(مقاله پژوهشی)

بهینه یابی پارامترهای بریکس، دبی شربت و دما در فرآیند رنگبری شربت شکرخام با ازن

مهدی نیک فرجام[۱]، سید محمد علی رضوی[۲*]، محمد حسین حداد خداپرست[۲]، خلیل بهزاد[۲]، مصطفی شهیدی نوقابی[۳]، جواد فیضی[۴]

۱-دانشجوی دکتری صنایع غذایی، واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۴-گروه ایمنی و کنترل کیفیت مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۳

چکیده

از بین بردن رنگ شکر از مهمترین اهداف تصفیه خانه های شکر خام می باشد. همچنین رنگ و خاکستر مهمترین تاثیر را روی کیفیت شکر متبلور می گذارند. به منظور تولید محصولی با کیفیت بالا هر سال هزینه های عملیاتی و تجهیزات زیادی برای حذف رنگ و خاکستر در هر کارخانه قند و تصفیه خانه صرف می شود. کیفیت شکر وابسته به کیفیت شربتی است که از آن شکر ساخته می شود، بنابراین فرآیند موثر تصفیه، که توانایی تولید شربت شفاف با مقدار رنگ پایین را دارا باشد، در صنعت قند ضروری است.در این تحقیق تیمارهای بریکس در سه سطح۴۰، ۵۰ و ۶۰، دبی شربت در سه سطح ۴، ۶ و ۸ لیتر در دقیقه و دما در سه سطح۴۰، ۵۰ و۶۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد و آزمون های درجه خلوص (کوسیان)، pH، درصد قند انورت، رنگ و خاکستر مطابق با روشهای ICUMSA اندازه گیری شد و بر اساس کارایی هر یک از تیمارها در متغیرهای وابسته و همچنین با توجه به خصوصیات شربت حاصل، بهینه یابی توسط روش سطح پاسخ انجام شد. مدل ارائه شده توسط سطح پاسخ برای پاسخ های رنگ، pH، قند انورت و کوسیان معنی دار شد و مشخص شد که استفاده از ازن در پارامترهای مهم در صنعت قند شامل کاهش رنگ دارای اثر مثبت می باشد و بر روی سایر پارامترها از جمله pH، قند انورت و کوسیان دارای اثر بسیار کمی می باشد و بر روی خاکستر اثر معنی داری نداشت. تیمار بهینه معرفی شده بر اساس مدلسازی عددی، دما ۵۳ °c، شدت جریان (lit/min)۴/۲ و بریکس ۵۴ تعیین گردیدو مشخص شد که تفاوت معنی داری بین مقدار بهینه مشخص شده توسط نرم افزار و مقدار تجربی به دست آمده وجود ندارد($P>۰/۰۵$) و نقاط بهینه به درستی مشخص شده اند.

واژه های کلیدی: ازن، شکر خام، رنگبری، ازن زنی، بهینه یابی، سطح پاسخ.

*مسؤول مکاتبات: s.razavi@um.ac.ir

۱-مقدمه

شکر خام از عصاره نیشکر بدست می آید و دارای کریستال های درشت و رنگ قهوه ای و غیر قابل مصرف می باشد. حدود ۱۰۰ میلیون تن شکر خام در دنیا تولید می شود که جهت تولید شکر سفید استفاده می شود و ترکیب شکر خام، نحوه ی تصفیه آن را مشخص می کند هرگونه ناخالصی در شربت مورد استفاده در تهیه شکر سفید، باعث کاهش راندمان کریستالیزاسیون می گردد چرا که وجود ناخالصی سبب جلوگیری از کریستالیزاسیون ساکارز می شود. رنگ ها ناخالصی در شربت محسوب شده و از کریستالیزاسیون ساکارز جلوگیری کرده ومقدار ملاس و ضایعات را افزایش و همچنین بر روی شکر درجه یک اثر منفی می گذارند(۴و۲). عموماً ۴ نوع رنگ در شکر خام قابل وجود دارد که شامل رنگدانه های گیاهی، ملانوئیدین، کارامل، مواد حاصل از هیدرولیز قلیایی فروکتوزو سایر مواد از قبیل پیش ساز های رنگ، اسیدهای آلی، آنیون ها و همچنین پلی ساکاریدها که این رنگ ها جزو ناخالصی های شکر خام محسوب می شوند(8). لذا از بین بردن رنگ شکر یکی از مهمترین اهداف تصفیه خانه های شکر خام می باشد. چون شکر سفید با رنگ کمتر قابلیت فروش بهتری دارد، بسیاری از کارخانجات وابسته امروزه به دنبال تهیه و خرید شکر خام با رنگ کمتر می باشند(۱۷). امروزه برای کاهش رنگ در شربت شکر خام از رزین های رنگبر استفاده می شود که کار با رزین های رنگبری هزینه های بالایی دارد و باعث افزایش ملاس و کاهش کریستالیزاسیون خواهد شد.یکی از روش های موجود برای کاهش رنگ شربت، رنگبری اکسیداتیو می باشد.رنگبری به روش اکسیداتیو دارای سه مزیت مهم می باشد: ۱- تخریبمستقیم ساختمان رنگ (بی رنگ کردن) مخصوصا آن هایی که به راحتی به داخل مولکول های کریستال جذب می شوند ۲- تخریب پیش سازهای رنگی برای محدود کردن تشکیل رنگ های بعدی ۳- افزایش بار یونی ناخالصی ها به جهت بهبود حذف رنگ.رنگبری اکسیداتیو با افزودن پر اکسید

هیدروژن، گاز ازن یا هیپوکلریت انجام می شود.گاز ازن جهت ضدعفونی،کاهش بار میکروبی، افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی و همچنین جهت رنگبری مورد استفاده قرار می گیرد(6). استفاده از گاز ازن جهت رنگبری شربت نسبت به سایر مواد بی رنگ کننده دارای مزیت بیشتری است زیرا دارای باقیمانده نمی باشد و مانند رزین های رنگبری نیازی به احیای مجدد ندارد(۸). استفاده از ازن روشی بسیار کارآمد برای حذف رنگ در تصفیه شربت بوده و ازن تاثیر معنی دار بر میزان ساکارز ندارد. در تحقیق گومزو همکاران (۱۹۸۰)، مشخص شد که pH فاکتور اصلی تاثیر گذار در بی رنگ کردن بودهو غلظت اثر منفی در بی رنگ کردن دارد همچنین دما به شدت در بی رنگ کردن موثر می باشد. کریستالیزاسیون شکر از شربت تصفیه شده و بی رنگ شده توسط گاز ازن نشان داد که شکر حاصله با استانداردهای بین المللی مطابقت دارد. (۱۳). در تحقیق داویس و همکاران (۱۹۹۸)، مشخص شد که ازن تاثیر قابل توجهی درکاهش رنگ شربت داردو در هنگام ازن زنی همزمان با کاهش رنگ، میزان pH شربت نیز کاهش پیدا می کند. همچنین مشخص شد که ازن با شکستن رنگ ها و پیش سازهای رنگی باعث کاهش رنگ می شود. فرآیند اکسیداسیون همچنین باعث افزایش ترکیبات یونی می شود که سبب بهبود عملکرد کربناتاسیون در حذف رنگ ها می شود(8).فرناندز و همکاران (۲۰۰۶)، نتیجه گرفتند که هر چه رنگ شربت اولیه بیشتر باشد، مصرف ازن بیشتر خواهد بود و شکر تولید شده توسط این روش کیفیت بسیار بالایی داشته و از استانداردهای بین المللی برخوردار می باشد و نتیجه گرفتند که استفاده از ازن جهت شربت های کارخانه نیشکری مناسب می باشد.متغیرهای زیادی از جمله دبی شربت، بریکس و دما در رنگبری شربت موثر بوده و بهینه یابی هر یک از آنها در رنگبری و هیدرولیز ساکارز موثر می باشد، بعبارت دیگر کارآیی روش تصفیه شربت توسط ازن زمانی از نظر صنعت قابل قبول است که نقطه بهینه هر یک از عوامل فوق مشخص شده تا فرآیند تصفیه شربت به خوبی انجام شود و استحصال ساکارز در حداکثر ممکن انجام شود. هدف از انجام این تحقیق بهینه یابی پارامترهایبریکس، دبی شربت و دما در فرآیند رنگبری شربت شکرخامباازن می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی تجهیزات

این پژوهش در سطح آزمایشگاهی در کارخانه قند فردوس مشهد انجام گرفته است. جهت آماده سازی پایلوت از دستگاه نسل دوم ازن ژنراتور با ظرفیت تولید ۵ گرم ازن در ساعت و یک دستگاه تولید اکسیژن با غلظت ۹۹/۹ درصد جهت تزریق گاز اکسیژن به ازن ژنراتور استفاده شد. همچنین دستگاه های مورد نیاز دیگر نظیر مخزن گاز زنی شربت به همراه انژکتور جهت تزریق گاز ازن ساخته شد و از دستگاه اندازه گیری ازن ساخت شرکت API مدل ۴۵۴ استفاده شد.

۲-۲- روش مورد استفاده

شکر خام مورد استفاده تولید شده در کشور هند بوده و به مقدار مورد نیاز برای کل پروژه تهیه گردیده و در جای خشک نگهداری شد(جدول۱). در این تحقیقپارامترهای غلظت ازن(ppm ۹۰)، زمان(۱۰ دقیقه) و pH(۷/۵) ثابت در نظر گرفته شد. تیمارهای بریکس در سه سطح(۴۰، ۵۰ و ۶۰)، دبی شربت در سه سطح (4lit/min، ۶ و ۸) و دما در سه سطح(۴۰°C، ۵۰ و ۶۰) در نظر گرفته شد و آزمون های درصد قند، درجه خلوص (کوسیان)، pH، درصد قند انورت، رنگ و خاکستر مطابق با روشهای ICUMSA اندازه گیری شد(۱۴و۱۱).

جدول ۱- مشخصات شکر خام مورد استفاده

	مقدار
ساکارز (٪)	۹۷/۸
خاکستر (٪)	۰/۳۵
انورت (٪)	۰/۸۵
pH	۷/۱
رطوبت (٪)	۱
رنگ (IU)	۱۹۰۰

۲-۳- طراحی آزمایشات

طراحی آزمایش، آنالیز نتایج و تعیین شرایط بهینه‌ی استخراج با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design Expert نسخه ۱۰.۰.۱ انجام گرفت. در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی محوری[1] با سه متغیر مستقل، سه سطح و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح (به منظور بررسی تکرار پذیری طرح)شامل سه سطح فاکتوری کد بندی که ۱- مربوط به سطح پایین هر فاکتور، ۱+ سطح بالا و ۰ سطح میانی استفاده گردیدبه طوری که مجموع کل تیمارها ۲۰ تیمار شد.سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه در جدول ۲ و تیمارهای حاصل در جدول ۳ ذکر شده اند. متغیرهای مستقل شامل دما، شدت جریان و بریکس بودند؛ همچنین درصد تغییرات متغیرهای وابسته شامل رنگبری، خاکستر، pH، انورت و کوسیان از رابطه ۱ محاسبه شد.

(رابطه۱)

$$\text{درصد تغییرات} = \frac{\text{مقدار اندازه گیری شده ثانویه- مقدار اندازه گیری شده اولیه}}{\text{مقدار اندازه گیری شده اولیه}} \times ۱۰۰$$

1-Central Composite Face Centered Design

جدول۲- سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه

متغیر مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	-۱
دما(°C)	X_1	۶۰	۵۰	۴۰
شدت جریان (lit/min)	X_2	۸	۶	۴
بریکس	X_3	۶۰	۵۰	۴۰

جدول ۳- طرح آزمایش مورد استفاده و داده های حقیقی آن

پاسخ					متغیر مستقل	
کوسیان (٪)	قندانورت (٪)	pH (٪)	خاکستر (٪)	رنگ (٪)	بریکس	شدتجریان (lit/min)	دما (°C)
۰/۷۸	۶۰/۶۶	۱۲	۳/۲۲	۲۸/۵	۵۰	۶	۴۰
۰/۸۷	۶۳/۶۲	۱۲/۳	۴/۵۱	۴۰/۵	۵۰	۶	۵۰
۰/۴۵	۷۱/۹۳	۱۷/۶	۲/۵۳	۲۸/۱۲	۴۰	۸	۴۰
۱/۴۲	۵۷/۶۶	۱۰/۰۱	۲/۸	۵۳/۶۵	۶۰	۴	۶۰
۰/۷۵	۷۴/۱۸	۱۸/۸	۳/۶۱	۴۶/۸۲	۴۰	۸	۶۰
۰/۸۱	۶۲/۷۸	۱۲/۶	۴/۵۷	۴۳/۵۲	۵۰	۶	۵۰
۰/۳۸	۷۲/۰۷	۱۴/۲	۵/۱	۲۶/۹	۴۰	۴	۴۰
۱/۲۸	۵۶/۶۹	۹/۹	۳/۷۲	۴۵/۹۱	۶۰	۶	۵۰
۱/۳	۵۴/۵	۱۱	۴/۸۱	۳۱/۸	۶۰	۸	۴۰
۰/۸۵	۶۳/۴۲	۱۲/۱	۲/۹	۴۱/۹۲	۵۰	۶	۵۰
۰/۸۲	۶۴/۳۲	۱۲/۶	۴/۱۳	۴۴/۳۲	۵۰	۶	۵۰
۱/۲۵	۵۰/۰۲	۹/۷	۲/۹۴	۳۰/۰۲	۶۰	۴	۴۰
۰/۸۳	۶۱/۴۳	۱۱/۹	۳/۶۴	۳۹/۸۵	۵۰	۴	۵۰
۰/۵۵	۷۲/۹۸	۱۵/۴	۵/۲۵	۳۵/۴	۴۰	۶	۵۰
۰/۸۳	۶۳/۵۹	۱۲/۷	۲/۲۲	۴۴/۵۶	۵۰	۶	۵۰
۱/۰۱	۶۶/۵۳	۱۳/۳	۳/۸۱	۴۵/۳۲	۵۰	۸	۵۰
۰/۶۸	۷۳/۱۲	۱۶/۱	۴/۴	۴۶/۱	۴۰	۴	۶۰
۱/۰۹	۶۴/۶۴	۱۲/۵	۲/۷۵	۵۰/۲۱	۵۰	۶	۶۰
۱/۴۷	۵۸/۲۶	۱۱/۵	۴/۹۶	۵۷/۱۱	۶۰	۸	۶۰
۰/۸۷	۶۴/۴۶	۱۲/۲	۳/۴۶	۴۱/۷۲	۵۰	۶	۵۰

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان رنگبری

همان طوری که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مدل درجه دوم برای میزان رنگبری از نظر آماری معنی دار بوده (P<۰/۰۱)، ولی آزمون عدم برازش آن معنی دار نمی‌باشد (P>۰/۰۵)،که نشانگر مناسب بودن مدل برازش یافته می‌باشد. عبارت های مدل که معنی دار بوده اند شامل دما (X_2و P<۰/۰۱) شدت جریان (X_2و P<۰/۰۵) و بریکس (X_3و P<۰/۰۱) بودند. لازم به ذکر است که گرچه عبارت درجه دوم دما (X_1^2و P>۰/۰۵) در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار نشده اند ولی اثر آن قابل توجه است. همچنین اثر متقابل اثر متقابل دما-بریکس (X_1X_3و P<۰/۰۵) معنی دار بود. R^2وR^2 اصلاح شده مدل های مورد بررسی تفاوت چندانی با یک دیگر نداشتند که این بدان معنی است که متغیرهای غیر معنی دار بی جهت به مدل اضافه نشده اند(R^2=۰/۹۷۸۱ ،$R^2_{adjasted}$=۰/۹۵۸۴). بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد رنگبری بصورت زیر می باشد:

(رابطه۲)

$$Y= -۶۵/۵۴ + ۲/۶۷X_1 ۳/۵۱-X_2+۰/۵۵X_3+۰/۰۱۴\ X_1X_3$$

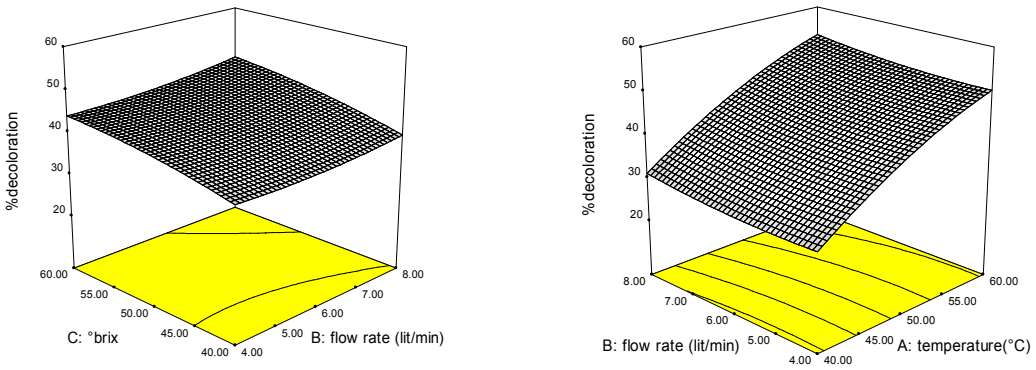
جدول٤- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم برای میزان رنگبری

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۱۳٦٦/٦٨	۹	۱۵۱/۸۵	٤۹/٦۳	<۰/۰۰۰۱**
دما (X_1)	۱۱۷۸/۳۱	۱	۱۱۷۸/۳۱	۳۸۵/۱۳	<۰/۰۰۰۱**
شدت جریان(X_2)	۱٦	۱	۱٦	۵/۲۳	۰/۰٤۵۲*
بریکس(X_3)	۱۲۳/۵۵	۱	۱۲۳/۵۵	٤۰/۳۸	<۰/۰۰۰۱**
X_1X_2	۰/۱۷	۱	۰/۱۷	۰/۰۵۷	۰/۸۱٦۳ ns
X_1X_3	۱۵/۲٤	۱	۱۵/۲٤	٤/۹۸	۰/۰٤۹۷*
X_2X_3	۱/۳٦	۱	۱/۳٦	۰/٤٤	۰/۵۱۹۸ ns
X_1^2	۱٤/۷٦	۱	۱٤/۷٦	٤/۸۲	۰/۰۵۲۸ ns
X_2^2	۲/۲۹	۱	۲/۲۹	۰/۷۵	۰/٤۰٦۹ ns
X_3^2	۲/۸٤	۱	۲/۸٤	۰/۹۳	۰/۳۵۷۸ ns
باقی مانده	۳۰/۵۹	۱۰	۳/۰٦		
عدم برازش	۱۷/٤۵	۵	۳/٤۹	۱/۳۳	۰/۳۸۱۸ ns

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار؛ * درسطح ۹۵ درصد معنی دار؛ ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی‌باشد.

در شکل ۱ تاثیر متغیرهای مستقل بر تغییرات رنگ شربت شکر خامپس از ازن زنی به صورت رویه پاسخ نشان داده شده است. دما تاثیر زیادی در حذف عوامل ایجاد رنگ توسط ازن دارد (شکل۱). همانطور که در شکل ۱-الف مشاهده می شود تغییرات رنگ با دما، یک روند خطیرا دنبال می کند به طوری که با افزایش دما حذف مواد رنگی افزایش می یابد.افزایش دما باعث افزایش سرعت واکنش رنگبری توسط ازن می شود. جاهد (۲۰۱۴) اثر دما در کاهش میزان رنگ شربت خام چغندر قند جهت تولید مستقیم قند مایع را مشاهده کردند(۱۵). نتایج مشابهی توسط گوکمن و سرپن (۲۰۰۲) وکویانسو و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است که با افزایش دما کارایی جذب ترکیبات عامل کدورت و رنگ در آب سیب به ترتیب توسط رزین های جاذب و بنتونیت افزایش می یابد(۱۲و16). فرمانی و همکاران (۱۳۸۵) نیز اعلام کردند که با افزایش دما حذف ترکیبات عامل ایجاد رنگ و کدورت از شربت خام نیشکر توسط بنتونیت افزایش می یابد(۴). گومزو همکاران (۱۹۸۰)، فرآیند بی رنگ کردن شربت تصفیه شده با ازن را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که دما به شدت در بی رنگ کردن تاثیر دارد(۱۳). تاثیر

شدت جریان بر کاهش رنگ شربت در شکل ۱–الف نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود شدت جریان تاثیر عمده ای بر کاهش رنگ داشت به طوری که با افزایش شدت جریان کاهش در میزان رنگ شربت شکر خام نیز افزایش می یابد. اثر شدت جریان در رنگبری مربوط به افزایش تلاطم در شربت و افزایش برخورد مولکول های ازن با عوامل ایجاد کننده رنگ در شربت و رنگبری بیشتر آن می باشد. شکری (۱۳۹۵) تایید کرد که با افزایش دبی حجمی سرعت واکنش ازن با ترکیبات رنگی نیز افزایش می یابد(15). در شکل ۱- ب تاثیر بریکس بر رنگبری در شربت شکر خام مشخص شده است. همان طور که مشاهده می شود افزایش بریکس تاثیر مثبت در مقدار رنگبری در شربت شکر خام دارد. تاثیر بریکس در میزان رنگبری، احتمالاً مربوط به افزایش میزان رنگ در شربت های با بریکس بالا می باشد که باعث واکنش کامل گاز ازن با این ترکیبات و اثر بخشی بیشتر گاز ازن در رنگبری می باشد. داویس و همکاران (۱۹۹۸)، در تحقیقی بی رنگ کردن شربت با ازن را در تصفیه خانه شکر مالنان در فاز صنعتی بررسی کردند و نشان دادند که رنگ شربت بطور قابل توجهی کاهش می یابد(**Error! Unknown switch argument.**). فرناندز و همکاران (۲۰۰۶)، در تحقیقی ۹۰ درصد رنگ موجود در شربت شکر را در ۱۴۰ دقیقه ازن زنی از بین بردند. هر چه رنگ شربت اولیه بیشتر باشد، مصرف ازن بیشتر خواهد بود ولی مشخص شد که در شربت های با میزان رنگ های متفاوت تا رسیدن به شرایط مشخص۱۶۰واحد ایکومزا، رنگ شربت ورودی اثری نداشته است(**Error! Unknown switch argument.**).



الف ب

شکل۱- منحنی سطح پاسخ برای درصد رنگبری شکر خام با ازنبه عنوان تابعی از الف- دما و شدت جریان، ب- بریکس و شدت جریان.

۳-۲- خاکستر

مطابق جدول آنالیز واریانس(جدول ۵) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی بررسی شد و مدل درجه دوم برازش یافته برای میزان خاکستر و آزمون عدم برازش آن (P>۰/۰۵) از نظر آماری معنی دار نمی باشد. کلیه پارامترهای مدل بجز اثر متقابل X_2X_3 در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار نشده اند. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد:

(رابطه۳)

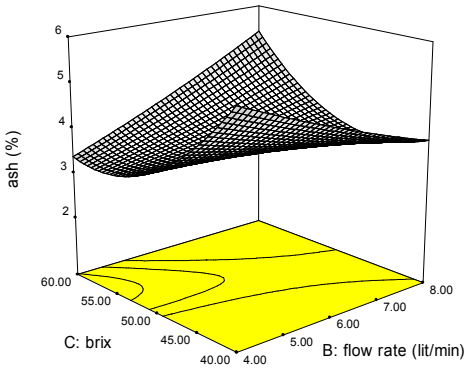
$$Y= ۲۶/۰۳ + ۰/۰۴۶X_2X_3$$

جدول ۵- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم برای خاکستر

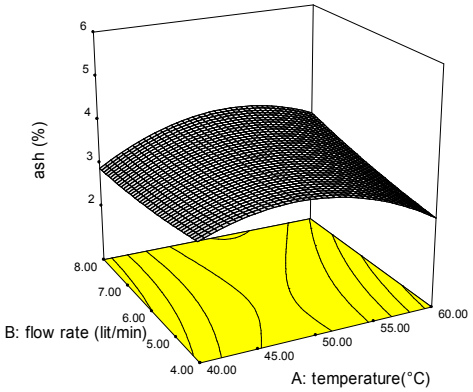
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۱۰/۲۲	۹	۱/۱٤	۱/۹۷	۰/۱۵۲٦ ns
دما (X_1)	۰/۰۰۰٦٤	۱	۰/۰۰۰٦٤	۰/۰۰۱۱	۰/۹۷٤۱ ns
شدت جریان(X_2)	۰/۰۷۱	۱	۰/۰۷۱	۰/۱۲	۰/۷۳۳٦ ns
بریکس(X_3)	۰/۲۸	۱	۰/۲۸	۰/٤۸	۰/۵۰۵ ns
X_1X_2	۰/۵٤	۱	۰/۵٤	۰/۹۳	۰/۳۵۷۷ ns
X_1X_3	۰/۰۱۷	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳	۰/۸٦٦٦ ns
X_2X_3	٦/۸۳	۱	٦/۸۳	۱۱/۸۵	۰/۰۰٦۳**
X_1^2	۱/۲	۱	۱/۲	۲/۰۸	۰/۱۷۹٦ ns
X_2^2	۰/۰۱۷	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳	۰/۸٦۵۵ ns
X_3^2	۱/۹٤	۱	۱/۹٤	۳/۳٦	۰/۰۹٦۵ ns
باقی مانده	۵/۷٦	۱۰	۰/۵۸		
عدم برازش	۱/۳	۵	۰/۲٦	۰/۲۹	۰/۸۹۸۳ ns

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار؛ * درسطح ۹۵ درصد معنی دار؛ ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی‌باشد.

همان طور که در شکل ۲– الف مشاهده می شود بیشترین میزان تغییرات خاکستر در دمای ۵۰ درجه مشاهده می شود. شدت جریان تاثیر مشخصی بر خاکستر نداشته و همچنین در بریکس ۵۰ کمترین میزان تغییرات خاکستر دیده می شود.از نظر آماری متغیرهای مستقل تاثیری بر روی خاکستر نداشته است. در مقایسه با روش های دیگر باید ذکر کرد که استفاده از رزین باعث افزایش خاکستر می شود و همچنین استفاده از بلانکیت نیز باعث افزایش خاکستر می شود که با توجه به اینکه در روش استفاده از ازن تاثیری بر روی خاکستر ندارد برتری این روش نسبت به سایر روش ها را از این نظر نشان می دهد. در بررسی نتایج سایر محققین بر روی اثر ازن بر روی خاکستر نیز گزارشی مشاهده نشد.



ب



الف

شکل۲- منحنی سطح پاسخ برای درصد تغییرات خاکسترشکر خام رنگبری شده با ازن به عنوان تابعی از الف- دما و شدت جریان، ب- شدت جریان و بریکس.

pH -۳-۳

مدل ارائه شده برای pH معنی دار بوده (P<۰/۰۱)، از طرفی آزمون ضعف برازش آن معنی دار نشد (P>۰/۰۵). چنین نتیجه‌ای برای یک مدل ایده آل مناسب می‌باشد. عبارت‌های معنی دار مدل شامل دما (X_1و P<۰/۰۱)، شدت جریان (X_2و P<۰/۰۱) ، بریکس (X_3و P<۰/۰۱) و عبارت درجه دوم شدت جریان(X_2^2و P<۰/۰۵) و بریکس(X_3^2و P<۰/۰۵)معنی داربودند. از بین عبارت‌های مربوط به بر هم کنش میان متغیرهای مستقل، اثر متقابل دما - بریکس (X_1X_3و P<۰/۰۵) و بر اثر متقابل شدت جریان - بریکس (X_2X_3و P<۰/۰۱) معنی دار بود (جدول۶). مقادیر R^2=۰/۹۸۸۳، $R^2_{adjasted}$=۰/۹۷۷۷ بدست آمدند که به علت داشتن R^2 بالای ۰/۸ بیانگر قدرت بالای مدل می‌باشند. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد: (رابطه۴)

$$Y= ۳۱/۳ + ۰/۰۲۹X_1+ ۰/۱۲X_2-۰/۶۱X_3 -۰/۰۰۳X_1X_2 - ۰/۰۰۳X_1X_3-۰/۰۲X_2X_3+ ۰/۱۳X_2^2 + ۰/۰۰۶X_3^2$$

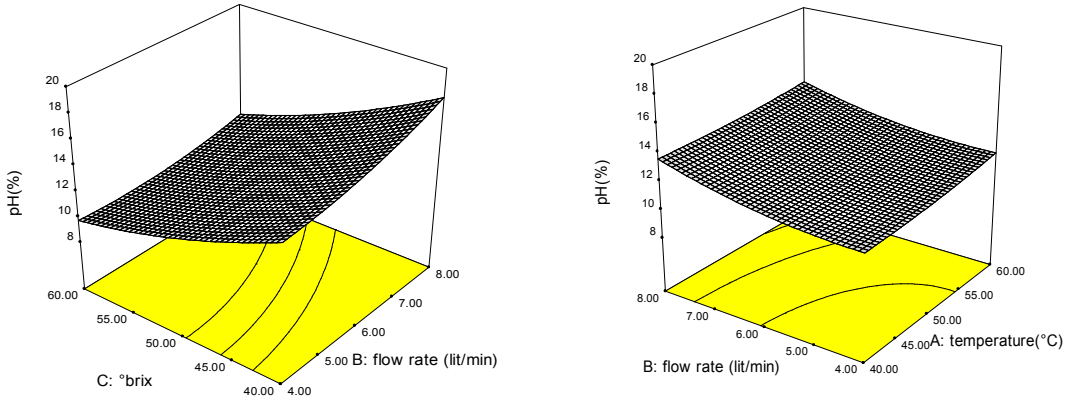
جدول ٦- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم برای pH

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۱۱۰/۷٦	۹	۱۲/۳۱	۹۳/۵۵	<۰/۰۰۰۱**
دما (X_1)	۱/۹٤	۱	۱/۹٤	۱٤/۷۸	<۰/۰۰۳۲**
شدت جریان(X_2)	۱۰/۵۹	۱	۱۰/۵۹	۸۰/٤۹	<۰/۰۰۰۱**
بریکس(X_3)	۸۹/۹٤	۱	۸۹/۹٤	٦۸۳/٦٦	<۰/۰۰۰۱**
X_1X_2	۰/۰۳۳	۱	۰/۰۳۳	۰/۲۵	۰/٦۲۹۸ ns
X_1X_3	۰/٦٦	۱	۰/٦٦	٤/۹۸	۰/۰٤۹۷*
X_2X_3	۱/۳۷	۱	۱/۳۷	۱۰/٤۱	۰/۰۰۹۱**
X_1^2	۰/۰۸۷	۱	۰/۰۸۷	۰/٦٦	۰/٤۳۵٤ ns
X_2^2	۰/۷۷	۱	۰/۷۷	۵/۸۲	۰/۰۳٦۵*
X_3^2	۰/۹۲	۱	۰/۹۲	٦/۹۸	۰/۰۲٤۷*
باقی مانده	۱/۳۲	۱۰	۰/۱۳		
عدم برازش	۱/۰۱	۵	۰/۲	۳/۲۷	۰/۱۰۹۹ ns

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار؛ * درسطح ۹۵ درصد معنی دار؛ ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی‌باشد.

در شکل ۳ تاثیر متغیرهای مستقل بر تغییرات pH شربت شکر خام،پس از ازن زنی به صورت رویه پاسخ نشان داده شده است همانطور که در شکل ۳ الف مشاهده می شود با افزایش دما،میزان تغییر pH افزایش می یابد. افزایش دما باعث افزایش سرعت واکنش های شیمیایی می شود و در اینجا با افزایش دما میزان واکنش انجام شده بین ازن و ترکیبات تولید کننده اسیدهای آلی افزایش می یابد که سبب کاهش بیشتر pH می شود. تاثیر شدت جریان بر تغییراتpH شربت در شکل ۳- الف نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود شدت جریان بر تغییرات pH موثر بوده به طوری که با افزایششدت جریان تغییرات pH افزایش می یابد. افزایش شدت جریان باعث افزایش برخورد مولکول های ازن و افزایش حلالیت ازن می شود و میزان اسید تشکیل شده افزایش می یابد. در شکل ۳-ب تاثیر بریکس بر تغییرات pH در شربت شکر خام بعد از ازن زنی مشخص شده است. همان طور که مشاهده می شود بریکس تاثیر زیادی در تغییرات pH شربت شکر خام دارد. علت کاهش تغییرات pH، با افزایش بریکس می تواند به علت

کاهش در میزان حلالیت گاز ازن در بریکس های بالاتر و در نتیجه کاهش میزان واکنش انجام شده (که نتیجه آن تولید اسیدهای آلی می باشد) باشد. داویس و همکاران (۱۹۹۸)، در تحقیقی بی رنگ کردن شربت را در تصفیه خانه شکر مالنان در فاز صنعتی بررسی کردند. در این تحقیق مشخص شد که همزمان با کاهش رنگ، میزان pH شربت نیز کاهش پیدا می کند(۷). فرناندز و همکاران (۲۰۰۶)، در تحقیقی بی رنگ کردن شربت حاصل از گیاه نیشکر را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که ازن تاثیر قابل ملاحظه ای در بیرنگ کردن شربت داشت و ترکیبات رنگی به اسیدهای آلی تبدیل شده و مقداری pH را پایین آورده بود که pH توسط مواد قلیایی کنترل شد(**Error! Unknown switch argument.**).



الف ب

شکل۳: منحنی سطح پاسخ برای درصد تغییرات pH شکر خام رنگبری شده با ازن به عنوان تابعی از الف- دما و شدت جریان ، ب- شدت جریان و بریکس.

۳-٤- قند انورت

مدل ارائه شده برای قند انورت نیز در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار بود (P<۰/۰۱) اما آزمون ضعف برازش آن معنی دار نشد (P > ۰/۰۵) که نشان می دهد مدل برازش یافته، مدلی مناسب می باشد(جدول۷).عبارات معنی دار مدل شامل دما (X_1،P<۰/۰۱)شدت جریان (X_2،P<۰/۰۱)، بریکس (X_3، P<۰/۰۱) و از بین عبارت‌های مربوط به بر هم کنش میان متغیرهای مستقل، اثر متقابل دما- بریکس (X_1X_3و p<۰/۰۵) معنی دار بود. مقدار بالای R^2 (R^2=۰/۹۸۶۶) و R^2 اصلاح شده($R^2_{adjasted}$=۰/۹۷۴۶) و متناسب بودن این مقادیر، قدرت بالای مدل را تایید می کند(جدول ۷). بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد.

(رابطه ۵)

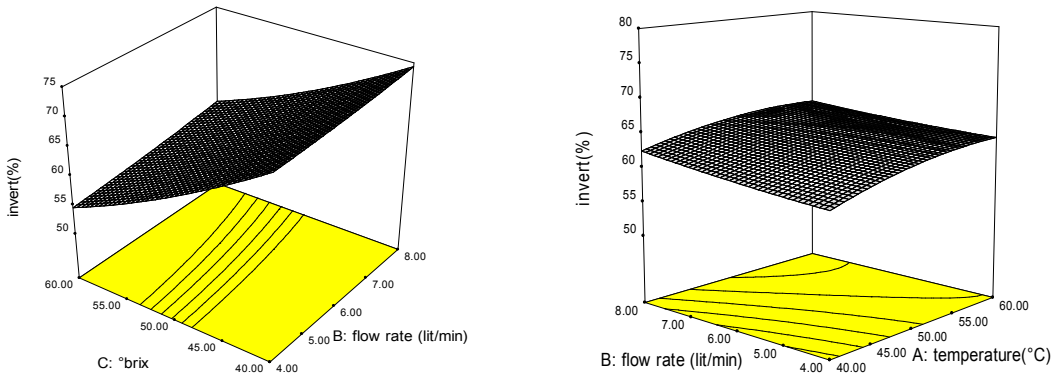
$$Y= ۱۲۵/۲۸+ ۰/۸۷X_1 -۰/۶۴X_2 ۲/۶۳-X_3 + ۰/۰۱X_1X_3$$

جدول ۷- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم برای انورت

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۸۲۳/۰۹	۹	۹۱/٤٥	۸۱/۸۸	<۰/۰۰۰۱**
دما (X_1)	۳٤/۸۹	۱	۳٤/۸۹	۳۱/۲٤	۰/۰۰۰۲**
شدت جریان(X_2)	۱۲/۳۲	۱	۱۲/۳۲	۱۱/۰۳	۰/۰۰۷۱**
بریکس(X_3)	۷٥۹/٥۱	۱	۷٥۹/٥۱	٦۸۰/۰۲	<۰/۰۰۰۱**
X_1X_2	۰/۹	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۳۹۱
X_1X_3	۸/۲	۱	۸/۲	۷/۳٤	۰/۰۲۱۹*
X_2X_3	۲/۱٦	۱	۲/۱٦	۱/۹٤	۰/۱۹٤۲
X_1^2	۳/۲٤	۱	۳/۲٤	۲/۹	۰/۱۱۹٥
X_2^2	۰/۱۷	۱	۰/۱۷	۰/۱٥	۰/۷۰۸۷
X_3^2	۳/۳۳	۱	۳/۳۳	۲/۹۸	۰/۱۱٥
باقی مانده	۱۱/۱۷	۱۰	۱/۱۲		
عدم برازش	۹/۲٦	٥	۱/۸٥	٤/۸٦	۰/۰٥۳۸ ns

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار؛ * درسطح ۹٥ درصد معنی دار؛ ns در سطح ۹٥ درصد معنی دار نمی‌باشد.

تاثیر متغیرهای مستقل بر تغییرات قند انورت شربت شکر خامپس از ازن زنی به صورت رویه پاسخ نشان داده شده است (شکل۴). همان طور که مشاهده می شود دما، شدت جریان و بریکس بر تغییرات قند انورتموثر بوده، به طوری که با افزایشدما و شدت جریان، تغییرات قند انورت مقدار کمیافزایش می یابد ولی با افزایش بریکس تغییرات قند انورت کاهش پیدا می کند. این نتایج با نتایج بدست آمده در قسمت تغییرات pH کاملا منطبق هست و نشان دهنده این موضوع است که تغییرات pH با تغییرات قند انورت متناسب است. زیرا با افزایش دما و شدت جریان، قند انورت موجود میزان بیشتری تبدیل به اسیدهای آلی می شود و pH شربت بیشتر کاهش می یابد. همچنین در مورد افزایش بریکس نیز مشاهده می شود که میزان تبدیل قند انورت به اسیدهای آلی با افزایش بریکس کاهش می یابد.در شکل ۴-ب تاثیر بریکس بر تغییرات قند انورت در شربت شکر خام مشخص شده است. با افزایش بریکس مقدار تغییرات قند انورت به شدت کاهش می یابد که احتمالاً مربوط به کاهش در میزان حلالیت گاز ازن در بریکس های بالاتر می باشد و در نتیجه با کاهش حلالیت میزان واکنش بین گاز ازن و قند انورت کاهش پیدا می کند.



ب الف

شکل٤- منحنی سطح پاسخ برای درصد تغییرات قند انورت شکر خام رنگبری شده با ازن به عنوان تابعی از الف- دما و شدت جریان، ب- شدت جریان و بریکس.

۳-۵-درجه خلوص(کوسیان)

با توجه به نتایج جدول ANOVA، مدلی که برای کوسیان ارائه شده است (جدول ۸)، مشاهده می شود که این مدل معنی دار بوده ($P<۰/۰۱$) و آزمون ضعف برازش آن معنی دار نیست ($P>۰/۰۵$) که نشان دهنده مناسب بودن مدل می باشد. عبارات معنی دار مدل شامل دما (X_1، $P<۰/۰۱$)، شدت جریان (X_2، $P<۰/۰۱$) و بریکس (X_3، $P<۰/۰۱$) بودند. همان طور که مشاهده می شود در این مدل عبارات اثرات متقابل دما، شدت جریان، بریکس و عبارات درجه دوم و اثر متقابل آنها معنی دار نشده اند ($P>۰/۰۵$). مقادیر R^2وR^2 اصلاح شده در این مدل به ترتیب برابر ۰/۹۸۸۹ و ۰/۹۷۸۹ بودند. بنابراین با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ بصورت زیر می باشد.

(رابطه۶)

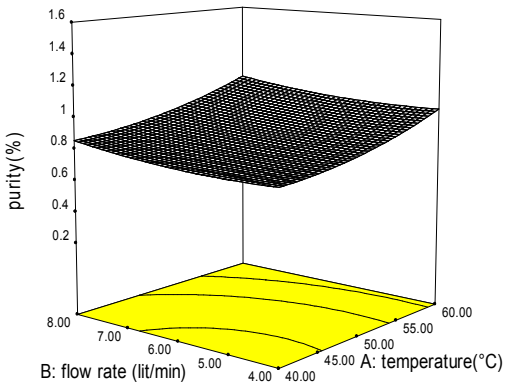
$$Y= ۰/۰۱۹--۰/۵۳X_1۰/۰۶۶-X_2+۰/۰۲۹X_3$$

جدول ۸- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) متغیرهای خطی، درجه دوم، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم برای کوسیان

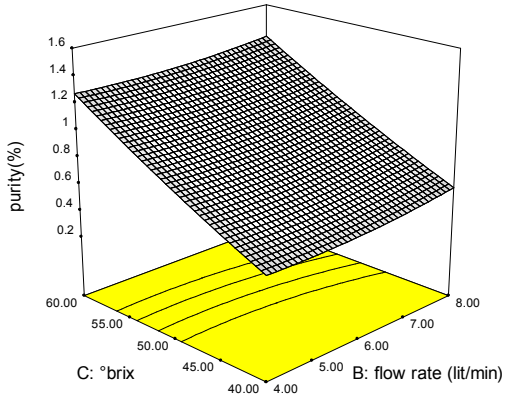
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۱/۷٦	۹	۱/۷٦	۹۸/۹۷	<۰/۰۰۰۱**
دما (X_1)	۰/۱٦	۱	۰/۱٦	۷۹/۲۷	<۰/۰۰۰۱**
شدت جریان(X_2)	۰/۰۱۸	۱	۰/۰۱۸	۸/۹۵	۰/۰۱۳۵*
بریکس(X_3)	۱/۵۳	۱	۱/۵۳	۷۷۵/٦۲	<۰/۰۰۰۱**
X_1X_2	۰	۱	۰	۰	۱ ns
X_1X_3	۰/۰۰۸٤۵	۱	۰/۰۰۸٤۵	٤/۲۹	۰/۰٦۵۲ ns
X_2X_3	۰/۰۰۰۲	۱	۰/۰۰۰۲	۰/۱	۰/۷۵٦٦ ns
X_1^2	۰/۰۰٦۳۸٤	۱	۰/۰۰٦۳۸٤	۳/۲٤	۰/۱۰۲۱ ns
X_2^2	۰/۰۰۳۰۲۸	۱	۰/۰۰۳۰۲۸	۱/۵٤	۰/۲٤۳۵ ns
X_3^2	۰/۰۰۲۱۸٤	۱	۰/۰۰۲۱۸٤	۱/۱۱	۰/۳۱۷۳ ns
باقی مانده	۰/۰۲	۱۰	۰/۰۰۱۹۷۱		
عدم برازش	۰/۰۱٦	۵	۰/۰۰۳۲۸٦	۵	۰/۰۵۰۹ ns

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار؛ * درسطح ۹۵ درصد معنی دار؛ ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی‌باشد.

شکل ۵-الف تأثیر دما و شدت جریان را نشان می‌دهد. همان طوری که ملاحظه می‌شود، افزایش دما در افزایش تغییرات کوسیان موثر می باشد که با افزایش دما سرعت واکنش ها بیشتر شده و سبب تغییر در مقدار کوسیان خواهد شد. افزایش شدت جریان به مقدار کمی در تغییرات کوسیان موثر می باشد و به علت افزایش در حلالیت گاز ازن و تلاطم بیشتر، سبب تغییر در مقدار کوسیان می شود. همچنین همان طور که در شکل ۵- ب مشاهده می شود، افزایش بریکس باعث افزایش قابل ملاحظه در مقدار تغییرات کوسیان شده است.افزایش دما به علت افزایش در میزان واکنش های انجام شده و کاهش بیشتر pH در دماهای بالاتر می تواند سبب افزایش در تغییرات کوسیان شربت شود. در مورد افزایش بریکس با توجه به نتایج مشخص شد که افزایش بریکس به دلیل کاهش در میزان حلالیت گاز ازن سبب می شود که گاز ازن بصورت مستقیم می تواند ملکول ساکارز را تجزیه کند و باعث افزایش تغییرات کوسیان شربت شود. نتایج بدست آمده با نتایج سایر پژوهشگران تطابق دارد. گومز و همکاران (۱۹۸۰) به این نتیجه رسیدند که افزایش بریکس و دما باعث کاهش در کوسیان شربت خواهد شد(**Error! Unknown switch argument.**).



الف



ب

شکل۵- منحنی سطح پاسخ برای درصد تغییرات کوسیان شکر خام رنگبری شده با ازن به عنوان تابعی از الف- دما و شدت جریان، ب- شدت جریان و بریکس.

۳-٦- بهینه سازی

شرایط عملیاتی بهینه برای رنگبری شربت شکر خام با ازن در بازه ای از دما، شدت جریان و بریکس های مختلف بر روی پارامترهای رنگ، خاکستر، pH، قند انورت و کوسیان با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی[۲] نرم افزار Design Expert جستجو شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ ها و متغیرهای مستقل تنظیم خواهد شد. برای این منظور رنگ و کوسیان در حداکثر و pH، انورت و خاکستر در حداقل مقدار خود در نظر گرفته شدند. مقادیر بهینه هر کدام از متغیرهای وابسته در جدول ۹ آورده شده وتفاوت معنی داری بین مقدار بهینه مشخص شده توسط نرم افزار و مقدار تجربی بدست آمده وجود ندارد (P>۰/۰۵)و نقاط بهینه به درستی مشخص شده اند.

2- Numerical Optimization

جدول ۹- نتایج بدست آمده از فرایند بهینه سازی

متغیر مستقل	مقدار بهینه	پاسخ	مقدار بهینه	مقدار تجربی
دما (°C)	۵۳	درصد تغییرات رنگ	٤٥/٩١	٤٦/٨
شدت جریان (lit/min)	٤/٢	درصد تغییرات خاکستر	٣/٢٣	٤/١
بریکس	٥٤	درصد تغییرات pH	١٠/٩	١١/٣
		درصد تغییرات انورت	٥٩/٨٩	٥٨/٦
		کوسیان	١/٠٥	١/٠١

٤- نتیجه گیری

در این تحقیق اثر متغیرهای دما، شدت جریان و بریکس برکارایی ازن زنی در رنگبری شربت شکر خام بررسی گردید و مشخص شد که ازن زنی شربت شکر خام در شرایط بهینه می تواند اثر بسیار مطلوبی در رنگ و سایر پارامترهای مهم در صنعت قند داشته باشد.امروزه در فرایند تولید شکر، جهت تصفیه شربت و جداسازی ترکیبات غیر قندی از آهک زنی و کربناسیون و سپس صاف کردن و همچنین از رزین های رنگبر استفاده می شود که این عمل مستلزم صرف انرژی بالا است و از آلودگی محیطی که ایجاد میکند نمی توان چشم پوشی کرد. ضمناً بر طبق قوانین زیست محیطی در صورت ایجاد آلودگی یک درصد از درآمد فروش محصول به عنوان جریمه باید پرداخت شود که یکی از مشکلات حال حاضر کارخانجات قند می باشد. با تلفیق روش ازن زنی با روش های مرسوم می توان رنگ شربت ورودی را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش دادبطوری که استفاده از رزین های رنگبر محدود شود و یا با استفاده از شکر خام اولیه با رنگ کمتر رزین های رنگبر را حذف نمود. کاهش هزینه تصفیه شکر نیز باعث توجیه پذیری فرآیند تولید می شود که استفاده از روش های با هزینه کمتر راندمان اقتصادی را بالا برده و روی قیمت تمام شده محصول اثر می گذارد. همچنین استفاده از روش ازن زنی در مقایسه با تکنولوژی غشایی مشکلات حجم پمپ مایع، ویسکوزیته بالا و فشار اسمزی زیاد را ندارد.

٥- سپاسگزاری

از مدیر عامل محترم کارخانه قند فردوس و همچنین سرکار خانم مهندس بیک مسئول محترم کنترل کیفی و سایر پرسنل محترم این شرکت که در اجرای این پژوهش همکاری موثر با اینجانب داشتند تقدیر و تشکر میکنم.

٦- منابع

۱. ار. دبلیو، پلیوز. ۱۳۷۵. روش های تجزیه ICUMSA در تصفیه خانه های شکر. ترجمه محمد الهی. مرکز بررسی و تحقیق و آموزش صنایع قند ایران. مشهد. انتشارات محقق. ص ۲٤۲-۵.

۲. شکری، ع. ۱۳۹۵. حذف ارتوتولوییدین از محلول آبی با فرآیندهایUV/H2O2 و UV/US/H2O2 در واکنش گاه های چرخشی ناپیوسته و بررسی متغیرهای عملیاتی. نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی. سال دهم، شماره ۳، صفحه ۸۱-۷۱.

۳. شیخ الاسلامی ر. ۱۳۸۲. تکنولوژی تولید قند، چاپ اول، ناشر مولف.ص ۳۵۷.

٤. فرمانی، ب.، حداد خداپرست، م.ح.، حصاری، ج.، رضایی عراقی، ع. ۱۳۸۵. تصفیه شربت خام نیشکر با بنتونیت: ۲- تعیین مقدار بهینه ژلاتین، زمان و دمای فرآوری با بنتونیت. پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳۸۵، دوره ۲، شماره ۱ ،ص٦٣ تا ۷۵.

۵. مصباحی، غ. ۱۳۸۲. اصول صنایع تولید شکر، چاپ دوم، نشر علم کشاورزی ایران. تهران.

6. Alternative Disinfectants and Oxidants (Guidance Manual).1999. United States NN Office of Environmental Protection Agency.
7. Davis, SB., Moodley M., Singh I. AND Adendorf Mw.1998. Theuse of ozone for colour removal at the malelane refinery , Proc South African Sugar technology Ass:72:255-260.
8. Davis, SB., The chemistry of colour removal: A processing perspective.2001. Proc S AfrSugTechnolAss :75: 328-336.
9. Fernandez, L. A., Bataller M., Perez Rey R., Veliz E., Hernandez C., and Alvarez C.2006. Use of Ozone in the Decolorization of Sugar Industry Liquors. Ozone Science and Engineering, 28: 261–267.
10. Ghosh, A.M., Balakrishnan, M., Dua, M., Bhagat, J.J.2000. Ultrafiltration of sugarcane juice with spiral wound modules: on-site pilot trials. Journal of Membrane Science, 174: 205–216.
11. Godshall, M., Roberts, E., Xavier, M.2001. Composition of the soluble, non-dialyzable components in raw cane sugar. Journal of Food Processing Preservation 25:323-335.
12. Gokmen, V., Serpen, A., 2002. Equilibrium and kinetic studies on the adsorption of darkcolored compounds from apple juice using adsorbent resin. Journal of Food Engineering 53:221–227
13. Gomez, Manuel., Perez Rafael and Ramos Ruben.1980. Method Of Sugar Refining With Ozone. ProcintSocSug Cane TechnolXVII(3): 2066-2071.
14. ICUMSA .2000. Methods Book, International commission for uniform methods of sugar analysis, ICUMAS publications, Operations Service, Science. c/o British Sugar plc.
15. Jahed, E., Haddad Khodaparast M. H., MousaviKhaneghah A.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.
16. Koyuncua, H., Kulb, A., Calimlic, A., Yildizc, N., Ceylan, H. 2007. Adsorption of dark compounds with bentonites in apple juice. LWT 40:489-497
17. Madho, Davis. 2008. Review of proven technologies available for the reduction of raw sugar color. Proc s afrsugtechnol ass 81:165-183.

(Original Research Paper)

Optimization of Parameters of Brix, Flow Rate and Temperature in the Process of Raw Sugar Syrup Decolorization by Ozonation

Mehdi Nikfarjam[1], Seyyed Mohammad Ali Razavi[2*], Mohammad Hossein Haddad Khodaparast[2], Khalil Behzad[2], Mostafa Shahidi Novghabi[3], Javad Feizi[3]

1-PhD Student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, International Campus, Mashhad, Iran.
2- Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3-Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
4-Department of Food Safety and Quality Control, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

Received:09/04/2018 Accepted:25/08/2018

Abstract

Removing sugar color is one of the most important goals of raw sugar refineries. Also, color and ash have the most important effect on the quality of crystallized sugar. In order to produce high quality products, every year, a lot of equipment and operating costs and spend for the remove of the color and ash in every sugar mill and refinery. The quality of sugar depends on the quality of the sugar syrup that is produced from it, so the effective refine process, which has the ability to produce bright syrup with a low amount of color, is necessary in the sugar industry. In this research, Treatments of Brix in three level (40, 50 and 60), syrup Flow rate in three level (4, 6 and 8 $^{lit}/_{min}$) and the Temperature in three level (40, 50 and 60 °C) were considered and color, Invert, pH, ash and purity were measured according to ICUMSA methods and based on the efficacy of each treatments in decoloration and also according to the characteristics of the syrup, optimization was done by the surface response method. The model offered by response surface for the responses of color, pH, Invert sugar, and purity were significant and it was found that the use of ozone in important parameters in the sugar industry includes a reduction in color has a positive effect and on other parameters such as ash, pH, Invert Sugar, and purity have very little effect. The optimal treatment introduced by the model was temperature 43 °C, flow rate 4.2 $^{lit}/_{min}$ and the Brix 54, and it was found that no significant effect between amount of specified by software and experimental samples($p>0.05$) and optimization points specifiedtruly.

Keywords: Ozone, Raw Sugar, Decoloration, Ozone Treatment, Optimization.

*Corresponding Author: s.razavi@um.ac.ir