5$ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VISIBLE دو پرتویی مدل T92 Plus اندازه‌گیری شد.

^۱. Total Soluble Solid

بازده فرآیند انکپسولاسیون

بازده فرآیند انکپسولاسیون، از تقسیم میزان ریزکپسول تولید شده بر مقدار ماده جامد موجود در امولسیون که به خشک‌کن منتقل شده است، محاسبه می‌شود (حجتی و همکاران ۱۳۹۲).

توزیع اندازه ذرات

ساختار و اندازه ذرات پودرهای تهیه شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Tescan Vega3 تعیین شده است. بدین‌منظور ابتدا پودرهای تهیه شده توسط نوار چسب به استاب چسبانده و توسط لایه بسیار نازک طلا پوشانده می‌شوند سپس در بزرگنمایی مشخص و ۱۰kV از نمونه‌ها عکس گرفته می‌شود (ارسوس و یوردگل ۲۰۰۷).

پایداری گرمایی

پایداری گرمایی نمونه‌های تهیه شده توسط دستگاه وزن سنج حرارتی (TGA) و گرماسنج پویشی تفاضلی (DSC) با نرخ ۱۰°C/Min در محدوده دمایی ۲۵ °C تا ۵۰۰ °C مورد بررسی قرار گرفت (اسوریو و همکاران ۲۰۱۰).

آزمون تعیین ساختار توسط پراش اشعه ایکس (XRD)

در این پژوهش طیف سنجی با استفاده از پراش اشعه ایکس توسط دستگاه BRUKER مدل D8 ADVANCED در شرایط مولد اشعه ایکس در ۴۰ کیلووات و ۴۰ میلی‌آمپر و سرعت زاویه‌ای ۰/۰۵ درجه بر ثانیه تنظیم و ثبت گردید. پرتوهای بازتابشی از نمونه در محدوده زاویه ۱۰ تا ۷۰ جمع‌آوری و نمودارهای مربوط به شدت بازتابش آن‌ها رسم شدند (گارسیا تجدا و همکاران ۲۰۱۵).

نتایج و بحث

میزان آنتوسیانین استخراج‌شده برای ۱۶ آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین میزان آنتوسیانین‌های مونومری از دو منبع پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به ترتیب برابر ۲۷۹۹/۹۶ و ۲۲۰۵/۲۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. این نتایج در مقایسه با نتایج لی و همکاران (۲۰۰۵) که میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری در عصاره قره‌قاپ را ۱۳/۶، شراب قرمز ۲۰۱/۶، عصاره توت‌فرنگی ۶۳/۶، عصاره تمشک ۳۳۶/۷، توت سیاه ۳۰۶/۸ و رنگدانه‌های طبیعی ۶۴۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کرده‌اند بسیار قابل توجه و اقتصادی است.

تفسیر مدل آماری

نتایج تحلیل واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد مقدار عددی P مدل‌ها کمتر از ۰/۰۰۰۱ و ضریب تعیین مدل ارائه شده برای پوست پیاز قرمز ۰/۹۶۹۴ و کلم قرمز ۰/۹۶۲۱ است. مقادیر ضریب تعیین تعدیل شده و ضریب تعیین پیش‌بینی شده برای هرکدام از دو منبع پوست پیاز و کلم قرمز، حاکی از اهمیت و درستی مدل است، بنابراین می‌توان گفت مدل‌ها میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده را به خوبی پیش‌بینی می‌کنند (جدول ۳).

1. Thermogravimetric Analysis

2. Differential scanning calorimetry

3. X-ray diffraction

جدول ۲- شرایط آزمایش روش FFD برای پوست پیاز قرمز و کلم قرمز

شماره آزمایش	متغیرها	نوع حلال	نسبت حلال/ماده اولیه	دما	زمان	روشنایی/تاریکی	پاسخ (میلی گرم بر لیتر)	
							پوست پیاز قرمز	کلم قرمز
۱	-۱	-۱	-۱	-۱	+۱	+۱	۲۲۷۳/۲۱	۱۷۸۹/۹۲
۲	+۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	۱۳۴۴/۰۰	۲۰۳۱/۸۷
۳	-۱	+۱	+۱	-۱	-۱	+۱	۲۷۹۹/۹۶	۱۹۳۶/۲۴
۴	+۱	+۱	+۱	-۱	+۱	-۱	۹۶۸/۱۲	۲۲۰۵/۲۶
۵	-۱	-۱	-۱	+۱	+۱	-۱	۱۶۶۷/۵۲	۱۰۱۱/۴۷
۶	+۱	+۱	-۱	+۱	-۱	+۱	۶۱۲/۹۶	۱۴۰۳/۲۰
۷	-۱	-۱	+۱	+۱	-۱	-۱	۱۰۶۷/۱۶	۸۰۳/۵۴
۸	+۱	+۱	+۱	+۱	+۱	+۱	۱۸۹۸/۰۰	۲۱۲۵/۳۰
۹	-۱	۰	۰	۰	۰	-۱	۱۷۱۵/۲۴	۱۳۱۶/۷۱
۱۰	+۱	۰	۰	۰	۰	-۱	۱۱۰۹/۰۵	۲۰۷۱/۳۰
۱۱	-۱	۰	۰	۰	۰	+۱	۲۳۴۳/۳۰	۱۶۰۳/۵۴
۱۲	+۱	۰	۰	۰	۰	+۱	۱۲۸۱/۳۶	۲۱۹۵/۷۰
۱۳	-۱	۰	۰	۰	۰	-۱	۱۸۵۸/۳۰	۱۲۸۴/۷۵
۱۴	+۱	۰	۰	۰	۰	-۱	۹۹۱/۸۶	۱۹۱۰/۲۹
۱۵	-۱	۰	۰	۰	۰	+۱	۲۴۱۷/۲۰	۱۳۲۱/۳۵
۱۶	+۱	۰	۰	۰	۰	+۱	۱۴۲۹/۹۲	۲۱۸۶/۰۰

جدول ۳- نتایج تحلیل ANOVA مربوط به معادله مدل برای میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز

مقدار F	میانگین مربعات تعدیل شده		مجموع مربعات تعدیل شده		درجه آزادی		مشخصه
	C	O	C	O	C**	O**	
مدل	۳۸/۱۲*	۹۲۸۳۵۸	۴۹۹۰۳۶	۵۵۷۰۱۵۰	۶	۲۹۹۴۲۱۵	۴۷/۴۵*
اثر اصلی	۴۴/۱۹*	۹۱۹۸۵۷	۵۷۸۴۶۰	۴۵۹۲۲۸۵	۵	۲۸۹۲۲۹۸	۴۷/۰۱*
اثر دوتایی	۷/۷۹*	۹۷۰۸۶۵	۱۰۱۹۱۷	۹۷۰۸۶۵	۱	۱۰۱۹۱۷	۴۲/۶۲*
خطای باقیمانده		۱۹۵۶۷	۱۳۰۹۰	۱۷۶۱۰۰	۹	۱۱۷۸۱۳	
کل				۵۷۴۶۲۵۰	۱۵	۳۱۱۲۰۲۸	
O	ضریب تعیین پیش‌بینی شده = ۰/۸۴۷۸						
C	ضریب تعیین پیش‌بینی شده = ۰/۸۴۶۷						
	ضریب تعیین شده = ۰/۹۴۸۹						
	ضریب تعیین شده = ۰/۹۳۶۹						
	ضریب تعیین شده = ۰/۹۶۹۴						
	ضریب تعیین شده = ۰/۹۶۲۱						

* P < ۰/۰۵ در این جدول C و O به ترتیب بیانگر کلم قرمز و پوست پیاز قرمز است.

تداخلی بستگی دارد؛ بزرگی ضرایب متغیرها بیانگر اهمیت ضرایب مربوطه در تغییرات پاسخ است و علامت ضریب نشان از مثبت و یا منفی بودن اثر عامل دارد. در معادله ۳ نوع حلال و نسبت حلال به ماده اولیه و در معادله ۴ دما و نسبت حلال به ماده اولیه به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر پاسخ دارند. اثر هریک از پارامترها بر میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده در شکل ۳ مشاهده می‌شود. معادلات ۳ و ۴ نشان می‌دهد نسبت حلال به ماده اولیه و زمان نقش افزایش دما نقش کاهنده در استخراج آنتوسیانین را دارند. معادله ۳ استفاده از حلال اتانول اسیدی شده با ۱/۵HCL نرمال و معادله ۴ استفاده از حلال اتانول ۸۰٪ در محیط تاریک برای افزایش میزان استخراج آنتوسیانین‌ها را توصیه می‌کند.

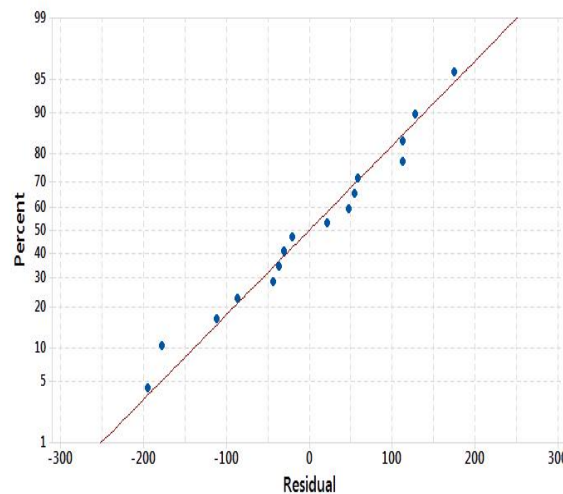
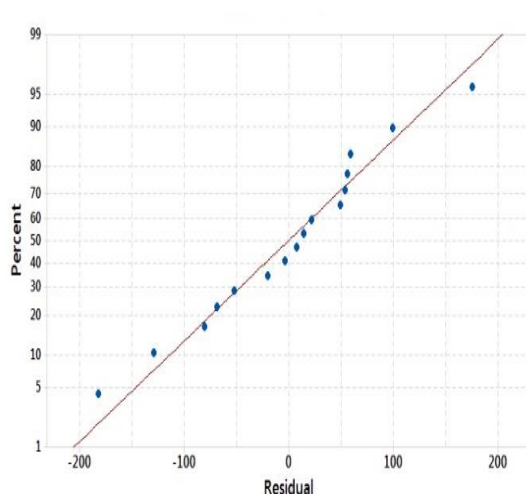
با توجه به قرارگیری نقاط تجربی حول خط در شکل ۲ برای هر دو منبع این اطمینان را می‌توان حاصل کرد که عامل غیر طبیعی در سیستم وجود ندارد. وجود نقاط به‌عامل خطای غیرنرمال است. مدل ارائه شده برای میزان آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به ترتیب در معادله ۳ و ۴ بر حسب پارامترهای کد شده آورده شده است. این معادلات، معادلات نهایی هستند که پارامترهای غیرموثر در آن حذف شده است.

$$TA = 1611/8 - 406/1 S + 104/4 H - 270.5 T + 122/9 R + 271/6 L + 348/4 HL$$

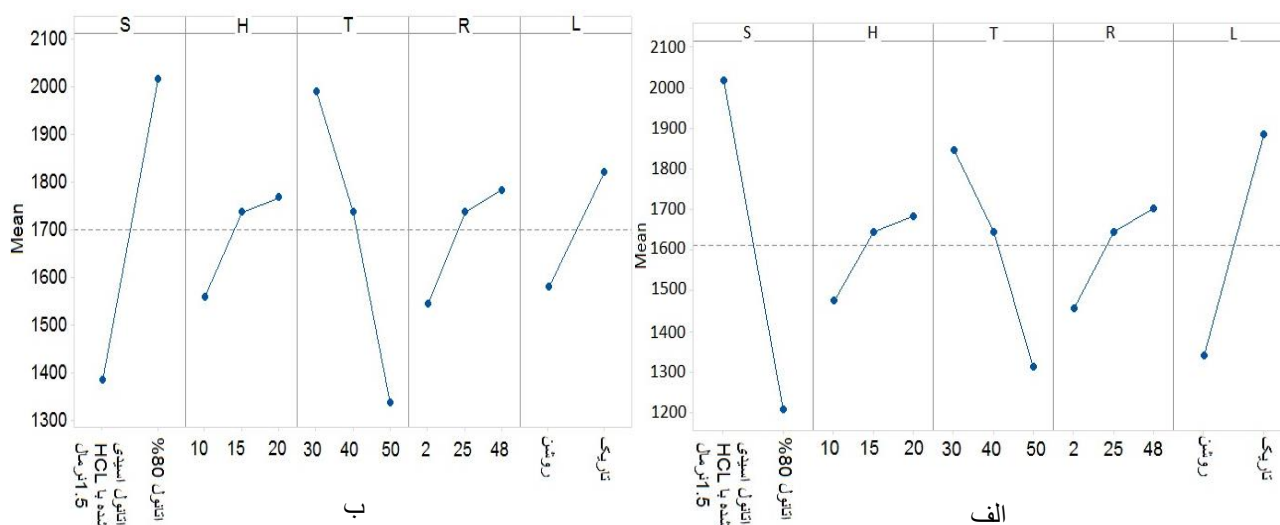
معادله [۳]

$TA = 1699/8 - 316/3 S + 104/2 H - 327/5 T + 119/6 R + 120/4 L + 112/9 HL$

معادله [۴] باتوجه به معادلات ۳ و ۴، مشاهده می‌شود میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از هر دو منبع به پنج عامل اصلی و یک عامل



شکل ۲- نمودار تابع نرمال‌الفا قیمانده مربوط به میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز ب) کلم قرمز



شکل ۳- نمودار اثرات اصلی بر میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز ب) کلم قرمز

یافته‌است. کاکاسی و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی اثر دما و نسبت حلال به ماده اولیه بر استخراج آنتوسیانین‌ها بیان کردند با افزایش دما میزان آنتوسیانین‌ها کاهش می‌یابد و دما یکی از مخرب‌ترین عوامل اثرگذار بر آنتوسیانین‌ها است همچنین افزایش نسبت حلال به ماده اولیه سبب افزایش استخراج و کاهش زمان استخراج می‌گردد.

در شکل ۴-ب و ۴-د اثر دو پارامتر زمان و نسبت حلال به ماده اولیه بر میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری در شرایط ثابت محیط تاریک، دمای 30°C ، حلال اتانول اسیدی شده با HCL ۱/۵ نرمال برای پوست پیاز قرمز و حلال اتانول ۸۰٪ برای کلم قرمز نشان داده شده است. بیشترین میزان استخراج در بالاترین نسبت و بالاترین زمان به‌دست آمده‌است. افزایش مدت زمان به‌دلیل افزایش مدت انتقال جرم سبب افزایش استخراج آنتوسیانین شده است البته در نسبت‌های بالا به‌دلیل ایجاد اختلاف غلظت و استخراج سریع‌تر آنتوسیانین، پارامتر زمان تاثیر چندانی بر استخراج ندارد، با توجه به اثر زمان بر میزان استخراج در شکل ۳ مشاهده شد با افزایش زمان تا مدت زمان ۲۵ ساعت میزان آنتوسیانین افزایش یافته‌است اما در زمان‌های بالاتر با کم‌رنگ شدن اثر متغیر زمان بر استخراج، اثر مستقیم نسبت حلال بر

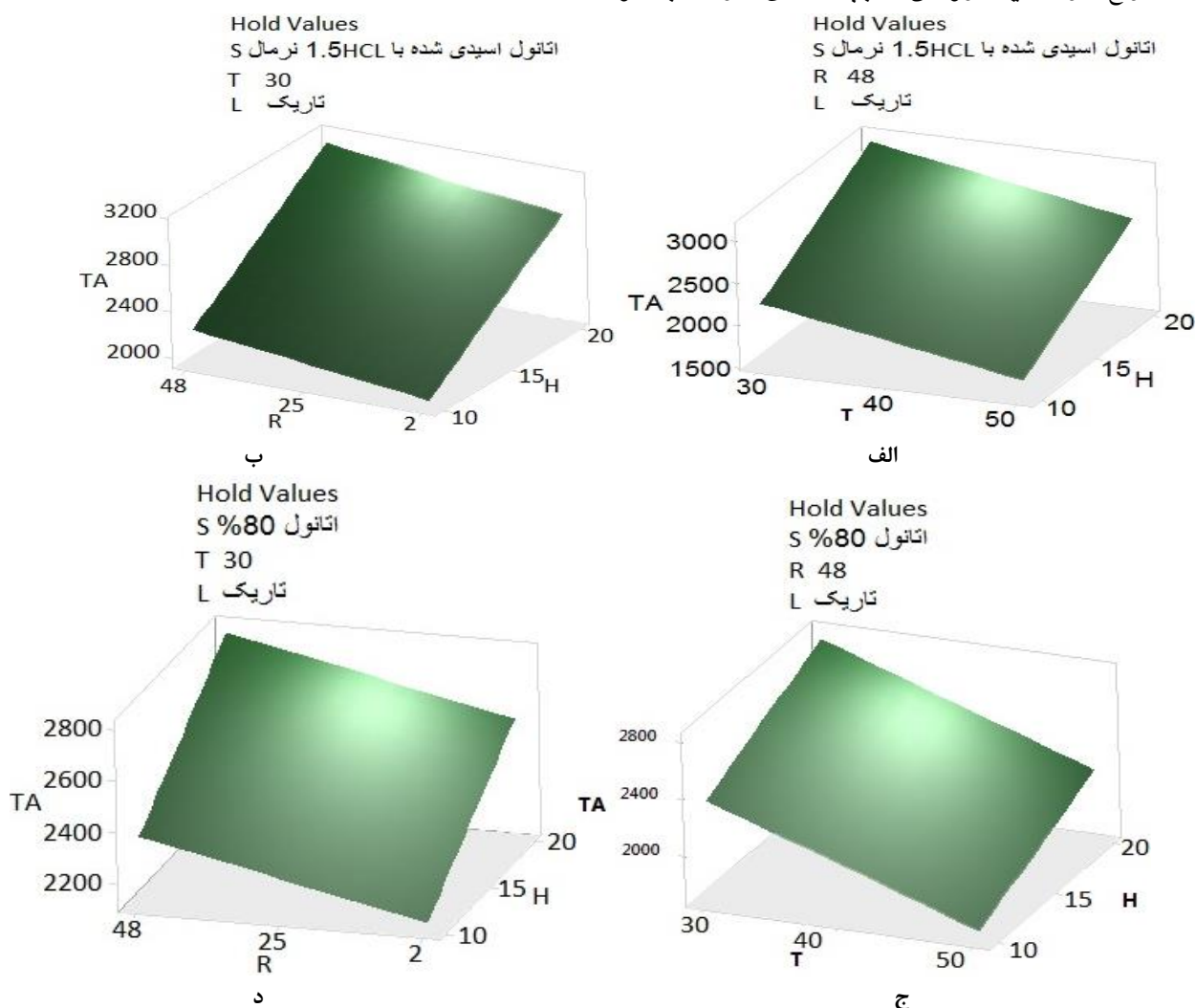
همانگونه که در شکل ۴-الف و ۴-ج مشاهده می‌شود در بررسی اثر دما و نسبت حلال به ماده اولیه بر میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری در شرایط ثابت محیط تاریک و زمان ۴۸ ساعت و حلال اتانول اسیدی شده با HCL ۱/۵ نرمال برای پوست پیاز قرمز و حلال اتانول ۸۰٪ برای کلم قرمز، حداکثر آنتوسیانین استخراج شده در دمای 30°C و نسبت ۲۰ میلی‌لیتر بر گرم است. در تمام نسبت‌ها با افزایش دما میزان آنتوسیانین کاهش یافته‌است. افزایش دما سبب تخریب آنتوسیانین‌ها و تبدیل آن‌ها به رنگدانه‌های قهوه‌ای یا چالکون‌ها می‌گردد. رنگ چالکون‌ها در برابر تغییرات pH، تغییر نمی‌کند بنابراین توسط روش pH افتراقی اندازه‌گیری نمی‌شوند. در بررسی نسبت حلال به ماده اولیه در هر دما با افزایش نسبت به‌دلیل ایجاد اختلاف غلظت بیشتر و افزایش ضریب انتشار و در نتیجه خروج سریع‌تر رنگدانه از منبع، میزان استخراج آنتوسیانین افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۳ و کاهش شیب نمودار اثر نسبت، در نسبت‌های بیشتر از ۱۵ میلی‌لیتر حلال بر گرم ماده اولیه به‌دلیل کم شدن نسبت وزن پوست پیاز قرمز و کلم قرمز در حجم حلال و کاهش غلظت آنتوسیانین استخراج شده، اثر افزایش نسبت در مقایسه با نسبت‌های کمتر از ۱۵ میلی‌لیتر حلال بر گرم ماده اولیه کاهش

تبدیل آنتوسیانین به فرم بی‌رنگ شده است. وانینی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند میزان آنتوسیانین‌های استخراج‌شده از انگور سیاه در معرض نور، کمتر از میزان استخراج‌شده در محیط تاریک است.

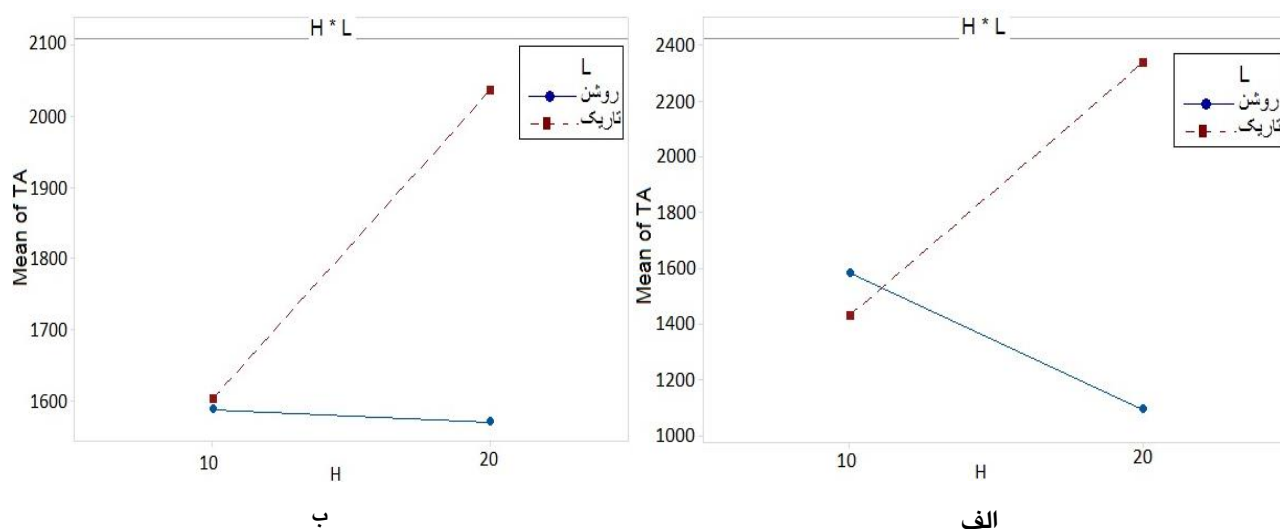
پس از اطمینان از درستی مدل، با استفاده از نرم‌افزار و مدل به‌دست آمده شرایط بهینه استخراج آنتوسیانین محاسبه می‌شود. هدف از بهینه‌سازی رسیدن به بیشترین میزان استخراج با بالاترین میزان مطلوبیت است. نتایج حاصل در جدول ۴ ارائه شده است.

میزان استخراج آنتوسیانین نمایان‌تر است. در مطالعه راجها و همکاران (۲۰۱۴)؛ لپورنیک و واندرا (۲۰۰۵) بر روی پارامترهای تاثیرگذار بر استخراج آنتوسیانین‌ها مشاهده شده‌است که با افزایش زمان میزان استخراج آنتوسیانین‌های مونومری افزایش می‌یابد.

اثر همزمان نسبت حلال به ماده اولیه و میزان روشنایی و تاریکی در شکل ۵ نشان داده شده است، افزایش نسبت سبب افزایش استخراج آنتوسیانین می‌شود اما به دلیل سرعت بالای تخریب آنتوسیانین‌ها در برابر نور استخراج در محیط روشن سبب کاهش اثر نسبت و



شکل ۴- میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج‌شده (TA) از پوست پیاز قرمز بر حسب دما و نسبت حلال به ماده اولیه (ب) از پوست پیاز قرمز بر حسب زمان و نسبت حلال به ماده اولیه (ج) از کلم قرمز بر حسب دما و نسبت حلال به ماده اولیه (د) از کلم قرمز بر حسب زمان و نسبت حلال به ماده اولیه



شکل ۵- نمودار اثر دوتایی بر میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز و ب) کلم قرمز

جدول ۴- بهینه‌سازی فرآیند استخراج آنتوسیانین از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز

C*	O*	پارامترها
۱	۱	میزان مطلوب بودن
۸۰٪ اتانول	۱/۵ HCL نرمال	نوع حلال مصرفی
۱۸/۰۴	۱۸/۶۵۷	نسبت حلال به ماده اولیه مصرفی
۳۵/۸۸	۳۱/۵۸	دما (درجه سانتی‌گراد)
۳/۴	۱۸/۳۲	زمان (ساعت)
تاریک	تاریک	روشنایی و تاریکی
۲۲۹۱/۳۰	۲۸۱۰	میزان آنتوسیانین (میلی‌گرم بر لیتر)

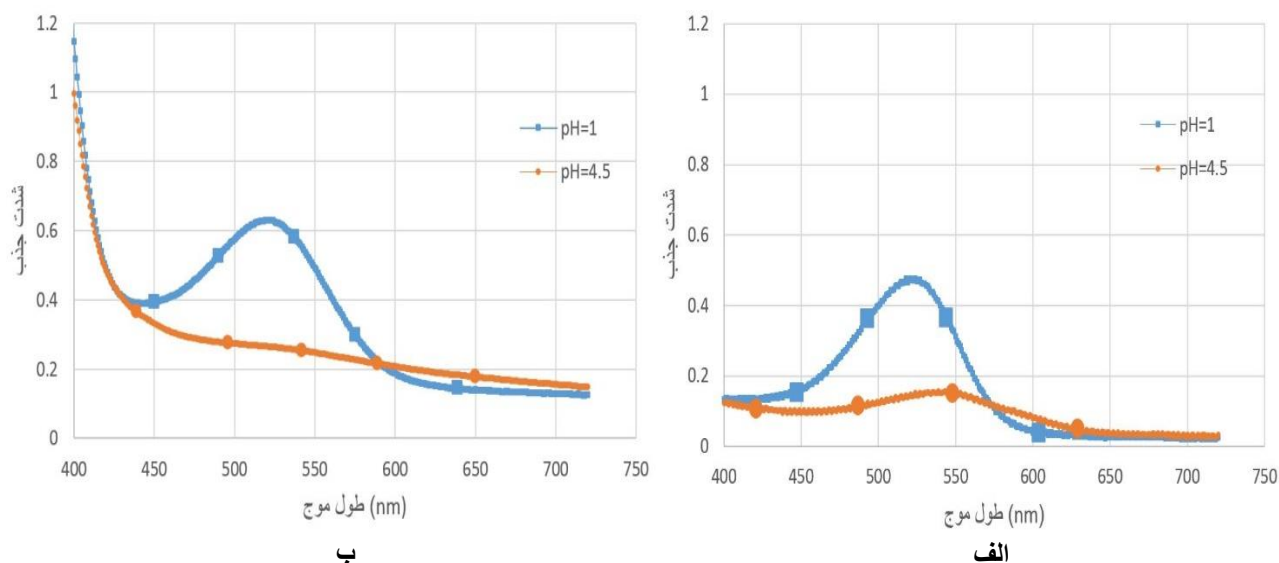
*در این جدول C و O به ترتیب بیانگر کلم قرمز و پوست پیاز قرمز است.

در pH=۴/۵ در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در pH=۱ فرم رنگی کاتیون فلاویلیوم و در pH=۴/۵ فرم بدون رنگ کربینول جزء فرم‌های غالب است. در هر دو نمودار مشاهده می‌شود که بیشترین شدت جذب در pH=۱ در محدوده ۵۰۰ تا ۵۳۰ نانومتر است و در pH=۴/۵ پیک مشاهده نمی‌شود، نتایج به دست آمده با نتایج گیوستی و رولستد (۲۰۰۱) مطابقت دارد.

ویژگی‌های آنتوسیانین استخراج شده

با توجه به جدول ۲ ویژگی‌های رنگ مایع برای نمونه با بیشترین میزان آنتوسیانین، اندازه‌گیری شده است. ویژگی‌ها شامل موارد زیر می‌باشند:

با تغییر pH محیط یک تغییر برگشت‌پذیر در ساختار آنتوسیانین‌ها ایجاد می‌شود که به صورت برجسته در طیف جذبی آشکار است، نمودار شدت جذب بهترین نمونه مایع از نظر بیشترین میزان استخراج در pH=۱ و



شکل ۶- نمودار طیف جذبی آنتوسیانین استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز ب) کلم قرمز

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌هایی همچون مواد جامد محلول، ویسکوزیته و شاخص رنگ برای بهترین نمونه در جدول ۵ ارائه شده است. مواد جامد محلول شاخصی برای غلظت رنگ‌های آنتوسیانین است به عبارتی هرچه این درصد بالاتر باشد غلظت رنگ بیشتر است (جامپانی و راقاوارائو ۲۰۱۵). در بخش صنایع غذایی برای اندازه‌گیری رنگ از سیستم $L^*a^*b^*$ استفاده می‌شود این سیستم که به آن CIELab نیز گفته می‌شود، توسط

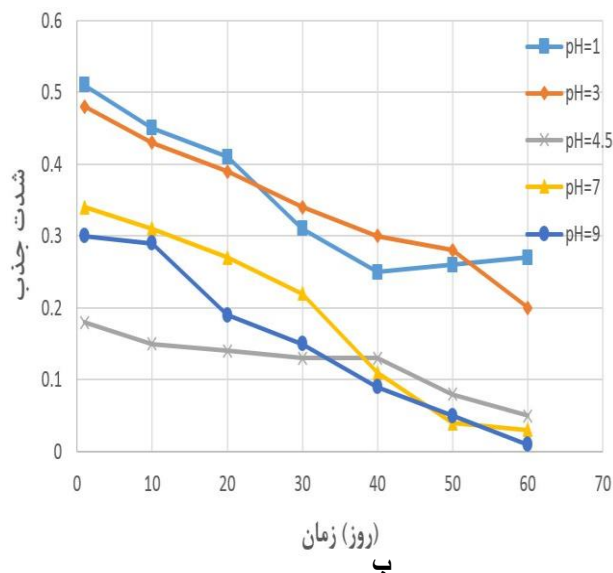
کمسیون بین‌المللی روشنایی (CIE) در سال ۱۷۹۶ به عنوان یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ ارائه شد. در این سیستم میزان روشنایی با L^* و ترکیب رنگی نمونه (سبز تا قرمز و آبی تا زرد) با a^* و b^* نشان داده می‌شود که مقدار L^* از ۰ تا ۱۰۰ و a^* و b^* از ۱۲۰- و ۱۲۰+ تغییر می‌کند (مندوزا و همکاران ۲۰۰۶؛ رولستد ۱۹۹۳).

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های رنگ استخراج شده با نمونه شاهد

ویژگی رنگ	نمونه	پوست پیاز قرمز	کلم قرمز	شاهد
مواد جامد محلول (درجه بریکس)		۳۱٪	۲۶٪	۲۹٪
ویسکوزیته جنبشی (سانتی استوکس، cSt)		۴/۱۸	۴	۴
شاخص رنگ		$L^*: ۱۴/۴۱$	$L^*: ۱۵/۶۳$	$L^*: ۱۰/۵۱$
		$a^*: ۱۱/۶۰$	$a^*: ۶/۵۲$	$a^*: ۴/۶۸$
		$b^*: ۴/۸۵$	$b^*: -۵/۳۱$	$b^*: -۳/۴۵$

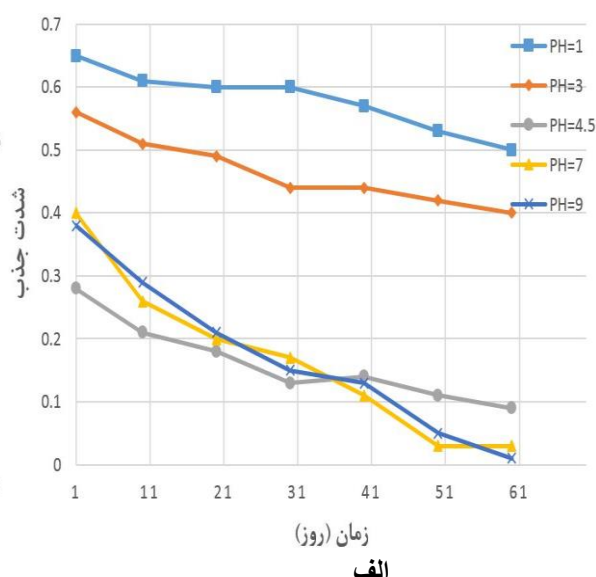
آنالیز پودرهای آنکپسوله شده

پس از ریزپوشانی رنگ مایع استخراج شده از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز، پودر حاصل ارزیابی و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. بررسی اندازه ذرات آنکپسوله توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان از تاثیر ترکیب دیواره بر اندازه ذرات دارد به طوری که اندازه ذرات رنگ تولید شده از پوست پیاز قرمز، از ۱۱۰/۵ به ۶/۱ میکرومتر و کلم قرمز از ۱۳۰ به ۲۱/۵ میکرومتر تغییر کرده است، هر دو پوشش دهنده به طور قابل توجهی سبب کاهش اندازه ذرات شده‌اند. اشکال بی‌نظم که در طول فرایند میکروکپسوله شدن و خشک شدن به روش انجمادی تشکیل شده‌اند در تصاویر SEM در شکل ۸ مشاهده میکروکپسول‌های تولید شده به روش خشک‌کن انجمادی دارای اشکال غیر منظم با لبه‌های تیز و زاویه‌دار است (وانینی و همکاران ۲۰۰۹). این ساختار از آنتوسیانین در برابر گرما و اکسیژن محافظت می‌کند (لاوکلایک و همکاران ۲۰۱۶).



اثر pH و مدت زمان نگهداری بر پایداری آنتوسیانین‌های استخراج شده

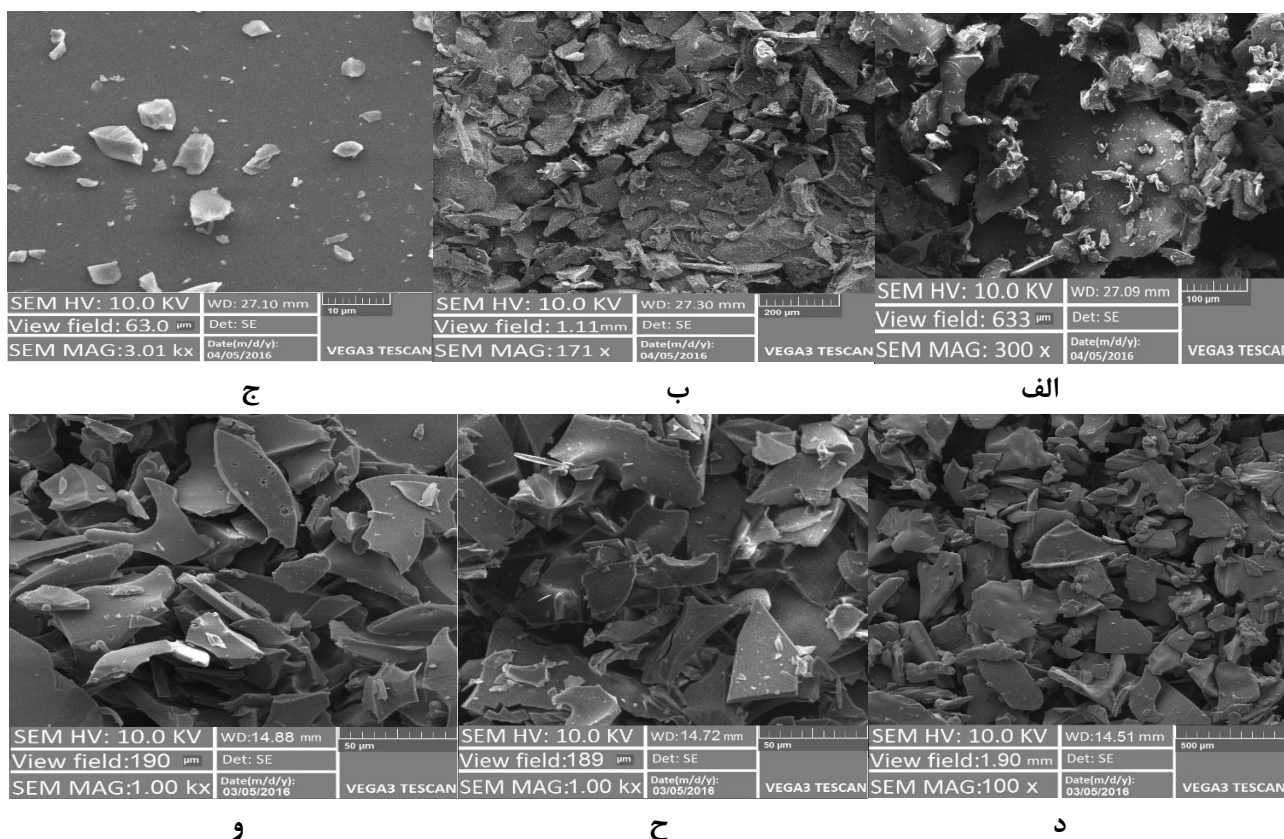
اثر pH و مدت زمان نگهداری بر پایداری آنتوسیانین‌ها استخراج شده طی مدت ۶۰ روز بررسی و نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. شدت جذب با افزایش pH، کاهش و به طبع آن میزان کل آنتوسیانین مونومری کاهش یافته است، آنتوسیانین در pH=۱ و pH=۳ پایداری است و درصد کاهش شدت جذب در پایان ۶۰ روز به ترتیب در pH های ذکر شده برای پوست پیاز قرمز برابر با ۲۳/۰۷٪ و ۲۸/۵۷٪ و برای کلم قرمز برابر با ۴۷/۰۵٪ و ۵۸/۳۳٪ است. سلیم و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی pH و مدت زمان نگهداری گزارش کردند که با افزایش pH و زمان نگهداری میزان کل آنتوسیانین‌های مونومری کاهش می‌یابد.



شکل ۷- نمودار پایداری آنتوسیانین‌های استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز و ب) کلم قرمز در مدت زمان و pH های گوناگون

جدول ۶- مقایسه برخی ویژگی‌های آنتوسیانین‌های انکپسوله شده با ترکیبات دیواره مختلف

ترکیب دیواره		اندازه‌ی ذره (میکرومتر)		میزان رطوبت (%)		بازده‌ی فرآیند (%)	
رنگ تولید شده از پوست پیاز	رنگ تولید شده از کلم قرمز	رنگ تولید شده از کلم قرمز	رنگ تولید شده از پوست پیاز	رنگ تولید شده از کلم قرمز	رنگ تولید شده از پوست پیاز	رنگ تولید شده از کلم قرمز	رنگ تولید شده از پوست پیاز
بدون پوشش-دهنده	۱۱۰/۵	۱۳۰	۴/۱	۳/۵	۶۸	۶۴	
صمغ عربی	۲۸	۲۱/۷	۳/۲	۲/۴	۷۳/۵	۷۰	
مالتودکستترین	۶/۱	۲۱/۵	۳/۴	۲/۶	۸۵/۳	۸۲	



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM آنتوسیانین‌های استخراج شده از پوست پیاز قرمز (الف) آنتوسیانین استخراج شده بدون پوشش‌دهنده (ب) آنتوسیانین انکپسوله شده با صمغ عربی (ج) آنتوسیانین انکپسوله شده با مالتودکستترین، کلم قرمز (د) آنتوسیانین استخراج شده بدون پوشش‌دهنده (ه) آنتوسیانین انکپسوله شده با صمغ عربی (و) آنتوسیانین انکپسوله شده با مالتودکستترین

فرآیند انکپسولاسیون با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد، بیشترین بازده برای رنگ تولید شده از پوست

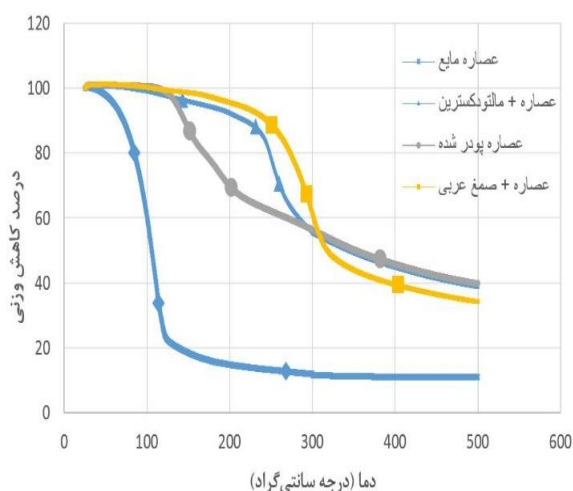
ذرات انکپسوله شده با مالتودکستترین نسبت به صمغ عربی دارای سطوحی با گوشه‌های گردتر است. بازده

با توجه به گرماگیر بودن فرآیند تبخیر آب این موضوع توجیح می‌گردد. مرحله دوم؛ به تبخیر آب درونی مولکول‌ها مربوط است این مرحله تا دمای شروع تخریب ادامه دارد و با یک کاهش وزن کم همراه است، به ترتیب برای پوست پیاز قرمز و کلم قرمز درصد کاهش وزن عصاره پودر شده بدون پوشش‌دهنده، به ترتیب برابر است با ۴/۳۰٪ و ۲/۶۴٪، عصاره با پوشش‌دهنده صمغ عربی ۸/۶۴٪ و ۹/۰۳٪، عصاره با پوشش‌دهنده مالتودکستریز ۱۲/۵۷٪ و ۱۲/۴۳٪. مرحله سوم که از دمای آغاز تخریب، شروع می‌شود مربوط به تجزیه گرمایی پوشش‌دهنده و نمونه و همچنین تخریب پلی‌ساکاریدها است و با کاهش شدید وزن همراه است. این مرحله تا دمای پایان تخریب ادامه می‌یابد. در این مرحله تمامی نمونه‌ها ۴۰ تا ۷۰ درصد وزن خود را از دست می‌دهند. با توجه به نمودارهای DSC در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌توان فرایند گرماگیر بودن کاهش وزن را مشاهده کرد، همانطور که مشاهده می‌شود پیک‌های نمودار DSC برای نمونه‌های پودری و انکپسوله شده بسیار کوچک هستند و این نشان دهنده اعمال نقش محافظتی پوشش‌دهنده‌ها و تغییر فاز ندادن نمونه‌ها در این مرحله است.

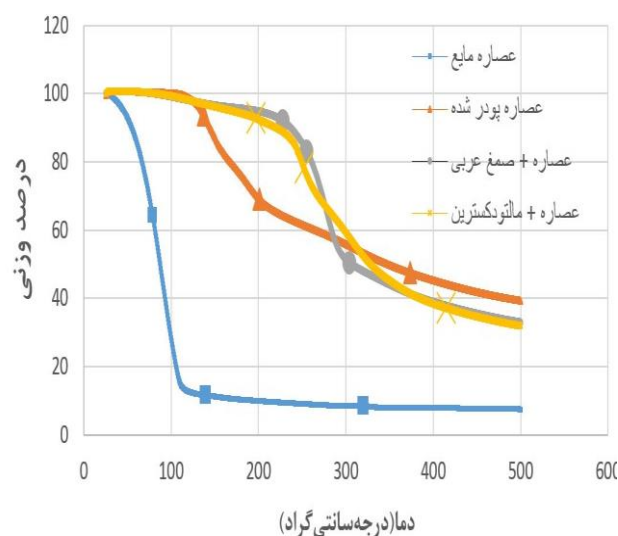
پیاز ۸۵/۳٪ و برای رنگ تولید شده از کلم قرمز ۸۲٪ و مربوط به پوشش‌دهنده مالتودکستریز است. نتایج مشابه توسط سلیم و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است، آن‌ها گزارش کردند مالتودکستریز بهترین عامل برای انکپسوله کردن آنتوسیانین استخراج شده از گیاه چای ترش است.

پایداری گرمایی

نمودار گرمایی به دست آمده از هشت نمونه مایع بدون پوشش‌دهنده و با پوشش‌دهنده صمغ عربی و مالتودکستریز توسط دستگاه TGA و DSC، که در شکل ۹ ارائه شده است، الگوی مشابه را نشان می‌دهند، این الگو را به سه مرحله تقسیم می‌کنیم: مرحله اول: با توجه به نمودارهای TGA مربوط به تمام نمونه‌ها (شکل ۹) تا دمای ۳۰ °C هیچ فعالیت حرارتی مشاهده نشده است بعد از این دما تا دمای ۱۰۰ °C به دلیل تبخیر آب سطحی و یا دفع ترکیبات فرار یک کاهش وزن دیده می‌شود، درصد کاهش وزن برای عصاره مایع به دلیل وجود آب در نمونه حدود ۸۰٪ است همچنین با توجه به پیک رو به پایین در نمودار DSC ارائه شده در شکل ۱۰ و ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که، کاهش وزن شدید در عصاره مایع همراه با یک فرآیند گرماگیر است،

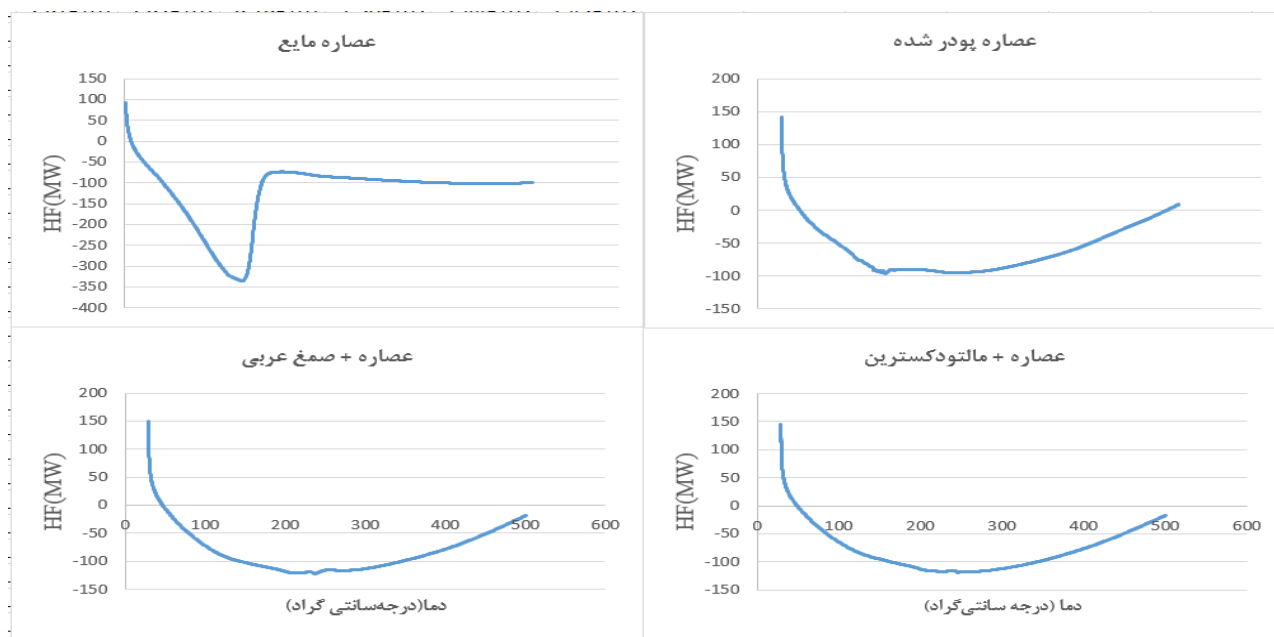


ب

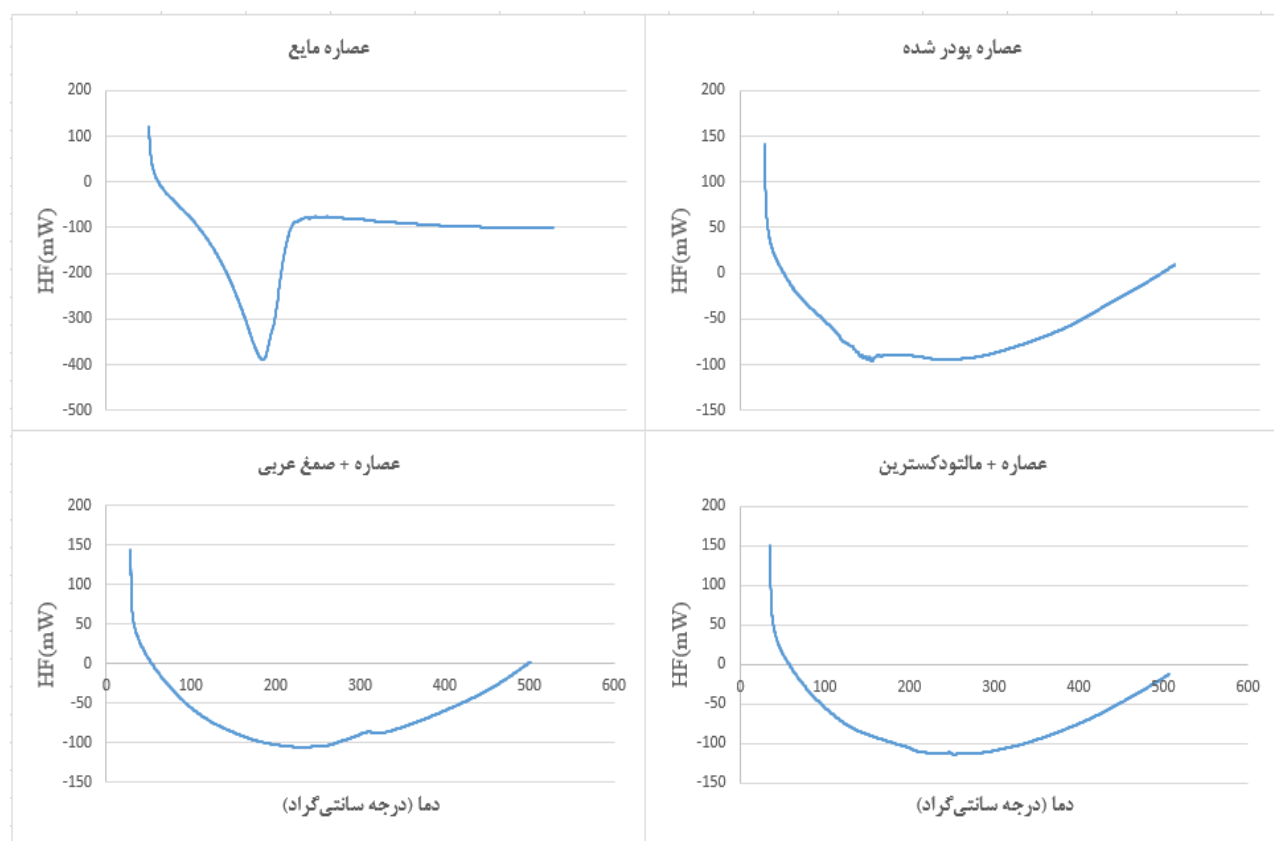


الف

شکل ۹- نمودار وزن سنجی حرارتی (TGA) مربوط به آنتوسیانین استخراج شده از الف) پوست پیاز قرمز ب) کلم قرمز



شکل ۱۰- نمودارهای گرمایش تفاضلی (DSC) مربوط به پوست‌پياز قرمز

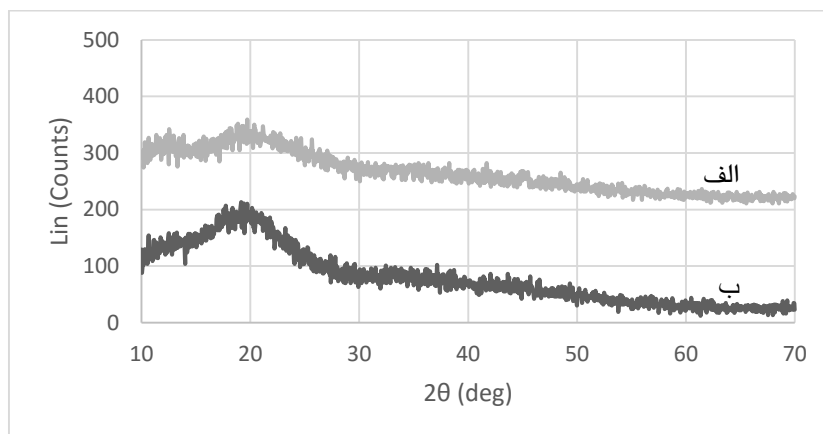


شکل ۱۱- نمودارهای گرمایش تفاضلی (DSC) مربوط به پوست کلم قرمز

نتایج طیف سنجی با استفاده از پراش اشعه ایکس

این آزمون برای نمونه بدون پوشش‌دهنده و با پوشش‌دهنده‌ی پوست پیاز قرمز که دارای بالاترین بازدهی فرآیند انکپسولاسیون است، انجام شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود برای هر دو

نمونه در بازه $2\theta = 10^\circ - 20^\circ$ پیک‌هایی با قله‌های پهن وجود دارد، قله‌های پهن نشان دهنده آمورف بودن ساختار نمونه‌ها است. در نمونه‌های کریستالی پیک‌ها مشخص و نوک قله تیزتر است (کاکاسی و مازا ۲۰۰۳)



شکل ۱۲- طیف XRD نمونه پوست پیاز الف) بدون پوشش‌دهنده ب) همراه با پوشش‌دهنده

جدول ۸- مقایسه بین تحقیقات صورت گرفته بر استخراج آنتوسیانین‌ها

پارامترها	آیسا و همکاران ۲۰۱۳	شریف و همکاران ۲۰۱۰	چاندارساخر ۲۰۱۲	در این پژوهش	در این پژوهش
ماده اولیه	گیاه چای ترش	پوست پیاز قرمز	کلم قرمز	پوست پیاز قرمز	کلم قرمز
روش استخراج	کلاسیک	مایع تحت فشار	رزین آمبرلیت	کلاسیک	کلاسیک
میزان آنتوسیانین‌های مونومری (میلی گرم بر لیتر)	۱۶۳/۳	۴۳/۶۸	۳۹۰/۶	۲۷۹۹/۹۶	۲۲۰۵/۲۶

نتیجه‌گیری

به طور کلی طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی آماری و بهینه‌سازی، استخراج آنتوسیانین تحت تاثیر ۵ پارامتر اصلی نوع حلال مصرفی، نسبت حلال به ماده اولیه، دما، زمان، روشنایی و تاریکی قرار دارد. از لحاظ آماری هر کدام از پارامترها دارای اثر مستقل و معنادار بر استخراج آنتوسیانین از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز هستند. جهت پیش‌بینی میزان آنتوسیانین‌های مونومری کل استخراج شده از دو منبع ذکر شده از مدل درجه دوم

کاسته شده استفاده گردید. از میان متغیرهای موثر بر استخراج آنتوسیانین‌ها، افزایش دما و روشنایی سبب کاهش میزان استخراج و افزایش نسبت حلال به ماده اولیه و زمان ماند سبب افزایش میزان استخراج شده است. با توجه به بهینه‌سازی مدل به‌دست‌آمده بیشترین میزان استخراج برای پوست پیاز قرمز ۲۸۱۰ و برای کلم قرمز ۲۲۹۱/۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است. نتایج حاصل از انکپسولاسیون نشان داد که هر دو پوشش دهنده سبب کاهش اندازه ذرات و افزایش دمای آغاز تخریب

آنتوسیانین‌ها شده‌اند. در مقایسه بین دو پوشش‌دهنده‌ی صمغ عربی و مالتودکسترین مشاهده شد که عامل مالتودکسترین سبب کاهش بیشتر اندازه ذرات و در نتیجه افزایش بازدهی فرآیند انکپسولاسیون می‌گردد از طرف دیگر صمغ عربی در آزمون TGA و DSC عملکرد بهتری داشته است. در جدول ۸ مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از پژوهش‌های گذشته و پژوهش حاضر آورده شده است.

منابع مورد استفاده

- حجتی م، رضوی س، گیلانی ک، ۱۳۹۲. اثر ترکیب دیواره بر ویژگی‌های کانتاگزانتین طبیعی ریزپوشانی شده به روش خشک‌کن پاششی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، جلد هشتم، شماره ۳. صفحه‌های ۴۵ تا ۵۴.
- قاجاریان ه، توکلی پور ح، استیری ح، ۱۳۹۳. بررسی تاثیر نوع سیستم حلال در استخراج آنتوسیانین پوست بادمجان. *سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی*، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.
- اکرمی م، قنبرزاده ب، پورظفر ف، مرتضوی ع، دیناروند ر، دهقان نیا ج. ۱۳۹۵. نانوکمپلکس های صمغ عربی- کارژینات حامل بتا کاروتن (۲): بررسی اندازه ذرات، پتانسیل زتا، مورفولوژی و کارایی انکپسولاسیون. *مجله پژوهش های صنایع غذایی*، دوره بیست و ششم، شماره ۴. صفحه‌های ۷۶۳ تا ۷۷۸.
- Aishah B, Nursabrina M, Noriham A, Norizzah A.R and Shahrini H.M, 2013. Anthocyanins from Hibiscus sabdariffa Melastoma malabathricum and Ipomoea batatas and its color properties. *International Food Research Journal* 20: 827-834.
- Andersen Ø.M and Jordheim M, 2010. Anthocyanins. eLS.
- Arapitsas P, Sjöberg P.J. and Turner, 2008. Characterisation of anthocyanins in red cabbage using high resolution liquid chromatography coupled with photodiode array detection and electrospray ionization-linear ion trap mass spectrometry. *Food Chemistry* 109: 219-226.
- Attokaran M, 2011. *Natural Food Flavors and Colorants*. John Wiley & Sons.
- Cacace J.E and Mazza G, 2003. Optimization of extraction of anthocyanins from black currants with aqueous ethanol. *Journal of Food Science* 68: 240-248.
- Chandrasekhar J, Madhusudhan M.C and Raghavarao K.S, 2012. Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption. *Food and Bioproducts Processing* 90: 615-623.
- Clifford M.N, 2000. Anthocyanins–nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1063-1072.
- Ersus S and Yurdagel U, 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering* 80: 805-812.
- García-Tejeda Y.V, Salinas-Moreno Y, Hernández-Martínez Á.R and Martínez-Bustos F, 2015. Encapsulation of Purple Maize Anthocyanins in Phosphorylated Starch by Spray Drying. *Cereal Chemistry* 93: 130-137.
- Giusti M.M and Wrolstad R.E, 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry* F1: 1-13.
- Jampani C, and Raghavarao K.S.M.S, 2015. Process integration for purification and concentration of red cabbage (*Brassica oleracea* L.) anthocyanins. *Separation and Purification Technology*, 141: 10-16.
- Laokuldilok T. and Kanha N. 2016. Microencapsulation of Black Glutinous Rice Anthocyanins Using Maltodextrins Produced from Broken Rice Fraction as Wall Material by Spray Drying and Freeze Drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41: e12877.
- Lapornik B, Prošek M and Wondra A.G, 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering* 71: 214-222.

- Lee J, Durst R.W and Wrolstad R.E, 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international* 88: 1269-1278.
- Mabilia R, Scipioni C, Vegliò F and Scianò M.C.T, 2010. Fractional factorial experiments using a test atmosphere to assess the accuracy and precision of a new passive sampler for the determination of formaldehyde in the atmosphere. *Atmospheric Environment* 44: 3942-3951.
- Mendoza F, Dejmek P and Aguilera J.M, 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41: 285-295.
- Oetjen G.W and Haseley P, 2004. *Freeze Drying Second, Completely Revised and Extended Edition*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN 978:3-527.
- Osorio C, Acevedo B, Hillebrand S, Carriazo J, Winterhalter P and Morales A.L, 2010. Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 6977-6985.
- Rajha H.N, El Darra N, Hobaike Z, Boussetta N, Vorobiev E, Maroun R.G and Louka N, 2014. Extraction of total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins from grape byproducts by response surface methodology. Influence of solid-liquid ratio, particle size, time, temperature and solvent mixtures on the optimization process. *Food and Nutrition Sciences* 5: 397-409.
- Rein M, 2005. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins, Ph.D. Thesis, University of Helsinki.
- Selim K.A, Khalil K.E, Abdel-Bary M.S and Abdel-Azeim N.A, 2008. Extraction, encapsulation and utilization of red pigments from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as natural food colourants. In *Alexandria Journal for Food Science and Technology*. Special Volume Conference: 7-20.
- Shahidi F and Han X.Q, 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 33: 501-547.
- Sharif A, Saim N, Jasmani H and Ahmad W.Y.W, 2010. Effects of Solvent and Temperature on the Extraction of Colorant from Onion (*Allium cepa*) Skin using Pressurized Liquid Extraction. *Asian Journal of Applied Sciences* 3: 262-268.
- Slimestad R, Fossen T and Vågen I.M, 2007. Onions: a source of unique dietary flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 10067-10080.
- Vanini L.S, Hirata T.A, Kwiatkowski A and Clemente E, 2009. Extraction and stability of anthocyanins from the benitaka grape cultivar (*Vitis vinifera* L.). *Brazilian Journal of Food Technology* 12: 213-219.
- Wrolstad R.E, 1993. *Color and pigment analyses in fruit products*. Corvallis Or.: Agricultural Experiment Station. Oregon State University.

Optimization of extraction and microencapsulation of anthocyanin pigments extracted from red onion peel and red cabbage

M Ansari¹ and MR Hojjati^{2*}

Received: November 19, 2016

Accepted: December 4, 2017

¹MSc Student, Department of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

²Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author: E-mail: Hojjati_m@iaushiraz.ac.ir

Abstract

Anthocyanins are very useful and they can be considered as a proper option for using as a food dye in production of various foods due to the wide range of colors and antioxidant properties. In this study, the effect of parameters such as solvent (acidic ethanol with HCl 1.5N, ETHANOL 80%), solvent/solid ratio (10, 15, 20), temperature (30, 40, 50), time and (dark/light) on anthocyanin extraction from the peel of red onion and red cabbage were investigated using solvent method. FFD model was used to determine the optimum extraction conditions. The results indicate that the maximum amount of extraction from the peel of red onion and red cabbage are respectively in operating conditions such as acidic ethanol with HCL 1.5 normal (15:85), 80% ethanol and temperate of 31.58, 35.88 °C and the time of 18.32, 3.4 hours, and the solvent/solid ratio equal to 18.65, 18.04 (volume/mass) in a dark environment. In order to increase the stability of produced liquid color against environmental factors, microencapsulation was done through freeze drying method with Arabic gum and maltodextrin. According to the results of TGA test and DSC tests, Arabic gum has more resistance against the heat so that the initial decomposition temperature of encapsulated powders with this coating material for the peel of red onion and red cabbage are increased from 63.82 to 250.87 centigrade degree and from 81.03 to 263.64 centigrade degree respectively. The average of particle size of encapsulated powders are smaller with maltodextrin and equal to 6.1 and 21.5 micrometers respectively. X-ray diffraction indicates that the structure of encapsulated powder is amorphous.

Key words: Anthocyanin, peel of red onion, Red cabbage, Fraction factorial, Encapsulation