

بررسی و مقایسه خصوصیات کیفی موثر بر فرآیند تصفیه در شکرخام وارداتی و تولید داخل

محمد عرفان بهرامی^a، مسعود هنرور^{*b}

^a دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران
^b استادیار دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۲/۱۴

چکیده

مقدمه: شکرخام، کریستال ساکارزی است که به وسیله لایه نازکی از شربت که درجه خلوص پایینی دارد محصور شده است. شکرخام نیشکری به عنوان پرمصرف‌ترین ماده اولیه در صنعت قند و شکر از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه کیفی شکرهای خام نیشکری موجود در بازار صنعت قند کشور به منظور تاثیر در عملکرد و کنترل فرایند تصفیه بود.

مواد و روش ها: این تحقیق به بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی همچون میزان ساکارز، خاکستر، اینورت، شدت رنگ، pH، ضریب شکست، نشاسته و دکستران شکرهای خام مختلف داخلی و وارداتی می پردازد. لازم به ذکر است که در این پژوهش برای اولین بار در کشور میزان دکستران در نمونه‌های مختلف شکرخام نیشکری موجود در ایران تعیین گردید.

یافته ها: نتایج آزمایش بیانگر این بود که نمونه‌های شکرخام وارداتی دارای درصد ساکارز بالاتر، اما میزان اینورت، رنگ، خاکستر و دکستران پایین تری نسبت به نمونه‌های داخلی بودند که می‌تواند بخش قابل توجهی از هزینه‌های تصفیه را کاهش داده و شکر سفیدی با کیفیت بالاتر به وجود آورد ولی میزان نشاسته در نمونه‌های وارداتی به غیر از نمونه برزیلی A و برزیلی E بالاتر از نمونه‌های ایرانی بود.

نتیجه گیری: نمونه‌های شکرخام برزیلی به دلیل دارا بودن میزان ساکارز بالاتر و ناخالصی کمتر جهت تولید شکر سفید با کیفیت پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اینورت، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، دکستران، ساکارز، شکرخام نیشکری

مقدمه

شکر خام نیشکری^۱ (شکرخام) به عنوان یکی از محصولات و فرآورده‌های مورد استفاده در کارخانجات تولید قند و شکر از اهمیت به‌سزایی برخوردار است تا جایی که آن را به عنوان عمده‌ترین ماده اولیه تولید شکر در جهان شناخته‌اند (Engida et al., 2013). در کارخانه‌های تولید شکر از چغندر قند به دلیل کوتاه بودن فصل کاشت و برداشت چغندر، مدت دریافت آن از مزارع محدود بوده و این امر سبب می‌شود دوره بهره‌برداری کارخانه‌های تولید شکر از چغندر قند طولانی نباشد و در ایران اغلب، دوره بهره‌برداری این کارخانه‌ها، با استفاده از ماده اولیه چغندر قند از حدود اواخر شهریور ماه آغاز شده و به مدت ۴ تا ۶ ماه ادامه می‌یابد. در سایر فصول به دلیل عدم دسترسی به ماده اولیه مصرفی (چغندر قند) کارخانه در زمینه تولید فعال نیست، مگر آنکه شکل دیگری از تولید در آن فعال باشد (مصباحی، ۱۳۹۱). یکی از این راه‌ها، تصفیه شکرخام تولیدی کارخانه‌هایی است که از ماده اولیه نیشکر استفاده می‌کنند و تولید شکر سفید از آن است. شکرخام یا شکری که تصفیه کامل نداشته در واقع کریستال ساکارزی است که به وسیله لایه نازکی از شربت با درجه خلوص پایین محصور شده است و در کارخانجات نیشکر، پس از انجام عملیات تصفیه جزئی و محدود که بر روی شربت خام نیشکر انجام می‌شود، در اثر عمل کریستالیزاسیون به دست می‌آید (Asadi, 2007). پارامترهای مختلفی در کیفیت شکرخام دخیل‌اند که از آن جمله می‌توان به مقدار ساکارز، شدت رنگ، حضور ترکیبات ناخالصی همچون قندهای احیا کننده (اینورت^۲)، مواد آلی غیرقندی، درصد رطوبت و خاکستر اشاره کرد (Chou, 2000). تحقیقات نشان داده است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شکرخام مورد مصرف، بیشترین تاثیر را در نوع و کیفیت شکر سفید تولیدی دارد همچنین این خصوصیات، نقش مهمی در قیمت نهایی شکرخام خریداری شده ایفا می‌کنند (Asadi, 2007). این خصوصیات کیفی تحت تاثیر عوامل شیمیایی، آنزیمی و میکروبی اثر گذار بر گیاه نیشکر و یا در خلال فرایند تولید این محصول می‌تواند متغیر باشد (Irvine, 1993). شکل ۱ فرایند تولید شکر خام از نیشکر را نمایش

بررسی و مقایسه خصوصیات کیفی موثر بر فرایند تصفیه در شکرخام

می‌دهد.

قند اینورت^۳، محصول اینورسیون ساکارز تحت شرایط اسیدی و یا در حضور آنزیم اینورتاز است. اینورت، مخلوطی از گلوکز و فروکتوز با نسبت‌های مساوی است که بر خلاف ساکارز، قندی چپ‌گردان محسوب می‌شود (Demian, 1990).

خاکستر به کلیه مواد معدنی یک جسم که پس از سوزاندن مواد آلی آن بدست می‌آید گویند و مقدار خاکستر به روش‌های زیر تعیین می‌شود:

- ۱- روش تعیین وزن یا گراویمتری یعنی تعیین مواد معدنی یک جسم که پس از سوزاندن به دست می‌آید.
- ۲- روش کندانکتومتری یعنی اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی یک محلول که میزان آن به مواد تشکیل دهنده خاکستر بستگی نزدیک دارد (شیخ الاسلامی، ۱۳۷۶). از عوامل مهم و اساسی پایداری و ثبات حین انبارداری محصولات کشاورزی و فرآورده‌های غذایی می‌توان به رطوبت اشاره کرد. شکرخام با درصد رطوبت بالا را نمی‌توان ذخیره نمود زیرا بسیار مستعد فساد میکروبی است، از طرفی درصد بالای رطوبت شکر خام موجب می‌شود تا به سرعت در طی فرایند آفیناسیون^۴ با شربت مخلوط گردد (Asadi, 2007). یکی دیگر از پارامترهای مهم و اساسی در تعیین نوع و کیفیت شکر خام، خصوصیات و میزان عوامل رنگ‌زا است. شکر خام با رنگ بسیار پایین به منظور تصفیه شدید مورد توجه است، زیرا باعث حذف مرحله آفیناسیون از پروسه تولید می‌گردد (Davis, 2001). حضور ترکیبات آلی غیرقندی در شکر خام به دلیل وزن مولکولی بالا و ایجاد مشکلات متعدد تکنولوژیکی، از اهمیت بسزایی برخوردار است. دکستران^۵، نشاسته و ترکیبات کلوئیدی جزء این گروه می‌باشند (Kulkarni, 2009). تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی و شناسایی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انواع شکرهای خام و مقایسه آن‌ها انجام شده است. سامی و سیاد (۲۰۰۰) در پژوهشی که بر روی ۱۵ نمونه شکرخام مربوط به کارخانه‌ای در مصر در طول یک دوره یک ساله بهره‌برداری انجام دادند، خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها را از جمله، میزان ساکارز، درصد خاکستر، قند اینورت، شدت رنگ، قابلیت فیلترپذیری، میزان دکستران و

¹ Raw Cane Sugar

² Invert

² Invert Sugar

⁴ Affination

⁵ Dextran

- نمونه ۷: مربوط به شکرخام وارداتی برزیلی E.
- نمونه ۸: مربوط به شکرخام وارداتی برزیلی K.
- نمونه ۹: مربوط به شکرخام وارداتی برزیلی H.
- نمونه ۱۰: مربوط به شکرخام وارداتی هندی A.
- نمونه ۱۱: مربوط به شکرخام وارداتی هندی B.

- روش‌ها

- تعیین میزان خاکستر

جهت تعیین میزان خاکستر نمونه‌ها از دستگاه کنداکتومتر^۲ مدل (WTW LF196) ساخت کشور آلمان استفاده شد. به منظور کالیبراسیون دستگاه نیز از یک محلول کالیبراسیون کنداکتومتر متعلق به شرکت هانا^۳ ساخت کشور رومانی استفاده شد. این آزمون بر اساس استاندارد ایران به شماره ۵۱۸۶ و همچنین بر طبق استاندارد آیکومسا^۴ به شماره GS1-10 انجام گرفت (ICUMSA, 2005).

- تعیین پلاریزاسیون

به منظور توزین دقیق نمونه‌ها به میزان 26 ± 0.02 گرم، از ترازوی با دقت 0.0001 مربوط به شرکت اوهاس^۵ مدل (PA214C) ساخت کشور آمریکا استفاده شد. پس از آماده‌سازی محلول‌ها، از دستگاه ساکارومتر (Anton Paar) مدل MCP200 با طول سل ۲۰۰ میلی‌متر ساخت کشور آلمان به منظور قرائت میزان ساکارز نمونه‌ها استفاده گردید. این آزمون بر اساس استاندارد ایران شماره ۶۸۹۷ و بر طبق استاندارد آیکومسا به شماره GS1/2/3-1 انجام شد (ICUMSA, 2005).

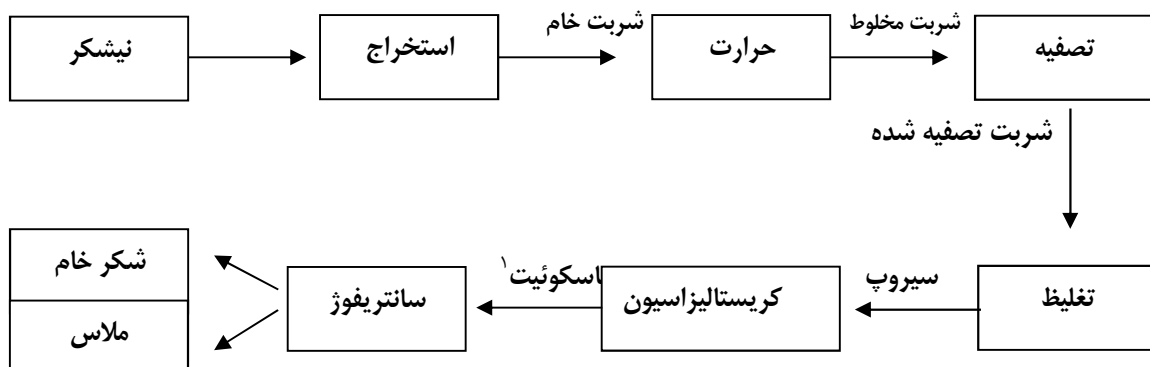
نشاسته و همچنین فاکتور رطوبت را مورد آزمون قرار داده و نشان دادند که تغییرات دما و تغییرات فصلی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شکرهای خام را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Samy & Syiad, 2000).

هدف از انجام این تحقیق مقایسه کیفی انواع شکرهای خام موجود در کارخانجات قند و تصفیه‌خانه‌های شکرخام در سطح کشور و ارزیابی میزان حضور ترکیبات ناخالصی در این گونه فرآورده‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سطح آزمایشگاهی در واحد تصفیه خانه قند کرج انجام گرفته است. نمونه‌های ایرانی در سال کاری ۹۱-۹۲ به طور مستقیم از کارخانه‌های مربوطه به شرح زیر تهیه شده و نمونه‌های وارداتی مربوط به فصل کاری ۲۰۱۲-۲۰۱۳ خریداری شده توسط کارخانه‌های قند هگمتان، شرکت قند کرج و شرکت بین‌المللی بازرسی کالای تجاری ایران (IGI) بودند. تمامی نمونه‌ها پس از دریافت در ظروف غیرقابل نفوذ به هوا و رطوبت قرار داده شده و تا روز آزمایش نگهداری شدند. نمونه‌های شکرخام به تعداد ۱۱ عدد و به ترتیب زیر تهیه گردید:

- نمونه ۱: مربوط به شرکت کشت و صنعت کارون.
- نمونه ۲: مربوط به شرکت کشت و صنعت فارابی.
- نمونه ۳: مربوط به شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان.
- نمونه ۴: مربوط به کشت و صنعت امیرکبیر.
- نمونه ۵: مربوط به شرکت کشت و صنعت دهنخدا.
- نمونه ۶: مربوط به شکرخام وارداتی برزیلی A.



شکل ۱- فرآیند تولید شکرخام نیشکری (مصباحی، ۱۳۹۱)

¹ Masecuite ² Conductometer (Microprocessor conductivity Meter) ³ Hanna ⁴ ICUMSA ⁵ OHAUS

رنگ محلول

رنگ محلول در انواع شکرهای مختلف بر اساس واحد IU بیان می‌شود و بر اساس آن شکرهای تصفیه شده دارای شدت رنگی بین ۵۰-۱۰ واحد IU اما شکرهای تصفیه نشده از جمله شکرخام شدت رنگی حتی تا ۵۰۰۰ واحد IU می‌توانند داشته باشند. از دستگاه اسپکتروفوتومتر به منظور اندازه‌گیری جذب محلول‌های تهیه شده استفاده شد و در نهایت شدت رنگ طبق فرمول ۱ محاسبه گردید:

$$\text{فرمول ۱: رنگ بر اساس واحد ایکومسا} = \frac{100000 \times \text{جذب شده خوانده}}{\text{دانسیته} \times \text{پریکس} \times \text{ضخامت سل}}$$

دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد استفاده، جنوای^۱ مدل 6320D ساخت کشور انگلستان بود. استاندارد این آزمون به شماره GS1-7 ایکومسا بود (ICUMSA, 1994).

قند اینورت

به منظور اندازه‌گیری قندهای احیا کننده در نمونه‌های شکرخام از روش انسیتو برلین استفاده شد (ICUMSA, 1994). اساس این آزمایش واکنش قندهای احیا کننده با مس دو ظرفیتی (محلول مولر) و احیا آن به مس یک ظرفیتی است. محلول مولر طبق استاندارد حاوی ۳۵ گرم سولفات مس است که در ۴۰۰ سانتی‌مترمکعب آب مقطر حل شده باشد (شیخ الاسلامی، ۱۳۷۶).

ضریب شکست

ضریب شکست یک محلول عبارت است از نسبت سرعت عبور نور در هوا به سرعت عبور نور در محلول، که این عدد برای آب خالص در دمای ۲۰°C و در طول موج ۵۸۹ نانومتر، ۱/۳۳۳ و برای محلول ۱۰٪ ساکارز خالص در همین دما ۱/۳۴۸ می‌باشد (Asadi, 2007). برای تعیین ضریب شکست نمونه‌ها، محلول‌های ۱۰٪ شکر خام تهیه گردیده و توسط دستگاه رفرکتومتر مدل ATR W متعلق به کمپانی (SCHMIDT+HAENSCH) ساخت کشور آلمان ضریب شکست نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

میزان pH

دستگاه pH متر مورد استفاده مدل (JENWAY 3510) ساخت کشور انگلستان بود. از نمونه‌های شکرخام

محلول‌های ۴۰٪ تهیه شده (ICUMSA, 2005) و به منظور اندازه‌گیری هرچه دقیق تر، دمای تمامی محلول‌ها در ۲۰°C تنظیم گردید (Asadi, 2007).

میزان رطوبت

رطوبت نمونه‌های شکرخام بر طبق استاندارد ایران (شماره ۵۱۱۴) اندازه‌گیری شد.

میزان نشاسته

به منظور سنجش نشاسته نمونه‌ها از روش استاندارد BSES به شماره GS1-16 استفاده شد (ICUMSA, 2005). مواد و محلول‌های مورد استفاده اعم از اسید استیک، نشاسته سیب‌زمینی، یدید پتاسیم، یدات پتاسیم و ساکارز خالص همگی متعلق به شرکت مرک آلمان بودند. برای قرائت جذب نمونه‌ها در ۷۰۰ نانومتر از دستگاه اسپکتروفوتومتر JENWAY مدل 6320D ساخت کشور انگلستان استفاده گردید.

میزان دکستران

تاکنون روش‌های مختلفی به منظور اندازه‌گیری دکستران در شکرهای مختلف پیشنهاد شده که در این بین روش هیز^۲ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دکستران استاندارد مورد استفاده از نوع DE0040 متعلق به شرکت اسکارلا^۳ اسپانیا، تری کلرو استیک اسید، الکل مطلق تقلیبی و ساکارز استاندارد از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند. به منظور قرائت جذب نمونه‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر HACH مدل DR5000 ساخت کشور آمریکا استفاده شد. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای اولین بار در کشور میزان دکستران نمونه‌های مختلف شکرخام با استفاده از روش هیز اندازه‌گیری شد (انجمن صنفی کارخانجات قند و شکر کشور).

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام شد. جهت انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از نرم‌افزار SPSS_{v22} و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

¹ JENWAY² Haze Method³ Scharlau

یافته‌ها

- میزان خاکستر

نتایج تجزیه واریانس نمونه‌ها نمایانگر تفاوت معنی‌دار نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش در سطح یک درصد بود (جدول ۱). بیشترین درصد خاکستر در نمونه شکرخام فارابی با میانگین $0/5223$ درصد و کمترین میزان آن در نمونه برزیلی K با میانگین $0/0627$ درصد مشاهده شد (نمودار ۱). حضور ترکیبات غیر آلی در شربت‌ها و سیروپ‌های قندی می‌تواند مشکلات متعددی را به دنبال داشته باشد. حضور بیش از حد برخی یون‌ها مانند کلسیم، موجب رسوب در دیواره کریستالیزاتور و اواپراتورها شده که این مسئله علاوه بر کاهش نرخ انتقال حرارت، موجب افزایش انرژی مصرفی نیز خواهد شد (Irvine, 1993). علاوه بر این شاید مهم‌ترین اثر افزایش خاکستر را بتوان افزایش ورود قند به ملاس نهایی و کاهش راندمان تولید دانست (Arslanoglu & Tumen, 2012). از این رو کاهش این ترکیبات و حضور اندک آنها در جریان تصفیه بسیار حایز اهمیت است. در این بین مشخص شده است که اثر ملاس زایی ترکیباتی همچون پتاسیم و سدیم بیش از دیگر ترکیبات غیر آلی می‌باشد (El khattabi et al., 1996). طبق نتایج این آزمایش نمونه‌های شکرخام ایرانی به استثناء نمونه کارون دارای درصد خاکستر بالاتری نسبت به انواع خارجی بودند (نمودار ۱).

- میزان اینورت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، بین نمونه‌های خارجی و داخلی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۲). یکی از خصوصیات بارز شکر خام نیشکری که این محصول را با انواع فرآورده‌های مشابه (شکرخام چغندر) متمایز می‌کند، میزان بالای قند اینورت در آن است (تا $1/5\%$) که این میزان تاثیر عمده‌ای در قیمت خرید این فرآورده نیز دارد (Asadi, 2007). حضور درصد بالای اینورت در شکر و فرآورده‌های آن نشان‌گر عدم کنترل مناسب فرایند در حین تولید و در نتیجه تجزیه بخشی از ساکارز و انورسیون آن است. از عوامل موثر در افزایش میزان اینورت می‌توان به کاهش pH شربت و همچنین حضور آنزیم اینورتاز اشاره کرد که در صورت

وجود دمای کافی در مراحل تولید، آنزیم مذکور غیر فعال شده و عملاً قادر به تجزیه ساکارز نمی‌باشد (Kulkarni, 2009). میزان pH در حین نگهداری شکرخام اثر فراوانی بر درصد اینورت تشکیل شده در فرآورده دارد، به طوری که ثابت شده است با افزایش pH قبل از ذخیره سازی شکرخام به وسیله افزودن مقداری شیرآهک رقیق، کاهش قابل توجه انورسیون در نمونه‌ها مشاهده خواهد شد (Kochergin & Saska, 2008). با توجه به نتایج این آزمایش، میانگین درصد اینورت در نمونه‌های داخلی به مراتب بیشتر از انواع خارجی بود (نمودار ۲).

- شدت رنگ

طبق نتایج تجزیه واریانس نمونه‌های داخلی و خارجی از نظر شدت رنگ شکرخام نیشکری دارای اختلاف معنی‌دار آماری در سطح یک درصد بودند (جدول ۳). شدت رنگ نمونه‌های داخلی به مراتب بیشتر از انواع وارداتی بود که بیشترین شدت رنگ در نمونه دهخدا و کمترین آن در نمونه برزیلی A مشاهده شد (نمودار ۳). رنگ یکی از پارامترهای مهم و اساسی در تعیین نوع و کیفیت شکرخام محسوب می‌شود. رنگ ظاهری شکرهای خام تولیدی از زرد روشن تا قهوه‌ای تیره متغیر بوده که متاثر از نوع و کیفیت فرآیند تولید آنهاست (Chou, 2000). در یک تقسیم بندی کلی مواد رنگی موجود در گیاه نیشکر را در دو گروه با منشا طبیعی و تشکیل شده در حین فرآیند تقسیم‌بندی می‌کنند (Godshall, 2000). فلاونوئیدها، ملانین‌ها، کلروفیل‌ها، گزانتوفیل‌ها و کاروتن‌ها از انواع با منشا طبیعی و ملانوتیدین‌ها، کارامل‌ها و هگزوزهای قلیایی ناشی از تجزیه محصولات از انواع تشکیل شده در حین فرآیند محسوب می‌شوند (آقافرمانی و همکاران، ۱۳۸۷).

یکی از دلایل اصلی اختلاف رنگ در نمونه‌ها را می‌توان به نحوه عملیات رنگبری^۱ در واحدهای مختلف بیان کرد. از پرکاربردترین روش‌های رنگبری می‌توان به سولفیتاسیون^۲، استفاده از خاک‌های رنگبر و همچنین بهره‌گیری از سیستم‌ها و رزین‌های تعویض یون^۳ اشاره کرد که در این بین ثابت شده است که استفاده از سیستم‌های تعویض یون در رنگبری شربت‌های نیشکر کارآمدتر از سایر روش‌های معمول می‌باشد (Davis et

¹ Decolorization² Sulfitation³ Ion Exchange Resin

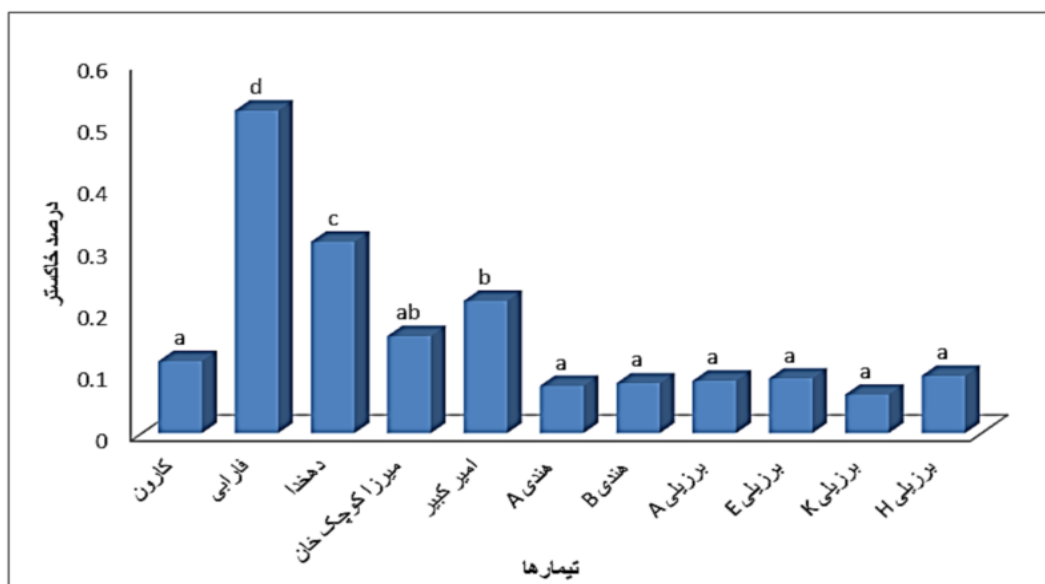
بررسی و مقایسه خصوصیات کیفی موثر بر فرایند تصفیه در شکرخام

استفاده از اضافه کردن گاز سولفور دی‌اکساید (سولفیتاسیون) انجام گرفته که این عمل می‌تواند یکی از دلایل افزایش شدت رنگ در مقایسه با محصولاتی که به‌وسیله رزین‌های تعویض یون رنگبری شده اند، باشد. (al., 2001; Bento, 1997) در ایران عملیات رنگبری با

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس میزان درصد خاکستر در نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد خاکستر
تیمار	۱۰	۰/۰۵۳**
بلوک	۲	۳/۳۲۴
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

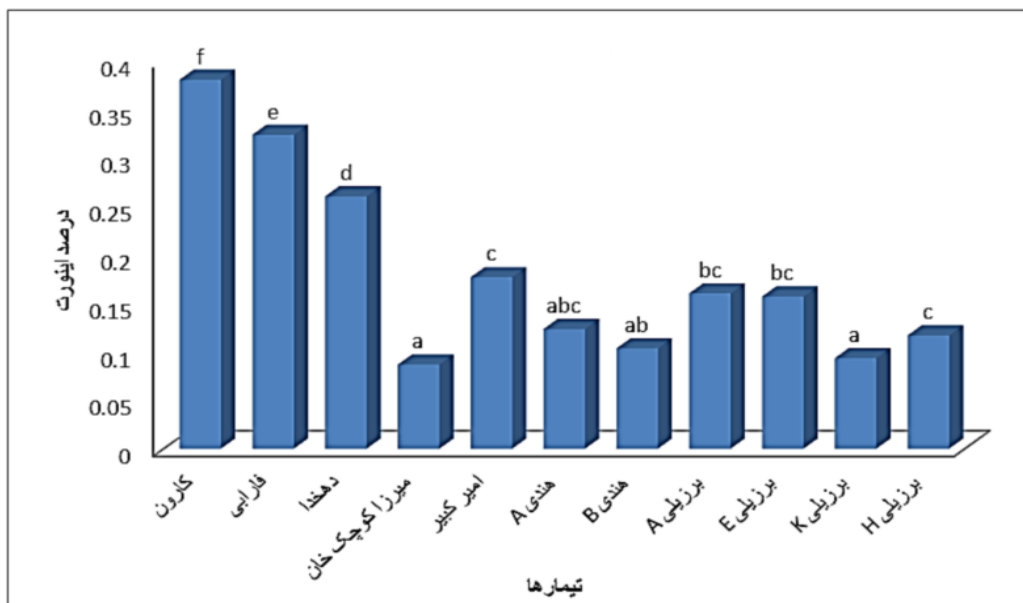


نمودار ۱- درصد خاکستر موجود در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی مورد آزمایش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس میزان اینورت در نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان اینورت
تیمار	۱۰	۲۷/۹۶۵**
بلوک	۲	۱/۹۷۴
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

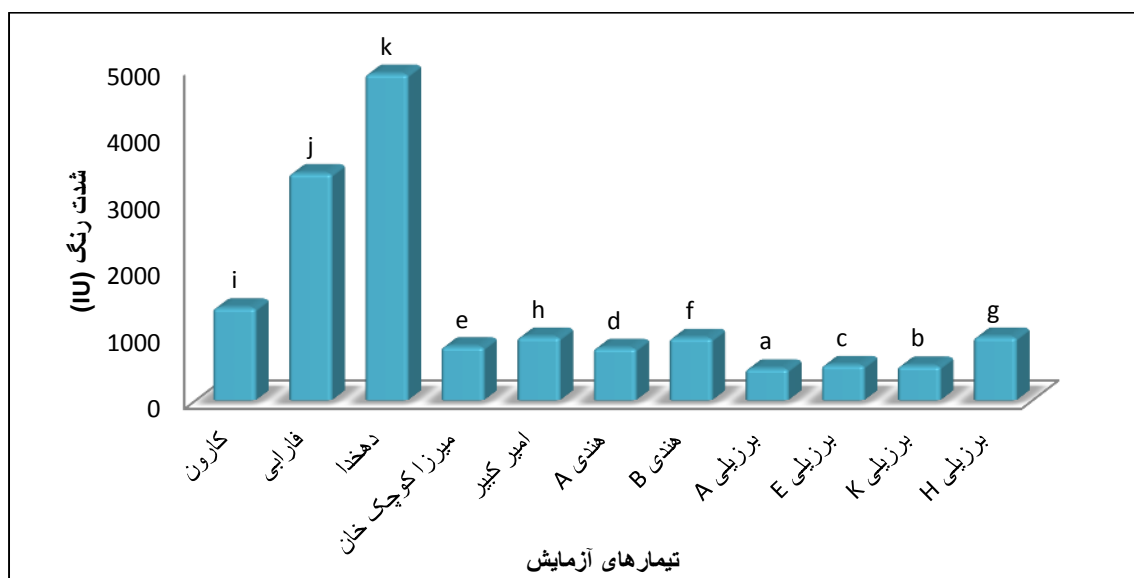


نمودار ۲- درصد اینورت موجود در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی مورد آزمایش

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شدت رنگ در نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	شدت رنگ (IU)
تیمار	۱۰	۸۰۰۷۳۳/۱۱۴**
بلوک	۲	۰/۴۸۷
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



نمودار ۳- میزان شدت رنگ موجود در نمونه‌های شکر خام داخلی و خارجی

- مقادیر pH

میزان pH در فرایند تولید شکر اثر فراوانی بر وقوع واکنش‌های شیمیایی متفاوت دارد. یکی از شناخته شده‌ترین

و مهم‌ترین واکنش‌ها که pH در آن نقش بسزایی دارد، تجزیه اسیدی ساکارز و تولید اینورت است (Mersad et al., 2003). در عصاره ابتدایی استخراج شده از گیاه نیشکر

نشاسته و دکستران منجر به کاهش قابلیت استخراج قند از گیاه شده و همچنین با افزایش حلالیت ساکاروز در حین کریستالیزاسیون آن مزاحمت ایجاد می‌کنند، علاوه بر این تغییر شکل و ظاهر کریستال نهایی را نیز باعث می‌شوند (Godshall, 2000; Cuddihy *et al.*, 2001). در این تحقیق میزان نشاسته موجود در شکرخام امیرکبیر دارای کمترین درصد نشاسته و شکرخام نمونه هندی B، دهخدا، هندی A، برزیلی H به ترتیب دارای بیشترین میزان نشاسته بوده‌اند (نمودار ۵). با توجه به بالا بودن میزان نشاسته در نمونه شکرخام هندی B و توجه به این نکته که حضور غلظت‌های بالای نشاسته بیشترین تاثیر را در قابلیت فیلتر پذیری و راندمان عملکرد فیلترها در واحد تصفیه دارد (Samy & siyad, 2000; Imrie & Tilbury, 1972)، استفاده از این نوع شکرخام (هندی B) می‌تواند در فرایند تصفیه ایجاد اشکال کند.

میزان pH پایین بوده (حدود ۴/۵ تا ۵/۵) و شرایط برای انورسیون ساکارز بسیار مساعد است به طوری که در شرایط معمول در شربت خام نیشکر حدود ۱/۲ تا ۳/۴٪ اینورت یافت می‌شود (مصباحی، ۱۳۹۱). نتایج بیانگر این بود که بین نمونه‌های ایرانی و وارداتی از لحاظ محتوای pH تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۴). بیشترین میزان pH در نمونه میرزا کوچک‌خان و برزیلی K با میانگین ۶/۸۴ درصد و کمترین آن در نمونه شکرخام دهخدا و فارابی با میانگین ۶/۱۶ درصد مشاهده شد (نمودار ۴).

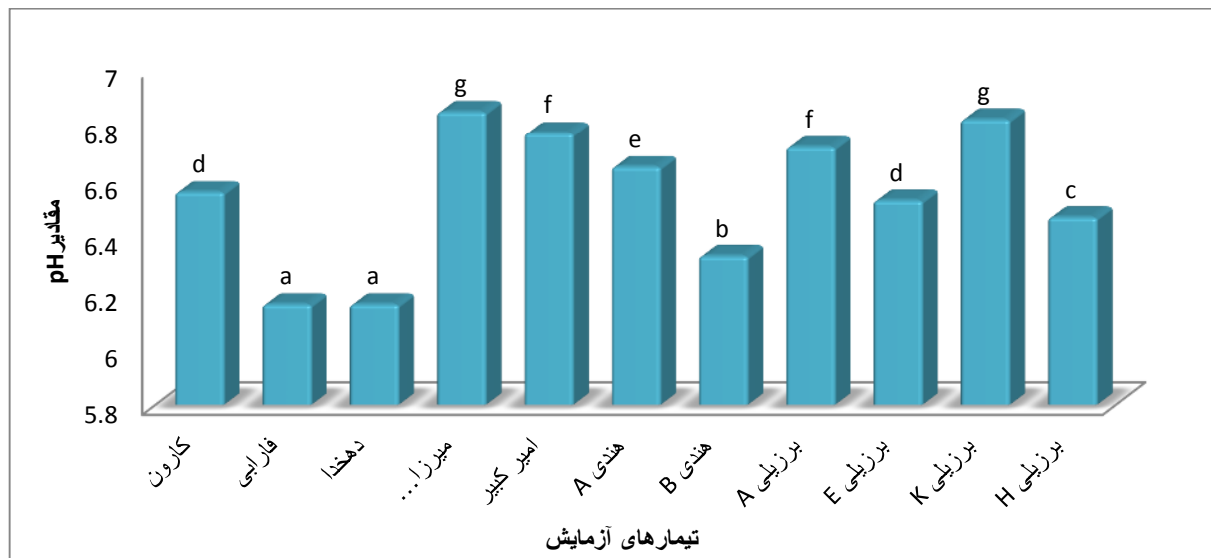
– نشاسته

نتایج تجزیه واریانس میزان نشاسته نمونه‌ها نشان داد که بین نمونه‌های داخلی و وارداتی شکرخام در سطح یک درصد اختلاف آماری معنی دار وجود داشت (جدول ۵). مشخص شده است که حضور ترکیبات غیرقندی همچون

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میزان pH در نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

مقادیر pH	درجه آزادی	منبع تغییرات
۳/۴۰۸**	۱۰	تیما
۰/۹۴۳	۲	بلوک
	۲۰	خطا
	۳۲	کل

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



نمودار ۴- میزان pH نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

- درصد ساکارز

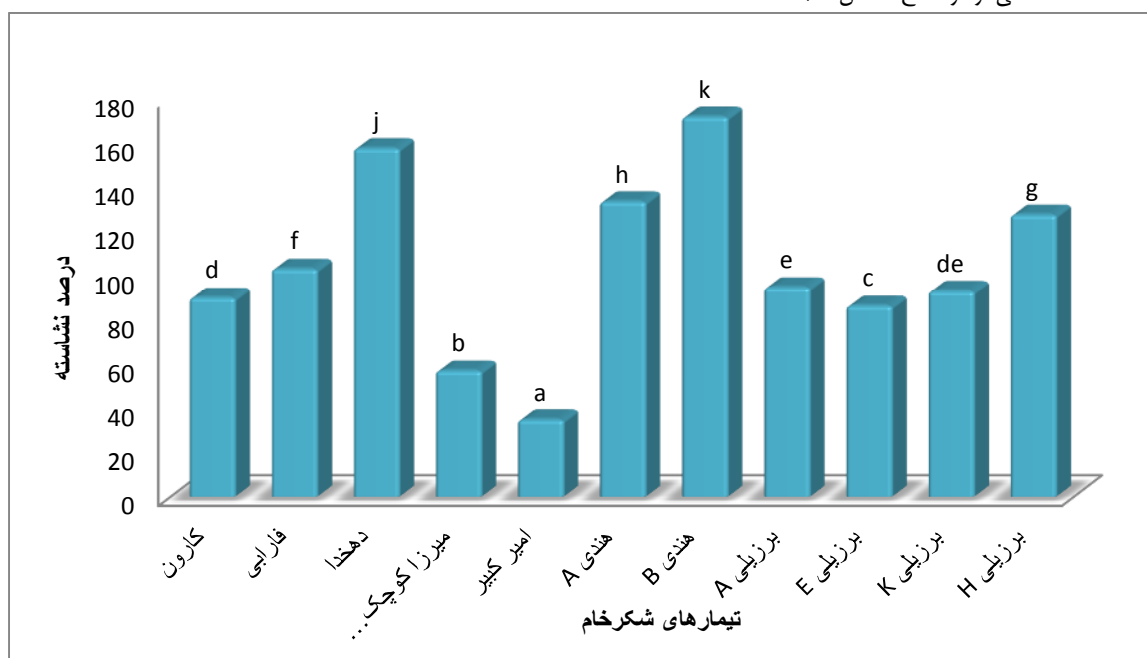
نمونه های شکرخام داخلی و وارداتی از لحاظ محتوای ساکارز نیز دارای تفاوت معنی دار با یکدیگر بودند (جدول ۶). کمترین درصد ساکارز مربوط به نمونه‌ی امیرکبیر و دهخدا با میانگین ۹۸/۱۷ و بیشترین درصد ساکارز در نمونه‌ی شکرخام برزیلی A مشاهده شد (نمودار ۶). تحقیقات نشان داده است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شکرخام مورد مصرف، بیشترین تاثیر را در نوع و کیفیت شکر سفید تولیدی دارد همچنین این خصوصیات،

نقش مهمی در قیمت نهایی شکر خام خریداری شده ایفا می‌کنند که در این رابطه، شکرهای خام حاوی ساکارز بالا و درصد ناخالصی پایین بسیار مورد توجه می‌باشند (Asadi, 2007). حضور مقادیر بالاتر ساکارز باعث کاهش میزان ترکیبات غیرقندی در محصول نهایی می‌شود، از این رو انتظار می‌رود که شکرهای خام با میزان پل بالاتر، ترکیبات و اجزای رنگی کمتری نیز نسبت به دیگر نمونه‌ها داشته باشند (Chou, 2000; Asadi, 2007).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس میزان نشاسته در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان نشاسته
تیمار	۱۰	۱۳۴۰/۷۴۰**
بلوک	۲	۱/۸۳۷
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



نمودار ۵- مقدار نشاسته نمونه‌های شکرخام داخلی و وارداتی

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس درصد ساکارز در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد ساکارز
تیمار	۱۰	۲۹/۵۹۴**
بلوک	۲	۱/۱۰۳
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

بررسی و مقایسه خصوصیات کیفی موثر بر فرایند تصفیه در شکرخام

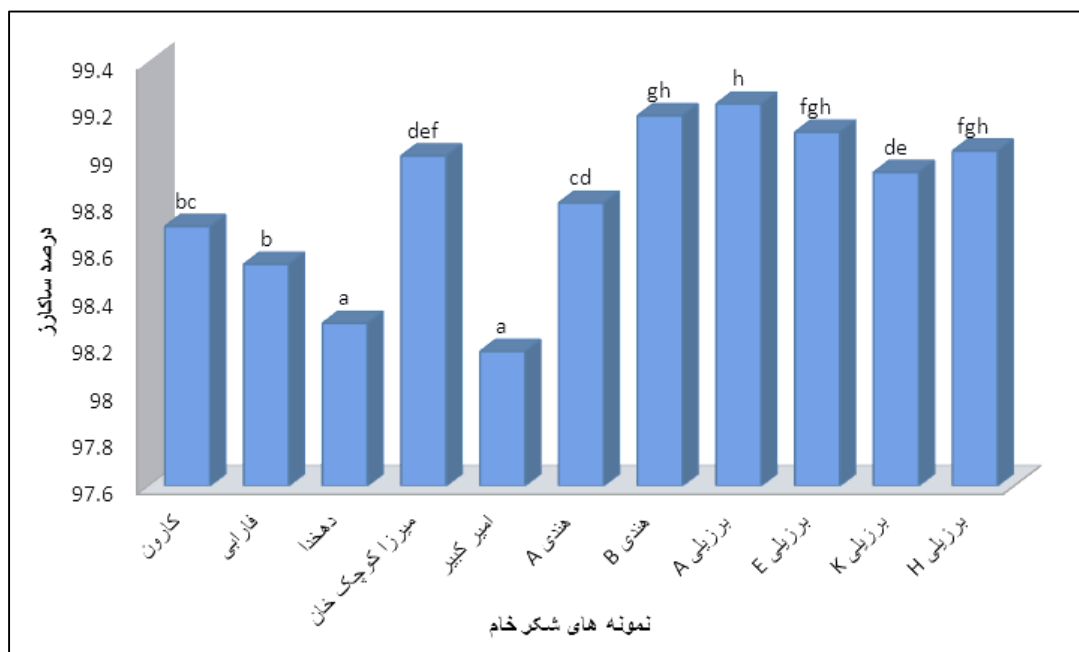
- ضریب شکست

میزان ضریب شکست در نمونه‌های شکرخام داخلی و وارداتی از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بودند (جدول ۷). نمونه‌های شکرخام فارابی، دهخدا، میرزا کوچک‌خان، برزیلی A، برزیلی H بیشترین و نمونه‌ی شکرخام هندی A و برزیلی E کمترین میزان ضریب شکست را داشتند (نمودار ۷). ضریب شکست از خواص فیزیکی مواد است. ضریب شکست هوا ۱ در نظر گرفته شده و ضریب شکست آب در 20°C و در طول موج 589 nm ، $1/333$ و محلول ساکارز خالص ۱۰٪ در همین دما و طول موج، $1/348$ تعیین شده است. میزان ضریب شکست علاوه بر دمای محلول، به غلظت آن و طول موج اندازه‌گیری شده نیز بستگی دارد، مشخص شده که برخی ناخالصی‌ها در محلول‌های قندی موجب تغییر ضریب شکست می‌شوند، برای مثال حضور اینورت موجب کاهش ضریب شکست و رافینوز و دکستران موجب افزایش ضریب شکست می‌شوند (Asadi, 2007).

- میزان دکستران

نتایج تجزیه واریانس میزان دکستران نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی نشان داد که نمونه‌ها در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری

داشتند (جدول ۸). نمونه‌های هندی A، دهخدا، کارون و امیرکبیر دارای بیشترین و نمونه برزیلی A دارای کمترین میزان دکستران بودند (نمودار ۸). در نتیجه رشد و فعالیت باکتری لویکونوستوک مزترئوئیدوس در گیاه نیشکر و تجزیه ساکارز، دکستران با توالی مولکول‌های گلوکز تشکیل می‌شود (Ravno & Purchase, 2005). دانشمندان به این نتیجه رسیده‌اند که یخبندان و شرایط دمایی پس از آن، در طول دوره رسیدگی گیاه نیشکر تاثیر عمیقی بر رشد و فعالیت این باکتری دارد. سرعت فساد گیاه رابطه مستقیمی با شرایط پس از یخبندان دارد به طوری که در دمای $13-10^{\circ}\text{C}$ تولید دکستران با سرعت بیشتری نسبت به دمای $24-21^{\circ}\text{C}$ رخ می‌دهد، زیرا در دماهای بالاتر بیشتر فساد و تخمیر گیاه از نوع الکلی و اسیدی خواهد بود (Engida *et al.*, 2013; Kaur & Kaler, 2008). شایخ و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات کیفی شکرهای خام و تاثیر آن در تولید و تصفیه شکر سفید را بررسی کرده و مشخص شد که حضور دکستران در نمونه‌های شکر موجب اختلال در عملیات تصفیه و همچنین از دست رفتن بخش قابل توجهی از ساکارز موجود می‌شود که نتیجه آن کاهش درجه خلوص و افزایش میزان ناخالصی‌ها در شکر تصفیه شده است (Shaikh *et al.*, 2011).

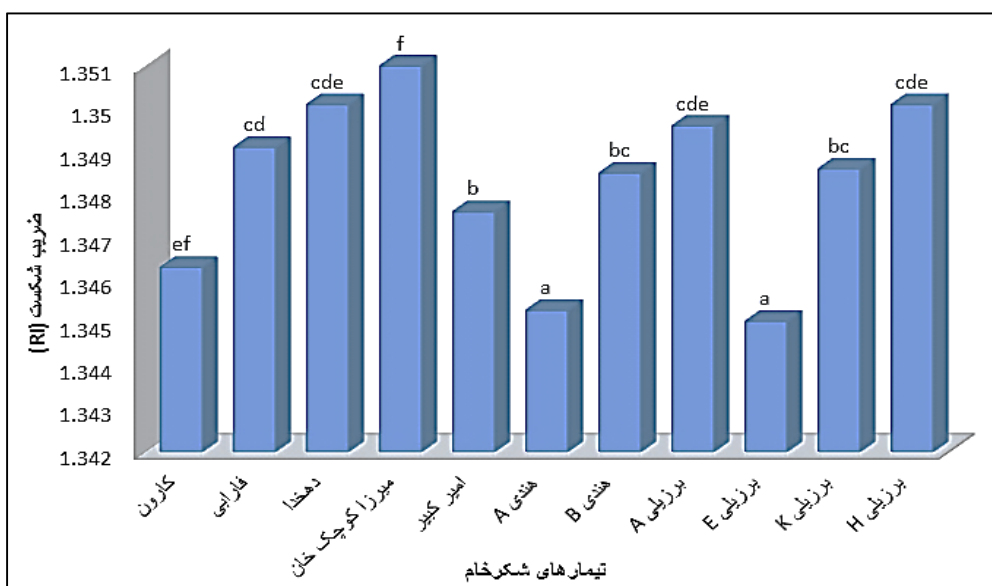


نمودار ۶- درصد ساکارز موجود در نمونه‌های شکرخام

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس ضریب شکست در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی

منبع تغییرات	درجه آزادی	ضریب شکست
تیمار	۱۰	۲۵/۳۷۹**
بلوک	۲	۲/۴۱۱
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

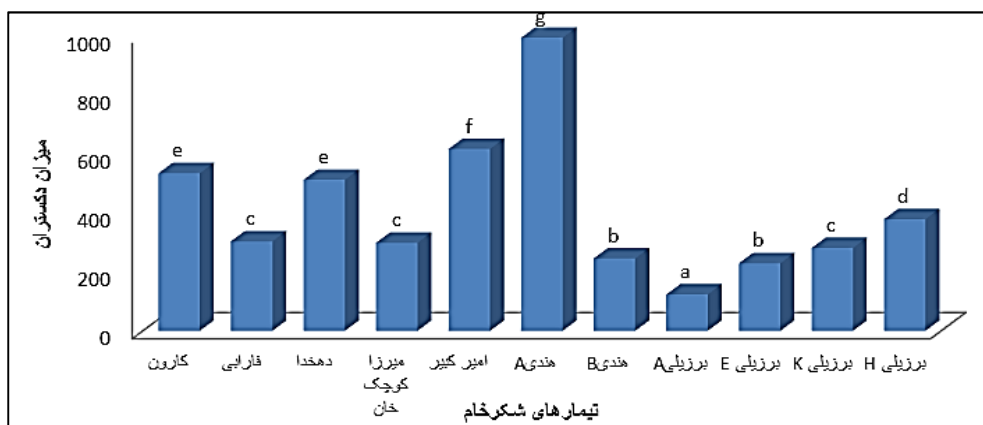


نمودار ۷- میزان ضریب شکست نمونه‌های شکرخام مورد آزمایش

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس میزان دکستران در نمونه‌های شکرخام داخلی و خارجی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان دکستران
تیمار	۱۰	۵۰۴/۰۳۸**
بلوک	۲	۰/۷۹۶
خطا	۲۰	
کل	۳۲	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



نمودار ۸- میزان دکستران در نمونه‌های شکرخام داخلی و وارداتی

- تعیین رطوبت

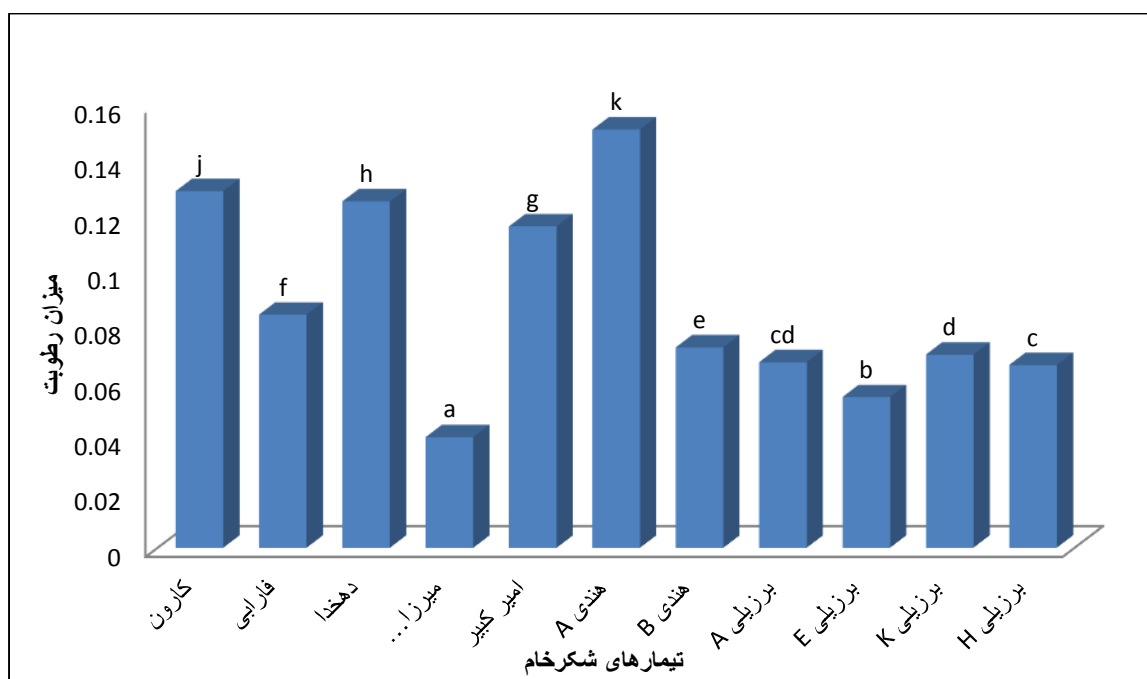
نتایج تجزیه واریانس میزان رطوبت نمونه‌های شکر خام نشانگر تفاوت معنی‌دار نمونه‌ها با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۹). بیشترین میزان رطوبت اندازه-گیری شده به ترتیب در نمونه‌های هندی A، کارون، دهخدا و امیرکبیر و کمترین میزان رطوبت در نمونه میرزا کوچک‌خان مشاهده شد (نمودار ۹). شکر خام با درصد رطوبت بالا را نمی‌توان ذخیره نمود زیرا بسیار مستعد فساد

میکروبی است، اما از طرفی درصد بالای رطوبت شکر خام موجب می‌شود تا به سرعت در طی فرایند آفیناسیون با شربت مخلوط گردد (Asadi, 2007). از طرف دیگر، افزایش رطوبت منجر به افزایش رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌هایی همچون لویکونوستوک مزنتروئیدوس شده و نهایتاً منجر به افزایش غلظت دکستران در نمونه می‌شود (Ravno & Purchase, 2005).

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس میزان رطوبت در نمونه‌های شکر خام داخلی و خارجی

میزان رطوبت	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۱۵۸۵۶۴/**	۱۰	تیمار
۱/۰۲۰	۲	بلوک
	۲۰	خطا
	۳۲	کل

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



نمودار ۹- میزان رطوبت در نمونه‌های شکر خام داخلی و وارداتی

در تحقیق خود نشان دادند که بین عوامل موثر بر کیفیت شکر سفید، خاکستر بیشترین پوآن و رنگ ظاهری کمترین پوآن را بدست آورد که پایین بودن پوآن برای هر مشخصه کیفی نشان دهنده کیفیت بهتر بود. نمونه‌های دهخدا و

بحث

در این تحقیق نمونه‌های شکر خام ایرانی دارای بیشترین خاکستر بوده‌اند که این امر موجب کاهش کیفیت شکر سفید تولیدی می‌شود. خداکرمی و همکاران (۱۳۹۱)

گرفته است. در این بین شکرخام نیشکری به عنوان عمده‌ترین ماده خام اولیه تولید قند و شکر در جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق سعی بر آن شده که با استفاده از تکنیک‌ها و متدهای روز و همچنین مرسوم در آزمایشگاه کارخانجات قند و شکر کشور به آنالیز و بررسی نمونه‌های مختلف شکرخام نیشکری موجود در بازار ایران پرداخته شود، که در نهایت مشخص گردید، نمونه‌های شکرخام وارداتی دارای درصد ساکارز بالاتر و میزان اینورت، رنگ و خاکستر پایین‌تری نسبت به نمونه‌های داخلی بودند که می‌تواند بخش قابل توجهی از هزینه‌های تصفیه را کاهش داده و شکری با کیفیت بالا به وجود آورد اما میزان بالای نشاسته آن‌ها نیز قابل توجه است. با توجه به پایین بودن میزان نشاسته و بالا بودن درصد ساکارز در نمونه‌های برزیلی A و برزیلی E می‌توان این نمونه را جهت تولید شکر سفید با کیفیت بالا معرفی نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مساعدت و همکاری پرسنل کارخانه قند هگمتان، شرکت قند کرج و موسسه بازرسی کالای تجاری ایران (IGI) کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- آقا فرمانی، ب.، حدادخداپرست، م. ح.، و حصاری، ج. (۱۳۸۷). تصفیه شربت خام نیشکر با استفاده از بنتونیت و ژلاتین و تاثیر آن بر روی ترکیبات رنگی. مجله پژوهشی صنایع غذایی. جلد ۱، شماره ۲.
- بی نام. (۱۳۸۳). موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استانداردهای شکر خام، شماره‌های ۷۵۷۷، ۶۸۹۷، ۵۱۹۴، ۷۵۷۸، ۵۱۹۳، ۴۳۹۸ و ۵۱۱۴.
- خداکرمی، و.، علیجانی، ف.، و هنرور، م. (۱۳۹۱). کنترل کیفیت فرآیند چند مرحله‌ای تصفیه شکرخام. مجله علوم غذایی و تغذیه. سال دهم، شماره ۳. صفحات ۲۸-۲۱.
- شیخ الاسلامی، ر. (۱۳۷۶). روش‌های آزمایشگاهی و کاربرد آنها در کنترل فرآیند صنایع غذایی (قند). انتشارات مرسا، ۳۳۴ صفحه
- مصباحی، غ. (۱۳۹۱). اصول صنایع تولید شکر. تهران: نشر علم کشاورزی ایران، ۴۰۳ صفحه.

فارابی دارای کمترین میزان pH بودند که این امر موجب افزایش میزان قند اینورت و شدت رنگ بالا در این نمونه‌ها شده است. طبق تحقیقات پیشین کاهش pH در پخت منجر به تجزیه ساکارز گردیده و تولید قند اینورت افزایش می‌یابد لذا با رعایت pH مناسب می‌توان مجموع پوآن‌های کیفی محصول تولیدی را بهتر نمود و از نزول بیش از حد pH اجتناب کرد (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Schaffler *et al.*, 2002). نمونه‌های دهخدا و فارابی دارای میزان خاکستر بالا و ساکارز پایین‌تر نسبت به نمونه‌های دیگر بودند، نمونه‌های حاوی میزان خاکستر بالاتر، تیره‌تر و کدرتر از باقی نمونه‌ها می‌باشند که این مسئله می‌تواند به دلیل حضور مقادیر بیشتر ناخالصی و شرکت این ترکیبات در واکنش‌های مختلفی همچون کاراملیزاسیون و میلارد که منجر به تولید رنگ می‌شوند باشد (Asadi, 2007). علاوه بر این مشخص شده است که در مرحله رنگبری، ترکیبات غیر آلی موجود در شربت تحت عنوان خاکستر اعم از: کلریدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و آلومینیوم توانایی تشکیل کمپلکس با ترکیبات سولفات‌ها (که به منظور رنگبری مورد استفاده قرار می‌گیرند) را داشته و مانع از عمل مناسب این رنگبرها می‌شوند (Chou, 2000). همچنین حضور ترکیبات غیرارگانیک همچون آهن فرو در شربت‌ها، با ایجاد کمپلکس با ترکیبات فنولیک و همچنین کارامل‌ها، توانایی تشدید تشکیل ترکیبات رنگی با وزن مولکولی بالا را دارد (Baunsgaard, 2000).

به طور کلی نمونه‌های ایرانی دارای میزان رطوبت، ضریب شکست، خاکستر، اینورت و شدت رنگ بالاتری نسبت به نمونه‌های خارجی بودند. البته میزان نشاسته در نمونه‌های خارجی به غیر از برزیلی A و برزیلی E بالاتر از نمونه‌های داخلی بود. باید توجه داشت که نشاسته با افزایش حلالیت ساکاروز در کریستالیزاسیون آن مزاحمت ایجاد کرده ضمن اینکه میزان استخراج قند را کاهش داده و همچنین با ورود به کریستال نهایی درجه خلوص محصول را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر استفاده از محصولات اولیه با کیفیت به منظور تقلیل هزینه‌های تولید بسیار مورد توجه قرار

- Arslanoglu, H. & Tumen, F. (2012). A study on cations and color removal from thin sugar juice by modified sugar beet pulp. *J. Food Sci. Technol.*, 49, 319–327.
- Asadi, M. (2007). Beet sugar handbook. John Wiley and Sons, Inc., USA.
- Bento, L. S. M. (1997). Ion exchange resins for sugar liquors decolorization. *Proc Sug Ind Technol.*, 56, 251-271.
- Baunsgaard, D. (2000). ANALYSIS OF COLOR IMPURITIES IN SUGAR PROCESSING USING FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRICS. Ph.D Thesis The Royal Veterinary and Agricultural University Department of Dairy and Food Science Chemometrics Group, Food Technology Denmark.
- Chang, C. (2000). Handbook of sugar refining; a manual for the design and operation of sugar refining facilities. John Wiley & sons.
- Cuddihy, J. A., Porro, M. E. & Rauh, J. S. (2001). The presence of total polysaccharides in sugar production and methods for reducing their negative effects. *Amer. J. Soc. Sugarcane Technol.*, 21, 73–91.
- Davis, S. B. (2001). The chemistry of color removal: A processing perspective, Sugar Milling Research Institute, University of Natal, Durban, 4041, South Africa.
- DeMan, J. M. (1990). Principles of food chemistry. 2nd end. Van No strand Reinhold, New York.
- El Khattabi, M. O., Alaoui Hafidin, M. R. & El Midaoui, A. (1996). Reduction of melassogenic ions in cane sugar juice by electro dialysis. *Desalination*, 107, 149-157.
- Engida, E., Bultosa, G. & Bussa, N. (2013). Physicochemical quality of Ethiopian plantation white sugar from three sugar factories. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, No. 7.
- Godshall, M. A. & Chou, C. C., (2000). The nature of colorant. In Proceedings of the 2000 Conference on Sugar Processing Research, Porto, Portugal.
- ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis). (2005). ICUMSA Methods: GS1/2/3-1; GS1-7; GS1/2/3/4/7/8-23, GS1/3/7-3; GS2/3-17; GS1-15; Berlin, Germany.
- ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis). (1994). ICUMSA Methods: GS1-7; GS1/2/3/4/7/8-23; GS1-9, Berlin, Germany.
- Imrie, F. K. E. & Tilbury, R. H. (1972). Polysaccharides in sugar cane and its products. *Sug. Tech. Rev.*, 1, 291-361.
- Irvine, J. E. (1993). Sugarcane. In J. C. P., Chen and C. C., Chou, (Eds.). *Cane Sugar Handbook* (12th ed. pp. 1-20). New York: John Wiley and Sons
- Kaur, S. & Kaler. R. S. S. (2008). Dextral and its effect on the flow behavior of molasses and crystallization rate. *Journal of Food Engineering*, 86, 55-60
- Kochergin, V. & Saska, M. (2008). Storage and production of VLC and VHP sugar. 2008 Meeting of Sugar Industry Technologists, Inc., Leipzig, Germany, 944.
- Kulkarni, D. P. (2009). Cane sugar manufacturing in India. Vol. 1. The sugar technologist association of India.
- Mersad, A., Lewandowski, R., Heyd, B. & Decloux, M. (2003). Colorants in the sugar industry. *Int. Sugar Jnl* 105(1254), 269-281.
- Ravno, A. B. & Purchase, B. S. (2005). Dealing with dextran in the south African sugar industry. *Proc S Afr Sug Technol Ass*, 79, pp 28-47.
- Samy, I. & El-Syiad, M. (2000). Egyption raw cane sugar quality in relation to refining requirements. *Food chemistry*,
- Schaaffler, K. (2002). Determination of low-level glucose and fructose in raw and refined crystalline sugar by high-performance anion-exchange chromatography: collaborative study, *journal of AOAC international*.
- Shaikh, J. G., Bhatti, M. B., Rashid, Kh. & Khalid, M. (2011). To introduce the raw sugar refinery, it's operational concept and quality perspectives in Pakistan. *Life Science International Journal*, No. 1, 2053-2062.