

بررسی اثر بنتونیت و ژلاتین بر شاخص های 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 متدولوژی سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی صاف به منظور بررسی تاثیر متغیرهای مستقل شامل غلظت بنتونیت (۵-۱۰ gr/li)، غلظت ژلاتین (۰/۰۸-۰/۰۲ gr/li) و زمان (۸۰-۳۰ 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 جمله ای درجه دوم برای پیش بینی میزان متغیرهای وابسته استفاده شد. ضرایب تبیین مدل های رگرسیونی برازش شده برای پارامترهای رنگ، کدورت، خاکستر، درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت در فرآیند تصفیه شربت به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۸۴، ۰/۹۰، ۰/۹۲ و ۰/۹۹ تعیین شدند. آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرآیند در مدل های رگرسیونی نشان داد که پارامترهای تصفیه شربت خام عمدتاً تحت تاثیر زمان واکنش و سپس غلظت ژلاتین و بنتونیت قرار دارد. شرایط بهینه تصفیه برای به حداقل رساندن میزان رنگ، کدورت و خاکستر شربت و هم چنین به حداکثر رساندن میزان درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت از نظر غلظت بنتونیت، غلظت ژلاتین و زمان واکنش در دمای ۷۵°C و pH برابر ۴/۵ به ترتیب ۱/۵۵ gr/li، ۰/۰۴ گرم برلیتر و ۶۸/۶ دقیقه به دست آمد. شربت تصفیه شده با این شرایط دارای حداقل مقدار رنگ یعنی ۱۹۷۳ (ICU)، کدورت ۱/۰۶ (NTU) و خاکستر ۰/۵۴ درصد با حداکثر 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

۱- مقدمه

قند مایع واژه ای است که برای نامیدن محلول های اشباع قندی نظیر ساکارز (شکر)، قند انورت، گلوکز، فروکتوز، شربت گلوکز، 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 برزیل 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 عمدتاً 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 نانوائی، انواع نوشیدنی ها، مارمالاد، مربا، 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 گلوکز، قندهای الکلی، گلوکز 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 مباحث 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

این فرآیند، تولید شود [۲]. قند مایع انورته یکی از انواع قند مایع است که مخلوطی از گلوکز و فروکتوز می باشد و ۱/۳ 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 گلوکز 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 آلژینات بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که سرعت تبدیل ساکارز به قندهای انورت در مخلوط واکنش، به اندازه ذرات میکروکپسول 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 چغندر قند بایستی 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

آمده بود [۷]، ابتدا بتنونیت را اضافه کرده و بعد از انجام واکنش توسط بتنونیت در یک مدت زمان مشخص (۱۰ دقیقه) مقادیر مختلف ژلاتین در دمای 40°C به ارلن حاوی نمونه افزوده شد و در حال همزدن بعد از مدت زمان ۱۰ دقیقه به داخل بن ماری با دمای ثابت 75°C که در مرحله قبل به دست آمده بود، منتقل و پس از زمان های مختلف، توسط آب تا دمای محیط سرد شد. محلول سرد شده توسط فیلتر های کاغذی صاف و بلافاصله پارامترهای مورد نظر اندازه گیری گردید.

در این مطالعه تیمارهایی که روی شربت خام اعمال شد شامل غلظت بتنونیت (۵-۱/۵ گرم در لیتر)، ژلاتین (۰/۰۸-۰/۰۲ گرم بر لیتر) و زمان واکنش (۸۰-۳۰ دقیقه) بودند و پارامترهای اندازه گیری شده پس از تصفیه شربت خام با بتنونیت و ژلاتین شامل کدورت، رنگ (طول موج ۴۲۰ نانومتر)، خاکستر، درجه خلوص اصلاح شده و قند انورت بودند که طبق روش استاندارد ایکومزا اندازه 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 مبنی بر مقدار قندهای مورد نظر نسبت به مواد غیر قندی 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.

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

۳-۲- طرح آزمایشی و آنالیز آماری

RSM^{10} جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل (شامل غلظت بتنونیت x_1 ، غلظت ژلاتین x_2 و زمان x_3) بر رنگ (ICU)، کدورت (NTU)، خاکستر (%)، درجه خلوص اصلاح شده (%) و قند انورت (%) شربت تصفیه شده با بتنونیت 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 بتنونیت 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، بتنونیت از نوع سدیم-کلسیم بتنونیت (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 دماسنج^۲، رفراکتومتر^۳، همزن مغناطیسی، اسپکتروفتومتر^۴، کدورت سنج^۵، بن ماری^۶، دستگاه کندانسور^۷، پلاریومتر^۸، کاغذ صافی واتمن^۹، اسید سیتریک، کربنات سدیم، محلول مولر، محلول ید، چسب نشاسته، تیوسولفات، اسید استیک، دماسنج 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 بتنونیت 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

10. Response Surface Methodology

قرار گرفت. در این تحقیق، طرح مرکب مرکزی صاف⁽¹⁾ (FCCD) با متغیرهای مستقل غلظت بتونیت، غلظت ژلاتین و زمان به کار گرفته شد. داده‌های به دست آمده در این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل 6.0.2 (میناپولیس آمریکا)⁽²⁾ مدلسازی شده و شکل‌های سه بعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شد. جهت تعیین نقطه بهینه از روش بهینه‌یابی عددی نرم افزار مذکور استفاده گردید. توابع پاسخ (y)، شامل رنگ، کدورت، درجه خلوص اصلاح شده، خاکستر و درصد قند انورت بودند. داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مدل چند جمله‌ای درجه دوم برازش داده شد و سپس از الگوریتم Stepwise به منظور کاهش تعداد جمله‌های غیر معنی‌دار مدل استفاده شد.

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_1^2+b_5x_2^2+b_6x_3^2+b_7x_1x_2+b_8x_1x_3+b_9x_2x_3+g(l)$$

ضرایب مدل چند جمله ای به صورت b_0 (عبارت ثابت)، b_1 ، b_2 (اثرات خطی)، b_{11} ، b_{22} ، b_{33} (اثرات درجه دوم) و b_{12} ، b_{13} ، b_{23} (اثرات متقابل) 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 ،^۳ پیشگویی شده^۴ و PRESS^۵ 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- برآزش مدل

به طور متداول جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2)، R^2 اصلاح شده و آزمون ضعیف برازش⁶ استفاده می شود. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعیف برازش 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 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 برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر می باشد. برای یک مدل با برازش خوب، مقدار R^2 بایستی حداقل ۰/۸ باشد [۹]. مقدار R^2 برای رنگ، کدورت، درجه خلوص اصلاح شده، خاکستر و انورت به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۸۴، ۰/۹۲، ۰/۹۰ و ۰/۹۹ به دست آمد. قابلیت پیش بینی کلی کارایی مدل به طور متداول توسط R^2 بیان می شود، ولی لازم به ذکر است که R^2 به تنهایی نمی تواند معیاری از صحت مدل باشد، زیرا اضافه کردن یک متغیر به مدل همیشه باعث افزایش R^2 می شود صرف نظر 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 ، 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 وابسته 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.

1. Face Central Composite Design
2. Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA
3. Adjusted- R^2
4. Predicted- R^2
5. Predication 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	رنگ (ICU)				درجه خلوص (%)				کلورت (NTU)			
	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس
Model	۸	۹۱۲۱/۴	۹/۴×۱۰ ^{-۱}	۰/۰۰۰۱	۷	۸۳/۵	۳۶۲۱	<۰/۰۰۰۱	۵	۶۲/۵۸	۸۲۰/۴۲	<۰/۰۰۰۱
Linear												
b_1	۱	-۶۵۱/۳	۱/۷×۱۰ ^۰	۰/۱۹	۱	-۰/۰۷۵	۵/۸۵	۰/۰۰۰۵	-	-	-	-
b_2	۱	-۱/۱×۱۰ ^۰	۲/۸×۱۰ ^۰	۰/۱۰	۱	۴۷/۸	۱/۵۶	۰/۰۳	۱	-۸۱۰/۵	۷۰/۳۳	۰/۰۲۴
b_3	۱	-۱۳۷/۲	۱/۳×۱۰ ^{-۱}	۰/۰۰۵۸	-	-	-	-	۱	-۰/۶۱	۲۴۷/۰۱	۰/۰۰۰۳
Quadratic												
b_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{22}	۱	۶۷×۱۰ ^۰	۱/۱×۱۰ ^{-۱}	۰/۰۰۴۲	۱	-۸۰۹/۱	۱/۷	۰/۰۳۶	۱	۷۹۲۲/۵	۲۵۴/۱۹	۰/۰۰۰۳
b_{33}	۱	۰/۹۰	۱/۰×۱۰ ^{-۱}	۰/۰۰۶۱	۱	-۰/۰۰۲۶	۹/۰۱	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-
Interaction												
b_{12}	۱	۴۵۴۷/۶	۴/۵×۱۰ ^۰	۰/۰۴۴	۱	-۷/۳۶	۱/۱۶	۰/۰۵۷	-	-	-	-
b_{13}	۱	۹/۰۶	۱/۲×۱۰ ^{-۱}	۰/۰۰۳۱	-	-	-	-	۱	۰/۱۳	۲۴۸/۶۵	۰/۰۰۰۳
b_{23}	۱	۴۲۲/۳۳	۸×۱۰ ^۰	۰/۰۱۱۸	۱	۰/۸۰	۲/۸۲	۰/۰۰۶۷	-	-	-	-
Residual	۱۱	-	۹/۷×۱۰ ^۰	-	۱۲	-	۳/۱۶	-	۱۴	-	۱۵۳/۶۴	-
Lack of fit	۷	-	۷×۱۰ ^۰	۰/۱۸	۷	-	۲/۵	۰/۱۴	۱۰	-	۱۰۲/۱۸	۰/۴۸
Pure error	۴	-	۲/۵×۱۰ ^۰	-	۵	-	۰/۶۶	-	۴	-	۵۱/۴۷	-
Total	۱۹	-	۱/۱×۱۰ ^{-۷}	-	۱۹	-	۳۹۳۷	-	۱۹	-	۹۷۴/۰۷	-
R^2	-	۰/۹۰	-	-	-	۰/۹۲	-	-	-	۰/۸۴	-	-
$R^2_{adjusted}$	-	۰/۸۴	-	-	-	۰/۸۷	-	-	-	۰/۷۹	-	-

ادامه جدول ۱

منبع	خاکستر (%)				قند انورت (%)			
	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس	DF	ضرایب	مجموع مربعات	p اندیس
Model	۶	۰/۵۷	۹/۱×۱۰ ^{-۳}	<۰/۰۰۰۱	۵	۰/۱۹	۳/۲۲	<۰/۰۰۰۱
Linear								
b_1	۱	۰/۰۱۵	۱/۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۰۴	۱	۰/۰۶	۰/۰۹	<۰/۰۰۰۱
b_2	۱	-۰/۰۹۰	۸/۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۰۰۶	-	-۲/۱۸	۸/۶×۱۰ ^{-۴}	۰/۵۹
b_3	۱	-۱/۰۵	۴/۹×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۶	۳/۰۴	<۰/۰۰۰۱
Quadratic								
b_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{22}	-	-	-	-	-	-	-	-
b_{33}	-	-	-	-	۱	-۶/۲×۱۰ ^{-۵}	۷/۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۱۰
Interaction								
b_{12}	۱	-۰/۱۶	۶/۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳	-	-	-	-
b_{13}	۱	-۲/۵۷	۱/۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۲۷	۱	-۲/۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰۳
b_{23}	۱	۰/۰۳	۴/۵×۱۰ ^{-۳}	<۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۴۵	۹/۲×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۹۲
Residual	۱۳	-	۹/۶×۱۰ ^{-۴}	-	۱۴	-	۰/۰۴۱	-
Lack of fit	۸	-	۸/۳×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۷۵	۹	-	۰/۰۳۵	۰/۱۲
Pure error	۵	-	۱/۳×۱۰ ^{-۴}	-	۵	-	۶/۵×۱۰ ^{-۳}	-
Total	۱۹	-	۰/۰۱	-	۱۹	-	۳/۲۴	-
R^2	-	۰/۹۰	-	-	-	۰/۹۹	-	-
$R^2_{adjusted}$	-	۰/۸۶	-	-	-	۰/۹۸	-	-

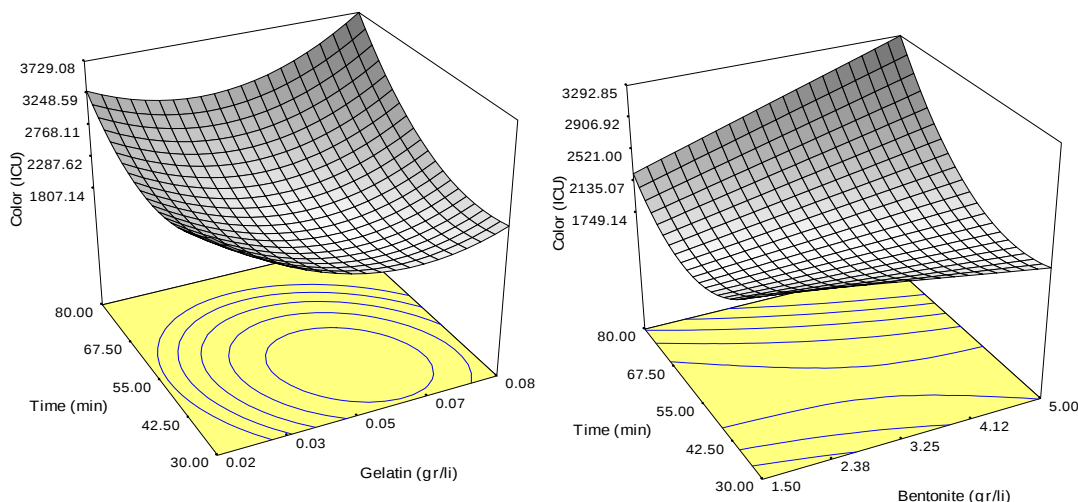
۳-۲- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر رنگ

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 عمدتاً 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 درحالی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار داشت بررسی شد. شکل ۱ اثر زمان واکنش و غلظت بتونیت (در حالی که غلظت ژلاتین ۰/۰۵ gr/li است) و غلظت ژلاتین و زمان واکنش (درحالی 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.

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 ۰/۰۵ gr/li میزان رنگ شربت کاهش یافته است ولی با افزایش آن تا ۰/۰۸ gr/li رنگ افزایش یافته است (شکل ۱). ارایا فاریاز و همکاران (۲۰۰۸) با تحقیقی که روی شفاف سازی آب سیب با روش الکتروفلوتاسیون انجام دادند، نشان دادند که در صورت استفاده از ۲۰۰ ppm ژلاتین همراه تیمار الکتروفلوتاسیون، یک افزایش معنی داری در درصد عبور نور در مقایسه با آب سیب شفاف شده با پکتیناز و آب سیب شفاف شده با الکتروفلوتاسیون 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.



شکل ۱ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) زمان و بنتونیت (0.05 gr/li ژلاتین) و (ب) زمان و ژلاتین

($3/25 \text{ gr/li}$ بنتونیت) بر رنگ شربت تصفیه شده با استفاده از بنتونیت-ژلاتین

ارایا فاریاز و همکاران (۲۰۰۸) اعلام کردند که ارتباط مستقیمی بین مقدار کدورت و غلظت پروتئین و تانن در عصاره سیب وجود دارد. کاهش مقدار کدورت به معنی پایین بودن مقادیر تانن و پروتئین می باشد. نتایج تحقیقات آن ها نشان داد که افزایش مقدار ژلاتین افزوده شده به عصاره سیب موجب بهبود جداسازی تانن ها و پروتئین ها توسط فرآیند الکتروفلوتاسیون می شود. در pH آب سیب تانن ها، پروتئین ها و بیشتر ترکیبات فنلی دارای بار منفی با ژلاتین که دارای بار مثبت است تشکیل کمپلکس های نامحلول می دهند. این کمپلکس ها تشکیل فلوک داده و هنگام فیلتراسیون از عصاره تیمار شده حذف می شوند و این موضوع کاهش مقدار تانن و پروتئین ها و در نتیجه کاهش کدورت شربت را با افزایش مقدار افزودن ژلاتین توجیه می کند [۱۱]. نتایج مشابهی نیز توسط سیبرت و همکاران (۱۹۹۶) گزارش شده است [۱۴]. سینگ و گاپتا (۲۰۰۴) نیز اعلام کردند که افزایش غلظت ژلاتین تا 0.15 درصد باعث کاهش کدورت عصاره سیب تیمار شده با آنزیم و ژلاتین گردید ولی با افزایش ژلاتین افزوده شده بیشتر از این مقدار، کدورت شربت افزایش یافت. نتایج آن ها نشان داد که در صورتی که از آنزیم پکتینو لیتیک همراه ژلاتین

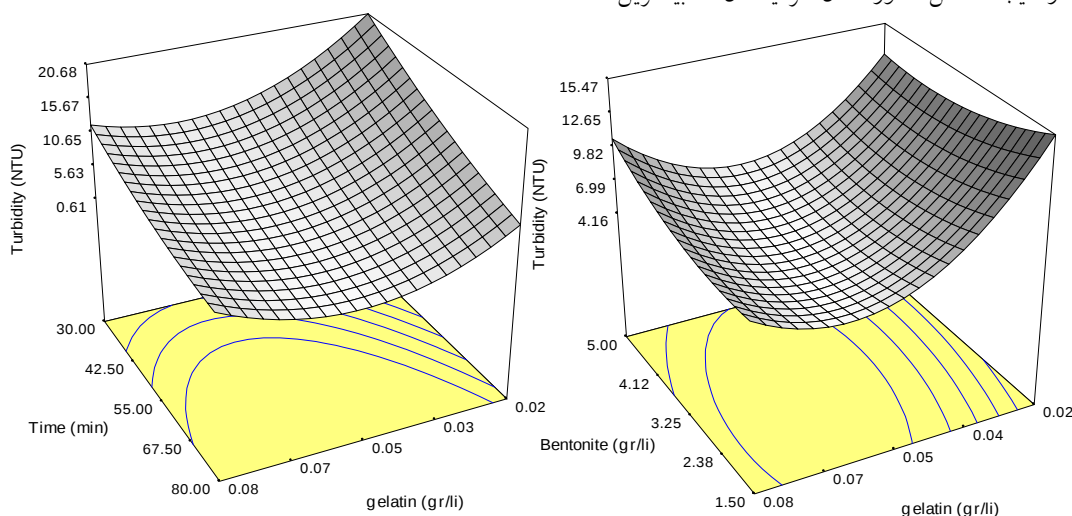
۳-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر کدورت

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 ($P < 0.01$). نتایج نشان داد که در دما و pH ثابت، کدورت شربت عمدتاً 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 می شود در زمان ثابت (۵۵ دقیقه) افزایش غلظت ژلاتین تا حدود 0.05 گرم بر لیتر باعث کاهش کدورت شربت با شیب 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 رنگ بود. در مورد بنتونیت نیز تقریباً چنین روندی وجود دارد، با افزایش مقدار بنتونیت کدورت شربت ابتدا به صورت آهسته کاهش و سپس 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. آن ها همچنین اعلام کردند که با افزایش دما در محدوده مطالعه شان (50°C - ۸) درصد عبور نور از آب سیب 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 بنتونیت ۲/۷۸ گرم بر لیتر تصفیه شد.

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

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود افزایش زمان تاثیر مثبت بر کدورت شربت گذاشته است و با افزایش زمان کدورت شربت کاهش یافته است. این نتایج مطابق پژوهش سینگ و گاپتا (۲۰۰۴) است. آن ها نشان دادند که افزایش زمان تماس آنزیم و ژلاتین در درجه حرارت های مختلف، موجب افزایش شفافیت آب سیب و در نتیجه کاهش کدورت آن گردید. آن ها بیشترین



شکل ۲ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) غلظت ژلاتین و بنتونیت (time = ۵۵ min) و (ب) زمان و ژلاتین

(۳/۲۵ gr/li = بنتونیت) بر کدورت شربت تصفیه شده با استفاده از بنتونیت-ژلاتین

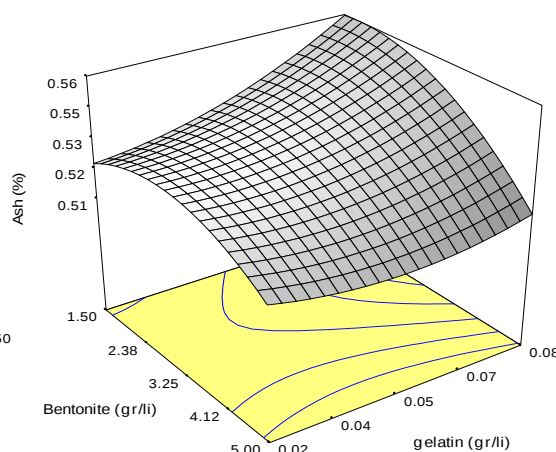
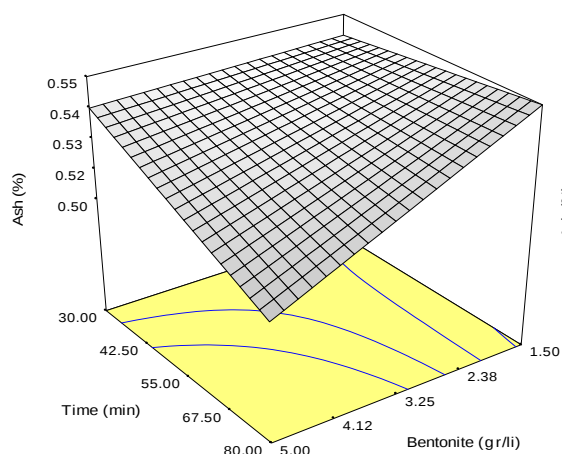
ژلاتین نیز باعث افزایش خاکستر شربت شد ولی غلظت های پایین آن اثر مثبتی بر کاهش خاکستر شربت داشت. همان طور که در شکل مشخص است در مقادیر پایین ژلاتین و زمان های بالاتر با افزایش بنتونیت مقدار کاهش خاکستر بیشتر است (شکل ۳). با افزایش زمان میزان جذب عناصر تشکیل دهنده خاکستر شربت توسط بنتونیت افزایش یافت به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

۳-۴- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خاکستر

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان خاکستر شربت تصفیه شده با بنتونیت و ژلاتین، نشان می دهد که مقدار خاکستر به غلظت بنتونیت، ژلاتین و زمان فرآیند بستگی داشته و اثرات خطی متغیرهای بنتونیت ($P < 0.001$)، ژلاتین ($P < 0.01$)، زمان ($P < 0.05$) و همچنین اثرات متقابل هر سه متغیر مستقل در مدل معنی دار بود (جدول ۱).

در مقادیر پایین بنتونیت خاکستر شربت به طور چشمگیری تحت تاثیر غلظت بنتونیت قرار نگرفته ولی با افزایش بنتونیت به مقادیر بالاتر، مقدار خاکستر با شیب 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. آن ها عنوان کردند که افزایش pH موجب کاهش رقابت بین پروتون ها و یون های فلزی برای مکان های جذب در سطح بنتونیت می شود در نتیجه یک افزایش جذب قابل توجهی در جذب یون های فلزی توسط بنتونیت صورت می گیرد [۱۶].



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

لیتر)، افزایش بنتونیت اندکی باعث کاهش درصد قند انورت شربت گردید (شکل ۴). کاهش مقدار قند انورت در اثر افزایش غلظت بنتونیت، احتمالاً به دلیل جذب سطحی آن توسط بنتونیت می باشد زیرا بنتونیت بعضی مولکول های بدون بار (از جمله قند انورت، هیدروکسی متیل فورفورال و ...) را از طریق جذب سطحی جذب و از محیط حذف می کند (فرمانی و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به معنی دار نبودن تاثیر غلظت ژلاتین ($P > 0/05$) چنین نتیجه گیری می شود که تغییرات قند انورت شربت نسبت به مقدار ژلاتین حساسیت چندانی ندارد. این عدم وابستگی در نمودار رویه ها نیز به خوبی مشهود است (شکل ۴)، به طوری

ترکیبات عامل کدورت در عصاره سیب توسط بنتونیت افزایش می یابد [۱۷]. دلیل افزایش درصد جذب عناصر با افزایش غلظت بنتونیت بخاطر افزایش ناحیه سطح جذبی و افزایش در دسترس بودن مکان های جذب می باشد [۱۸]. این محققان اعلام کردند که دما تاثیر مثبتی بر جذب عناصر توسط بنتونیت 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 بنتونیت با زمان رابطه خطی داشته و با افزایش زمان در

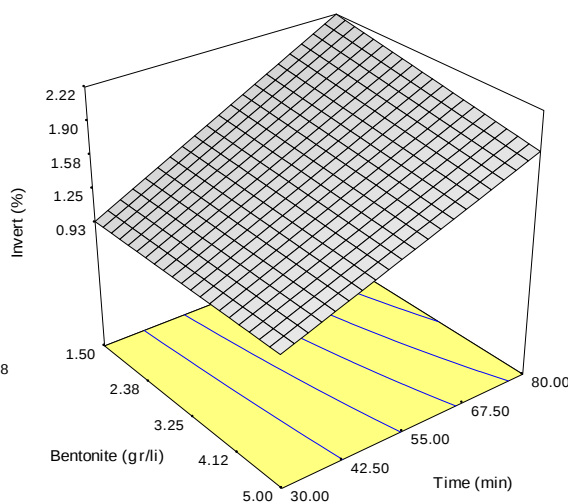
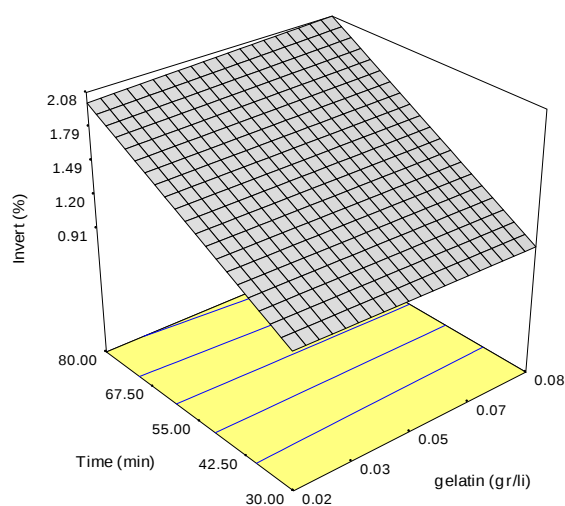
۳-۵- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر قند انورت

غلظت بنتونیت و زمان اثر معنی دار و مشابهی بر مقدار قند انورت شربت تصفیه شده با بنتونیت و ژلاتین داشتند (جدول ۱). اثر خطی ژلاتین معنی دار نبود. تنها مقدار بنتونیت و زمان فرآیند اثر متقابل و معنی داری بر قند انورت شربت داشتند ($P < 0/001$). درصد قند انورت عمدتاً تحت تاثیر زمان و مقدار بنتونیت قرار دارد و تقریباً تحت تاثیر مقدار ژلاتین قرار نگرفته است.

اثرات مقدار بنتونیت، 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 بنتونیت و ژلاتین، تولید قند مایع انورته می باشد، لذا قندهای گلوکز 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 بنتونیت و زمان (0.05 gr/li ژلاتین) و (ب) زمان و ژلاتین

(۳/۲۵ gr/li بنتونیت) بر قند انورت شربت تصفیه شده با استفاده از بنتونیت-ژلاتین

($P < 0.001$) به صورت خطی اثرات معنی داری بر درجه خلوص شربت داشتند. اثر درجه دوم غلظت ژلاتین، زمان واکنش و اثر متقابل زمان و مقدار ژلاتین به ترتیب در سطوح ۵ درصد، ۰/۰۱ درصد و ۱ درصد معنی دار بودند. نتایج نشان داد که در دما و pH ثابت، درجه خلوص شربت عمدتاً تحت تاثیر غلظت بنتونیت و غلظت ژلاتین و تا حد کمتری زمان واکنش قرار دارد.

۳-۶- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر درجه

خلوص اصلاح شده

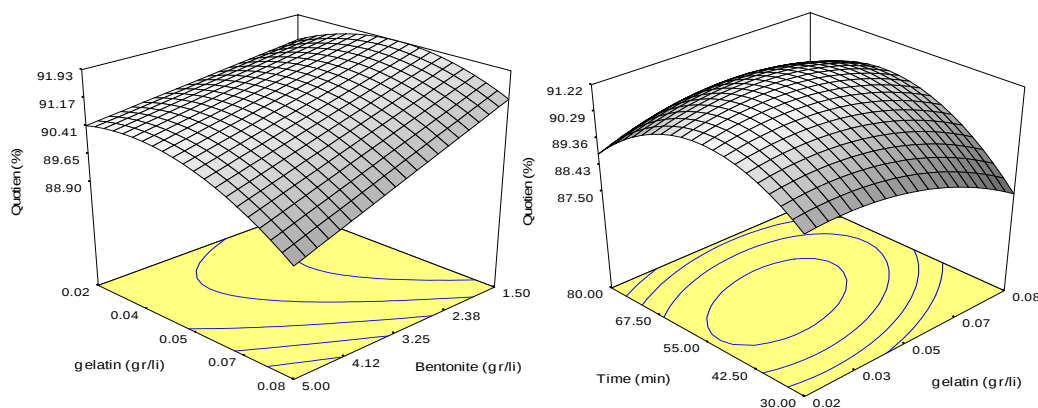
روند تغییرات درجه خلوص اصلاح شده شربت در روش تصفیه با بنتونیت و ژلاتین با متغیرهای غلظت بنتونیت، ژلاتین و زمان واکنش در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج موجود در جدول ۱ نشان می دهد غلظت بنتونیت ($P < 0.005$) و ژلاتین

این خاطر است که با افزایش مقدار بنتونیت میزان رنگ و کدورت شربت افزایش می یابد، یعنی بنتونیت 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 بنتونیت کاهش و میزان رنگ شربت افزایش یافته است. علاوه بر این در زمان های بالاتر به دلیل هیدرولیز بیشتر ساکارز، ترکیبات رنگی و جانبی دیگر به مقدار بیشتری تولید می شود به طوری که میزان جذب این ترکیبات توسط بنتونیت 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 شیب 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 ۰/۰۵-۰/۰۶ 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 بنتونیت تاثیر منفی بر درجه خلوص اصلاح شده شربت گذاشت به طوری که با افزایش غلظت بنتونیت درجه خلوص شربت کاهش یافت (شکل ۵). دلیل این امر احتمالاً به



شکل ۵ نمودار سطح پاسخ اثر (الف) زمان و ژلاتین (۳/۲۵ gr/li = بنتونیت) و (ب) غلظت بنتونیت و ژلاتین

(time = ۵۵ min) بر درجه خلوص اصلاح شده شربت تصفیه شده با استفاده از بنتونیت-ژلاتین

۷-۳- بهینه سازی^۱

شرایط بهینه برای تصفیه شربت خام چغندر قند به طوری 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 بنتونیت و ژلاتین به ترتیب برابر ۱/۵۵ و ۰/۰۴ گرم بر لیتر و زمان ۶۸/۶ دقیقه بود. شربت تصفیه شده با این شرایط دارای حداقل مقدار رنگ یعنی ۱۹۷۳ (ICU)، کدورت ۱/۰۶ (NTU) و خاکستر ۰/۵۴ (%) با حداکثر مقدار درجه خلوص اصلاح شده معادل ۹۱/۴ درصد و قند انورت ۱/۹۵ درصد بود.

جدول ۲: مقادیر بهینه پیشگویی شده متغیرهای مستقل فرآیند تصفیه شربت شامل بنتونیت، ژلاتین و زمان در pH= ۴/۵ و دمای ۷۵ °C

متغیر مستقل	حداقل	حداکثر	مقدار بهینه
بنتونیت (gr/li)	۱/۵	۵	۱/۵۵
ژلاتین (gr/li)	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۴
زمان (min)	۳۰	۸۰	۶۸/۶

۴- مقایسه نقطه بهینه به دست آمده از

روش بنتونیت-ژلاتین با روش تصفیه

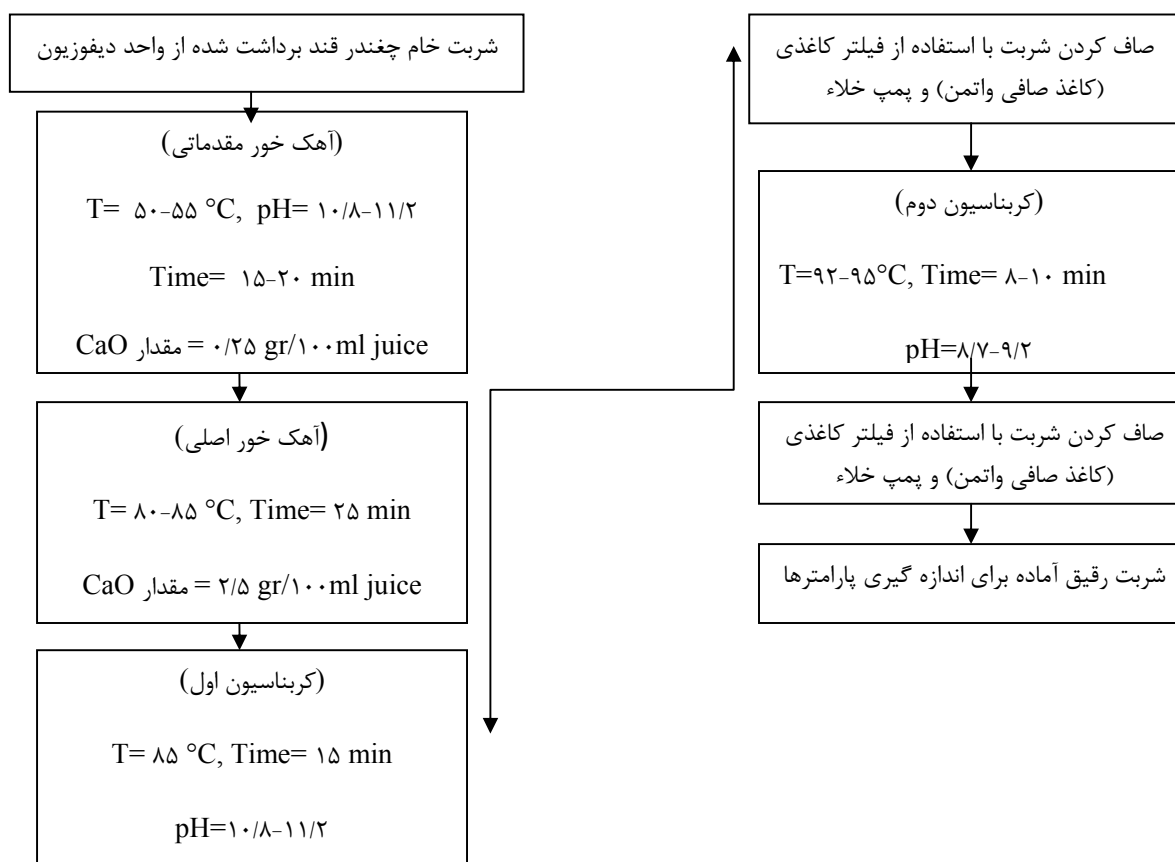
کلاسیک

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

بنتونیت-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 بنتونیت-ژلاتین از نظر آماری متفاوت بود

($P < 0/01$) و استفاده از بنتونیت 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 بنتونیت 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 آنزیمی و غیر آنزیمی 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 بنتونیت-ژلاتین نسبت به روش تصفیه کلاسیک بسیار کمتر بود (جدول ۳). میزان کاهش خاکستر شربت در روش کلاسیک نسبت به بنتونیت-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 ($P > 0/05$).



شکل ۶ مراحل تصفیه شریت خام با روش کلاسیک (آهک زنی- کربناسیون)

کاهش ساکارز بود که دلیل آن احتمالاً این است که از هیدرولیز یک مولکول ساکارز دو مولکول گلوکز و فروکتوز حاصل می شود.

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 کلاسیکی در آهک خور دوم در دما و قلیائیت بالا قند انورت تجزیه شده و به اسید و رنگ تبدیل می شود در حالی که در روش تصفیه با بتونیت-ژلاتین به دلیل pH پایین شرایط آزمایش، ساکارز تجزیه شده و میزان قند انورت افزایش می یابد. هدف از تصفیه شریت با بتونیت-ژلاتین در این تحقیق تولید قند مایع انورته است لذا قند انورت تولید شده بر خلاف صنعت تولید قند و شکر، به عنوان

همان طور که مشاهده می شود 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 شریت 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 شریت، با توجه به هدف عنوان شده برای این تحقیق و رابطه ۱، در فرآیند تصفیه شریت با بتونیت علاوه بر ساکارز، قندهای انورت نیز به عنوان قندهای مطلوب و مورد نظر محسوب می شود. بنابراین با توجه به شرایط آزمایشات هر چند بخشی از ساکارز هیدرولیز شده و میزان آن کاهش می یافت ولی میزان افزایش قند انورت بیش از

محصول نهایی و مطلوب محسوب می شود که با هدف صنعت تولید قند مایع انورته مطابقت دارد.

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

کربناسیون		
پارامترهای تصفیه	تصفیه کلاسیک	تصفیه با بتونیت-ژلاتین
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

۵- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این تحقیق حاکی از آن بود که متدولوژی سطح پاسخ را می توان 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 منفی 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 ته نشینی رسوبات بسیار کارآمد بوده و با ادامه سایر کارهای تحقیقاتی بیشتر می تواند 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 فراوری 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 قربانعلی قربانی و تمام اعضاء پرسنل محترم آزمایشگاه کارخانه ویژه خانم مهندس مینو قوام نصیری (مدیر کنترل 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.

- [13] Farmani, B., Haddade khodaparast, M. H., Hesari, J. and Rezaii Iraqi. E. 2005. Refining of raw sugarcane juice with bentonite: 1- Detemination 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.
- Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321 (10): 1478-1481.
- [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- Detemination 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., Makhoulouf, J. 2008. Clarification of apple juice by electroflotation. *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