



تهیه و فرمولاسیون گرید خوراکی رنگ طبیعی قرمز بتالاین از چغندر قرمز و میوه کاکتوس قرمز

ذاکر بحرینی*

استادیار، گروه صنایع شیمیایی آلی و دارویی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

(تاریخ دریافت: 95/5/26، تاریخ پذیرش: 95/8/8)

چکیده

رنگ‌های خوراکی گیاهی به دلیل خوراکی بودن اصل گیاه به طور معمول بدون زیان تلقی می‌شوند. طبیعت انواعی از رنگدانه‌های روشن و دارای ارزش تجاری را برای غذاها فراهم می‌آورد. از جمله رنگ‌های خوراکی طبیعی بتانین می‌باشد. بتالاین‌ها و یا بتانین‌ها (CI Natural Red 33, E162) رنگدانه‌های گیاهی دارای نیتروژن هستند که فام آن‌ها دامنه‌ای از قرمز-بنفش (بتاسیانین) تا زرد (بتازانتین) را در بر می‌گیرد. این مواد برای ایجاد رنگ در فراورده‌های لبنی، گوشتی و انواع دسرها به کار می‌روند که به صورت عصاره تغلیظ شده و یا پودر در دسترس می‌باشند. بتالاین‌ها علاوه بر مصرف به عنوان رنگ خوراکی، به دلیل خواص ضدالتهابی، ضداکسیدانی و ضدسرطانی مورد توجه بیش‌تری قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، پودر قرمز رنگدانه با فرمولاسیون مناسب برای مصرف خوراکی با فناوری ریزپوشش دهی و خشک‌کن پاششی در مقیاس آزمایشگاهی از چغندر قرمز و میوه کاکتوس قرمز تهیه شده است. چغندر قرمز و کاکتوس از بازار محلی تهیه، با آب شسته، پوست کنده، به قطعات ریز تبدیل و یکنواخت شده است. عصاره یکنواخت شده صاف گردیده و با مالتودکسترین و اسکوربیک اسید مخلوط و با خشک‌کن پاششی خشک گردید. پارامترهای موثر در بازده مانند نسبت حلال به ماده جامد، pH و دما مورد مطالعه واقع شد. میزان مقایسه‌ای رنگینه موجود در گیاهان، پارامترهای رنگ سنجی و اجزاء به وسیله دستگاه‌های اسپکتروفوتومتر و HPLC آنالیز شد. نتایج نشان داد نسبت وزنی 1:1 از حلال آب و محصول، دمای 80-100 درجه سلسیوس، pH برابر 5/0، استخراج بازده مطلوب دارد. افزودن مالتودکسترین و اسکوربیک اسید به نسبت وزنی 1٪ نیز برای پوشش‌دهی و خشک کردن مفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتالاین، بتاسیانین، چغندر قرمز، کاکتوس قرمز، رنگ خوراکی قرمز.

1- مقدمه

1-1- رنگ کردن غذا

پدیده رنگ همواره به اشکال مختلف مانند طبیعت، نور، لباس، تجهیزات و خوراک بر زندگی انسان‌ها از جمله بر حالات روحی و ادراکی آن‌ها اثر می‌گذارد. اگرچه انتخاب بسیاری از رنگ‌ها توسط انسان ناخودآگاه است، اما رنگ غذا به‌عنوان یکی از نخستین ویژگی‌های مورد توجه مصرف‌کننده که جنبه بصری دارد، عاملی مهم در مقبولیت غذا است. قبل از آن که یک فرد مزه غذا را بچشد، رغبت خرید محصول، از راه رنگ آن در وی بر انگیخته می‌شود. یک رنگ جذاب، کیفیت و تازگی غذا را تداعی می‌کند که موجب انتخاب مصرف‌کننده می‌شود. رنگ می‌تواند بر اشتهای افراد نیز اثر مثبت یا منفی داشته باشد. میوه کال یا رسیده، مزه تند و ترش یا تازگی فراورده با رنگ درآمیخته است. براساس این تاثیرات اولیه، داوری این‌که آیا غذا برای خوردن سالم است یا خیر شکل می‌گیرد. اگر رنگ غذا با طعم سازگار نباشد، ممکن است در برخی موارد طعمی غیرواقعی تداعی شود. به طور مثال نوشابه با طعم پرتقال اگر سبز رنگ باشد، مزه لیمو را تداعی خواهد کرد، در حالی‌که همان طعم با رنگ نارنجی تداعی مزه معمول را دارد. همه افراد از کودکی عادت کرده‌اند که برای هر غذایی جلوه‌ای خاص در نظر بگیرند. تجربه نشان داده است هنگامی که رنگ غذا با انتظار فرد هماهنگی نداشته باشد، پذیرش آن اگر ناممکن نباشد، دشوار است. از آن‌جا که رنگ با این توقعات و داوری‌ها ارتباط نزدیک دارد، افزایش رنگ به آن، این امور را برآورده می‌کند. افزایش رنگ به غذا به‌منظور ارتقاء کیفیت قدمت طولانی دارد که حداقل می‌توان گفت از 1500 قبل از میلاد مسیح به‌وسیله مصری‌ها انجام می‌شده است [1-3].

بسیاری از خوراکی‌های خام هم‌چون میوه‌ها و سبزی‌ها رنگ جذاب و روشن دارند. به هر حال رنگ بسیاری از خوراکی‌ها در حین فراوری دچار تغییر می‌شود. اگر به برخی از خوراکی‌ها مانند شیرینی‌ها، بستنی‌ها و یا نوشابه‌های طعم‌دار رنگ نیفزایند بی‌رنگ و یا خاکستری جلوه می‌کنند. بنابراین رنگ یک امر اصلی در غذا است و تولیدکنندگان سعی در طبیعی نشان دادن آن دارند. افزودن رنگ به غذاها با استفاده از رنگ در دیگر نیازهای زندگی تفاوت‌های زیادی دارد. در این‌جا هنر،

علم و مقررات در کنار هم قرار می‌گیرند. در بسیاری از کشورها، به‌علت جذابیت طبیعی خوراکی‌ها به آن‌ها رنگ نمی‌افزایند. با این وجود بنا به دلایل ذیل عمده خوراکی‌ها رنگ می‌شوند [4].

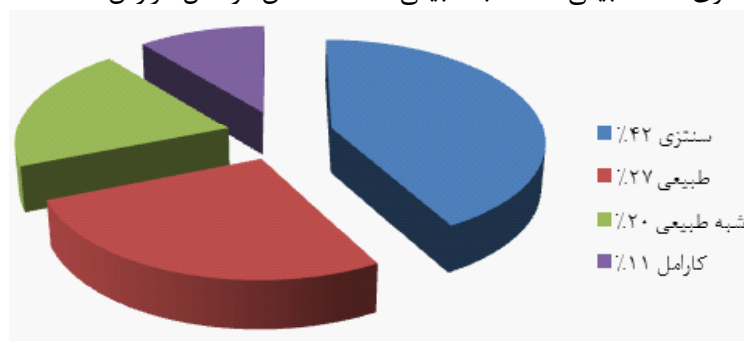
- 1) جایگزینی رنگ از دست رفته در حین فراوری و بازیافت جلوه اولیه آن،
- 2) افزایش رنگ موجود در غذا و اطمینان از یکنواختی آن به‌علت ناهمگونی در اجزاء رنگ‌های طبیعی،
- 3) کاهش تغییرات رنگ در حین فراوری و یا تنوع آن با توجه به اقلیم یا فصل سال،
- 4) ایجاد رنگ در غذاهای طبیعی بدون رنگ و
- 5) هماهنگی با ذائقه مشتری جهت برآورد کردن توقعات و جذاب و طبیعی نشان دادن کیفیت آن از راه بینایی [3، 5].

در کشورهای مختلف نوع و مقدار رنگ مصرفی با توجه به ملاحظات فرهنگی و بهداشتی فرق دارد. باید توجه داشت که رنگ افزودنی به غذا با آن واکنش شیمیایی نامطلوب ندهد و هم‌چنین باید بین جلوه ظاهری غذا با زمینه رنگ تفاوت قائل شد. امروزه در بسیاری از صنایع فراوری غذا، از دانش متخصصین رنگ خوراکی آگاه به متغیرهای موثر در غذا استفاده می‌شود. در بسیاری از کشورها مقررات محدودکننده‌ای برای مصرف رنگ در غذاها وضع شده است. چون همه غذاها نیاز به رنگ ندارند و هر رنگی نیز کاربرد معینی دارد.

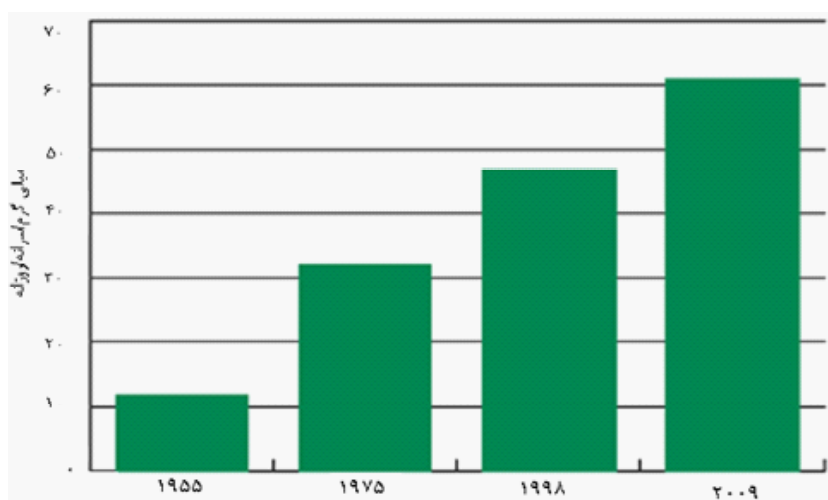
طی چند دهه گذشته فاکتورهای متعدد اجتماعی، فنی و اقتصادی بر صنایع غذایی تاثیر گذاشته است. فرایندهای زیادی به‌منظور بهبود کیفیت و جلب نظر مشتریان خوراکی‌ها عملی شده است. در همین راستا صنایع تولید رنگ بر آن است که دامنه‌ای از رنگ‌ها را تدارک ببیند که دارای خواص و فرمولاسیون مطلوب بوده تا بتواند در صنایع خوراکی نقش موثر ایفا نماید. پس از رونق علم شیمی تعداد رنگ‌های مصرفی در خوراکی‌ها اعم از طبیعی و سنتزی فزونی یافت. به‌گونه‌ای که از قرمز سرب (Pb_3O_4) و ورمیلیون (HgS) برای رنگ کردن پنیر و قنادی استفاده می‌شد. از آرسنیات مس به‌منظور رنگ مجدد چای مصرفی استفاده شد تا این‌که افزودن نوعی رنگ به دسر در سال 1860 منجر به مرگ شد [6]. از سال 1865 به بعد که رنگ‌های سنتزی رواج یافت مصرف بدون مراقبت آن‌ها در غذاها نیز زیاد گردید. حتی در سال 1900 بسیاری

20٪ و کارامل‌ها 11٪ را بخود اختصاص داده‌اند. با توجه به گرایش روزافزون مردم به مصرف رنگ‌های خوراکی طبیعی نرخ رشد رنگ خوراکی 10-5٪ در سال برآورد می‌شود. در اتحادیه اروپا 43 رنگینه به‌عنوان افزودنی مجاز به مواد غذایی تصویب شده که به هر کدام یک کد مخصوص با نماد E اختصاص یافته است. از این تعداد 17 قلم سنتزی و 26 قلم طبیعی و یا سنتزی شبه طبیعی است. در آمریکا 7 رنگینه سنتزی مجاز شمرده می‌شود. از بین رنگینه‌های مشابه طبیعی بتا-کاروتن بخش مهمی از بازار (17٪ بازار جهانی و 40٪ بازار اروپا) را به‌خود اختصاص داده است که تخمین زده می‌شود سالانه به 500 تن برسد. ارزش کاروتنوئیدها برابر 887 میلیون دلار، بتا-کاروتن 242 میلیون دلار، کارامل‌ها 112 میلیون دلار و بقیه رنگ‌های طبیعی 353 میلیون دلار برآورد شده است. با احتساب نرخ رشد 3٪ در سال 2018 مصرف کاروتنوئیدها به 1/4 میلیارد دلار نیز خواهد رسید. میزان تولید بتالاین‌ها تا 96000 تن در سال گزارش شده است [7-10].

از رنگ‌های خوراکی سنتزی مصرفی از مشتقات آنیلین و قطران زغال سنگ بود. رنگ‌های سنتزی به‌علت ارزانی، فراوانی، پایداری و چشمگیر بودن بیش‌تر رنگ‌های طبیعی را تا حد زیادی به حاشیه راند. بعدها با توجه به عواقب سوء بهداشتی جهت مصرف رنگ‌های خوراکی سنتزی و طبیعی مقررات سختگیرانه‌ای وضع شد [6]. صنعت غذا بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری‌های کشورهای را به‌خود اختصاص داده است. بازار رنگ‌های خوراکی طبیعی امیدواری زیادی را ایجاد کرده است. قابلیت بازار جهانی رنگ‌های خوراکی به‌ترتیب در سال‌های 2000، 2005 و 2010 برابر 2400، 3000 و 8000 تن بوده و رشد سالانه بازار رنگ‌های غذایی طبیعی 10-15٪ می‌باشد. اگرچه آمار دقیق و قابل اعتمادی در مورد مصرف رنگ‌ها در دسترس نیست، با این وجود، ارزش جهانی فعلی آن حدود 1/15 میلیارد دلار می‌شود که در شکل‌های (1) و (2) سهم نوع رنگ و مصرف روزانه/سرانه نشان داده شده است [6]. در این تخمین رنگ‌های سنتزی 42٪، طبیعی 27٪، شبه طبیعی



شکل (1) سهم انواع رنگ‌های خوراکی در بازار جهانی [6]



شکل (2) مصرف رنگ‌های خوراکی روزانه/سرانه (بر اساس گزارش FDA) [6]

2-1- رنگینه‌های افزودنی عمده و اصلی

رنگینه‌های گیاهی چهار دسته‌اند، که عبارتند از کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و بتالاین‌ها که به‌عنوان رنگ‌های خوراکی اصلی در نظر گرفته می‌شوند. اگرچه پایداری رنگ‌های خوراکی طبیعی از نوع سنتزی کم‌تر است، اما لازم است خواص آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

3-1- بتالاین (فام‌های قرمز - صورتی - E162)

منبع اصلی بتالاین خوراکی چغندر قرمز (Beta Vulgaris) است. اخیراً از کاکتوس قرمز (Prickly pear) نیز آن را تهیه نموده‌اند. بتالاین‌ها همانند آنتوسیانین‌ها در آب محلولند. این رنگینه‌ها دو گروه ساختاری دارند، بتاسیانین‌های قرمز- بنفش و بتازانتین زرد (شکل 3). بتاسیانیدین‌ها درهم آمیخته (گانژوگه) سیکلودوپا و بتالامیک اسید و بتازانتین‌ها درهم آمیخته اسیدهای آمینه، آمین‌ها و بتالامیک اسید هستند. همانند آنتوسیانین‌ها، بتاسیانیدین‌ها (آگلیکن‌ها) اغلب گلیکوزیده شده‌اند که به آن‌ها بتاسیانین گفته می‌شود و قسمت قندی آن ممکن است آسیله شده باشد. تاکنون فقط رنگ قرمز حاصل از چغندر یا در واقع همان بتانین به‌عنوان رنگ غذایی تصویب شده است. برخی از چغندرها تا حدود 100 تا 200 میلی‌گرم بتاسیانین به ازاء 100 گرم ماده اولیه تازه و یا 38-16 میلی‌گرم به ازاء 100 گرم از محصول خشک را فراهم می‌آورند [11]. در مواردی مقدار بتالاین در منبع اصلی آن چغندر قرمز برابر 130 میلی‌گرم خالص به ازاء 100 گرم چغندر تازه و گاهی نیز 450 میلی‌گرم نیز گزارش شده است. متوسط محتوای بتانین در نمونه‌های پودر حاصل از کاکتوس 56 میلی‌گرم خالص در 100 گرم کاکتوس تازه می‌باشد. هنگامی که عصاره چغندر قرمز به‌عنوان عامل رنگ مصرف می‌شود، برای عاری شدن از میکروارگانسیم‌ها پاستوریزه می‌شود. این عصاره می‌تواند تا 70% قند و 0/5% رنگدانه بتانین داشته باشد. با تخمیر و حذف الکل نیز در مراحل تخمیر می‌توان محتوای رنگی را افزایش داد [12]، [13]. همانند دیگر رنگ‌ها، عصاره چغندر را می‌توان با تکنیک خشک‌کن پاششی، خشک نمود و پودر به‌دست آورد. چون بتانین رنگی قوی است، برای ایجاد رنگ در غذاها و نوشابه‌ها اندکی از آن کافی است. بتانین به حرارت کاملاً حساس بوده و

اگر مقدار آب نوشابه زیاد باشد مستعد اکسید شدن است. در pHهای 3 تا 7 در غذاها پایدار می‌ماند و pH بهینه آن 4/5 می‌باشد و بنابراین به‌راحتی می‌توان در کوتاه مدت در مواد غذایی از آن به‌جای آنتوسیانین استفاده نمود. در صورتی که برای طولانی مدت حرارت داده شود، به رنگ قهوه‌ای در می‌آید که مناسب برای غذاها نمی‌باشد. اما برای غذاهای سرد شده مناسب است. بهتر است رنگ در مرحله آخر فرایند افزوده شود تا تحت تاثیر حرارت آسیب نبیند. اگر مقدار قند زیاد و یا آب کم باشد مقاومت حرارتی آن بیش‌تر است. به‌منظور مقاومت در برابر اکسیداسیون به آن آنتی اکسیدان (به‌طور معمول به میزان 1% اسید اسکوربیک) افزوده می‌شود [14، 16].

1-3-1- بتالاین‌ها به‌عنوان رنگ خوراکی

این رنگدانه به‌طور معمول به مقدار 25-4 میلی‌گرم در کیلوگرم غذاها با توجه به نوع مصرف متفاوت است. برای حصول فام مطلوب غلظت اندکی از رنگینه کفایت می‌کند که به‌ندرت از 50 میلی‌گرم به ازاء یک کیلوگرم غذا تجاوز می‌کند. حد ترجیحی مجاز برای مصرف روزانه بتالاین از 10 تا 50 میلی‌گرم بیان شده است. مقدار بتانین که روزانه از طریق غذا می‌تواند جذب بدن انسان شود، حدود 0/5 تا 2 میلی‌گرم است. مقدار آنتوسیانین جذبی حدود 12/5 میلی‌گرم در روز است. بر اساس مصوب FDA مقدار مجاز رنگ خوراکی مصرفی هر فرد (با وزن 60 کیلوگرم) در روز 59 میلی‌گرم است. در بسیاری از کشورها مقدار رنگ خوراکی افزودنی به غذا در حدود یک صدم درصد وزنی/ وزنی است. رنگدانه‌های تجاری حاصل از چغندر قرمز به دو صورت کنسانتره (تولید شده تحت خلا با محتوای 65-60% مقدار کل جامد) و یا پودر (با محتوای 0/3 تا 1 درصد) در بازار در دسترس هستند. گفته می‌شود به‌علت طعم خاکی این محصول که ناشی از وجود ترکیبات جئوسمین (geosmin) و پایرازین (pyrazine) در آن است، برای رنگی کردن فراورده‌های لبنی مطلوب نمی‌باشد، ضمن آن که فقدان این طعم در عصاره کاکتوس یک مزیت محسوب می‌شود. در جدول (1) نوع غذاها و میزان تقریبی بتالاین مورد نیاز آورده شده است [12، 13].

محققان در نقاط مختلف دنیا با توجه به شرایط اقلیمی و

جدول (1) کاربرد بتالاین به عنوان رنگ در محصولات غذایی [12، 13]

نوع غذا	فام	میزان مجاز مصرفی (درصد وزنی)
محصولات لبنی	-	-
ماست توت فرنگی	صورتی- رز	0/09
بستنی	صورتی	0/025
محصولات گوشتی	-	-
سوسیس	صورتی	600 میلیگرم بر 100 گرم
ران، ژامبون پخته (ham)	صورتی-قهوه ای	0/17
نوشیدنی ها	صورتی-قرمز	1/5 - 1/0
بستنی های یخی	قرمز	1/0 - 0/5
پاستیل	قرمز	0/4
کرم بیسکویت	صورتی-قهوه ای	2/5
ژله ها	صورتی	0/1

و همکاران [23] اثر هم افزایی (سینرژیک) مخلوط بتانین و آنتوسانین در شدت رنگ حاصل به منظور تهیه رنگ خوراکی را بررسی و نتیجه گرفتند که در pH برابر 3/5 فام مطلوب حاصل شده است. کاویتا و ونکاتاسوب [24] از روش های میکروویو و فراصوت جهت استخراج بتانین کمک گرفته و نشان دادند که در توان های 900 و 1800 وات اعمال شده بازده به ترتیب 7٪ و 19٪ به دست آمده و استفاده از روش فراصوت با توجه به منشأ اقلیمی ماده اولیه از 13 تا 100٪ بازده داشته اند. در مطالعات کریستین هرپیج [25] پایداری و مسیر تجزیه بتانین تحت شرایط مختلف عمل آوری بررسی شده و تعداد زیادی از مشتقات ناشی از فروپاشی رنگدانه گزارش شده است.

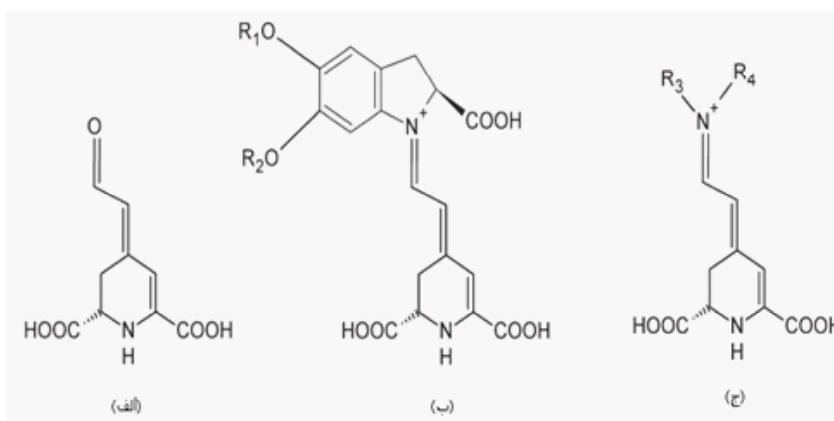
در این مطالعه روش بهینه استخراج، پوشش دهی و فرمولاسیون گرید خوراکی بتالاین و پارامترهای موثر بر بازده به طور مقایسه ای برای رنگینه حاصل از چغندر قرمز محلی و کاکتوس قرمز دریافتی از شمال کشور بررسی شده است.

2- مواد و روش ها

2-1- مواد

ریشه چغندر قرمز، میوه کاکتوس قرمز، مالتودکسترین و صمغ عربی با گرید خوراکی، اسید اسکوربیک، سیلیکاژل، بافر سترات-فسفات، استونیتربیل، اتانل، اتیل استات (آزمایشگاهی، مرک).

نوع محصول محلی در خصوص استخراج بتالاین ها و هم چنین بتانین ها از چغندر قرمز و کاکتوس با تکنیک های مشابه و یا متفاوت برای بررسی جنبه های متنوع مربوط به آن اقدام نموده اند. آوورا استورزوا و همکاران [17] پارامترهای موثر در غلظت رنگدانه و حلالیت آن در حلال های مختلف را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده اند که محلول های آبی 1٪ اسید اسکوربیک، 2٪ اسید سیتریک و یا اتانل 20٪ همراه با 5٪ اسید اسکوربیک از جمله بهترین حلال ها هستند. النا و همکاران [18] رنگدانه قرمز حاصل از کاکتوس بومی مکزیک را مورد کمیّت سنجی قرار داده و مدعی شده اند که توانسته اند مقدار 8/1 میلی گرم رنگدانه را به ازاء هر گرم پودر خشک میوه استحصال کنند و در مقایسه با بازده 8/6 میلی گرم رنگ با همان نسبت از چغندر قرمز کار را رضایت بخش دانسته اند. بوریس نمزر و دیگران [19] اجزاء و مشتقات حاصل از تجزیه و فروپاشی بتانین را در حین فراوری با فناوری های خشک کن پاششی و خشک کن انجمادی مطالعه نموده و ضمن ارائه اجزاء فراوان حاصل به این نتیجه رسیده اند که در روش خشک کردن انجمادی بازده 41٪ به دست می آید. پیتالوا و پیتر [20، 21] خواص آنتی اکسیدانی رنگدانه را گزارش نموده اند. سای و همکاران [22] اثر دما را در پوشینه کردن بتالاین با مواد مختلف در فناوری خشک کن پاششی با دمای بهینه ورودی 180 و خروجی 90 درجه سلسیوس گزارش نموده اند. فلورینا



شکل (3) ساختار شیمیایی بتالامیک اسید (الف)، بتاسیانین‌ها (ب) و بتازانتین‌ها (ج)، R_1 و R_2 = هیدروژن، گروه آسیل و یا قندی، R_3 = گروه آمینو یا آمینو اسید، R_4 = به‌طور معمول هیدروژن [11-13]

2-2- استخراج عصاره

نسبت برای حجم آب و وزن ماده مصرفی در دمای 100 درجه سلسیوس و میزان محصول به‌دست آید، به انجام رسید. البته تمام عصاره‌ها صاف شده تا عاری از پالپ شده و این نسبت به تعداد چند مرتبه تکرار شدند. مقدار کل بتالاین حاصله از 5 گرم پالپ در حجم‌های نامبرده آب به‌ترتیب عبارتند از 25/5، 24/9، 24/2 میلی‌گرم بر لیتر.

2-4- اثر دما بر بازده استخراج رنگدانه

مقدار 5 گرم از پالپ را در مقدار بهینه آب حل نموده و در دماهای اتاق، 40، 60، 80 و 100 درجه سلسیوس برای مدت 10 دقیقه اقدام به استخراج رنگدانه نموده تا دمای بهینه به‌دست آید. مقدار کل بتالاین به‌دست آمده در دماهای 40، 60، 80 و 100 درجه سلسیوس به‌ترتیب عبارتند از 26/1، 25/6، 26/1 و 25/7 میلی‌گرم بر لیتر.

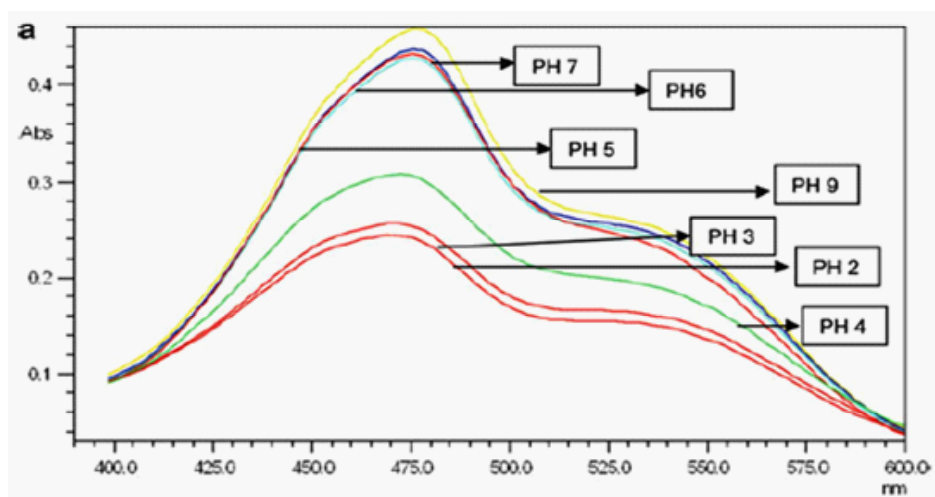
2-5- اثر pH در پایداری رنگدانه

اثر تغییرات pH در پایداری عصاره‌ها در دامنه pH برابر 1 تا 9 بررسی شد. در این آزمون‌ها 2 میلی‌لیتر از محلول استخراجی با بافر 6/0 (سیترات-فسفات) [22] مربوطه آماده و در لوله آزمایش حفاظت شده در برابر نور در دمای اتاق به‌مدت 7 روز نگهداری شد و محتوای رنگی (بر مبنای جذب) آن‌ها اندازه‌گیری شد که در شکل (4) آورده شده است. از منحنی جذب مشاهده می‌شود که پیک حداکثر جذبی در تمام pHها ثابت است، اما مقدار جذب به‌دلیل تولید اپیمر ایزوتانین

گیاه تازه شامل چغندر قرمز و کاکتوس قرمز از بازار محلی تهیه گردید. با آب سرد شسته و با دست و هم‌چنین دستگاه آسیاب به تکه‌های ریز تبدیل شد. سپس با دستگاه آبمیوه‌گیری از نوع Moulinex mod. juice extractor, 140-1-03 عصاره آن گرفته شد. در روش دیگر نمونه‌ها به داخل بشری 2/5 لیتری انتقال داده شد و آب تا حد پوشانیدن سطح نمونه (به‌طور معمول نسبت وزنی 1:1) به آن اضافه گردید. در دمای 80-100 درجه سلسیوس به مدت 3 ساعت تا جایی که توده چغندر بی‌رنگ شود، عصاره استخراج گردید. به‌منظور حذف الیاف و مواد جامد دیگر این عصاره به‌وسیله پارچه نایلونی با روزه 0/2 تا 0/45 میکرومتر صاف گردید. pH عصاره به‌دست آمده از چغندر قرمز برابر 5/6 و کاکتوس قرمز 6/0 اندازه‌گیری شد. سپس عصاره تغلیظ گردید، به‌گونه‌ای که محتوی مواد جامد 0/6 درصد باشد. با وجود این‌که در منابع علمی استخراج با مخلوط آب و الکل (50:50) و افزودن کمی اسید توصیه شده است [22]، اما در عمل مشاهده گردید که بدون الکل و در واقع آب مقطر نیز عصاره‌گیری وضع مطلوبی دارد. در این راستا به منظور تعیین اثر پارامترهای مهم آزمایش‌های زیر به انجام رسید.

2-3- اثر حجم آب مصرفی در استخراج میزان رنگدانه

مقدار 5 گرم از پالپ نمونه را به‌ترتیب در 5، 10، 15 و 25 میلی‌لیتر از آب مقطر ریخته و عصاره‌گیری تا بهترین



شکل (4) اثر pH عصاره بر پایداری رنگدانه

افزایش یافته است.

از 400 گرم ماده خام عصاره حاصل از چغندر قرمز نزدیک به 100 گرم عصاره و در نهایت 7 گرم پودر خشک و برای کاکتوس مقدار 3 گرم پودر خشک (رنگ و مواد قندی) با همین شرایط بدون مالتودکستری و اسکوربیک اسید به دست آمد که البته مقدار رنگ خالص قطعاً کم تر خواهد بود و پس از فرمولاسیون این مقدار افزایش خواهد یافت. لازم به یادآوری است که در نوع تجاری این رنگینه‌ها نیز موادی قندی جدا نمی‌شوند.

6-2- پوشش دهی، فرمولاسیون و خشک کردن عصاره

علی‌رغم قابلیت بالای رنگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بتالاین‌ها تاکنون به‌طور فراگیر از سوی صنایع غذایی به‌عنوان افزودنی جای نیفتاده‌اند. این امر به دلیل ناپایداری آن‌ها برای مدت طولانی و یا مشکلات فنی از قبیل چسبندگی و کلوخه شدن می‌باشد [26]. پایداری این رنگینه‌ها تحت تاثیر عواملی همچون دما، نور، رطوبت، فعالیت آنزیم‌ها، pH و اکسیژن می‌باشد [27، 28]. با استفاده از فناوری پوشینه کردن می‌توان بر برخی از این مشکلات فائق آمد. به‌طور معمول پوشش‌دهی را فناوری‌ای می‌دانند که به‌واسطه آن یک ماده زیست فعال با یک پلیمر زیستی پوشش داده می‌شود تا برابر عوامل مخرب پایدار شود. یکی از روش‌های رایج پوشش‌دهی استفاده از خشک‌کن پاششی است [22]. به‌دست آوردن پودر کافی با محتوای اندک رطوبت با فناوری خشک‌کن پاششی از جمله نکات پر اهمیت است. کنسانتره حاصله با صمغ عربی و مالتودکستری به نسبت وزنی (3 افزودنی : 1 عصاره) و اسکوربیک اسید (1/0٪ وزنی) مخلوط و همگن شده و به‌وسیله خشک‌کن پاششی در دستگاه بوچی (Buchi-190) با دمای ورودی 160 و خروجی 80 درجه سلسیوس، سرعت پمپ 0/4 لیتر بر ساعت، فشار اتمایزر 5 بار و شدت جریان هوا 400 اسپری، اتمیزه و خشک گردید. در آزمایش‌های مختلف خشک کردن با این روش به‌طور متوسط

7-2- آنالیز

7-2-1- طیف جذبی و تعیین مقدار کلی بتالاین در کنسانتره

بر اساس روش نیلسون [29] می‌توان هر دو رنگدانه بتالاین قرمز و زرد را در عصاره بدون نیاز به جداسازی بتاسیانین‌ها و بتازانتین‌ها اندازه‌گیری نمود. تعیین مقداری آن‌ها با روش اسپکتروفوتومتری است که با استفاده از طول موج حداکثر جذبی و سپس تبدیل آن به غلظت عمل می‌شود. روش دیگر بر مبنای الکتروفورومتری است که روش جداسازی پیگمنت‌ها و آن‌گاه اندازه‌گیری شدت باندهای مربوط به دانسیتومتر است. نتایج بر حسب سطح زیر پیک و بر حسب سانتی‌متر مربع به دست می‌آید. اندازه‌گیری به‌وسیله اسپکتروفوتومتر و HPLC حدود 15٪ تفاوت دارد که به تاثیر حرارت کاربردی مربوط است.

صاف گردید و برای کروماتوگرافی ستونی آماده شد. ستون کروماتوگرافی به‌وسیله Silicagel 60 (machery nagel, Mn-kieselgel 60) پر گردید. آنگاه کنسانتره با pH برابر 5/3-6/3 از آن عبور داده شد. مواد خروجی به‌ترتیب زمانی و با توجه به تفاوت فام جمع آوری گردید. طیف اسپکتروفوتومتری مرئی آن‌ها گرفته شد. در این آزمایش از سیستم حلالی با نسبت وزنی (آب: 2 : استونیتریل 1: اتیل استات 1: اتانل 1) استفاده گردید. طیف‌های مربوطه در شکل‌های (5) و (6) ارائه شده‌اند.

2-7-3- آنالیز HPLC

نمونه‌های بتالاین استخراجی با استفاده از دستگاه Waters 486 با دکتور UV-VIS مورد آزمایش HPLC قرار گرفت. در این آنالیز ستون C18، حلال استونیتریل، حجم تزریق 10 میکرولیتر، سرعت جریان 0/5 میلی لیتر بر دقیقه، طول موج جذبی 538، 505، 480 و 533 نانومتر در 35 درجه سلسیوس در نظر بوده است. کروماتوگرام‌ها در شکل‌های (7) و (8) نشان داده شده‌اند که اجزاء عصاره با زمان بازدارندگی مندرج در جدول (2) متمایز می‌باشند. در کروماتوگرام HPLC پیک بتازانتین در طول موج 476 نانومتر در زمان بازدارندگی 15/6 دقیقه ظاهر شده است. پیک بتانیدین و ایزوبتانیدین با طول موج جذبی به‌ترتیب 541 و 537 نانومتر در زمان بازدارندگی 27/6 و 30/7 دقیقه پدیدار گردیده‌اند [30، 31].

2-7-4- پارامترهای رنگ‌سنجی

عصاره آبی رنگدانه با بافر 6/0 (سیترات-فسفات) رقیق شده و در محدوده 380-780 نانومتر با توجه به طول موج حداکثر جذبی و سل با طول 1 سانتی‌متر با دستگاه اسپکتروفوتومتر تحت نور D65 و زاویه دید 10 درجه مورد آزمایش CIE L* a* b* h0 قرار گرفت. این پارامترها بر روی دایره رنگ‌سنجی مختصاتی دارند و گویای میزان روشنایی = L* (L* برابر با صفر جسم سیاه، L* برابر با صد جسم سفید یا بی‌رنگ)، a* قرمزی (+a* قرمزی، -a* سبزی)، b* زردی (+b* زرد، -b* آبی) C* اشباع‌شدگی و h0 زاویه فام را نشان می‌دهد (زاویه 0 یا 360 درجه گویای فام قرمز، زاویه 90 فام

قبل از خشک کردن عصاره‌های صاف شده از هر دو نمونه گیاهی، حجم معینی از آن با آب مقطر تا 100 میلی‌لیتر رقیق گردید. طیف جذبی مرئی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر پرکین المر مدل 25 انجام شد. غلظت و بازده رنگدانه‌های بتاسیانین و بتازانتین به ترتیب بر حسب بتانین و ولگازانتین-I در طول موج‌های 538 و 480 نانومتر مطابق معادلات (1) و (2) محاسبه گردید. مقدار کلی محتوای رنگدانه بتالاین به‌صورت مجموع اجزاء بتاسیانین و بتازانتین بیان گردید که البته در جذب عصاره هر دو گیاه تفاوتی قابل ملاحظه مشاهده نگردید و با متون گزارش شده مطابقت دارد [15، 29].

$$BC(\text{mg/L}) = [(A \times DF \times MW \times 1000) / (e \times l)] \quad (1)$$

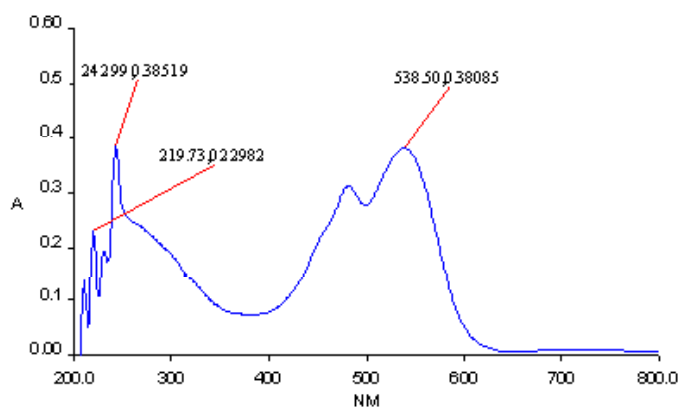
BC غلظت بتالاین، A جذب، DF فاکتور رقیق سازی، l طول سل (1 سانتی‌متر)، MW وزن مولکولی بتازانتین یا بتاسیانین، e ضریب خاموشی، (وزن ملکولی بتاسیانین 550 گرم بر مول (g/mol) و ضریب خاموشی 60000 لیتر بر مول سانتی‌متر (L/mol cm) در آب و وزن مولکولی بتازانتین 308 و ضریب خاموشی 48000 اعمال شد. بتاسیانین به میزان 7-8/5 میلی‌گرم در لیتر و بتازانتین به میزان 5/2 تا 5/8 میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. حداکثر بتالاین مشاهده شده از چغندر قرمز 557 میلی‌گرم در کیلوگرم و بتالاین مربوط به کاکتوس قرمز 4/0 میلی‌گرم در لیتر عصاره و 210 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده تازه بوده است که فام قرمز-ارغوانی دارد و با دیگر گزارش‌ها همخوانی نسبی دارد [14، 28، 30]. به‌نظر می‌رسد که بتازانتین عصاره کاکتوس بر اثر حرارت زایل شده است.

$$\text{Yield (\%)} = (W1 / W2 \times 100) \quad (2)$$

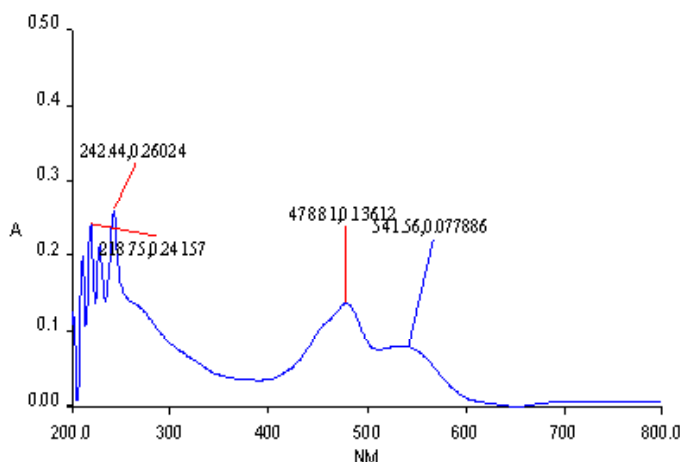
W1 وزن عصاره پس از تبخیر حلال و W2 وزن ماده خام مصرفی است.

2-7-2- تفکیک اجزاء عصاره

کنسانتره حاصل که محتوای بتالاین آن 0/6 درصد وزنی-وزنی است با پارچه نایلونی با روزنه 0/20 تا 0/45 میکرومتر



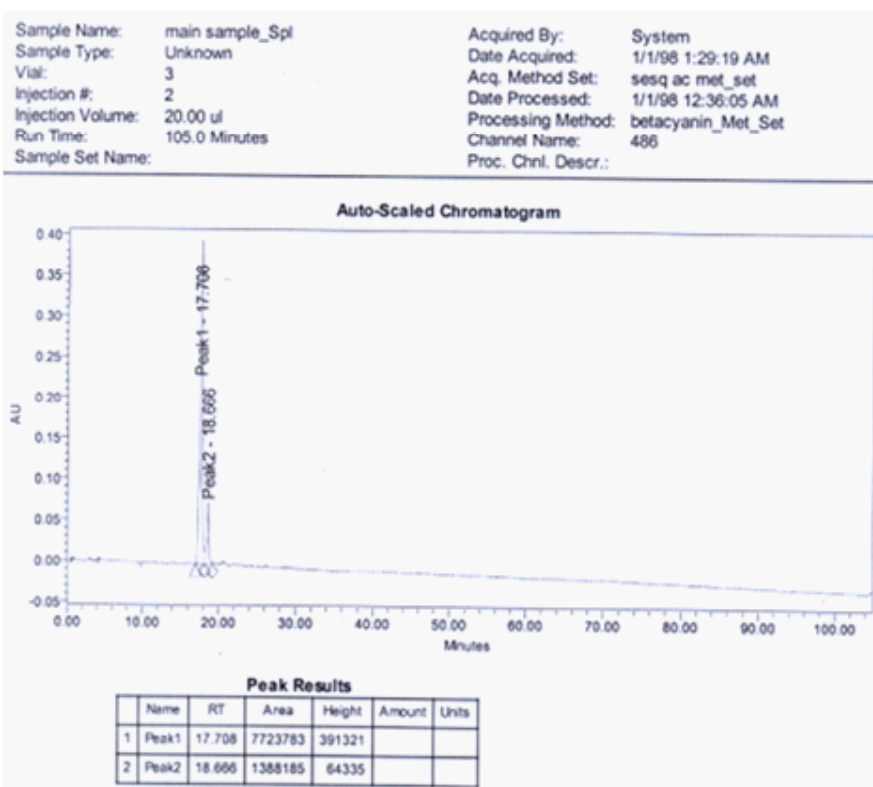
شکل (5) طیف جذبی مرئی بتاسیانین



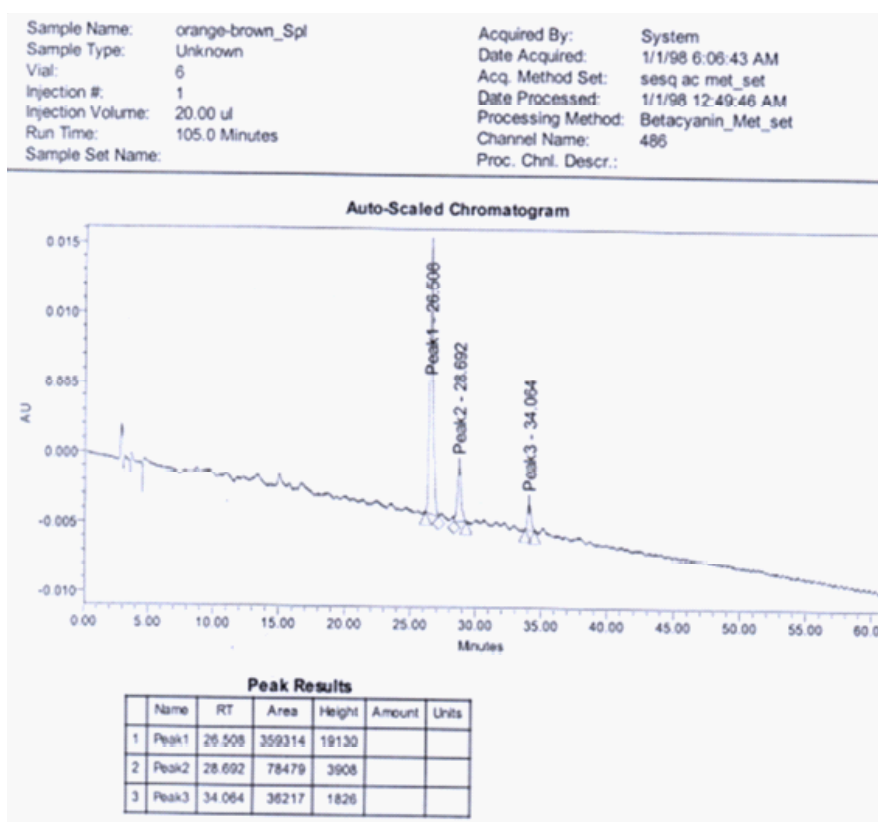
شکل (6) طیف جذبی مرئی بتازانتین

جدول (2) زمان بازدارندگی اجزاء عصاره بتالابین در HPLC [30-31]

شماره پیک	نام شیمیایی ترکیب (نام عامیانه ترکیب)	زمان بازدارندگی (دقیقه)	فام	طول موج حداکثر جذب (nm)
1	Cyclo-Dopa-5-O-β-glucoside	-	7/6	285
2	Glutamine-betaxanthin (Volgaxanthin I)	-	14/7	474
3	Betanidin-5-O- β-glucoside (betanin)	17/70	20/5	538
4	17-decarboxy-betanin	18/66	22/1	505
5	Iso-betalmic acid	-	23/1	410
6	Isobetanidin-5-O- β-glucoside (isobetanin)	-	24/1	538
7	17-decarboxy-isobetanin	26/49	26/1	505
8	betanidin	24/64	27/5	544
9	15-decarboxy-betanin	29/01	31/1	538
10	isobetanidin	-	33/3	538
11	Neobetanim, decarboxylated	34/064	33/4	453
12	Neobetanim-5-O- β-glucoside (neobetanim)	-	45/9	487



شکل (7) کروماتوگرام بتانین و ایزوبتانین



شکل (8) کروماتوگرام بتانیدین و نتوبتانین

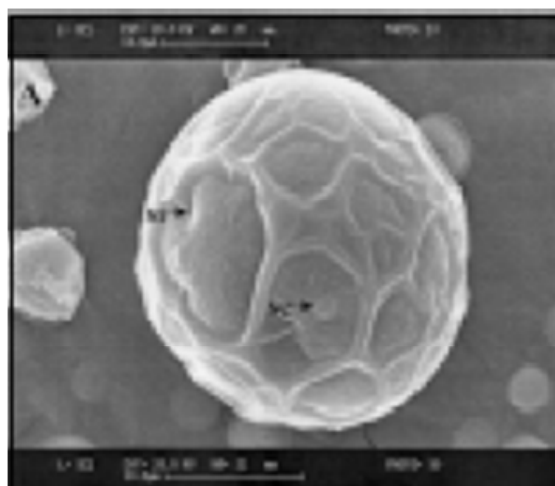
زرد، زاویه 180، فام سبز و زاویه 270 فام آبی). نتایج رنگ سنجی اجزاء عصاره در جدول (3) آورده شده است. به علت زایل شدن بتازانتین در اثر حرارت استخراج مقدار *b مشخص نیست [32].

2-7-5- طیف میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

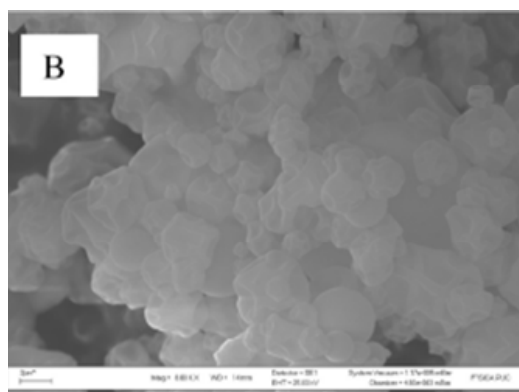
ساختار میکروسکوپی پودر بتالاین پوشینه و خشک شده حاصل از گیاهان نامبرده، با دستگاه Tescan SEM Mira 3 series (USA) مشخص گردید. آن را افزایش دهد. اسکوربیک اسید مصرفی به عنوان آنتی اکسیدان از تخریب و سیاه شدن آن ممانعت به عمل می‌آورد.

جدول (3) پارامترهای رنگ سنجی اجزاء عصاره بتالاین حاصل از چغندر قرمز و کاکتوس قرمز

نام رنگدانه	فام	L*	A*	B*	C*	H0
بتالاین چغندر قرمز	قرمز	62	22	-	65/5	21/1
بتالاین کاکتوس	ارغوانی	51/4	26	-	58	27



(الف)



(ب)

شکل (9) تصاویر SEM پودر بتالاین حاصل از (الف) چغندر قرمز پوشش داده شده و (ب) کاکتوس قرمز پوشش داده شده با مالتودکسترین و اسکوربیک اسید

3- نتایج و بحث

به‌طور معمول در استخراج رنگدانه از بافت گیاهی، محتوای رنگدانه با توجه به گونه گیاهی، اثر روش‌های مختلف استخراج شامل جوشانیدن، عصاره‌گیری با مخلوط کن، اولتراسوند، پرس، پارامترهای موثر در استخراج مانند میزان و نوع حلال، pH، دما و مدت زمان بررسی می‌شود. آزمایش‌های استفاده از ستون برای جداسازی اجزاء، آزمون TLC، رنگ‌سنجی در محدوده نور مرئی، طیف‌سنجی جذبی برای تعیین مقدار مواد، آنالیز HPLC و برای فرمولاسیون، افزودنی‌ها به نسبت‌های مختلف، روش‌های همگن نمودن و خشک کردن با استفاده از خشک‌کن پاششی، اثر مواد پوشش‌دهنده مانند مالتودکسترین و صمغ عربی و مواد آنتی‌اکسیدان (اسکوربیک اسید و یا توکوفرول) نیز در مورد پایداری و زمان ماندگاری بررسی می‌گردد. در این مطالعه با توجه به آزمایش‌های انجام شده توسط محققان بیان شده در پیشینه تحقیق، از تکرار برخی از کارها خودداری شده و سعی بر انجام روش‌های بهینه، به منظور فرمولاسیون رنگ استخراجی از دو گیاه چغندر قرمز و کاکتوس قرمز و مقایسه نتایج بوده است.

استخراج رنگدانه از گیاه هنگامی که در دمای اتاق و دمای 100 درجه سلسیوس انجام می‌شود، در فام (حتی در مقایسه‌ای چشمی و بدون استفاده از دستگاه) تفاوت محسوسی را نشان می‌دهد. عصاره استخراجی در دمای اتاق فام قرمز- ارغوانی و در دمای 100 درجه سلسیوس فام قرمز جگری دارد.

مقدار کل بتالاین حاصله از 5 گرم پالپ چغندر قرمز در حجم‌های مختلف آب عبارتند از 24/9، 25/3، 25/5 و 24/2 میلی‌گرم بر لیتر و بیش‌ترین مقدار با 5 گرم نمونه و 5 میلی‌لیتر آب به‌دست آمده است. هم‌چنین مقدار کل بتالاین به‌دست آمده در دماهای 40، 60، 80 و 100 درجه سلسیوس به‌ترتیب عبارتند از 26/1، 26/6، 26/1 و 25/7 و 26/2 میلی‌گرم بر لیتر که بیش‌ترین مقدار در دمای 100 درجه سلسیوس به‌دست آمده است. بنابراین بهترین نسبت حلال: ماده اولیه برابر 1:1 و مناسب‌ترین درجه حرارت استخراج عصاره 100 درجه سلسیوس تشخیص داده شد. این نتایج با گزارش‌های موجود در متون علمی [22] مبنی بر استفاده از حلال آب با نسبت 85 به 15 اتانل و اسیدی کردن مخلوط با اسید

کلریدریک 1/5 نرمال برای بهترین بازده و یا مصرف حلال آب مقطر در حضور اسید سیتریک 2٪ با تاثیر کم‌تر تفاوت دارد. مطابق شکل (4) اثر pH پالپ استخراجی و عصاره در مقادیر مختلف از آب تغییر معناداری را در بازده نشان نمی‌دهد. البته پایداری رنگدانه در pH پایین در حدود 1/5، 2 و 3 بهترین بوده است. pH نمونه‌ها پس از 7 روز در شرایط دمایی اتاق اندک تغییری را نشان می‌دهند. بیش‌ترین افزایش pH به نمونه نگه‌داری شده در دمای اتاق و قرار گرفته در معرض نور است، که از مقدار 5/25 در روز اول به 6/02 در روز 7 رسیده است. کم‌ترین تغییر برای نمونه‌هایی که در تاریکی و در دمای یخچال نگه‌داری شده‌اند که از pH 5/34 در روز اول به 5/4 در روز 7 رسیده است. در pH کم‌تر از 3/5 جذب آن‌ها به سمت طول موج کم‌تر و در pH بالای 7 به عکس می‌شود. میزان pH بهینه پایداری آن‌ها 5 تا 6 است. در pH قلیایی پیوند آلدیمین (Aldimine) هیدرولیز می‌شود و اگر دوباره اسیدی شود، بتالامیک اسید با گروه آمین واکنش تراکمی می‌دهد [15].

غلظت کلی بتالاین حاصل از چغندر قرمز نیز برای نمونه‌ای که در دمای یخچال نگه‌داری شده، تفاوت را نشان می‌دهد. در این نمونه مقدار بتالاین از 26/2 میلی‌گرم در لیتر در روز نخست به 94/78 میلی‌گرم در لیتر در روز 7 رسیده است. این تغییر می‌تواند ناشی از تغییر ساختاری، ترکیب مجدد و یا تجزیه باشد. زمانی که بتالاین در معرض عملیات حرارتی قرار می‌گیرد، تجزیه و تجمع آن بروز می‌کند. در این تغییرات ایزومریزاسیون، قندزدایی، کربوکسیل‌زدایی، هیدرولیز و فرایندهای دیگری رخ می‌دهد. در نتیجه بتالاین با فام قرمز-ارغوانی و جذب در 538 نانومتر به ایزوبتالاین با فام قرمز جگری تبدیل می‌شود [15]. پس از یک هفته نگه‌داری نمونه‌ها تراکم و بازتولید بتالاین از مواد هیدرولیز شده، غلظت آن افزایش می‌یابد. زمانی که بتاسیانین توسط آب استخراج می‌شود به‌علت خروج از ماتریس نگه‌دارنده دچار تغییر فام می‌گردد. بنابراین رنگدانه به‌منظور حفظ پایداری خود، احتمال تنظیم مجدد ساختار و بازتولید چند برابری خود را در قبال حلال انجام می‌دهد. زمانی که pH بالا مثلاً 6 باشد، با حضور ساختار پایه بتاسیانین و حلقه سیکلودوپا و کروموفور بتالامیک اسید، باز تولید بیش‌تر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بتاسیانین در

هرچه وزن مولکولی حامل (نشاسته معمولی و یا هیدرولیز شده یا همان مالتودکسترین) کم تر باشد، جذب رطوبت نمونه بیش تر می شود، زیرا حامل سبک تر، زنجیره کوتاه تری دارد و در نتیجه عوامل آب دوست آن بیش تر است. هرچه مقدار حامل افزایش یابد بقای بتاسیانین نیز افزایش می یابد.

میزان غلظت بتالاین پس از پوشش دادن و خشک کردن از 26/2 میلی گرم در لیتر در عصاره به 23/4 میلی گرم رسیده، یعنی تقریباً 89٪ آن باقی مانده است. میزان رطوبت پودر نیز در دو نمونه 3-5٪ مشاهده گردید. ارزش رنگی یا ارزش قرمزی (a) پودر و عصاره تفاوت محسوسی را نشان می دهد، به گونه ای که نمونه خشک شده با خشک کن پاششی با کاهش قرمزی روبه رو است [34].

تصویرهای SEM (شکل های 9-الف و 9-ب) اندازه ذرات پودر بتاسیانین را در دامنه ای از 5 میکرومتر تا 40 میکرومتر و به نوعی تجمع یافته نشان می دهد. ترک های مشاهده شده در تصویر 9-ب مربوط به رنگدانه حاصل از کاکتوس قرمز، می تواند ناشی از مالتودکسترین به کار رفته باشد. هرچه دمای خشک کردن افزایش یابد یا محتوای جامد کم تر باشد، اندازه ذرات بیش تر کاهش می یابد. زمانی که مقدار مالتودکسترین کم باشد، نواقصی در دیواره پوشش پدیدار می شود که پایداری نیز کاهش می یابد. اگر مقدار پوشش افزایش یابد ذرات بیش تر حالت کروی پیدا می کنند.

4- نتیجه گیری

در این مطالعه یک فرایند قابل انجام و مقرون به صرفه اقتصادی برای استخراج، فرمولاسیون و پوشینه کردن بتالاین از میوه کاکتوس و چغندر قرمز به صورت پودر بهینه سازی شد. افزودن اسکوربیک اسید به عنوان آنتی اکسیدان و استفاده از مالتودکسترین برای ریزپوشانی پودر رنگی بتالاین، موجب حفظ اجزاء فعال آن در برابر عوامل محیطی مانند نور، اکسیژن، رطوبت و حرارت شده است. پودر نهایی قدرت رنگی و ماندگاری مطلوبی را نشان می دهد. برخلاف بتالاین حاصل از چغندر که به علت محتوای دو ماده جئوسمین (geosmin) و پایرازین (pyrazines) اندکی بوی خاکی دارد، بتالاین حاصل از کاکتوس این طعم را ندارد. مزیت بتالاین حاصل از چغندر

شرایط نگهداری سخت و در برابر نور نیز توان بقاء دارد [15]. طیف های جذبی مواد استخراجی (شکل های 5 و 6) نشان می دهد که پیک حداکثر جذبی با حلال آب مقطر به ترتیب برای بتاسیانین، بتانین و بتازانتین در طول موج های 537، 538 و 478 نانومتر ظاهر شده است. اگر چه این طیف های جذبی با توجه با جدایش اجزاء و pH دچار اندک تغییراتی از قبیل طول موج و شدت جذب می شوند، بیش تر قدرت رنگی در pH 6/0 و طول موج 538 پدیدار شده است. این نتایج با گزارش های علمی دیگر همخوانی نسبی دارد [30].

افزایش دمای ورودی و خروجی خشک کن پاششی باعث کاهش مقدار کل پودر رنگی گردیده است. مالتودکسترین (نشاسته هیدرولیز شده) یک عامل پوشینه کردن مؤثر برای رنگ و طعم های حساس به عوامل محیطی است حامل های مختلفی برای پوشش دهی به کار می روند که ضخامت های متفاوتی را دور پیگمنت ایجاد می کنند [7-10].

افزایش مالتودکسترین و نشاسته به طور قابل ملاحظه ای به علت پوشش مناسب و جلوگیری از ورود هوا است، رطوبت گیری را کاهش و در نتیجه پایداری آن را افزایش می دهد. به همین نحو افزایش آنتی اکسیدان ها از جمله اسکوربیک اسید از تجزیه محصول جلوگیری می کند.

هرچه دمای خشک کردن افزایش یابد، دانسیته پودر کاهش می یابد. سرعت بالای خشک کن نیز احتمالاً به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم در خشک کن پاششی افزایش می یابد. هرچه دانسیته کم تر باشد، به علت محبوس شدن هوا در پودر و در نتیجه حضور بیش تر اکسیژن، احتمالاً تجزیه بیش تر و زمان نگهداری کم تر است. هرچه محتوای جامد و مقدار حامل نیز افزایش یابد، دانسیته بیش تر می گردد. چون بتاسیانین گروه های آب دوست زیادی دارد، رطوبت گیری آن مشهود است. با توجه به گزارش های علمی نرخ رطوبت گیری بتاسیانین با محتوای مختلف حامل مالتودکسترین از 45/5 گرم بر 100 گرم تا 49/2 گرم بر 100 گرم متغیر است. مالتودکسترین عامل مفیدی برای پوشش دهی و جلوگیری از رطوبت گیری و اکسایش است. در این بررسی نسبت عامل پوشش دهنده به ماده رنگی (3:1) بوده و در نتیجه میزان رطوبت پذیری مجدد بسیار کاهش یافته است [33].

بر ماده حاصل از کاکتوس در بازده محصول است که به نوعی به علت حضور مواد قندی بیشتر می‌باشد. از نظر پارامترهای رنگی تفاوت معناداری بین رنگدانه حاصل از چغندر قرمز و کاکتوس مشاهده نمی‌شود. تنها از نظر ماندگاری مشاهده شد که رنگدانه کاکتوس پس از استخراج و حتی ریزپوشانی ماندگاری نسبتاً کم‌تری دارد و از بین رفتن رنگ سرعت بیش‌تری دارد. این امر می‌تواند به دلیل پوشش پذیری کم‌تر آن باشد، که ناشی از ساختار ژله‌ای و لعاب‌داری عصاره و pH بالاتر میوه کاکتوس (0/6) در مقایسه با چغندر قرمز (4/5) است. بدین ترتیب، می‌توان گفت که چغندر قرمز و میوه کاکتوس می‌توانند به عنوان منابعی مطمئن برای رنگ خوراکی طبیعی قرمز بتالاین مورد استفاده بیش‌تری قرار گیرند.

منابع

- lains, *Food Technol. Biotechnol.*, 49, 145–155.
- [10] McMurray, I. (2008). Colour me beautiful, *Int. Food Ingrid.*, 6, 23-27.
- [11] Food Standard Agency, (2011). Guidelines on approaches to the replacement of Tartrazine, Allura Red, Ponceae 4R, Quinoline Yellow, Sunset Yellow and Carmoisine in food and beverages, <https://www.food.gov.uk>.
- [12] Pszczola, D.E., (1998). Natural colors: pigments of imagination, *J. Food Tech.*, 52, 70–76.
- [13] Sapers, G.M., Hornstein, J.S. (1979). Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments, *J. Food Sci.*, 44, 1245–1248.
- [14] Castellar, M.R., Obón, J.M., Fernández-López, J.A. (2006). The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits, *J. Sci. Food Agr.*, 86, 122-128,
- [15] Herbach, K.M., Stintzing, F.C., Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects, *J. Food Sci.*, 71, R41-R50.
- [16] Henry, B.S. (1996). *Natural Food Colours*, in *Natural Food Colorants*, Ed. Hendry, G. A. F. and Houghton J.D, Blackie Publishing, pp. 40-79.
- [17] Sturzoiu, A., Stroescu, M., Anicuța, S., Tănase, D. (2011). Betanine extraction from ROM Beta Vul-
- [1] Meggos, H. (1995). Food colours: an international perspective, *Mfg. Confectioner*, 75, 59-65.
- [2] Frick, D. (2003). The Coloration of food, *Rev. Prog. Color.*, 33, 15-32.
- [3] Downham, A., Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 35, 5-22.
- [4] Mortensen, A. (2006). Carotenoids and other pigments as natural colorants, *Pure Appl. Chem.*, 78, 8, 1477-1491.
- [5] International Food Information Council, (2010). Food Ingredients and Colors, <http://www.foodinsight.org>
- [6] MacDonald, M. (2000), Project Profile on Natural Food Colors, Marigold, Annatto, <https://gaic.gujarat.gov.in>.
- [7] Henriette, M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 44, 2365-2376.
- [8] Shivapriya, M., Kotamballi, N., Chidambara, M., Shruthi, N., (2013), stability of betalain in pigments of red beet, in *Red Beet Biotechnology*, Ed. Bhagyalakshmi, N., Neelwarne, B., Springer, pp. 55-74.
- [9] Dubravko, P., Marijana, K., (2011). Complex Biochemistry and Biotechnological Production of Beta-

- [26] Gandia-Herrero, F., Garcia-Carmona F. (2013). Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments, *Trends Plant Sci.*, 18, 334-343.
- [27] Díaz Medina, E.M., Rodríguez Rodríguez, E.M., Díaz Romero, C. (2007) Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits, *Food Chem.*, 103, 38-45.
- [28] Sanchez-Gonzalez, N., Jaime-Fonseca, M.R., San Martin-Martinez, E., Zepeda L.G. (2013). Extraction, Stability, and Separation of Betalains from *Opuntia jocosostle* cv. Using Response Surface Methodology, *J. Agric. Food Chem.*, 61, 11995-12004.
- [29] Nilsson, T. (1970). Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *Vulgaris* var. *rubra* L.). *Lantbrukhogskolans Annaler*, 36, 179-219.
- [30] Stintzing, F.C., Schieber, A., Carle R. (2003). Evaluation of color properties and chemical quality parameters of cactus juices, *Eur. Food Res. Technol.*, 216, 303-311.
- [31] Singer, J.W., Von Elbe, J.H. (1980). Degradation rates of vulgaxanthine I. *J. Food Sci.*, 45, 489-491.
- [32] Gasztonyi, M.N., Daood, H., Taka'cs Ha'jos, M., Biacs P. (2001). Comparison of red beet (*Beta vulgaris* var *conditiva*) varieties on the basis of their pigment, *J. Sci. Food Agr.*, 81, 932.
- [33] Wagner, L.A., Warthesen, J.J. (1995). Stability of spray-dried encapsulated carrot carotenes, *J. Food Sci.*, 60, 1048-1053.
- [34] Pasch, J.H., Von Elbe J.H. (1975). Betanine degradation as influenced by water activity, *J. Food Sci.*, 40: 1145-1146.
- garris –experimental research add statistical modeling, *U.P.B. Sci. Bull. Ser. B*, 73, 1, 145-156.
- [18] Castellainos-Santiago, E., Elhadi M.Y. (2008). Identification and Quantification of Betalains from the Fruits of 10 Mexican Prickly Pear Cultivars by High-Performance Liquid Chromatography and Electrospray Ionization Mass Spectrometry, *J. Agric. Food Chem.*, 56, 5758–5764.
- [19] Nemzer, B., Pietrzowski, Z., Sporna, A., Stalica, P., Thresher, W., Michałowski, T., Wybraniec, S. (2011). Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts, *Food Chem.*, 127, 42–53.
- [20] Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter E.J., Beristain, C.I. (2010). Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice, *Food Bio. Proc.*, 8, 253–258.
- [21] Peter, C., Wootton-Beard, Lisa R. (2011). beet root juice shot is a significant and convenient source of bio-accessible antioxidants, *J. Funct. Foods*, 3, 329 –334.
- [22] Cai, Y.Z., Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments, *J. Food Sci.*, 65, 1248-1252.
- [23] Stintzing, F.C., Trichterborn, J., Carle, R. (2006). Characterisation of anthocyanin-betalain mixtures for food colouring by chromatic and HPLC-DAD-MS analyses. *Food Chem.*, 94, 296-309.
- [24] Ravichandran K., Thaw Saw, N.M.M., Mohdaly, A.A.A., Gabr, A.M.M., Kastell, A., Reidel, H., Cai, Z., Knorr, D., Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity, *Food Res. Int.*, 50, 670-675.
- [25] Venkatasubramanian, Sivakumar., Lakshmi Anna, J., Vijayeeswarri, J., Swaminathan, G. (2011). Effective natural dye extraction from different plant materials using ultrasound, *Ind. Crops Prod.* 33 116–122.