

حذف ناخالصی‌های شکر خام نیشکر در فرآیند فراپالایش ارتقاء یافته با استفاده از عامل فعال سطحی غیر یونی

وحید حکیم زاده^{۱*}، محمد الهی^۲، سید محمود موسوی^۳، سید محمدعلی رضوی^۴

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول (vahid_hakimzadeh@yahoo.co.nz)

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۲۱

واژه‌های کلیدی

تویین ۲۰

عامل فعال سطحی

غشاء

فراپالایش ارتقاء یافته

در این تحقیق، استفاده از عامل فعال سطحی غیر یونی تویین ۲۰ در فرآیند فراپالایش ارتقاء یافته با عامل فعال سطحی (MEUF) به منظور کاهش ناخالصی‌های شکر خام نیشکر نظیر کدورت، رنگ، کل ماده حل شده (TDS) و نشاسته مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین، تغییرات شار تراوه نیز بررسی شد. تاثیر پارامترهای دما (در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد)، فشار در عرض غشاء (در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ بار) و غلظت عامل فعال سطحی (در سه سطح) با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) بر میزان کاهش ناخالصی‌های مذکور در شکر خام نیشکر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از عامل فعال سطحی تویین ۲۰ در بهترین حالت منجر به کاهش رنگ، کدورت و نشاسته به ترتیب به میزان ۹۴، ۹۸ و ۷۲ درصد نسبت به خوراک در مقایسه با فرآیند فراپالایش متعارف شد، اما در کاهش TDS موفقیت زیادی نداشت و نهایتاً به ۳۴ درصد رسید. شار تراوه نیز با افزایش غلظت عامل فعال سطحی کاهش یافت. پارامترهای مدنظر در این تحقیق به طور معنی‌داری در کاهش رنگ، کدورت، TDS و نشاسته تاثیرگذار بودند.

مقدمه

صنعت قند لازم و ضروری به نظر می‌رسد

(Hakimzadeh et al., 2006).

با این حال استفاده از فرآوری غشایی به صورت جایگزینی کامل یا جزئی در فرآیند مرسوم شاید به دلیل مواردی مانند گرفتگی غشاء، کاهش شار و یا عدم جداسازی ترکیبات کوچک ملکول و یونها هنوز نتوانسته کاربرد کامل و مطمئنی را در تصفیه شکر خام پیدا کند. به عنوان مثال غشاءهای میکروفیلتراسیون و فراپالایش با توجه به اندازه

در تصفیه‌خانه‌های شکر خام هدف اصلی جداسازی ناخالصی‌ها و ترکیبات غیرقندی مخصوصاً ترکیبات رنگی می‌باشد. متأسفانه روش‌های مرسوم آهک زنی- کربناسیون و فسفاتاسیون مستلزم صرف انرژی بالا و آلودگی محیطی شدید است. از این رو مطالعه فرآیندهای جدید مانند فرآوری‌های غشایی به منظور افزایش کارایی و بهبود فرآیند تصفیه، کاهش هزینه‌های انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست در

مایسل به خصوصیات عامل فعال سطحی و ساختار ماده حل شده بستگی دارد. (لایه پالیزد در مایسل‌ها بین سر آبدوست و اولین اتم‌های کربن از دم آگریز ملکول واقع شده است که از هسته مایسل دورتر می‌باشد) (Puasa *et al.*, 2011).

از این رو هدف از این تحقیق بهبود کارایی فرآیند فرآپالایش در کاهش هر چه بیشتر ناخالصی‌ها و بهبود خصوصیات شکر طی فرآیند تصفیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز برای آزمایشات

غشاء: در این آزمایشات از غشاء UF نوع تخت و از جنس پلی اترسولفون ساخت شرکت سپرو آمریکا استفاده شد. مشخصات این غشاء در جدول ۱ آمده است

عامل فعال سطحی: در این تحقیق از عامل فعال سطحی غیریونی تویین ۲۰^۴ استفاده گردید که از شرکت مرک تهیه شد.

شکرخام: از شکر وارداتی توسط شرکت بازرگانی ایران با درجه کیفیت VHP^۵ تهیه گردید.

تجهیزات

پایلوت غشایی: در این تحقیق از یک سیستم پایلوتی با جریان عرضی و برگشت کامل جریان ناتراوه استفاده شد که شماتیک آن در شکل ۱ دیده می‌شود. این پایلوت دارای تانکی با ظرفیت حدود ۱۰ لیتر از جنس پلاستیک مجهز به همزن و یک ترمومتر بود که برای انتقال خوراک به شکل کاملاً همگن و با دمای مورد نظر به سمت غشاء تعبیه گردیده است. برای انتقال خوراک و به جریان درآوردن آن و تامین فشار عملیاتی لازم از یک پمپ فشار قوی ۳ فاز رفت و برگشتی با قدرت ۲-۳ کیلو وات استفاده شد. در مسیر انتقال جریان خوراک به سمت مدول غشایی یک مبدل حرارتی لوله‌ای برای کنترل دمای مورد نظر خوراک به کار رفته است. مدول غشایی به کار رفته در این پایلوت از نوع دیسکی و از جنس استیل بوده که دارای قطر موثر ۹/۵ cm می‌باشد. دو فشارسنج بر

حفرات‌شان نمی‌توانند کارایی مطلوبی در حذف برخی ترکیبات از جمله یون‌ها و یا برخی از ترکیبات آلی با وزن ملکولی کم داشته باشد. استفاده از نانوفیلتراسیون و یا اسمز معکوس برای جداسازی ترکیبات با وزن ملکولی کم نیز به واسطه فشار عملیاتی بالا گران بوده و مقرون به صرفه نیستند. از طرفی میزان شار فرآیند فرآپالایش با توجه به این که در فشار عملیاتی پایین تری نسبت به نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس کار می‌کند در مقایسه با این فرآیندها بیشتر است (Huang *et al.*, 2009).

یکی از روش‌های بهبود فرآوری غشایی استفاده از روش ترکیبی یا هیبریدی به خصوص با فرآپالایش است که می‌تواند در کاهش نقص‌های فوق در صنعت تصفیه شکر موثر باشد. از رایج‌ترین روش‌های هیبریدی یا ترکیبی می‌توان به تکنیک فرآپالایش ارتقاء یافته با عوامل فعال سطحی^۱ یا فرآیند MEUF اشاره کرد. در این تکنیک با افزودن عامل فعال سطحی به محلول و رساندن غلظت آن به مقداری که غلظت بحرانی تشکیل مایسل^۲ (CMC) نام دارد، مونومرهای عامل فعال سطحی به یکدیگر ملحق شده و توده‌های کروی شکلی تحت عنوان مایسل تشکیل می‌دهند. در این حالت به واسطه نیروهای الکترواستاتیکی بین ترکیبات و مایسل‌های تشکیل شده و یا در اثر برهم کنش هیدروفوبی با دم منومرها در هسته مایسل، ناخالصی‌های مختلف با مایسل‌ها جذب شده و این ذرات به واسطه اندازه بزرگ مایسل‌ها دیگر قادر به عبور از حفره‌های اولترافیلتر نیستند و به این ترتیب علاوه بر حذف موثر ترکیبات بسیار کوچک، میزان گرفتگی دائمی غشاء نیز کاهش می‌یابد (Kim *et al.*, 2006; Aguirre *et al.*, 2009; Myers, 2006; Jansen, 2010).

در فرآیند MEUF کاتیون‌ها و آنیون‌ها و ترکیبات باردار با سر آبدوست عامل فعال سطحی با بار مخالف پیوند برقرار می‌کنند اما مواد آلی از طریق نیروهای واندروالسی درون لایه پالیزد^۳ و یا درون مرکز مایسل قرار می‌گیرند. میزان حل شدن ترکیبات آلی در مرکز

- 1- Micelle Enhanced Ultrafiltration
- 2- Critical Micelle Concentration (CMC)
- 3- Palisade

- 4- Tween 20
- 5- Very High Pol

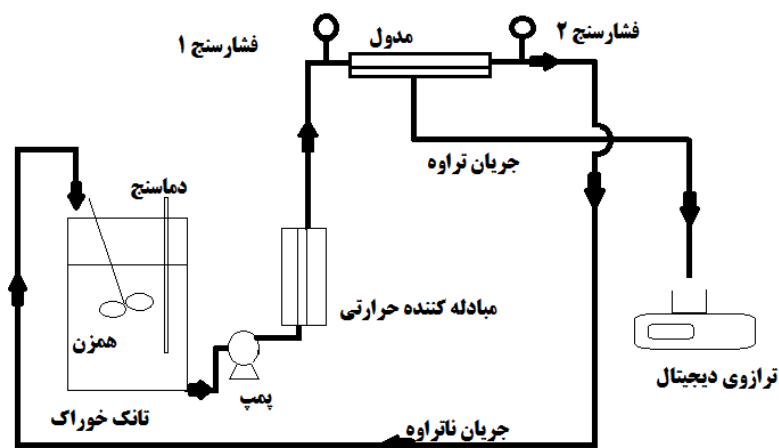
کدورت سنج: این دستگاه برای اندازه‌گیری کدورت نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه از نوع لوترون و ساخت کشور آمریکا می‌باشد. دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی: این دستگاه از نوع EC 400 و ساخت کشور آمریکا می‌باشد و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و TDS استفاده گردید.

روی جریان ورودی و جریان ناتراوه قرار داشت که برای تعیین فشار عملیاتی مورد نظر استفاده گردید (Cheryan, 1986).

اسپکتروفتومتر: برای اندازه‌گیری میزان رنگ و مقدار نشاسته موجود در جریان تراوه از یک اسپکتروفتومتر ساخت شرکت "جن وی" انگلستان استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات غشاء

دمانه pH قابل تحمل	دامنه دمای قابل تحمل (°C)	دامنه فشار قابل تحمل	MWCO	جنس غشاء	نوع	شار با آب خالص (lit/m ² h)
۱/۵-۱۰/۵	تا ۶۰ درجه	تا ۱۰ بار	۶ K PEG	پلی اترسولفون	صفحه ای	۴۵



شکل ۱- شماتیک پایلوت غشایی فرابالایش برای تصفیه شکر خام به روش MEUF

دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد و برای عملیات غشایی آماده گردید.

آزمون‌ها

شار جریان تراوه: شار جریان تراوه با اندازه‌گیری جرم آن در فواصل زمانی ۱ دقیقه‌ای و با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی تعیین شد و سپس مقدار آن با توجه به دانسیته شربت بر اساس Lit/m²h گزارش شد.

کدورت: کدورت جریان تراوه بر اساس واحد NTU و با دستگاه کدورت سنج اندازه‌گیری شد.

رنگ: اندازه‌گیری رنگ دقت زیادی را می‌طلبد. برای اندازه‌گیری رنگ از دستورالعمل ایکومزا استفاده گردید. بدین ترتیب که ابتدا pH شربت به 7 ± 0.1 رسانده شد که برای این منظور از هیدروکسید سدیم

آماده‌سازی نمونه

برای تهیه شربت، ابتدا آب مقطر به میزان مورد نیاز و بر اساس حجم مخزن پایلوت به دمای مورد نظر رسانده می‌شد و سپس شکر خام درون آن حل می‌گردید تا به بریکس ۳۵ برسد. لازم به ذکر است که بریکس مذکور بر دو اساس انتخاب گردید: ۱- رسیدن به شار مناسب بر اساس خصوصیات غشاء موجود ۲- صرف کمترین انرژی برای تغلیظ شربت

عامل فعال سطحی نیز به مقدار مورد نظر ($CMC=0.06mM$) ابتدا درون یک ارلن با کمی از شربت و با یک همزن مغناطیسی ساخت شرکت فالک ایتالیا با ۳۰۰ دور در دقیقه به خوبی مخلوط و حل گردید و سپس به درون شربت مخزن اصلی انتقال داده شد و در آن جا با همزنی به شدت ۱۱۰ دور در

به بالن‌ها اضافه گردید تا حجم تمام آن‌ها به حدود ۱۰ میلی‌لیتر برسد. بعد از این مرحله به هر یک از بالن‌ها ۱۵ میلی‌لیتر کلسیم کلراید- اسید استیک اضافه گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در حمام بخار حرارت داده شد. با افزودن ۱۵ میلی‌لیتر اسید استیک ۰/۳۳ مولار، ۵ میلی‌لیتر KIO_3 و ۰/۵ میلی‌لیتر KI به هر بالن، آن‌ها به حجم رسانده شد و میزان جذب آن‌ها را در ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید و بدین ترتیب نموداری بر حسب مقدار غلظت نشاسته و مقدار جذب بدست آمد که بایستی خط راست باشد. برای بدست آوردن میزان نشاسته شکر خام و یا شربت نیز به همین ترتیب عمل کرده و با اندازه‌گیری جذب آن و قرار دادن در منحنی استاندارد غلظت نشاسته آن به دست آمد (ICUMSA, 2009).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تاثیر سه پارامتر عملیاتی یعنی دما در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد، فشار در عرض غشاء در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ بار و غلظت عامل فعال سطحی در سه سطح صفر، ۱CMC و ۲CMC در طرح باکس- بنکن^۲ بر تغییرات صفات مورد بررسی به روش سطح پاسخ (RSM) و در مدل مربع کامل که در رابطه ۴ آمده است، با نرم افزار مینی تب ورژن ۱۶ مورد بررسی قرار گرفت:

رابطه (۴)

$$f = b_0 + b_1T + b_2T^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5C + b_6C^2 + b_7TP + b_8TC + b_9CP$$

که در این مدل T بیانگر پارامتر دما، P پارامتر فشار در عرض غشاء و C پارامتر غلظت عامل فعال سطحی می‌باشد.

تعداد عملیات‌های آزمایشی، سطوح تیمارهای لحاظ شده در آن‌ها و عملیات‌های تکراری که به روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار گرفت در جدول ۲ آمده است.

۰/۱ مول بر لیتر استفاده گردید. بعد از آن محلول با کاغذ صافی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرومتر صاف شد و درون سل تمیز به قطر ۱ سانتی‌متر ریخته شد و جذب آن در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. علاوه بر این میزان مواد جامد رفاکتومتری (RDS) و دمای محلول نیز اندازه‌گیری گردید و بوسیله این دو فاکتور، دانسیته محلول از طریق جداول مخصوص مشخص شد و نهایتاً رنگ محلول از طریق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{ICUMSA Color} = \frac{10^5 \times A}{b \times RDS \times \rho} \quad (1)$$

هم چنین با توجه به رابطه درصد مواد جامد (RDS) و دانسیته از رابطه تجربی زیر نیز می‌توان به دانسیته دست یافت:

$$\rho = (0.0055 \times RDS) + 0.9714 \quad (2)$$

که با جایگزینی خواهیم داشت:

رابطه (۳)

$$\text{ICUMSAColor} = \frac{10^5 \times A}{b \times RDS \times [(0.0055 \times RDS) + 0.9714]}$$

که A میزان جذب نور محلول در طول موج ۴۲۰ نانومتر، b طول سل، ρ دانسیته محلول و RDS درصد ماده جامد رفاکتومتری یا همان بریکس شربت می‌باشد (ICUMSA, 2011).

TDS: مقدار کل مواد جامد حل شده یا همان TDS مستقیماً از دستگاه هدایت سنج بر حسب پی‌پی‌ام قرائت گردید.

نشاسته: برای تعیین میزان نشاسته ابتدا بایستی منحنی استاندارد تهیه گردد. برای این منظور ابتدا به هفت عدد بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری و هر کدام ۳/۶ گرم ساکارز بدون نشاسته و خالص اضافه گردید. سپس با استفاده از پیپت به ترتیب صفر، ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ میلی‌لیتر محلول نشاسته استاندارد ۱۸۰ mg/lit که با نشاسته خالص سیب‌زمینی تهیه شده اضافه شد. به این ترتیب غلظت نشاسته در هر یک از بالن‌ها به ترتیب به ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (پی‌پی‌ام) رسید. سپس به ترتیب ۱۰، ۹، ۸، ۶، ۴، ۲ و صفر میلی‌لیتر آب مقطر

2- Box-bhenken

3- Response Surface Method (RSM)

1- Refractometric Dry Solid

جدول ۲- تعداد عملیات های آزمایشی و سطوح تیمار و تکرار

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
دما (درجه سانتی گراد)	۳۰	۵۰	۳۰	۵۰	۳۰	۵۰	۳۰	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
فشار (بار)	۲	۲	۵	۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۲	۲	۵	۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵
غلظت (CMC)	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۲	۲	۰	۰	۲	۲	۱	۱	۱

نتایج و بحث

شار

همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود با افزایش دما میزان شار با روند ملایمی افزایش پیدا کرد. اما افزایش فشار در عرض غشاء تاثیر بیشتری نسبت به دما بر میزان شار جریان تراوه داشت (شکل ۲-a). همچنین با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در تمام سطوح دما و فشار، میزان شار جریان تراوه کاهش یافت. با افزایش غلظت عامل فعال سطحی تعداد مایسل‌ها افزایش یافته و تجمع آنها در سطح غشاء بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر لایه پلاریزاسیون غلظت در سطح غشاء ضخیم‌تر شده و شار کاهش می‌یابد. لایه تجمع یافته مایسل در سطح غشاء (MAL)^۱ سبب افزایش مقاومت بیشتر غشاء در برابر نفوذپذیری غشاء می‌شود (Rahmanian *et al.*, 2012; Ghosh & Bhattacharya, 2006) (شکل‌های ۲-b و ۲-c).

مطابق با همین نتایج می‌توان بهبود میزان شار جریان تراوه به واسطه افزایش فشار و دما را در نتایج بسیاری از محققین مشاهده نمود. Kamble و

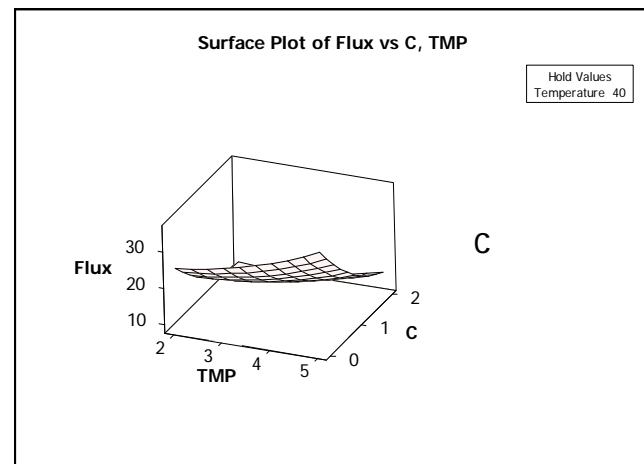
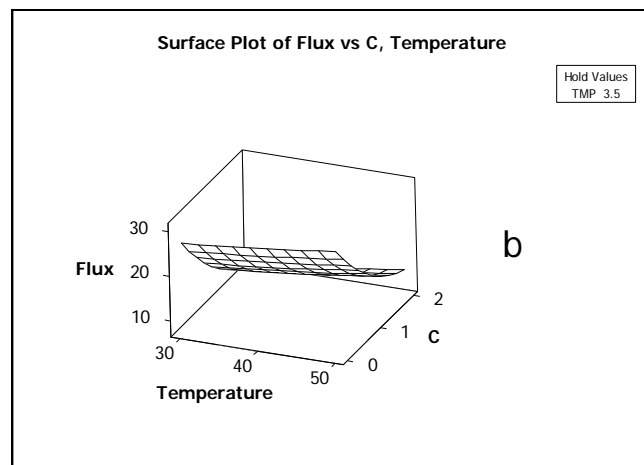
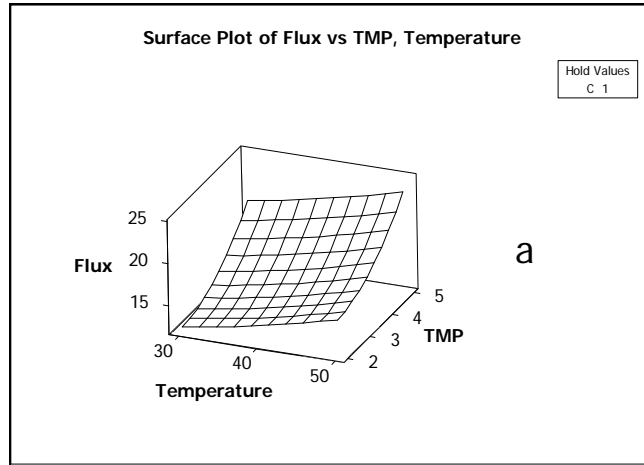
همکاران (۲۰۰۵) برای جدا سازی کروم از فرآیند MEUF استفاده کردند. در تحقیقات ایشان مشاهده شد که با افزایش فشار عملیاتی میزان شار جریان تراوه به صورت خطی افزایش یافت و لایه پلاریزاسیون غلظت و غلظت مایسل‌ها نیز در سطح غشاء افزایش پیدا کرد. افزایش شار تراوه با افزایش فشار از قانون دارسی تبعیت می‌کند:

$$\text{Flux} = L_p \times \Delta P \quad \text{رابطه (۵)}$$

که ΔP میزان فشار در عرض غشاء و L_p تراوش پذیری غشاء می‌باشد.

همچنین نتایج تحقیقات kamble و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که با افزایش دما میزان شار جریان تراوه نیز به صورت خطی افزایش یافت. این محققین کاهش گرانیروی به واسطه افزایش دما را عامل بهبود شار معرفی کردند.

Drews و همکاران (۲۰۱۰) نیز طی مدل سازی مقدار شار محلولی حاوی عامل فعال سطحی با فرآیند فرآپالایش بر تاثیر فشار و دما بر بهبود میزان شار تاکید کردند.



شکل ۲- تأثیر دما، فشار و غلظت عامل فعال سطحی بر میزان شار جریان تراوه

افزایش غلظت عامل فعال سطحی با تشکیل مایسل‌های بیشتر ترکیبات معلق بیشتری را درون خود جذب کرده و به این ترتیب کدورت را کاهش داد. نتایج بسیاری از محققین نیز نشان داد که با افزایش غلظت عامل فعال سطحی درصد دفع ترکیبات مختلف آلی و غیرآلی افزایش می‌یابد (Ahmad *et al.*, 2006; kamble *et al.*, 2005; Jadhav *et al.*, 2001).

کدورت

در شکل ۳ می‌توان دید که کدورت با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در تمام سطوح دما و فشار کاهش چشمگیری یافت (شکل‌های ۳-b و ۳-c). اما با افزایش دما و فشار در عرض غشاء میزان کدورت تا حدودی افزایش پیدا کرد (شکل ۳-a).

غشاء همان طور که شار افزایش یافت میزان دفع دو ترکیب رنگی فوق کاهش پیدا کرد.

TDS

در شکل ۵ می‌توان تغییرات TDS را نسبت به تغییر پارامترهای عملیاتی مختلف مشاهده کرد. بسیاری از یون‌های موجود در شربت می‌توانند فرآیند تصفیه را دچار اختلال کنند مثلاً وجود یون‌های کلسیم که ممکن است از فرآیند آهک زنی در شربت باقی مانده باشد می‌تواند سبب رسوبات سختی در اواپراتور شوند و یا یون‌هایی مانند سدیم و پتاسیم یون‌های ملاس زایی هستند که سبب افزایش مقدار ساکارز در جریان ملاس شده و از کریستالیزاسیون آن جلوگیری می‌کنند. لذا کاهش این یون‌ها در شکر خام حین تصفیه اهمیت بالایی دارد.

در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش دما و فشار در عرض غشاء، TDS در جریان تراوه افزایش یافت (شکل ۵-a) و افزایش غلظت عامل فعال سطحی سبب کاهش چشمگیری در TDS نسبت به حالت بدون عامل فعال سطحی نشد (شکل های ۵-b و ۵-c). علت این امر را می‌توان مربوط به برهم کنش الکترواستاتیک یون‌های محلول باردار با مایسل‌های غیر یونی که بدون بار هستند دانست که نتوانستند به خوبی بر روی مایسل‌ها جذب شوند. از طرفی غشاء اولترافیلتر به واسطه اندازه بزرگتر منافذ از یون‌ها در حذف آن‌ها موثر عمل نمی‌کنند.

در راستای این نتایج Jung و همکاران (۲۰۰۷) به حذف فلزات سنگین با استفاده از CPC پرداختند که در آن با افزایش غلظت عامل فعال سطحی درصد حذف روی و قلع در یک سیستم با جریان عرضی روند تقریباً ثابتی داشت اما در سیستمی با جریان انتهایی بسته درصد دفع این یون‌ها بهتر گردید.

Camarillo و همکاران (۲۰۰۹) نیز برای حذف فسفات از عامل فعال سطحی CTAB استفاده کردند. در نتایج این محققین دیده شد که با افزایش فشار عملیاتی درصد دفع کاهش و با افزایش غلظت عامل فعال سطحی درصد دفع تا حدودی بهبود یافت.

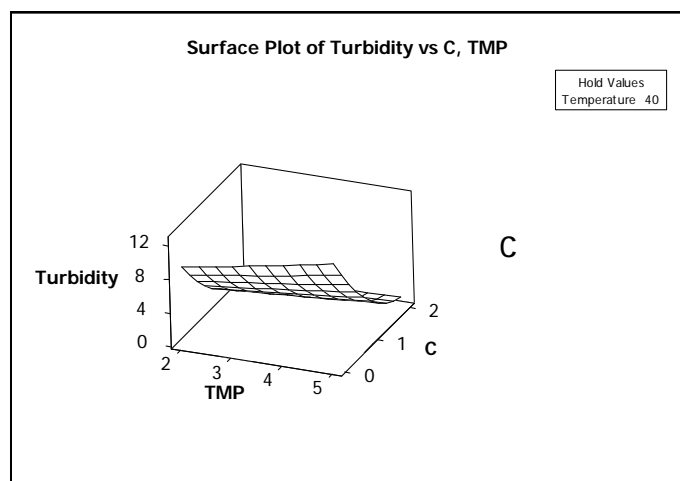
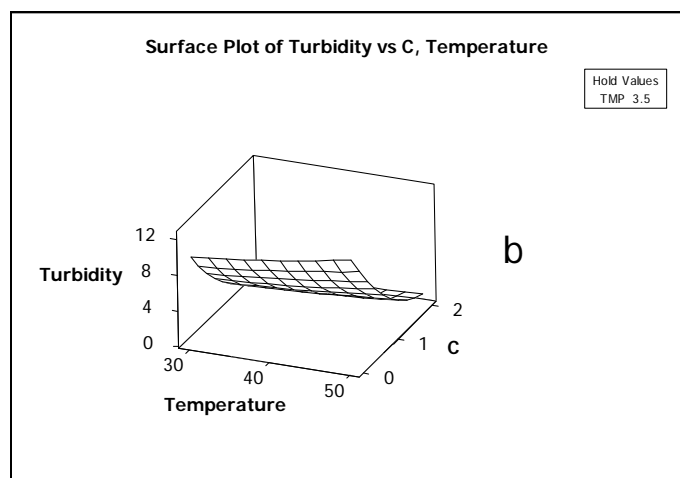
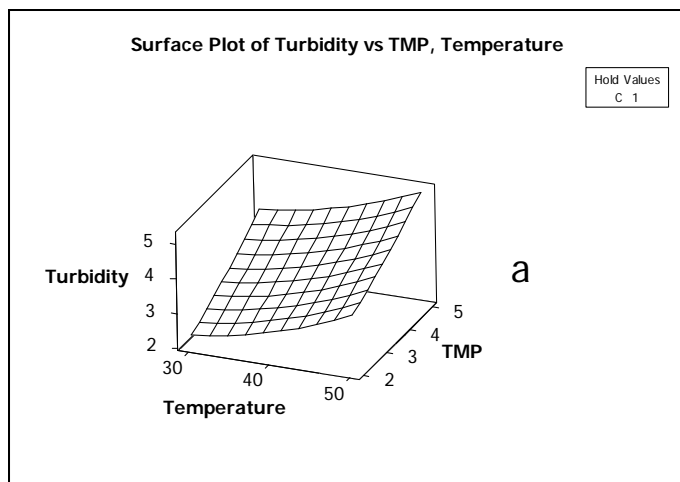
افزایش دما نیز احتمالاً با کاهش گرانیوی و انبساط غشاء همان طور که باعث افزایش شار شد ذرات معلق بسیار ریز را نیز در جریان تراوه افزایش داد و سبب کاهش دفع ناخالصی‌ها گردید که این امر خود در افزایش کدورت موثر است (Ahmad *et al.*, 2006; Jadhav *et al.*, 2001; Drews *et al.*, 2010). با افزایش مقدار فشار در عرض غشاء نیز میزان کدورت افزایش یافت که این امر می‌تواند به دو دلیل باشد. اول این که با افزایش فشار در عرض غشاء مایسل‌ها در سطح غشاء فشرده شده و در نتیجه ظرفیت حل‌پذیری ترکیبات در مایسل‌ها به واسطه تغییر شکل کاهش می‌یابد و دوم این که در فشارهای بالا به واسطه انتقال بیشتر جریان محلول، مواد حل شده بیشتری در جریان تراوه قرار می‌گیرد (Luo *et al.*, 2010; Purkait *et al.*, 2005).

رنگ

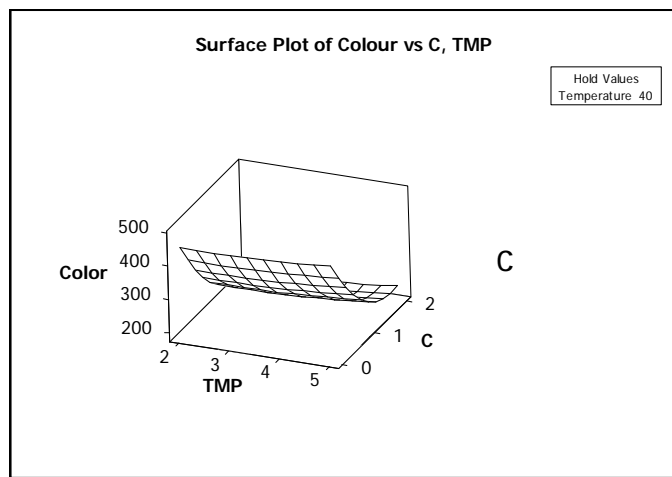
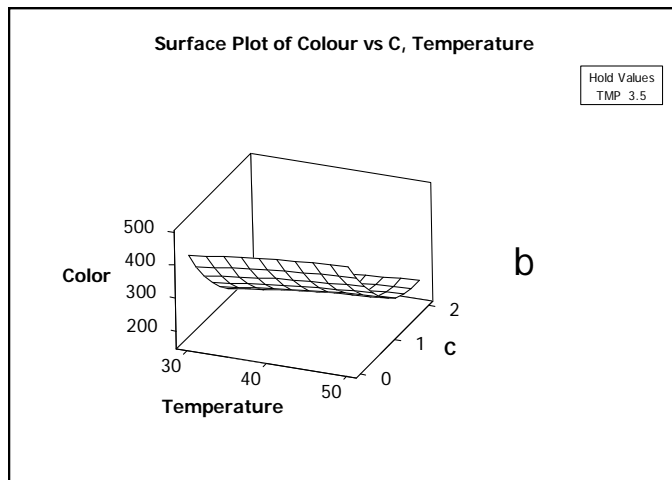
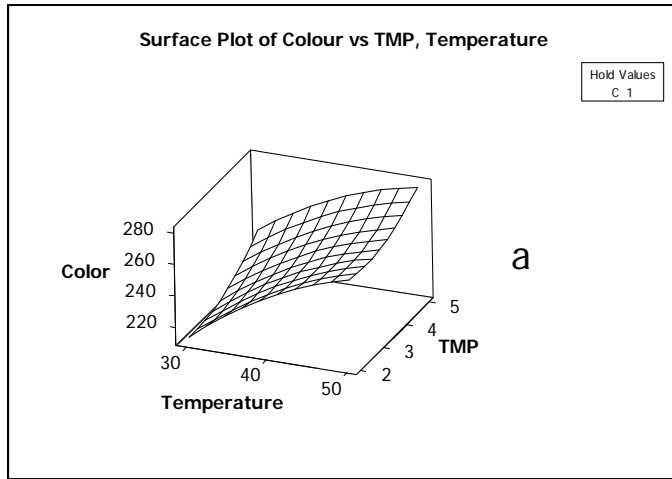
در شکل ۴ مشاهده می‌شود که افزایش دما و فشار در عرض غشاء شدت رنگ جریان تراوه را افزایش و افزایش غلظت عامل فعال سطحی شدت رنگ جریان تراوه را کاهش داده است.

از دلایل افزایش رنگ در اثر افزایش دما می‌توان به افزایش ضریب نفوذ ملکولی و کاهش گرانیوی اشاره کرد که ترکیبات رنگی محلول نیز همراه با بهبود شار به مقدار بیشتری در جریان تراوه قرار گرفتند (شکل ۴-a). هم چنین در این آزمایشات دیده شد که با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در تمام سطوح دما و فشار از شدت رنگ تراوه کاسته شد (شکل های ۴-b و ۴-c). احتمالاً جذب برخی ترکیبات رنگی آلی موجود در شکر خام بوسیله ماده فعال می‌تواند دلیل این امر باشد.

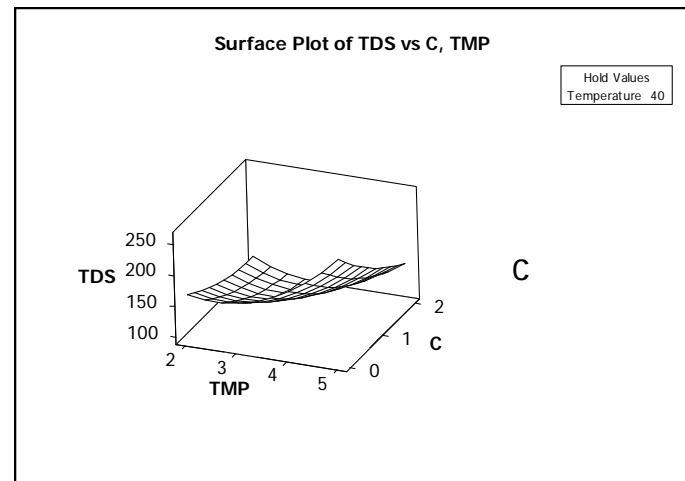
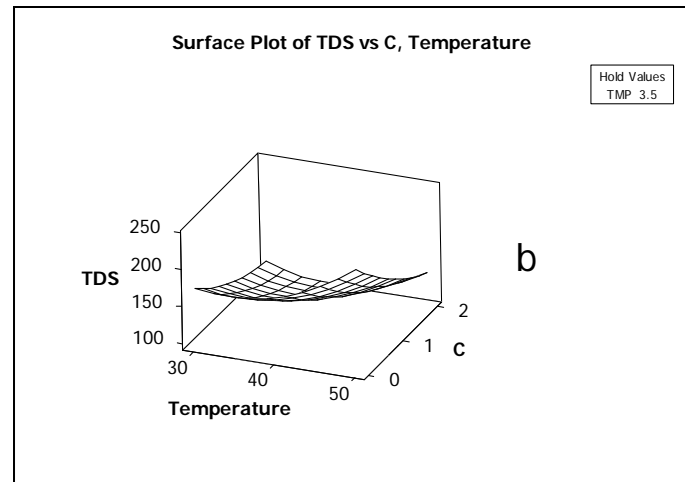
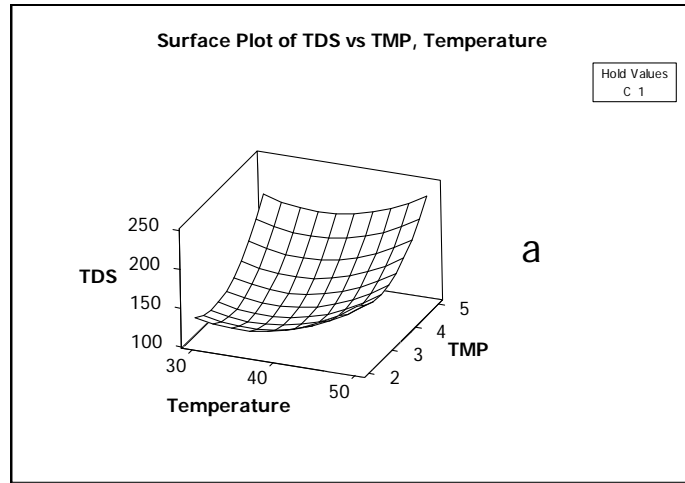
Alahmad و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی حذف دو ماده رنگی Black 5 و Orange 16 با استفاده از عامل فعال سطحی CPC طی فرایند MEUF پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که درصد دفع این ترکیبات رنگی با افزایش غلظت عامل فعال سطحی افزایش یافت و میزان شار جریان تراوه نیز با افزایش غلظت عامل فعال سطحی کم شد. همچنین در نتایج این بررسی آمده است که با افزایش فشار در عرض



شکل ۳- تاثیر دما، فشار و غلظت عامل فعال سطحی بر میزان کدورت جریان تراوه



شکل ۴- تاثیر دما، فشار و غلظت عامل فعال سطحی بر میزان رنگ جریان تراوه



شکل ۵ - تاثیر دما، فشار و غلظت عامل فعال سطحی بر TDS جریان تراوه

نشاسته به شکل آمیلوزی تمایل زیادی به چسبیدن به کریستال‌های شکر و قرار گرفتن در آن‌ها هنگام رشد کریستال دارند و آسان‌تر از سایر ناخالصی بین کریستال‌های شکر قرار می‌گیرند. در فرآیند کربناتاسیون طی تصفیه شکر خام، مولکول‌های نشاسته همراه کریستال‌های کربنات کلسیم رسوب

نشاسته

شکل ۶ به خوبی روند تغییرات مقدار نشاسته در جریان تراوه را نسبت به پارامترهای مختلف عملیاتی نشان می‌دهد.

نشاسته پلی ساکاریدی طبیعی می‌باشد که در ساقه، برگ‌ها و سرگیاه نیشکر وجود دارد. ملکول‌های

حاکی از افزایش درصد حذف ترکیبات آلی مذکور با افزایش غلظت عامل فعال سطحی در خوراک بود.

مقایسه کلی

در این قسمت برای بررسی تاثیر عامل فعال سطحی در بهبود شاخص‌های تصفیه شکر، میانگین مقادیر صفات تصفیه در غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ CMC مقایسه گردید که می‌توان آن را در شکل ۷ مشاهده نمود.

نتیجه گیری

همان طور که در قسمت قبل نیز مشاهده شد نتایج حاکی از آن بود که استفاده از عامل فعال سطحی غیر یونی توانست در تصفیه غشایی شکر خام به روش فرآپالایش شاخص‌هایی مانند رنگ، کدورت و مقدار نشاسته را بهبود دهد اما در کاهش TDS موفقیت زیادی نداشت که به خاطر عدم برهم‌کنش الکترواستاتیکی بین عامل فعال سطحی غیر یونی و یون‌های موجود بود. در جدول ۳ می‌توان آنالیز تاثیر پارامترهای عملیاتی در یک مدل رگرسیونی مربع کامل را به روش سطح پاسخ مشاهده نمود. همچنین با توجه به شکل ۷، اگر میانگین نتایج در تمام آزمایشات با غلظت صفر از عامل فعال سطحی به عنوان فرآیند غشایی متعارف و به همین ترتیب در غلظت‌های ۱ CMC و ۲ CMC به عنوان فرآیندهای غشایی بهبود یافته با عامل فعال سطحی را با خصوصیات شکر خام ابتدایی به عنوان خوراک مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که در حضور عامل فعال سطحی بهبود قابل توجهی در تصفیه شکر خام با فرآیند فرآپالایش ایجاد شده است. به طوری که در این آزمایش و با استفاده از عامل فعال سطحی غیر یونی رنگ نهایتاً تا حدود ۱۹۶ واحد ایکومزا کاهش پیدا کرد. میزان کدورت به حدود ۰/۸۲۵ ان تی یو رسید و نشاسته نیز تا مقدار ۲۰/۷۵ پی پی ام کاهش یافت.

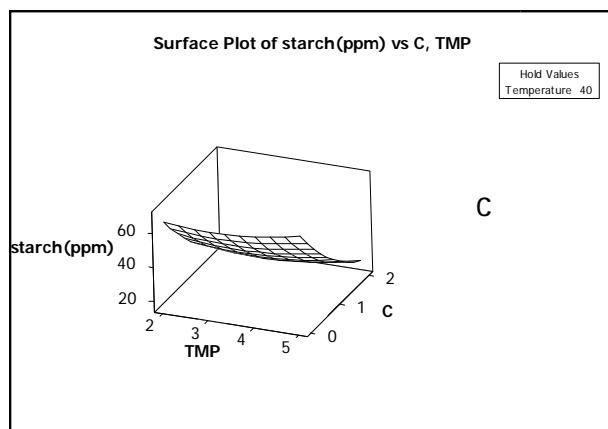
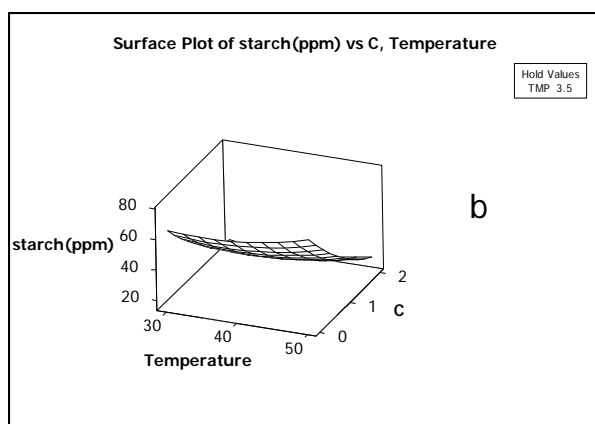
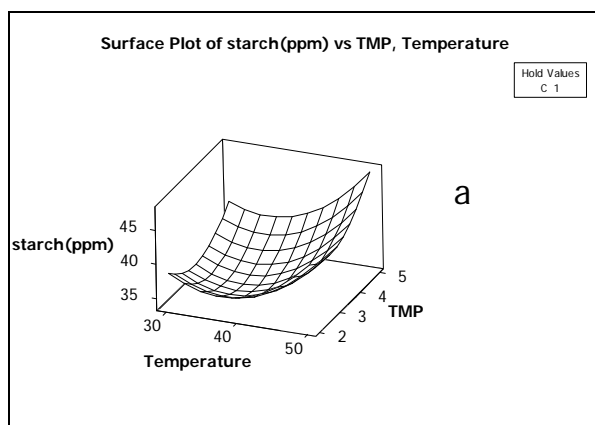
پیدا می‌کنند که این عمل سبب کاهش قابلیت فیلتراسیون می‌گردد (Donovan *et al.*, 1993).

به نظر می‌رسد که نشاسته در فرایند تصفیه شکر خام در روش‌های فسفاتاسیون یا فیلتراسیون کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد به طوری که در بعضی از تصفیه خانه‌های آفریقای جنوبی نیز مشاهده گردید که تصفیه شکر خام با مقدار بالای نشاسته، سبب افزایش کدورت و میزان فسفر در شربت تصفیه شده می‌گردد (Jansen, 2010).

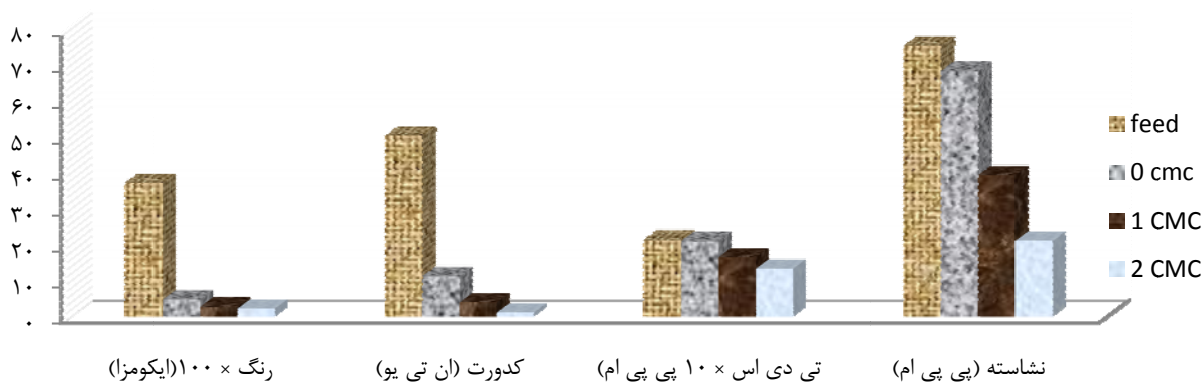
عوامل فعال سطحی غیر یونی دارای سر آبدوست بدون بار هستند. این عوامل فعال سطحی بیشتر در حذف ناخالصی‌های روغنی موثرند. اکثر عوامل فعال سطحی غیر یونی در غلظت‌های کم نیز موثرند یعنی مقدار CMC آن‌ها پایین است. همچنین در آب سرد نیز محلولیت خوبی داشته و نقش خود را به خوبی ایفا می‌کنند. عمدتاً استفاده آن‌ها در فرآیند MEUF عمدتاً برای حذف آلودگی‌های آلی مناسب است. همان طور که قبلاً اشاره شد ترکیبات یونی گرایش به ایجاد اتصال با مواد فعال سطحی یونی با بار مخالف به واسطه برهم‌کنش الکترواستاتیک دارند از این رو حذف ترکیبات یونی با مواد فعال سطحی غیر یونی بایستی ناچیز باشد. اما حذف ترکیبات غیر یونی مانند نشاسته مخصوصاً ترکیبات آلی توسط این مواد فعال سطحی مناسب است (Puasa *et al.*, 2011).

در این تحقیق استفاده از عامل فعال سطحی غیر یونی توپین ۲۰ در حذف نشاسته بهبود ایجاد کرد. با افزایش غلظت عامل فعال سطحی توپین ۲۰ در تمام سطوح دما و فشار مقدار نشاسته در فاز تراوه کاهش یافت (شکل ۶-b و ۶-c). اما افزایش دما سبب افزایش میزان نشاسته جریان تراوه به واسطه افزایش شار و افزایش ضریب نفوذ گردید و افزایش فشار تاثیر ناچیزی بر مقدار نشاسته در فاز تراوه داشت (شکل ۶-a).

Jadhav و همکاران (۲۰۰۱) به حذف آنیلین (یک ماده آلی روغنی) و فنول به عنوان یک ماده آلی به وسیله فرآیند MEUF پرداختند. مشاهدات ایشان



شکل ۶- تاثیر دما، فشار و غلظت عامل فعال سطحی بر میزان نشاسته جریان تراوه



شکل ۷- مقایسه کلی صفات مورد بررسی در حضور غلظت های مختلف عامل فعال سطحی در شکر خام

جدول ۳ - آنالیز متغیرهای آزمایشی و ضرایب مربوط به مدل‌های خطی، مربع و برهم کنش پارامترها در صفات مورد بررسی

source	DF	flux			Turbidity			Color			TDS			Starch		
		coefficient	SS	P-Value	coefficient	SS	P-Value	coefficient	SS	P-Value	coefficient	SS	P-Value	coefficient	SS	P-Value
Model	9		912354	.	222486	.	15540	.	31181	0.001	577525	0.001				
Constant		222486	0.001	252604	0.001	134519	0.001									
<i>Linear</i>																
T	1	-0.092	29265	0.822	2162	0.912	8222	0.272	-0.098	21052	0.272	72	0.009			
P	1	-0.041	10125	0.506	5184	0.510	-0.048	770	0.901	76818	0.322	2112	0.027			
C	1	-0.115	18820	0.272	20215	0.115	-0.082	12822	0.001	19222	0.056	88212	0.001			
<i>Quadratic</i>																
T*T	1	0.002	0.12	0.922	0.005	0.512	-0.027	0.62	0.822	18212	0.001	8212	0.005			
P*P	1	0.008	0.25	0.80	0.025	0.95	2120	0.22	18228	8212	0.002	22158	0.012			
C*C	1	0.003	0.1	0.91	0.003	0.512	2022	0.22	10228	8212	0.002	22158	0.012			
<i>Interaction</i>																
T*P	1	0.002	0.1	0.92	0.002	0.512	-0.028	0.62	0.822	18212	0.001	8212	0.005			
T*C	1	0.001	0.05	0.91	0.018	0.70	-0.025	0.62	0.822	18212	0.001	8212	0.005			
P*C	1	-0.001	0.05	0.99	0.018	0.70	-0.022	0.62	0.822	18212	0.001	8212	0.005			
<i>Residual</i>																
Lack-of-fit	2		11225	0.002	1022	0.001	112	0.001	8212	0.001	8212	0.001				
Pure error	2		0.20	0.92	0.002	0.512	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001				
Total	14		925149		222486		15540		31181		577525					
R ² (N)		925149		925		925		925		925		925				
Adj-R ² (N)		925149		925		925		925		925		925				

منابع

- 1- Aguirre, L., Garcia, V., Ponger, E., & Kieski, R.L. 2009. The removal of zinc from synthetic wastewaters by micellar-enhanced ultrafiltration statistical design of experiments. *Desalination*, 240: 262-269.
- 2- Ahmad, A.L., Puasa, S.W., & Zulkali, M.M.D. 2006. Micellar-enhanced ultrafiltration for removal of reactive dyes from an aqueous solution. *Desalination* 191: 153-161.
- 3- Camarillo, R., Asencio, I., & Rinco, J. 2009. Micellar enhanced ultrafiltration for phosphorus removal in domestic wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 6: 211-216.
- 4- Cheryan, M. 1986. *Ultrafiltration Handbook*. A technomic publishing company.
- 5- Donovan, M. 1993. Raw sugar quality-the effect of the refiner. *Proceeding of the Sugar Industry Technologists*. 52:117-134.
- 6- Drews, A., Arellano-garcia, H., & Schomacker, R. 2010. Ultrafiltration of surfactant micelles: Cross-flow experiments and flux modeling. 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering.
- 7- Ghosh, G., & Bhattacharya, P. K. 2006. Hexavalent chromium ion removal through micellar enhanced ultrafiltration. *Chemical Engineering Journal*, 119: 45-53.
- 8- Hakimzadeh, V., Razavi, S.M.A., & Pirouzifard, M.K. 2006. The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice. *Desalination*, 200: 520-522.
- 9- Huang, J.H., Zeng, G.M., Fang, Y.Y., Qu, Y.H., & Li, X. 2009. Removal of cadmium ions using micellar-enhanced ultrafiltration with mixed anionic-nonionic surfactant. *Journal of Membrane Science*, 326: 303-309.
- 10- Jadhav, S.R., Verma, N., Sharma, A. & Bhattacharya, P.K. 2001. Flux and retention analysis during micellar enhanced ultrafiltration or the removal of phenol and aniline. *Separation and Purification Technology*, 24: 541-557.
- 11- Jansen, T.M. 2010. Raw sugar quality from a refiner's perspective. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technol*, 31: 512-520.
- 12- Jung, J., Yang, J.S., Kim, S.H., Yang, J.W. 2007. Cross-flow micellar enhanced ultrafiltration (MEUF) of heavy metal-EDTA containing wastewater to enhance the flux. pp. 1504-1506.
- 13- Kamble, S.B., & Marath, K.V. 2005. Micellar-enhanced ultrafiltration of chromate [Cr (VI)] ion from aqueous streams by using cationic surfactant. *Indian Journal of Chemical Technology*, 12: 393-400.
- 14- Kim, H., Baek, K., Leec, J., Iqbala, J. & Yang, J.W. 2006. Comparison of separation methods of heavy metal from surfactant micellar solution for the recovery of surfactant. *Desalination*, 191: 186-192.
- 15- Luo, F., Guang-Ming, Z., Jin-Hui, H., Zhang, C., Fang, Y., Yun-Huan, Q., Xue, Li., Dan. L., & Chun-Fei, Z. 2010. Effect of groups difference in surfactant on solubilization of aqueous phenol using MEUF. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 455-461.
- 16- Myers, d. 2006. *Surfactant science and technology*. 3rd Ed. John Wiley & Sons.
- 17- Puasa, S.W, Ruzitah, M.S & Sharifah, A.S.A.K. 2011. An overview of micellar – enhanced ultrafiltration in wastewater treatment process. *International Conference on Environment and Industrial Innovation IPCBEE vol.12*. IACSIT Press, Singapore.
- 18- Purkait, M.K., DasGupta, S. & De, S. 2005. Micellar enhanced ultrafiltration of phenolic derivatives from their mixtures. *Journal of Colloid and Interface Science*, 285: 395-402.

- 19-Rahmanian, B., Pakizeh, M., & Maskooki, A. 2012. Optimization of lead removal from aqueous solution by micellar-enhanced ultrafiltration process using Box-Behnken design. Korean Journal of Chemical Engineering, 29(6): 804-811.
- 20-SRI. 2007. Handbook for Chemical supervision course.
- 21-Tadors, T. F. 2005. Applied surfactants: principles and application. Wiley-VCH verlag GmbH&Co.KGaA, Weinheim.
- 22-The Official ICUMSA Method GS 1-16. 2009. The Determination of Starch in Raw Sugar by a Modified BSEB.
- 23-The Official Method ICUMSA GS 9/1/2/3-8.2011. The determination of sugar solution color at pH 7.0 by MOPS buffer method.

Potential of removal of color, turbidity, TDS and starch of raw sugar in MEUF process using nonionic surfactant

Vahid Hakimzadeh^{1*}, Mohammad Elahi², Seyed Mahmoud Mousavi³,
Seyed Mohammad Ali Razavi⁴

1- PhD. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

* Corresponding author (vahid_hakimzadeh@yahoo.co.nz)

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

In this research, the use of Tween 20 nonionic surfactant in MEUF process was investigated in order to observe how should reduce the raw sugar impurities such as turbidity, color, total dissolved solids (TDS) and starch. Also, variations of the permeate flux were studied. The effect of parameters of temperature (in three levels of 30, 40 and 50 °C), transmembrane pressure (in three levels of 2, 3.5 and 5 bars) and surfactant concentration (in three levels of 0, 1 CMC and 2 CMC) on removal value of the mentioned impurities in raw sugar was investigated by the Response Surface Methodology (RSM). The results showed that the use of Tween 20 surfactant leads to a better removal of color, turbidity and starch in raw sugar in comparison with conventional ultrafiltration process. However, it had not a great success on reducing the TDS. Also the permeate flux was decreased by increasing the surfactant concentration. The operational parameters in this research were effective on the variations of color, turbidity, TDS and starch with appropriate R^2 .

Keywords: Membrane, MEUF, Surfactant, Tween 20, Ultrafiltration