



دانشگاه علوم و فناوری های طبیعی ایران



Identification and measurement of effective metal cations in raising the Sugarloaf ash

Farzaneh Moradnia^{*1}, Ali Ramazani², Saeid Taghavi Fardood³, Ehsan Kamyab⁴, Mahsa Rezadoost Athar⁵

**Corresponding Authors: Department of Chemistry, University of Zanjan, P O Box 45195-313, Zanjan, Iran.*

Abstract:

Food and nutrition are the basic needs of human society and their provision is strongly related to food safety and health. Providing qualitative, healthy and adequate food for the country population are considered as one of the critical issues that each governments and societies could be faced with. Sugar and sugarloaf have been regarded as politically and economically vital products along with their food importance. The amount of sugar ash is one of the main measuring parameters of sugar quality. Ash ingredients should be daily consumed in a permissive amount, and however, if they are used more than the standard values, it will have dangerous side effects including physical problems, so determining the amount and nature of ash has a highly importance. One of the serious drawbacks of sugar and sugarloaf industry is the high amount of sugar ash. In this study, metallic cations that are responsible for ash sugar were identified and surveyed for the first time. Calcium, magnesium, sodium, potassium, zinc and iron were investigated as the main sources of ash in the foodstuffs and their creation source in the cyclic production were identified and proposed. Results showed that the ash type in investigated samples were calcium and sodium.

Keywords: Metallic cations, Ash, Sugarloaf, White sugar, Water.

¹Ph.D. Student, Department of Chemistry, University of Zanjan, Zanjan, Iran. farzaneh2856@gmail.com

² Full Professor, Department of Chemistry, University of Zanjan, Zanjan, Iran. aliramazani@gmail.com

³ Postdoctoral Researcher. Department of Chemistry, University of Zanjan, Zanjan, Iran. saeidt64@gmail.com

⁴ Standards Administration, Zanjan, Iran. kamyab1987@gmail.com.

⁵ Standards Administration, Zanjan, Iran. rezadoostathar@yahoo.com.



شناسایی و اندازه‌گیری کاتیون‌های فلزی مؤثر در بالا بردن خاکستر قند

فرزانه مرادنیا^{1*}، علی رضمانی²، سعید تقوی فردود³، احسان کامیاب⁴، مهسا رضادوست اطهر⁵

* نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان صندوق پستی 313-45195، زنجان، ایران.

چکیده

غذا و تغذیه از جمله نیازهای اساسی جامعه بشری و تأمین آن در مقوله امنیت و بهداشت غذایی نهفته است. تأمین مواد غذایی باکیفیت، سالم و کافی برای جمعیت کشور از مسائل اصلی هر جامعه‌ای است. قند و شکر علاوه بر اهمیت غذایی، از لحاظ سیاسی و اقتصادی نیز همواره به‌عنوان یک محصول استراتژیک مهم، مطرح و مورد توجه بوده است. میزان خاکستر قند یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده کیفیت قند است. هر یک از املاح ایجادکننده خاکستر دارای میزان مجاز مصرف روزانه هستند و در صورتی که میزان دریافت آن‌ها از این مقدار مجاز بیشتر شود موجب بروز مشکلات جسمی خواهد شد، بنابراین تعیین مقدار و ماهیت خاکستر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بالا بودن نمره خاکستر قند یکی از مشکلات جدی صنایع تولید قند و شکر است. در این مطالعه، برای اولین بار کاتیون‌های فلزی ایجادکننده خاکستر قند شناسایی شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، روی و آهن به‌عنوان عناصر اصلی ایجادکننده خاکستر در مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفتند و منابع ورود آن‌ها به چرخه تولید مشخص گردید. نتایج نشان داد خاکستر قند در نمونه‌های مورد بررسی از جنس کلسیم و سدیم است.

واژه‌های کلیدی: کاتیون فلزی- خاکستر- قند- شکر سفید- آب

¹ دانشجوی دکتری گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. farzaneh2856@gmail.com

² استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. aliramazani@gmail.com

³ پژوهشگر پسادکتری گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. saeidt64@gmail.com

⁴ کارشناس اداره کل استاندارد، زنجان، ایران. kamyab1987@gmail.com

⁵ کارشناس اداره کل استاندارد، زنجان، ایران. rezadoostathar@yahoo.com



مقدمه

در دنیای مدرن و ماشینی امروز، صنایع تولید مواد غذایی و آشامیدنی یکی از مهم‌ترین صنایع جهت رفع نیازهای انسان قرن 21 است که با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، تبدیل به یک صنعت پرسود گردیده است. در این میان قند و شکر به‌عنوان ماده غذایی مورد نیاز بدن و اصلی‌ترین ماده شیرین‌کننده علاوه بر مصرف بالای آن در سبک روزانه خانواده‌ها، بیشترین مصرف را در صنایعی از جمله نوشابه‌سازی، کنسرو و کمپوت، شیرینی و شکلات دارند. این ماده غذایی از جمله کالاهای ضروری در تمامی نقاط جهان محسوب می‌شود [1-2]. علاوه بر اهمیت غذایی، از لحاظ سیاسی و اقتصادی نیز همواره به‌عنوان یک محصول استراتژیک مهم، مطرح و مورد توجه بوده است. بنابراین اکثر کشورها سعی در تهیه و تولید آن داشته و تا حد امکان نیازهای داخلی خود را تأمین می‌نمایند و تعدادی از کشورها نیز سهم به‌سزایی از درآمدهای خود را از صادرات این محصول کسب می‌کنند [3].

یکی از پرمصرف‌ترین صنایع مصرف شکر در ایران، کارخانه‌های تولید قند از شکر هستند. در این صنعت شکر به‌عنوان اصلی‌ترین ماده اولیه در تولید قند، به‌طور مستقیم بر کیفیت ظاهری و شیمیایی محصول نهایی اثرگذار است. قند فرآورده خوراکی است که از پخت دوباره شکر سفید با بهره‌گیری از بخار و خلأ حاصل می‌شود [4]. خاکستر در قند و شکر به مواد معدنی محلول در آب گفته می‌شود که همراه کریستال شکر است و به روش هدایت سنجی اندازه‌گیری می‌گردد. این مواد معدنی می‌تواند شامل عناصری مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، منگنز، کلسیم، آهن، گوگرد، فسفر، کلر و نیز مقدار جزئی مس، روی، کبالت، آلومینیم، فلزات و شبه فلزات به صورت املاح کربنات و فسفات و سولفات و کلرور در مواد غذایی باشد که در اثر سوزانده شدن در دماهای بالا از بین نمی‌روند [5]. همان‌طور که در مقالات و پژوهش‌های پزشکی آمده است هر کدام از املاح دارای میزان مجاز مصرف روزانه هستند و در صورتی که میزان دریافت آن‌ها از این مقدار بیشتر شود موجب بروز مشکلات جسمی خواهد شد [6-8]. بنابراین ارتقاء کیفی محصولات قندی با بهینه‌سازی فرایندهای تولید و فرآوری آن، اهمیت چشمگیری در حفظ سلامت مصرف‌کننده خواهد داشت. یکی از عوامل مهم در کنترل کیفیت این ماده غذایی استراتژیک، کنترل میزان خاکستر است. مطابق استاندارد ملی ایران شماره 69 سال 1394 شکر سفید ویژگی‌ها و روش آزمون (تجدید نظر پنجم)، حداکثر نمره خاکستر برای شکر وارداتی 15 و برای شکر تولید داخل 20 است. این عدد برای قند کله مطابق استاندارد ملی ایران شماره 3680 قند کله ویژگی‌ها و روش آزمون (تجدید نظر دوم)، حداکثر 15 و برای قند کلوخه مطابق استاندارد ملی ایران شماره 3666 قند کلوخه ویژگی‌ها و روش آزمون (تجدید نظر اول)، حداکثر 16 در نظر گرفته شده است [9-10].

کیفیت مواد اولیه مصرفی، تجهیزات و فناوری مورد استفاده، تخصص و مهارت کارکنان شاغل در خط تولید از موارد مهم تأثیرگذار بر کیفیت محصول نهایی در کارخانه‌های مواد غذایی است. در پژوهش حاضر تأثیر هر یک از این موارد بر کیفیت ماده خوراکی قند و به‌طور ویژه اثرگذاری این موارد بر افزایش کاتیون‌های فلزی و در نتیجه افزایش خاکستر قند، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. آب و شکر دو ماده اولیه اساسی در تولید قند هستند و کاتیون‌های فلزی موجود در آن‌ها به‌طور مستقیم بر افزایش خاکستر قند مؤثر است. روش‌های مختلفی مانند فیلتر کردن، اسمز معکوس، سختی‌گیر الکترونیکی و استفاده از مواد شیمیایی، رزین‌های تبادل‌یون و نیروی مغناطیسی یا ترکیبی از این روش‌ها برای کاهش سختی آب و کم کردن کاتیون‌های فلزی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر به‌منظور شناسایی و اندازه‌گیری کاتیون‌های فلزی ایجادکننده خاکستر قند و پیشنهاد راهکار جهت کاهش آن انجام گرفت.



تجربی

مواد مصرفی

نمونه برداری از قند، شکر و آب به صورت تصادفی و طبق اصول مندرج در استاندارد ملی مربوطه از قندریزی های استان زنجان جهت انجام تحقیقات صورت گرفت. تمامی نمونه های پس از دریافت، کدگذاری شده و در ظروف غیرقابل نفوذ نسبت به هوا و رطوبت قرار داده شد و تا روز آزمایش نگهداری شد.

دستگاه ها و ابزارها

هدایت سنج TDS متر پرتابل AZ مدل 8303 ساخت کشور روسیه جهت سنجش مواد جامد محلول در آب و همچنین هدایت الکتریکی محلول مورد استفاده قرار گرفت. غلظت عناصر موردنظر توسط دستگاه جذب اتمی Analytik jena مدل novAA 350 ساخت کشور آلمان اندازه گیری شد.

روش کار

روش اندازه گیری خاکستر در این پژوهش به روش ذکر شده در استاندارد ملی ایران شماره 69- ویژگی ها و روش های آزمون شکر سفید است [6]. برای اندازه گیری هدایت نمونه، مقدار $31/3 \pm 0/1$ گرم نمونه، با آب مقطر در بالن ژوژه 100 میلی لیتری حل شده و در دمای 20 درجه سانتی گراد به حجم ر ساند می شود و یا $28 \pm 0/1$ گرم نمونه با آب مقطر به وزن 100 گرم می رسد. بعد از مخلوط کردن کامل، هدایت آن در دمای $20 \pm 0/2$ اندازه گیری خواهد شد. نتیجه این اندازه گیری به شرح زیر بیان می شود.

اگر C_1 هدایت نمونه برحسب $\mu S/cm$ در 20 درجه سانتی گراد و C_{water} هدایت آب مقطر باشد. بنابراین هدایت اصلاح شده C_{28} مربوط به 28 گرم در 100 گرم محلول عبارت است از:

$$C_{28} = C_1 - 0.35 C_{water}$$

$$\text{و درصد خاکستر هدایتی} = C_{28} \times 10^{-4} \times 6$$

در روش مذکور، هر 0/0018 درصد خاکستر هدایتی برابر یک نمره (پوان) است. بنابراین از تقسیم درصد خاکستر بر 0/0018، نمره خاکستر به دست می آید. در صورتی که اندازه گیری در دمای 20 درجه سانتی گراد انجام نشود، تصحیح دمایی نتیجه نهایی در محدوده ± 5 درجه سانتی گراد، مطابق فرمول زیر میسر است. در این فرمول C_T هدایت در دمای T درجه سانتی گراد است.

$$C_{20^\circ C} = C_T / (1 + 0.026 (T - 20))$$

جهت اندازه گیری غلظت عناصر موردنظر، ابتدا $31/3$ گرم از نمونه قند و شکر در دمای 500 درجه سانتی گراد به مدت 6 ساعت سوزانده شد. خاکستر باقی مانده به منظور بررسی خاکستر محلول در آب، در آب مقطر حل شد و به عنوان بلانک مورد استفاده قرار گرفت. محلول های استاندارد با غلظت مشخص از هر گونه تهیه شد، پس از اندازه گیری جذب محلول های استاندارد، نمودار کالیبراسیون ترسیم گردید. سپس جذب نمونه مجهول قرائت شد و غلظت نمونه مجهول با استفاده از نمودار کالیبراسیون معین شد.



نتایج و بحث

از میان چند نمونه قند و شکر نمونه برداری شده از کارخانه های تولید قند به روش پخت در خلأ، شش نمونه قند و شکر مورد استفاده در تولید آنها انتخاب و مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. جهت بررسی دقیق تر منبع ایجادکننده خاکستر، نمونه برداری از کلیه مواد اولیه مصرفی و فرایند تولید صورت گرفت. این موارد شامل نمونه برداری از آب ورودی به کارخانه، شکر، آب خروجی از دستگاه سختی گیر (Reverse Osmosis) است.

ابتدا به منظور بررسی نوع خاکستر قند و تعیین غلظت عناصر تشکیل دهنده خاکستر، آنالیز جذب اتمی به روش ذکر شده در بخش تجربی، مورد استفاده قرار گرفت و عناصر کلسیم، سدیم، پتاسیم، آهن، روی و منیزیم به عنوان عناصر انتخابی مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه این بررسی در جدول 1 و جدول 2 و آورده شده است.

جدول 1: غلظت عناصر تشکیل دهنده خاکستر در نمونه های قند بر حسب ppm

ردیف	عنصر مورد بررسی	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 3	نمونه 4	نمونه 5	نمونه 6
1	کلسیم	16/30	18	12	10/1	16	22
2	سدیم	8/9	7	5/2	8/2	7/6	10/2
3	پتاسیم	2/6	1	0/7	1/8	3/1	4
4	منیزیم	0/7	5	3	2/2	0/9	7/2
5	روی	0/2	0/1	0/7	0/5	0/1	0/2
6	آهن	0/15	0/1	0/15	0/2	0/19	0/1

جدول 2: غلظت عناصر تشکیل دهنده خاکستر در نمونه های شکر بر حسب ppm

ردیف	عنصر مورد بررسی	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 3	نمونه 4	نمونه 5	نمونه 6
1	کلسیم	6/1	6/8	4	4/1	6	8/2
2	سدیم	1/6	1/8	1/2	0/7	2	2/9
3	پتاسیم	1/8	0/2	0/1	0/5	0/5	1
4	منیزیم	0/18	0/2	0/1	0/2	0/28	0/9
5	روی	0/07	0	0/07	0/05	0	0/07
6	آهن	0/08	0/05	0	0/01	0/07	0



همان‌طور که از مقایسه دو جدول ملاحظه می‌شود یون‌های کلسیم و سدیم بیشترین سهم را در ایجاد خاکستر قند دارند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که جنس خاکستر در نمونه قند مورد بررسی کلسیمی - سدیمی است. از مقایسه اعداد مربوط به خاکستر قند و شکر می‌توان گفت: بخش کمی از کلسیم از طریق شکر به قند وارد می‌شود، آب سختی‌گیری نشده و پساب بازگردانده شده به چرخه تولید، اصلی‌ترین منابع تزریق کاتیون کلسیم به قند هستند.

از آنجاکه مقدار کمی از کاتیون سدیم از طریق شکر به قند وارد شده است می‌توان گفت سدیم از منابع دیگری به صورت گسترده به قند وارد می‌شود. در فرایند تولید قند به روش پخت در خلأ، شستشو و احیای رزین‌های رنگ‌بر و سختی‌گیر به صورت مرتب توسط محلول NaOH و NaCl انجام می‌گیرد و در صورت شستشو و احیای غیر صحیح رزین‌ها، مقدار زیادی کاتیون سدیم به چرخه تولید وارد می‌شود. ناخالصی‌های یونی و به‌ویژه سدیم، علاوه بر بالا بردن مقدار خاکستر قند مانع شکل‌گیری کریستال‌های قند می‌شوند. هر چه غلظت این یون‌ها بالاتر باشد، کریستالیزاسیون کمتر شده و پساب بیشتری تولید می‌شود. تولید پساب علاوه بر اینکه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، سبب ایجاد مشکلات گسترده‌ای در چرخه تولید می‌شود. پساب به صورت چرخشی به سیستم بازگردانده می‌شود و به این صورت سرشار از انواع کاتیون‌ها می‌شود. هدایت الکتریکی پساب در نمونه شماره 1 برابر $220 \mu S$ است و تأیید می‌کند پساب یک منبع اصلی تشدیدکننده خاکستر است. علاوه بر این، پساب تولید شده پس از مدت‌زمان کوتاهی دچار ترشیدگی خواهد شد. از آنجاکه pH از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در فرایند تولید قند است، در صورت اسیدی شدن شربت، میزان قند اینورت بالاتر از مقدار مجاز خواهد رفت و مانع از کریستالیزاسیون قند خواهد شد. تولیدکنندگان قند، pH شربت اسیدی شده را با افزودن آب‌آهک تنظیم می‌کنند که خود از عوامل مستقیم بالا رفتن خاکستر قند تولید شده است. به منظور بهبود شرایط تولید، لازم است تا حد امکان از سود شویی رزین‌ها خودداری شود، و آب‌نمک گرم با غلظت مناسب جایگزین شود. همچنین ضروری است پس از انجام فرایند احیا، رزین‌ها تا حذف کامل یون سدیم با آب کافی شسته شوند.

سدیم دی‌تیونیت، بلانکیت، یا جوهر قند پودری سفیدرنگ با فرمول عمومی $Na_2S_2O_4$ است که در صنعت قند به عنوان افزودنی جهت رنگ‌بری استفاده می‌شود. این ترکیب نیز یکی از منابع ورود مستقیم یون سدیم به چرخه تولید است. لذا اندازه‌گیری بلانکیت از موارد مهم در کنترل کیفیت قند است. حداکثر مقدار بلانکیت مصرفی در تولید قند 10ppm است و مصرف بیشتر از آن ایجاد عوارضی از قبیل اختلالات گوارشی، استنشاقی، پوستی و حتی چشمی می‌کند. سازمان بهداشت جهانی استفاده از این ماده در مواد غذایی را ممنوع کرده است.

در بررسی کاتیون منیزیم مشاهده می‌شود که نقش شکر در ورود آن به قند ناچیز است. منیزیم از املاح اصلی ایجادکننده سختی آب است و لذا پیش‌بینی می‌شود بخش اعظمی از آن، از طریق آب سختی‌گیری نشده و پساب برگشتی به قند وارد شود.

کاتیون روی اگرچه سهم بسیار کوچکی در ترکیب خاکستر قند دارد اما مقایسه‌ها نشان می‌دهد که مقداری از آن از طریق شکر به قند وارد می‌شود. روپوش گالوانیزه قالب‌ها و تجهیزات، آب و پساب از سایر عوامل ورود روی به قند می‌باشند. استفاده از تجهیزات استیل که مقاومت بالایی دارند راهکار مناسبی جهت کاهش ورود روی به محصول نهایی است.

کاتیون آهن نیز سهم کمی از خاکستر قند را تشکیل می‌دهد که نقش شکر در ایجاد آن از مقایسه جدول 1 و 2 مشخص است. اکسیدهای فلزی تشکیل شده بر جداره تجهیزات و قالب‌های غیر استیل، آب و پساب از سایر عوامل ورود آهن به قند هستند.



با توجه به اینکه آب بیش از 30 درصد از شربت تولید شده را تشکیل می‌دهد، خصوصیات شیمیایی و میکروبی آن به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول نهایی مؤثر است. به‌منظور بررسی تأثیر سختی آب بر خاکستر قند، هدایت الکتریکی آب ورودی به کارخانه و آب خروجی از دستگاه سختی گیر اندازه‌گیری شد و نتایج آن در جدول 3 آورده شده است. نتیجه به‌دست‌آمده اهمیت نصب و نگهداری صحیح سختی گیر در فرایند تولید قند از شکر را نشان می‌دهد.

جدول 3: مقایسه هدایت الکتریکی آب قبل و بعد از سختی‌گیری توسط دستگاه RO

نمونه 6	نمونه 5	نمونه 4	نمونه 3	نمونه 2	نمونه 1	نمونه هدایت الکتریکی
122	185	210	180	380	907	هدایت الکتریکی آب ورودی به کارخانه
فاقد سیستم سختی‌گیر	38	9	9	42	14/5	هدایت الکتریکی آب سختی‌گیری شده

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان داد که نمره خاکستر قند در بیشتر نمونه‌ها، بالاتر از حد استاندارد ملی ایران بود. در شش نمونه انتخابی از میان نمونه‌ها، نمونه‌برداری از مواد اولیه مصرفی شامل آب (قبل و بعد از ورود به سختی‌گیر)، شکر و مراحل فرایند تولید صورت گرفت. نتایج نشان داد یون‌های کلسیم و سدیم بیشترین سهم را در ایجاد خاکستر قند دارند و جنس خاکستر در نمونه قند مورد بررسی کلسیمی-سدیمی است. همچنین مقدار کاتیون‌های منیزیم، آهن، روی و پتاسیم نیز در نمونه مورد بررسی قرار گرفت. شکر نامرغوب، آب سخت، پساب برگشتی به چرخه تولید، تجهیزات غیراستاندارد و عدم کنترل شرایط حین تولید اصلی‌ترین دلایل بالا رفتن خاکستر قند می‌باشند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از "اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان زنجان" بابت حمایت مالی و معنوی از پژوهش حاضر، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

- [1] Palermo, C.; Wilson, A. Development of a healthy food basket for Victoria. *The official journal of the Public Health Association of Australia*. **2007**, *31*, 360-363.
- [2] FIAT, A. M.; JOLLÈS, J.; AUBERT, J. P.; LOUCHEUX-LEFEBVRE, M. H.; JOLLÈS, P. Localisation and importance of the sugar part of human casein. *Eur. J. Biochem*. **1980**, *111*, 333-339.
- [3] Narayan, P. K; Prasad, B. C. *In Computable General Equilibrium Approaches in Urban and Regional Policy Studies*, **2005**.
- [4] Standard Loaf sugar –Specifications and test methods. *ISIRI*, **1397**, 3680.



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی



- [5] Bahrami, M. E.; Honarvar, M. Investigation and Comparison of Qualitative Characteristics Affecting Purification Process. *Food Science and Technology*. **1394**, *12*, 49-62.
- [6] Ronis, M. J.; Pedersen, K. B.; Watt, J. Adverse effects of nutraceuticals and dietary supplements. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* **2018**, *58*, 583-605.
- [7] Guallar, E.; Stranges, S.; Mulrow, C.; Appel, L. J.; Miller, E. R. Enough is enough: stop wasting money on vitamin and mineral supplements. *Annals of internal medicine* **2013**, *159*, 850- 851.
- [8] Fortmann, S. P.; Burda, B. U.; Senger, C. A.; Lin, J. S.; Whitlock, E. P. Vitamin and mineral supplements in the primary prevention of cardiovascular disease and cancer: an updated systematic evidence review for the US Preventive Services Task Force. *Annals of internal medicine* **2013**, *159*, 824-834.
- [9] Standard Slab of sugar –Specifications and test methods. *ISIRI*, **1389**, 3666.
- [10] Standard White sugar Specifications and test methods. *ISIRI*, **1394**, 69.