



پایدارسازی حرارتی عصاره آنتوسیانین گلبرگ زعفران با استفاده از روش ریزپوشانی و کاربرد آن در مدل غذایی

حامد صابریان^{۱*}، وحید پاسبان^۲

۱-استادیار گروه پژوهشی افزودنی های غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، خراسان رضوی، ایران.

۲-استادیار مرکز خدمات تخصصی کشاورزی، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، کاشمر، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

یکی از چالش های مهمی که در زمینه استفاده از آنتوسیانین ها وجود دارد، پایداری نسبتا پایین آن ها مخصوصا در برابر نور و حرارت می باشد. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، افزایش پایداری عصاره آنتوسیانینی استخراجی از گلبرگ زعفران در برابر تیمارهای حرارتی و شرایط نوری می باشد. برای رسیدن به این هدف، در بیشتر موارد از روش ریزپوشانی استفاده می شود. برای پایدارسازی عصاره آنتوسیانینی گلبرگ زعفران، بهینه سازی ریزپوشانی آنتوسیانین ها با صمغ عربی، صمغ فارسی، مالتودکسترین و پروتئین آب پنیر انجام شد و پایداری حرارتی آن ها در نوشیدنی مدل بررسی شد. نیمه عمر آنتوسیانین طی تیمار حرارتی (در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد) ۱۰۰/۸ دقیقه بود و مبنای تیمار حرارتی برای نمونه ها قرار گرفت. از میان ترکیبات دیواره ای مورد استفاده برای ریزپوشانی عصاره آنتوسیانینی، بیشترین میزان آنتوسیانین کل ریزکپسول ها مربوط به ریزکپسول مالتودکسترین (۱۹۱/۷ میلی گرم سیانیدین ۳- گلیکوزید به ازای ۱۰۰ گرم پودر گلبرگ) بود. بعد از آن، نمونه هایی که دیواره آن دوجزئی بود و یک جزء آن را مالتودکسترین تشکیل می داد، قرار داشتند. کمترین میزان آنتوسیانین کل نیز مربوط به ریزکپسول های حاوی صمغ عربی بود. پس از بکار بردن ریزکپسول ها در نوشیدنی مدل، بیشترین آنتوسیانین باقی مانده (۶۳/۵۵ درصد) مربوط به ریزکپسول حاوی دیواره ترکیبی مالتودکسترین و کنسانتره پروتئین آب پنیر (به نسبت ۱ به ۱) بود. بنابراین دیواره پروتئینی، تاثیر مثبت بیشتری بر محافظت از آنتوسیانین ها در نوشیدنی مدل طی فرآیندهای حرارتی داشته است.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

کلمات کلیدی:

پایدارسازی حرارتی،
آنتوسیانین،
گلبرگ زعفران،
ریزپوشانی،
پروتئین آب پنیر .

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.17
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.2.5

* مسئول مکاتبات:

Saberian@acecr.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های گذشته، بازار رنگ‌های طبیعی رشد سریعی داشته است و انتظار می‌رود سالانه حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد به این بازار افزوده شود. رنگدانه‌های طبیعی، جایگزین بسیار مناسبی برای نوع سنتزی هستند و کاربرد آن‌ها در غذاها و نوشیدنی‌ها رو به افزایش است. این مساله به خاطر رشد آگاهی‌های جامعه از اثرات جانبی ترکیبات شیمیایی و خطرات زیست محیطی آن‌ها می‌باشد [۱]. علاوه بر کاربردهای غذایی رنگ‌های طبیعی، مصرف آن‌ها جهت کاهش بیماری‌های غیرواگیر از قبیل سرطان، دیابت، چاقی و غیره نیز مطرح می‌باشد [۲].

آنتوسیانین‌ها گروهی از ترکیبات فنولی طبیعی هستند که مسئول ایجاد رنگ‌های قرمز روشن، آبی و بنفش میوه‌ها و سبزیجات می‌باشند. آنتوسیانین‌ها، گلیکوزیدها و آسیل گلیکوزیدهای آنتوسیانیدین‌ها هستند که محلول در آب می‌باشند و در شکل هتروزیدهای پلی هیدروکسیله شده و پلی متوکسیله شده از فلاویلیوم یا یون ۲- فنیل بنزوپیریلیوم مشتق شده اند [۳]. فراوانترین آنتوسیانیدین‌ها شامل سیانیدین، دلفینیدین و پلارگونیدین می‌باشد و پس از آن‌ها، مالویدین، پتونیدین و پئونیدین می‌باشد. رنگ هرکدام از این‌ها وابسته به جایگزینی آن‌ها و آسیله بودن یا نبودن آن‌ها می‌باشد. تحت شرایط اسیدی، رنگ آنتوسیانین‌های مونوآسیله و آسیله نشده عمدتاً با جایگزینی در حلقه B اگلیکون تعیین می‌شود [۴].

منابع عمده آنتوسیانین‌ها در جهان، پوست و تفاله انگور قرمز و هویج سیاه (یا ارغوانی) می‌باشد. باتوجه به اینکه این منابع عمدتاً بومی کشور ما نمی‌باشند، قاعدتاً در اولویت قرار نمی‌گیرند. از طرفی، باتوجه به تولید سالیانه حدود ۳۰۰ هزار تن گلبرگ زعفران در کشور و هدر رفت آن در مزارع، این منبع از پتانسیل بسیار مناسبی، به عنوان منبع ارزان قیمت، فراوان و در دسترس، برای تولید آنتوسیانین برخوردار می‌باشد.

زعفران (*Crocus sativus* L.) از جمله گیاهان داروئی با ارزش و بومی ایران است و سالانه حدود ۳۳۶ تن (۸/۸ درصد کل تولید جهان) در کشور تولید می‌شود [۵]. ۸۶/۴۲ درصد گل تازه زعفران مربوط به گلبرگ و کاسبرگ می‌باشد که بعد از جداسازی کلاله از گل زعفران، دور ریخته می‌شود. گلبرگ

زعفران حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای از ترکیبات با ارزش از قبیل آنتوسیانین‌ها می‌باشد [۶].

کاربرد عمده رنگدانه‌های طبیعی، مخصوصاً آنتوسیانین‌ها، جهت بهبود ظاهر غذا و نوشیدنی (آب‌میوه، مربا، ژله، پاستیل، کیک، صنایع لبنی و ... و همچنین مکمل‌های غذایی) یا بازیابی کاهش رنگ ناشی از فرآوری و نگهداری و همچنین مصارف دارویی می‌باشد. اگرچه آنتوسیانین‌ها کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی و دارویی دارند اما معایب فنی آن‌ها از قبیل پایداری نسبتاً پایین در مقایسه با رنگ‌های سنتزی، ایجاد چالش کرده است [۷]. عوامل فیزیکوشیمیایی مختلفی از قبیل pH محصول، قرار گرفتن در معرض نور، دما و ایجاد کمپلکس با ترکیبات دیگر موجود در محصول، پایداری آنتوسیانین‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۸]. روش‌های مختلفی جهت کاهش تخریب آنتوسیانین‌ها ارائه شده است که مهمترین و متداول‌ترین آن‌ها، ریزپوشانی آنتوسیانین‌ها (به صورت پودر یا امولسیون) [۹] می‌باشد. در جدیدترین تحقیقات، تولید امولسیون دوگانه نیز جهت افزایش پایداری آنتوسیانین‌ها مطرح شده است [۱۰].

ریزپوشانی آنتوسیانین‌ها غالباً با استفاده از پلی ساکاریدهای مختلف صورت گرفته است تا این ترکیب زیست فعال از تاثیر فاکتورهای محیطی از قبیل نور، دما و اکسیژن محافظت می‌شود. فرآیند خشک کردن پاششی عمدتاً در صنعت غذا استفاده می‌شود زیرا هزینه‌های عملیاتی نسبتاً پایینی دارد، امکان تولید در مقیاس زیاد وجود دارد و در نهایت یک پودر خشک، به عنوان محصول نهایی، حاصل می‌شود. البته باید توجه داشت که اگر دمای ورودی خشک‌کن پاششی بالا باشد میزان آنتوسیانین کاهش می‌یابد. از آنجایی که آنتوسیانین‌ها محلول در آب هستند با فرمولاسیون‌های حاوی مالتودکستروزین، صمغ عربی و نشاسته سازگارند [۱۱].

مهدوی خزاعی و همکاران (۲۰۱۶) پایداری آنتوسیانین و رنگ عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده با مواد دیواره‌ای مختلفی از قبیل صمغ عربی و مالتودکستروزین (۷ و ۲۰) و به روش خشک‌کردن انجمادی را مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. جعفری و همکاران (۲۰۱۶) کارایی ریزپوشانی عصاره آنتوسیانینی گلبرگ زعفران با استفاده از صمغ دانه شاهی (Cress)، به عنوان یک هیدروکلوئید بومی، صمغ عربی و مالتودکستروزین را بررسی کردند

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد شیمیایی

گلبرگ خشک زعفران از مزارع زعفران مشهد تهیه شد. اتانول با درجه آزمایشگاهی از شرکت دکتر مجللی (صنایع شیمیایی دکتر مجللی، ایران) خریداری شد. اسید سیتریک، سدیم سیترات، اسید آسکوربیک و صمغ عربی از شرکت تیتراکم خریداری شد. مالتودکسترین با DE برابر با ۱۸ از شرکت زر فروکتوز و کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) از شرکت هیلمار (آمریکا) خریداری شد. صمغ فارسی از شرکت ریحان گام پارسیان خریداری شد.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- استخراج و اندازه گیری عصاره آنتوسیانینی

به منظور استخراج آنتوسیانین موجود در گلبرگ زعفران، از روش بهینه شده توسط بلوریان و همکاران (۱۳۹۹) استفاده شد [۱۶]. ابتدا گلبرگ زعفران خشک شده در دمای کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد توسط آسیاب آزمایشگاهی (مدل TS-1300، توس شکن خراسان، ایران) خرد شده و پودر با مش ۱۶ تهیه شد و پس از توزین، با حلال (اتانول ۵۰ درصد اسیدی شده با اسید کلریدریک ۱ نرمال تا رسیدن به pH برابر با ۲) به نسبت ۱:۲۵ (حجمی/وزنی) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۲ دقیقه به منظور استخراج قرار گرفت. در مرحله بعد، عصاره استخراج شده با استفاده از سانتریفیوژ و کاغذ صافی واتمن صاف گردید. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه تبخیر کننده چرخان تحت خلأ (Heidolpg، آلمان) در دمای حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد (با سرعت چرخش ۳۰ دور بر دقیقه) تا رسیدن به بریکس حدود ۹ تغلیظ شد و تا زمان کاربرد، در ظروف پلاستیکی دربسته و پوشیده شده با فویل آلومینیوم، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس این عصاره در روش‌های مختلف پایدارسازی بکار برده شد.

۲-۲-۲- بهینه‌سازی ریزپوشانی آنتوسیانین با پلی

ساکاریدهای مختلف

مواد دیواره‌ای شامل مالتودکسترین (معادل دکستروز اکی والان ۱۸)، صمغ عربی، صمغ فارسی و پروتئین آب‌پنیر به صورت

و هیچ تفاوتی بین میزان آنتوسیانین کل چهار فرمول ترکیبی پس از تولید و همچنین پس از ۱۰ هفته نگهداری مشاهده نکردند [۱۳]. چانگ و همکاران (۲۰۱۵) پایداری رنگ آنتوسیانین سیانیدین ۳-۰-گلوکوزید (C3G) استخراجی از هویج ارغوانی را با استفاده از پروتئین آب پنیر (در حالت طبیعی و دناتوره شده) و پکتین (مرکبات و چغندرقلند) ارزیابی کردند. بهترین نتیجه، با استفاده از پروتئین آب پنیر دناتوره شده مشاهده شد که اثر منفی اسید آسکوربیک را بر روی شدت جذب، به اندازه نصف کاهش داد. بعد از آن، پکتین چغندرقلند، پروتئین آب پنیر طبیعی و پکتین مرکبات قرار داشتند [۱۴]. چانگ و همکاران (۲۰۱۶) اثر صمغ عربی (۰-۵ درصد) را بر افزایش پایداری رنگ آنتوسیانین‌ها در سامانه نوشیدنی حاوی اسید آسکوربیک نیز بررسی کردند و مشاهده کردند که نیمه عمر آنتوسیانین در نمونه فاقد صمغ عربی ۲/۲۴ روز بود اما در نمونه حاوی ۱/۵ درصد صمغ عربی، این عدد به ۵/۲۵ روز رسید [۱۵].

بر اساس تحقیقات صورت گرفته، روش ریزپوشانی با استفاده از مواد دیواره‌ای مالتودکسترین، صمغ عربی و پروتئین آب پنیر با استفاده از خشک‌کن پاششی تاثیر مثبتی بر پایداری آنتوسیانین‌ها داشته‌اند. البته قابل ذکر است که در برخی از تحقیقات، پایداری آنتوسیانین در پودر ریزپوشانی شده و در برخی دیگر، پایداری در نوشیدنی مدل بررسی شده است. در برخی از تحقیقات، پایداری آنتوسیانین طی زمان انبارمانی و در برخی دیگر، طی تیمار حرارتی با دمای بالا بررسی صورت گرفته است. لذا در این تحقیق، ابتدا پایداری عصاره آنتوسیانینی گلبرگ زعفران در پودر تولیدی با روش ریزپوشانی و با استفاده از مواد دیواره‌ای مختلف به صورت مفرد و ترکیبی (مالتودکسترین، صمغ عربی، پروتئین آب پنیر، مخلوط ۱ به ۱ مالتودکسترین و صمغ عربی، مخلوط ۱ به ۱ پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین، مخلوط ۱ به ۱ پروتئین آب پنیر و صمغ عربی، مخلوط مالتودکسترین و صمغ فارسی و مخلوط صمغ عربی و صمغ فارسی) بررسی شد. سپس پایداری آنتوسیانین در نوشیدنی مدل طی تیمار حرارتی و نگهداری بررسی شد تا عملکرد مواد دیواره‌ای مختلف به طور جامع بررسی و مقایسه شود و دیواره بهینه انتخاب و معرفی گردد.

سیانیدین ۳- گلیکوزید می‌باشند، داده‌های کمی به عنوان سیانیدین ۳-گلیکوزید بیان شدند.

۲-۲-۴-۲- تعیین قطر ذرات

به‌منظور سنجش اندازه و سطح مخصوص ذرات پودرهای حاصل از خشک‌کن پاششی، ابتدا دیسپرسیون آنها در متانول تهیه شد و سپس به کمک دستگاه Particle Size Analyzer مدل Etasizer Nano ZS ساخت شرکت Malvern از انگلیس، اندازه گیری شد [۱۹].

۲-۲-۴-۳- تعیین شاخص بس پاشیدگی^۱

شاخص بس پاشیدگی با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات توسط نرم افزار دستگاه Particle Size Analyzer محاسبه گردید و اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق انجام شد [۲۰]. پراکندگی اندازه ذرات بین ۰/۱۰-۰/۲۵ نشان‌دهنده کم بودن پراکندگی ذرات و باریک‌بودن نمودار پراکندگی ذرات می‌باشد. مقادیر بزرگتر از ۰/۵ نشان‌دهنده پراکندگی وسیع ذرات می‌باشد.

۲-۲-۴-۴- تعیین کارایی ریزپوشانی^۲

بعد از تعیین محتوای آنتوسیانین کل و آنتوسیانین موجود در محلول روماند از معادله زیر کارایی ریزپوشانی را می‌توان محاسبه نمود [۱۸].

$$EE \text{ درصد} = \frac{TA - TS}{TA} \times 100$$

که در آن EE کارایی ریزپوشانی، TA میزان آنتوسیانین کل و TS میزان آنتوسیانین موجود در محلول روماند می‌باشد. برای اندازه‌گیری آنتوسیانین کل، پودر تهیه شده در آب مقطر به طور کامل حل شد و جهت رسوب ناخالصی‌ها، با استفاده از سانتریفیوژ (مدل سیگما، ساخت آلمان) سانتریفیوژ نیز گردید (g ۴۲۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه). برای تعیین آنتوسیانین موجود در محلول روماند، نمونه‌های پودر در اتانول حل شده و پس از سانتریفیوژ کردن مخلوط، محلول رویی جهت تعیین میزان آنتوسیانین موجود در محلول روماند استفاده می‌شود.

۲-۲-۵- آزمون پایداری حرارتی و بررسی کیتیک

تخریب آنتوسیانین

نوشیدنی مدل (بافر اسید سیتریک ۲۰ میلی مولار در pH برابر با

منفرد و ترکیبی در آب مقطر گرم به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط و حل شده و سپس به مدت یک شب در یخچال نگهداری شدند تا به طور کامل جذب آب صورت پذیرد. تیمارها شامل مالتودکسترین (MD)، صمغ عربی (GA)، پروتئین آب پنیر (WPC)، مخلوط ۱ به ۱ مالتودکسترین و صمغ عربی (MD+GA)، مخلوط ۱ به ۱ پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین (MD+WPC)، مخلوط ۱ به ۱ پروتئین آب پنیر و صمغ عربی (GA+WPC)، مخلوط مالتودکسترین و صمغ فارسی (GA+GF) و مخلوط صمغ عربی و صمغ فارسی (GA+GF) بود. در مخلوط‌های حاوی صمغ فارسی، غلظت این صمغ ۴ درصد بود زیرا در غلظت‌های بیشتر، ویسکوزیته محلول به شدت افزایش پیدا می‌کرد و حالت شبه ژلی پیدا می‌کرد [۱۷]. نسبت بریکس مواد دیواره به بریکس عصاره آنتوسیانینی ۳ به ۱ (وزنی/وزنی) انتخاب شد [۱۸]. براین اساس، بریکس محلول دیواره به ۲۷ رسید. سپس محلول دیواره و عصاره گلبرگ زعفران به نسبت ۱ به ۱ (وزنی/وزنی) به مدت ۳۰ دقیقه همگن شده و بریکس مخلوط نهایی برای فرستادن به خشک‌کن پاششی به ۱۳/۵ رسید.

۲-۲-۳- تولید نوشیدنی مدل

نوشیدنی مدل حاوی ۸ درصد (وزنی/وزنی) عصاره آنتوسیانینی و ۰/۱ درصد کلرید کلسیم در بافر اسید سیتریک ۲۰ میلی مولار با pH برابر با ۳ تهیه شد [۱۴].

۲-۲-۴- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

۲-۲-۴-۱- اندازه گیری غلظت آنتوسیانین

غلظت آنتوسیانین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-Vis در دو طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر و با استفاده از دو بافر پتاسیم کلرید ۰/۰۲۵ مولار در pH=۱ و سدیم استات ۰/۴ مولار در pH=۴/۵ و با استفاده از فرمول زیر برآورد شد [۱۳].

$$A = \frac{A \times Mw \times DF}{\epsilon \times L} \times L$$

که در آن، A= (A530- A700) pH 1.0- (A530- A700) pH 4.5 وزن مولکولی آنتوسیانین (g/mol) = Mw، DF = فاکتور رقت، ε = ضریب (۴۴۹/۲) است، L = طول مسیر (۱ سانتی متر) است.

با توجه به اینکه آنتوسیانین‌های گلبرگ زعفران عمدتاً از نوع

1. Polydispersity index (PDI)

2. Encapsulation Efficiency (EE درصد)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پایداری حرارتی نوشیدنی مدل حاوی

عصاره آنتوسیانینی

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان حرارت دهی، میزان آنتوسیانین به شدت کاهش یافت. براساس شکل ۱ و همچنین با استفاده از مدل درجه یک در نرم افزار MATLAB مشخص شد که زمان نیمه عمر تخریب آنتوسیانین ۱۰۰/۸ دقیقه است.

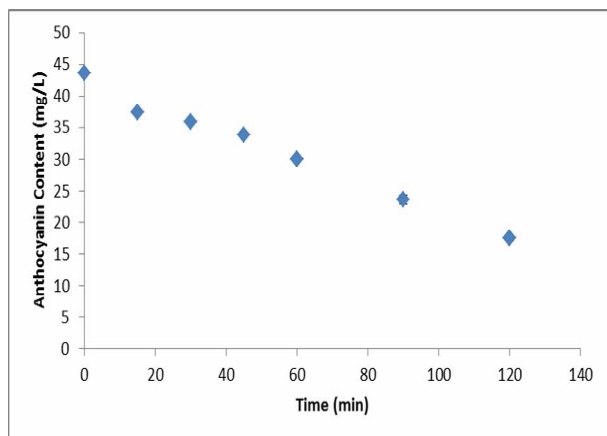


Fig 1 Heat stability in the model drink

شاخص قرمزی نوشیدنی مدل نیز در زمان‌های مختلف حرارت دهی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد و همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان حرارت دهی، شاخص قرمزی به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافته است که همبستگی خوبی با میزان آنتوسیانین (شکل ۱) دارد و نشان دهنده تخریب آنتوسیانین می‌باشد [۲۲].

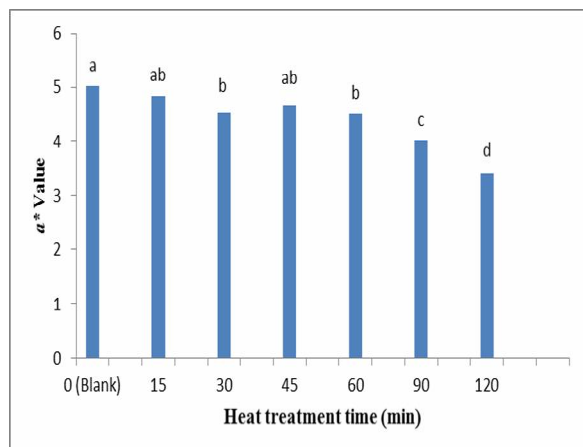


Fig 2 The effect of the heating time at 90 °C on the a* value of the anthocyanin in the model drink

۳) حاوی ۰/۰۱ درصد کلرید کلسیم و عصاره آنتوسیانینی تهیه شد. نوشیدنی‌های مدل تهیه شده در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه با استفاده از حمام آب گرم (Memert, Germany) حرارت داده شدند و سپس تا دمای محیط سرد شدند. زمان نیمه عمر آنتوسیانین ($T_{1/2}$) از معادلات زیر محاسبه شد و تیمارهای ذکر شده برای بررسی تاثیر پایداری، در آن زمان مورد بررسی قرار گرفتند [۱۴ و ۱۵].

$$\frac{C}{C_0} = \exp(-Kt)$$

که در این فرمول C غلظت رنگدانه‌ها در زمان t (حرارت‌دهی در دماهای مختلف)، C_0 نشانگر غلظت رنگدانه‌های اولیه می‌باشد. K (روز^{-۱}) ثابت سرعت واکنش است [۲۱].

$$T_{1/2} = \frac{-\ln 0.5}{K}$$

۲-۲-۶- اندازه‌گیری شاخص رنگی

برای ارزیابی رنگ نمونه‌ها (پودر و نوشیدنی) از سیستم CIELab استفاده شد که طی آن سه شاخص روشنایی/تاریکی (L^*)، قرمزی/سبزی (a^*) و زردی/آبی (b^*) اندازه‌گیری شدند. این شاخص‌ها با استفاده از دستگاه هانتربل (Hunter Lab) تعیین شدند [۱۳]. برای این کار، حدود ۱۰ گرم پودر یا ۳۰ میلی‌لیتر نوشیدنی مدل (حجم بطری شیشه‌ای) در ظرف شیشه‌ای مخصوص هانتربل ریخته شد و شاخص‌های رنگی خوانده شدند.

۲-۳- روش تحلیل داده‌ها

برای مقایسه تاثیر دیواره‌ها بر شاخص‌هایی از قبیل اندازه ذرات، فعالیت آبی، شاخص‌های رنگی، میزان آنتوسیانین و کارایی ریزپوشانی از طرح یک فاکتور در یک زمان استفاده شد. آزمایش‌ها در حداقل دو تکرار انجام شدند و سپس میانگین و انحراف معیار داده‌ها بدست آمد. جهت مطالعه وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای مختلف، از آنالیز واریانس (ANOVA) و آزمون توکی استفاده شد. در تمام مراحل، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Minitab 17 و Matlab 16 صورت پذیرفت.

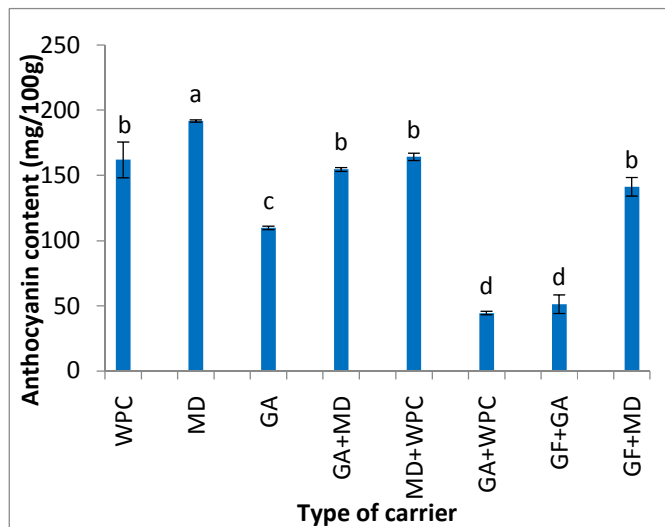


Fig 4 The effect of the wall type of the microcapsule on the anthocyanin content of the microencapsulated anthocyanin powder

استفاده از مواد دیواره‌ای در نسبت مناسب برای ریزپوشانی ترکیبات فعال می‌تواند آن‌ها را محافظت کرده و کارایی آن‌ها را حفظ نماید [۲۴]. دا روزا و همکاران (۲۰۱۸) عصاره آنتوسیانینی استخراجی از بلوبری را با استفاده از مالتودکسترین و نشاسته ذرت (hi-maize) (با غلظت مواد دیواره‌ای ۱۸ درصد) ریزپوشانی کردند و پایداری آن را بررسی نمودند [۱۱]. کارایی ریزپوشانی نمونه‌ها در دامنه ۷۴/۴ - ۸۵/۲۲ درصد بود. گی و همکاران (۲۰۱۸) کارایی ریزپوشانی آنتوسیانین ریزپوشانی شده با مشتقات کیتوزانی را در محدوده ۱۶-۴۴ درصد گزارش کردند [۱۸]. هنگامی که از پروتئین‌ها برای ریزپوشانی استفاده شده است، کارایی ۱۷-۹۸ درصد و هنگامی که پلی ساکاریدها در ریزپوشانی استفاده شده‌اند، کارایی ۳۲-۹۹ درصد گزارش شده است اگرچه چربی‌ها کارایی کمتری را نشان داده‌اند (۲۵-۵۳ درصد).

ایده‌ام و همکاران (۲۰۱۲) عصاره آنتوسیانینی چای ترش را با مالتودکسترین و صمغ عربی ریزپوشانی کردند و کارایی ریزپوشانی ۶۹/۹۹ درصد بدست آوردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فرمولاسیون‌های حاوی غلظت‌های بالای مالتودکسترین، کارایی بالاتر ریزپوشانی را نشان دادند [۲۵]. نتایج کای و همکاران (۲۰۱۹) حاکی از آن بود که کارایی ریزپوشانی همه نمونه‌ها بالای ۹۶ درصد بود و اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها وجود نداشت

۳-۲- تاثیر نوع دیواره بر کارایی ریزپوشانی و میزان آنتوسیانین کل

بازده ریزپوشانی به پتانسیل مواد دیواره‌ای در حفظ مواد هسته‌ای درون ریزکپسول‌ها اشاره دارد. بازده ریزپوشانی همچنین مرتبط با عمر ماندگاری ماده محصور شده درون دیواره می‌باشد. یک ریزپوشانی موفق منجر به تولید ریزکپسولی با حداقل مواد سطحی بر ذرات ریزکپسول و حداکثر حفظ مواد هسته‌ای دارد [۲۳].

کارایی ریزپوشانی همه دیواره‌ها بیشتر از ۹۶ درصد بود و هیچ تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) بین ریزکپسول‌های تهیه شده با استفاده از مواد دیواره‌ای مختلف وجود نداشت (شکل ۳). مطابق شکل ۴، بیشترین میزان آنتوسیانین کل ریزکپسول‌ها مربوط به ریزکپسول MD بود. بعد از آن، نمونه‌هایی که دیواره آن دو جزئی بود و یک جزء آن را مالتودکسترین تشکیل می‌داد، قرار داشتند. میزان آنتوسیانین کل ریزکپسول‌های WPC نیز مشابه دسته دوم بود و تفاوت معنی‌داری با آن‌ها نداشت. کمترین میزان آنتوسیانین کل نیز مربوط به ریزکپسول‌های حاوی صمغ عربی (GA) بود. علاوه بر این، میزان آنتوسیانین نمونه‌ها طی نگاه‌داری در دمای تسریع شده (۴۰ درجه سانتی‌گراد) ثابت ماند و تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.

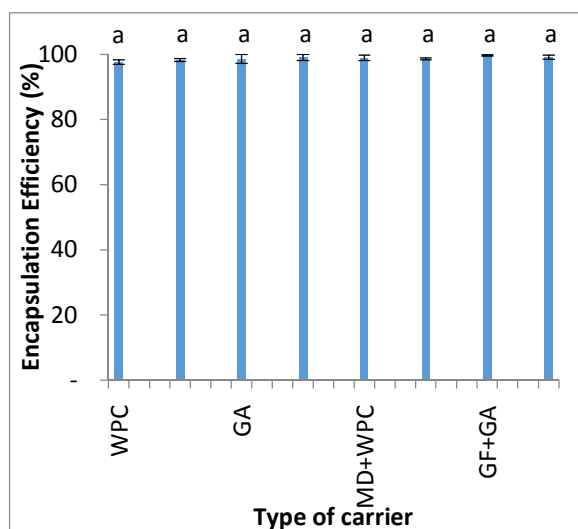


Fig 3 The effect of the wall type of the microcapsule on the encapsulation efficiency of the microencapsulated anthocyanin powder

[۲۶] که مطابق با نتایج این مقاله است.

ریزکپسول های حاوی مالتودکسترین دارای بیشترین میزان آنتوسیانین کل بودند و ریزکپسول های حاوی صمغ عربی و مخلوط صمغ عربی و صمغ فارسی دارای کمترین میزان آنتوسیانین بودند. براساس تحقیق تونن و همکاران (۲۰۱۰)، در ریزکپسول های حاوی نسبت بالایی از صمغ عربی، به دلیل کاهش چگالی توده، فضای خالی بین ذرات زیاد شده و واکنش های اکسیداسیون به علت افزایش اکسیژن در بین ذرات، زیاد می شود که در نهایت منجر به کاهش مقدار آنتوسیانین ها می شود. همچنین در مکانیسم دیگری با افزایش مقدار صمغ عربی در ریزکپسول ها، رطوبت هم افزایش یافته که باعث تحرک مولکولی زیاد شده و نفوذ اکسیژن و واکنش های اکسیداسیون افزایش یافته و در نتیجه مقدار آنتوسیانین ها هم کاهش می یابد [۲۷].

کرانیوتی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که مالتودکسترین بیشترین محافظت از آنتوسیانین زعفران را طی چند هفته نگهداری ایجاد کرد و بعد از آن صمغ عربی قرار داشت [۲۸]. فراری و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که استفاده از مالتودکسترین یا صمغ عربی موجب افزایش پایداری آنتوسیانین تولید شده با روش خشک کن پاششی طی نگهداری در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سانتیگراد می شود [۲۹].

متینی و همکاران (۱۳۹۷) بیشترین مقدار آنتوسیانین را در نمونه ریزپوشانی شده با مالتودکسترین و صمغ عربی به نسبت ۵۰-۵۰ مشاهده کردند [۳۰]. مهدوی خزائی و همکاران (۲۰۱۴) عصاره آنتوسیانینی گلبرگ زعفران را با ترکیب صمغ عربی، مالتودکسترین با DE های ۷ و ۲۰ ریزپوشانی کردند و تفاوت معنی داری بین آنتوسیانین کل در دیواره های مختلف حتی پس از ۱۰ هفته نگهداری، مشاهده نکردند [۹]. جعفری و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مورد صمغ دانه شاهی به نتیجه مشابهی رسیدند و گزارش کردند که مواد دیواره ای به عنوان مانع فیزیکی عمل می کنند که می توانند اثرات اکسیژن، نور، حرارت و رطوبت را کاهش دهند. همچنین کاهش میزان رطوبت که طی ریزپوشانی صورت می گیرد می تواند با کاهش سیالیت ملکول و افزایش ویسکوزیته به عنوان عامل حفاظتی عمل نماید [۳۱].

غیاب اکسیژن می تواند اثر منفی حرارت بر رنگدانه های طبیعی را نیز کاهش دهد [۲۸].

عبداله زاده (۱۳۹۷) بیشترین میزان آنتوسیانین کل عصاره زرشک ریزپوشانی شده را مربوط به ریزکپسول حاوی ۵۰ درصد مالتودکسترین و ۵۰ درصد صمغ عربی و کمترین آن را در ریزکپسول حاوی ۹۰ درصد مالتودکسترین و ۱۰ درصد صمغ عربی گزارش کرد که با نتایج تحقیق ما مغایرت داشت. او علت این نتیجه را به این صورت بیان کرد که صمغ عربی خاصیت پوشش دهندگی بهتری نسبت به مالتودکسترین دارد، در نتیجه آنتوسیانین به طور مطلوبی محافظت می شود [۳۲]. همچنین در ریزکپسول های حاوی درصد زیادی از مالتودکسترین، به دلیل اندازه ذرات کوچک تر نسبت به ریزکپسول های حاوی صمغ عربی بیشتر، سطح تماس با اکسیژن زیاد شده و اکسیداسیون آنتوسیانین ها افزایش می یابد، در نتیجه ریزکپسول های حاوی مالتودکسترین، میزان آنتوسیانین کمتری نسبت به ریزکپسول های حاوی نسبت بالایی از صمغ عربی دارند [۹].

در مجموع نتایج حاکی از آن بود که همه مواد دیواره ای به صورت منفرد یا ترکیبی دارای کارایی بسیار مناسبی برای ریزپوشانی بودند و تفاوت معنی داری بین آن ها وجود نداشت. البته استفاده از مالتودکسترین به تنهایی و یا در ترکیب با مواد دیگر (WPC) یکی از بهترین گزینه ها به منظور ریزپوشانی آنتوسیانین بوده و با استفاده از این روش می توان آنتوسیانین را برای مدت طولانی تری حفظ نمود که با نتایج برخی از محققین نیز مشابه است.

۳-۲-۱- تاثیر نوع دیواره بر شاخص های رنگی

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، بیشترین شاخص قرمزی (a^*) مربوط به ریزکپسول MD بود که با آزمون آنتوسیانین کل ریزکپسول ها تطابق دارد [۲۲]. بنابراین، شاخص قرمزی بالاتر در ریزکپسول های MD مربوط به غلظت بالاتر آنتوسیانین در آن ها می باشد.

بیشترین شاخص روشنایی (L^*) و شاخص زردی (b^*) مربوط به ریزکپسول های GA+WPC و کمترین آن مربوط به ریزکپسول های MD بود.

Table 1 The effect of the wall type of the microcapsule on the color values of the anthocyanin extract powder

Type of carrier	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
WPC	78.09 ± 0.10 ^b	0.82 ± 0.01 ^f	4.38 ± 0.02 ^c
MD	66.31 ± 0.05 ^f	23.32 ± 0.01 ^a	-7.21 ± 0.01 ^h
GA	66.63 ± 0.23 ^f	3.18 ± 0.01 ^d	2.48 ± 0.01 ^d
GA+MD	66.49 ± 0.11 ^f	8.01 ± 0.03 ^c	-3.19 ± 0.03 ^f
MD+WPC	77.03 ± 0.12 ^c	3.09 ± 0.01 ^d	0.26 ± 0.01 ^e
GA+WPC	80.24 ± 0.01 ^a	-0.05 ± 0.01 ^g	9.64 ± 0.02 ^a
GF+GA	73.42 ± 0.01 ^d	1.37 ± 0.01 ^e	7.92 ± 0.01 ^b
GF+MD	69.33 ± 0.01 ^e	16.39 ± 0.01 ^b	-4.96 ± 0.01 ^g

کاهش ذرات ریزکپسول‌ها می‌تواند ناشی از برهمکنش مناسب نیروهای کشش میان مواد دیواره باشد. عبدالله زاده (۱۳۹۷) مشاهده کرد که بزرگترین اندازه ذرات در نمونه حاوی ۹۰ درصد مالتودکستروزین و ۱۰ درصد صمغ عربی با مقدار ۴/۳۴ میکرومتر و کمترین اندازه ذرات در نمونه حاوی ۷۰ درصد مالتودکستروزین و ۳۰ درصد صمغ عربی بدست آمد [۳۲]. تونن و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که ذرات ریزپوشانی شده با صمغ عربی قطر کمتری نسبت به نشاسته تاپوکا و مالتودکستروزین داشت [۲۷] درحالی که در تحقیق ما، تفاوت معنی‌داری بین اندازه ذرات تولید شده با مالتودکستروزین و صمغ عربی وجود نداشت اما ترکیب این دو ماده دیواره‌ای موجب کاهش اندازه ذرات شد. در تحقیق دیگری لگاکو و دونفورد (۲۰۱۰) عدم یکسانی شکل و اندازه ریزکپسول‌ها را ناشی از تفاوت در میزان رطوبت ریزکپسول حاصله گزارش کردند [۳۳]. نتایج هاندردی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که ترکیبات مختلف دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به‌طور معنی‌داری بر روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثر گذار است [۳۴].

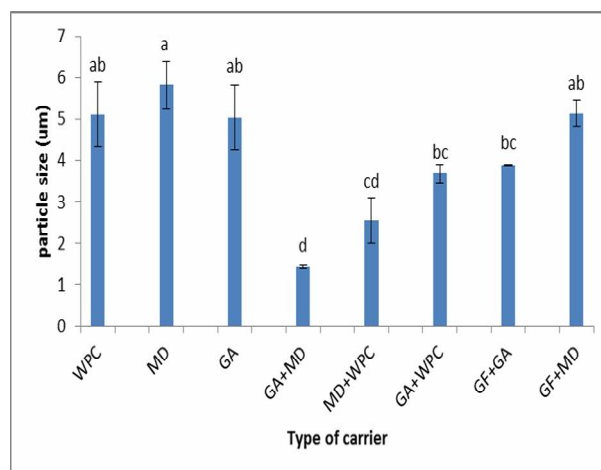
دا روزا و همکاران (۲۰۱۸) اندازه میکروکپسول‌ها را در دامنه ۱۲/۸ تا ۲۰/۷ میکرومتر یافتند [۱۱]. فرانگ و باندری (۲۰۱۰) اندازه میکروکپسول‌های بدست آمده با خشک‌کن پاششی را در محدوده ۱۰-۱۰۰ میکرومتر گزارش کردند که از اندازه ذرات بدست آمده در این تحقیق بسیار بزرگتر بوده است. این شاخص تحت تاثیر اندازه نازل، سرعت جریان استفاده شده، فشار و غلظت محلول نیز قرار می‌گیرد [۳۵].

انصاری و حجتی (۱۳۹۷) مشاهده کردند که اندازه رنگدانه‌های آنتوسیانینی ریزپوشانی شده پوست پیاز با استفاده از

کرانیوتی و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که استفاده از دیواره صمغ عربی برای ریزپوشانی عصاره آنتوسیانین گلبرگ زعفران نسبت به مالتودکستروزین، موجب افزایش شاخص قرمزی شد اگرچه بعد از ۱۰ هفته نگهداری، شاخص قرمزی مالتودکستروزین بیشتر بود. همچنین شاخص روشنایی عصاره ریزپوشانی شده با صمغ عربی بیشتر از مالتودکستروزین بود [۲۸] که با نتایج تحقیق ما مغایر است و ممکن است به سایر ترکیبات موجود در عصاره آنتوسیانینی مرتبط باشد.

۳-۳- تاثیر نوع دیواره بر اندازه ذرات

بزرگترین اندازه ذرات در ریزکپسول‌های MD، GA و WPC بدست آمد (شکل ۵). به استثنای دیواره ترکیبی مالتودکستروزین و صمغ فارسی (MD+GF)، استفاده از دیواره‌های ترکیبی موجب کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) در اندازه ذرات شد. کمترین اندازه ذرات در ریزکپسول با دیواره مالتودکستروزین و صمغ عربی حاصل شد.

**Fig 5** The effect of the wall type of the microcapsule on the size of the microencapsulated anthocyanin

و همچنین کمترین شاخص را در نمونه حاوی ۷۰ درصد مالتودکسترین و ۳۰ درصد صمغ عربی با مقدار ۰/۰۲۳ گزارش کرد [۳۲].

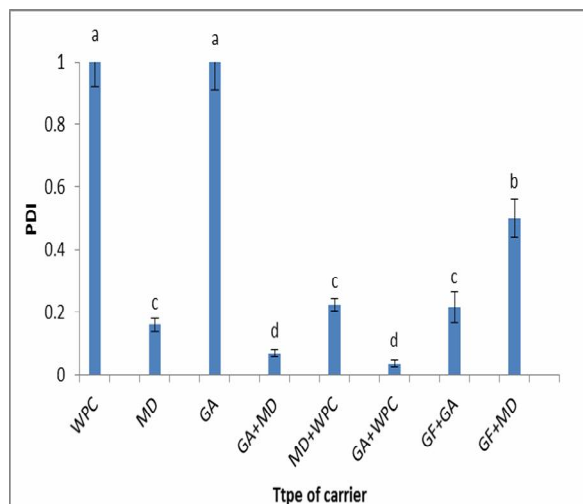


Fig 6 The effect of the wall type of the microcapsule on the polydispersity index (PDI) of the microencapsulated anthocyanin

نتایج تحقیقات کورشیان و همکاران (۱۳۹۴) در خصوص بررسی شاخص بس پاشیدگی ریزکپسول‌های عصاره آنتوسیانینی تمشک سیاه وحشی تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی تحت تاثیر نسبت متفاوت مواد حامل شامل مالتودکسترین و صمغ عربی به این صورت بود که نسبت مالتودکسترین بیشتر منجر به افزایش شاخص بس پاشیدگی گردید [۲۰].

۳-۵- تاثیر ریزپوشانی بر پایدار سازی آنتوسیانین‌ها در نوشیدنی مدل

ریزکپسول‌های تولید شده در مرحله قبل، در نوشیدنی مدل حل شدند و تاثیر تیمار حرارتی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰۰/۸ دقیقه (زمان نیمه عمر آنتوسیانین) بر پایداری آنتوسیانین بررسی شد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان ماندگاری آنتوسیانین کل (کمترین میزان تخریب) مربوط به ریزکپسول WPC+MD بود و بین سایر ریزکپسول‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین مخلوط کنسانتره پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین توانسته است به طور معنی‌داری باعث افزایش پایداری آنتوسیانین در نوشیدنی مدل شود.

مالتودکسترین بسیار کمتر از صمغ عربی بود (۶/۱ در برابر ۲۸ میکرومتر) اگرچه در مورد رنگدانه آنتوسیانینی کلم ریزپوشانی شده با این دو ماده حامل، اندازه‌ها مشابه بود. آن‌ها بیان کردند که ذرات ریزپوشانی شده با مالتودکسترین نسبت به صمغ عربی، دارای سطوحی با گوشه‌های گردتر بودند [۳۶].

بورین و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که ریزکپسول‌های مالتودکسترین-سیکلودکسترین و مالتودکسترین-صمغ عربی اندازه‌های مشابه، کوچکتر و گردتری نسبت به ریزکپسول مالتودکسترین داشتند که با تحقیق ما تطابق دارد [۳۷].

بنابراین، نتایج محققین مختلف نشان می‌دهد که ترکیب مختلف مواد دیواره‌ای سبب تغییرات متفاوتی در اندازه ذرات شده است که بستگی به شرایط تولید، نوع مواد دیواره‌ای و ترکیب مواد دیواره‌ای داشته است. از آنجایی که در تحقیق ما استفاده از دیواره‌های ترکیبی موجب کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) در اندازه ذرات شد، به نظر می‌رسد واکنشی (مانند پیوند هیدروژنی) بین مواد دیواره‌ای با یکدیگر صورت گرفته است که منجر به کاهش اندازه ذرات شده است.

۳-۴- تاثیر نوع دیواره بر شاخص بس پاشیدگی

شاخص بس پاشیدگی به‌عنوان معیار توزیع وزن مولکولی^۳ از لحاظ تئوری بسیار مهم است [۳۲]. پراکندگی اندازه ذرات بین ۰/۱-۰/۲۵ نشان‌دهنده کم بودن پراکندگی ذرات و باریک بودن نمودار پراکندگی ذرات می‌باشد. مقادیر بزرگتر از ۰/۵ نشان‌دهنده پراکندگی وسیع ذرات می‌باشد.

مطابق شکل ۶، بیشترین شاخص بس پاشیدگی مربوط به ریزکپسول‌های WPC و GA بود و ترکیب مواد دیواره‌ای باعث کاهش معنی‌داری در این شاخص شد. ریزکپسول با دیواره مالتودکسترین نیز شاخص بس پاشیدگی پایینی داشت (۰/۱۵۹).

باتوجه به بزرگی قابل توجه شاخص بس پاشیدگی ریزکپسول‌های WPC و GA، پراکندگی گسترده‌ای در اندازه ذرات آن‌ها وجود دارد. صمغ عربی در ترکیب با سایر مواد دیواره‌ای، موجب کاهش معنی‌داری در شاخص بس پاشیدگی شده است. عبدالله زاده (۱۳۹۷) بزرگترین شاخص بس پاشیدگی را در نمونه حاوی ۹۰ درصد مالتودکسترین و ۱۰ درصد صمغ عربی با مقدار ۰/۶۵۸

3. molecular weight distributions (MWD)

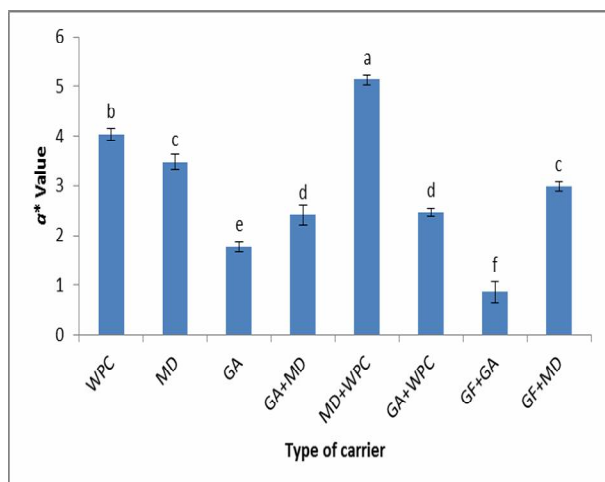


Fig 9 The effect of the wall type of the anthocyanin microcapsule on the a^* value in the model drink

چانگ و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که صمغ عربی موجب افزایش پایداری آنتوسیانین‌ها شد که می‌تواند به علت واکنش آنتوسیانین با قسمت گلیکوپروتئینی مولکول صمغ عربی باشد. طبق نتایج آن‌ها، بیشترین پایداری آنتوسیانین در نوشیدنی حاوی ۱/۵-۰/۳۵ درصد صمغ عربی حاصل شد. با این حال، افزایش غلظت صمغ عربی به ۲/۵-۵ درصد موجب کاهش پایداری آنتوسیانین شد. این مساله ممکن است ناشی از ازدحام بیش از حد مولکول‌های صمغ عربی در غلظت‌های بالا باشد که منجر به شکل‌گیری فشرده مولکول صمغ می‌شود. در نتیجه ممکن است به خاطر اثر ممانعت فضایی، واکنش بین آنتوسیانین و گلیکوپروتئین کاهش پیدا کند [۱۵]. صمغ عربی عمدتاً در سیستم‌های نوشیدنی و غذا به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان امولسیفایر استفاده می‌شود و می‌تواند پتانسیل مناسبی برای جلوگیری از تخریب آنتوسیانین در حضور اسید آسکوربیک داشته باشد.

گوآن و ژونگ (۲۰۱۵) تاثیر صمغ عربی بر پایدارسازی آنتوسیانین را در محلول مدل (pH=5) محتوی آن‌ها در دماهای ۸۰ و ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد و زمان ۰-۸۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند. محلول مدل حاوی ۰/۵۱ میلی گرم/میلی لیتر آنتوسیانین بود و غلظت صمغ عربی نیز ۱۰ میلی گرم بر میلی لیتر در نظر گرفته شد. با افزودن صمغ عربی، نیمه عمر تخریب آنتوسیانین‌ها در ۸۰ و ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲ و ۱/۸ برابر افزایش یافت [۳۸]. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که

4. Overcrowding

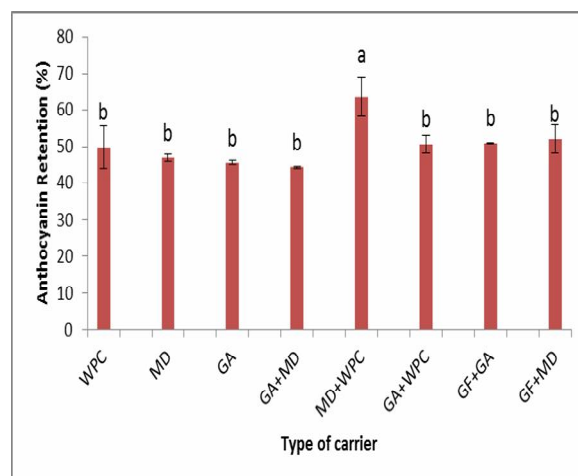


Fig 8 The effect of the wall type of the microcapsule on the retained anthocyanin in the model drink

شاخص قرمزی نوشیدنی مدل حاوی ریزکپسول‌ها به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار حرارتی قرار گرفت و به شدت کاهش یافت. نوع دیواره نیز به طور معنی‌داری شاخص قرمزی را تحت تاثیر قرار داد.

مطابق شکل ۹، بیشترین شاخص قرمزی مربوط به نوشیدنی مدل حاوی ریزکپسول‌های MD+WPC و سپس نوشیدنی مدل حاوی ریزکپسول WPC بود. کمترین شاخص قرمزی نیز مربوط به ریزکپسول‌های حاوی مخلوط صمغ عربی و صمغ فارسی (GA+GF) بود. براین اساس، استفاده از ریزکپسول‌های حاوی صمغ فارسی یا صمغ عربی موجب کاهش شاخص قرمزی در نوشیدنی‌های مدل شده است و ریزکپسولی که حاوی هر دو این صمغ‌ها بوده است کمترین شاخص قرمزی را در نوشیدنی ایجاد کرده است.

بیشترین میزان پایداری (محافظة از) آنتوسیانین و همچنین بیشترین شاخص قرمزی در نوشیدنی مدل حاوی MD+WPC بدست آمد. اگرچه شاخص آنتوسیانین کل در نوشیدنی مدل حاوی سایر ریزکپسول‌ها مشابه بود اما شاخص قرمزی نوشیدنی‌های مدل حاوی ریزکپسول با دیواره صمغ فارسی یا صمغ عربی به شدت کاهش یافت و ریزکپسولی که حاوی هر دو این صمغ‌ها بوده است کمترین شاخص قرمزی را در نوشیدنی ایجاد کرده است. مهدوی خزائی و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیشترین میزان تغییر رنگ کل را در عصاره‌های ریزپوشانی شده با صمغ عربی مشاهده کردند که حاکی از قهوه‌ای شدن رنگدانه‌ها بوده است [۹].

ممکن است برای تولید محصول مطلوب نباشد اما نوشیدنی‌های حاوی WPI شفاف بودند. محلول WPI دناتوره شده با حرارت نسبت به WPI اولیه (دناتوره نشده) در جلوگیری از تخریب (تغییر) رنگ موثرتر بود که نشانگر آن است که دناتوره شدن و غیرحلقوی شدن پروتئین ممکن است اینترکشن با آنتوسیانین را به علت افزایش در معرض قرار گرفتن گروه‌های هیدروفوبی، افزایش داده باشد. فرضیه آن‌ها این بود که WPI دناتوره شده از طریق واکنش با آنتوسیانین یا واکنش با اسید آسکوربیک توانسته باعث بهبودی پایداری آنتوسیانین‌ها شود که این فرآیند همان کوپیگمانتاسیون است. اگرچه آزمون‌های تکمیلی آن‌ها حاکی از آن بود که واکنش پروتئین با آنتوسیانین عامل اصلی موثر بر جلوگیری از تخریب آنتوسیانین در نوشیدنی مدل بوده است که احتمالاً تشکیل این کمپلکس توانسته است از تخریب آنتوسیانین به وسیله اسید آسکوربیک جلوگیری کند [۱۴].

بنابراین بر اساس تحقیقات صورت گرفته، ریزکپسول حاوی WPC می‌تواند طی تیمار حرارتی دناتوره شده باشد و از طریق واکنش با آنتوسیانین، موجب محافظت از آن شده باشد. علاوه بر این، استفاده از مخلوط WPC و MD ممکن است موجب ایجاد اثر کوپیگمانتاسیون مالتودکسترین و محافظت بهتر از آنتوسیانین شده باشد.

۴- نتیجه گیری کلی

از میان دیواره‌های استفاده شده برای ریزپوشانی عصاره آنتوسیانینی، مالتودکسترین از سایرین موثرتر بود و آنتوسیانین بیشتری را طی خشک کردن حفظ نمود اما پس از بکار بردن ریزکپسول‌ها در نوشیدنی مدل، بیشترین آنتوسیانین باقی مانده (محافظت شده) مربوط به ریزکپسول WPC+MD بود. علاوه بر این، شاخص آنتوسیانین کل در نوشیدنی مدل حاوی سایر ریزکپسول‌ها مشابه بود اما شاخص قرمزی نوشیدنی‌های مدل حاوی ریزکپسول با دیواره صمغ فارسی یا صمغ عربی به شدت کاهش یافت و ریزکپسولی که حاوی هر دوی این صمغ‌ها بوده است کمترین شاخص قرمزی را در نوشیدنی ایجاد کرده است. بنابراین دیواره پروتئینی نسبت به صمغ‌های فارسی و عربی و مالتودکسترین، تاثیر مثبت بیشتری بر محافظت از آنتوسیانین‌ها طی فرآیندهای حرارتی در محیط غذایی داشته است.

شاخص قرمزی محلول پس از حرارت‌دهی کاهش یافت که می‌تواند به علت از دست رفتن کاتیون فلاویلیوم و هیدرولیز پیوند دوگانه حلقه C در مولکول آنتوسیانین باشد. علاوه بر این، قسمت قندی آنتوسیانین (گلوکز یا ساکارز) می‌تواند طی تیمار حرارتی تجزیه شود و قند و گلیکون ایجاد شده موجب تسریع کاهش قرمزی شود [۳۹]. سادیلوا و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کربوهیدرات‌های محلول در آب قادر به بهبود پایداری آنتوسیانین‌ها از طریق مکانیسم کوپیگمانتاسیون می‌باشند که این مکانیسم ممکن است برای صمغ عربی محلول در آب نیز صادق باشد [۴۰].

ایدهام و همکاران (۲۰۱۲) آنتوسیانین را با صمغ عربی، مالتودکسترین و مخلوط صمغ عربی-مالتودکسترین با استفاده از خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کردند و پودر حاصل را در محلولی با pH برابر با ۳ آماده‌سازی نموده و در دماهای ۶۰، ۸۰ و ۹۸ درجه سانتی‌گراد حرارت‌دهی کردند. سرعت تخریب آنتوسیانین در نمونه کنترل در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مشابه نمونه حاوی صمغ عربی بود اگرچه نمونه‌های حاوی مالتودکسترین و مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی کمتری را نشان دادند. در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، حتی نیمه عمر تخریب آنتوسیانین در نمونه حاوی صمغ عربی کوتاه‌تر از نمونه کنترل بود. در دمای ۹۸ درجه سانتی‌گراد، پایداری آنتوسیانین‌ها در همه نمونه‌ها بهبود پیدا کرد که علت آن می‌تواند تاثیر کربوهیدرات‌های محلول در آب از طریق مکانیسم کوپیگمانتاسیون باشد [۲۵].

بورین و همکاران (۲۰۱۰) بیشترین پایداری آنتوسیانین‌های ریزپوشانی شده در نوشیدنی ایزوتونیک را در عصاره ریزپوشانی شده با مخلوط مالتودکسترین-صمغ عربی و کمترین پایداری را در عصاره ریزپوشانی شده با مالتودکسترین مشاهده کردند. آن‌ها علت پایداری کمتر دیواره مالتودکسترین را توانایی کمتر این ترکیب در تشکیل فیلم بیان کردند [۳۷]. قرسالوی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند حامل‌های منفرد به تنهایی قادر به ریزپوشانی موثر نیستند و استفاده از مخلوط حامل‌ها می‌تواند از ترکیبات محافظت کند [۴۱].

چانگ و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که ایزوله پروتئینی آب پنی‌ر نسبت به پکتین موجب پایداری بیشتر آنتوسیانین در نوشیدنی مدل شد. پکتین ظاهر نوشیدنی مدل را کدر کرد که

- [9] Khazaei, K..M., Jafari, S.M., Ghorbani, M., Hemmati Khakki, A. (2014), Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their stability. *Carbohydrate polymers*, 105: 57-62.
- [10] de Moura, S. C., Berling, C. L., Germer, S. P., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2018). Encapsulating anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. *Food Chemistry*, 241: 317-327.
- [11] da Rosa, J. R., Nunes, G. L., Motta, M. H., Fortes, J. P., Weis, G. C. C., Hecktheuer, L. H. R., ... & da Rosa, C. S. (2019). Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, 89: 742-748.
- [12] Khazaei, K. M., Jafari, S. M., Ghorbani, M., Kakhki, A. H., & Sarfarazi, M. (2016). Optimization of anthocyanin extraction from saffron petals with response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 9(7): 1993-2001.
- [13] Jafari, S. M., Mahdavi-Khazaei, K., & Hemmati-Kakhki, A. (2016). Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. *Carbohydrate polymers*, 140: 20-25.
- [14] Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., McClements, D.J. (2015). Enhanced stability of anthocyanins based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. *Food Chemistry*, 76:761-8.
- [15] Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., & McClements, D. J. (2016). Enhancement of colour stability of anthocyanins in model beverages by gum arabic addition. *Food Chemistry*, 201: 14-22.
- [16] Bolourian, sh. (2020). Optimization of the extraction the anthocyanin extract of the saffron petal. ACECR, Research institute of the Food Science and technology. (In Persian)
- [17] Rahimi, S., & Abbasi, S. (2014). Characterization of some physicochemical and gelling properties of Persian gum. *Innovative Food Technologies*, 1(4): 13-27.

۵- تشکر و قدردانی

این طرح با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری جهاد دانشگاهی در قالب طرح با عنوان «پایدارسازی حرارتی عصاره آنتوسیانینی گلبرگ زعفران با استفاده از روش های کوپیگمانتاسیون و ریزپوشانی و کاربرد آن در مدل غذایی» با کد ۶۰۲۳-۲۰ انجام شده است.

۶- منابع

- [1] Caroch M, Barreiro MF, Morales P, Ferreira ICFR. 2014. Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Review of Food Science and Food Safety*, 13:377-99.
- [2] Li X, Xu J, Tang X, Liu Y, Yu X, Wang Z, Liu W. 2016. Anthocyanins inhibit trastuzumab resistant breast cancer in vitro and in vivo. *Molecular Medicine Report*, 13:4007-13.
- [3] Dia VP, Wang Z, West M, Singh V, West L, Gonzalez de Mejia E. 2015. Processing method and corn cultivar affected anthocyanin concentration from dried distillers grains with solubles. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 63:3205-18.
- [4] Jackman RL, Smith JL. 1996. Anthocyanins and betalains. In: Hendry GAF, Houghton JD, editors. *Natural food colorants*. 2nd ed. New York: Springer US. p 244-309.
- [5] Agricultural statistics. (2018). Ministry of agriculture. (In Persian)
- [6] Einafshar, S. (2018) the production of the colorants and natural antioxidant from the saffron petal waste, *Journal of Saffron*, 1(1): 25-33. (In Persian)
- [7] Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1): 180-198.
- [8] Sui, X., Dong, X, Zhou, W. (2014). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of anthocyanins in aqueous solution. *Food Chemistry*, 163:163-70.

- microencapsulation. *Food Hydrocolloids*, 91: 238-245.
- [27] Tonon, R.V., Barbet, C., and Hubinger, M.D. (2010). Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43:907–914.
- [28] Chranioti, C., Nikoloudaki, A., & Tzia, C. (2015). Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. *Carbohydrate polymers*, 127, 252-263.
- [29] Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technology*, 31(4), 470-478.
- [30] Matini, S., Mortazavi, S.A., Sadeghian, A., Sharifi, A. (2018). Study of physicochemical properties of the encapsulated extract of red grape peel of Sardasht and its stability in yogurt. *Innovation in food science and technology*, 7(3): 241-254. (In Persian)
- [31] Jafari, S. M., Mahdavi-Khazaei, K., & Hemmati-Kakhki, A. (2016). Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. *Carbohydrate polymers*, 140, 20-25.
- [32] Abdollahzadeh, M. (2019). Microencapsulation of barberry extract using spray dryer technique and evaluation of its physicochemical and stability properties. M.S. Thesis. (In Persian)
- [33] Legako, J., and Dunford, N.T. (2010). Effect of spray nozzle design on fish oil-whey protein microcapsule properties. *Food Science*, 75(6):394-400.
- [34] Hundre, S.Y., Karthik, P., and Anandharamkrishnan, C. (2015). Effect of whey protein isolate and beta cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray-freeze drying Method. *Food Chemistry*, 174:16-24.
- [35] Fang, Z. X., and Bhandari, B.(2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129:1139–1147.
- [36] Ansari, M., Hojjati, M. R. (2018). [18] Ge, J., Yue, P., Chi, J., Liang, J., & Gao, X. (2018). Formation and stability of anthocyanins-loaded nanocomplexes prepared with chitosan hydrochloride and carboxymethyl chitosan. *Food Hydrocolloids*, 74: 23-31.
- [19] Ersus, S., and Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80:805–812.
- [20] Kourosian, M., Sharifi, a., Mahdavian, h., Bolourian, Sh. (2016). Investigation the physical properties of the microcapsule of the *Rubus fruticosos* prepared by spray drying, *Innovative in Food Science Technology*, 7 (4): 85-94.
- [21] Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou, J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food chemistry*, 27: 299-308.
- [22] Jiménez-Aguilar, D. M., Ortega-Regules, A. E., Lozada-Ramírez, J. D., Pérez-Pérez, M. C. I., Vernon-Carter, E. J., & Welti-Chanes, J. (2011). Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6): 889-894.
- [23] Desai, K.G.H., and Park, H.J. 2007. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7):1361–1394.
- [24] Cruz, L., BRAs, N. F., Teixeira, N., Mateus, N., Ramos, M. J., Dangles, O., & De Freitas, V. (2010). Vinylcatechin dimers are much better copigments for anthocyanins than catechin dimer procyanidin B3. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(5): 3159-3166.
- [25] Idham, Z., Muhamad, I. I., & Sarmidi, M. R. (2012). Degradation kinetics and color stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from hibiscus sabdariffa. *Journal of Food Process Engineering*, 35(4): 522-542.
- [26] Cai, X., Du, X., Cui, D., Wang, X., Yang, Z., & Zhu, G. (2019). Improvement of stability of blueberry anthocyanins by carboxymethyl starch/xanthan gum combinations

- malvidin 3-glucoside. *Journal of the American Chemical Society*, 99(26): 8461-8468.
- [40] Sadilova, E., Stintzing, F. C., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2009). Matrix dependent impact of sugar and ascorbic acid addition on color and anthocyanin stability of black carrot, elderberry and strawberry single strength and from concentrate juices upon thermal treatment. *Food Research International*, 42(8): 1023-1033.
- [41] Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.
- Optimization of the extraction and microencapsulation of anthocyanin from red onion peel and red cabbage. *Journal of food research*, 28 (1): 73-91. (In Persian)
- [37] Burin, V. M., Rossa, P. N., Ferreira Lima, N. E., Hillmann, M. C., & Boirdignon-Luiz, M. T. (2011). Anthocyanins: optimisation of extraction from Cabernet Sauvignon grapes, microcapsulation and stability in soft drink. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1), 186-193.
- [38] Guan, Y., & Zhong, Q. (2015). The improved thermal stability of anthocyanins at pH 5.0 by gum arabic. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2): 706-712.
- [39] Brouillard, R., & Delaporte, B. (1977). Chemistry of anthocyanin pigments. 2. Kinetic and thermodynamic study of proton transfer, hydration, and tautomeric reactions of



Homepage: www.fsct.modares.ir

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Scientific Research

Thermal stabilization of the anthocyanin extract of saffron petal using encapsulation and its application in the model drink

Saberian, H. ^{1,2*}, Pasban Noghabi, V. ³

1. Assistant Professor of Food Additives Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, Khorasan Razavi, Iran.
2. Technical Center for Agriculture, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Isfahan University of Technology Branch, Isfahan, Iran.
3. MSc. Student, Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 05/ 04
Accepted 2022/ 10/ 26

Keywords:

Thermal stabilization,
Anthocyanin,
Saffron petal,
Encapsulation,
Whey protein.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.17
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.2.5

*Corresponding Author E-Mail:
Saberian@acecr.ac.ir

ABSTRACT

One of the most important challenge about using anthocyanin, is its low stability, especially against light and heat condition. Therefore, the main goal of this research was to increase the stability of the anthocyanin extract of the saffron petal in thermal and light condition. To reach this goal, encapsulation is the common method. Optimization of the anthocyanin encapsulation by Arabic gum, Persian gum, whey protein and maltodextrin was conducted to investigate the thermal stability in the model drink. Anthocyanin half- life during heat treatment (at 90 °C) was 100.8 min, which became the base of the heat treatment for the model drinks. Among the different wall material used in encapsulating of the anthocyanin extract, the highest total anthocyanin content was related to the maltodextrin microcapsule (191.7 mg cyaniding 3- glycoside/ 100g saffron petal powder). After that, there were the samples with two-part wall that one was maltodextrin. The lowest total anthocyanin was related to the microcapsules containing gum Arabic. After applying the microcapsule to the model drink, the highest anthocyanin retained (63.55%) was related to the microcapsule containing the combined maltodextrin and whey protein concentrate (at ratio of 1:1). Therefore the protein wall had the more positive effect on the retention of the anthocyanin in the model drink during thermal treatments.