ارزیابی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده چغندر قند کارخانه‌های شمال‌غرب به عنوان جایگزین شکر سفید

روح‌اله پاشایی بهرام[۱]، افشین جوادی [۲*]، بیوک آقا فرمانی[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران.
۲- دانشیار گروه بهداشت مواد غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
۳- استادیار تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۸)

چکیده

شکر سفید یکی از پرمصرف‌ترین مواد اولیه در تولید انواع مختلف مواد غذایی است، اما تحقیقات نشان می‌دهد مصرف شکرسفید با بروز برخی بیماریها مانند دیابت، چاقی و...مرتبط است و باعث مشکلات در سلامت مصرف‌کنندگان می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و آنتی اکسیدانی شکر قهوه‌ای تصفیه نشده چغندر قند تولید شده در ایران با هدف جایگزین برای شکر سفید است. برای این منظور نمونه‌های شکر قهوه‌ای تصفیه نشده از سه کارخانه بزرگ تولید شکر در شمال‌غرب ایران تهیه شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل مواد جامد محلول کل، رطوبت، خاکستر کل، سختی کل، درصد ساکاروز، درجه خلوص، pH، پروتئین، فنل کل، آنتوسیانین کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی، رنگ ظاهری و رنگ محلول مورد بررسی قرار گرفتند.شکر سفید به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار پروتئین، فنل کل، آنتوسیانین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدنی نمونه‌های شکر قهوه-ای ۷/۸۵ تا ۹/۸۵ mg BSA/g نمونه، ۰/۵۵ تا ۰/۷۷ mg GAE/g نمونه، ۱/۰۲۸ تا ۱/۱۸۷ mg/kg نمونه و ٤/٠٧ تا ٤/٤٦ به ازاء ۱۰ g شکر قهوه‌ای در هر kg نمونه محلول به ترتیب در نمونه‌های شکر قهوه‌ای بودند. همچنین مقدار رنگ محلول و رنگ ظاهری به ترتیب ٤٢٨٥/٢٥ تا ICU ۹۳۹۹/۵۹ و ۱۲۷ تا CTN ۱۰۳ در شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده می‌باشند. نتایج نشان داد که شکر قهوه‌ای تصفیه نشده دارای ارزش تغذیه‌ای بالاتری نسبت به شکر سفید داشت.

کلید واژگان: شکر قهوه‌ای، ساکاروز، ترکیبات آلی، ارزش تغذیه‌ای

[*] مسئول مکاتبات afshinjavadi@yahoo.com

۱- مقدمه

شکر در تجارت جهانی یک ماده غذایی با اهمیت است، مصرف آن برخلاف شیرین‌کننده‌های مصنوعی در سطح بالایی می‌باشد. شکر سفید در جهان عمدتا از نیشکر (۷۰٪) و به مقدار کم‌تر از چغندر قند (۳۰٪) تولید می‌شود. شکر سفید حاوی بیش از ۹۹٪ ساکاروز است [۱]. به دلیل خلوص بالای شکر سفید، ارزش تغذیه‌ای آن پایین بوده و تنها به عنوان یک ترکیب غذایی شیرین کننده و انرژی‌زا می‌باشد. علاوه براین مصرف شکر سفید باعث پوسیدگی بیشتر دندان و نیز بروز بیماری‌هایی مانند دیابت، چاقی و .... می‌شود [۲]. به همین دلیل تلاش‌های زیادی برای جایگزینی شکر در محصولات غذایی با مواد شیرین کننده دیگر با ارزش تغذیه‌ای بالاتر در حال انجام است. با این وجود مصرف شکر هنوز به عنوان یک ماده اولیه اصلی در تهیه محصولات شیرین اجتناب ناپذیر است که علت آن طعم، بافت و اثر نگهدارندگی شکر در محصولات غذایی مانند مربا، بستنی، شکلات و غیره است. البته امروزه شکر قهوه‌ای نیز به عنوان جایگزینی برای شکر سفید مطرح شده است. مصرف این نوع شکر در کشورهای آفریقایی و آسیایی درحال رشد می‌باشد. در اروپا نیز افزایش قابل توجهی در بازار فروش این نوع شکر در سال‌های اخیر ایجاد شده است [۳]. شکرهای قهوه‌ای به طور معمول حاوی ۹۳-۸۸٪ ساکاروز همراه با ترکیبات عامل بو و طعم ویژه‌ای می‌باشند. شکرهای قهوه‌ای موجود می‌تواند به دو دسته طبقه‌بندی شود، ۱- طبیعی یا پخته[1] و ۲- پوشش داده شده[2]. شکرهای قهوه‌ای پخته با کریستالیزاسیون سیروپ‌های پخت سه بدست می‌آید که منشاء رنگ و طعم شکرهای قهوه‌ای پخته، سیروپ است. شکرهای قهوه‌ای پوشش داده شده، شکرهای پخت یک هستند که با لایه نازکی از سیروپ با رنگ بالا، کارامل یا ملاس با فرآیند پاششی پوشش داده می‌شوند تا به آنها رنگ، بو و طعم ویژه‌ای دهد [۳]. رنگ شکرهای قهوه‌ای عمدتا از ماکرومولکول‌های ملانوئیدینی موجود در سیروپ منشاء می‌گیرد [٤].

چغندر قند و نیشکر شامل ترکیباتی مانند اسیدهای فنولیک، پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها هستند [۱]. این ترکیبات همچنین در فرآورده‌های شکر مانند لیکور، مادر لیکور، ملاس و همچنین در شکرهای قهوه‌ای وجود دارند [۵ و ٦]. در سال‌های اخیر حدود ۱۲ نوع ترکیبات فنولی از شکر نیشکر سانتریفیوژ نشده جداسازی شده است و فعالیت آنتی‌اکسیدنی آنها ثابت شده است [۷]. ترکیبات پلی‌فنلی مانند فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک به دلیل ویژگی‌های بیولوژیکی، اثرات آنتی‌اکسیدانی و نقش آنها در جلوگیری از بیماری‌های مزمن ناشی از تنش اکسیداتیو دارای اهمیت می‌باشند [۸ و ۹]. از اینرو مصرف شکر قهوه‌ای می‌تواند اثرات مثبتی در ارتقاء سلامت افراد جامعه داشته باشد ولی این ترکیبات در تولید شکر سفید به عنوان ناخالصی‌ها و ترکیبات مزاحم در طی فرایند تصفیه حذف می‌شوند که این امر باعث افت ارزش تغذیه‌ای شکر سفید می‌شود.

فرآوری شکر قهوه‌های باعث ایجاد ترکیبات ناشی از واکنش مایلارد مثل ماکروملکول‌ها (ملانوئیدین‌ها) و ترکیبات آروماتیک هتروسیکلیک می‌شود که تاثیر قابل توجهی بر رنگ و آرومای فرآورده‌های قندی دارند. گزارش‌های متعددی در مورد خصوصیات آنتی‌اکسیدانی ترکیبات حاصل از واکنش مایلارد وجود دارد. در چندین تحقیق نشان داده شده است که ترکیبات آروماتیک تشکیل شده طی واکنش‌های مایلارد فعالیت آنتی-اکسیدانی قابل توجهی دارند. شکر قهوه‌ای به علت داشتن ترکیباتی مانند ساکاروز، گلوکز، فروکتوز و سایر ترکیبات آلی مانند پروتئین‌ها، ترکیبات آنتی اکسیدانی، مواد جامد نامحلول و مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم، فسفر، منیزیم، سدیم، آهن، منگنز و روی)، ارزش بیولوژیکی بالایی دارد. بنابراین به عنوان ماده غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا مورد توجه می‌باشد. در سال‌های اخیر کاربرد شکر قهوه‌ای در فرمولاسیون مواد غذایی صنعتی و نوشابه-ها افزایش یافته است [۱۰]. در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در مورد ویژگی‌های شکر قهوه‌ای نیشکر و ملاس انجام شده است [۱ و ۱۱]، اما تاکنون تحقیقاتی در مورد ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در شکر قهوه‌ای حاصل از چغندرقند انجام نشده و گزارش‌های علمی معتبری در این مورد منتشر نشده است. هدف این مطالعه بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات آلی موجود در شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده بود.

1. Boiled
2.Coated

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

نمونه‌های شکر قهوه‌ای تصفیه نشده چغندر قند (محصول خروجی سانتریفیوژ پخت سه) از سه کارخانه بزرگ قند چغندر شمال‌غرب کشور تهیه شدند. برای تهیه شکر قهوه‌ای، محتویات پخت سه وارد مالاکسور شده تا در اثر کاهش دما در طی مدت حدود ۷۲ ساعت حداکثر ساکاروز جذب کریستال‌های ساکاروز گردند. بعد از سپری شدن شرایط فوق محتویات مالاکسور به آرامی وارد سانتریفیوژ پخت سه شده تا در نهایت به شکر قهوه‌ای و ملاس جداسازی شوند. نمونه‌ها در ظروف تیره رنگ دربسته تا انجام آزمایشات نگهداری شدند. شکر سفید به عنوان نمونه شاهد برای مقایسه از بازار محلی تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق با درجه آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه شدند.

۲-۲- روش انجام آزمایشات

۲-۲-۱- تعیین مقدار رنگ محلول

رنگ محلول نمونه‌های شکر با استاندارد ایکومزا و با روش شماره GS-1-7 1994 اندازه‌گیری شد. محلول نمونه‌های شکر (۵ g نمونه شکر و ۵۰ g آب مقطر) تهیه و از غشاء با اندازه منافذ ۰/۴۵ µm برای حذف کدورت عبور داده شدند [۱۲]. pH نمونه‌های صاف شده با کمک pH متر و با استفاده از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ N روی عدد 7 ± 0.1 تنظیم شدند [۱۳]. بریکس نمونه‌های شکر با رفراکتومتر دیجیتالی تعیین شد، مقدار جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (JENWAY 6405 UV/Vis Spectrophotometer) در طول موج ۴۲۰ nm اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار رنگ نمونه‌های شکر بر حسب ایکومزا از معادله (۱) محاسبه شد [۱۳].

$$Color\ (\text{ICUMSA}) = \frac{A420\ nm\ \times 100000}{b\ \times c} \quad (۱)$$

که در آن، A: مقدار جذب محلول در طول موج ۴۲۰ nm، b: طول مسیر عبور نور از میان سل برابر ۱ cm و C: غلظت ساکاروز ($C = Bx \times \rho$) است.

۲-۲-۲- تعیین رنگ ظاهری

برای تعیین رنگ ظاهری از اساس انعکاس نور توسط دستگاه رنگ‌سنج نئوهاوس (Color Test-II; Neuhaus Neotec) استفاده شد. ابتدا دستگاه با استفاده از ۲ سطح استاندارد شماره ۵۱ (سطح کاملا تیره) و ۱۵۰ (سطح کاملا روشن) کالیبره شد، سپس رنگ ظاهری نمونه‌های شکر بررسی شدند. برای جلوگیری از خطا، آزمایش‌ها در دمای ۲۵ °C انجام شد [۱۵].

۲-۲-۳- تعیین سختی کل

برای اندازه گیری سختی کل نمونه‌ها از محلول N EDTA ۰/۰۱۷۸، محلول آمونیاکی ۲۵٪ خالص موجود در آزمایشگاه (۵-۴ قطره برای قلیایی کردن محیط) و مقدار بسیار کم معرف اریوکروم بلک-تی پودری (یا ۳-۲ قطره محلول معرف) استفاده شد. مقدار حجم محلول EDTA مصرفی برای تیتراسیون از روی بورت یاداشت شد [۱۳]. حجم محلول EDTA مصرفی از بورت بیانگر سختی نمونه بر اساس درجه آلمانی بود که با ضرب در عدد ۱۷/۸ به صورت ppm یا mg/L بیان شد.

۲-۲-۴- تعیین خاکستر کل

مقدار ۵ g نمونه شکر داخل بوته چینی خشک وزن و پس از سوزاندن بر روی شعله چراغ گازی، در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ °C و به مدت ۵ h قرار داده شد تا به طور کامل به خاکستر شود. سپس مقدار خاکستر کل به صورت درصد بیان شد [۱۵].

۲-۲-۵- تعیین بریکس

مقدار مواد جامد محلول کل (بریکس) نمونه با رفراکتومتر (ATAGO-NAR 1T) اندازه‌گیری شد [۱۳].

۲-۲-۶- تعیین pH

pH نمونه با pH متر (HANNA pH 211) اندازه‌گیری شد [۱۳].

۲-۲-۷- تعیین رطوبت

درصد رطوبت نمونه‌های شکر توسط رطوبت‌سنج دیجیتالی (OHAUS MB 35) اندازه‌گیری شد [۱۳].

۲-۲-۸- تعیین درصد قند اینورت

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ٦٩ اندازه‌گیری شد [١٦].

۲-۲-۹- تعیین درصد ساکاروز

برای تعیین درصد ساکاروز نمونه‌های شکر، g ٢٦ نمونه داخل بالن mL ١٠٠ وزن و مقداری آب مقطر اضافه شد. حدود ٥-٤ قطره محلول استات سرب قلیایی مادر هم اضافه و به حجم رسانده شد. بعد از خوب هم‌زدن، از کاغذ صافی معمولی سه لایه برای حذف رسوبات تشکیل شده، عبور داده شد [١٣]. درصد ساکاروز توسط دستگاه ساکاریمتر تعیین گردید.

۲-۲-۱۰- روش محاسبه درجه خلوص

درجه خلوص نمونه‌های شکر به وسیله معادله (٢) محاسبه شد [١٣].

(٢)

$$Purity\ (\%) = \frac{Pol}{Bx} \times 100$$

که در آن، Pol: پولاریزاسیون یا درصد ساکاروز و Bx: مواد جامد محلول کل است.

۲-۲-۱۱- تعیین‌فنل کل

مقدار فنل کل نمونه‌های شکر به روش فولین-سیوکالتو [١٧] و اندازه‌گیری مقدار جذب در طول موج nm ٧٦٥ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه مقدار فنل کل از منحنی استاندارد (رسم شده با ٠، ٠/١، ٠/٢، ٠/٣، ٠/٤ و ٠/٥ mg اسید گالیک در mL) بر حسب mg GAE[1] استفاده شد.

۲-۲-۱۲- تعیین آنتوسیانین کل

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌کل نمونه‌های شکر از روش اختلاف pH استفاده شد [١٨]. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٥٢٠ و nm ٧٠٠ مقدار جذب نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از معادلات (٣) و (٤) مقدار جذب (A) و آنتوسیانین کل محاسبه شد:

(٣)

$$A = (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{pH1.0} - (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{pH4.5}$$

غلظت آنتوسیانین کل (TA) (mg/kg) برابر است با:

(٤)

$$TA = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times L}$$

که در آن، MW= ٤٤٩/٢ g/mol: وزن مولکولی آنتوسیانین شاخص (سیانیدین ٣-گلیکوزید)، ε=٢٦٩٠٠: ضریب مولی آنتوسیانین شاخص (سیانیدین ٣-گلیکوزید)، DF: فاکتور رقیق-سازی و L: طول سل اسپکتروفتومتر (Cm) است.

۲-۲-۱۳- تعیین پروتئین

برای تعیین مقدار پروتئین نمونه‌های شکر از روش برادفورد استفاده شد. برای این منظور پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج nm ٥٩٥ مقدار جذب نمونه‌ها اندازه‌گیری شد [١٩]. با استفاده از منحنی استاندارد پروتئین آلبومین سرم گاوی[2]، مقدار پروتئین نمونه‌های شکر قهوه-ای تعیین شد.

۲-۲-۱٤- روش استخراج عصاره و اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

نمونه شکر به نسبت ١ به ٢ به حلال (٥٠ به ٥٠ متانول-آب) اضافه شد و برای همگن‌سازی و حل شدن مناسب با استفاده از ورتکس همزده شد. مقدار mL ٨/٤ محلول متانولی DPPH[3] (٠/٠٠٤٪) با mL ٠/٦ عصاره استخراجی نمونه شکر مخلوط - شده و مقدار جذب نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در nm ٥١٥ اندازه‌گیری شد [١٨]. در نهایت درصد بازدارندگی از معادله (٥) محاسبه شد.

(٥) بازدارندگی (٪) = ١٠٠ − ١٠٠(As ÷ A_0)

که در آن، As: مقدار جذب نمونه و A_0: مقدار جذب بلنک (محلول متانولی DPPH) می‌باشد.

۲-۳- آنالیز آماری

در این طرح تاثیر واحدهای تولید و فرآوری شکر قهوه‌ای از چغندر قند شمال‌غرب کشور (به دلیل تفاوت در موقعیت جغرافیایی و سطح تکنولوژی مورد استفاده) بر ویژگی‌های نمونه-های شکر قهوه‌ای تهیه شده (مانند رنگ، خاکستر، رطوبت، ترکیبات آلی و ...) در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد و با

1. Gallic Acid Equivalent (GAE)

1. Bovine Serum Albumin (BSA)

2. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

نموهه شکر سفید (نمونه شاهد) مقایسه شد. آنالیز واریانس نتایج با آزمون ANOVA یک طرفه در سطح اطمینان ۹۵٪ ($p\leq$۰/۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. تیمارها در سه تکرار صورت گرفت. آنالیز داده‌ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده چغندر قند

خصوصیات فیزیکوشیمیایی شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده و شکر سفید در جدول ۱ آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین نمونه‌ها نشان داد، ترکیبات شکرهای قهوه‌ای کارخانه‌های قند مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند ($P\leq$۰/۰۵).

Table 1 Physicochemical charecteristics of unrefined sugar beet brown sugars

Measured parameter	Factory 1	Factory 2	Factory 3	White sugar
Total soluble solid (%)	98.6[b]	97.96[c]	97.56[c]	99.4[a]
Humidity (%)	1.16[c]	1.42[b]	1.67[a]	0.4[d]
Total ash (%)	0.932[c]	1.168[b]	1.456[a]	0.008[d]
Total hardness (ppm)	119.26[b]	62.3[c]	192.24[a]	2.35[d]
pH (20 °C)	8.38[a]	7.89[c]	7.44[d]	8.11[b]
Sucrose (%)	95.45[b]	93.56[c]	93.47[c]	99.23[a]
Purity (%)	96.8[b]	95.51[c]	94.83[d]	99.83[a]
Invert sugar (%)	0.61[b]	0.69[a]	0.71[a]	0.02[c]

از نظر مواد جامد محلول کل، درصد ساکاروز و درجه خلوص، بیشترین مقادیر در شکر قهوه‌ای قند کارخانه یک و کمترین آنها در شکر قهوه‌ای کارخانه قند سه بود. در بحث مواد جامد محلول، ساکاروز هم جزء آن محسوب می‌شود که با افزایش درصد ساکاروز در حالت برعکس، درصد ناخالصی شکر قهوه‌ای کارخانه یک به کمترین خود می‌رسد (جدول ۱). همچنین همه نمونه‌های شکر قهوه‌ای به طور معنی‌دار مقدار مواد جامد محلول کل کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت ($p\leq$۰/۰۵). منشاء خاکستر شکر قهوه‌ای عمدتا به لایه ملاس موجود در سطح بلورها برمی‌گردد. مقدار خاکستر کل نمونه‌های شکر قهوه‌ای بین ۰/۹۳۲ و ۱/٤٥٦٪ بود. برخی از پژوهشگران مقدار خاکستر شکر های قهوه‌ای نیشکر تولید شده در کلمبیا را در حدود ۱/۳۸-۱/۲۲٪ گزارش نمودند [۲۰] در بررسی دیگری مقدار خاکستر شکر قهوه‌ای را در حدود ۲/۰۵-۱/۱۵٪ گزارش نمودند [۲۱]. خاکستر کل شکر قهوه‌ای کارخانه یک کمترین و شکر قهوه‌ای کارخانه قند سه بیشترین مقدار را داشت. همه نمونه‌های شکر قهوه‌ای به طور معنی‌دار مقدار خاکسترکل بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند ($p\leq$۰/۰۵). از نظر سختی کل، شکر قهوه‌ای قند کارخانه دو کمترین و شکر قهوه‌ای کارخانه قند سه بیشترین مقدار را دارا بود. عمدتا منشاء سختی شکر قهوه‌ای از لایه ملاس موجود در سطح بلورها می‌باشد. همه نمونه‌های شکر قهوه‌ای به طور معنی‌دار مقدار سختی کل بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند ($p\leq$۰/۰۵). از نظر رطوبت شکر قهوه‌ای کارخانه قند سه بالاترین درصد رطوبت و شکر قهوه‌ای کارخانه قند یک کم‌ترین درصد رطوبت داشت ($p\leq$۰/۰۵). محتوی رطوبت شکر قهوه‌ای به عواملی مانند درصد ناخالصی‌ها، مقدار قندهای احیاکننده و قند غیراحیاکننده موجود در شکر در اثر روش‌های مختلف فرآوری، فاکتورهای کشاورزی مانند نحوه آبیاری، شرایط خاک کشت، ماه برداشت، نوع واریته و نحوه نگهداری پس از برداشت بستگی دارد [۳].

مقایسه رطوبت نمونه‌های شکر قهوه‌ای با شکر سفید نشان می‌دهد که همه نمونه‌های شکر قهوه‌ای مقدار رطوبت بیشتری نسبت به نمونه شاهد بودند ($p\leq$۰/۰۵). مقدار رطوبت نمونه‌های شکر قهوه‌ای مورد بررسی در این تحقیق مشابه شکر قهوه‌ای نیشکر بررسی شده توسط سگو و همکاران بود [۲۲]. نتایج اندازه‌گیری pH نمونه‌ها نشان داد که مقدار pH برای نمونه‌های شکر قهوه‌ای

در بازه ۸/۳۸-۷/٤٤ بود. مقدار pH مناسب برای شکر قهوه‌ای بایستی بالاتر از ۵/۹۰ باشد [۲۳]. کمترین و بیشترین مقدار pH به ترتیب به شکر قهوه‌ای کارخانه سه و شکر قهوه‌ای کارخانه یک تعلق داشت. همچنین نمونه‌های شکر قهوه‌ای از نظر مقدار pH با هم اختلاف معنی‌دار داشتند که این امر به میزان قلیائیت آب آهک مورد استفاده در فرآیند تصفیه و سطح تکنولوژی کارخانه بستگی دارد [۲۳].

درصد ساکاروز نمونه‌های شکر قهوه‌ای بین ۹۵/٤۵-۹۳/٤۷٪ بود که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب به شکر قهوه‌ای کارخانه یک و سه تعلق داشت. مقدار ساکاروز نمونه‌های شکر قهوه‌ای به طور معنی‌دار کم‌تر از شکر سفید بود که این امر به دلیل وجود ناخالصی‌های بیشتر در نمونه‌های شکر قهوه‌ای است. رودریگوز و سگورا درصد ساکاروز شکر قهوه‌ای حاصل از پخت سه را در حدود ۸۹/۸۷-۸۹/۱۷٪ گزارش نموده‌اند [۲۰]. نتایج درصد خلوص نیز نشان داد که نمونه‌های شکر قهوه‌ای به طور معنی‌دار دارای درجه خلوص کمتری نسبت به شکر سفید بودند. کمترین و بیشترین مقدار درجه خلوص به ترتیب به نمونه شکر کارخانه سه و یک تعلق داشت.

درصد قند اینورت شکرهای قهوه‌ای به طور معنی‌دار از درصد قند اینورت شکر سفید بیشتر بودند. کمترین مقدار مربوط به کارخانه یک و بیشترین مقدار به کارخانه‌های دو و سه تعلق داشت (جدول ۱).

۳-۲- رنگ شکرهای قهوه‌ای تصفیه نشده چغندر قند

یکی از شاخص‌های کیفی مهم در بررسی کیفیت شکر قهوه‌ای، تعیین مقدار رنگ است [۲٤]. مواد رنگی طی فرآوری چغندر قند در نتیجه تغییرات pH، حرارت و اثرات اتوکاتالیک[1] در طی فرآیند استخراج و فرآوری تشکیل می‌شود که دلیل آن: الف) اکسید شدن ترکیبات فنلی، ب) کارملیزاسیون ساکاروز، گلوکز و فروکتوز، ج) واکنش مایلارد و د) تجزیه قلیایی ساکاروز می‌باشد [۲۵]. این ناخالصی‌ها جرم‌های با وزن ملکولی بالا، حالت پلی-مری داشته و تمایل زیادی برای ورود به داخل ساختار کریستال-های شکر دارند [۲٦]. تعداد زیادی از محققین گزارش کرده‌اند که شکر قهوه‌ای حاصل از نیشکر با رنگ روشن مایل به طلایی توسط مصرف کنندگان ترجیح داده می‌شوند [۵].

۳-۲-۱- رنگ ظاهری

در فرآیند پخت سه، به دلیل ناخالصی‌های زیاد از جمله رنگ در موقع تشکیل کریستال‌های شکر قهوه‌ای مقداری از ترکیبات رنگی به صورت لایه نازک روی کریستال‌های شکر قرار می‌گیرند. بسته به مقدار و نوع ترکیبات رنگی، رنگ شکر قهوه‌ای تولیدی در کارخانه‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

Table 2 Color of unrefined sugar beet brown sugars

Color	Factory 1	Factory 2	Factory 3	White sugar
Apparent color (CTN)	127[b]	112[a]	103[b]	146[c]
Solution color (ICU)	4285.25[c]	6484.41[b]	9399.59[a]	16.41[d]

ICU: ICUMSA Uint

رنگ ظاهری شکرهای قهوه¬ای در حدود ۱۲۷ تا 103 CTN بود (جدول ۲). همچنین از جدول بالا مشاهده می¬شود که بیشترین و کمترین مقدار رنگ ظاهری به ترتیب به شکر قهوه¬ای کارخانه سه (۱۰۳) و شکرهای قهوه¬ای کارخانه¬های یک و دو (۱۲۷ و ۱۱۲) تعلق داشت ($p\leq$ ۰/۰۵). فرآیندهای تصفیه، ساخت و سطح تکنولوژی متفاوت می¬تواند در مورد این تفاوت¬ها توضیح داده ¬شود. همان طوری که در جدول ۲ مشاهده می¬شود رنگ ظاهری نمونه¬های شکر قهوه¬ای نسبت به شکر سفید به طور معنی¬دار بالا است ($p\leq$ ۰/۰۵). دلیل این امر عدم شستشو و حذف مواد ناخالص رنگی در تولید شکر قهوه¬ای می¬باشد.

۳-۲-۲- رنگ محلول

رنگ محلول عبارت است از ترکیبات رنگی موجود در شکر که در محلول شکر، جذب نور می¬کند و در نتیجه باعث کاهش عبور نور (خاموشی) می¬شود. منشا ترکیبات رنگی چغندر قند شامل ترکیبات فنولیک، کارامل، ملانوئیدین، ملانین و محصولات تجزیه قلیایی می¬باشند. مقدار ترکیبات رنگی وابسته به گونه گیاه چغندر قند و روش فرآوری فرق می¬کند. شربت چغندر قند

1. Autocatalytic effects

محتوی پیش¬سازهای بدون رنگ مانند ترکیبات فنولیک¬ و اسیدهای آمینه است که طی فرآیند تشکیل رنگ می¬دهند] ٦[. مهمترین ترکیب رنگی از واکنش مایلارد بین آمینو اسیدها و قندهای احیاکننده طی فرآوری شکر تولید می¬شود که به طور قابل توجهی بر رنگ، عطر و طعم محصول اثر می¬گذارد. بررسی¬ها نشان داده است که در اثر واکنش مایلارد ترکیبات آلی ریز ملکول تا پلی¬مرهای آروماتیک پیچیده به وجود می¬آیند که فعالیت آنتی¬اکسیدانی هم دارند [۲۷]. در شکرهای قهوه¬ای برای تعیین رنگ محلول جهت جلوگیری از خطا، آزمایش¬ها در دمای 25 C° انجام شد. رنگ محلول شکرهای قهوه¬ای از ٤۲۸٥/۲٥ تا 59/9399 ICU بود (جدول ۲). همان طوری که در جدول ۲ مشاهده می¬شود، بالاترین رنگ محلول در شکر قهوه¬ای کارخانه سه (۹۳۹۹/٥۹) و کمترین آن در شکر قهوه¬ای کارخانه یک (٤۲۸٥/۲٥) بود ($p\leq$۰/۰٥). همچنین نتایج نشان داد که مقدار رنگ محلول همه نمونه¬های شکر قهوه¬ای به طور معنی¬دار بیشتر از شکر سفید بود ($p\leq$۰/۰٥). فرآیندهای تصفیه شربت خام، تغلیظ شربت رقیق، ساخت شکر سفید و سطح تکنولوژی متفاوت می¬تواند در مورد این تفاوت¬ها توضیح داده شود.

۳-۳-ترکیبات آلی شکرهای قهوه¬ای تصفیه نشده چغندر قند

۳-۳-۱- فنل کل

ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی چغندر قند به طور وسیعی در ارتباط با تشکیل ترکیبات رنگی آنزیمی و غیرآنزیمی بررسی شده است. همچنین گزارش شده است که عامل عمده رنگ تیره کریستال¬های شکر، واکنش آنزیمی فنل¬ها، مخصوصا کاتچولامین¬ها است [٦]. قندهای مانند گلوکز، فروکتوز یا ساکاروز در دمای اتاق با معرف فولین تداخلی ایجاد نمی¬کنند، اما ممکن است با افزایش دما بین معرف فولین و قندها واکنشی صورت گیرد که در نتیجه محیط به رنگ آبی تغییر رنگ دهد] ۱۷[. برای جلوگیری از این واکنش، آزمایش¬های اندازه¬گیری فنل کل در دمای 25 C° انجام شد.

Table 3 Total phenol, total anthocyanin, protein and antioxidant capacity of unrefined sugar beet brown sugars

Measured parameters	Factory 1	Factory 2	Factory 3	White sugar
Total phenol (mg GAE/g)	0.55±0.004^{c}	0.68±0.025^{b}	0.77±0.027^{a}	0.004±0.001^{d}
Total anthocyanin (mg/kg)	0.551±0.002^{a}	0.184±0.005^{c}	0.367±0.007^{b}	0.000±0.000^{d}
Protein (mg BSA/g)	7.85±0.06^{b}	9.85±0.05^{a}	9.70±0.07^{a}	0.00±0.00^{c}
Antioxidant capacity (Inhibition%)*	4.07±0.01^{b}	4.35±0.02^{a}	4.70±0.46^{a}	0.00±0.00^{c}

* Final concentration: 10 g brown sugar in kg solution

مقدار فنل کل شکرهای قهوه‌ای بین ۰/٥٥ تا mg GAE /g ۰/۷۷ نمونه بود (جدول ۳). همچنین در جدول ۳ مشاهده می‌شود که بالاترین مقدار فنل کل در شکر قهوه‌ای کارخانه سه (۰/۰۲۷ ± ۰/۷۷) و کمترین آن در شکر قهوه‌ای کارخانه یک (۰/۰۰٤ ± ۰/٥٥) بود ($p\leq$۰/۰٥). مقدار فنل کل نمونه‌های شکر قهوه‌ای حدود mg GAE /g ۰/۳۷ نمونه گزارش شده است [۲۸]، اما در منبع دیگری مقدار فنل کل را در حدود mg GAE /g ۰/٤۱- ۰/۱ نمونه گزارش نمودند [۱]. مقدار فنل کل نمونه‌های شکر قهوه‌ای تولید شده در شمال‌غرب ایران بیشتر از این مقادیر می-باشد. از نظر تغذیه‌ای ترکیبات پلی‌فنلی موجود در شکرهای قهوه‌ای ارزش تغذیه‌ای بیشتری نسبت به شکر سفید دارد.

۳-۳-۲- آنتوسیانین کل

همان طوری در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میانگین آنتوسیانین کل نمونه‌ها در سطح احتمال ٥ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. مقدار آنتوسیانین کل شکرهای قهوه‌ای بین ۰/۱۸٤ تا mg/kg ۰/٥٥۱ نمونه شد و نمونه شکر سفید فاقد ترکیبات آنتوسیانینی بود (جدول ۳). همچنین از جدول ۳ مشاهده می‌شود که بالاترین مقدار آنتوسیانین کل در شکر قهوه‌ای کارخانه یک (۰/۰۰۲ ± ۰/٥٥۱) و کمترین آن در شکر قهوه‌ای کارخانه دو (۰/۰۰٥ ± ۰/۱۸٤) بود ($p\leq$۰/۰٥).

۳-۳-۳- پروتئین

ملانوئیدین‌ها از واکنش اسیدهای فنولیک با آمینو اسیدها یا پروتئین‌ها حاصل می‌شود [٦]. مقدار پروتئین شکرهای قهوه‌ای از ۷/۸۵ تا ۹/۸۵ mg BSA/g نمونه بود (جدول ۳). همچنین از جدول ۳ مشاهده می‌شود که بالاترین مقدار پروتئین در شکرهای قهوه‌ای کارخانه‌های دو و سه (۰/۰۵ ± ۹/۸۵ و ۰/۰۷ ± ۹/۷۰) و کمترین آن در شکر قهوه‌ای کارخانه یک (۰/۰٦ ± ۷/۸۵) بود ($p\leq$۰/۰۵). نتایج حاصل در این تحقیق با مقادیر پروتئین گزارش شده برای پروتئین شکر قهوه‌ای تصفیه نشده حدود ۸/۷ تا mg ٦/۵ BSA/g) [۲۱] و حدود ۷/۵ تا ٦/۹ mg BSA/g) مطابقت داشت [۲۰]. از نظر تغذیه‌ای پروتئین‌های موجود در شکرهای قهوه‌ای ارزش تغذیه‌ای بالایی دارند.

۳-۳-٤- ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (سنجش مهار رادیکال آزاد[1] یا سنجش DPPH)

ترکیبات آنتی‌اکسیدانت توانایی اثر خود را از طریق مهار رادیکال-های آزاد و سایر گونه‌های اکسیژن نشان می‌دهند. به طور طبیعی در مواد غذایی آنتی‌اکسیدان‌های مانند فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک و پلی‌فنل‌ها موجود است. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل عموما به عنوان پارامتر مهم برای شناسایی منابع مواد غذایی غنی بیولوژیکی مورد توجه می‌باشد. گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی شکرهای قهوه‌ای به ترکیبات فنلی و محصولات حاصل از واکنش مایلارد نسبت داده می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که شدت تشکیل ملانوئیدین در فرآوری چغندر قند شدیدتر است [۱۱].

درصد بازدارندگی شکرهای قهوه‌ای از ٤/۰۷ تا ٤/٤٦ به ازاء ۱۰ g شکر قهوه‌ای در هر kg محلول محاسبه شد (جدول ۳). از جدول ۳ مشاهده شد که بالاترین فعالیت روبشی رادیکال آزاد در شکرهای قهوه‌ای کارخانه‌های سه و دو (۰/۰۲ ± ٤/٤٦ و ۰/۰۲ ± ٤/۳۵) و کمترین آن در شکر قهوه‌ای کارخانه یک (۰/۰۱ ± ٤/۰۷) بود ($p\leq$۰/۰۵) و شکر سفید فاقد فعالیت آنتی اکسیدانی بود. پایت و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی شکرهای قهوه‌ای مشاهده کردند که ساکاروز خالص فاقد درصد بازدارندگی یا فعالیت روبشی رادیکال آزاد روی محلول متانولی DPPH بود [۱].

از جدول ۳ نتیجه‌گیری شد که بالاترین مقدار فنل کل در شکر قهوه‌ای کارخانه سه (۰/۰۲۷ ± ۰/۷۷) و کمترین آن در شکر قهوه‌ای کارخانه یک (۰/۰۰٤ ± ۰/۵۵) بود. بنابراین، در این بررسی همبستگی مطلوبی بین ترکیبات فنل کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شکرهای قهوه‌ای دیده شد.

٤- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که شکر قهوه‌ای چغندر قند در مقایسه با شکر سفید دارای مقادیر بیشتری از ترکیبات مغذی و بیواکتیو مانند فنل‌ها، آنتوسیانین‌ها، پروتئین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالایی است که در جلوگیری از بروز بیماری‌های التهابی مانند سرطان، انواع سکته و ... موثر هستند و اثرات سوء کمتری نسبت به شکر سفید دارند. البته شکر قهوه‌ای به دلیل رنگ تیره در محصولاتی که رنگ روشن جزء شاخص‌های کیفی آنها است، نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که همبستگی خوبی بین ترکیبات فنل کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شکرهای قهوه‌ای داشت. یعنی شکرهای قهوه‌ای با ترکیبات فنل کل بالا، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند. با توجه به ارزش تغذیه‌ای بالای شکر قهوه‌ای در مقایسه با شکر سفید، در برخی محصولات غذایی این نوع شیرین کننده را می‌توان به عنوان جایگزین شکر سفید استفاده کرد. هر چند استفاده از شکر قهوه‌ای می‌تواند تاثیر سوئی بر ذائقه مصرف کنندگان، خواص ظاهری و رنگ محصول داشته باشد، اما نیاز به بررسی‌های بیشتری در محصولات جایگزین شده خواهد داشت.

۵- منابع

[1] Payet, B., Sing, A.S.C. and Smadja, J. 2005. Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: Determination of their polyphenolic and volatile constituents. Journal of Agric. Food Chemistry, 53,10074-10079.

[2] Anderson, C.A., Curzon M.E., van Louveron C., et al. 2009. Sucrose and dental caries: a

1. Free radical scavenging assay

[14] Din, Z. and Rasool, G. 2015. Physico-chemical analysis and polarization value estimation of raw sugar from refining point of view. American Journal of Plant Sciences, 6, 1-5.
[15] AOAC (2000) Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition, Arlington.
[16] Anonymous. 1371. white sugar-Characteristics and test methods. Iranian National Standardization Organization No.69.
[17] Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymol, 299, 152-178.
[18] Chen, m., Zhao, Y. and Yu, S. 2015. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. Journal of Food Chemistry,172, 543-550.
[19] Bradford, M.M. 1976. A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry, 72, 248-254.
[20] Rodriguez, A. R. and Segura, M. E. 2004. Panelagranuladaecológica. AntenorOrrego, v. 15, n. 22, p. 47-55.
[21] Garcia, H. R., 2003. Mejoramiento de los sistemas de moldeoy de presentación de la panela a nivel de pequeño y medianoproductor. Colombia: CIMPA.
[22] Segu, L., Calabuig-Jimenez, L., Betoret, N. and Fito, P. 2015. Physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugarcane alternatives to white sugar. International Journal of Food Science and Technology.
[23] Guerra, M. J., María Virginia Mujica, M. V. 2009. Physical and chemical properties of granulated cane sugar "panelas". Ciência e Tecnologia de Alimentos.
[24] Mungare, T. S. et al. 2000. Clarification technique for producing quality jaggery. Cooperative Sugar, v. 32, n. 4, p. 283-285.
[25] Damodaran, S., Aminoácidos, D. and péptidos, S. 2000. In: FENEMMA, O. (ed.). Química de alimentos. 2 ed. España: Acribia, p. 490.
[26] Mišan, A.C., Gyura,J.F.,Sakač, M.B., Simović–Šoronja, D.M., Šereš, Z.I. and Pajin, review of the evidence. Obesity Rev.,10(Suppl), 41-54.
[3] Chen, J.C.P. and Chou, C.C. 1993. Refined sugar products. Cane sugar handbook, A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists, 12th ed.; Chen, J. C. P., Chou, C.-C., Eds.; Wiley: New York, pp: 524-537.
[4] Godshall, M.A.,Vercellotti, J.R. and Triche, R. 2002. Comparison of cane and beet sugar macromolecules in processing. Int. Sugar Journal, 104, 228-233.
[5] Patil, J. P. and Adsule, P. G. 1998. Studies on various quality parameters for grading of jaggery. Indian Food Industry, v. 17, n. 4, p. 215-217.
[6] Godshall, M.A., Clarke, M.A., Dooley, C.D.and Blanco, R.S. 1991. Progress in beet sugar colorant research.Journal of Sugar Beet Research, 28 (3 and 4), 155-165.
[7] Takara, K., Matsui, D., Wada, K., Ichiba, T. and Nakasone, Y. 2002. New antioxidative phenolic glycosides isolated from KOKUTO noncentrifugated cane sugar. Bioscience Biotechnology Biochemistry, 66, 29-35.
[8] Dubick, M.A. and Omaye, S.T. 2001. Modification of atherogenesis and heart disease by grape wine and tea polyphenols. In Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods; Wildman, R.E.C., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL: pp: 127-142.
[9] Fuhrman, B. and Aviram, M. 2002. Polyphenols and flavonoids protect LDL against atherogenic modifications. In Handbook of Antioxidants, 2nd ed., revised and expanded; Cadenas, E., Packer, L., Eds.; Dekker: New York, pp: 167-187.
[10] Ducat, G., Felsner, M.L., da Costa Neto, P.R. and Quináia, S.P. 2015. Development and in house validation of a new thermogravimetricmethod for water content analysis in soft brown sugar. Food Chemistry, 177, 158–164.
[11] Phillips, K.M.,Carlsen, M.H. and Blomhoff, R. 2009. Total antioxidant content of alternatives to refined sugar. Journal of the American Dietetic Association, 109, 1 64-71.
[12] Anonymous, ICUMSA Method: Method GS-1-7 1994.
[13] ICUMSA. 2003. ICUMSA methods book supplement 2002. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG.

B.S. 2011. Relation between antioxidant activity of affined C sugar and thermaly induced nonenzymatic browning. Food and Feed Research, 38 (2), 75-80.

[27] Valli, V., Gómez-Caravaca, A.M., Di Nunzio, M., Danesi, F., Caboni, M.F. and Bordoni, A. 2012. Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar. Journal of Agricultural Food Chemistry, 60, 12508−12515.

[28] Harishnayaka, M.A., Sathisha, U.V., Manohara, M.P., Chandrashekara, K.B. &Dharmesh, S.M. 2009. Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. Food Chemistry, 11, 113–118.

Evaluation of physicochemical characteristics of unrefined brown sugars of different sugar beet factories in north-west of Iran as substitute of white sugar

Pashaei Bahram, R. [1*], Javadi, A. [2], Farmani, B. [3]

1. PhD student, Department of Food Science and Technology, Islamic azad University, Mamaghan branch, Mamaghan, Iran.
2. Associate Prof. of Department of Food Hygiene, Tabriz Branch, Azad University, Tabriz, Iran.
3. Assistant Prof. of Department of Food Science and Technology, Faculty of Ahar Agriculture and Natural Resource, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

(Received: 2017/01/22 Accepted:2017/05/08)

White sugar is one of the most used raw materials in production of different food staffs, But researches showed thatconsumption of white sugar is related to occurrence of different diseases such as diabetes, obesity and etc. The aim of this research was to study physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugar-beet brown sugar produced in Iran as substitute for white sugar. For this purpose, non-refined brown sugar samples were supplied from three large sugar factories in north-west of Iran and physicochemical properties of the samples such as total soluble solids, moisture, total ash, total hardness, sucrose content, purity, pH, protein, total phenol, total anthocyanin, antioxidant activity, apparent color and solution color were studied. White sugar was used as control. The results showed that protein, total phenol, total anthocyanin and antioxidant activity of the brown sugar samples were about 7.85 to 9.85 mg BSA/g sample, 0.55 to 0.77 mg GAE/g sample, 1.028 to 187/11.187 mg/kg sample and 4.07 to 4.46 per 10 g from kg of brown sugar solution respectively. Also, solution color and the apparent color of unrefined brown sugars were 4285.25-9399.59 ICU and 127-103 CTN respectively. It was concluded that unrefined brown sugar has higher nutrition value in comparison to white sugar.

Keywords: Brown sugar, Nutrition value, Organic compounds, Sucrose.

* Corresponding Author E-Mail Address: Roh.pashaei@gmail.com