

کاربرد اولترافیلتراسیون در تصفیه شربت خام نیشکر

فرزین نکایی آشتیانی
دانشجوی دکترا

طاهره کاغذچی
استاد

کامبیز ذوالفقاری
کارشناس ارشد

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

تصفیه نیشکر با استفاده از اولترافیلتراسیون مناسبتر از دیگر روش های معمول در این زمینه می باشد. در این مقاله کاربرد اولترافیلتراسیون در تصفیه برش های مختلف عصاره نیشکر بیان شده است. آزمایشات متعددی روی شربت شکر خام انجام شده و رنگبری و شار جریان عبوری از غشاء در این سیستم مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این باتوجه به مدل های مختلف تنوری موجود برای جداسازی غشایی، مدل لایه زلی برای این سیستم پیشنهاد شده است.

Application of Ultrafiltration in Sugar Cane Juice Refining

T. Kaghazchi
Professor

F. Zokaee Ashtiani
Ph.D. Student

K. Zolfaghari
M.Sc.

Chemical Engineering, University of Technology

Abstract

Sugar cane juice can be better clarified and decolorized by ultrafiltration than by other techniques. In this article application of ultrafiltration in the clarification of cane sugar juice has been described, Several experiments were carried out on the raw sugar juice, and decolorization and permeate flux have been studied in this system; furthermore by consideration of different theoretical models, gel layer model have been proposed for this system.

قدیمی ترین منبع تهیه شکر، نیشکر می باشد، نشانه هایی از تهیه شکر به روش های اولیه در گینه نو در پیش از ۱۲۰۰ سال قبل وجود داشته است. کشت این گیاه در ایران سابقه طولانی دارد و در مناطق جنوبی، از خوزستان تا سیستان و بلوچستان و در شمال مازندران کشت می شده است. شکر در حال حاضر به صورت یکی از مواد ضروری و پر مصرف در زندگی بشر درآمده است و علیرغم اینکه روش رایج استحصال شکر از نیشکر پاسخگوی نیازهای فعلی بشر است، مزایای جداسازی غشایی به روش اولترافیلتراسیون به لحاظ تولید محصولی با کیفیت بهتر، مصرف کمتر انرژی، کاهش امکان آلودگی و نیز جداسازی فیزیکی بر خلاف روش های شیمیایی مرسوم، سبب شده است که طی دو دهه اخیر جهت بررسی نحوه بکارگیری این نوع جداسازی برای تصفیه شکر تحقیقاتی از جانب برخی از محققین به عمل آید [۱۳ - ۱۱، ۶ - ۱].

۲- فرایند رایج تولید و تصفیه شکر خام

عصاره گرفته شده از ساقه های نیشکر پس از آهک زدن جهت استخراج ناخالصی ها وارد دستگاه زلال ساز می شود. پس از آن عصاره زلال شده وارد تبخیر کننده می شود تا میزان آب آن به یک سوم برسد. این مخلوط تغلیظ شده پس از این مرحله وارد کریستالیزور و سپس سانتریفوژ شده و ملاس از آن جدا می شود. بخشی که در این مرحله باقی می ماند شکر خام است که به مرحله تصفیه فرستاده می شود (شکل ۱). بر روی بلور شکر خام مواد غیرقندی وجود دارد که باید جدا شود و این عمل با آمیختن شربت غلیظ داغ اشباع شده با شکر خام انجام می شود. در دستگاه سانتریفوژ شربت غلیظ مورد استفاده برای شستشوی سطح بلورها و شکر خام شسته شده از یکدیگر جدا می شوند. عمل رنگبری با عبور محلول شکر شسته شده از میان مواد رنگبر (معمولاً زغال فعال) انجام می شود و پس از آن وارد تبخیر کننده می شود. محلول غلیظ شده پس از عمل تبلور در دیگ های تحت خلأ وارد سانتریفوژی جهت جدا نمودن شربت غلیظ از بلورهای خالص شکر شده و در نهایت خشک می شود [۷].

۳- کاربرد اولترافیلتراسیون در صنعت شکر

اولترافیلتراسیون یکی از روش های جداسازی

غشایی می باشد که نیروی محرکه آن اختلاف فشار می باشد و برای جداسازی مولکول های بزرگ مانند پروتئین ها، آنزیم ها، رنگدانه ها، ... استفاده می شود. این روش امروزه کاربردهای فراوانی را در صنایع غذایی و شیمیایی پیدا کرده است. در صنایع غذایی در موارد متعددی از صنایع لبنی، نوشیدنی ها، گوشت، گیاهی و قند و شکر استفاده می شود [۹، ۸].

در صنعت شکر، تصفیه با اولترافیلتراسیون می تواند به صورتی کارا جایگزین روش های سنتی شود [۱۰]. در زمینه کاربردهای اولترافیلتراسیون در مقاطع مختلف تصفیه شکر، تحقیقاتی صورت گرفته است و به شرح زیر می باشد:

تصفیه شربت خام

مهمترین کاربرد اولترافیلتراسیون در مورد شربت خام قبل و یا بعد از آهک زنی می باشد [۶، ۱]. بعد از عمل آهک زنی شربت خام، عمل خالص سازی با حرارت دادن آن حدود $80-100^{\circ}\text{C}$ و جداسازی ناخالصی ها در زلال ساز انجام می شود. شربت زلال شده پس از این مرحله هنوز حاوی ناخالصی هایی که اکثراً مواد کلوئیدی و درشت مولکول می باشد و به شربت حالت کدوری می دهد، است. روش های قدیمی توانایی جداسازی ناخالصی های مختلفی از قبیل قندهای احیاگر، اسیدهای آلی، آمینو اسیدها و درشت مولکول هایی نظیر پروتئین، نشاسته، صمغ ها، رنگدانه ها، آربینوگالاکتان ها و باکتری ها را به میزان زیادی ندارد. تحقیقات نشان داده که اولترافیلتراسیون به طور مؤثری مواد رنگی و سایر ناخالصی را حذف می نماید. البته فرایندهای مختلفی به عنوان پیش تصفیه قبل از اولترافیلتراسیون مانند تغییرات دمایی، آهک زدن، صاف کردن مقدماتی [۳] و استفاده از مواد لخته کننده [۴] جهت بهبود شار خروجی پیشنهاد شده است. به طور کلی جایگزینی اولترافیلتراسیون در این فرایند موجب، زدایش رنگدانه ها و دیگر ناخالصی های درشت مولکول، افزایش کیفیت محصول نهایی، بهبود رشد بلور ها در مرحله تبلور [۶]، [۵] و کاهش حجم شربت قبل از عمل تبخیر و جلوگیری از گرفتگی تبخیرکننده می شود.

تصفیه شربت غلیظ شده پس از تبخیر

مقدار شربت غلیظ شده معمولاً ۲۵ - ۲۰٪ شربت

رقیق می‌باشد و استفاده از این روش این فایده را دارد که حجم خوراک برای تصفیه با اولترافیلتراسیون کمتر می‌شود، اما موجب افزایش ویسکوزیته می‌شود [۱].

تصفیه ملاس

ملاس نیشکر حاوی حدود ۵۵٪ ساکاروز، ۱۰٪ مواد غیرآلی، ۱۰-۵٪ مواد آلی غیرقندی و ۲۵-۱۸٪ آب می‌باشد. دلیل اصلی غلظت نسبتاً زیاد ساکاروز در ملاس وجود مواد یونی در خاکستر و مواد آلی غیرقندی است که از تبلور ساکاروز جلوگیری می‌نماید. اگر غلظت این مواد کاهش یابد، مقدار زیادی از ساکاروز قابل بازیابی است. ترکیب عمده مواد غیرآلی در ملاس نیشکر، پتاسیم می‌باشد که یک کود ارزشمند است. با استفاده از الکترودیالیز ملاس رقیق شده، محلول غلیظ حاوی پتاسیم از محلول رقیق بدون یون و حاوی شکر جدا می‌شود. اولترافیلتراسیون نیز در این جهت استفاده شده است اما تغییرات خواص ملاس در این شرایط یک عامل بازدارنده می‌باشد [۶، ۱].

تصفیه شکر خام

شربت غلیظ شکر خام معمولاً حاوی موادی با وزن مولکولی زیاد می‌باشد. استفاده از اولترافیلتراسیون سبب کاستن رنگ و افزایش خلوص شکر می‌شود. باتوجه به این که با افزایش غلظت، ویسکوزیته افزایش می‌یابد، لذا بهتر است که عملیات در دماهای بالا انجام گیرد [۱].

۴- مدل لایه ژلی جهت اولترافیلتراسیون

مدل‌های مختلفی جهت پیش‌بینی رفتار سیستم در اولترافیلتراسیون وجود دارد که می‌توان به مدل لایه ژلی [۱۶، ۱۴] مدل مقاومتی [۱۷] و مدل فشار اسمزی [۱۶-۱۴] اشاره نمود.

در این تحقیق از مدل لایه ژلی استفاده شده است [۲]. در عمل اولترافیلتراسیون وجود ذراتی موجب تشکیل کیک و افزایش غلظت در سطح غشاء می‌شود و در نتیجه شار نهایی جریان عبوری با شدت انتقال معکوس ذرات از سطح به توده خوراک کنترل می‌شود. این مدل با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$J = k \ln \frac{C_g - C_p}{C_b - C_p} \quad (1)$$

که در این رابطه J شار خروجی، k ضریب انتقال جرم، C_g غلظت در سطح تماس، C_b غلظت در توده خوراک و C_p غلظت در جریان عبوری از غشاء (permeate) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در این رابطه عامل فشار وجود ندارد، و این در شرایطی صدق می‌کند که نسبت شار در حالت مایع خالص به مایع عبوری و یا عدد Pe زیاد باشد [۱۴]. این رابطه در صورتی که C_p صفر در نظر گرفته شود به صورت زیر در می‌آید:

$$J = k \ln \frac{C_g}{C_b} \quad (2)$$

۵- روش آزمایش و مواد

در این تحقیق از یک واحد نیمه صنعتی اولترافیلتراسیون مدل UFS1 ساخت شرکت Romicon استفاده شده است. غشاء این دستگاه ۱۰۰۰۰ دالتون و از نوع الیاف توخالی (hollow fiber) با جنس پلی سولفون و سطحی معادل ۱/۴ متر مربع می‌باشد. حداکثر دمای عملیاتی، فشار ورودی و فشار خروجی به ترتیب $75^{\circ}C$ ، $1/75 \text{ kgf/cm}^2$ و $1/4 \text{ kgf/cm}^2$ می‌باشد. این دستگاه مجهز به مبدل حرارتی جهت تنظیم دمای خوراک و پمپ چرخش مجدد جهت چرخش خوراک و در نتیجه تغلیظ آن می‌باشد. نحوه اتصال این سیستم در این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکر خام استفاده شده محصول برداشت فصل بهار از شرکت کشت و صنعت کارون می‌باشد. روش تهیه محلول شربت بدین ترتیب بوده است که در ابتدا محلولی با درجه بریکس ۶۵ تهیه شده و سپس برای خوراکی مناسب فیلتراسیون نخست تا ۱/۲ برابر حجم شربت اولیه رقیق گردید و سپس توسط پارچه دو لایه کتان پیش فیلتر شده و از آن به عنوان خوراک برای آزمایشات سری اول استفاده گردید. برای تهیه خوراک آزمایش دوم، فاز عبوری حاصل از آزمایش اول به میزان ۱/۷۵ برابر حجم خود رقیق شده و دوباره از غشاء عبور داده شد. فاز عبوری از این مرحله نیز دوباره ۱/۷۵ برابر رقیق شده و تحت عمل اولترافیلتراسیون قرار گرفت. دمای سیال در دستگاه نیز روی $40^{\circ}C$ ثابت نگه داشته شد. جهت اندازه‌گیری غلظت و میزان رنگبری در مقاطع مختلف از روش جذب نور در طول موج 560 nm که مناسب‌ترین طول موج در این زمینه می‌باشد [۲]، استفاده شده است.

۶- آزمایش‌ها

اصلی‌ترین جزء در تصفیه شربت شکر خام مواد رنگی می‌باشد و هدف از این آزمایش‌ها نیز بررسی تصفیه و رنگبری شکر خام بوده است. همانطور که در بخش روش آزمایش ذکر شد سه سری آزمایش با اولترافیلتراسیون انجام گردید که مشخصات خوراک در آزمایش‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در این بخش به میزان رنگبری شکر خام با اولترافیلتر و بررسی رفتار و مدلی مناسب جهت این سیستم پرداخته می‌شود.

۱-۶- رنگبری شکر خام

نتایج مربوط به این آزمایش‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ رسم شده است. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب تغییرات میزان غلظت رنگ (که براساس میزان جذب بدست آمده است) در فاز عبور کرده و فاز تغلیظ شده از غشاء را با زمان نشان می‌دهند.

آزمایش اول با شربت قندی با غلظت و رنگ زیاد انجام شده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود کاهش رنگ به میزان ۷۵-۸۸٪ درصد می‌باشد. در دو آزمایش بعدی نیز کاهش رنگ به میزان ۶۵-۵۰٪ و ۴۸-۳۷٪ می‌باشد. با جمع بندی کل فرایند میزان رنگبری نسبت به شربت اولیه تقریباً ۹۰٪ است. همچنین در شکل ۴ مشاهده می‌شود که افزایش رنگ فاز تغلیظ شده از ۲۰٪ به حدود ۱۴۰٪ تغییر کرده است که این متناسب با چرخش‌های متعدد فاز تغلیظ شده در غشاء می‌باشد [۲]. علاوه بر این باتوجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش زمان، غلظت رنگ در فاز عبوری افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش غلظت رنگ در فاز تغلیظ شده می‌باشد.

۲-۶- بررسی رفتار سیستم

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، آزمایش‌های اندازه‌گیری تغییرات شدت جریان بر حسب زمان در هر سه مورد آزمایش‌ها سیر نزولی را نشان می‌دهد. در مورد آزمایش ۱ مشاهده می‌شود که به علت غلظت زیاد شربت و زیاد بودن ویسکوزیته و در نتیجه افزایش مقاومت‌ها در مسیر جریان، شدت جریان فاز عبوری بسیار کم است. همچنین مشاهده می‌شود که در ۵ دقیقه اول شار سریعاً افت می‌کند که بیانگر تشکیل کیک و افزایش غلظت در سطح در زمان‌های اولیه می‌باشد و با گذشت زمان با توجه به جریان برشی سیال

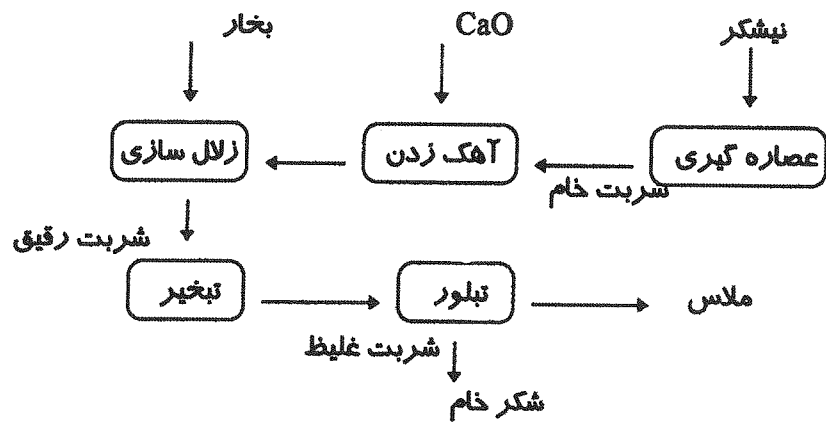
در سطح این افت شار کاهش می‌یابد. پس از اینکه فاز عبوری از آزمایش اول رقیق شده و دوباره از غشاء عبور داده شد، شدت جریان به میزان قابل توجهی افزایش یافته است و در آزمایش سوم نیز این روند تکرار می‌شود. البته لازم به ذکر است که در عمل، احتمالاً به علت محدودیت در کاهش بریکس در مرحله تبلور امکان رقیق کردن شربت برای بهبود شار وجود نداشته باشد اما این مشکل نیز با افزایش تعداد واحدهای غشایی و در نتیجه افزایش سطح غشاء قابل حل است. از طرف دیگر با افزایش سرعت چرخش فاز تغلیظ شده به حداکثر ممکن از لایه ژل کاسته شده و افت فشار کاهش می‌یابد.

در شکل ۶ نتایج آزمایش‌های شار با مدل لایه ژلی مقایسه شده است. برای این منظور لگاریتم جذب که بیانگر همان لگاریتم غلظت می‌باشد، بر حسب شار رسم شده است و مشاهده می‌شود که باتوجه به خطوط بدست آمده در هر سه آزمایش، مدل با رفتار سیستم مطابقت دارد (رابطه ۲). بنابر این جهت استفاده از این سیستم در صنعت، با بدست آوردن اطلاعات تجربی در زمینه ضرایب انتقال جرم امکان تخمین شار فاز عبوری وجود دارد و در این صورت با توجه به میزان رنگ خوراک، زمان عملیات و میزان رنگبری قابل پیش بینی خواهد بود.

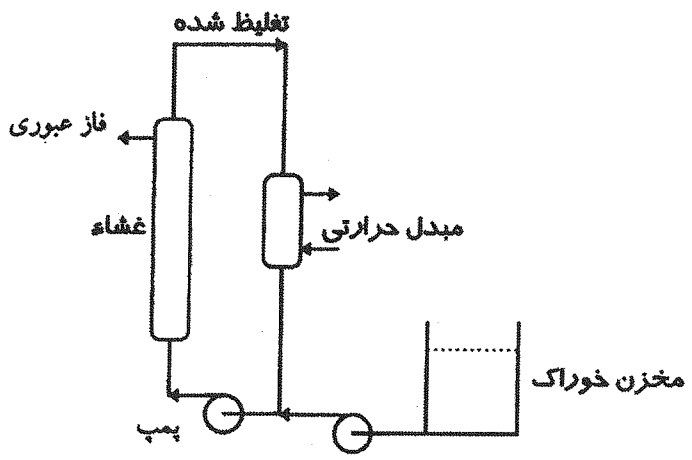
۷- نتیجه‌گیری

استفاده از اولترافیلتراسیون باتوجه به صرفه جویی در مصرف انرژی، سادگی عملیات، کاهش آلودگی‌های ضمن فرایند و انجام عمل تصفیه و یا تغلیظ در دمای محیط، به عنوان یک جایگزین عمل کربناتاسیون در تصفیه شکر خام قابل توجه است. شرایط عملیاتی کربناتاسیون شربت غلیظ شکر که در دمای ۸۰°C و قلیائیت متغیر قرار می‌گیرد منجر به تجزیه ساکارز، افزایش رنگ و نیز افزایش محتوی قندی ملاس می‌شود. و با توجه به از دست رفتن شکر و فیلتراسیون ناچیز رسوب کربنات کلسیم معمولاً عمل کربناتاسیون در ۳ یا ۴ مرحله انجام می‌شود.

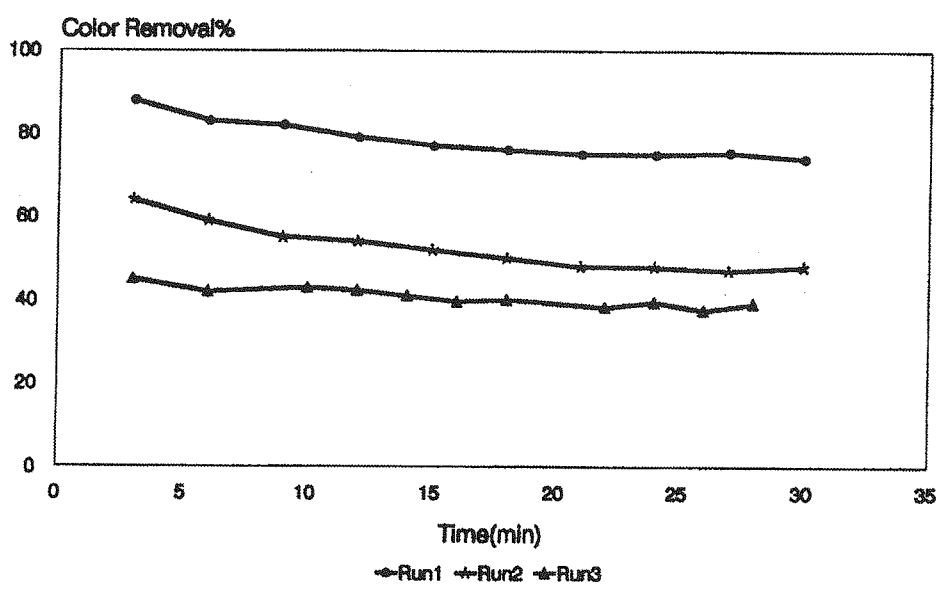
این تحقیقات نشان می‌دهد که اولترافیلتراسیون منجر به کاهش رنگ محلول شکر خام تا حدود ۹۰٪ می‌شود. البته باید به فرایندهای آماده‌سازی جهت بهبود شار خروجی قبل از عمل اولترافیلتراسیون توجه داشت. همچنین مشاهده گردید که مدل لایه ژلی مدل حاکم بر این فرایند می‌باشد.



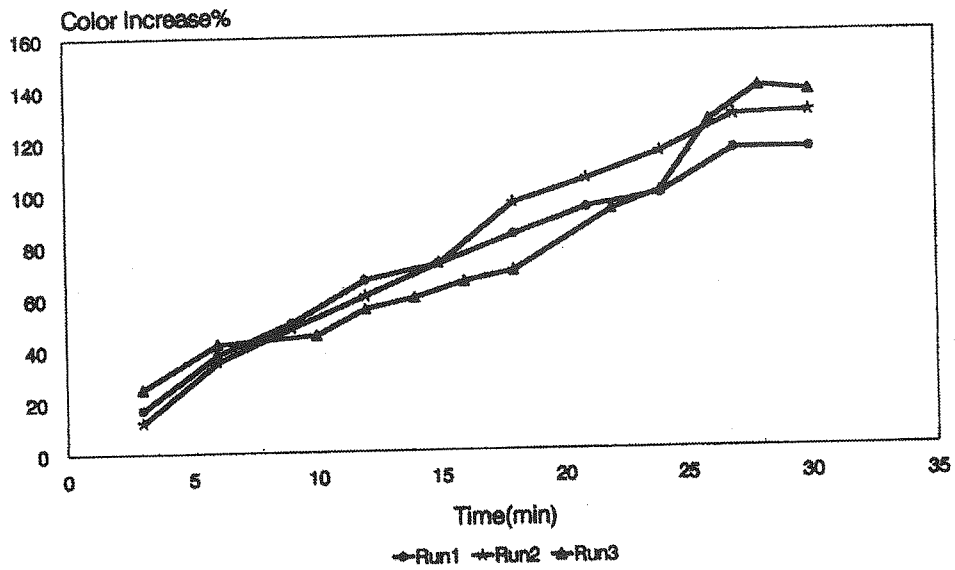
شکل (۱) فرایند صنعتی تصفیه نیشکر.



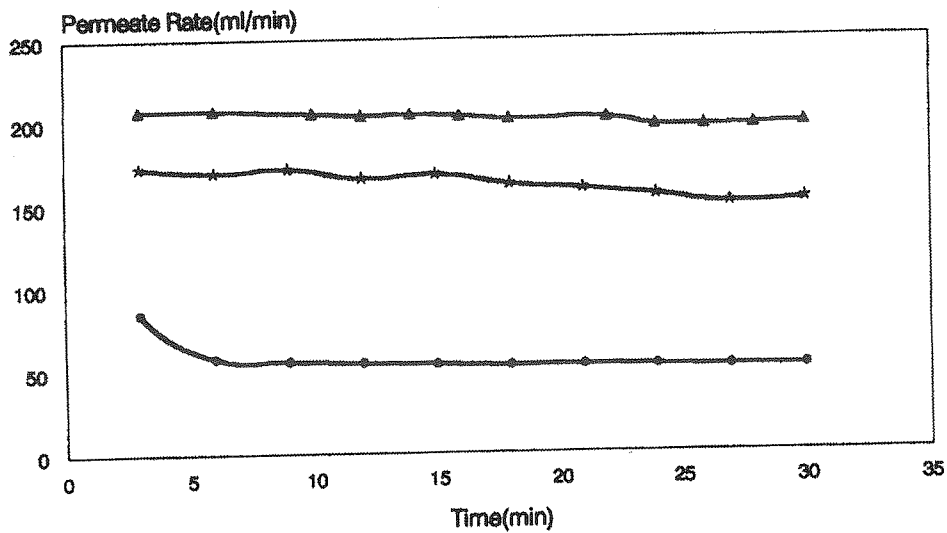
شکل (۲) دستگاه اولترافیلتراسیون.



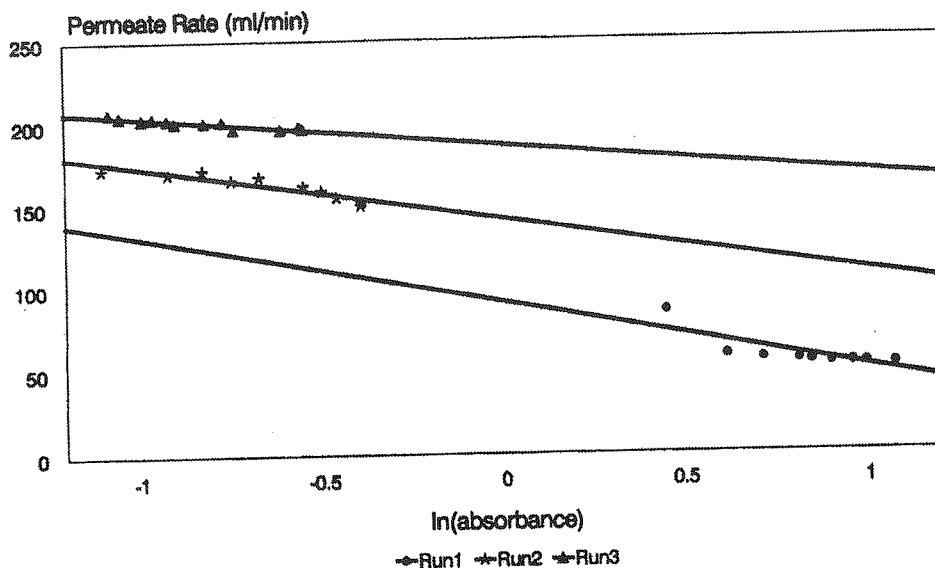
شکل (۳) درصد کاهش رنگ در فاز عبور کرده از غشاء



شکل (۴) درصد افزایش رنگ در فاز تغلیظ شده.



شکل (۵) تغییرات شدت جریان فاز عبور کرده از غشاء بر حسب زمان.



شکل (۶) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل لایه زنی.

جدول (۱) مشخصات خوراک در آزمایش‌های مختلف.

دما (°C)	شدت جریان (لیتر بر دقیقه)	جذب	رقت	آزمایش
۴۰	۱۰	۱/۳۴۷	۱/۲	۱
۴۰	۱۰	۰/۲۹۶	۱/۷۵	۲
۴۰	۱۰	۰/۲۴۰	۱/۷۵	۳

مراجع

- [1] G. Targardh and V. Gekas, Membrane technology in the sugar industry, *Desalination*, 69, 9 -17 (1988).
- [2] F. K. Mak, Removal of colour impurities in raw sugar, by ultrafiltration, *Int. Sugar J.*, 93, 263-265 (1991).
- [3] S. Kishihara, S. Fujii, and M. Komoto, Ultrafiltration of cane juice: influence of flux and quality of permeate, *Int. Sugar J.*, 83, 35-39 (1981).
- [4] S. Kishihara, S. Fujii, and M. Komoto, Provement of flux in ultrafiltration of cane juice, *Int Sugar J.*, 85, 99-101 (1983).
- [5] S. Kishihara, H. Tamaki, N. Wakiuchi, and S. Fujii, Effect of ultrafiltration of factory sugar solution on growth of sucrose crystals, *Int. Sugar j.*, 95, 273-277 (1993).
- [6] S. Kishihara, H. Tamaki, S. Fujii, and M. Komoto, Clarification of technical sugar solutions through a dynamic membrane and formed on a porous ceramic tube, *J. Membrane Sci.*, 41, 103-114 (1989).
- [7] E. Huget, *Handbook of cane sugar Engineering*, Elsevier Science Publishing Company Inc., 3rd ed., (1986).
- [8] M. Cheryan, *Ultrafiltration handbook*, Technical Publishing Company Inc., (1986).
- [9] H. Strothmann, Membrane separation processes, *J. Membrane Sci.*, 9, 121-189 (1981).
- [10] R. F. Madsen, Application of ultrafiltration and reverse osmosis to cane juice, *Int. Sugar J.*, 75, 162-197 (1973).
- [11] Theologre et al., Process for refining a raw sugar, particularly raw sugar from the cane sugar industry, U. S. Patent 5865899, (1999).
- [12] Monclin, Process for producing refined sugar, U. S. Patent 5468301, (1995).
- [13] Monclin, Process for producing refined sugar directly from sugar cane, U.S. Patent 5468302, (1995).
- [14] J. G. Wijmans, S. Nakao, and C. A. Smolders, Flux limitation in ultrafiltration: osmotic pressure model and gel layer model, *J. Membrane Sci.*, 20, 115-124 (1984).
- [15] H. Nabetani, M. Nakajima, A. Watanabe, S. Nakao, and S. Kimura, Effect of osmotic pressure and adsorption on ultrafiltration ovalbumin, *AIChE J.*, 36, 6, 907-915 (1990).
- [16] V. L. Vilker, C.K. Colton, K.A. Smith, and D. L. Goreen, The osmotic pressure of concentration and lipoprotein solution and its significance to ultrafiltration, *J. Membrane Sci.*, 20, 63-77 (1984).
- [17] K. M. Persson, and J. L. Nilsson, Fouling resistance models in MF and UF, *Desalination*, 80, 123-138 (1991).