نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 2، خرداد-تیر 1398 ص.279-267

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 2, June. July. 2019, p. 267- 279

استفاده از مواد شفاف‌کننده در تصفیه شربت خام چغندری

ادریس آرژه[1]- میرخلیل پیروزی‌فرد[2*]- سجاد پیرسا[2]

تاریخ دریافت: 1397/01/23
تاریخ پذیرش: 1397/08/10

چکیده

شربت خام به‌عنوان یک محصول حد واسط در فرآوری چغندرقند حاوی ناخالصی‌های مختلفی (مانند پروتئین، ساپونین، ترکیبات رنگی، ترکیبات فنلی، پکتین و....) است که بایستی جداسازی یا به یک سطح قابل قبول کاهش داده شوند تا شربت برای مراحل بعد آماده‌سازی گردد. در این پژوهش از چهار ماده مختلف شفاف‌کننده (بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال) برای حذف ناخالصی شربت خام چغندر استفاده گردید. از مقایسه بنتونیت با سیلیکا سل به‌عنوان دو ترکیب با بار سطحی منفی مشخص شد که توانایی بنتونیت در حذف ناخالصی‌های عامل فلوک (پروتئین، ساپونین و ترکیبات فنولی) و بهبود شاخص‌های تصفیه‌ای (خاکستر و درجه خلوص) به مراتب بالاتر از سیلیکا سل است. به‌طوری که تیمار بنتونیتی توانست میزان پروتئین، ترکیبات فنولی و ساپونین‌ها در شربت را به‌ترتیب 68، 61 و 40 درصد کاهش دهد. ترکیب ژلاتین و زغال فعال به‌عنوان شفاف‌کننده‌های مکمل با بنتونیت و سیلیکا سل هم موجب بهبود پارامترهای مورد اندازگیری شد. به‌طور کلی تیمار بنتونیت- زغال فعال بهترین نتیجه را در بر داشت و به‌ترتیب موجب کاهش 73، 87 و 85 درصدی در میزان پروتئین، ترکیبات فنولی و ساپونین‌ها شد. در این پژوهش همچنین تیمارهای پیشنهاد شده با تیمار متداول (آهک-دی‌اکسید کربن) مورد مقایسه قرار گرفتند و مشخص شد که این تیمارها توانایی بهتری جهت حذف حداکثری ناخالصی‌ها دارند.

واژه‌های کلیدی: شربت خام چغندر، تصفیهٔ شیمیایی، بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین، زغال فعال

مقدمه

شربت خام محصول فرآیند دیفوزیون خلال‌های چغندر می‌باشد که تقریبا حاوی 85 درصد آب، 16 درصد ساکارز و 2 درصد ترکیبات غیرقندی[4] می‌باشد. درجه خلوص شربت خام 85-88 درصد می‌باشد (Asadi, 2006). بنابراین با توجه به درجه خلوص پایین، بایستی تحت فرآیند تصفیه قرار بگیرد.

یکی از دغدغه‌های اصلی تولیدکنندگان شکر طی مراحل تصفیه و رنگبری شربت خام چغندر، حذف هرچه بیشتر ناخالصی‌های غیرقندی از شربت و به‌دست آوردن شربت رقیق[5] با درجه خلوص و کیفیت بالاتر است. امروزه در اکثر کارخانه‌های قند روش کار (تصفیه شربت به روش کلاسیک) به این صورت است که بر اساس درجه خلوص،7-15کیلوگرم آهک به ازای هر متر مکعب به شربت اضافه می‌کنند که نتیجه آن مواد کلوئیدی، نمک‌های غیرمحلول کلسیم، ترکیبات پکتینی و پروتئینی ته‌نشین می‌شوند. در مرحله بعد آهک اضافی در شربت به‌وسیله گاز کربنیک به کربنات کلسیم تبدیل شده و همزمان با آن نیز از ساکارات کلسیم ساکارز آزاد می‌شود (Decloux, 2002; Asadi, 2006).

شربت خام چغندر حاوی ناخالصی‌های مختلفی است که برخی از این ناخالصی‌ها مراحل تصفیه متداول (تصفیه شربت به روش کلاسیک) را طی نموده و وارد شربت رقیق می‌شوند. این ترکیبات که اغلب محلول هستند بر راندمان کریستالیزاسیون و کیفیت شکر نهایی تاثیر نامطلوب می‌گذارند. همچنین با توجه به اینکه ناخالصی‌های مختلف با برهمکنش‌های متفاوتی حذف می‌شوند به انواع گوناگونی از ترکیبات تصفیه کننده[6] نیاز می‌باشد. از ترکیبات شیمیایی تصفیه‌کننده (جاذب) مرسوم در صنایع غذایی می‌توان به بنتونیت، سیلیکا سل، زغال فعال و ژلاتین اشاره کرد. تصفیه شربت خام با ترکیبات شیمیایی از جمله روش‌های تصفیه شیمیایی محسوب می‌گردد که در سال‌های اخیر (بیشتر در زمینه آب میوه‌ها) مورد توجه بوده است.

بنتونیت یک ترکیب رسی متعلق به گروه مونتموریلونیت‌ها با بار سطحی منفی می‌باشد که توانایی اتصال به ناخالصی‌ها با بار مثبت مانند

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی دکترا و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
(* - نویسنده مسئول: Email: k.pirouzifard@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.72013

4 Non-sucrose
5 شربت حاصل از کربناسیون دوم و قبل از ورود به اواپراتور
6 Fining Agents

پروتئین‌ها را دارد. علاوه بر این، بنتونیت می‌تواند از طریق جذب سطحی نیز ناخالصی‌هایی مانند فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و رنگدانه‌های سیاه را جذب و حذف کند (Koyuncu *et al.*, 2007). در پژوهش‌های پیشن نیز برخی از محققان به توانایی بنتونیت در بهبود ویژگی‌های شربت خام اشاره کرده‌اند (Erdoğn *et al.*, 1996; Jahed *et al.*, 2014). اردوغان و همکاران (1996) گزارش کردند که تیمار شربت خام با بنتونیت موجب کاهش 29 درصدی در میزان رنگ و کدورت نمونه‌های شربت می‌شود. توانایی جذبی بنتونیت تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله pH، دما و غلظت می‌باشد. به‌طوری که با افزایش دما و کاهش pH توانایی جذب آن افزایش پیدا می‌کند (Jahed *et al.*, 2014). سیلیکا سل یک نام عمومی برای سوسپانسیون‌های کلوئیدی دی اکسید سیلیکون (SiO_2) می‌باشد. سیلیکا سل‌ها نیز همانند بنتونیت دارای بار سطحی منفی هستند که می‌تواند به طریق الکترواستاتیکی به ناخالصی‌های با بار مثبت متصل شود. مهمترین کاربرد سیلیکا سل در صنعت، استفاده در شفاف‌سازی آبمیوه‌ها به‌عنوان مکمل ژلاتین می‌باشد.

ژلاتین یک ترکیب جاذب پروتئینی است که موجب ته‌نشینی ذرات با بار منفی مانند پلی فنول‌ها و ترکیبات پکتیکی (عوامل کدورت ثانویه) می‌شود. تیمار ژلاتین اغلب با بنتونیت و سیلیکا سل کامل می‌گردد. در مطالعات پیشین مکانیسم و کاربردهای ژلاتین به‌خوبی مورد بررسی قرار گرفته شده است (Zoecklein, 1988; Benítez and Lozano, 2007). ژلاتین ترجیحا ملکول‌های با گروه‌های فنولی بیشتر و توانایی بالا در ایجاد پیوند هیدروژنی را جذب و حذف می‌کند (Zoecklein, 1988). زغال فعال یک ترکیب کربنی و متخلل است که اغلب در ترکیب با دیگر جاذب‌ها به‌کار می‌رود. یکی از شاخصه‌های زغال فعال، غیرقطبی بودن سطح آن می‌باشد که منجر به میل ترکیب آن با مولکول‌های آلی غیرقطبی می‌باشد. آزمایش‌ها نشان داده است که شدت جذب سطحی به‌ترتیب در الکل‌ها، کتن‌ها و مواد آروماتیک به تدریج افزایش یافته و نهایتاً در مواد چربی‌دار به حداکثر خود می‌رسد (Roy, 1994). در سال‌های اخیر محققان کاربردهای فرآوانی برای زغال فعال از جمله رنگبری شربت نیشکر و چغندرقند (Mudoga *et al.*, 2008)، حذف کلر در واحدهای صنعتی (Marsh and Reinoso, 2006)، حذف ترکیبات مضر مانند پاتولین از آبمیوه‌ها (Gökmen *et al.*, 2001) و حذف بوهای نامطلوب از نوشیدنی‌های الکلی (Vanderhaegen *et al.*, 2006) را معرفی کرده‌اند.

یکی از مشکلات اساسی که تولید کنندگان شکر با آن مواجه هستند تشکیل فلوک در محصولات اسیدی[1] می‌باشد. اگر میزان ناخالصی‌ها در شکر از حد خاصی بیشتر شود احتمال تشکیل فلوک بعد از چند روز نگه‌داری در یک جای ثابت وجود خواهد داشت. با وجود اینکه فلوک‌ها برای بدن بی‌ضرر هستند، اما یک عیب ظاهری محسوب می‌شوند و مصرف‌کنندگان از پذیرش و خرید محصول خوداری می‌کنند.

در حالی که هنوز مکانیسم اصلی تشکیل فلوک به‌طور کامل مشخص نشده است اما محققان ساپونین‌ها را عامل اصلی تشکیل فلوک‌ها می‌دانند (Iciek *et al.*, 2012). ساپونین‌ها، گلیکوزیدهای با وزن مولکولی بالا هستند که دارای گروه قندی متصل به آگلیکون تری‌ترپن یا استروئیدی می‌باشند. برخی دیگر از محققان پروتئین و لیپیدها را هم به‌عنوان عاملی برای تشکیل فلوک معرفی کرده‌اند (Clarke *et al.*, 1999; Morton and Murray, 2001). بنابراین با توجه به ماهیت متفاوت عوامل تاثیرگذار در تشکیل فلوک، استفاده از ترکیبات شفاف‌کننده (جاذب) مختلف می‌تواند راهی مناسب برای حذف این ترکیبات از شربت باشد. در همین راستا هدف اصلی از این مطالعه بررسی تاثیر ترکیبات شفاف‌کننده مختلف (بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال) بر حذف ناخالصی شربت خام از جمله ترکیبات فنولی، ساپونین‌ها و پروتئین‌ها به‌عنوان محرک‌های فلاک در نوشیدنی‌های اسیدی و همچنین بهبود کیفیت شربت خام چغندر می‌باشد. علاوه بر این، شربت خام با استفاده از روش آهک زنی- کربناسیون نیز تصفیه گردید تا مقایسه‌ی بین توانایی ترکیبات شفاف‌کننده مذکور با آهک امکان پذیر گردد.

مواد و روش‌ها

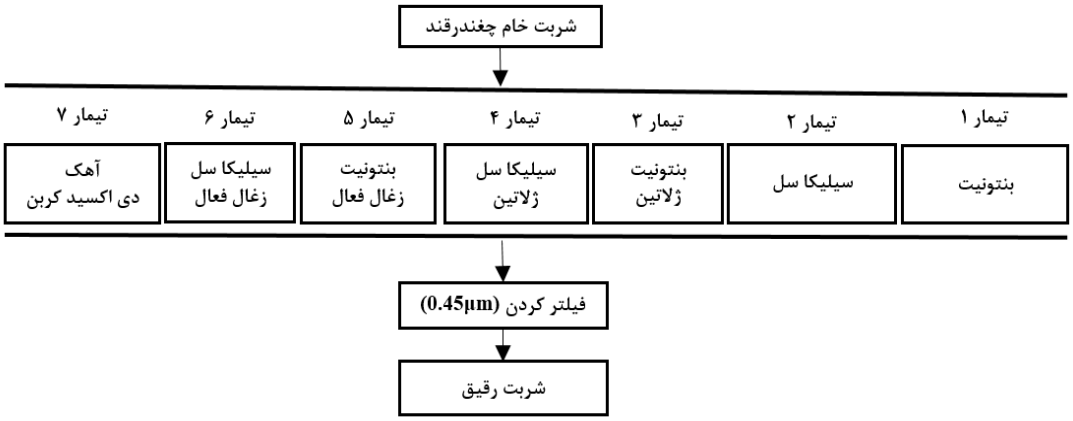
این پژوهش در سطح آزمایشگاهی در کارخانه قند پیرانشهر صورت گرفت. نمونه‌گیری شربت خام (pH 6، بریکس 16/3، خاکستر 0/66 درصد، درجه خلوص 87/24 درصد، میزان پروتئین 209 میلی‌گرم بر لیتر، فنل کل 913 میلی‌گرم بر لیتر و ساپونین 71 میلی‌گرم بر لیتر) در انتهای بخش دیفوزیون کارخانه (قبل از فرآیند تصفیه) انجام گرفت. تصفیه کننده‌های شیمیایی (جاذب‌های شیمیایی) شامل بنتونیت (Na–Ca Bentonite ERBSLÖH, Geisenheim, Germany)، سیلیکا سل (Baykisol 15%)، ژلاتین (type-A; 100 bloom, Erbigel, Germany) و زغال فعال (CS-2000, Gostar Ghoumes CO. Iran) بودند که از کارخانه آذرکام ارومیه تهیه گردید. همه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق دارای درجه آزمایشگاهی بودند و از شرکت‌های معتبر تهیه شدند.

فلوچارت تیمارهای اعمال شده روی شربت خام چغندر در شکل 1 نشان داده شده است. برای هر کدام از آزمایش‌ها 200 میلی‌لیتر شربت در نظر گرفته شد. غلظت جاذب‌ها براساس آزمایش‌های اولیه و مطالعات پیشین تعیین گردید. برای انجام بهتر واکنش بنتونیت با ناخالصی‌ها، بایستی بنتونیت 12-18 ساعت قبل از آزمایشات در دمای 50 درجه سانتی‌گراد در آب دیونیزه حل و به‌صورت محلول 10 درصد به نمونه‌ها

1 Acidified Beverage Floc

اضافه گردد. همچنین، ژلاتین به‌صورت محلول 2 درصد و زغال فعال به‌صورت پودر مورد استفاده قرار گرفت.

همه تیمارها (به‌جز تیمار آهک- دی‌اکسید کربن) در دمای 75 درجه سانتی‌گراد و به مدت 100 دقیقه انجام شدند.



شکل 1- تصفیه شیمیایی شربت خام چغندر با استفاده از ترکیبات جاذب مختلف

بعد از اتمام زمان واکنش، نمونه‌ها با استفاده از فیلتر (45 میکرون) به‌منظور حذف مواد ته‌نشین شده صاف شدند. جزئیات تیمارهای اعمال شده به شرح زیر می‌باشد:

تیمار 1 (T1): شربت خام با استفاده از مقادیر 1 (A)، 2 (B) و 3 (C) گرم بر لیتر بنتونیت تصفیه و شفاف شد.

تیمار 2 (T2): شربت خام با استفاده از مقادیر 1 (A)، 2/5 (B) و 4 (C) میلی‌لیتر بر لیتر سیلیکا سل تصفیه و شفاف شد.

تیمار 3 (T3): شربت خام با استفاده از مقادیر 2 گرم در لیتر بنتونیت و 0/01 (A)، 0/03 (B) و 0/05 (C) گرم در لیتر ژلاتین تصفیه شد.

تیمار 4 (T4): شربت خام با استفاده از مقادیر 2/5 میلی‌لیتر در لیتر سیلیکا سل و 0/01 (A)، 0/03 (B) و 0/05 (C) گرم در لیتر ژلاتین تصفیه شد.

تیمار 5 (T5): شربت خام با استفاده از مقادیر 2 گرم در لیتر بنتونیت و 0/01 (A)، 0/03 (B) و 0/05 (C) گرم در لیتر زغال فعال تصفیه شد.

تیمار 6 (T6): شربت خام با استفاده از مقادیر 2/5 میلی‌لیتر در لیتر سیلیکا سل و 0/01 (A)، 0/03 (B) و 0/05 (C) گرم در لیتر زغال فعال تصفیه شد.

تیمار 7 (T7): تصفیه شیمیایی متداول شربت خام نیز در چهار مرحله آهک‌زنی مقدماتی (15 دقیقه در دمای 85 درجه سانتی‌گراد)، آهک‌زنی اصلی (15 دقیقه در دمای 88 درجه سانتی‌گراد)، کربناسیون اول (تا رسیدن به pH 11، 90 درجه سانتی‌گراد) و کربناسیون دوم (تا رسیدن به pH 9، 92 درجه سانتی‌گراد) اجرا شد. برای انجام بهتر واکنش‌ها، تمامی مراحل همراه با همزدن بود. مجموع مقدار آهک مورد استفاده برای آهک‌زنی در مرحله مقدماتی و اصلی 15 (A)، 20 (B) و 25 (C) کیلوگرم در هر متر مکعب شربت بود. مقدار آهک مورد استفاده برای آهک‌زنی مقدماتی ثابت و برابر با 5 کیلوگرم در هر متر مکعب شربت بود.

آزمون‌ها

کدورت

کدورت نمونه‌ها با استفاده از یک توربیدومتر دیجیتالی (Hach Company, Box 389, Loveland, Colo, USA) تعیین گردید و نتایج بر حسب NTU گزارش گردید.

رنگ

رنگ نمونه‌ها مطابق دستورالعمل ایکومزا و با استفاده از یک طیف‌سنج مدل UV-2100 (SCINCO, Seoul, South Korea) در طول موج 420 نانومترتعیین گردید (ICUMSA, 2000). نتایج با استفاده از فرمول زیر محاسبه و بر حسب واحد ایکومزا (IU) گزارش گردید:

$$C\ (IU) = 10^5 \frac{A}{L \times {}^{\circ}Brix \times \rho} \quad (1)$$

که A جذب در طول موج 420 نانومتر؛ L طول مسیر عبور نور (mm)؛ °Brix غلظت مواد جامد محلول در نمونه‌ها و ρ دانستیه نمونه‌ها می‌باشد.

خاکستر

خاکستر کل نمونه‌ها با روش هدایت‌سنجی اندازه‌گیری شد. در ابتدا 5 گرم از نمونه‌های شربت وزن و در یک بالن حجمی ریخته شد. سپس بالن با استفاده از آب دیونیزه به حجم رسانده شد و فرآیند همزدن

به‌خوبی انجام گرفت. در نهایت هدایت نمونه با استفاده از یک هدایت‌سنج دیجیتالی (Model LF 538, WTW, Weilheim, Germany) در دمای 20 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. خاکستر کل با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$A_C\ (\%) = F_A \times (A_S - A_W) \times (\frac{4.5}{m} + \frac{Bx^\circ}{1000}) \times 0.0018 \qquad (2)$$

که A_c درصد خاکستر، F_A فکتور تصحیح، A_S هدایت الکتریکی نمونه شربت (µs)، A_W هدایت الکتریک آب دیونیزه (µs)، m جرم نمونه شربت (g)، Bx° غلظت مواد جامد محلول نمونه شربت (٪) می‌باشد.

درجه خلوص

درجه خلوص و مقدار ساکارز نمونه‌ها مطابق با دستورالعمل‌های ایکومزا و به روش زیر محاسبه شدند: 50 میلی‌لیتر از نمونه‌ها را همراه با 8 میلی‌لیتر محلول آلومینیوم سولفات (200 گرم بر لیتر) و 5 میلی‌لیتر محلول هیدرواکسید سدیم دو مولار در یک بالن حجمی 200 میلی‌لیتر ریخته و سپس به حجم رساندیم. بعد از فیلتر کردن محتوای بالن، چرخش نوری نمونه‌ها (α) با استفاده از پلاریمتر (Saccharomat, Schmidt + Haensch, Germany) اندازه‌گیری شد. مقدار ساکارز و درجه خلوص براساس فرمول‌های ذیل محاسبه شدند:

$$POL = \frac{2\alpha}{66.4} \times 100 \qquad (3)$$

$$Q = \frac{POL}{^\circ Brix} \times 100 \qquad (4)$$

که POL میزان ساکارز (٪)؛ α چرخش نوری نمونه‌ها (°)؛ Q درجه خلوص (٪) و Brix ° غلظت مواد جامد محلول (٪) می‌باشد.

پروتئین کل

غلظت پروتئین‌ها براساس روش اتصال رنگی بردفورد[1] تعیین گردید. جزئیات کامل روش آزمون در کاتالوگ معرف بردفورد شرکت سیگما موجود می‌باشد (B 6916, Sigma-Aldrich). نتایج بر حسب میلی‌گرم آلبومین سرم گاوی در لیتر نمونه گزارش گردید.

ترکیبات فنول کل

محتوای فنولیک کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتیو (Folin-Ciocalteu) تعیین گردید. 0/5 میلی‌لیتر از نمونه‌های شربت با 2/5 mL فولین-سیوکالتیو (10 مرتبه رقیق شده با آب) مخلوط می‌کنیم. سپس 2 میلی‌لیتر کربنات سدیم (75 گرم بر لیتر) به محلول حاصل اضافه شد (بعد از 0/5-8 دقیقه). محلول به مدت 5 دقیقه در دمای 50 °C نگهداری شد و جذب آن در طول موج 760 نانومتر اندازه‌گیری شد. برای نمونه بلانک هم 0/5 میلی‌لیتر آب مقطر به‌جای آب آلبالو استفاده گردید و نتایج بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید بر لیتر شربت گزارش شد (Díaz-García *et al.*, 2012).

ساپونین‌ها

محتوای ساپونین کل نمونه‌های شربت با استفاده از روش وانیلین- سولفوریک اسید تعیین گردید (Ching, 2007). 1 میلی‌لیتر نمونه شربت را با 0/5 میلی لیتر محلول وانیلین (80 گرم بر لیتر) مخلوط کرده و سپس در حمام یخ خنک می‌کنیم. 4 میلی‌لیتر اسید سولفوریک (77 درصد) به محلول قبلی (نمونه+ وانیلین) اضافه می‌کنیم. محلول را در حمام آب (60 درجه سانتی‌گراد) به مدت 15 دقیقه حرارت داده و سپس در حمام یخ (10 دقیقه) خنک می‌کنیم. در آخر محلول را به دمای اتاق می‌رسانیم و جذب آن را در طول موج 550 نانومتر اندازه‌گیری می‌کنیم. برای نمونه بلانک هم از نسبت 8:1 وانیلین به اسید سولفوریک استفاده گردید و نتایج بر حسب میلی‌گرم اولئانولیک اسید بر لیتر شربت گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش از طرح آزمایشی کاملا تصادفی در سه تکرار استفاده گردید. مقایسه میانگین مربعات مختلف با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد انجام شد. برای تجزیه واریانس، مقایسات میانگین و رسم جدول‌ها و شکل‌ها از نرم‌افزارهای SPSS 25، وورد و اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

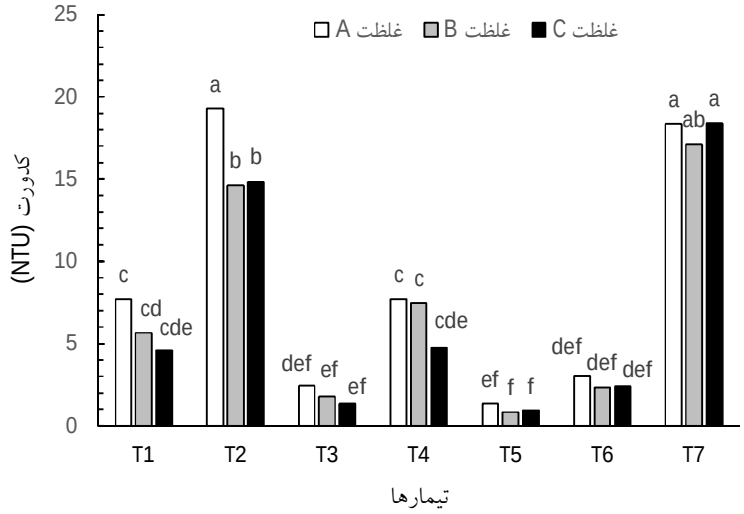
کدورت

در این بخش توانایی ترکیبات شفاف‌کننده جهت حذف ترکیبات عامل کدورت مورد بررسی قرار گرفت (شکل 1). کدورت اولیه نمونه شربت خام برابر NTU 582 بود. که بعد از تصفیهٔ با ترکیبات شفاف‌کننده به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا نمود. نتایج نشان داد که توانایی بنتونیت در حذف ذرات محلول یا معلق به مراتب بالاتر از سیلیکا سل بود. کاهش معنی‌دار کدورت به‌وسیله بنتونیت قبلاً نیز گزارش شده است. کاهش کدورت بعد از اضافه کردن بنتونیت و سیلیکا سل عمدتاً به دلیل توانایی آنها در جذب و حذف پروتئین‌ها و ناخالصی‌های با بار مثبت می‌باشد. بنتونیت همچنین می‌تواند از طریق جذب سطحی یون فلزات سنگین، حشره‌کش‌ها و رنگدانه‌ها را نیز از شربت جداسازی کند. برخلاف این نتایج، Laksameethanasana و همکاران (2012) در

1 Dye-binding

نمونه‌های شربت خام نیشکر که با بنتونیت (1-3 درصد) تیمار شده بود، هیچگونه تغییر قابل توجهی در میزان کدورت مشاهده نکردند.

همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود تیمار ترکیبی ژلاتین با بنتونیت و سیلیکاسل (T_3 و T_4) موجب کاهش بیشتری در میزان کدورت نمونه‌های شربت شد. ژلاتین در pH شربت (6) دارای بار منفی است. در حالی که بنتونیت و سیلیکا سل دارای بار منفی می‌باشند.



شکل 1- تاثیر تیمارهای مختلف شیمیایی با استفاده از بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال روی کدورت شربت خام چغندر قند (نمونه شاهد=NTU 582)

بنابراین طی فرآیند شفاف‌سازی ملکول‌های مثبت ژلاتین و دیگر ترکیبات جاذب دارای بار منفی با یکدیگر واکنش و تشکیل فلوک می‌دهند. زمانی که فلوک‌ها تشکیل شدند ترکیبات ایجادکننده کدورت نیز حذف می‌شوند. نتایج مشابهی نیز توسط میر و همکاران (2001) و گوکمن و همکاران (2007) هنگام استفاده از ترکیبات سیلیکاسل- ژلاتین و بنتونیت- ژلاتین (به ترتیب) گزارش شده است. آنها نشان دادند که ترکیب ژلاتین با بنتونیت و سیلیکاسل با حذف ذرات محلول یا معلق تأثیر قابل توجهی روی کدورت نمونه‌های شربت داشت(Gökmen and Çetinkaya, 2007).

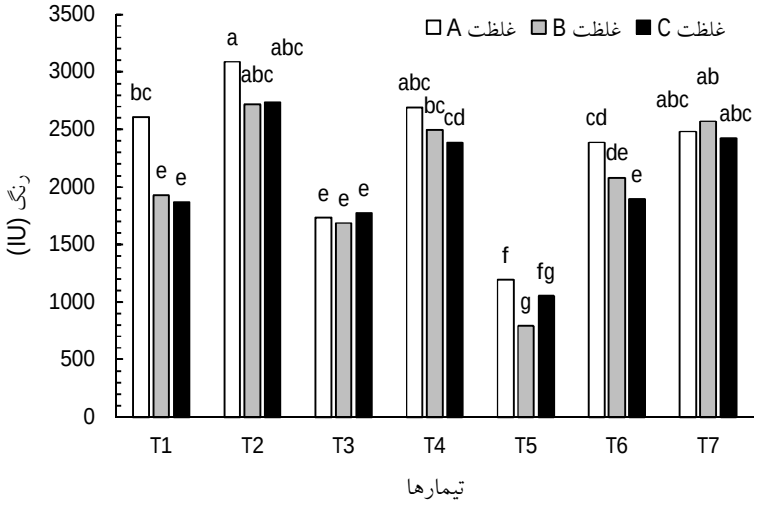
ترکیب بنتونیت و سیلیکاسل با زغال فعال (تیمارهای T_5 و T_6) نیز همانند تیمارهای T_3 و T_4 موجب بهبود کدورت نمونه‌ها شد. نتایج مشابهی توسط Laksameethanasana و همکاران (2012) نیز گزارش شده است. آنها گزارش کردند که زغال فعال توانایی بالایی در حذف ترکیبات ایجادکننده کدورت از شربت دارد. این تغییرات به توانایی زغال فعال در جذب ترکیبات آلی بر می‌گردد که با افزایش سطح ویژه افزایش می‌یابد. تیمار متداول نشان داد هرچند تیمار آهکی تأثیر معنی‌داری روی کدورت نمونه‌ها دارد. اما در مقایسه با تیمارهای پیشنهاد شده توانایی به مراتب ضعیف‌تری در حذف عوامل کدورت‌زا دارد. این نتایج می‌تواند ناشی از برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بهتر در تیمارهای پیشنهاد شده باشد که در روش متداول صورت نمی‌گیرد.

رنگ

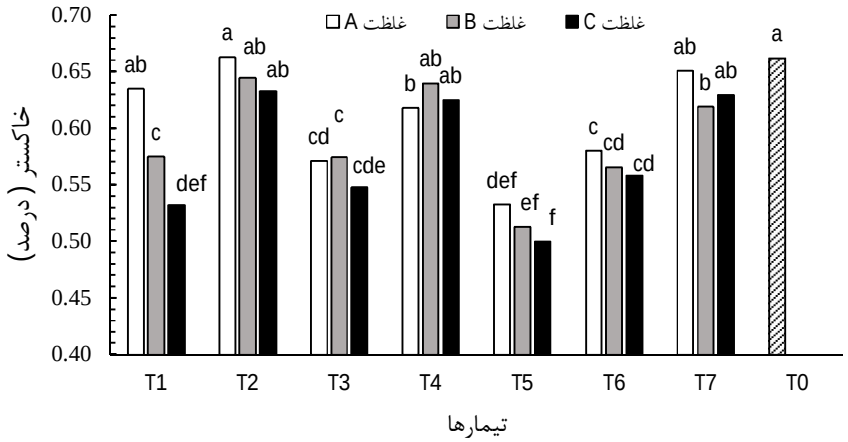
ملانین و ملانوئیدین رنگدانه‌هایی هستند که در شربت خام حضور دارند و بایستی در فرآیند شفاف‌سازی حذف شوند. نتایج آزمایشات نشان داد که همه تیمارهای اعمال شده تأثیر قابل توجهی ($P<0/05$) روی رنگ نمونه‌های شربت خام چغندر داشتند. رنگ اولیهٔ نمونه شاهد برابر 5993 IU بود که بعد از تیمارهای شفاف‌سازی به‌طور معنی‌داری کاهش نمود. شکل 2 تغییرات رنگ نمونه‌های شربت خام بعد از فرآیند شفاف‌سازی را نشان می‌دهد. بنتونیت تقریبا در همه سطوح در مقایسه با سیلیکاسل به‌عنوان دو ترکیب دارای بار سطحی منفی کاهش بیشتری را در محتوای رنگ نمونه‌ها ایجاد کرده است. کاهش محتوای رنگ نمونه‌های به جذب ترکیبات رنگی به‌وسیله صفحات رسی بر می‌گردد که تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی از جمله اندازه مولکولی، غلظت رنگدانه‌ها، برهمکنش‌های واندروالسی، طول زنجیره رنگدانه‌ها و آنتروپی محیط بستگی دارد (Erdoğan *et al*., 1996). علاوه بر این، داونینگ و همکاران (2012) نیز استدلال کردند که لخته‌های تشکیل شده بین جاذب‌ها و دیگر ناخالصی‌ها (پروتئین، پکتین و ...) نیز می‌توانند رنگدانه‌ها را روی سطح خود جذب و از سیستم خارج کنند.

همانطور که در شکل 3 دیده می‌شود ترکیب ژلاتین با بنتونیت/ سیلیکاسل (T3 و T4) نیز موجب کاهش محتوای رنگ نمونه‌ها شد. حاتمی کیا و همکاران (2013) و Gökmen و همکاران

(2001) نیز کاهش محتوای رنگی نمونه‌های آبمیوه‌ها را بعد از تیمارهای ژلاتین- بنتونیت/ سیلیکاسل گزارش کرده‌اند. با این وجود، تیمارهای ترکیبی زغال فعال (T6 و T7) تاثیر بیشتری بر کاهش رنگدانه‌ها داشت. تاثیر قابل توجه افزودن زغال فعال بر کاهش محتوای رنگ نمونه‌های آب سیب نیز گزارش شده است. توانایی جذب ترکیبات رنگی توسط زغال فعال به شکل قابل توجهی تحت تاثیر ویژگی‌های ساختاری آن می‌باشد و اصولا با افزایش مساحت سطح ذرات افزایش می‌یابد (Laksameethanasana *et al*., 2012).



شکل 2- تاثیر تیمارهای مختلف شیمیایی با استفاده از بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال روی رنگ شربت خام چغندرقند (نمونه شاهد= 5993)



شکل 3- تاثیر تیمارهای مختلف شیمیایی با استفاده از بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال روی خاکستر شربت خام چغندر قند (T0=نمونه شاهد)

خاکستر

خاکستر به نمک‌های محلول در آب ترکیبات معدنی و غیرمعدنی اطلاق می‌گردد که در شربت خام اغلب به روش هدایت‌سنجی تعیین می‌گردد. مقدار بالای خاکستر تاثیر خاصی بر نگه‌داری شکر خام ندارد اما برای تولیدکنندگان شکر مهم است زیر موجب ملاس‌زایی می‌گردند

(Asadi, 2006). تغییرات خاکستر بعد از اعمال تیمارهای مختلف شیمیایی در شکل 1 نشان داده شده است.

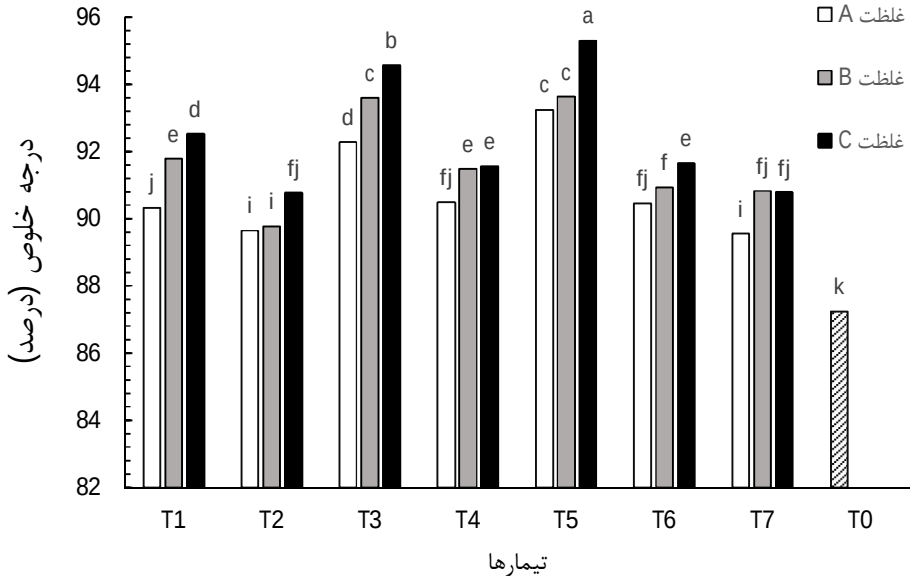
یافته‌های ما نشان داد که متناسب با افزایش غلظت بنتونیت و سیلیکا سل میزان خاکستر نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند (شکل 3). در حذف ناخالصی‌های شربت خام چغندر با استفاده از بنتونیت و سیلیکا سل دو عامل اصلی جذب سطحی و تاثیر بارهای متقابل دخالت دارند. بنابراین افزایش درصد جذب خاکستر با افزایش غلظت بنتونیت و سیلیکا سل بخاطر افزایش ناحیه سطح جذبی و افزایش در دسترس بودن مکان‌های جذب می‌باشد (Garg *et al*., 2004). همچنین در نتایج دیگر محققان مشخص شده است که افزایش دما نیز موجب بهبود شرایط جذب برای سیلیکا سل و بنتونیت می‌گردد (Mekhemer *et al*., 2008; Jahed *et al*., 2014) که در آزمایشات ما دمای 75 درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار گرفت.

ترکیب ژلاتین و زغال فعال با بنتونیت و سیلیکا سل هم تاثیر مثبتی روی میزان حذف نمک‌های محلول گذاشت (T3، T4، T5 و T6). این نتایج مطابق تحقیقات جاهد و همکاران (2014) است. آن‌ها نشان دادند که با افزایش غلظت ژلاتین از 0/01 تا 0/05 گرم بر لیتر درصد حذف خاکستر از شربت افزایش می‌یابد. در مقایسه بین تیمارهای ترکیبی ژلاتین و زغال فعال هم می‌توان مشاهده کرد توانایی زغال فعال در افزایش درصد حذف خاکستر از شربت و اثر هم‌افزایی با بنتونیت و سیلیکا سل به مراتب بالاتر از ژلاتین می‌باشد. این توانایی می‌تواند ناشی از ناحیه سطحی بالا، قدرت جذب سطحی بالا و تخلخل بالا در زغال فعال باشد (Marsh and Reinoso, 2006). حذف فلزات سنگین از آب و پساب‌ها نیز یکی از کاربردها اصلی زغال فعال در صنعت می‌باشد.

بررسی تیمار آهک- دی‌اکسید کربن (T7) نشان داد که افزودن آهک نیز می‌تواند سبب کاهش معنی‌داری در میزان خاکستر شربت شود ($P<0/05$). هرچند میزان کاهش خاکستر در تیمار T7 به مراتب پایین‌تر از دیگر تیمارها (T3، T5، T6 و T1-C) بود. کاهش خاکستر در تیمار آهک- دی اکسید کربن می‌تواند ناشی از جذب عناصر روی فلوک‌های کربنات کلسیم در مرحله کربناسیون باشد.

درجه خلوص

درجه خلوص اصطلاحی است که تکنولوژیست‌های صنعت قند از آن برای توصیف کیفیت شربت استفاده می‌کنند و همچنین بیان کننده‌ی مقدار شکری است که می‌توان از شربت استخراج کرد. شکل 4 تغییرات درجه خلوص بعد از اعمال تیمارهای مختلف شیمیایی را نشان می‌دهد.



شکل 4- تاثیر تیمارهای مختلف شیمیایی با استفاده از بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال روی درجه خلوص شربت خام چغندر قند (T0=نمونه شاهد)

نتایج حاصله نشان داد که تیمارهای بنتونیت و سیلیکا سل متناسب با افزایش غلظت موجب بهبود (افزایش) درجه خلوص شربت شربت شدند. بنتونیت و سیلیکا سل با دارا بودن خاصیت جذب سطحی و بار الکتریکی منفی، توانایی چشمگیری برای تشکیل فلوک با ترکیبات بار مثبت (کلوئیدها، رنگدانه‌ها، پروتئین‌ها، ...) دارند (پیروزی‌فرد، 1387). همچنین می‌توان مشاهده کرد که بنتونیت در مقایسه با سیلیکا سل

توانایی بالاتری در افزایش درجه خلوص دارد. به‌طوری در تیمارهای T1-3 و T2-3 درجه خلوص از 87/2 به‌ترتیب به 92/5 و 90/7 درصد افزایش پیدا کرد. بررسی تیمارهای T3 و T4 هم نشان داد که ترکیب ژلاتین با بنتونیت و سیلیکا سل موجب بهبود کارایی آنها در حذف ناخالصی‌ها می‌گردد. که با نتایج جاهد و همکاران نیز مطابقت داشت (Eisa Jahed, 2015). افزایش درجه خلوص هنگام اضافه کردن ژلاتین ناشی از ماهیت متفاوت آن نسبت به دیگر جاذب‌ها (بنتونیت و سیلیکا سل) می‌باشد، که دارای بار منفی است و هنگام اضافه شدن به سیستم به سرعت در تشکیل فلوک با دیگر جاذب‌ها (ترکیبات تصفیه کننده) وارد عمل می‌شود. در تیمارهای T5 و T6 مشاهده شد که ترکیب زغال فعال با بنتونیت و سیلیکا سل همانند ژلاتین موجب بهبود درجه خلوص می‌شود. حذف هرچه بیشتر ناخالصی‌ها توسط زغال فعال می‌تواند دلیلی برای افزایش درجه خلوص باشد که در تیمارهای مذکور مشاهده گردید.

بررسی کابرد آهک- دی‌اکسید کربن به‌عنوان روش متداول در کارخانه‌ها هم نشان داد که استفاده از آهک متناسب با افزایش غلظت آن (تا 25) موجب افزایش درجه خلوص شربت می‌شود. این نتایج با یافته دیگر محققان نیز مطابقت داشت (Almohammed *et al.*, 2017). مقایسه روش متداول با دیگر تیمارها مشخص کرد که تیمارهای ترکیبی بنتونیت با ژلاتین و زغال فعال از نظر درجه خلوص بهترین تیمار بودند.

پروتئین کل

در مرحله دیفوزیون سرعت انتشار پروتئین‌ها در مقایسه ساکارز بسیار پایین‌تر است. اما کیفیت پایین چغندرها یا انجام فرآیند دیفوزیون در دمای بالاتر می‌تواند سرعت انتشار آنها را افزایش دهد. اهمیت حذف پروتئین به این دلیل است که این ترکیبات در غلظت‌های بسیار کم هم دردسرساز هستند. در تیمارهای T1 و T2، یک روند مشخص وجود دارد که نشان‌دهنده کاهش محتوای پروتئین نمونه‌ها با افزایش غلظت بنتونیت و سیلیکا سل می‌باشد (جدول 1). پروتئین‌ها در pH شربت دارای بار مثبت هستند در نتیجه می‌توانند به خوبی با بنتونیت و سیلیکا سل که دارای بار منفی هستند، پیوند برقرار کنند و تشکیل فلوک دهند. نتایج مشابهی با یافته‌های ما توسط حاتمی‌کیا و همکاران (2013) گزارش شده است. آنها نشان دادند که حذف پروتئین‌ها با افزایش غلظت بنتونیت و سیلیکا سل در شربت رابطه مستقیمی دارد. پروتئین‌ها یکی از عوامل تشکیل فلوک در نوشیدنی‌های اسیدی هستند که در فرمولاسیون آنها میزان بالای شکر به‌کار رفته باشد. در آبمیوه‌ها نیز وجود پروتئین‌ها می‌تواند مشکل‌ساز باشد زیرا در دوره نگه‌داری، پروتئین‌ها با ترکیبات فنولی واکنش می‌دهند و موجب کدورت ثانویه می‌گردند. بنابراین کاهش میزان پروتئین‌ها به یک سطح قابل قبول ضروری می‌باشد. با این وجود، کیم و همکاران (2014) گزارش کردند که بنتونیت و سیلیکا سل تاثیر معنی‌داری روی محتوای پروتئینی آب انگور نداشت.

بررسی تیمارهای T3 و T4 هم نشان داد که ترکیب ژلاتین با بنتونیت و سیلیکاسل موجب افزایش قابل توجهی در محتوای پروتئین‌های شربت شد. این پدیده می‌تواند به رقابت بین پروتئین‌ها با بار مثبت (ژلاتین و پروتئین‌های موجود در شربت) برای اتصال با بنتونیت با بار منفی (یا سیلیکا سل) مربوط باشد (Benítez and Lozano, 2007; Hatamikia *et al.*, 2013). برخلاف تیمار ترکیبی ژلاتین، تیمار شربت با زغال فعال با موجب کاهش قابل توجهی در محتوای پروتئینی شد که با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت (Kim *et al.*, 2014). با توجه به اینکه پروتئین‌ها یکی از عوامل کلیدی در تشکیل فلوک در دوره نگه‌داری در نوشیدنی‌های اسیدی می‌باشد، ضروری است که تولیدکنندگان شکر از تیمار شربت با زغال فعال برای بهبود کیفیت شکر و جلوگیری از تشکیل فلوک در محصولات استفاده کنند.

ترکیبات فنولی کل

ترکیبات پلی فنولی (فنولی) مولکول‌های با حلقه‌های بنزنی و گروه‌های هیدرواکسیل هستند که توانایی ایجاد پیوند هیدروژنی با جاذب‌های شیمیایی از جمله ژلاتین را دارا می‌باشند. از ترکیبات پلی‌فنولی معروف در چغندرقند نیز می‌توان به وانیلین، کمپفرول، فرولویل- آرابینوز- آرابینوز، کافوئیل تارتاریک‌اسید، هیدروکسی‌بنزالدهید و سیرینژیک اسید اشاره کرد (Valli *et al.*, 2012).

بررسی تاثیر تیمارهای مختلف تصفیه شیمیایی روی ترکیبات فنولی کل شربت در جدول 1 نشان داده است. همانطور که مشاهده می‌کنیم تیمارهای بنتونیت و سیلیکا سل موجب کاهش معنی‌داری در محتوای ترکیبات پلی‌فنولی شدند ($P<0/05$). محققان حذف پروتئین‌ها از شربت بعد از تیمار بنتونیت و سیلیکا سل را به جذب غیرمستقیم ترکیبات فنولی از طریق پروتئین‌ها نسبت داده‌اند (Marchal and Jeandet, 2009). Türkyılmaz و همکاران (2012) ادعا کردند که کاهش محتوای رنگی می‌تواند ناشی از برهمکنش بین بنوتونیت/سیلیکاسل، پروتئین و پلی‌فنول‌ها باشد. همانطور که می‌دانیم، اختلاف بین بار یونی ترکیبات شفاف کننده و پروتئین‌ها منجر به جذب (برگشت ناپذیر) ترکیبات پروتئینی توسط جاذب‌ها می‌گردد و از کدورت ثانویه در شربت و آبمیوه‌ها جلوگیری می‌کند. از طرفی دیگر، شفاف‌کننده‌ها به طور غیر مستقیم و از طریق برقراری پیوند هیدروژنی بین پروتئین‌ها و ترکیبات پلی فنلی موجب حذف ترکیبات پلی فنلی می‌گردد. در تیمارهای T3 و T4، ترکیب ژلاتین با جاذب‌های دیگر موجب بهتر شدن شرایط برای حذف ترکیبات فنولی شد (جدول 1).

جدول 1- تاثیر تیمارهای مختلف شیمیایی روی محتوای پروتئین، ترکیبات فنول و ساپونین کل شربت خام چغندر قند

تیمار		غلظت	پروتئین کل (mg/L)	فنول کل (mg/L)	ساپونین کل (mg/L)
T0	0	شاهد	209[a]	913[a]	7/14[a]
T1	A	1 g/L بنتونیت	119/8[fg]	479[d]	5/87[b]
	B	2 g/L بنتونیت	97/3[gh]	460[d]	4/46[de]
	C	3 g/L بنتونیت	65/9[i]	356[e]	4/22[ef]
T2	A	1 ml/L سیلیکا سل	189/4[ab]	743[b]	66/2[a]
	B	2/5 ml/L سیلیکا سل	176/7[bc]	438[e]	5/15[cd]
	C	4 ml/L سیلیکا سل	148/2[de]	474[e]	5/52[bc]
T3	A	2 g/L بنتونیت+ 0/01 g/L ژلاتین	99/2[jh]	263[f]	1/62[ghi]
	B	2 g/L بنتونیت+ 0/03 g/L ژلاتین	106/1[fgh]	232[fg]	2/07[gh]
	C	2 g/L بنتونیت+ 0/05 g/L ژلاتین	115/9[fgh]	222[fgh]	1/82[gh]
T4	A	2/5 ml/L سیلیکا سل+ 0/01 g/L ژلاتین	146/3[de]	364[e]	3/20[g]
	B	2/5 ml/L سیلیکا سل+ 0/03 g/L ژلاتین	190/4[ab]	267[f]	2/99[g]
	C	2/5 ml/L سیلیکل سل+ 0/05 g/L ژلاتین	208/0[a]	225[fgh]	2/16[h]
T5	A	2 g/L بنتونیت+ 0/01 g/L زغال فعال	55/1[i]	159[hi]	1/32[hi]
	B	2 g/L بنتونیت+ 0/03 g/L زغال فعال	67/8[i]	112i	1/00[i]
	C	2 g/L بنتونیت+ 0/05 g/L زغال فعال	57/1[i]	146i	1/01[i]
T6	A	2/5 ml/L سیلیکا سل+ 0/01 g/L زغال فعال	157/1[cd]	176[ghi]	3/61[fg]
	B	2/5 ml/L سیلیکا سل+ 0/03 g/L زغال فعال	113/9[fgh]	148i	1/59[ghi]
	C	2/5 ml/L سیلیکل سل+ 0/05 g/L زغال فعال	106/1[fgh]	140i	1/63[ghi]
T7	A	15 Kg/m^3 آهک	162/0[cd]	569[c]	4/90[cde]
	B	20 Kg/m^3 آهک	131/6[ef]	412[de]	3/54[fg]
	C	25 Kg/m^3 آهک	91/4[g]	369[e]	3/67[fg]

مهمترین کاربرد ژلاتین در صنعت آبمیوه حذف ترکیبات ناپایدار پلی‌فنولی می‌باشد. تشکیل پیوند هیدروژنی بین ژلاتین و پلی‌فنول‌ها از ویژگی بارز ژلاتین می‌باشد که برای جلوگیری از کدورت ثانویه در آبمیوه و نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تیمار ترکیبی زغال فعال با بنتونیت و سیلیکا سل هم روند کاهشی را در محتوای ترکیبات پلی‌فنولی نشان داد (جدول 1). به‌طوری که در تیمارهای T3-3 و T4-3 مقدار کل ترکیبات پلی فنولی به‌ترتیب از 913 به 222 و 225 میلی‌گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. این نتایج مطابق تحقیقات Jung و همکاران (2001) است. آن‌ها استدلال داشتند که زغال فعال با دارا بودن گروه‌های فعال مانند کربوکسیل، لاکتون، آلدهیدها، کتون‌ها و کینون‌ها توانایی بالایی در حذف ترکیبات آلی مانند فنول‌ها دارد. مقایسه تیمار متداول با تیمارهای دیگر نشان داد که با وجود تاثیر مثبت آهک در حذف ترکیبات فنولی، قدرت و توانایی آن پایین‌تر از دیگر جاذب‌ها بود. بهترین نتیجه بین تیمارهای مختلف مربوز به تیمار بنتونیت- زغال فعال بود که موجب کاهش 75 درصدی در محتوای ترکیبات فنولی گردید.

ساپونین کل

ساپونین‌ها ترکیبات گلیکوزیدی هستند که بیشتر در زیر پوست و دم چغندر یافت می‌شوند. ساپونین‌ها کاهش‌دهنده کشش سطحی و از عوامل عمده ایجادکننده کف در شربت خام هستند که ترکیباتی به شدت ملاس‌زا محسوب می‌گردند. بررسی تاثیر روش‌های مختلف تصفیه شیمیایی روی ساپونین‌ها در شکل 1 آورده شده است.

تیمارهای شیمیایی با بنتونیت و سیلیکا سل نشان داد که متناسب با افزایش غلظت آنها محتوای ساپونین‌های شربت کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه در برخی از منابع به بار منفی و ضعیف ساپونین اشاره کرده‌اند، می‌توان استدلال کرد که حذف ساپونین‌ها توسط بنتونیت و سیلیکا سل ناشی از جذب غیر مستقیم آنها می‌باشد.

با وجود اینکه ساپونین‌ها دارای بار سطحی منفی هستند تیمار ترکیبی ژلاتین با بنتونیت تغییرات معنی‌داری را در میزان ساپونین نمونه‌ها نشان نداد ($P<0/05$). برخلاف ژلاتین، تیمار بنتونیت و سیلیکا سل با زغال فعال موجب کاهش قابل توجهی در میزان ساپونین‌ها شد

و میزان ساپونین در تیمار T5 به 1 میلی‌گرم در هر لیتر شربت رسید که مقدار بسیار کمی به حساب می‌آید. چنانچه ساپونین‌ها مراحل مختلف تصفیه را طی کرده و وارد ساختمان شکر شوند هنگام استفاده در محصولات اسیدی و یا در صنایع نوشابه‌سازی مشکل‌ساز می‌شوند. زیرا زمانی که شکر در آب حل شده و به آن اسید اضافه شود، ساپونین‌ها به صورت نامحلول در آمده، منعقد شده و ایجاد رسوب کلوئیدی می‌دهند.

بررسی تیمار آهکی هم نشان داد که استفاده از آهک و دی‌اکسید کربن نیز میزان ساپونین‌ها را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهد. به‌طوری که در تیمار T7-2 مقدار ساپونین از 7/14 به 3/56 میلی‌گرم در هر لیتر شربت کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه چهار ماده بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال برای بهبود شاخص‌های تصفیه شربت خام و حذف ناخالصی‌های عامل فلوک در نوشیدنی‌های اسیدی (مانند نوشابه گازدار) مورد استفاده قرار گرفت. براساس پارامترهای کیفی (کدورت، رنگ، خاکستر و درجه خلوص) مشخص شد که مواد جاذب مورد استفاده (بنتونیت، سیلیکا سل، ژلاتین و زغال فعال) به شکل معنی‌داری شاخص‌های تصفیه‌ای را بهبود بخشیدند. همچنین، پروتئین، ترکیبات فنولی و ساپونین‌ها نیز به عنوان ترکیبات موثر در ایجاد فلوک در نوشیدنی اسیدی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیبات جاذب (تصفیه کننده) می‌تواند گزینه مناسبی برای کاهش این ترکیبات و جلوگیری کننده از فلوک در محصولات اسیدی فرآوری شده با شکر باشد. از مقایسه ترکیبات جاذب با همدیگر نیز می‌توان نتیجه گرفت که توانایی بنتونیت در حذف ناخالصی‌ها به مراتب بالاتر از سیلیکا سل بود و ژلاتین و زغال فعال هم می‌تواند مکمل خوبی برای تیمار شربت با بنتونیت (سیلیکا سل) باشند. در این مطالعه همچنین کارایی جاذب‌ها با روش تصفیه متداول (آهک-دی اکسید کربن) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که این ترکیبات به ویژه در حذف ناخالصی‌های مشکل‌ساز در فرمولاسیون نوشیدنی‌ها بسیار کارامد بوده و می‌توان از آنها در تصفیه شربت خام بهره برد.

منابع

Almohammed, F., H. Mhemdi and E. Vorobiev, 2017. Purification of juices obtained with innovative pulsed electric field and alkaline pressing of sugar beet tissue. *Separation and Purification Technology*, 173: 156-164.

Asadi, M., 2006. Beet-sugar handbook .John Wiley & Sons.

Benítez, E.I. and J.E. Lozano, 2007. Effect of gelatin on apple juice turbidity. *Latin American applied research*, 37(4): 261-266.

Ching, F., 2007. Chinese herbal drug research trends. America nova publishers

Clarke, M.A., E.J. Roberts and M.A. Godshall, 1999. Acid beverage floc from sugar beets. *Journal of sugar beet research*, 36: 15-28.

Decloux, M., 2002. Procédés de transformation en sucrerie (partie 1). Techniques de l'ingénieur. *Agroalimentaire*, 3(F6150): F6150. 6151-F6150. 6118.

Díaz-García, M., J. Obón, M. Castellar, J. Collado and M. Alacid, 2012. Quantification by uhplc of total individual polyphenols in fruit juices. *Food chemistry*.

Eisa Jahed, m.H.K., mohamad Elahi, 2015. The investigation of bentonite and gelatin effects on purification indexes of raw sugar beet juice to production of liquid sugar. *JFST*, 12.(48)

Erdoğăn, B., Ş. Demirci and Y. Akay, 1996. Treatment of sugar beet juice with bentonite, sepiolite, diatomite and quartamin to remove color and turbidity. *Applied Clay Science*, 11(1): 55-67.

Garg, V., R. Gupta, R. Kumar and R. Gupta, 2004. Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust. *Bioresource Technology*, 92(1): 79-81.

Gökmen, V., N. Artık, J. Acar, N. Kahraman and E. Poyrazoğlu, 2001. Effects of various clarification treatments on patulin, phenolic compound and organic acid compositions of apple juice. *European Food Research and Technology*, 213(3): 194-199.

Gökmen, V. and Ö. Çetinkaya, 2007. Effect of pretreatment with gelatin and bentonite on permeate flux and fouling layer resistance during apple juice ultrafiltration. *Journal of food engineering*, 80(1): 300-305.

Hatamikia, M., A. Sani and S. Zomorodi, 2013. Effect of different clarifying agents on the physico-chemical and microbial properties of grape juice concentrate. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 5.(1)

Iciek, J., I. Blaszczyk, J. Biernasiak, K. Lisik and M. Wojtczak, 2012. Floc in acidified solutions of white sugar—a literature review. *Zuckerindustrie-Sugar Industr*y, 137(7): 449.

ICUMSA, 2000. Methods book, international commission for uniform methods of sugar analysis. ICUMAS publications, Operations Service, *Science. c/o British Sugar plc.*

Jahed, E., M.H.H. Khodaparast and A.M. Khaneghah, 2014. Bentonite, temperature and ph effects on purification indexes of raw sugar beet juice to production of inverted liquid sugar. *Applied Clay Science*, 102: 155-163.

Jung, M.-W., K.-H. Ahn, Y. Lee, K.-P. Kim, J.-S. Rhee, J.T. Park and K.-J. Paeng, 2001. Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbons (gac). *Microchemical journal*, 70(2): 123-131.

Kim, J.S., J.H. Yun, M.R. Lee, S.H. Kim, J.-H. Lee and K.-H. Jang, 2014. Effect of processing of moru (vitis amurensis) wine on clarification. *International journal of fruit science*, 14(4): 405-415.

Koyuncu, H., A.R. Kul, A. Çalımlı, N. Yıldız and H. Ceylan, 2007. Adsorption of dark compounds with bentonites in apple juice. *LWT-Food Science and Technology*, 40(3): 489-497.

Laksameethanasana, P., N. Somla, S. Janprem and N. Phochuen, 2012. Clarification of sugarcane juice for syrup production. *Procedia Engineering*, 32: 141-147.

Marchal, R. and P. Jeandet, 2009. Use of enological additives for colloid and tartrate salt stabilization in white wines and for improvement of sparkling wine foaming properties. In: Wine chemistry and biochemistry, Springer: pp: 127-158.

Marsh, H. and F.R. Reinoso, 2006. *Activated carbon. Elsevier.*

Mekhemer, W., J. Hefne, N. Alandis, O. Aldayel and S. Al-Raddadi, 2008. Thermodynamics and kinetics of co (ii) a*dsorption onto natural and treated bentonit*e.

Morton, P.A. and B.S. Murray, 2001. Acid beverage floc: Protein–saponin interactions and an unstable emulsion model. Colloids and Surfaces B: *Biointerfaces*, 21(1): 101-106.

Mudoga, H., H. Yucel and N. Kincal, 2008. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresource technolog*y, 99(9): 3528-3533.

Roy, G.M., 1994. Activated carbon applications in the food and pharmaceutical industries. CRC press.

Valli, V., A.M. Gómez-Caravaca, M. Di Nunzio, F. Danesi, M.F. Caboni and A. Bordoni, 2012. Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(51): 12508-1.2515

Vanderhaegen, B., H. Neven, H. Verachtert and G. Derdelinckx, 2006. The chemistry of beer aging–a critical review. *Food Chemistry*, 95(3): 357-381.

Zoecklein, B., 1988. Bentonite fining of juice and wine. Virginia Cooperative Extension Service.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 2, June. July. 2019, p. 267- 279

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 2، خرداد- تیر 1398 ص.279-267

Use of clarifying agents in the purification of raw sugar beet juice

E. Arjeh[1], M. Pirouzifard[2*], S. Pirsa[2]

Received: 2018.04.12
Accepted: 2018.11.01

Introduction Raw sugar beet juice (RSBJ) is an intermediate of sugar beet processing obtaining by diffusion process. The RSBJ contains approximately 85% water, 13% sucrose, and 2% non-sugar compounds (impurities) and its purity ranges from 85 to 88%. Due to the low purity, the RSBJ should be subjected to purification process. The conventional purification occurs in a complex multistage process including pre-liming, main liming, first carbonation, and second carbonation. In liming step, lime milk ($Ca(OH)_2$) is added to destabilize and precipitate the non-sugar compounds. Then the CO_2 gas is added to precipitate the lime (as calcium carbonate). Although the application of lime is very well known but some impurities, including phenolic compounds, saponins, proteins and lipids pass through purification processing into the white sugar and cause serious difficulties. Due to the variety of compounds (dissolved or suspended) present in RSBJ and this fact that different processes may remove different types of compounds, various fining agents are required to clarification of raw juices. Bentonite, silica sol, gelatin and activated carbon are four types of natural adsorbents, which have been used in many applications, in different fields and processes, including the food industry. Differences in the nature of ionic charges of juice compounds and the fining agents induce neutralization, and flocculation and result in the removal of them from the juice. Therefore, the purpose of this study was to investigate the efficiency of bentonite, silica sol, gelatin and activated carbon in the removal of impurities (protein, saponin and phenolic compounds) causing floc in acidic beverage and improving the purification indexes of RSBJ (turbidity, color, ash and purity). Floc refers to the cloudy and turbid precipitate that forms in some sugar-sweetened carbonated soft drinks after standing for several days. While flocs are harmless, they are a visible defect and consumers don't accept the soft drink product for aesthetic reasons. Currently, most researchers assume that saponins are primarily responsible for floc formation. However, there are some studies indicating that protein, phenolic compounds and lipids also play a role in floc formation.

Materials and methods: The RSBJ was regularly obtained from the sugar factory of Piranshahr, Iran. The RSBJ was sampled at the point just before the purification step and immediately transferred to the lab. Fining agents used for clarification including bentonite (Na–Ca Bentonite ERBSLÖH, Geisenheim, Germany), silica sol 15% (Baykisol 15%), Gelatin (type-A; 100 bloom, Erbigel, Germany) and activated carbon (CS-2000, Gostar Ghoumes CO. Iran) was provided by Azar kam Co. Urmia. Iran. For each experiment, 200 ml of the raw juice was subjected to various refining treatments. The RSBJ were refined at 75 °C for 100 min by fining agents. Fining agents were added to beet juice samples according to the preliminary experiments. After the completion of the clarifying process, juice samples were passed through a microfilter (45 µm) to removing formed floc. In order to compare the mentioned treatments (bentonite, silica sol, gelatin and activated carbon) with the conventional method, the RSBJ was also treated with lime-carbon dioxide in four stages (pre-liming (15 minutes at 85 ° C), main liming (15 min at 88 ° C), first carbonation (up to pH 11, 90 ° C) and second carbonation (up to pH 9, 92 ° C)). After applying the treatments, purity and ash content (by conductimetry method) was measured as the main purification indexes for assessing the quality of the juice samples. The total protein (by dye-binding method), total phenolic compound (by Folin-Ciocalteu reagent) and total saponin content (by vanillin-sulfuric acid method) was also determined as the compounds have a key role in formation of acid beverage floc.

Results and discussion: In this study, four refining agents of bentonite, silica sol, gelatin and activated carbon were used to improve the purification indexes of RSBJ and to remove non-sugar impurities causing floc in acidic beverage (such as carbonated beverages). Based on the ash and purity, it was showed that the applied adsorbents (bentonite, silica, gelatin and active charcoal) significantly improved the purification indexes of RSBJ. The results also showed that the ability of bentonite as a negative charged adsorbent was considerably higher than silica-sol in removing impurities (protein, saponin and phenolic compounds) causing floc, and improving the purification indexes (turbidity, color, ash and purity). So, the bentonite treatment reduced protein, phenolic compounds and saponin content of juice by 68, 61 and 40 %, respectively. The combination of gelatin and activated carbon as supplemental clarifiers with bentonite and silica also improved the parameters measured. In general, Bentonite-Activated carbon treatment had the best results, resulting in a

1 and 2.Ph.D student and Associate Professor, Department of food science and technology, Faculty of agriculture, Uremia university.
(*- Corresponding Author Email: k.pirouzifard@yahoo.com)

reduction of 73, 87 and 85 % in protein, phenolic compounds and saponin, respectively. In this study, mentioned treatments were also compared with conventional treatment (lime-carbon dioxide) and it was observed that new treatments can be a good choice to combine or replace with conventional treatment.

Keyword: Sugar beet juice; Chemical purification; Bentonite; Silica sol; Gelatin; Activated carbon