

آثار دما و مقادیر مختلف pH بر ویژگی‌های کیفی شربت کربناسیون دوم طی فرآیند خالص‌سازی شربت خام چغندر قند با استفاده از آنالیز کمترین مربعات جزئی (PLS)

بیوک آقا فرمانی^{۱*}، حبیب نویدی فر^۲

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز

۲- کارشناس ارشد صنعت قند، رئیس آزمایشگاه و خط تولید کارخانه قند میاندوآب

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۳۰)

چکیده

در این مطالعه آزمون آماری رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLS) برای تجزیه و تحلیل نتایج ویژگی‌های کیفی اندازه‌گیری شده شربت کربناسیون دوم چغندر قند همراه با متغیرهای مستقل و وابسته مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب همبستگی بین دما (سه سطح) و pH (سه سطح) (متغیرهای مستقل) با قلیائیت، سختی کل، ساکاروز، رنگ محلول و خاکستر هدایتی (متغیرهای وابسته) انجام گرفت. نتایج همبستگی ماتریکس (همبستگی پیرسون) نشان داد که بین دما با رنگ محلول (۰/۹۳۷) و خاکستر هدایتی (۰/۶۰۸) همبستگی معنی‌دار مشاهده شد. همچنین، همبستگی ماتریکس نشان داد که pH همبستگی معنی‌دار با قلیائیت (۰/۹۷۵) و سختی کل (۰/۶۹۴) شربت کربناسیون دوم داشت. نتایج اهمیت متغیر در طرح (VIP) بدست آمده در آزمون رگرسیون PLS نشان داد که اهمیت pH بر ویژگی‌های کیفی شربت کربناسیون دوم بیشتر از دما بود. همچنین، نتایج ضرایب استاندارد شده VIP بین متغیرهای مستقل و وابسته نشان داد که pH اثر مثبت قوی بر قلیائیت و سختی کل شربت کربناسیون داشت. در مقابل، دما اثر منفی قوی بر رنگ محلول و خاکستر هدایتی داشت. دما و pH بر مقدار ساکاروز شربت کربناسیون دوم چغندر قند اثر همبستگی منفی ضعیفی (غیر معنی‌دار) داشتند.

کلید واژگان: شربت کربناسیون دوم، رگرسیون PLS، اهمیت متغیر در طرح (VIP)، ضرایب استاندارد شده VIP

*مسئول مکاتبات: bfarmani@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

مرحله خالص‌سازی شربت خام چغندر قند باعث حذف ناخالصی‌های غیرساکاروزی می‌شود به طوری که امکان تبلور ساکاروز خالص فراهم می‌شود. طی فرآیند کربناسیون دوم، شربت کربناسیون اول با گاز CO₂ جهت حذف باقی مانده آهک و ناخالصی‌ها تیمار می‌شود [۱]. بنت (۱۹۷۶) آزمایشات ارزشمندی روی فرآیند کربناسیون در سطح آزمایشگاهی انجام داد. ایشان در مطالعات خود از تکنیک‌های ایکس آر دی جهت تعیین مکانیسم‌های حذف رنگ استفاده کرد. بنت نشان داد که ناخالصی‌ها به جای جذب بر روی سطح بلورهای کربنات کلسیم در داخل بلورهای کربنات کلسیم در حال رشد به دام افتاده که این عمل اغلب باعث تغییر شکل بلورها می‌شود. هر نوع جسم رنگی که کمی بار منفی داشته باشد قادر به تشکیل باندهای ضعیف با کربنات کلسیم بوده و در نهایت همراه بلورها آن رسوب می‌کند [۲].

روش رایج تصفیه شربت خام چغندر قند استفاده از آهک و دی‌اکسید کربن برای حذف انواع ناخالصی‌های غیرساکاروزی موجود در شربت خام استخراج شده جهت افزایش درجه خلوص و کاهش ناخالصی‌هایی مانند ترکیبات هیدروکلویدی، پروتئین‌ها، رنگ و غیره استفاده می‌شود [۳ و ۴]. غلظت بالای ساکاروز و غلظت پایین مواد غیرساکاروزی در شکر تولید شده شاخص کیفی مهمی برای ارزیابی روش‌های مختلف تصفیه برای تولید شکر می‌باشد [۵]. کیفیت شربت خام اولیه، تعیین کننده مقدار آهک و دی‌اکسید کربن مورد نیاز برای خالص‌سازی موثر است که از $7-10 \text{ kgCaO m}^{-3}$ شربت خام با درجه خلوص بالاتر تا $12-15 \text{ kgCaO m}^{-3}$ شربت خام با درجه خلوص پایین‌تر تغییر می‌کند [۶]. هزینه آهک مورد استفاده برای خالص‌سازی، بخش مهمی از هزینه‌های عملیاتی در فرآیند تصفیه شربت خام را به خود اختصاص می‌دهد [۴]. بهبود درجه خلوص شربت خام استخراجی برای کاهش مصرف آهک مورد نیاز طی خالص‌سازی ضروری است به شرطی که تأثیر منفی بر کیفیت شربت تصفیه شده نهایی نداشته باشد [۷].

کربناسیون دوم یکی از مهم‌ترین مراحل خالص‌سازی شربت خام چغندر قند است. در مرحله کربناسیون دوم، گاز دی‌اکسید کربن

به شربت کربناسیون اول صاف و گرم شده تزریق می‌شود تا شربت کربناسیون دوم با شرایط بهینه (۹-۹/۲ pH و قلیائیت موثر $0.3-0.2 \text{ gCaO/100 mL}$) بدست آید. به منظور جلوگیری از تشکیل بیکربنات کلسیم در شربت کربناسیون دوم، شربت کربناسیون اول حاصل از دستگاه کلاریفایر، قبل از وارد شدن به داخل تانک کربناسیون دوم توسط گرم کننده‌های کربناسیون دوم تا حدود 92°C حرارت داده می‌شود [۸]. واندرپولو همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که گاززنی بیش از حد شربت در طی کربناسیون اول و دوم، باعث حلالیت کربنات کلسیم شده و در نتیجه موجب تشکیل بیکربنات کلسیم می‌شود که این پدیده افت درجه خلوص شربت صاف شده را دارد. به هر حال، آهک‌زدایی واقعی زمانی کامل می‌شود که همه کربنات کلسیم تشکیل شده به شکل بلور از محیط عمل خارج گردد [۹].

براساس نتایج تحقیقات فرمانی و همکاران (۲۰۱۵) با کاهش pH شربت کربناسیون دوم (از ۱۰/۵ به ۹) سختی کل و خاکستر کلکاهش یافت. همچنین فرمانی و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که با تزریق زیاد گاز CO₂ به شربت تا pH ۸/۷ باعث تخریب ساختاری بلورهای کربنات کلسیم شده (شروع از pH ۹) در نتیجه باعث افزایش سختی کل، رنگ محلول و خاکستر کل شربت کربناسیون دوم شد [۱۰]. از آنجایی که قلیائیت طبیعی چغندر قند و درجه خلوص شربت خام بر روند تصفیه اثرگذار است. در نتیجه قلیائیت طبیعی چغندر قند خود به عوامل محیطی کشت چغندر بستگی دارد که ممکن است شرایط بهینه کربناسیون دوم بسته به منطقه کشت چغندر قند متفاوت باشد [۸].

آزمون رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLS) می‌تواند به خوبی ویژگی‌های کیفی شربت کربناسیون دوم فرآوری شده را پیش بینی کند. در این روش داده‌های با تعداد کم حاصل از ترکیبات خطی (فاکتورهای PLS) استخراج شده که می‌تواند متغیرهای سیستماتیک زیادی را که در داده‌های آزمایشی وجود دارد را پیش بینی نماید. با استفاده از این روش رگرسیون می‌توان به خوبی با اندازه‌گیری پارامترهای شربت دوم کربناسیون و ویژگی‌های کیفی را پیش بینی نمود [۱۱].

پلنت کربناسیون دوم شامل: مخزن کربناسیون دوم به حجم L ۵۰، مجهز به کویل بخار (مشخصات بخار ورودی، °C ۱۲۰ با ۰/۵ bar)، دماسنج تلسکوپی، pH متر دیجیتالی، فشارسنج و پخش کننده گاز CO₂ بود. برای انجام عمل کربناسیون دوم، ابتدا L ۴۰ شربت کربناسیون اول از دستگاه کلاریفایر خط تولید کارخانه قند برداشته و به مخزن کربناسیون دوم انتقال می‌یافت. سپس گاز CO₂ از طریق پخش کننده گاز نصب شده در قسمت پایین رآکتور با فشار ۷/۲۵ psi تا رسیدن pH شربت کربناسیون اول به مقادیر pH مورد نظر (۱۰/۵، ۱۰/۲، ۹/۹، ۹/۶، ۹/۳، ۹، ۸/۷، ۸/۴ و ۸/۱) در هر یک از دماهای ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ °C به طور جداگانه تزریق شد. بعد از هر تیمار حدود ۵۰۰ mL نمونه شربت برداشته و به مدت ۱۰ min آروی سکوی آزمایشگاهی گذاشته شد تا رسوبات ته نشین گردند. قسمت زلال بالایی نمونه-ها با کمک کاغذ صافی معمولی دولایه آزمایشگاهی صاف شد. سپس خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های صاف شده بررسی - گردید.

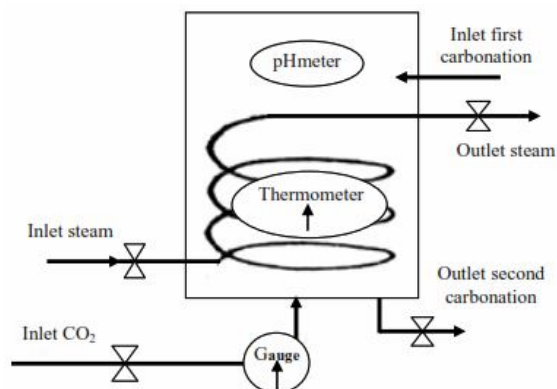


Fig 2 Scheme of second carbonation juice pilot plant for first carbonation juice treatment [10]

۳-۲- روش انجام آزمایشات، تجهیزات و مواد

شیمیایی آزمایشگاهی

۲-۳-۱- تعیین قلیائیت موثر

اندازه‌گیری قلیائیت موثر از روش تیتراسیون به وسیله اسید هیدروکلرید ۰/۰۳۵ N در مجاورت معرف فنل فتالین استفاده شد [۱۲].

هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات دماها (۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ °C) و مقادیر مختلف pH (۱۰/۵، ۱۰/۲، ۹/۹، ۹/۶، ۹/۳، ۹، ۸/۷، ۸/۴ و ۸/۱) بر ویژگی‌های کیفی شربت کربناسیون دوم مانند قلیائیت موثر، سختی کل، رنگ محلول، درجه خلوص و خاکستر کل با استفاده از آنالیز رگرسیون PLS می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه شربت کربناسیون اول

مقادیر لازم شربت کربناسیون اول از خط تولید کارخانه قند از شربت خروجی دستگاه کلاریفایر برداشته شد.

۲-۲- دستگاه پایلوت پلنت کربناسیون دوم

شمای کلی استخراج شربت خام از خلال چغندر قند و تصفیه در شکل ۱ آمده است. این مراحل شامل تهیه خلال چغندر قند، استخراج شربت خام از خلال با آب داغ (۷۰-۷۵ °C) در دیفوزور، آهک‌زنی اولیه (۲/۲-۲/۳ kgCaO m⁻³، ۴۰-۴۵ °C تا pH ۱۱/۱۵)، آهک‌زنی اصلی (۱۹/۸-۲۸/۸ kgCaO m⁻³، ۱۹/۸-۲۸/۸ kgCaO m⁻³، pH ۱۱ تا ۱۱/۳۸ تا ۸۵ °C) و کربناسیون دوم (محل انجام آزمایشات) می‌باشد.

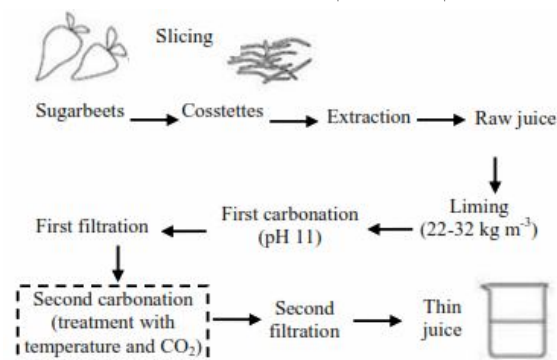


Fig 1 Total scheme of extraction and raw sugarbeet juice purification (Treatment of first carbonation juice with CO₂ for reaching pHs to 10.5, 10.2, 9.9, 9.6, 9.3, 9, 8.7, 8.4 and 8.1 at temperatures 90, 95 and 100 °C) [10]

برای انجام آزمایشات کربناسیون دوم دستگاه پایلوت طراحی شد که شمای ساده آن در شکل ۲ دیده می‌شود. دستگاه پایلوت

۲-۳-۲- تعیین سختی کل

اندازه‌گیری سختی کل از روش تیتراسیون به وسیله محلول اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۰/۰۲ N در مجاورت معرف اریوکروم بلک-تی انجام گرفت [۱۲].

۲-۳-۳- اندازه‌گیری رنگ محلول

اندازه‌گیری رنگ محلول از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ nm استفاده گردید [۱۲].

۲-۳-۴- تعیین خاکستر هدایتی

در اندازه‌گیری خاکستر هدایتی از روش هدایت‌سنجی با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی استفاده شد [۱۲].

۲-۳-۵- تعیین درجه خلوص

تعیین درجه خلوص شربت کربناسیون دوم از روش پلازیمتری با استفاده از ساکاریمتر (ATAGO-POLAX 21) در طول موج ۵۸۷ nm استفاده گردید [۱۲].

۲-۳-۶- اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل (بریکس)

اندازه‌گیری مقدار مواد جامد محلول کل (بریکس) از دستگاه رفاکتومتر رومیزی (ATAGO-NAR 1T) استفاده شد [۱۲].

۲-۳-۷- تعیین pH

جهت اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر (HANNA pH 211) استفاده گردید [۱۲].

۲-۴- تعریف VIP، ضرایب استاندارد شده

VIP و کاربردهای آن‌ها در آنالیز PLS

در مدل رگرسیون PLS ضرایب VIP¹ منعکس‌کننده اهمیت هر متغیر X در هر دو امتیاز X و Y می‌باشند چرا که امتیازات متغیرهای وابسته Y از روی امتیازات متغیرهای X پیشگویی می‌شوند. ضرایب VIP برای هر متغیر مستقل به ازاء هر واحد افزایش تعداد مولفه‌ها در آزمون رگرسیون PLS را نشان می‌دهد. همچنین ضرایب استاندارد شده VIP تعیین می‌شود تا اثر تک تک X ها بر روی Y ها به آسانی قابل مشاهده باشد. به این ترتیب موثرترین متغیرها و درجه اهمیت آن‌ها به سرعت شناسایی و تشخیص داده می‌شوند.

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشگاهی از همبستگی ساده خطی یا پیرسون و رگرسیون PLS بین صفات مختلف مورد بررسی به شرح زیر استفاده شد:

رگرسیون PLS یکی از ابزارهای مهم و مناسب برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته از روی متغیرهای مستقل می‌باشد. در این روش مولفه‌های جدید متعامدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ایجاد شده سپس از این مولفه‌ها برای ساختن معادله رگرسیونی استفاده می‌شود [۱۳]. به منظور بررسی روابط بین متغیرهای مستقل (دما و pH) و وابسته (قلیائیت موثر، سختی کل، رنگ محلول، درجه خلوص و خاکستر کل) شربت کربناسیون دوم از روش رگرسیون PLS با استفاده از نرم افزار XLSTAT استفاده شد. در آزمون رگرسیون PLS همه متغیرهای مستقل و وابسته بر روی نقشه دایره‌ای شکل رسم شده و با تجزیه و تحلیل آن مشخص می‌شود که کدام یک از متغیرهای مستقل صفات وابسته را به خوبی توجیه می‌نماید. بدین ترتیب یک نقشه همبستگی‌ها ترسیم شده تا همه روابط بین متغیرها به صورت دو جزء t₁ و t₂ بر روی آن قابل ملاحظه باشد. متغیرهای که در وسط نقشه باشند، همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهند. هدف کلی در این روش آن است که از فاکتورهای استفاده شود تا پاسخ را پیش‌بینی نماید که این فرآیند توسط استخراج متغیرهای مکنون انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر متغیرهای مکنون یا فاکتورهای PLS به صورت یک ترکیب خطی از متغیرهای مستقل ظاهر می‌شوند. معمولاً سه الی هفت فاکتور اول حدود ۹۹٪ تغییرات را می‌تواند توجیه کند [۱۴].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ضرایب همبستگی (r) بین صفات بررسی شده در شربت کربناسیون دوم

اثرات دما و pH در محدوده مورد بررسی بر مقدار ساکاروز شربت کربناسیون دوم غیرمعنی‌دار با همبستگی منفی ضعیف بدست آمد که با نتایج تحقیقات فرمانی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشتند (جدول ۱).

1. Variable Importance in Projection (VIP)

رنگ به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت شکر مورد توجه است و نقش تعیین کننده‌ای در بازار صنایع قند در سراسر جهان دارد [۱۵]. یو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که اکثر ترکیبات رنگی شکر در تصفیه ماهیت آنیونیک داشته، بنابراین ترکیبات رنگی در مقادیر pH بالاتر توسط جاذب‌های دارای بار مثبت مانند کربنات کلسیم به طور کارآمدی حذف می‌شوند [۱۶]. تاثیرات دما بر رنگ شربت کربناسیون دوم معنی‌دار ($p \leq 0.01$) با همبستگی منفی قوی ($r = -0.938$) و اثرات pH بر رنگ شربت کربناسیون دوم غیرمعنی‌دار با همبستگی مثبت ضعیف بود (جدول ۱).

عوامل موثر در مقدار قلیائیت شربت کربناسیون دوم شامل مقدار کل یون‌های کربنات (CO_3^{2-})، بیکربنات (HCO_3^-)، هیدروکسیدها (OH^-) همراه با یون‌های Ca ، Mg ، Na و K است [۸]. تاثیرات دما بر قلیائیت موثر و سختی کل شربت کربناسیون دوم غیرمعنی‌دار به ترتیب با همبستگی مثبت بسیار ضعیف و همبستگی منفی ضعیف و اثرات pH بر قلیائیت موثر و

سختی کل شربت کربناسیون دوم معنی‌دار ($p \leq 0.01$) به ترتیب با همبستگی مثبت بسیار قوی و همبستگی مثبت قوی بودند (جدول ۱) که با نتایج تحقیقات فرمانی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشتند [۱۰]. سختی کلبه صورت مقدار نمک‌های محلول مانند کربنات کلسیم، اگرالات کلسیم و کربنات منیزیم در شربت کربناسیون دوم تعریف می‌شود. سختی مشکلاتی را در فرآیندهای بعدی تولید شکر به وجود می‌آورد. به عنوان مثال، مقداری سختی (به خاطر تغییر حلالیت) بر روی لوله‌های تبخیرکننده هارسوب کرده که باعث کاهش ظرفیت انتقال حرارت، افزایش پوشش (عایق) تجهیزات، نیاز بیشتر برای تعمیر و نگهداری و افزایش زمان تبخیر و کریستالیزاسیون می‌گردد [۸ و ۱۷].

اثرات دما و pH در محدوده مورد بررسی بر خاکستر هدایتی شربت کربناسیون دوم معنی‌دار (به ترتیب $p \leq 0.01$ و $p \leq 0.05$) با همبستگی منفی قوی و همبستگی منفی متوسط بدست آمدند (جدول ۱) که با نتایج تحقیقات فرمانی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشتند [۱۰].

Table 1 Correlation matrix coefficients of evaluated traits

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
(X ₁) Temperature	1						
(X ₂) pH	.000 ^{ns}	1					
(X ₃) Alkalinity	.059 ^{ns}	.975 ^{**}	1				
(X ₄) Hardness	-.123 ^{ns}	.694 ^{**}	.754 ^{**}	1			
(X ₅) Color	-.938 ^{**}	.184 ^{ns}	.142 ^{ns}	.315 ^{**}	1		
(X ₆) Purity	-.053 ^{ns}	-.071 ^{ns}	-.119 ^{ns}	-.136 ^{ns}	-.034 ^{ns}	1	
(X ₇) Conductivity ash	-.608 ^{**}	-.231 [*]	-.197 ^{ns}	.182 ^{ns}	.693 ^{**}	.011 ^{ns}	1

* , ** and ns significant at $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ and non-significant, respectively

تمام نتایج به صورت یکجا بر روی یک دایره می‌باشد تا امکان بررسی بصری و طبقه‌بندی در حضور تمام متغیرها امکان‌پذیر باشد.

همان طوری که مشاهده می‌شود بین مقادیر مختلف pH شربت‌های کربناسیون دوم با قلیائیت موثر و سختی کل همبستگی قوی اما بین pH، ساکاروز و خاکستر هدایتی نمونه‌ها همبستگی ضعیفی وجود دارد. صفات کیفی شربت‌های کربناسیون دوم مانند قلیائیت موثر، سختی کل و رنگ محلول با pH نمونه‌ها در یک گروه (ناحیه مثبت محور افقی) قرار گرفته‌اند.

بین دماهای مختلف شربت‌های کربناسیون دوم با قلیائیت موثر همبستگی متوسط اما بین دما، سختی کل و ساکاروز نمونه‌ها

۳-۲- آزمون رگرسیون PLS در ارزیابی اهمیت

شاخص‌های کیفی در بررسی شربت کربناسیون

دوم

در آزمون رگرسیون PLS انواع آزمون‌های مورد استفاده برای بررسی کیفیت شربت کربناسیون دوم مانند صفات دما (در سه سطح) و pH (در ۹ سطح) به عنوان متغیرهای مستقل (X) و قلیائیت موثر، سختی کل، رنگ محلول، مقدار ساکاروز و خاکستر هدایتی (هر کدام در سه تکرار و با ۸۱ مشاهده) به صورت متغیرهای وابسته (Y) در نظر گرفته شدند که شکل ۳ آنالیز گروهی داده‌ها را در این آزمون روی محورهای دوگانه t_1 و t_2 نشان می‌دهد. مزیت استفاده از آزمون رگرسیون PLS داشتن

دوم نشان می دهد. همان طوری که مشاهده می شود تاثیر متغیر مستقل pH بر متغیرهای وابسته (قلیائیت موثر، سختی کل، ساکاروز، رنگ محلول و خاکستر هدایتی) شربت کربناسیون دوم به مراتب بیشتر از دمای مورد بررسی است.

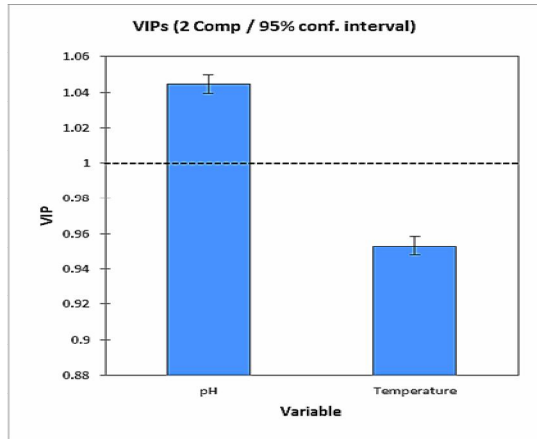


Fig 4 variable importance in the Projection (VIP)

مدل های ریاضی بدست آمده از طریق رگرسیون PLS برای متغیرهای وابسته (قلیائیت موثر، سختی کل، ساکاروز، رنگ محلول و خاکستر هدایتی) با استفاده از متغیرهای مستقل (دما در سه سطح (۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ °C) و pH در نه سطح (۱۰/۲، ۱۰/۵، ۱۰/۹، ۹/۶، ۹/۳، ۹، ۸/۷، ۸/۴ و ۸/۱)) در جدول ۲ آمده است. بنابراین پیش بینی مدل های ریاضی برای فرآوری شربت کربناسیون دوم چغندر قند از دماهای ۹۰ تا ۱۰۰ °C و pH های ۸/۱ تا ۱۰/۵ اعتبار دارند.

Table 2 Equations of the model predicted for evaluated traits in second carbonation juice experiments

Model number	Mathematical model
1	Alkalinity = -10.04 + 0.01 × Temperature + 1.104 × pH
2	Hardness = 5.96 - 0.16 × Temperature + 5.003 × pH
3	Color = 12199.46 - 119.71 × Temperature + 124.116 × pH
4	Purity = 92.17 - 0.003 × Temperature - 0.021 × pH
5	Conductivity ash = 0.315 - 0.001 × Temperature - 0.002 × pH

رنگ محلول و خاکستر هدایتی) با هر یک از متغیرهای مستقل (دما و pH) نمودار ضرایب VIP استاندارد شده برای تک تک متغیرهای وابسته در رگرسیون PLS رسم شد که در شکل ۵ آمده است. در این اشکال هر چه فاصله یک اثر به عدد یک نزدیکتر باشد اهمیت بالاتری پیدا می کند.

به ترتیب همبستگی مثبت و همبستگی ضعیف منفی وجود دارد.

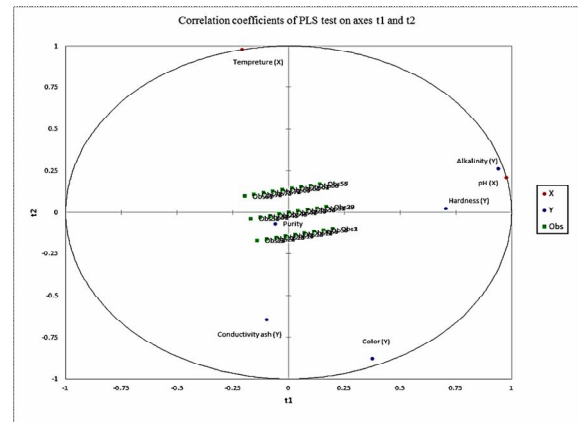


Fig 3 Group analysis and second carbonation juice categorization in near groups (types of observations along with independent and dependent variables) صفات کیفی شربت های کربناسیون دوم مانند رنگ محلول و خاکستر هدایتی با دما به ترتیب همبستگی قوی منفی و همبستگی متوسط منفی دارد. بنابراین ساکاروز و خاکستر هدایتی شربت های کربناسیون دوم با دمای نمونه ها در یک گروه (ناحیه منفی محور عمودی) قرار گرفته اند.

۳-۳- اهمیت VIP و معادلات مدلی در آنالیز PLS در ارزیابی شاخص های کیفی شربت کربناسیون دوم

شکل ۴ اهمیت هر دو متغیر مستقل (دما و pH) در طرح را بر روی صفات کیفی بررسی شده در نمونه های شربت کربناسیون

۳-۴- اهمیت ضرایب استاندارد شده VIP در آنالیز PLS در ارزیابی شاخص های کیفی شربت کربناسیون دوم

برای مشخص نمودن ضریب اهمیت و تاثیر متغیرهای وابسته مورد بررسی در این مطالعه (قلیائیت موثر، سختی کل، ساکاروز،

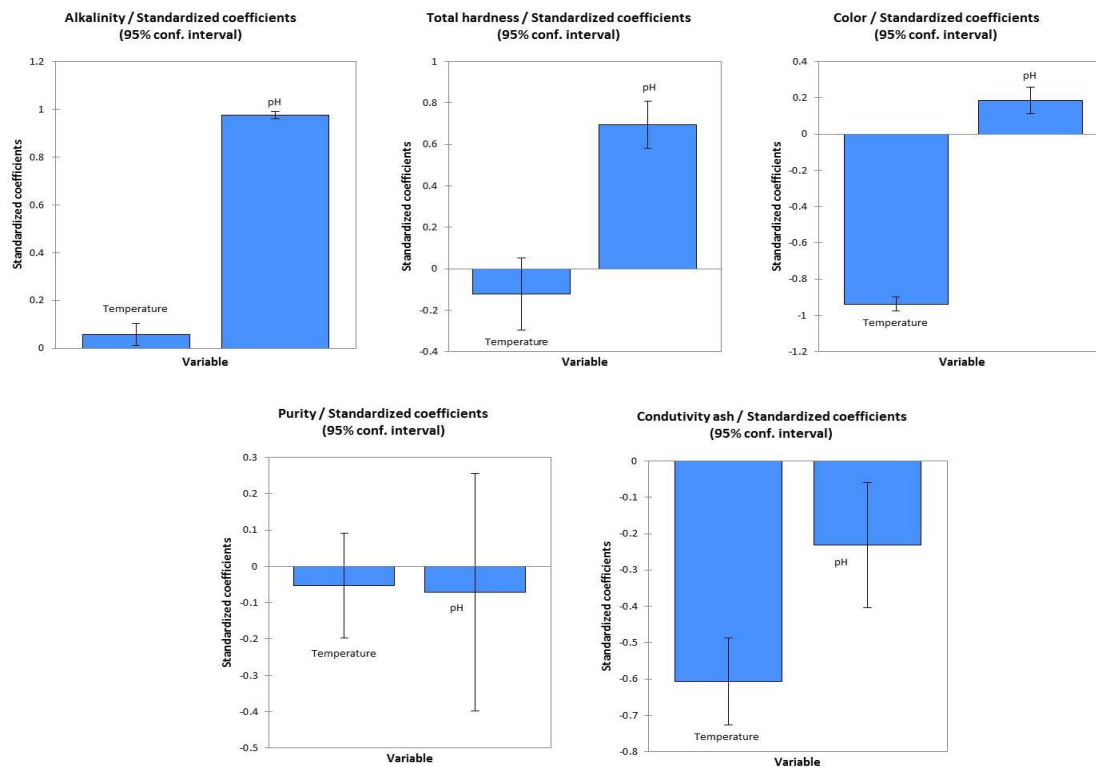


Fig 5 Diagram of important coefficient independent variables with dependent variables

۵- تقدیر و تشکر

از دکتر رفت استاد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به خاطر آنالیز داده‌ها به روش رگرسیون PLS و کمک در تفسیر داده‌ها تشکر به عمل می‌آید.

۶- منابع

- [1] Anonym. 1997. Sugarbeet processing. Emission factor documentation for AP-42 Section 9.10.1.2.
- [2] Davis, S.B. 2001. The Chemistry of color removal: A processing perspective. Processing Science African Sugar Technology Ass. 75: 328-336.
- [3] Mitchell, T.J. 1950. The purification of high density beet juices from dried beets. Journal of Science Food Agriculture 1, 96-98.
- [4] Van der Poel, P.W., Schiweck, H. and Schwartz, T. 1998. Sugar technology: Beet and cane sugar manufacture. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG.

همان طور که از نمودارهای بالا مشاهده می‌شود در بررسی قلیائیت موثر شربت کرناسیون دوم اثر pH بسیار بیشتر از دما می‌باشد. تاثیر pH بر سختی کل شربت کرناسیون دوم از دما خیلی بالا است. اثر دما بر رنگ محلول و خاکستر هدایتی شربت کرناسیون دوم به مراتب از pH زیادتر است. در مورد مقدار ساکاروز شربت کرناسیون دوم اثرات دما و pH تقریباً کم و یکسان هستند.

۴- نتیجه گیری

نتایج بررسی آزمون رگرسیون PLS شربت کرناسیون دوم چغندر قند نشان داد که در قلیائیت موثر و سختی کل اثر pH بسیار بیشتر از دما بود. در مورد رنگ محلول و خاکستر هدایتی شربت کرناسیون دوم چغندر قند اثر دما به مراتب بالاتر از pH بود. در نهایت اثرات دما و pH بر مقدار ساکاروز شربت کرناسیون دوم چغندر قند تقریباً کم و یکسان بودند.

- sensory and instrumental measurements. *Journal of Texture Studies* 33: 401-413.
- [12] ICUMSA. 2005. ICUMSA Methods Book. Bartens: The Sugar and Sweeteners Publisher.
- [13] Tenenhaus, M., Pages, J., Ambroisine, L. and Guinot, C. 2005. PLS methodology to study relationships between hedonic judgments and product characteristics. *Food Quality and Preference* 16: 315-325.
- [14] Addinsoft. 2009. Addinsoft's <http://www.xlstat.com/en/>.
- [15] Nguyen, D.M.T. and Doherty, W.O.S. 2012. Optimization of process parameters for the degradation of caffeic acid in sugar solutions. *International Journal of Food Science and Technology* 47:2477-2486.
- [16] Yu, J., Chou, C.C. and Saska, M. 2011. The Behavior of Invert Sugar in Sugar Processing. Technical Proceedings of the Sugar Industry Technologists, Inc., Montreal, Canada. 1-26.
- [17] Hamerski, F., daSilva, V.R., Corazza, M.L., Ndiaye, P.M. and de Aquino, A.D. 2012. Assessment of variables effects on sugar cane juice clarification by carbonation process. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 422-428.
- [5] Kenter, C. and Hoffmann, C.M. 2009. Changes in the processing quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage under controlled conditions. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 910-917.
- [6] Decloux, M. 2003. Procédés de transformation ensucrière (partie 1). In. *Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire*, F 6 150 (pp 1-18).
- [7] Loginova, K., Loginov, M., Vorobiev, E. and Lebovka, N.I. 2012. Better lime purification of sugar beet juice obtained by low temperature aqueous extraction assisted by pulsed electric field. *LWT-Food science and Technology* 46: 371-374.
- [8] Asadi, M. 2007. Beet-sugar handbook. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- [9] Anonym. 2005. Fundamentals of beet juice carbonation. SIT1 juice purification. Doc 21.01.08, 1-6.
- [10] Farmani, B., Esmaili, M., Bodbodak, S., Ganbarpour, A. and Navidifar, H. 2015. Stability of formed calcium carbonate crystals during the second carbonation at purification of sugarbeet raw juice. *J. Food Research*, Vol. 25 (3): 457-465.
- [11] Gambaro, A., Varela, P. and Gimenez, A. 2002. Textural quality of white pan bread by

Effects of different temperature and pHs on second carbonation juice quality attributes during raw sugarbeet juice purification using PLS regression analysis

Farmani, B.^{1*}, Navidifar, H.²

1. Assistant Prof., Department of Food Science and Technology, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Senior expert in sugar industry, head of laboratory and Myandoab Sugar Factory line production, Myandoab, Iran

(Received: 2017/09/20 Accepted: 2018/10/22)

In this study, Partial Least Squares (PLS) statistical procedure was used to analyze the results of measured quality attributes in sugarbeet second carbonation juice along with independent and dependent variables. Correlation coefficient was carried out between temperature (3 levels) and pH (9 levels) (independent variables) with alkalinity, total hardness, sucrose, solution color, and conductivity ash. The results of matrix correlation (Pearson correlation) showed that significant correlation was observed temperature with solution color (0.938) and conductivity ash (0.608). Also, matrix correlation showed that pH had significant correlation with alkalinity (0.975) and total hardness (0.694). The results of variable importance in projection (VIP) at PLS regression procedure showed that pH importance on quality attributes of second carbonation juice was much than temperature. Also, VIP standardized coefficients between independent and dependent variables showed that pH had strong positive effect on alkalinity and total hardness; in contrast, temperature had strong negative effect on solution color and conductivity ash. Temperature and pH had weak negative correlation (no significant) on second carbonation juice sucrose contents.

Keywords: Second carbonation juice, PLS regression, Variable Importance in the Projection (VIP), VIP Standardized Coefficients.

* Corresponding Author E-Mail Address: bfarmani@tabrizu.ac.ir