

## ارزیابی تأثیر نوع و سطوح مختلف ترکیبات کوپیگمنت کننده در پایداری رنگ دانه فیکوسیانین در برابر pH

رضا کاراژیان<sup>1\*</sup>، مریم عامری<sup>1</sup>، نجمه گرد نوشهری<sup>1</sup>، احمد احتیاطی<sup>2</sup>

1- استادیار، گروه بیوتکنولوژی صنعتی میکروارگانیسم‌ها، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران  
\* نویسنده مسئول (reza\_karazhyan2002@yahoo.com)

2- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

### چکیده

تاریخ دریافت: 1400/07/19  
تاریخ بازنگری: 1400/09/21  
تاریخ پذیرش: 1400/09/21  
تاریخ انتشار برخط: 1400/09/28

### واژه‌های کلیدی

پایداری  
فیکوسیانین  
کوپیگمنتاسیون

فیکوسیانین رنگ‌دانه استخراج‌شده جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس است و در صنایع مختلفی از جمله صنایع غذایی می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگ‌های سنتزی باشد. هدف از این تحقیق تثبیت رنگ‌دانه فیکوسیانین و ارزیابی روش تثبیت در پایداری رنگ‌دانه در شرایط مختلف pH می‌باشد. فیکوسیانین (در غلظت 500 پی‌پی‌ام) در محلول‌های آبی در سه pH (3، 5 و 7) با نسبت‌های مختلف (0، 75، 150، 225 و 300 پی‌پی‌ام) از ترکیبات پلی‌فنولی رزمارینیک اسید، تانیک اسید، دیگالیک اسید به صورت کopolymer مخلوط شد. محلول‌های حاوی رنگ‌دانه در ظروف استوانه‌ای با ابعاد یکسان و در برابر منبع نوری با شدت 7000 لوکس در دمای محیط قرار داده شد. تغییرات رنگ محلول‌ها طی بازه 14 روز بررسی شد. ساختار ریزکپسول‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. اندازه متوسط قطر ذرات و اندازه‌گیری پتانسیل زتا ریزکپسول‌ها با استفاده از دستگاه مخصوص اندازه‌گیری ذرات تعیین شد. نتایج حاصل از بررسی پایداری رنگ‌دانه نشان داد که استفاده از ترکیب تانیک اسید به عنوان ترکیب کوپیگمنت‌کننده اثر مقاومت بیشتری در فیکوسیانین دارد و غلظت 300 پی‌پی‌ام بیشترین میزان مقاومت را ایجاد کرده است. مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ریزکپسول‌های حاوی مالتودکسترین، کروی‌تر با سطح صاف‌تر و دارای چین‌وچروک‌های کمتری نسبت به ریزکپسول‌های تهیه‌شده با صمغ عربی بودند. پایدارترین تیمار رنگ‌دانه مربوط به پوشش مالتودکسترین در نسبت برابر اسید با رنگ‌دانه در pH=7 و کمترین پایداری در نسبت 0/4 برابر اسید با رنگ‌دانه در pH=3 می‌باشد. اندازه ذرات میکروکپسول‌ها با نسبت‌های متفاوت در ترکیبات دیواره بین 159/2996 تا 6006/637 نانومتر متغیر است. همچنین شاخص بس‌پاشیدگی در میکروکپسول بین 0/299547 تا 3/252826 متغیر است که نشان‌دهنده پراکندگی بالای ذرات و ناهمگن بودن اندازه ذرات می‌باشد.

### مقدمه

خصوصیات سلامتی‌زایی آنها در مقایسه با رنگ‌های مصنوعی روبه‌افزایش است. رنگ‌های سنتزی مختلفی در صنایع غذایی امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند

در سالیان اخیر استفاده از رنگ‌دانه‌های طبیعی برای کاربرد در مواد غذایی و دارویی به دلیل ایمنی و نیز

فیکوسیانیین در دماهای کمتر از 47 درجه سانتی‌گراد مقاومت خوبی دارد اما با افزایش دما ثبات رنگ‌دانه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Chaiklahan *et al.*, 2012).

روش‌های متعددی برای جلوگیری از تخریب حرارتی فیکوسیانیین استفاده شده است از آن جمله افزودن اسید سیتریک یا گلوکز، اسید سوربیک، سدیم آزاید<sup>7</sup>، تنظیم pH، افزودن ساکارز و نیز اضافه کردن کلرید سدیم می‌باشد (Chaiklahan *et al.*, 2012). Visai, Folli, Martelli, Ferrari و Daglia (2014) نیز گزارش کردند که غلظت‌های بالای شکر می‌تواند باعث افزایش مقاومت حرارتی فیکوبیلی‌پروتئین‌ها<sup>8</sup> شود و پایداری آنها بستگی به غلظت شکر دارد. این مواد نمی‌توانند سطح فیکوسیانیین را پوشش دهند و ساختمان شیمیایی آن را از تغییرات ساختمانی محافظت کنند (Martelli *et al.*, 2014). همچنین ایجاد پیوندهای عرضی<sup>9</sup> بین مولکول پروتئین و نانوذرات نقره، متیل‌گلی‌اکسال<sup>10</sup> و فرمالدهید باعث افزایش پایداری فیکواریترین<sup>11</sup> می‌شود و از تجمع<sup>12</sup> پروتئین اجتناب می‌کند. یکی از روش‌های افزایش و تشدید پایداری رنگ‌دانه‌ها بخصوص رنگ‌دانه‌های شبیه آنتوسیانیین‌ها در برابر فرایندهای حرارتی<sup>13</sup> و فرایندهای فشار بالا<sup>14</sup> کوپیگمنتاسیون<sup>15</sup> می‌باشد (خطیب‌زاده و جعفرزاده، 1395).

مطالعه‌های متعددی نشان داده‌اند که ترکیبات پلی‌فنولی و اسیدهای فنولی می‌توانند باعث تثبیت عصاره‌های آنتوسیانیینی استخراج‌شده از میوه‌ها و انواع توت در برابر تغییرات زیاد در ماتریکس فرآورده‌های غذایی از قبیل آب‌میوه‌ها، پوره‌ها، مربا و شربت‌ها می‌شوند.

ترکیبات پلی‌فنولی، فلاونوئیدها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی از جمله ترکیبات کوپیگمنت‌کننده هستند. Kadkhodae, Aalami, Muhammad Farhadi و Maghsoudlou و Milani (2018) گزارش دادند که کوپیگمنتاسیون ترکیبات آنتوسیانیین یک روش مؤثر برای تثبیت این ترکیبات است که بین ترکیبات پلی‌فنولی یا

که در مواد غذایی مختلف از جمله نوشیدنی‌ها ایجاد رنگ‌های متنوعی می‌کنند. این رنگ‌های سنتزی عموماً به دما، نور و pH مقاوم می‌باشند (Zhang *et al.*, 2021). امروزه مصرف‌کنندگان درخصوص استفاده از رنگ‌های سنتزی به‌دلیل تأثیر منفی بر سلامت افراد و بخصوص کودکان تمایل به استفاده از رنگ‌های طبیعی در مواد غذایی را دارند به‌همین دلیل تقاضا برای تولید رنگ‌های غذایی با منشأ طبیعی روبه‌افزایش می‌باشد (Hadiyanto *et al.*, 2018).

یکی از رنگ‌های طبیعی رنگ دانه فیکوسیانیین می‌باشد. این رنگ‌دانه از جلبک اسپرولینا استحصال می‌گردد که رنگ آبی تولید می‌کند (Chaiklahan, Chirasuwan, & Bunnag, 2012; Rahman, Sarian, van Wijk, Martinez-Garcia, & van der Maarel, 2017). بازیابی و استحصال رنگ آبی در طبیعت مشکل می‌باشد. فیکوسیانیین مورد استفاده در صنعت غذا (دارای خلوص غذایی) یک رنگ درخشان، پروتئین محلول در آب است. فیکوسیانیین ترکیب پیچیده‌ای از مونومرهای به‌هم‌پیوسته آلفا و بتا، تریمرها<sup>1</sup>، هگزامرها<sup>2</sup> و دکامرها<sup>3</sup> می‌باشد که پایداری این رنگ‌دانه تا حد زیادی به pH، قدرت یونی و غلظت مواد تجمعی از قبیل بعضی از مواد خارجی مثل یون‌های فلزی و منشأ پروتئین جلبکی دارد (Zhang *et al.*, 2021). این رنگ‌دانه در pH خنثی ثابت می‌ماند ولی در برابر تغییرات pH مقاوم نیست و رنگ آن تغییر می‌کند. رنگ فیکوسیانیین<sup>4</sup> یک پروتئین است که امروزه به‌عنوان یک رنگ طبیعی در مواد غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای خواص سلامتی‌بخش و تغذیه‌ای می‌باشد و همچنین دارای خصوصیات آنتی‌اکسیدانی می‌باشد و مورد تأیید سازمان غذا و داروی آمریکا<sup>5</sup> و سازمان ایمنی مواد غذایی اروپا<sup>6</sup> می‌باشد ولی به‌دلیل عدم پایداری این رنگ‌دانه کاربرد تجاری آن محدود است (Hadiyanto *et al.*, 2018). به‌این‌دلیل که در حین فراوری مواد غذایی تخریب رنگ‌دانه و کاهش میزان رنگ و همچنین کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی روی می‌دهد و رنگ آن به آبی کم‌رنگ تغییر می‌یابد و این یکی از مهم‌ترین معایب این رنگ‌دانه می‌باشد (Hadiyanto *et al.*, 2018; Rahman *et al.*, 2017).

<sup>7</sup> Sodium azide

<sup>8</sup> Phycobiliprotein

<sup>9</sup> Cross linking

<sup>10</sup> Methylglyoxa

<sup>11</sup> Phycoerythrin

<sup>12</sup> Aggregation

<sup>13</sup> Thermal Processing

<sup>14</sup> High pressure processing

<sup>15</sup> Copigmentation

<sup>1</sup> Trimers

<sup>2</sup> Hexamers

<sup>3</sup> Decamers

<sup>4</sup> C-phycoyanin

<sup>5</sup> The United States Food and Drug Administration

<sup>6</sup> The European Food Safety Authority(EFSA)

پروتئین‌ها (ژلاتین<sup>7</sup>، کازئین<sup>8</sup>، پروتئین سرم شیر، سویا و گندم) هستند (Akhavan Mahdavi et al., 2016).  
 Purnamayati, Dewi و Kurniasih (2018) در مطالعه‌ای به بررسی پایداری میکروکپسول‌های فیکوسیانین با استفاده از مالتودکسترین و کاپاکاراگینان به‌عنوان ماده پوشش‌دهنده پرداختند. در این مطالعه از روش خشک کردن پاششی در دمای ورودی مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که میکروکپسول فیکوسیانین با 90 درجه سانتی‌گراد دمای ورودی بیشترین رطوبت، غلظت فیکوسیانین و بازده محصولی به ترتیب 53، 1/7 و 29 درصد را دارد (Purnamayati et al., 2018).

هدف از این تحقیق بررسی پایداری رنگ دانه فیکوسیانین در تیمارهای مختلف با ترکیبات کوپیگمنت کننده از قبیل رزمارینیک اسید، دیگالیک اسید و تانیک اسید می‌باشد. خصوصیات رنگ دانه پودر شده از قبیل رطوبت، ساختار میکروسکوپی، اندازه ذرات و بازده ریزپوشانی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## مواد و روش‌ها

### تهیه رنگ دانه فیکوسیانین

رنگ دانه فیکوسیانین با درجه خلوص 1 (گرید خوراکی) استخراج شده از ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس<sup>9</sup> به صورت خشک شده انجام دادی از پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی تهیه شد.

### کوپیگمنتاسیون فیکوسیانین با ترکیبات پلی فنولی

فیکوسیانین در آب مقطر در pHهای 3، 5 و 7 در غلظت 500 پی پی ام در داخل ویال حل شد. سپس تانیک اسید، رزمارینیک اسید و دیگالیک اسید (در 5 غلظت برای هر کدام از این ترکیبات پلی فنولی در غلظت‌های صفر، 75، 150، 225 و 300 پی پی ام) به محلول‌های فیکوسیانین در هر کدام از غلظت‌ها اضافه شدند و کمپلکس تشکیل شد. ویال‌ها کاملاً محکم بسته شدند و در یک محیط کاملاً کنترل شده (اینکوباتور با دمای 25 درجه سانتی‌گراد در ردیف‌های مستقیم با فاصله 30 سانتی‌متر از منبع نوری) قرار داده شدند به طوری که تمام نمونه‌ها در معرض 7000 لوکس نور قرار گیرند. تغییرات شدت رنگ در طی دوره

فلاونوئیدها و آنتوسیانین موجود از طریق نیروهای هیدروفوبی یا پیوندهای هیدروژنی اتصال برقرار می‌کنند. پدیده کوپیگمنتاسیون باعث اثر هایپرکرومیک<sup>1</sup> (افزایش جذب) رنگ دانه و همچنین باعث پدیده باتوکرومیک<sup>2</sup> یا جابجایی طول موج ماکزیمم جذب به طول موج‌های دیگر خواهد شد (Muhammad Farhadi et al., 2018).

Heras-Roger, Alonso-Alonso, Gallo-Montesdeoca, Díaz-Romero و Darías-Martín (2016) گزارش کردند که افزودن ترکیبات کوپیگمنت کننده باعث افزایش و پایداری بیشتر رنگ در نوشیدنی‌ها خواهد شد به طوری که از تشکیل ترکیبات بدون رنگ جلوگیری کرده و باعث تشدید ترکیبات رنگی خواهد شد. به‌عنوان مثال رنگ آنتوسیانین می‌تواند با افزودن ترکیبات کوپیگمنت کننده افزایش پیدا کند. مثلاً در زعفران رنگ آن می‌تواند با استفاده از اسید تانیک و اسید گالیک پایدار باقی‌ماند، به طوری که تشکیل کمپلکس و ترکیب کوپیگمنت کننده با آنتوسیانین‌های زعفران باعث افزایش جذب نوری و شیفت آن به طول موج‌های بالاتر می‌شود (Heras-Roger et al., 2016).

یکی دیگر از روش‌های مؤثر برای تثبیت و پایداری سازی رنگ دانه استفاده از روش کپسولاسیون و میکروانکپسولاسیون می‌باشد. Jafari, Akhavan Mahdavi, Assadpoor و Dehnad (2016) با استفاده از روش میکروکپسولاسیون آنتوسیانین‌ها را پوشش‌دهی کردند. از جمله ترکیبات پوشش‌دهنده مورد استفاده مالتودکسترین، صمغ عربی و ژلاتین بود. دلیل عمده این کار این است که این ترکیبات در داخل حفره‌های خود محصور می‌کنند و از اثر شرایط محیطی محافظت می‌کنند. این شرایط از قبیل نور، حرارت، رطوبت و اکسیژن هستند که در نتیجه عمر مفید محصول و رهایش ماده کپسوله شده را کنترل می‌کند (Akhavan Mahdavi et al., 2016). موارد دیواره‌ای مختلفی برای میکروکپسول کردن شامل پلی‌ساکاریدها (صمغ عربی<sup>3</sup>، مالتودکسترین و نشاسته ذرت<sup>4</sup>) چربی‌ها شامل (استئاریک اسید<sup>5</sup>، مونو و دی‌گلیسریدها<sup>6</sup>) و

<sup>1</sup> Hyperchromic

<sup>2</sup> Bathochromic

<sup>3</sup> Arabic gum

<sup>4</sup> Corn syrup

<sup>5</sup> Stearic acid

<sup>6</sup> Mono-and diglycerid

<sup>7</sup> Gelatin

<sup>8</sup> Casein

<sup>9</sup> Spirulina platensis

جدول 1- تیمارهای رنگ‌دانه فیکوسیانیین جهت اسپری‌درایر

کد	درصد رنگ‌دانه	نسبت اسید به رنگ‌دانه	تانیک اسید (گرم)	نسبت صمغ عربی: مالتودکسترین
T <sub>1</sub>	1	-	0	100:0
T <sub>2</sub>	1	-	0	75:25
T <sub>3</sub>	1	0	0	100:0
T <sub>4</sub>	1	0	0	75:25
T <sub>5</sub>	1	0/4	0/225	100:0
T <sub>6</sub>	1	0/4	0/225	75:25
T <sub>7</sub>	1	1	0/564	100:0
T <sub>8</sub>	1	1	0/564	75:25
T <sub>9</sub>	1	3	1/691	100:0
T <sub>10</sub>	1	3	1/691	75:25

اینکوباسیون به‌وسیله جذب ماکزیمم با اسپکتروفوتومتر (بیوتیک، ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد ( Helgason, (Bohn, Weiland, Sowa, & Gottschalk, 2016).

#### بررسی پایداری رنگ‌دانه فیکوسیانیین کوپیگمنت‌شده

تغییرات شدت رنگ برای هر کدام از تیمارهای تهیه‌شده در 14 روز (با بازه زمانی 3 روزه) مورد بررسی قرار گرفت. پایداری رنگ‌دانه به‌وسیله تعیین نسبت کاهش جذب در طول موج ماکزیمم جذب فیکوسیانیین (620 نانومتر) انجام گرفت. همچنین منحنی اسپکترای جذب تیمارهای مورد نظر نیز مورد بررسی قرار گرفت ( Helgason et al., 2016).

#### بازده ریزپوشانی<sup>1</sup>

بازده ریزپوشانی براساس تقسیم میزان ریزکپسول‌های حاصله بر مقدار ماده جامد موجود در امولسیون تزریقی به خشک‌کن جهت ریزکپسول‌های حاوی رنگ‌دانه (در تیمارهای مختلف) به‌دست‌آمد (حجتی، رضوی، رضایی و گیلانی، 1392؛ قرآنی، کدخدایی و آل‌حسینی، 1396).

#### پوشش‌دهی فیکوسیانیین در تیمارهای مختلف

با استفاده از نتایج مرحله بررسی پایداری رنگ‌دانه فیکوسیانیین کوپیگمنت‌شده بهترین نمونه فیکوسیانیین تیمارهای فیکوسیانیین پایدارشده (کوپیگمنت‌شده) و شاهد توسط مالتودکسترین و صمغ عربی پوشش‌دهی شد (جدول 1). مواد دیواره‌ای شامل مالتودکسترین و صمغ عربی به نسبت 10:1 به هسته (رنگ‌دانه فیکوسیانیین) در 10 تیمار تهیه شد به‌طوری‌که درصد کل ماده جامد به حدود 10 درصد تنظیم شد. جهت تهیه امولسیون ذرات نمونه‌ها با هموژنایزر اولتراتورکس (مدل T25، شرکت IKA، ساخت آلمان) در دمای اتاق با دور 12000 دور در دقیقه یکنواخت شدند تا ذرات با اندازه یکسان به‌دست‌آید. امولسیون تهیه‌شده به‌وسیله خشک‌کن پاششی (شرکت Buchi، مدل B 191، ساخت سوئیس) با نازل قطر 0/5 میلی‌متر و با درجه‌حرارت ورودی 150 درجه سانتی‌گراد و خروجی 90 درجه سانتی‌گراد خشک شدند (حجتی و همکاران، 1392؛ نجف‌نجفی، کدخدایی، مرتضوی و طباطبایی‌یزدی، 1389).

#### ارزیابی کیفی خصوصیات فیکوسیانیین خشک‌شده به روش خشک‌کن پاششی

اندازه‌گیری میزان فعالیت آبی (a<sub>w</sub>) و رطوبت برای اندازه‌گیری میزان رطوبت ذرات از روش آون‌گذاری در دمای 105 درجه سانتی‌گراد انجام شد. اندازه‌گیری فعالیت آبی میکروکپسول‌ها به‌وسیله هیدرومتر (Novasina، مدل Labmaster، ساخت سوئیس) انجام شد.

#### مورفولوژی ریزساختار توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>2</sup> (SEM)

برای این کار از میکروسکوپ الکترونی روبشی (شرکت Oxford، مدل S-360، ساخت انگلستان) استفاده شد تا ریزساختار بیرونی میکروکپسول‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین‌وسیله ساختار پودرهای خشک‌شده مشاهده گردید (حجتی و همکاران، 1392).

#### اندازه ذرات و پتانسیل زتا

اندازه متوسط قطر ذرات<sup>3</sup> و اندازه‌گیری پتانسیل زتا<sup>4</sup> رنگ‌دانه فیکوسیانیین پوشش‌دارشده و شاخص پراکندگی نور با استفاده از دستگاه مخصوص اندازه‌گیری ذرات (Malvern، مدل 2000) تعیین شد (حجتی و همکاران، 1392؛ وطن‌خواه لطف‌آبادی، مرتضوی، یگانه‌زاد و صادقیان، 1396).

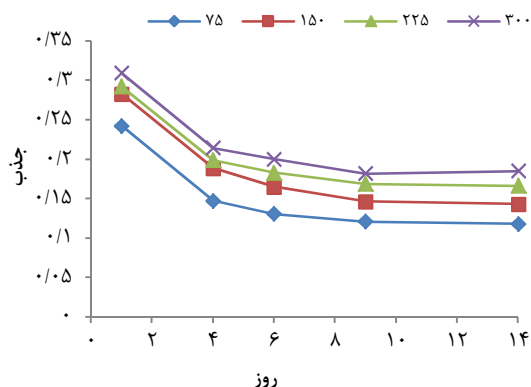
<sup>2</sup> Scanning Electron Microscope

<sup>3</sup> Particle size

<sup>4</sup> Zeta potential

<sup>1</sup> Microencapsulation Yield

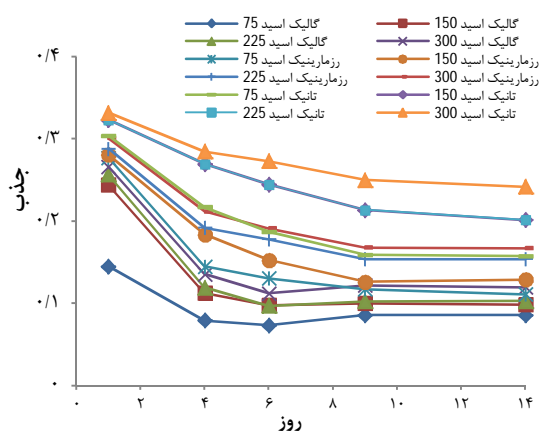
جذب رنگ دانه و غلظت 75 پی پی ام ترکیب پلی فنولی (هر کدام از سه ترکیب) بوده است.



شکل 2- تغییرات کلی در منحنی جذب محلول های فیکوسیانیین حاوی ترکیبات کوپیگمنت کننده در غلظت های مختلف در طول زمان

نتایج شکل (2) نشان می دهد با افزایش مقدار غلظت ماده کوپیگمنت کننده میزان کاهش جذب رنگ دانه در طول زمان کاهش می یابد و به عبارتی محلول های رنگ دانه فیکوسیانیین حاوی مقادیر بالاتر ترکیب کوپیگمنت کننده پایداری بیشتری دارند.

محلول های حاوی ترکیبات کوپیگمنت کننده در مقادیر بالاتر مقاومت بیشتری دارند. غلظت ترکیب کوپیگمنت روی پایداری رنگ تأثیر می گذارد و افزایش در غلظت ترکیب کوپیگمنت کننده پایداری محلول رنگ دانه را بهبود می بخشد (شکل 3). نتایج نشان می دهد که شدت کوپیگمنتاسیون به غلظت مولی ترکیب بستگی دارد (خطیب زاده و جعفرزاده، 1395).



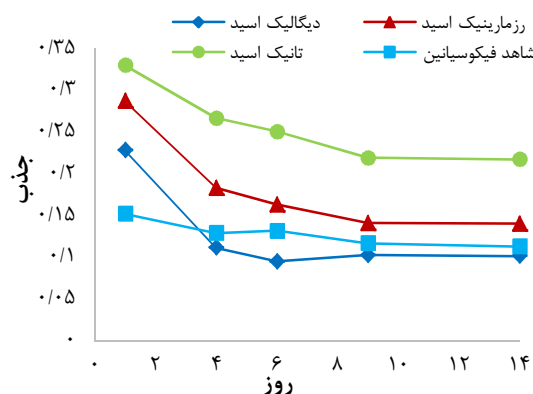
شکل 3- منحنی جذب محلول های فیکوسیانیین حاوی ترکیبات کوپیگمنت کننده در غلظت های مختلف در طول زمان

## آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 3.9 انجام شد. تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه انجام شد. تفاوت بین میانگین ها با استفاده از نرم افزار توکی در سطح معنی داری ( $P < 0/01$ ) مقایسه شد.

## نتایج و بحث

تعیین مناسب ترین ترکیب برای کوپیگمنتاسیون نتایج شکل (1) نشان می دهد در طول زمان 14 روز نگهداری نمونه ها، جذب محلول فیکوسیانیین حاوی سه ترکیب کوپیگمنت کننده کاهش یافته است. این کاهش جذب در نمونه های فیکوسیانیین حاوی دیگالیک اسید و نمونه فیکوسیانیین بدون ترکیب کوپیگمنت (شاهد) بیشتر است. کمترین میزان کاهش جذب رنگ دانه فیکوسیانیین متعلق به تیمار دارای تانیک اسید می باشد که نشان می دهد محلول های فیکوسیانیین حاوی تانیک اسید بیشترین مقاومت را دارند.



شکل 1- منحنی کلی جذب محلول فیکوسیانیین با ترکیبات مختلف کوپیگمنت کننده در طول زمان

نتایج شکل (2) نشان می دهد افزایش در میزان کوپیگمنت های مختلف (تانیک اسید، رزمارینیک اسید و گالیک اسید) در محلول های حاوی فیکوسیانیین باعث افزایش میزان جذب محلول ها می شود.

افزایش میزان جذب به دلیل مقاومت محلول فیکوسیانیین است که افزایش می یابد و این میزان مقاومت در تانیک اسید بیشتر از رزمارینیک اسید و در رزمارینیک اسید بیشتر از دیگالیک اسید می باشد. در غلظت های مختلف این سه ترکیب کمترین میزان کاهش در جذب رنگ دانه در غلظت 300 پی پی ام و بیشترین میزان کاهش

اندازه‌گیری رطوبت و  $a_w$  رنگ‌دانه فیکوسیانیین حاوی ترکیبات کوپیگمنت‌کننده در pHهای مختلف نوع ماده دیواره بر رطوبت نهایی رنگ‌دانه‌های پودر شده تأثیر می‌گذارد. نتایج (جدول 2) نشان می‌دهد رطوبت نمونه‌های پودر شده با صمغ عربی بیشتر است به این دلیل که صمغ عربی دارای چندین جزء هتروپولی‌ساکارید با ساختار منشعب بوده و دارای گروه‌های آب‌دوست می‌باشد که باعث می‌شود به مولکول‌های آب متصل شده و از خروج مولکول‌های آب جلوگیری می‌کند (غزالی، قره‌خانی و همیشه‌کار، 1398).

همچنین نتایج نشان می‌دهند که نوع ماده دیواره بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میکروکپسول‌های تولید شده تأثیر می‌گذارد (کمالی، شرایعی، نیازمند و عین‌افشار، 1391). میزان رطوبت میکروکپسول‌های تهیه شده با مالتودکسترین و مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی به ترتیب 4/4 و 5/2 درصد می‌باشد. این تفاوت می‌تواند به دلیل تعداد گروه‌های پیونددهنده آب در مولکول‌های مالتودکسترین و صمغ عربی باشد که باعث تفاوت در میزان رطوبت نمونه‌های تولید شده پودر شده می‌شود.

جدول 2- مقادیر رطوبت و فعالیت آبی ( $a_w$ ) در تیمارهای رنگ‌دانه فیکوسیانیین اسپری‌درآبر شده

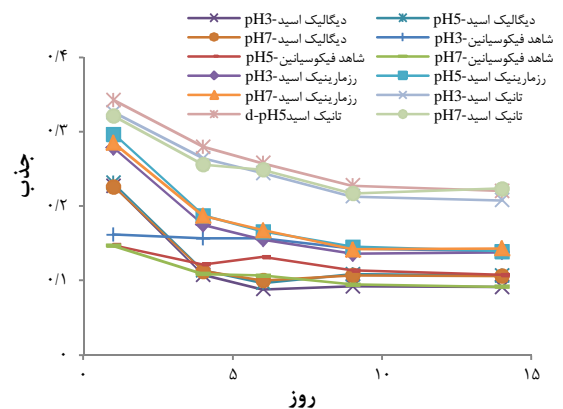
ردیف	نمونه	رطوبت	$a_w$
1	T <sub>1</sub>	4/4 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
2	T <sub>2</sub>	5/2 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>
3	T <sub>3</sub>	4/3 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
4	T <sub>4</sub>	5/3 <sup>a</sup>	77/5 <sup>a</sup>
5	T <sub>5</sub>	4/1 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
6	T <sub>6</sub>	5/1 <sup>a</sup>	76 <sup>ab</sup>
7	T <sub>7</sub>	3/9 <sup>bc</sup>	71 <sup>c</sup>
8	T <sub>8</sub>	3/9 <sup>bc</sup>	71 <sup>b</sup>
9	T <sub>9</sub>	3/6 <sup>c</sup>	68 <sup>d</sup>
10	T <sub>10</sub>	3/5 <sup>c</sup>	68 <sup>d</sup>

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها می‌باشد ( $P < 0/01$ ).

#### مورفولوژی پودرهای تهیه شده

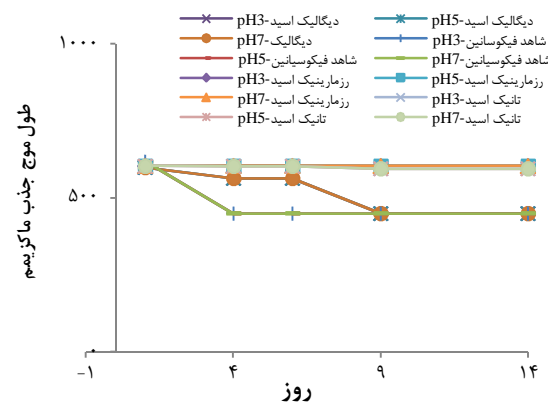
مقایسه نتایج شکل (6) نشان می‌دهد که نوع ماده دیواره بر ساختمان فیزیکی میکروکپسول‌ها تأثیر می‌گذارد. به طوری که نمونه‌های (A، C، E و I) دارای مالتودکسترین کروی شکل هستند و دارای سطح صاف‌تری بوده و چین‌وچروک کمتری

نتایج کوپیگمنتاسیون فیکوسیانیین با سه ترکیب پلی‌فنولی در pHهای مختلف نشان می‌دهد که بیشترین میزان جذب محلول فیکوسیانیین کوپیگمنت شده در pHهای مختلف برای تانیک اسید می‌باشد و رزمارینیک اسید در سه pH مختلف کمترین میزان جذب را در pHهای مختلف در مقایسه با تانیک اسید دارد. در تمام pHها مقدار جذب برای هر کدام از سه ترکیب کوپیگمنت‌کننده تفاوت معنی‌داری نداشت ولی طی زمان نگهداری میزان جذب کاهش نشان داد (شکل 4).

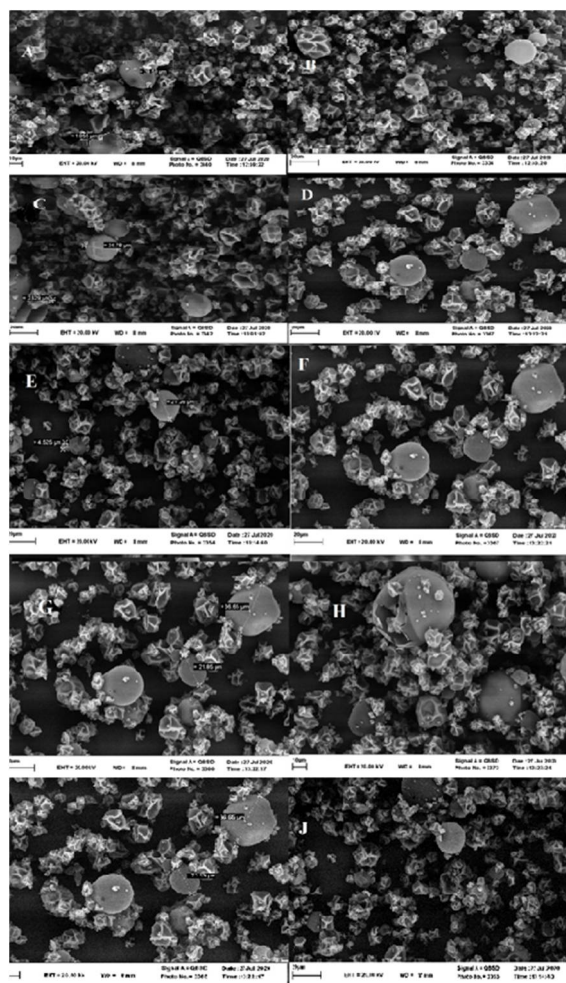


شکل 4- تأثیر pHهای مختلف در میزان جذب محلول‌های فیکوسیانیین حاوی ترکیبات کوپیگمنت‌کننده تحت شرایط pH در طول زمان

در طول مدت زمان ماندگاری طول موج ماکزیمم جذب برای رزمارینیک اسید و تانیک اسید به‌طور قابل‌توجهی تغییر پیدا نکرد و از بین 605 تا 600 نانومتر بود در حالی که طول موج ماکزیمم جذب برای محلول‌های حاوی دیگالیک اسید به 565 و 450 نانومتر در روزهای 12 و 14 تغییر پیدا کرد (اثر باتوکرومیک) (شکل 5).



شکل 5- تغییرات طول موج ماکزیمم جذب حاوی ترکیبات کوپیگمنت‌کننده در pHهای مختلف در طول زمان



شکل 6- تصاویر بررسی ریزساختار ریزکپسول‌ها با بزرگ‌نمایی 2000 برابر

A) T<sub>1</sub>, B) T<sub>2</sub>, C) T<sub>3</sub>, D) T<sub>4</sub>, E) T<sub>5</sub>, F) T<sub>6</sub>, G) T<sub>7</sub>, H) T<sub>8</sub>, I) T<sub>9</sub>, J) T<sub>10</sub>

جدول 3- بازده ریزپوشانی در تیمارهای رنگ دانه فیکوسیاینین اسپری درآبرشده

بازده ریزپوشانی	نمونه	ردیف
68 <sup>c</sup>	T <sub>1</sub>	1
68 <sup>c</sup>	T <sub>2</sub>	2
68 <sup>c</sup>	T <sub>3</sub>	3
68/2 <sup>c</sup>	T <sub>4</sub>	4
75 <sup>b</sup>	T <sub>5</sub>	5
75 <sup>b</sup>	T <sub>6</sub>	6
75 <sup>b</sup>	T <sub>7</sub>	7
75 <sup>b</sup>	T <sub>8</sub>	8
75 <sup>b</sup>	T <sub>9</sub>	9
77/5 <sup>a</sup>	T <sub>10</sub>	10

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها می‌باشد ( $P < 0/01$ ).

نسبت به میکروکپسول‌های ساخته‌شده از صمغ عربی داشتند. میکروکپسول‌های تهیه‌شده با مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی (B, D, F, J) دارای سطح صاف هستند، اما یکنواخت نمی‌باشند و دارای حداقل تراکم و فرورفتگی در سطح و خلل و فرج بیشتری هستند و اندازه بزرگ‌تر و توزیع بهتری دارند. همچنین حجتی و همکاران (1392) نشان داد که میکروکپسول‌های ساخته‌شده با صمغ عربی دارای سطح دنداندار هستند. این میکروکپسول‌ها تقریباً کروی شکل بوده و ترک‌ها و شکاف‌های جزئی در سطح آنها دیده می‌شود. ساختار میکروکپسول‌ها نشان داد که نمونه‌های تهیه‌شده با مالتودکسترین اندازه ذرات درشت‌تری دارند (حجتی و همکاران، 1392). خصوصیات شکل مشابهی توسط Santana, Cano-Higuera, de Oliveira و Telis (2016) یافت شد که ریزپوشانی پالپ میوه جوارا<sup>1</sup> را انجام داده بودند. نتایج یافته‌های Pang, Yusoff و Gimbum (2014) نشان داد که افزایش در غلظت مالتودکسترین منجر به تولید ذرات با سطح نرم‌تر و منظم‌تر می‌شود.

#### اندازه‌گیری بازده ریزپوشانی

نتایج بررسی درصد بازده ریزپوشانی (جدول 3) نشان می‌دهد در مقایسه بین مالتودکسترین، صمغ عربی و مخلوط آنها، مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی بیشترین بازده را نسبت به دیگر ترکیب‌ها داشته است ( $P < 0/01$ ). این ممکن است به دلیل میزان خشک‌شدن بالاتر مالتودکسترین و تشکیل پوسته سریع باشد که منجر به نگهداری بیشتر پلی‌فنول‌ها نیز می‌شود. همچنین مالتودکسترین سبب کاهش چسبندگی پودر شده که در نتیجه، تولید پودر در طول اسپری کردن افزایش می‌یابد. از دست دادن درصدی از مواد در یک سیستم خشک‌کن پاششی بیشتر به دلیل اتصال قطره‌ها و پودر به دیواره دستگاه خشک‌کن پاششی می‌باشد. به نظر می‌رسد صمغ عربی به دلیل گرانی و بالا و ایجاد چسبندگی، قطره‌ها و پودر بیشتری را به دیواره محفظه خشک‌کن متصل کرده و سبب کاهش بازده تولید می‌شود. نتایج مشابهی توسط Medina-Torres و همکاران (2016) در بررسی تأثیر شرایط خشک‌کردن پاششی در تهیه ریزکپسول برگ‌بو، Akbas و همکاران (2017) در بررسی فرایند ریزپوشانی عصاره گندم و Tolun, Altintas و Artik (2016) در بررسی ریزپوشانی عصاره انگور، به دست آمد.

<sup>1</sup> Juara fruit

جدول 4- نتایج اندازه ذرات

ردیف	نمونه	میانگین قطر حجمی (نانومتر)	معیار پراکندگی ذرات برحسب D (0/5)	پتانسیل زتا	شاخص پراکندگی ذرات
1	T <sub>1</sub>	316/6±70/06407 <sup>d</sup>	1/89729±0/4199 <sup>abc</sup>	215/227±42/929 <sup>d</sup>	0/345302±0/055621 <sup>a</sup>
2	T <sub>2</sub>	763/045±422/5657 <sup>cd</sup>	1/92135±0/9519 <sup>abc</sup>	451/9217±166/1102 <sup>c</sup>	0/383925±0/173771 <sup>c</sup>
3	T <sub>3</sub>	159/2996±33/37136 <sup>d</sup>	2/7269±0/2779 <sup>a</sup>	145/2571±13/544 <sup>d</sup>	0/327598±0/034896 <sup>c</sup>
4	T <sub>4</sub>	6006/637±1/081035 <sup>a</sup>	1/10607±0/01327 <sup>c</sup>	821/341±103/3025 <sup>a</sup>	3/252826±0/319107 <sup>a</sup>
5	T <sub>5</sub>	169/3456±44/75993 <sup>d</sup>	2/6159±0/57538 <sup>ab</sup>	149/9602±19/41053 <sup>d</sup>	0/326998±0/012085 <sup>c</sup>
6	T <sub>6</sub>	1367/484±386/6392 <sup>c</sup>	2/5269±0/57104 <sup>ab</sup>	595/9314±83/552 <sup>b</sup>	0/524079±0/097443 <sup>c</sup>
7	T <sub>7</sub>	3520/002±1065/637 <sup>b</sup>	2/45022±0/6628 <sup>ab</sup>	580/4437±48/0817 <sup>b</sup>	1/32826±0/516754 <sup>b</sup>
8	T <sub>8</sub>	5840/549±733/6644 <sup>a</sup>	1/220751±0/40033 <sup>c</sup>	847/9418±139/1061 <sup>a</sup>	3/167226±1/162534 <sup>a</sup>
9	T <sub>9</sub>	220/9633±184/7397 <sup>d</sup>	2/418866±0/47278 <sup>ab</sup>	149/7645±40/31631 <sup>d</sup>	0/377451±0/258781 <sup>c</sup>
10	T <sub>10</sub>	621/6881±133/7762 <sup>d</sup>	1/844533±0/841739 <sup>bc</sup>	474/4087±96/1186 <sup>bc</sup>	0/299547±0/063013 <sup>c</sup>

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها می‌باشد (P<0/01).

#### ارزیابی اندازه ذرات<sup>1</sup> و شاخص پراکندگی (PDI)<sup>2</sup>

نتایج جدول (4) نشان می‌دهد که نوع و غلظت ماده دیواره به‌طور معنی‌داری اندازه و سطح مخصوص پودرهای حاصل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (P<0/01). اندازه‌گیری ذرات میکروکپسول بسیار مهم است، زیرا این ذرات بر بافت مواد غذایی که به آن اضافه می‌شوند، تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعه‌های شعبانپور، مهرداد، پورعاشوری و جعفری (1397) نشان می‌دهد که مواد دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به‌طور معنی‌داری روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثرگذار است. اندازه ذرات در میکروکپسول با نسبت‌های متفاوت در ترکیبات دیواره بین 159/2996 تا 6006/637 نانومتر متغیر است (P<0/01). باتوجه‌به منحنی توزیع اندازه ذرات، کپسول‌های تهیه‌شده با تیمارهای مختلف (به‌جز T<sub>4</sub> و T<sub>8</sub>) تک‌قله‌ای بوده که نشان‌دهنده یکنواخت بودن توزیع اندازه ذرات می‌باشد. همچنین شاخص بس‌پاشیدگی در میکروکپسول بین 0/299547 تا 3/252826 متغیر است که نشان‌دهنده پراکندگی بالای ذرات و ناهمگن بودن اندازه ذرات (البته در نمونه‌های T<sub>4</sub> و T<sub>8</sub>) می‌باشد.

غلظت‌های بیشتر مالتودکستریز نیز منجر به تولید ذرات بزرگ‌تر می‌شود که ممکن است به ویسکوزیته خوراکی ورودی به خشک‌کن مربوط باشد که با افزایش غلظت مالتودکستریز به‌طور لگاریتمی افزایش می‌یابد. اندازه متوسط قطره‌های مایع را به‌طور مستقیم با

ویسکوزیته مایع در دستگاه که عناصری را به ذرات ریز تبدیل می‌کند مثل اتمایزر در سرعت ثابت متفاوت است، که با نتایج منتشرشده توسط Brabet, Tonon و Hubinger (2008) مطابقت می‌کند. نتایج تحقیق Anandharamakrishnan و Karthik, Hundre (2015) نشان می‌دهد مواد دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به‌طور معنی‌داری روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثرگذار است.

#### نتیجه‌گیری

یکی از مشکلاتی که در استفاده از رنگ‌دانه فیکوسیانیین وجود دارد حساس بودن به دما و pH به‌دلیل ماهیت پروتئینی آن می‌باشد. لذا در مطالعه حاضر رنگ‌دانه موردنظر به کمک روش کوپیگمنتاسیون و به‌ویژه ترکیب با تانیک اسید تثبیت شد. نتایج نشان داد که رنگ‌دانه کوپیگمنت‌شده با تانیک اسید دارای اثر مقاومت بیشتری در برابر تغییرات محیط می‌باشد.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation) بابت حمایت مادی از این تحقیق تقدیر و تشکر می‌نمایند.

<sup>1</sup> Particle size

<sup>2</sup> Polydispersity index



## منابع

- حجتی، م.، رضوی، س.، رضایی، ک. ا. و گیلانی، ک. (1392). اثر ترکیب دیواره بر ویژگی‌های کانتاگزانتین طبیعی ریزپوشانی شده به روش خشک کن پاششی. *علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*, 8(3), 45-54.
- خطیب‌زاده، م.، و جعفرزاده، م. (1395). کوپیگماتاسیون آنتوسیانین گلبرگ‌زعفران با اسیدهای آلی و بررسی اثر pH، غلظت و نوع کوپیگمنت بر آن. ارائه شده در دومین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/477866>
- شعبانپور، ب.، مهرداد، ب.، پورعاشوری، پ.، و جعفری، س. (1397). اثر نوع دیواره و روش ریزپوشانی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌های روغن‌ماهی. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*, 7(1), 13-28. doi:<http://dx.doi.org/10.22101/jrifst.2018.05.19.712>
- غزالی، ا. س.، قره‌خانی، م.، و همیشه‌کار، ح. (1398). بررسی ویژگی‌های فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی ریزکپسول‌های حاوی عصاره بهارنارنج تهیه شده با روش خشک‌کردن پاششی. *فناوری‌های جدید در صنعت غذا*, 6(3), 441-453. doi:<https://dx.doi.org/10.22104/jift.2018.2603.1614>
- قرآنی، ب.، کدخدایی، ر.، و آل‌حسینی، ع. (1396). تأثیر نوع بیوپلیمر، دما و رطوبت نسبی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پایداری ترکیبات زیست فعال زعفران ریزپوشانی شده. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*, 14(64), 127-142.
- کمالی، آ.، شرایعی، پ.، نیازمند، ر.، و عین‌افشار، س. (1391). تأثیر غلظت‌های مختلف مالتودکسترین و پلی وینیل پیرولیدون بر پایداری ترکیبات مؤثره‌ی ریزپوشانی شده‌ی زعفران با روش خشک کن پاششی. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*, 7(4), 241-254. doi:<https://dx.doi.org/10.22101/jrifst.2013.03.15.142>
- نجف‌نجنفی، م.، کدخدایی، ر.، مرتضوی، س.، و طباطبایی‌یزدی، ف. (1389). بررسی تأثیر بر هم کنش Hi-Cap 100 و Tween 80 بر خصوصیات امولسیون روغن هل در آب و میکروکپسول تهیه شده از آن. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*, 6(4), 4). doi:<https://dx.doi.org/10.22067/ifstrj.v6i4.9282>
- وطن‌خواه لطف‌آبادی، ش.، مرتضوی، س.، یگانه‌زاد، س.، و صادقیان، ع. (1396). بررسی غلظت و نوع ماده دیواره بر خصوصیات ریزکپسول د-لیمونن تهیه شده جهت تعیین شرایط بهینه تولید نبات طعم‌دار. *فناوری‌های جدید در صنعت غذا*, 5(2), 159-176. doi:<https://dx.doi.org/10.22104/jift.2017.512>
- Akbas, E., Kilercioglu, M., Onder, O. N., Koker, A., Soyler, B., & Oztop, M. H. (2017). Wheatgrass juice to wheat grass powder: Encapsulation, physical and chemical characterization. *Journal of Functional Foods*, 28, 19-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.11.010>
- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *Int J Biol Macromol*, 85, 379-385. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., & Bunnag, B. (2012). Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina* sp.: Influence of temperature, pH and preservatives. *Process Biochemistry*, 47(4), 659-664. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.01.010>
- Ghazali, E. S., Gharekhani, M., & Hamishekar, H. (2019). Study physical and antioxidant properties of the microcapsules of Citrus aurantium extract prepared by spray drying method. *Innovative Food Technologies*, 6(3), 441-453. doi:<https://dx.doi.org/10.22104/jift.2018.2603.1614> (in Persian)
- Ghorani, B., Kadkhodai, R., & Alhosseini, A. (2016). The Effect of Biopolymer Type, Temperature and Relative Humidity on the Physicochemical Characteristics and Stability of Microencapsulated Bioactive Compounds of Saffron. *Journal of food science and technology(Iran)*, 14(64), 142-127. (in Persian)
- Hadiyanto, Christwardana, M., Sutanto, H., Suzery, M., Amelia, D., & Aritonang, R. F. (2018). Kinetic study on the effects of sugar addition on the thermal degradation of phycocyanin from *Spirulina* sp. *Food Bioscience*, 22, 85-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.01.007>
- Helgason, T., Bohn, H., Weiland, A., Sowa, C., & Gottschalk, T. (2016). United States Patent No. US20160324745A1

- Heras-Roger, J., Alonso-Alonso, O., Gallo-Montesdeoca, A., Díaz-Romero, C., & Darias-Martín, J. (2016). Influence of copigmentation and phenolic composition on wine color. *Journal of food science and technology*, 53(6), 2540-2547. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2210-3>
- Hojjati, M., Razavi, S. H., Rezaei, K., & Gilani, K. (2011). Spray drying microencapsulation of natural canthaxanthin using soluble soybean polysaccharide as a carrier. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 63-69. doi:<https://doi.org/10.1007/s10068-011-0009-6> (in Persian)
- Hundre, S. Y., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.016>
- Kamali, A., Sharayei, P., Niazmand, R., & Eynafshar, S. (2013). Effect of different concentration of maltodextrin and polyvinylpyrrolidone on stability of saffron's effective compounds microencapsulated by spray drying. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 1(4), 241-254. doi:<https://dx.doi.org/10.22101/jrifst.2013.03.15.142> (in Persian)
- Khatibzadeh, M., & Jafarzadeh, M. (2016, May). *Copygmentation of saffron petal anthocyanin with organic acids and evaluation of the effect of pH, concentration and type of copigment on it* Paper presented at the 2<sup>nd</sup> International Conference on Research Achievements in Chemistry & Chemical Engineering, Tehran, Iran, May 5, 2016. <https://civilica.com/doc/477866/> (in Persian)
- Martelli, G., Folli, C., Visai, L., Daglia, M., & Ferrari, D. (2014). Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* for food industry applications. *Process Biochemistry*, 49(1), 154-159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.10.008>
- Medina-Torres, L., Santiago-Adame, R., Calderas, F., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., . . . Manero, O. (2016). Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (*Litsea glaucescens*) with maltodextrin. *Industrial Crops and Products*, 90, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.009>
- Muhammad Farhadi, C., Aalami, M., Kadkhodae, R., Maghsoudlou, Y., & Milani, E. (2018). Effect of therosonication and thermal treatments on phytochemical stability of barberry juice copigmented with ferulic acid and licorice extract. *Innovative food science & emerging technologies*, 50, 102-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.09.004>
- Najaf Najafi, M., Kadkhodae, R., Mortazavi, S. A., & Tabatabaei Yazdi, F. (2010). Influence of Hi-Cap 100 and Tween 80 Interaction on the Properties of Cardamom Oil-in-water Emulsion and its Microcapsules. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(4), -. doi:<https://dx.doi.org/10.22067/ifstrj.v6i4.9282> (in Persian)
- Pang, S. F., Yusoff, M. M., & Gimbin, J. (2014). Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. *Food Hydrocolloids*, 37, 159-165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.022>
- Purnamayati, L., Dewi, E., & Kurniasih, R. (2018). Phycocyanin stability in microcapsules processed by spray drying method using different inlet temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116, 012076. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/116/1/012076>
- Rahman, D. Y., Sarian, F. D., van Wijk, A., Martinez-Garcia, M., & van der Maarel, M. J. E. C. (2017). Thermostable phycocyanin from the red microalga *Cyanidioschyzon merolae*, a new natural blue food colorant. *Journal of Applied Phycology*, 29(3), 1233-1239. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-016-1007-0>
- Santana, A. A., Cano-Higueta, D. M., de Oliveira, R. A., & Telis, V. R. N. (2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, 212, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.148>
- Shabanpour, B., Mehrad, B., Pourashouri, P., & jafari, s. m. (2018). The Effect of Wall Material and Encapsulation Method on Physicochemical Properties Micro-encapsulated Fish Oil. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 7(1), 13-28. doi:<http://dx.doi.org/10.22101/jrifst.2018.05.19.712> (in Persian)
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>

- Tonon, R., Brabet, C., & Hubinger, M. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of food engineering*, 88(3), 411-418. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Vatankhah Lotfabadi, S., Mortazavi, S. A., Yeganehzad, S., & Sadeghian, A. (2017). Evaluation of type and concentration of wall materials in D-Limonene microencapsulation to determination of optimum condition for flavored rock candy production. *Innovative Food Technologies*, 5(2), 159-176. doi:<https://dx.doi.org/10.22104/jift.2017.512> (in Persian)
- Zhang, S., Zhang, Z., Dadmohammadi, Y., Li, Y., Jaiswal, A., & Abbaspourrad, A. (2021). Whey protein improves the stability of C-phycoerythrin in acidified conditions during light storage. *Food Chemistry*, 344, 128642. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128642>

## Evaluation of the Effect of Different Copigmenting Compounds on the pH Stability of Phycocyanin Pigment

Reza Karazhyan<sup>1\*</sup>, Maryam Ameri<sup>1</sup>, Najme Gord-Noshahri<sup>1</sup>, Ahmad Ehtiati<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Industrial Biotechnology on Microorganisms, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

\* Corresponding author (Reza\_karazhyan2002@yahoo.com)

2- Department of Food Quality and Safety, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

### Abstract

Phycocyanin is a pigment extracted from *Spirulina platensis* and can be a good alternative to synthetic dyes in various industries, including the food industry. The aim of this study was to stabilize phycocyanin and evaluate the method in pigment stability under different pH conditions. Phycocyanin (500 ppm) in solutions at three pH (3, 5, and 7) with different ratios (0, 75, 150, 225, and 300 ppm) of rosemarinic acid, tannic acid, digallic acid was mixed as a copolymer. These solutions were placed in cylindrical containers of the same size against a light source with an intensity of 7000 lux at ambient temperature. The color changes of the solutions were examined over 14 days. The structure of the microcapsules was examined using a scanning electron microscope. The average particle diameter size and zeta potential measurement of microcapsules were determined using a special particle measuring device. The results of pigment stability study showed that the use of tannic acid as a copigmenting compound has a higher resistance effect on phycocyanin and the concentration of 300 ppm has the highest resistance. The comparison of SEM showed that microcapsules containing maltodextrin were spherical with a smoother surface and had fewer wrinkles than those made with Arabic gum. The most stable pigment treatment is related to maltodextrin coating in the ratio of acid to pigment at pH=7 and the lowest pigment stability in the ratio of 0.4 times acid to pigment at pH=3. The particle size of microcapsules with different ratios in wall compositions varies between 159.2969 to 6006.637 nm. Also, the scattering index in the microcapsule varies between 0.299547 to 3.252826, which indicates the high dispersion of particles and the heterogeneity of particle size.

**Keywords:** Copigmentation, Phycocyanin, Stability