

بررسی اثر بنتونیت و ژلاتین بر شاخص‌های تصفیه شربت خام چغندر قند به منظور تولید قند مایع

عیسی جاهد^{۱*}، محمد حسین حداد خداپرست^۲، محمد الهی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه

۲- اعضای هیئت علمی گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸)

چکیده

در این تحقیق، از متداول‌ترین سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی صاف به منظور بررسی تاثیر متغیرهای مستقل شامل غلاظت بنتونیت ($1/5-5 \text{ gr/li}$)، غلاظت ژلاتین ($0/02-0/08 \text{ gr/li}$) و زمان ($۳۰-۸۰$ دقیقه) در دما و pH ثابت بر رنگ، کدورت، درجه خلوص اصلاح شده، خاکستر و قند انورت شربت خام تصفیه شده با بنتونیت و ژلاتین به منظور تولید مستقیم قند مایع انورته و بهینه سازی عملیاتی فرآیند تصفیه شربت استفاده شد. از مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای پیش‌بینی میزان متغیرهای وابسته استفاده شد. ضرایب تبیین مدل‌های رگرسیونی برآورده شده برای پارامترهای رنگ، کدورت، خاکستر، درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت در فرآیند تصفیه شربت به ترتیب $۰/۹۰$ ، $۰/۹۲$ ، $۰/۹۰$ و $۰/۹۹$ تعیین شدند. آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرآیند در مدل‌های رگرسیونی نشان داد که پارامترهای تصفیه شربت خام عمده‌تاً تحت تاثیر زمان واکنش و سپس غلاظت ژلاتین و بنتونیت قرار دارد. ضرایب بهینه تصفیه برای به حداقل رساندن میزان رنگ، کدورت و خاکستر شربت و هم‌چنین به حداقل رساندن میزان درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت از نظر غلاظت بنتونیت، غلاظت ژلاتین و زمان واکنش در دمای 75°C و $\text{pH} ۱/۵۵$ برابر $۴/۵$ به ترتیب $۰/۰۴$ و $۰/۰۶$ دقیقه به دست آمد. شربت تصفیه شده با این ضرایط دارای حداقل مقدار رنگ یعنی ۱۹۷۳ NTU (ICU)، کدورت $۱/۰۶$ و خاکستر $۰/۵۴$ درصد با حداقل مقدار درجه خلوص اصلاح شده معادل $۹۱/۴$ درصد و قند انورت $۱/۹۵$ درصد بود.

کلید واژگان: تصفیه شربت، بنتونیت، ژلاتین، بهینه سازی، شربت خام

* مسئول مکاتبات: jahed65@gmail.com

این فرآیند، تولید شود [۲]. قند مایع انورته یکی از انواع قند مایع است که مخلوطی از گلوکر و فروکتوز می باشد و ۱۳ برابر شیرین تر از ساکارز می باشد و از هیدرولیز اسیدی و یا آنزیمی به دست می آید. قند مایع انورته به علت خصوصیات خاص خود نظیر میزان شیرینی، خاصیت رطوبت پذیری، میزان کریستالیزه شدن، مزه و طعم ویژه آن در صنایع مختلف غذایی، نوشیدنی ها و داروسازی استفاده می شود [۴].

الهی و همکاران (۱۳۸۹) میزان انورسیون ساکارز طی هیدرولیز آن تحت اثر پارامترهای زمان، دما و pH را بررسی کرده و عنوان کردند که مقدار فروکتوز و گلوکر تولید شده و ساکارز باقیمانده، نمایانگر خصوصیات فیزیکی محلول قندی و کیفیت شربت انورته تولید شده می باشد. طبق نتایج آن ها در اثر انورسیون، میزان ویسکوزیته محلول نسبت به محلول صنعتی ساکارز پس از یک کاهش شدید اولیه، دارای تغییرات کمتری می باشد [۴]. سفرک و همکاران (۲۰۰۹) تولید قند انورت را با استفاده از سلول های مخمر ساکارومایسز سرویزیه محصور شده در میکروذرات مغناطیسی آژینات بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که سرعت تبدیل ساکارز به قندهای انورت در مخلوط واکنش، به اندازه ذرات میکروپسول و مقدار سلول های مخمر موجود در مخلوط واکنش بستگی دارد. طبق گزارش این محققان افزایش غلظت ساکارز موجود در مخلوط واکنش (از ۵ به ۵۰ درصد) از طریق تاثیر بر توانایی سلول های مخمر، باعث کاهش سرعت تبدیل ساکارز به قندهای انورت می شود [۵].

نتایج مشابهی نیز توسط مارکوز و همکاران (۲۰۰۸) مبنی بر این که با افزایش غلظت ساکارز در مخلوط واکنش، سرعت تبدیل ساکارز توسط آنزیم انورتاز آزاد و تثبیت شده (غیر متحرک) کاهش می یابد، گزارش شده است [۶].

با توجه به مطالعات و پژوهش های انجام شده در مورد خاصیت رنگبری و شفاف سازی بتونیت و ژلاتین مشخص شده که فعالیت آن ها در pH های پایین تر بیشتر است. از این رو در صورت استفاده از این ترکیبات برای تصفیه شربت خام چندنر قند باستی pH شربت با اسید کاهش یابد که این عمل در کنار تصفیه بهتر شربت (کاهش رنگ، کدورت و ...) باعث افزایش انورسیون ساکارز می شود. بنابراین شربت تصفیه شده با این ترکیبات جهت کریستالیزاسیون و تولید شکر سفید مناسب نیست

۱- مقدمه

قند مایع واژه ای است که برای نامیدن محلول های اشباع قندی نظیر ساکارز (شکر)، قند انورت، گلوکر، فروکتوز، شربت گلوکر، پلی ال ها و کربوهیدرات های مشابه به کار می رود [۱]. در اقتصاد جهانی امروز که قیمت شکر به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر تولیدکنندگان و صادر کنندگان عمده شکر از جمله بزریل و همچنین میزان تولید داخلی آن می باشد، تولید شکرهای مایع به دلایل گوناگون مورد تشخیص و ارزیابی قرار گرفته است. قند مایع در مقایسه با شکر گرانولی مزایای زیادی در صنایع دارد و عمدها باعث کاهش هزینه های فرآوری شکر در کارخانجات قند می شود. در واقع قند مایع به عنوان یک محصول نیمه بازساخته شده عمل می کند که در فرآیندهای تهیه مواد غذایی برای مصرف مستقیم آماده می باشد، بدون این که نیاز به حل کردن در آب با کیفیت بالا، صاف کردن یا پاستوریزه کردن داشته باشد [۲]. قند مایع در تولید گروه های مهم مواد غذایی از قبیل آبمیوه های طبیعی، بستنی ها، فرآورده های لبنی، فرآورده های نانوایی، انواع نوشیدنی ها، مارمالاد، مریبا، آب نبات سازی و ... کاربرد دارد [۳]. قند مایع بر اساس سفارش مشتری و صنعتی که در آن به کار برده می شود، شامل انواع مختلف بی رنگ، دارای رنگ، مقداری یا کاملاً انورت شده با مقدار کم یا بالای خاکستر، یا مخلوطی از قند های مایع شامل شربت گلوکر، قندهای الکلی، گلوکر و فروکتوز می باشد.

با توجه به هزینه بالای تولید و فرآوری شکر در کارخانجات قند، تولید انواع قند مایع از شکر سفید و مصرف آن در صنایع مصرف کننده، باعث افزایش قیمت تمام شده محصول نهایی می شود. از سوی دیگر به دلیل مباحثه زیادی که در خصوص مضرات مصرف قند ساکارز وجود دارد، بسیاری از محققین و تولید کنندگان سعی در استحصال و تولید قند مایع از منابعی چون خرما، نشاسته ذرت، گندم، سیب زمینی، برنج و کاسنی دارند تا با تولید انبوه این فرآورده تحول جدی در حوزه صنعت غذا و دارو ایجاد شود. قند مایع از چغندر و نیشکر نیز می تواند تهیه گردد که در این صورت می تواند از حل کردن مجدد کریستالهای تصفیه شده شکر با روش های متداول یا به طور مستقیم به صورت مایع در تصفیه خانه های طراحی شده و تجهیز شده برای

آمده بود [۷]، ابتدا بتونیت را اضافه کرده و بعد از انجام واکنش توسط بتونیت در یک مدت زمان مشخص (۱۰ دقیقه) مقداری مختلف ژلاتین در دمای ۴۰°C به ارلن حاوی نمونه افروده شد و در حال همزدن بعد از مدت زمان ۱۰ دقیقه به داخل بن ماری با دمای ثابت ۷۵°C که در مرحله قبل به دست آمده بود، مستقل و پس از زمان های مختلف، توسط آب تا دمای محیط سرد شد. محلول سرد شده توسط فیلتر های کاغذی صاف و بلا فاصله پارامترهای مورد نظر اندازه گیری گردید.

در این مطالعه تیمارهایی که روی شربت خام اعمال شد شامل غلظت بتونیت (۱/۵-۵ گرم در لیتر)، ژلاتین (۰/۰۲-۰/۰۸ گرم بر لیتر) و زمان واکنش (۳۰-۸۰ دقیقه) بودند و پارامترهای اندازه گیری شده پس از تصفیه شربت خام با بتونیت و ژلاتین شامل کدورت، رنگ (طول موج ۴۲۰ نانومتر)، خاکستر، درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت بودند که طبق روش استاندارد ایکومزا انداره گیری شدند [۸]. لازم به ذکر است که برای تعیین کارایی این روش در جداسازی قندهای مورد نظر که شامل ساکارز و قندهای انورت می باشد، از ناخالصی هایی چون عوامل ایجاد رنگ، کدورت، خاکستر و ...، لازم بود شاخصی منبی بر مقدار قندهای مورد نظر نسبت به مواد غیر قنده ارائه گردد. چون هدف از این تحقیق تصفیه شربت خام به منظور تولید قند مایع انورته می باشد، لذا علاوه بر ساکارز، قندهای انورت نیز به عنوان قندهای مورد نظر و مطلوب در این تصفیه به حساب می آید. بنابراین هرچه میزان قند انورت و ساکارز بیشتری از ناخالصی ها جدا شود نشان دهنده شرایط بهتر تصفیه می باشد. برای این منظور با تغییراتی در فرمول درجه خلوص معمولی از درجه خلوص اصلاح شده استفاده گردید.

$$Q_{adjusted} = \frac{Saccharose + Invertsugar}{Brix} \times 100 \quad (1)$$

۳-۲- طرح آزمایشی و آنالیز آماری

RSM^{۱۰} جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل (شامل غلظت بتونیت X_1 ، غلظت ژلاتین X_2 و زمان X_3) بر رنگ (ICU)، کدورت (NTU) و قند انورت (%) شربت تصفیه شده با بتونیت و ژلاتین مورد بررسی

و پیش بینی می شود که از این شربت با توجه به درجه انورسیون آن بتوان به عنوان قند مایع انورته استفاده کرد. در این تحقیق سعی شده است با یک هدف و نگاه جدید به تصفیه شربت خام و بررسی پارامترهای تصفیه پرداخته شود. در واقع هدف از انجام این تحقیق، پیرو تحقیقات قبلی تصفیه شربت خام چغندر قند با استفاده از بتونیت و ژلاتین به منظور تولید مستقیم قند مایع انورته می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد و تجهیزات

این پژوهش در سطح آزمایشگاهی در کارخانه قند شیرین خراسان انجام گرفت. مواد و تجهیزات مورد استفاده شامل شربت خام، بتونیت از نوع سدیم-کلسیم بتونیت (Nacalite، آلمان) که از کارخانه ایران شهد مشهد تهیه شد، ژلاتین مورد استفاده (Erbigel) نوع A و محصول کشور آلمان با عدد بلوم^۱ برابر ۱۰۰ بود که از کارخانه ایران شهد مشهد تهیه شد و به صورت محلول ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت، pH متر دیجیتالی مجهز به دماسنجد^۲، رفراكتومتر^۳، همزن مغناطیسی، اسپکتروفتومتر^۴، کدورت سنج^۵، بن ماری^۶، دستگاه کنداکتیویمتر^۷، پلاریمتر^۸، کاغذ صافی واتمن^۹، اسید سیتریک، کربنات سدیم، محلول مولر، محلول ید، چسب نشاسته، تیوسولفات، اسید استیک، دماسنجد شیشه ای و سایر وسایل آزمایشگاهی بود.

۲-۲- روش ها

به منظور تصفیه شربت خام چغندر قند در هر آزمایش ۲۰۰ میلی لیتر شربت خام در یک ارلن ۵۰۰ میلی لیتری ریخته شد. از آنجایی که بتونیت دارای بار منفی و ژلاتین دارای بار مثبت می باشد جهت انجام بهتر واکنش ها توسط این دو ترکیب، در عمل پس از تنظیم pH شربت روی ۴/۵ که در تحقیقات قبلی به دست

1. Bloom value

2. Model 9812-5, Romania

3. (Hi 96801)

4. Cambridge England

5. Model 6035 ,turbidimeter Jenway

6. Water Bath, type w 350B

7. Model 380BA, UK

8. saccharomat, schmidt+haensch

9. Watman 42

یک تکنیک رگرسیونی چندگانه است. پس از به دست آوردن ضرایب رگرسیونی، پاسخ تخمین زده شده را می توان به سادگی با استفاده از رابطه مدل محاسبه کرد. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز آماری (جدول ۱)، مدل سطح پاسخ چند جمله درجه دوم (معادله ۱) گزینش شده و بر داده های پاسخ فیت شد. هرچه مقدار R^2 به یک نزدیکتر شود، قدرت مدل برآش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر می باشد. برای یک مدل با برآش خوب، مقدار R^2 بایستی حداقل 0.8 باشد^[۹]. مقدار R^2 برای رنگ، کدورت، درجه خلوص اصلاح شده، خاکستر و درصد قند انورت بودند. داده های حاصل از آزمایش ها مدل چند جمله ای درجه دوم برآش داده شد و سپس از الگوریتم Stepwise منظور کاهش تعداد جمله های غیر معنی دار مدل استفاده شد.

$$\text{مدل} + b_0 + b_1 \text{اطلوز} + b_2 \text{بلوچ} + b_3 \text{نم} + b_4 \text{شودو} + b_5 \text{ولی} + b_6 \text{ذکر} + b_7 \text{R}^2 + b_8 x_1 + b_9 x_2 + b_{10} x_3 + b_{11} x_4 + b_{12} x_5 + b_{13} x_6 + b_{14} x_7 + b_{15} x_8 + b_{16} x_9 + b_{17} x_{10} + b_{18} x_{11} + b_{19} x_{12} + b_{20} x_{13} + b_{21} x_{14} + b_{22} x_{15} + b_{23} x_{16} + \varepsilon(1)$$

است که R^2 به تنها یک نمی تواند معیاری از صحت مدل باشد، زیرا اضافه کردن یک متغیر به مدل همیشه باعث افزایش R^2 می شود صرفنظر از اینکه متغیر اضافه شده از نظر آماری معنی دار باشد یا نباشد. به همین دلیل بهتر است از R^2 اصلاح شده نیز برای بررسی مناسب بودن مدل استفاده شود. بر خلاف R^2 اصلاح شده تنها در صورتی افزایش می یابد که شرایط جدید، مدل را بیش از حالتی که از نظر تصادفی مورد انتظار است بهبود بخشد^[۹].

جدول ANOVA برای مدل فیت شده و همچنین معنی دار بودن تمام ضرایب رگرسیونی مدل چند جمله درجه دوم به همراه R^2 و R^2 اصلاح شده برای متغیرهای واپسیه در جدول ۱ آورده شده است. بالا بودن R^2 اصلاح شده در این طرح نشان می دهد که شرایط غیر معنی داری در مدل مشاهده نشده است.

قرار گرفت. در این تحقیق، طرح مركب مرکزی صاف (FCCD^۱) با متغیر های مستقل غلظت بتونیت، غلضت ژلاتین و زمان به کار گرفته شد. داده های به دست آمده در این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل ۶.۰.۲ (میناپولیس آمریکا^۲) مدلسازی شده و شکل های سه بعدی (منحنی های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ ها و متغیرهای مستقل رسم شد. جهت تعیین نقطه بهینه از روش بهینه یابی عددی نرم افزار مذکور استفاده گردید. توابع پاسخ (y)، شامل رنگ، کدورت، درجه خلوص اصلاح شده، خاکستر و درصد قند انورت بودند. داده های حاصل از آزمایش ها مدل چند جمله ای درجه دوم برآش داده شد و سپس از الگوریتم Stepwise به منظور کاهش تعداد جمله های غیر معنی دار مدل استفاده شد.

ضرایب مدل چند جمله ای به صورت b_0 (عبارت ثابت)، b_3 ، b_1 ، b_2 (اثرات خطی)، b_{33} ، b_{22} ، b_{11} (اثرات درجه دوم) و b_{12} ، b_{23} ، b_{13} (اثرات مقابل) بیان شده اند. معنی داری ضرایب مدل با استفاده از آنالیز واریانس برای هر پاسخ تعیین شد. کفایت مدل با استفاده از R^2 اصلاح شده، R^2 پیشگویی شده^۳ و R^2 PRESS^۴ مورد بررسی قرار گرفت. یک مدل مناسب، R^2 اصلاح شده، R^2 پیشگویی بالا و PRESS پایین خواهد داشت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- برآش مدل

به طور متدالو جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2)، R^2 اصلاح شده و آزمون ضعف برآش^۵ استفاده می شود. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برآش آن معنی دار نبوده و دارای بالاترین مقدار R^2 و R^2 اصلاح شده باشد. ضرایب مدل با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه شدند که

1. Face Central Composite Design

2. Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA

3. Adjusted- R^2

4. Predicted- R^2

5. Prediction error sum of squares (PRESS)

6. lack of fite

جدول ۱ نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) (متغیرهای خطی، درجه دومی، اثرات متقابل هر پاسخ و ضرایب پیشگویی مدل فیت شده درجه دوم کاسته بر داده های پاسخ در مرحله دوم

منبع	(ICU)					کلورت (NTU)						
	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	درجه خلوص (%)	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	مجموع مربعات	ضرایب	p اندیس
Model	۸	۹۱۲۱/۴	۹۴۱۱۰	<۰/۰۰۱		۷	۸۳۵	۲۶۲۱	<۰/۰۰۱	۵	۶۳۵۱	<۰/۰۰۱
Linear												
b_1	۱	-۶۵۱۳	۱۷۷۱۰ ^۵	۰/۱۹	۱	-۰/۰۷۵	۰/۸۵	۰/۰۰۰۵	-	-	-	-
b_2	۱	-۱/۱۱۰ ^۵	۲/۱۱۰ ^۵	۰/۱۰	۱	۴۷/۸	۱/۰۶	۰/۰۳	۱	-۸۰/۵	۷۰/۲۳	۰/۰۲۴
b_3	۱	-۱۳۷/۲	۱/۳۱۰ ^۶	۰/۰۰۵۸	-	-	-	-	۱	-۰/۶۱	۲۴۷/۰۱	۰/۰۰۰۳
Quadratic												
b_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{22}	۱	۶۷۷۱۰ ^۵	۱/۱۱۰ ^۶	۰/۰۰۴۲	۱	-۰/۰۹۱	۱/۷	۰/۰۲۶	۱	۷۹۲۲/۰	۲۵۴/۱۹	۰/۰۰۰۳
b_{33}	۱	۰/۹۰	۱/۰۱۰ ^۶	۰/۰۰۶۱	۱	-۰/۰۰۲۶	۹/۰۱	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-
Interaction												
b_{12}	۱	۴۵۹/۶	۴/۰۱۰ ^۵	۰/۰۴۴	۱	-۷/۲۶	۱/۱۶	۰/۰۵۷	-	-	-	-
b_{13}	۱	۹/۰۶	۱/۲۱۰ ^۶	۰/۰۰۳۱	-	-	-	-	۱	۰/۱۳	۲۴۸/۶۵	۰/۰۰۰۳
b_{23}	۱	۴۲۲/۳۳	۸/۱۱۰ ^۵	۰/۰۱۱۸	۱	۰/۸۰	۲/۸۲	۰/۰۰۶۷	-	-	-	-
Residual	۱۱	-	۹۷۷۱۰ ^۵	-	۱۲	-	۳/۱۶	-	۱۴	-	۱۵۳/۶۴	-
Lack of fit	۷	-	۷/۱۱۰ ^۵	۰/۱۸	۷	-	۲/۵	۰/۱۴	۱۰	-	۱۰۲/۱۸	۰/۶۸
Pure error	۴	-	۲/۰۱۰ ^۵	-	۵	-	۰/۶۶	-	۴	-	۵۱/۹۷	-
Total	۱۹	-	۱/۱۱۰ ^۷	-	۱۹	-	۲۹/۲۷	-	۱۹	-	۹۷۴/۰۷	-
R^2	-	۰/۹۰	-	-	-	۰/۹۲	-	-	-	۰/۸۴	-	-
$R^2_{adjusted}$	-	۰/۸۴	-	-	-	۰/۸۷	-	-	-	۰/۸۹	-	-

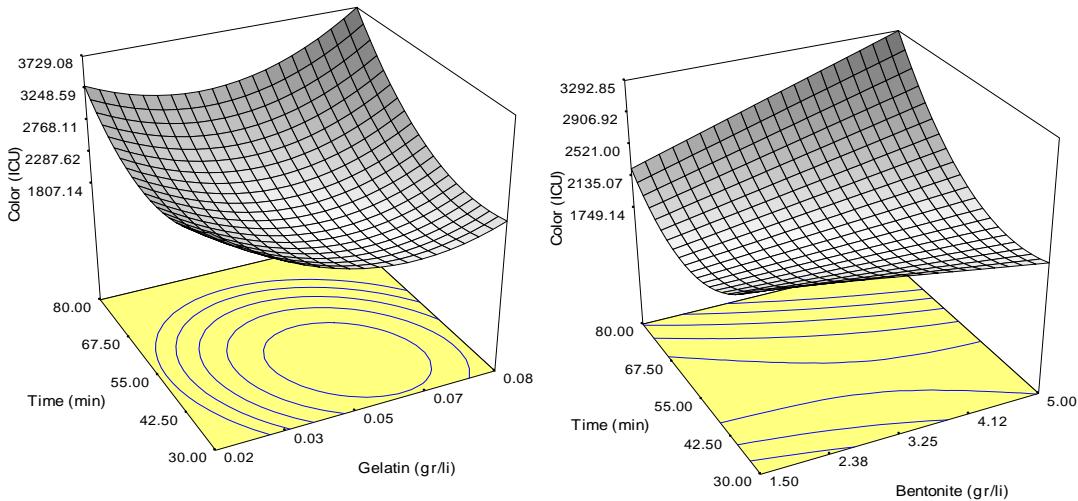
منبع	خاصکتر (%)					قند انورت (%)					
	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس			
Model	۶	۰/۰۵۷	۹/۱۱۰ ^{-۳}	<۰/۰۰۰۱	۵	۰/۱۹	۳/۲۲	<۰/۰۰۰۱			
Linear											
b_1	۱	۰/۰۱۵	۱/۷۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۰۴	۱	۰/۰۶	۰/۰۹	<۰/۰۰۰۱			
b_2	۱	-۰/۰۹۰	۸/۱۱۰ ^{-۴}	۰/۰۰۶	-	-۲/۱۸	۸/۶۱۰ ^{-۴}	۰/۰۹			
b_3	۱	-۱/۰۵	۴/۹۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۶	۳/۰۴	<۰/۰۰۰۱			
Quadratic											
b_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{22}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{33}	-	-	-	-	۱	-۶/۲۱۰ ^{-۵}	۷/۵۱۰ ^{-۴}	۰/۱۰			
Interaction											
b_{12}	۱	-۰/۱۶	۶/۱۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳	-	-	-	-	-	-	-
b_{13}	۱	-۲/۰۵۷	۱/۱۱۰ ^{-۴}	۰/۰۰۲۷	۱	-۲/۱۱۰ ^{-۴}	۰/۰۶۵	<۰/۰۰۰۳			
b_{23}	۱	۰/۰۳	۴/۵۱۰ ^{-۴}	<۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۴۵	۹/۲۱۰ ^{-۴}	۰/۰۹۲			
Residual	۱۳	-	۹/۶۱۰ ^{-۴}	-	۱۴	-	۰/۰۴۱	-			-
Lack of fit	۸	-	۸/۳۱۰ ^{-۴}	۰/۰۷۵	۹	-	۰/۰۳۵	۰/۱۲			
Pure error	۵	-	۱/۳۱۰ ^{-۴}	-	۵	-	۶/۵۱۰ ^{-۴}	-			
Total	۱۹	-	۰/۰۱	-	۱۹	-	۳/۲۴	-			
R^2	-	۰/۹۰	-	-	-	۰/۹۹	-	-	-	-	-
$R^2_{adjusted}$	-	۰/۸۶	-	-	-	۰/۹۸	-	-	-	-	-

این مطلب حاکی از این است که احتمالاً ذرات کلوئیدی بتونیت از زمان صفر تا ۶۰ دقیقه شروع به جذب ترکیبات کدورت زا و مواد رنگی از طریق جذب سطحی و یا تاثیر متقابل بارها می کند و بعد از آن به دلیل وارد شدن بیش از حد انرژی دینامیکی ناشی از همزن به سیال، روی جذب ذرات کلوئیدی بتونیت تاثیر منفی می گذارد و باعث می شود که ترکیبات جذب شده به وسیله بتونیت شروع به رها شدن از سطح آن گردند [۱۰]. با توجه به اینکه اثر درجه دومی غلظت ژلاتین و اثرات متقابل آن با زمان و بتونیت معنی دار شده است لذا مقدار ژلاتین بر تغییرات رنگ موثر بوده است. همان طور که در نمودار های پاسخ سطحی مشاهده می شود با افزایش غلظت ژلاتین تا حدود ۰/۰۵gr/li میزان رنگ شربت کاهش یافته است ولی با افزایش آن تا ۰/۰۸gr/li رنگ افزایش یافته است (شکل ۱). ارایا فاریاز و همکاران (۲۰۰۸) با تحقیقی که روی شفاف سازی آب سیب با روش الکتروفلوتواسیون انجام دادند، نشان دادند که در صورت استفاده از ۲۰۰ ppm ژلاتین همراه تیمار الکتروفلوتواسیون، یک افزایش معنی داری در درصد عبور نور در مقایسه با آب سیب شفاف شده با پکتیناز و آب سیب شفاف شده با الکتروفلوتواسیون به تنهایی مشاهده شد، که این امر موجب بهبود رنگ آب سیب می شود [۱۱]. در صورتی که ژلاتین مصرفی کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، نمی توان به شفافیت مطلوب دست یافت. استفاده از ژلاتین بیش از مقدار مورد نیاز نیز تاثیر نامطلوبی روی شفافیت داشته و خود ژلاتین عامل کدورت و رنگ خواهد بود [۱۲]. چنین نتیجه ای توسط فرمانی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. تغییر در رنگ با بتونیت در مقایسه با زمان و غلظت ژلاتین کمتر بود. کمترین مقدار رنگ زمانی به دست آمد که شربت با زمان ۵۴/۲۵ دقیقه و مقدار ژلاتین ۰/۰۶ و غلظت بتونیت ۱/۵ گرم بر لیتر تصفیه شد.

۳-۲- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر رنگ

نتایج موجود در جدول ۱ نشان می دهد که زمان به صورت خطی ($P < 0/05$) اثر معنی داری بر تغییرات رنگ داشت ولی اثر خطی غلظت بتونیت و ژلاتین در سطح ۵ درصد معنی دار نبودند. اثر درجه دوم زمان و غلظت ژلاتین در سطوح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و هم چنین اثرات متقابل بین غلظت بتونیت و ژلاتین ($P < 0/05$)، غلظت بتونیت و زمان ($P < 0/01$) و غلظت ژلاتین و زمان ($P < 0/05$) در مدل معنی دار بودند. نتایج نشان داد که تغییرات رنگ عمدها تحت تاثیر زمان واکنش، غلظت ژلاتین و تا حد کمتری غلظت بتونیت قرار دارد. جهت بررسی اثر متغیرهای مستقل بر صفات مورد آزمایش، نمودارهای پاسخ سطحی برای هر صفت رسم گردید. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار داشت بررسی شد. شکل ۱ اثر زمان واکنش و غلظت بتونیت (در حالی که غلظت ژلاتین ۰/۰۵gr/li است) و غلظت ژلاتین و زمان واکنش (در حالی که غلظت بتونیت ۳/۲۵ gr/li است) بر تغییرات رنگ را نشان می دهد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت بتونیت بر تغییرات رنگ شربت تصفیه شده با بتونیت-ژلاتین چندان موثر نیست. با افزایش مقدار بتونیت از یک حد معین میزان رنگ شربت تصفیه شده افزایش یافته است که این امر نشان می دهد مقدار اضافی بتونیت در محیط می تواند به عنوان عامل ایجاد رنگ عمل کند.

در غلظت های پایین بتونیت با افزایش زمان تا حدود ۶۰ دقیقه رنگ شربت به آرامی کاهش ولی در زمان های بالاتر به صورت سهمی افزایش یافت (شکل ۱). این نتایج مطابق با نتایج پژوهش فرمانی و همکاران (۲۰۰۶) است. آن ها نشان دادند که کاهش عوامل ایجاد رنگ و کدورت شربت خام نیشکر به وسیله بتونیت از زمان تماس صفر به طرف زمان تماس ۶۰ دقیقه افزایش یافته اما از زمان ۶۰ دقیقه به طرف ۱۵۰ دقیقه سیر نزولی داشته است.

شکل ۱ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) زمان و بنتونیت ($= ۰/۰۵ \text{ gr/li}$) و (ب) زمان و ژلاتین

(پر نگ شربت تصفیه شده با استفاده از بنتونیت-ژلاتین)

ارایا فاریاز و همکاران (۲۰۰۸) اعلام کردند که ارتباط مستقیمه‌ی بین مقدار کدورت و غلظت پروتئین و تانن در عصاره سبب وجود دارد. کاهش مقدار کدورت به معنی پایین بودن مقادیر تانن و پروتئین می‌باشد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که افزایش مقدار ژلاتین افروزده شده به عصاره سبب موجب بهبود جداسازی تانن‌ها و پروتئین‌ها توسط فرآیند الکتروفلوتوساییون می‌شود. در آب سبب تانن‌ها، پروتئین‌ها و بیشتر ترکیبات فلزی دارای pH با منفی با ژلاتین که دارای بار مثبت است تشکیل کمپلکس‌های نامحلول می‌دهند. این کمپلکس‌ها تشکیل فلوك داده و هنگام فیلتراسیون از عصاره تیمار شده حافظ می‌شوند و این موضوع کاهش مقدار تانن و پروتئین‌ها و در نتیجه کاهش کدورت شربت را با افزایش مقدار افروزدن ژلاتین توجیه می‌کند [۱۱]. نتایج مشابهی نیز توسط سبیرت و همکاران (۱۹۹۶) گزارش شده است [۱۴]. سینگ و گاپتا (۲۰۰۴) نیز اعلام کردند که افزایش غلظت ژلاتین تا $۰/۰۱۵$ درصد باعث کاهش کدورت عصاره سبب تیمار شده با آنزیم و ژلاتین گردید ولی با افزایش ژلاتین افروزده شده بیشتر از این مقدار، کدورت شربت افزایش یافت. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورتی که از آنزیم پکتینو لیتیک همراه ژلاتین

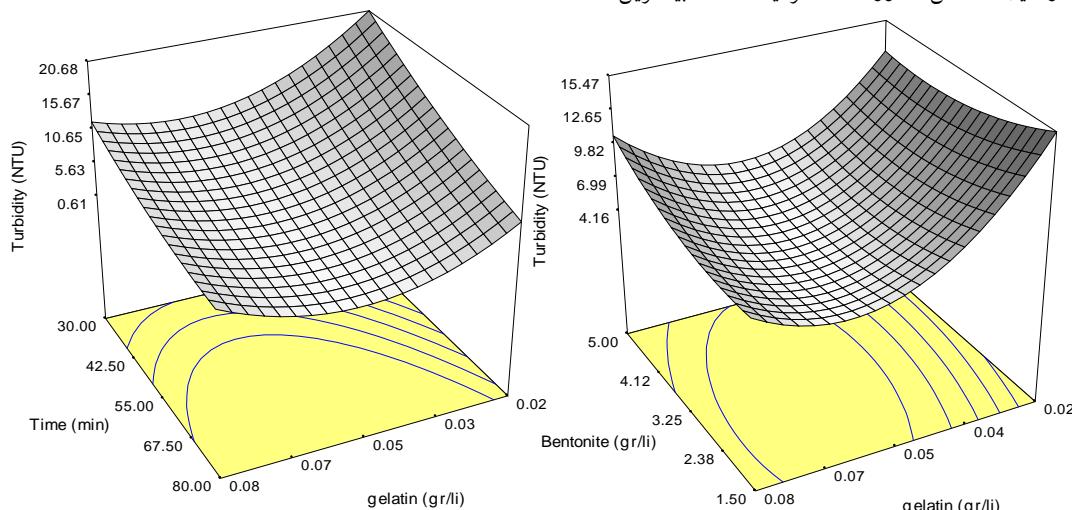
۳-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر کدورت

غلظت ژلاتین و زمان اثر معنی داری بر کدورت داشتند (جدول ۱). اثر خطی غلظت بنتونیت معنی دار نبود ولی اثر متقابل آن با زمان و همچنین اثر توان دوم ژلاتین بر کدورت معنی دار بودند ($P < ۰/۰۱$). نتایج نشان داد که در دما و pH ثابت، کدورت شربت عمدها تحت تاثیر غلظت ژلاتین و زمان و تا حد کمتری مقدار بنتونیت قرار دارد (جدول ۱). اثرات غلظت بنتونیت، ژلاتین و زمان بر تغییرات کدورت شربت در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود در زمان ثابت (۵۵ دقیقه) افزایش غلظت ژلاتین تا حدود $۰/۰۵$ گرم بر لیتر باعث کاهش کدورت شربت با شبیه زیادی گردید و پس از آن با اضافه کردن مقدار بیشتری ژلاتین به شربت تاثیر منفی بر کدورت شربت گذاشته است. روند تاثیر ژلاتین بر کدورت شربت تقریباً مشابه اثر آن بر پرنگ بود. در مورد بنتونیت نیز تقریباً چنین روندی وجود دارد، با افزایش مقدار بنتونیت کدورت شربت ابتدا به صورت آهسته کاهش وسیس روند افزایشی داشته است (شکل ۲). نتایج مشابهی توسط فرمانی و همکاران (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) ارائه شده است [۱۰ و ۱۳].

شفافیت را حدود ۸۵ درصد در مدت زمان ۶ ساعت اعلام کردند. آن‌ها همچنین اعلام کردند که با افزایش دما در محدوده مطالعه شان (50°C -۸) درصد عبور نور از آب سبب تیمار شده با آنزیم و ژلاتین در طول موج ۶۵۰ نانومتر که معرف شفافیت عصاره است، افزایش یافت [۱۵]. کمترین مقدار کدورت زمانی به دست آمد که شربت با زمان ۷۹/۵۵ دقیقه و مقدار ژلاتین ۰/۰۵ و غلظت بتنوئیت ۲/۷۸ گرم بر لیتر تصفیه شد.

برای شفاف سازی عصاره سبب استفاده شود شفافیت آن دو برابر عصاره شفاف شده با آنزیم به تنهایی است [۱۵].

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود افزایش زمان تاثیر مثبت بر کدورت شربت کذاشته است و با افزایش زمان کدورت شربت کاهش یافته است. این نتایج مطابق پژوهش سینگ و گاپتا (۲۰۰۴) است. آن‌ها نشان دادند که افزایش زمان تماس آنزیم و ژلاتین در درجه حرارت‌های مختلف، موجب افزایش شفافیت آب سبب و در نتیجه کاهش کدورت آن گردید. آن‌ها بیشترین



شکل ۲ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) غلظت ژلاتین و بتنوئیت (time = ۵۵ min) و (ب) زمان و ژلاتین
با بتنوئیت $= ۳/۲۵ \text{ gr/li}$ بر کدورت شربت تصفیه شده با استفاده از بتنوئیت-ژلاتین

ژلاتین نیز باعث افزایش خاکستر شربت شد ولی غلظت‌های پایین آن اثر مثبتی بر کاهش خاکستر شربت داشت. همان‌طور که در شکل مشخص است در مقادیر پایین ژلاتین و زمان‌های بالاتر با افزایش بتنوئیت مقدار کاهش خاکستر بیشتر است (شکل ۳). با افزایش زمان میزان جذب عناصر تشکیل دهنده خاکستر شربت توسط بتنوئیت افزایش یافت به طوری که کمترین مقدار خاکستر در زمان‌های بالا قابل حصول است. این نتایج مطابق تحقیقات مکیمر و همکاران (۲۰۰۸) است. آن‌ها نشان دادند که با افزایش غلظت بتنوئیت از $۰/۲$ تا ۱۰ گرم بر لیتر درصد جذب کبات از محلول آبی افزایش می‌یابد [۱۶]. کویانسو و همکاران (۲۰۰۷) نیز اعلام کردند که با افزایش غلظت بتنوئیت کارایی جذب

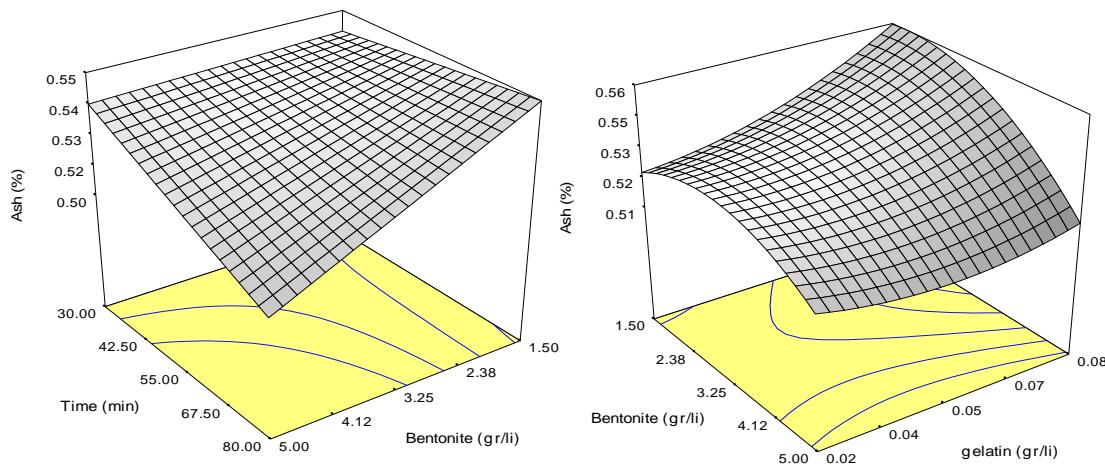
۴-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خاکستر

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان خاکستر شربت تصفیه شده با بتنوئیت و ژلاتین، نشان می‌دهد که مقدار خاکستر به غلظت بتنوئیت، ژلاتین و زمان فرآیند بستگی داشته و اثرات خطی متغیرهای بتنوئیت ($P < 0.001$), ژلاتین ($P < 0.05$)، زمان ($P < 0.05$) و همچنین اثرات متقابل هر سه متغیر مستقل در مدل معنی دار بود (جدول ۱).

در مقادیر پایین بتنوئیت خاکستر شربت به طور چشمگیری تحت تاثیر غلظت بتنوئیت قرار نگرفته ولی با افزایش بتنوئیت به مقادیر بالاتر، مقدار خاکستر با شبیه بیشتری کاهش یافته است. افزایش

طول یک ساعت افزایش یافت. با افزایش pH از ۲ تا ۶ نیز جذب کبات از محلول افزایش یافته به طوری که در pH برابر ۶ بیشترین جذب صورت گرفت. آن‌ها عنوان کردند که افزایش pH موجب کاهش رقابت بین پروتون‌ها و یون‌های فلزی برای مکان‌های جذب در سطح بتونیت می‌شود در نتیجه یک افزایش جذب قابل توجهی در جذب یون‌های فلزی توسط بتونیت صورت می‌گیرد [۱۶].

ترکیبات عامل کدورت در عصاره سیب توسط بتونیت افزایش می‌یابد [۱۷]. دلیل افزایش درصد جذب عناصر با افزایش غلظت بتونیت بخاطر افزایش ناحیه سطح جذبی و افزایش در دسترس بودن مکان‌های جذب می‌باشد [۱۸]. این محققان اعلام کردند که دما تاثیر مثبتی بر جذب عناصر توسط بتونیت دارد به طوری که با افزایش دما میزان جذب کبات از محلول آبی و جذب ترکیبات عامل کدورت از عصاره سیب افزایش یافت [۱۶]. نتایج مکیمر و همکاران هم چنین نشان داد که مقدار کبات جذب شده توسط بتونیت با زمان رابطه خطی داشته و با افزایش زمان در



شکل ۳ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) غلظت ژلاتین و بتونیت (time = ۵۵ min) و (ب) زمان و بتونیت
= ۰/۰۵ gr/li) بر خاکستر شربت تصفیه شده با استفاده از بتونیت-ژلاتین

لیتر)، افزایش بتونیت اندکی باعث کاهش درصد قند انورت شربت گردید (شکل ۴). کاهش مقدار قند انورت در اثر افزایش غلظت بتونیت، احتمالاً به دلیل جذب سطحی آن توسط بتونیت می‌باشد زیرا بتونیت بعضی مولکول‌های بدون بار (از جمله قند انورت، هیدروکسی میلی فورفورا و ...) را از طریق جذب سطحی جذب و از محیط حذف می‌کند (فرمانی و همکاران، >۰/۰۶). با توجه به معنی دار نبودن تاثیر غلظت ژلاتین (P < ۰/۰۰۱) چنین نتیجه گیری می‌شود که تغییرات قند انورت شربت نسبت به مقدار ژلاتین حساسیت چندانی ندارد. این عدم وابستگی در نمودار رویه‌ها نیز به خوبی مشهود است (شکل ۴)، به طوری

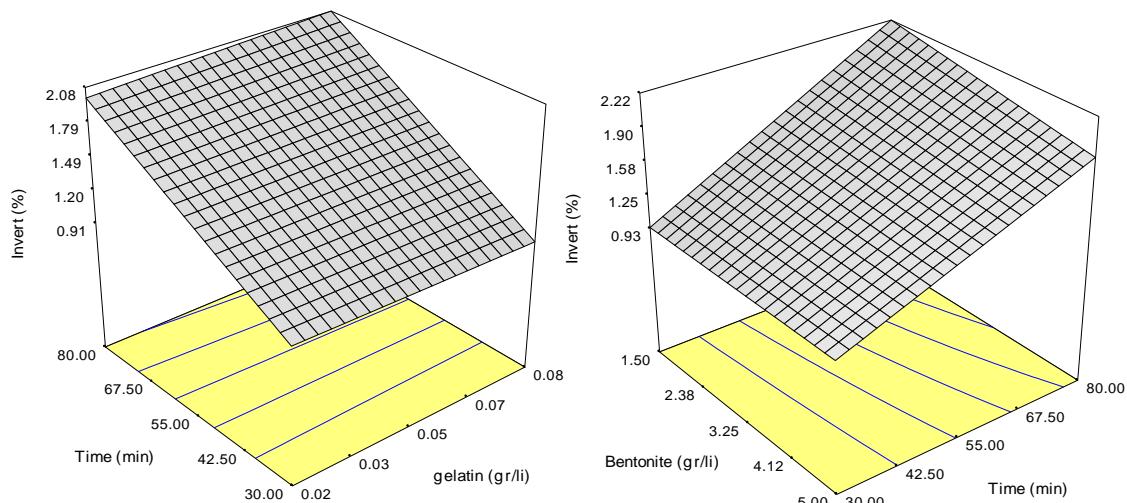
۳-۵- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر قند انورت

غلظت بتونیت و زمان اثر معنی دار و مشابهی بر مقدار قند انورت شربت تصفیه شده با بتونیت و ژلاتین داشتند (جدول ۱). اثر خطی ژلاتین معنی دار نبود. تنها مقدار بتونیت و زمان فرآیند P < ۰/۰۰۱) درصد قند انورت عمدها تحت تاثیر زمان و مقدار بتونیت قرار دارد و تقریباً تحت تاثیر مقدار ژلاتین قرار نگرفته است.

اثرات مقدار بتونیت، ژلاتین و زمان بر مقدار قند انورت در شکل ۴ نشان داده شده است. در غلظت ثابت ژلاتین (۰/۰۵ گرم بر

احیاء کننده یک واکنش نامطلوب بوده که تا حد امکان سعی می کنند از انجام این واکنش جلوگیری کنند چرا که قندهای احیاء کننده به عنوان مواد غیر قندی شناخته شده و راندمان استخراج را به شدت پایین می آورند [۱۹]. اما از آنجایی که هدف از انجام تصفیه شربت چغندر قند با استفاده از بتونیت و ژلاتین، تولید قند مایع انورته می باشد، لذا قندهای گلوكز و فروکتوز تولید شده به عنوان محصول نهایی و مطلوب شناخته می شود و انجام واکنش هیدرولیز نامطلوب نمی باشد.

که با تغییر سطوح این متغیر میزان تغییرات قند انورت شربت بسیار ناچیز بود. همان طور که مشاهده می شود زمان به صورت خطی بر قند انورت شربت تاثیر گذاشته است به طوری که با افزایش زمان واکنش، درصد قند انورت شربت افزایش یافته است (شکل ۴). افزایش قند انورت در اثر افزایش زمان واکنش، احتمالاً به دلیل هیدرولیز ساکارز در دمای بالا و pH پایین فرآیند باشد که در نتیجه این هیدرولیز، ساکارز به قندهای احیاء کننده تبدیل شده و میزان قند انورت در شربت افزایش می یابد. در صنعت تولید شکر از چغندر قند و نیشکر هیدرولیز ساکارز به قندهای



شکل ۴ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) غلظت بتونیت و زمان ($\text{gr/li} = ۰/۰۵$) و (ب) زمان و ژلاتین
بر قند انورت شربت تصفیه شده با استفاده از بتونیت-ژلاتین

$P < 0.001$ به صورت خطی اثرات معنی داری بر درجه خلوص شربت داشتند. اثر درجه دوم غلظت ژلاتین، زمان واکنش و اثر مقابل زمان و مقدار ژلاتین به ترتیب در سطوح ۵ درصد، $0/۰۱$ درصد و ۱ درصد معنی دار بودند. نتایج نشان داد که در دما و pH ثابت، درجه خلوص شربت عمدها تحت تاثیر غلظت بتونیت و غلظت ژلاتین و تا حد کمتری زمان واکنش قرار دارد.

۳-۶- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر درجه خلوص اصلاح شده

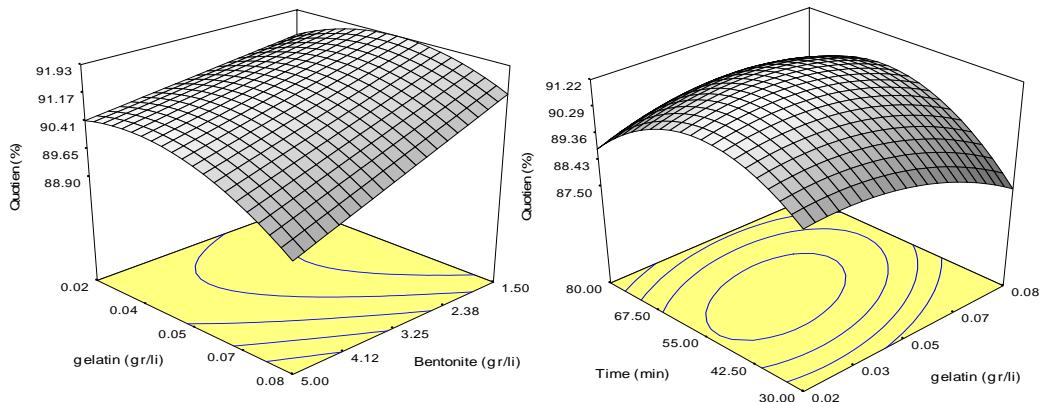
روندهای تغییرات درجه خلوص اصلاح شده شربت در روش تصفیه با بتونیت و ژلاتین با متغیرهای غلظت بتونیت، ژلاتین و زمان واکنش در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج موجود در جدول ۱ نشان می دهد غلظت بتونیت ($P < 0.05$) و ژلاتین

این خاطر است که با افزایش مقدار بتونیت میزان رنگ و کدورت شربت افزایش می یابد، یعنی بتونیت نیز مانند ژلاتین در غلظت های بالاتر به عنوان ناخالصی عمل کرده و منجر به کاهش درجه خلوص شربت شده است.

با افزایش زمان واکنش تا حدود ۶۵ دقیقه درجه خلوص اصلاح شده شربت روند افزایشی داشت ولی افزایش زمان از این حدود به بعد تا ۸۰ دقیقه باعث کاهش درجه خلوص شربت شد (شکل ۵). دلیل کاهش درجه خلوص اصلاح شده در زمان های بالاتر احتمالاً به این خاطر است که در زمان های بالاتر جذب ترکیبات رنگی توسط بتونیت کاهش و میزان رنگ شربت افزایش یافته است. علاوه بر این در زمان های بالاتر به دلیل هیدرولیز بیشتر ساکاراز، ترکیبات رنگی و جانبی دیگر به مقدار بیشتری تولید می شود به طوری که میزان جذب این ترکیبات توسط بتونیت کمتر از میزان تولید آن ها می باشد که منجر به افزایش ناخالصی در شربت و کاهش درجه خلوص اصلاح شده می شود.

با توجه به منحنی های پاسخ سطحی، افزایش غلظت ژلاتین تا حدود ۰/۰۵ گرم بر لیتر باعث افزایش درجه خلوص اصلاح شده شربت شده است ولی با افزایش آن به بیشتر از این مقدار، درجه خلوص شربت با شبیب بیشتری کاهش یافته است (شکل ۵). کاهش درجه خلوص شربت در اثر افزایش مقدار ژلاتین احتمالاً به خاطر تاثیر منفی مقادیر بالاتر ژلاتین در حذف ناخالصی های شربت می باشد. همان طور که در بخش های پیشین ذکر شد افزایش ژلاتین بیشتر از یک مقدار مشخص (بالاتر از ۰/۰۵ گرم بر لیتر) باعث افزایش مقدار کدورت، رنگ و خاکستر شربت می شود و در واقع خود ژلاتین به عنوان ناخالصی عمل می کند که افزایش این ناخالصی ها باعث کاهش درجه خلوص اصلاح شده شربت می شود.

افزایش مقدار بتونیت تاثیر منفی بر درجه خلوص اصلاح شده شربت گذاشت به طوری که با افزایش غلظت بتونیت درجه خلوص شربت کاهش یافت (شکل ۵). دلیل این امر احتمالاً به



شکل ۵ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) زمان و ژلاتین (gr/li) و (ب) غلظت بتونیت و ژلاتین ($\text{time} = 55 \text{ min}$) بر درجه خلوص اصلاح شده شربت تصفیه شده با استفاده از بتونیت-ژلاتین

بتنوئیت-ژلاتین با روش کلاسیک که در آن از آهک زنی و سپس کربناسیون برای تصفیه شربت استفاده می شود، مورد مقایسه قرار گرفت. مراحل مختلف تصفیه شربت با روش کلاسیک، شامل آهک زنی مقدماتی، آهک زنی اصلی، کربناسیون اول و کربناسیون دوم در شکل ۶ نشان داده شده است. در شرایط این پژوهش، میانگین میزان رنگ شربت در روش کلاسیک با میزان این پارامتر در نقطه بهینه تکنیک بتنوئیت-ژلاتین از نظر آماری متفاوت بود ($P < 0.01$) و استفاده از بتنوئیت و ژلاتین در مقایسه با روش استفاده از آهک زنی و کربناسیون به مقدار بیشتری رنگ شربت را کاهش داد (جدول ۳). دلیل پایین بودن میزان رنگ شربت در این روش در مقایسه با روش کلاسیک، علاوه بر جذب ترکیبات عامل ایجاد رنگ توسط بتنوئیت از طریق جذب سطحی و تبادل یون، احتمالاً به دلیل عدم تشکیل رنگدانه های ملانین و ملانوئیدین است. در شرایط انجام واکنش ها چون محیط اسیدی و حرارت بالا بود قهوه ای شدن آنژیمی و غیر آنژیمی انجام نمی گردید [۲۰].

اختلاف معنی داری نیز بین کدورت شربت در دو روش تصفیه وجود داشت ($P < 0.01$) به طوری که میزان کدورت در روش تصفیه با بتنوئیت-ژلاتین نسبت به روش تصفیه کلاسیک بسیار کمتر بود (جدول ۳). میزان کاهش خاکستر شربت در روش کلاسیک نسبت به بتنوئیت-ژلاتین بهتر بود و روش کلاسیک میزان خاکستر را بیشتر کاهش داد (جدول ۳) ولی از نظر آماری تفاوت معنی داری بین این دو روش از نظر میزان کاهش خاکستر وجود نداشت ($P > 0.05$).

۳-۷-۳- بهینه سازی^۱

شرایط بهینه برای تصفیه شربت خام چند مرحله ای که شربت دارای کمترین رنگ، کدورت، خاکستر و بیشترین مقدار درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت باشد با استفاده از بهینه یابی عددی نرم افزار Design Expert تعیین گردید.

نتایج بهینه شرایط تصفیه در جدول ۲ آورده شده است. در شرایط بهینه برای تصفیه شربت خام، غلظت بتنوئیت و ژلاتین به ترتیب برابر $1/55$ و $0/04$ گرم بر لیتر و زمان $68/6$ دقیقه بود.

شربت تصفیه شده با این شرایط دارای حداقل مقدار رنگ یعنی 1973 (ICU)، کدورت $1/06$ (NTU) و خاکستر $0/054$ (%) با حداقل مقدار درجه خلوص اصلاح شده معادل $91/4$ درصد و قند انورت $1/95$ درصد بود.

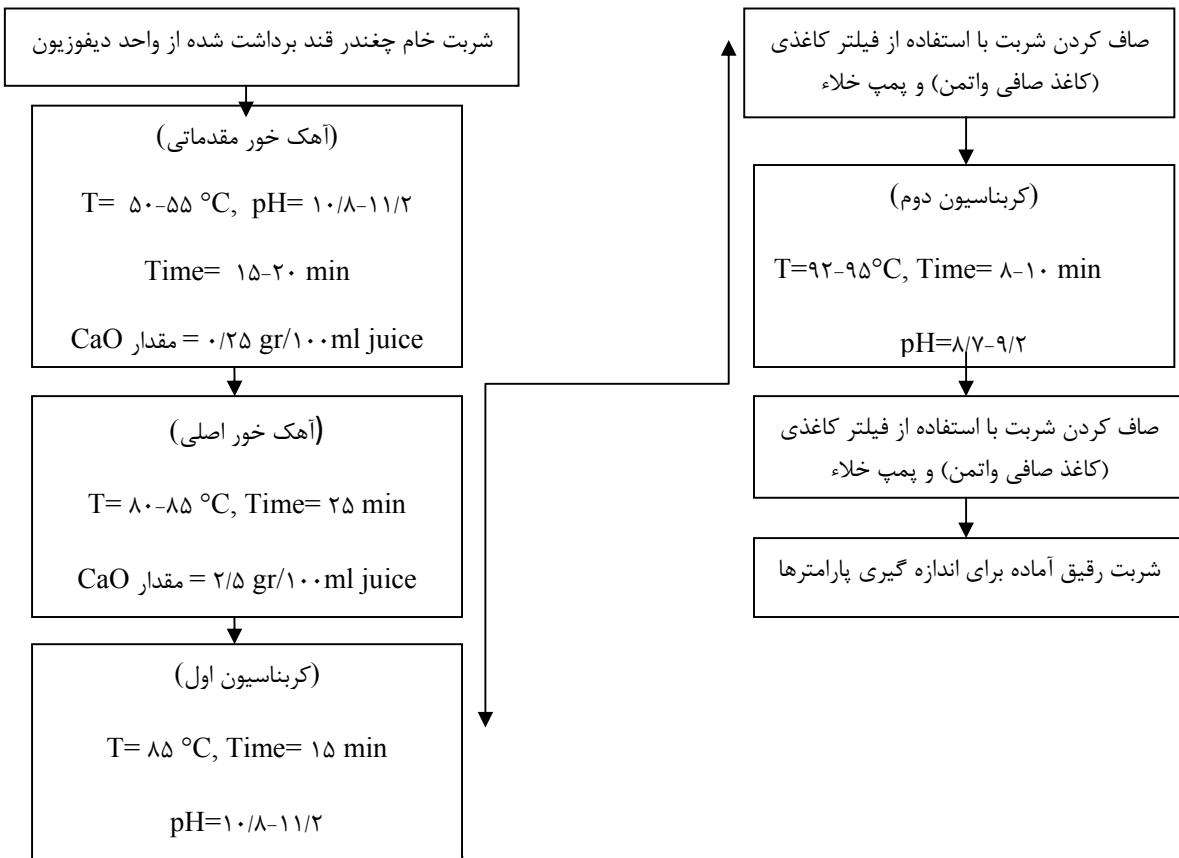
جدول ۲ مقادیر بهینه پیشگویی شده متغیرهای مستقل فرآیند تصفیه شربت شامل بتنوئیت، ژلاتین و زمان در $pH=4/5$ و دمای 75°C

متغیر مستقل	حداکثر	حداقل	مقدار بهینه
بتنوئیت (li)	$1/5$	$1/55$	
ژلاتین (gr/li)	$0/02$	$0/08$	$0/04$
زمان (min)	30	80	$68/6$

۴- مقایسه نقطه بهینه به دست آمده از روش بتنوئیت-ژلاتین با روش تصفیه کلاسیک

در نهایت برای محسوس نشان دادن کارایی این روش در تصفیه شربت خام، پارامترهای نقطه بهینه به دست آمده با روش

1. Optimization



یک مولکول ساکارز دو مولکول گلوکز و فروکتوز حاصل می‌شود.

میزان قند انورت نیز در این دو روش از نظر آماری متفاوت بود ($P < 0.001$) و در روش تصفیه با بتونیت-ژلاتین نسبت به تصفیه کلاسیک بسیار بالاتر بود (جدول ۳). دلیل پایین بودن میزان قند انورت در روش کلاسیک این است که در تصفیه کلاسیک در آهک خور دوم در دما و قلیانیت بالا قند انورت تجزیه شده و به اسید و رنگ تبدیل می‌شود در حالی که در روش تصفیه با بتونیت-ژلاتین به دلیل pH پایین شرایط آزمایش، ساکارز تجزیه شده و میزان قند انورت افزایش می‌یابد. هدف از تصفیه شربت با بتونیت-ژلاتین در این تحقیق تولید قند مایع انورته است لذا قند انورت تولید شده برخلاف صنعت تولید قند و شکر، به عنوان محصول نهایی و مطلوب محسوب می‌شود که با هدف صنعت تولید قند مایع انورته مطابقت دارد.

همان طور که مشاهده می‌شود میزان درجه خلوص در روش تصفیه با بتونیت و ژلاتین نسبت به روش تصفیه کلاسیکی بالاتر بود (جدول ۳) ولی از نظر آماری متفاوت نبود به طوری که این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد ($P > 0.05$). دلیل بالا بودن درجه خلوص اصلاح شده شربت نسبت به درجه خلوص حاصل از تصفیه کلاسیکی این است که علاوه بر عملکرد بهتر بتونیت در شرایط مذکور و کاهش بیشتر ترکیبات عامل ایجاد رنگ و کدورت و همچنین کاهش بریکس شربت، با توجه به هدف عنوان شده برای این تحقیق و رابطه ۱، در فرآیند تصفیه شربت با بتونیت علاوه بر ساکارز، قندهای انورت نیز به عنوان قندهای مطلوب و مورد نظر محسوب می‌شود. بنابراین با توجه به شرایط آزمایشات هر چند بخشی از ساکارز هیدرولیز شده و میزان آن کاهش می‌یافتد ولی میزان افزایش قند انورت بیش از کاهش ساکارز بود که دلیل آن احتمالاً این است که از هیدرولیز

جدول ۳ مقایسه پارامترهای رنگ، کدورت، خاکستر، درجه خلوص و قند انورت بین دو روش تصفیه با بتونیت-ژلاتین و کلاسیک (آهک زنی)

پارامترهای تصفیه	تصفیه کلاسیک	تصفیه با بتونیت-ژلاتین	کربناسیون)
درجه خلوص (%)	۹۰/۳۵ ^a	۹۴/۱ ^a	
رنگ (ICU)	۲۵۸۲ ^a	۱۹۷۳ ^b	
کدورت (NTU)	۲۶/۳ ^a	۱/۰۶ ^b	
خاکستر (%)	۰/۴۸۷ ^a	۰/۵۴ ^a	
قند انورت (%)	۰/۰۴۲ ^a	۱/۹۵ ^b	

شکر در کارخانجات قند، بتوان به طور مستقیم قند مایع این صنایع را تولید کرد.

۶- قدر دانی

از ریاست محترم کارخانه قند شیرین خراسان جناب آقای مهندس قربانی و تمام اعضاء پرسنل محترم آزمایشگاه کارخانه به ویژه خانم مهندس مینو قوام نصیری (مدیر کتروول کیفی کارخانه قند شیرین خراسان) که در انجام آزمایش ها ما را یاری فرموده اند، کمال تشکر را داریم.

۷- منابع

- [1] liquid sugar: www.danisco.com.
- [2] Behzad. Kh., Soleimani, A. 2008. The advantages and consumption of liquid sugar production. Thirtieth Congress sugar factories of Iran, the center of sugar beet research of Khorasan, Mashhad.
- [3] liquid sugars,invert sugars: www.Britishsugar.com.
- [4] Elahi, M., Razavi, M. A., Baratyan, Z., Pezeshki,P.. 2010. Changes in physical and qualitative characteristics of inverted sucrose syrup. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 105 (6): 105 - 112.
- [5] Safarik, I., Sabatkova, Z., Safarikova, M. 2009. Invert sugar formation with *Saccharomyces cerevisiae* cells encapsulated in magnetically responsive alginate microparticles. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 321 (10): 1478-1481.

۵- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این تحقیق حاکی از آن بود که متداول‌تر سطح پاسخ را می‌توان به خوبی در بهینه سازی این فرآیند به کار برد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت بتونیت از یک حد مشخص، میزان رنگ و کدورت افزایش یافته که منجر به کاهش میزان درجه خلوص اصلاح شده گردید. همچنین با افزایش بتونیت به دلیل افزایش ناحیه سطح جذبی و افزایش در دسترس بودن مکان های جذب، مقداری خاکستر شربت کاهش یافت. افزایش ژلاتین تا حدود ۰/۰۵ گرم بر لیتر منجر به کاهش خاکستر و کدورت و افزایش درجه خلوص شربت گردید، ولی با افزایش آن به بیش از این مقدار، میزان خاکستر و کدورت افزایش و در نتیجه درجه خلوص اصلاح شده کاهش یافت در حالی که این متغیر تاثیر معنی داری بر قند انورت و رنگ شربت نداشت. با افزایش زمان از ۳۰ دقیقه تا حدود ۶۵ دقیقه، رنگ و خاکستر شربت کاهش و درجه خلوص و قند انورت افزایش یافت ولی بعد از آن افزایش زمان تاثیر منعی بر کدورت و رنگ شربت داشت. در نهایت با مقایسه پارامترهای تصفیه حاصل از نقطه بهینه با استفاده از بتونیت و ژلاتین با روش تصفیه مرسوم مشخص شد که این روش به ویژه جهت کاهش رنگ و کدورت و افزایش سرعت تجمع و تنشیین رسوبات بسیار کارامد بوده و با ادامه سایر کارهای تحقیقاتی بیشتر می‌تواند جهت تولید مستقیم قند مایع انورته از شربت خام چغندر قند و نیشکر جهت مصارف مختلف صنایع غذایی از جمله صنایع نوشابه و کنسروسازی مورد استفاده قرار گیرد، به طوری که بدون نیاز به تولید کریستالهای شکر و حل کردن مجدد آن و در نتیجه کاهش هزینه های فرآوری

- [13] Farmani, B., Haddade khodaparast, M. H., Hesari, J. and Rezaii Iraqi. E. 2005. Refining of raw sugarcane juice with bentonite: 1-Determination of optimum quantity of bentonite and pH. Iranian J. Food Science and Tecnology, 2(4): 1-9.
- [14] Siebert, K. J., Troukhanova, N. V., Lynn, P. Y. 1996. Nature of polyphenol protein interactions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44: 80–85.
- [15] Singh, S., Gupta, R. 2004. apple juice clarification using fungal pectinolytic enzyme and gelatin. Indian journal of biotechnology, 3: 573-576.
- [16] Mekhemer, W. K., Hefne, J. A., Alandis, N. M., Aldayel, O. A., Al-Raddadi, S. 2008. Thermodynamics and Kinetics of Co (II) Adsorption onto Natural and Treated Bentonite. Jordan Journal of Chemistry , 3 (4): 409-423.
- [17] Koyuncu, H., Kul, A. R., Calimli, A., Yildiz, N., Ceylan, H. 2007. Adsorption of dark compounds with bentonites in apple juice. LWT, 40: 489–497.
- [18] Garg, V.K.; Gupta, R., Kumar, R., Gupta, R. K. 2004. Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust. Bioresour Technol, 92 (1): 79–81.
- [19] Mc Ginnis, R. A. 1982. Beet sugar technology (part 1), Translated by: Fallahi, M., Bagherzadeh, M. B., Sheikholeslami, R. Published by Iran center for Research & Education in Sugar Industry, 59-74
- [20] Fatemi, H. 1999. Food Chemistry. Publishing Company, 281 - 287.
- [6] Marquez, L.D.S., Cabral, B.V., Freitas, F. F. 2008. J.Mol.Catal. B:Enzym, 51: 86.
- [7] Jahed, E., Haddad Khodaparast, M. H., Elahi, M., Behzad, Kh., Koocheki, A. 2012. Optimization of raw sugar beet juice purification process conditions using bentonite by response surface methodology. . Iranian J. Food Science and Tecnology (accepted).
- [8] Sheikholeslami, R. 1997. Laboratory methods and their application in food industry process control (sugar), Mrsa publication, Tehran.
- [9] Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., Bostan, A. 2009. Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. Food Hydrocolloids, 23: 2369–2379.
- [10] Farmani, B., Haddade khodaparast, M. H., Hesari, J. and Rezaii Iraqi. E. 2006. Refining of raw sugarcane juice using bentonite: 2-Determination of optimum quantity of gelatin, time and temperature of process with bentonite. Iranian J. Food Science and technology Researches, 2(1): 63-75.
- [11] Araya-Farias, M., Mondor, M., Lamarche, F., Tajchakavit, S., Makhlof, J. 2008. Clarification of apple juice by electroflootation. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9: 320–327.
- [12] Akshy, A. 1999. Fruit juice clarification. (Translated by Piruzy Fard, M), Published by Urmia University Jahad, 74 - 81.

The investigation of bentonite and gelatin effects on purification indexes of raw sugar beet juice to production of liquid sugar

Jahed, E. ^{1*}, Haddad Khodaparast, M. H. ², Elahi, M. ²

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, urmia University, urmia, Iran
2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 91/8/16 Accepted: 92/3/8)

The present study deals with modeling the effects of bentonite (1.5-5 g/lit) and gelatin concentrations (0.02-0.08 g/lit) along with time (30-80 min) at constant temperature and pH on color, turbidity, adjusted purity, ash and invert sugar content of purified raw sugar-beet juice through face-centered central composite design of response surface methodology and to optimize these key parameters of the process. Our main goal was focused around the possibility to produce invert sugar directly from raw sugar-beet juice in conjunction with an alternate purification process in comparison with the conventional lime process used industrially. In this connection, second-order polynomial models were developed for dependent responses using least-square fit of regression analysis. The correlation coefficients of the developed response surface models were determined to be 0.90, 0.84, 0.90, 0.92, and 0.99 respectively for color, turbidity, ash content, adjusted purity, and invert sugar value of purified juice. The results of analysis of variance (ANOVA) revealed that all three independent parameters investigated have significant influence on raw beet-juice purity indexes. The optimum conditions were based on minimization of color, turbidity and ash content and maximization of invert sugar and adjusted purity at a constant temperature (75°C) and pH (4.5) and it was found to be at bentonite concentration of 1.55g/lit, gelatin concentration of 0/04g/lit and reaction time of 68.6 min. At this optimum point, color, turbidity, ash, adjusted purity and invert sugar content were found to be 1973 ICU₄₂₀, 1.06 NTU, 0.54 %, 91.4 %, and 1.95 %, respectively.

Keywords: Raw sugar-beet juice, Purification, Gelatin, Bentonite, Optimization

* Corresponding Author E-Mail Address: jahed65@gmail.com