

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



عنوان پروژه:

تغلیظ آزمایشگاهی L- لیزین هیدروکلراید توسط فرآیندهای غشایی

امید بختیاری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی شیمی گرایش طراحی فرآیندهای جداسازی

شهریور ماه ۱۳۸۴



عنوان پروژه:

تغلیظ آزمایشگاهی L- لیزین هیدروکلراید توسط فرآیندهای غشایی

امید بختیاری

استاد راهنما:

دکتر تورج محمدی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی شیمی گرایش طراحی فرآیندهای جداسازی

شهریور ماه ۱۳۸۴

**تقدیم به عزیزانم پدر، مادر،
برادران و خواهرانم**

L-لیزین^۱ یکی از ۵ آمینو اسید ضروری برای رشد بدن می باشد. آمینو اسیدها از جمله مواد ضروری برای رشد در جانداران جوان می باشد. آمینو اسیدها در بدن تولید نمی شوند و لذا باید از طریق مواد غذایی تأمین شود. از آنجایی که بیشتر منابع غذایی دام، از جمله غلات از نظر این ماده فقیر هستند، این اسید آمینه باید به خوراک دام و به ویژه طیور افزوده شود. فرم خوراکی آن به صورت L-لیزین هیدروکلراید (*L-Lysine-HCl*)^۲ می باشد و لازم است سوسپانسیون آن در آب به کمک یکی از فرآیندهای جداسازی تغلیظ شود.

امروزه کاربرد فرآیندهای غشایی در صنعت، جهت جداسازی، تغلیظ و تخلیص مواد بخصوص در صنایع غذایی و بیوتکنولوژی روز به روز در حال افزایش می باشد. هدف این پروژه تغلیظ سوسپانسیون L-لیزین هیدروکلراید بوده است. *آلترافیلتراسیون (UF)*^۳، *اسمز معکوس (RO)*^۴ و *تقطیر غشایی تحت خلاء (VMD)*^۵ سه فرآیند غشایی می باشند که در این پروژه برای تغلیظ آزمایشگاهی L-لیزین هیدروکلراید به کار گرفته شده اند. با توجه به اندازه مولکولی L-لیزین هیدروکلراید، از میان *فرآیندهای با نیروی محرکه فشار*^۶ فرآیند RO انتخاب شده است. تمامی آزمایشها با روش *تاگوچی*^۷ طراحی، انجام و تحلیل شده اند. با توجه به کم بودن شار حاصله در فرآیند RO و گرفتگی زیاد، فرآیند VMD نیز جهت انجام تغلیظ بررسی شده است. نتایج حاصله بسیار رضایت بخش بوده است. در این فرآیند از نیروی محرکه خلاء در *طرف جریان عبور کرده*^۸ استفاده می شود. جریان عبور کرده در تمامی شرایط آزمایشی بخار آب خالص بوده است و تحت هر شرایط عمل L-لیزین هیدروکلراید از غشاء عبور نمی کرد. به دلیل اینکه هم فرآیند RO و هم فرآیند VMD هر دو به حضور ذرات جامد در خوراک ورودیشان بسیار حساسند، لذا از یک واحد غشایی UF به عنوان *واحد پیش تصفیه*^۹ استفاده شده است. در واقع در این واحد سوسپانسیون ورودی به *فرآیند ترکیبی غشایی*^{۱۰} (فرآیند UF به همراه فرآیند RO یا VMD) به دو جریان غلیظتر سوسپانسیون (*جریان پس زده شده*^{۱۱}) و یک محلول صاف تقسیم شده است. جریان صاف وارد فرآیند RO و یا VMD شده و در آنجا آب از آن جدا شده است. نهایتاً شرایط بهینه عملیاتی در هر فرآیند به کمک نرم افزار طراحی آزمایش تاگوچی تعیین شدند.

در این پروژه تأثیر پارامترهای غلظت و سرعت خوراک، فشار و دمای عملیاتی و pH در هر فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش غلظت همواره به دلیل تشدید اثر پدیده های *پلاریزاسیون*

1- L-Lysine

3- Ultrafiltration

5- Vacuum Membrane Distillation

7- Taguchi

9- Pretreatment Unit

11- Retentate

2- L-Lysine-HCl

4- Reverse Osmosis

6- Pressure Driven Process

8- Permeate

10- Hybride Membrane Process

غلظتی^۱ و گرفتگی^۲ اثر معکوس بر روی شار دارد. در فرآیندهای با نیروی محرکه فشار، افزایش فشار تا حد معین اثر افزایشی دارد و بعد از آن اثر افزایشی از بین می رود. با افزایش سرعت میزان اثر پدیده های پلاریزاسیون غلظتی و گرفتگی کمتر می شود و میزان شار افزایش می یابد. دما یکی از پارامترهای مهم عملیاتی، بویژه در فرآیند VMD، می باشد که اثر افزایشی بر میزان شار دارد. اثر pH بر روی شار از طریق نزدیک و یا دور کردن محلول از نقطه ایزوالکتریک آن مشاهده می شود.

تقدیر و تشکر:

با آرزوی پیروزی و تندرستی همیشگی، از استاد محترم جناب آقای **دکتر تورج محمدی** که همواره با ارائه راهنمایی‌ها و دیدگاه‌های ارزنده‌شان انجام پروژه را عملی کردند، بویژه به خاطر صبر و بردباریشان در حل تمامی مشکلات به وجود آمده در حین انجام پروژه، نهایت سپاس و قدردانی را دارم. بر خود لازم می‌دانم که از هر یک از دوستانی که در آزمایشگاه تحقیقاتی جداسازی غشایی به نحوی اینجانب را در انجام پروژه یاری رسانده‌اند، تشکر نمایم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۴	فصل اول: غشاء و فرآیندهای غشایی
۵	۱-۱ مقدمه
۵	۱-۱-۱ یک فرآیند غشایی چیست؟
۶	۲-۱-۱ غشاء چیست؟
۷	۲-۱ توسعه تاریخی غشاءها
۸	۳-۱ دورنمایی از محدوده و کاربردهای فرآیندهای غشایی
۱۰	۴-۱ تقسیم بندی غشاءها
۱۰	۱-۴-۱ تقسیم بندی بر اساس جنس
۱۰	۲-۴-۱ تقسیم بندی بر اساس ساختمان غشاء
۱۱	۳-۴-۱ تقسیم بندی بر اساس ساختار دانه بندی
۱۲	۴-۴-۱ تقسیم بندی غشاءها بر اساس شکل هندسی سطح غشاء
۱۲	۵-۱ مدولهای فرآیندهای غشایی
۱۳	۶-۱ تقسیم بندی فرآیندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه
۱۵	۱-۶-۱ فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف فشار
۱۷	۲-۶-۱ فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف غلظت (فعالیت)
۱۷	GS ۱-۲-۶-۱
۱۷	GS ۱-۱-۲-۶-۱ در غشاءهای متخلخل
۱۷	GS ۲-۱-۲-۶-۱ در غشاءهای غیر متخلخل
۱۹	PV ۲-۲-۶-۱
۲۰	۳-۲-۶-۱ غشاء مایع
۲۰	D ۴-۲-۶-۱
۲۱	۳-۶-۱ فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف پتانسیل الکتریکی
۲۱	ED ۱-۳-۶-۱
۲۲	۴-۶-۱ فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف دما
۲۴	۷-۱ مزایای استفاده از تکنولوژی غشاء
۲۵	۸-۱ محدودیتهای استفاده از تکنولوژی غشاء
۲۵	۱-۸-۱ پلاریزاسیون غلظتی
۲۵	۲-۸-۱ گرفتگی غشاء
۲۵	۳-۸-۱ مدلسازی و پیش بینی رفتار غشاء

۲۶	۴-۸-۱ پایداری غشاء
۲۶	۵-۸-۱ جداسازی ناقص
۲۶	۶-۸-۱ نتیجه گیری
۲۷	فصل دوم: UF، اصول و کاربردهای آن
۲۸	۱-۲ مقدمه
۲۹	۲-۲ تاریخچه
۳۰	۳-۲ نمای کلی فرآیند UF
۳۱	۱-۳-۲ نیروی محرکه
۳۱	۲-۳-۲ جداسازی
۳۳	۴-۲ غشاهای مورد استفاده در فرآیند UF
۳۶	۵-۲ مدل ژل
۳۹	۶-۲ پلاریزاسیون غلظتی
۴۱	۷-۲ مسدود شدن
۴۱	۸-۲ گرفتگی
۴۴	۹-۲ افزایش شار
۴۵	۱۰-۲ طراحی مدولها
۴۸	۱۱-۲ فرآیندهای عملیاتی
۴۸	۱-۱۱-۲ برگشت کامل
۴۸	۲-۱۱-۲ تغلیظ ناپیوسته
۴۹	۳-۱۱-۲ عملیات خوراک و دورریز
۵۰	۴-۱۱-۲ DF
۵۰	۱۲-۲ کاربردهای UF
۵۱	۱-۱۲-۲ بازیافت رنگهای التروفورتیک
۵۱	۲-۱۲-۲ تصفیه پسابهای صنایع فلزی
۵۲	۳-۱۲-۲ صنایع غذایی و بیوتکنولوژی
۵۲	۱-۳-۱۲-۲ مقدمه
۵۳	۲-۳-۱۲-۲ صنایع لبنی
۵۵	۱-۲-۳-۱۲-۲ تفکیک شیر با UF
۵۷	۳-۳-۱۲-۲ کاربردهای فرآیند UF در بیوتکنولوژی
۵۷	۱-۳-۳-۱۲-۲ مقدمه
۵۹	۲-۳-۳-۱۲-۲ استفاده های عمده غشاء در بیوتکنولوژی
۶۱	۳-۳-۳-۱۲-۲ فرآیند UF در بیوتکنولوژی

۶۱	۱-۳-۳-۳-۱۲-۲ ملاحظات کلی
۶۳	۲-۳-۳-۳-۱۲-۲ جداسازی سلولهای میکروبی با فرآیند UF
۶۵	۳-۳-۳-۳-۱۲-۲ بعضی کاربردهای خاص
۶۶	۴-۳-۱۲-۲ صنایع دارویی
۶۷	۴-۱۲-۲ صنعت نساجی
۶۷	۵-۱۲-۲ صنایع سلولزی
۶۷	۶-۱۲-۲ صنایع آب
۷۰	فصل سوم: RO، اصول و کاربردهای آن
۷۱	۱-۳ مقدمه
۷۳	۲-۳ تاریخچه فرآیند RO
۷۴	۳-۳ غشاهای مورد استفاده در فرآیند RO
۷۶	۴-۳ تئوری RO
۷۷	۱-۴-۳ عبور از غشاء
۷۹	۲-۴-۳ پلاریزاسیون غلظتی
۸۰	۵-۳ طراحی مدولهای RO
۸۰	۱-۵-۳ انواع معمول مدولها
۸۴	۲-۵-۳ طراحی بهینه مدول
۸۴	۶-۳ عملیات واحد RO
۸۴	۱-۶-۳ پیش تصفیه خوراک
۸۵	۲-۶-۳ گرفتگی غشاء
۸۵	۳-۳ کاربردهای RO
۸۵	۱-۳-۳ اسمز معکوس و نمک زدایی
۸۷	۲-۳-۳ فرآیند RO در صنایع غذایی
۸۷	۱-۲-۳-۳ تغلیظ شیر با RO
۹۰	فصل چهارم: MD، اصول و کاربردهای آن
۹۱	۱-۴ مقدمه
۹۳	۲-۴ مفاهیم اساسی MD
۹۵	۳-۴ مزایای MD
۹۶	۴-۴ پارامترهای فرآیند

۹۸	۴-۵ کاهش شار
۱۰۰	۴-۶ VLE
۱۰۲	۴-۷ پدیده های انتقال در فرآیند MD
۱۰۲	۴-۷-۱ انتقال جرم
۱۰۴	۴-۷-۲ انتقال حرارت
۱۰۶	۴-۸ پلاریزاسیون دمایی و غلظتی
۱۰۹	۴-۹ خواص غشاها و مدولهای مورد استفاده در MD
۱۱۰	۴-۱۰ VMD
۱۱۱	۴-۱۱ کاربردهای دیگر
۱۱۵	فصل پنجم: بررسی روشهای تولید و تغلیظ L- لیزین هیدروکلراید به روش صنعتی
۱۱۶	۵-۱ مقدمه
۱۱۶	۵-۱-۱ اهمیت تولید L- لیزین
۱۱۶	۵-۱-۲ تاریخچه تولید لیزین
۱۱۶	۵-۱-۳ مشخصات شیمیایی- فیزیکی محصول
۱۱۷	۵-۲ فرآیندهای تولید لیزین
۱۱۸	۵-۳ تولید L- لیزین با تخمیر
۱۱۹	۵-۳-۱ دورنمایی از فرآیند ها
۱۱۹	۵-۳-۲ بازیافت و خالص سازی
۱۲۰	۵-۳-۳-۱ تجهیزات
۱۲۰	۵-۳-۳-۲ تشریح فرآیند
۱۲۰	۵-۴ طراحی SRI
۱۲۱	۵-۴-۱ بخش ۱۰۰- تخمیر
۱۲۱	۵-۴-۲ بخش ۲۰۰- سیستم ISEP TM
۱۲۳	۵-۴-۳ بخش ۳۰۰- بازیافت
۱۲۶	۵-۵ پتانسیلهای به کار گیری فرآیندهای غشایی در فرآیند تولید L- لیزین هیدروکلراید
۱۲۶	۵-۵-۱ فرآیند تخمیر، بیوراكتورهای غشایی و فرمانتورهای غشایی
۱۲۶	۵-۵-۲ جدا کردن توده بیولوژیکی با UF
۱۲۷	۵-۵-۳ تخلیص جریانهای خروجی از تبادل یون با استفاده از غشاء
۱۲۸	۵-۵-۴ تغلیظ L- لیزین هیدروکلراید توسط فرآیندهای غشایی

۱۲۹	فصل ششم: طراحی آزمایشها
۱۳۰	۱-۶ مقدمه
۱۳۰	۲-۶ طراحی آزمایشها
۱۳۱	۱-۲-۶ هدف طراحی آزمایش
۱۳۲	۲-۲-۶ اصول اساسی طراحی آزمایش
۱۳۲	۳-۲-۶ روش طراحی آزمایش
۱۳۴	۴-۲-۶ روش تاگوچی در طراحی آزمایشها
۱۳۶	۱-۴-۲-۶ مراحل روش تاگوچی در طراحی آزمایشها
۱۳۶	۵-۲-۶ آنالیز واریانس
۱۴۰	فصل هفتم: راه اندازی Set Up و انجام آزمایشها
۱۴۱	۱-۷ مقدمه
۱۴۱	۲-۷ انتخاب و تهیه اجزای Set Up آزمایشگاهی و راه اندازی آن
۱۴۵	۳-۷ راه اندازی RO Set Up
۱۴۸	۴-۷ راه اندازی VMD Set Up
۱۴۹	۵-۷ تهیه ماده لیزین هیدروکلراید خوراکی
۱۴۹	۶-۷ انجام آزمایشهای UF
۱۵۴	۱-۶-۷ اثر غلظت بر شار فرآیند UF
۱۵۴	۲-۶-۷ اثر فشار بر شار فرآیند UF
۱۵۵	۳-۶-۷ اثر سرعت خوراک بر شار فرآیند UF
۱۵۶	۴-۶-۷ اثر pH بر شار فرآیند UF
۱۵۸	۷-۷ انجام آزمایشهای RO
۱۵۹	۱-۷-۷ بررسی آماری نتایج
۱۶۱	۲-۷-۷ بررسی اثر فشار بر شار فرآیند RO
۱۶۲	۱-۲-۷-۷ اثر فشار بر میزان تراوش آب مقطر از غشاء RO
۱۶۲	۲-۲-۷-۷ اثر فشار بر میزان تراوش خوراک از غشاء RO
۱۶۴	۳-۷-۷ بررسی اثر دما بر شار فرآیند RO
۱۶۴	۱-۳-۷-۷ بررسی اثر دما بر میزان تراوش آب مقطر از غشاء RO
۱۶۵	۲-۳-۷-۷ اثر دما بر میزان تراوش خوراک از غشاء RO
۱۶۵	۴-۷-۷ اثر غلظت بر میزان تراوش خوراک از غشاء RO
۱۶۶	۵-۷-۷ اثر سرعت خطی جریان بر میزان تراوش خوراک از غشاء RO
۱۶۷	۶-۷-۷ اثر pH خوراک بر میزان تراوش خوراک از غشاء RO
۱۶۷	۸-۷ انجام آزمایشهای VMD

۱۶۷	۱-۸-۷ بررسی آماری نتایج
۱۷۰	۲-۸-۷ بررسی اثر دما بر شار فرآیند VMD
۱۷۱	۳-۸-۷ بررسی اثر غلظت خوراک بر شار فرآیند VMD
۱۷۲	۴-۸-۷ بررسی اثر فشار خلاء بر شار فرآیند VMD
۱۷۲	۵-۸-۷ بررسی اثر سرعت خوراک بر شار فرآیند VMD
۱۷۵	فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۷۶	۱-۸ نتیجه گیری
۱۷۷	۲-۸ پیشنهادات
۱۷۸	منابع و مراجع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۱: یک سیستم عمومی غشایی خوراک و دور ریز (Feed and Bleed)
۷	شکل ۲-۱: نمایش ترسیمی دو فاز جدا شده توسط یک غشاء
۱۱	شکل ۳-۱: تقسیم بندی غشاها بر اساس دانه بندی
۱۴	شکل ۴-۱: چهار نوع طرح اصلی مدول غشایی
۱۵	شکل ۵-۱: نمایی شماتیک از فرایند غشایی
۱۶	شکل ۶-۱: محدوده کاربرد فرآیندهای با نیرو محرکه فشار
۱۸	شکل ۷-۱: نمایی از یک فرآیند جداسازی گاز
۱۹	شکل ۸-۱: نمایی از فرآیند PV با دو حالت خلاء در سمت جریان عبور کرده و یا یک گاز حامل خنثی
۲۰	شکل ۹-۱: نمای از فرآیند D
۲۲	شکل ۱۰-۱: شمایی از عملکرد فرآیند ED
۲۸	شکل ۱-۲: مقایسه انواع فرآیندهای غشایی با نیرو محرکه اختلاف فشار از نظر اندازه متوسط حفرات غشاء
۳۰	شکل ۲-۲: نمایی از فیلتراسیون جریان متقابل و جریان بن بستی
۳۲	شکل ۳-۲: نمایش توزیع غلظت در اطراف یک غشاء UF
۳۳	شکل ۴-۲: یک مدل برای UF که در آن محلول حاوی مولکولهای درشت و ریز حل شونده می باشد
۳۵	شکل ۵-۲: مقطع عرضی یک غشاء، الف- غشاء متقارن، ب- غشاء نامتقارن
۳۶	شکل ۶-۲: سطح مقطع یک غشاء UF
۳۷	شکل ۷-۲: تأثیر فشار بر شار فرآیند UF
۳۸	شکل ۸-۲: تغییرات شار عبوری از غشاء با غلظت خوراک در میزان تلاطمهای مختلف
۳۹	شکل ۹-۲: بررسی پدیده پلاریزاسیون غلظتی در لایه مرزی مجاور غشاء
۴۱	شکل ۱۰-۲: رفتار شار بر حسب زمان
۴۳	شکل ۱۱-۲: نمایی از مقاومتهای مختلف انتقال جرم در تراوش از غشاء در یک فرآیند با نیروی محرکه فشار
۴۸	شکل ۱۲-۲: فرآیند UF با برگشت کامل
۴۹	شکل ۱۳-۲: فرآیند تغلیظ ناپیوسته با برگشت جزئی
۴۹	شکل ۱۴-۲: فرآیند خوراک و دور ریز
۵۰	شکل ۱۵-۲: فرآیند DF



- شکل ۲-۱۶: کاربرد UF در بازیافت رنگهای الکتروفورتیک ۵۱
- شکل ۲-۱۷: غشاء های نصب شده در سطح جهانی ۵۵
- شکل ۲-۱۸: شمای کلی کاربردهای احتمالی غشاء در فرآوری شیر ۵۵
- شکل ۲-۱۹: توالی عملیتهای فرآوری غشایی شیر ۵۶
- شکل ۲-۲۰: UF شیر بی چربی در مدول الیاف تو خالی ۵۷
- شکل ۲-۲۱: یک دستگاه سیرکولاسیون سلول ۶۱
- شکل ۲-۲۲: نمای کلی جریانهای یک فرآیند جداسازی بیوشیمیایی ۶۲
- شکل ۲-۲۳: تأثیر اندازه حفره غشاء بر شار جریان عبوری: جمع آوری سلول E. Coli ۶۴
- شکل ۲-۲۴: کاربرد فرآیند UF در بازیافت مواد تثبیت کننده و تصفیه آب در صنایع نساجی ۶۷
- شکل ۳-۱: نمای شماتیک فرآیند RO ۷۱
- شکل ۳-۲: ظرفیت واحدهای RO بر حسب سال ۷۳
- شکل ۳-۳: نفوذ (جزئی) بر حسب تراوش پذیری غشاهای تجاری و آزمایشگاهی گزارش شده در مقالات منتشر شده (۹۰-۱۹۸۰). ۷۷
- شکل ۳-۴: نمای برش داده شده مدول الیاف تو خالی شرکت Toyobo ۸۱
- شکل ۳-۵: مدول حلزونی ساخته شده توسط شرکت Millipore ۸۲
- شکل ۳-۶: ظرفیت انواع مختلف مدولهای تجاری ۸۳
- شکل ۳-۷: نمای پیش تصفیه واحد RO دوحا که برای آب دریا استفاده می شود ۸۴
- شکل ۳-۸: منحنیهای شماتیک که تأثیر فشار، دما و بازیافت آب را بر عملکرد واحد RO نمایش می دهند ۸۶
- شکل ۳-۹: فروش غشاها و سرعت رشد کاربردهای صنعتی واحد RO ۸۷
- شکل ۳-۱۰: مقایسه محدودیتهای عملیاتی غشاء های لایه نازک کامپوزیتی (پلی آمید) و سلولزی ۸۸
- شکل ۳-۱۱: اسمز معکوس شیر با غشاء کامپوزیتی پلی آمید. مدل حلزونی به قطر ۵۰ mm ۸۸
- شکل ۳-۱۲: تأثیر پدیده های مختلف بر RO ۸۹
- شکل ۴-۱: نمایی از فرآیند MD ۹۴
- شکل ۴-۲: نحوه آرایش سیالات در دو طرف غشاء ۹۵
- شکل ۴-۳: زاویه تماس قطرات مایع روی یک ماده جامد متخلخل ۹۶
- شکل ۴-۴: فشار خیس شوندگی (فشار ورودی مایع) برای یک غشاء متخلخل تفلون (PTFE) ۹۷



- شکل ۴-۵: فشار ورودی مایع به صورت تابعی از کسر وزنی اتانول برای غشاء متخلخل PP
 ۹۹ (Accurel) با قطر حفره $1 \mu m$ / ۰
- شکل ۴-۶: مقاومتهای بر سر راه انتقال جرم
 ۱۰۳
- شکل ۴-۷: شمای کلی انتقال حرارت و جرم
 ۱۰۵
- شکل ۴-۸: شار VMD بر حسب فشار خلاء: با 1000 ppm بنزن در آب و $TF = 50^\circ C$
 ۱۱۱
- شکل ۴-۹: نمایی از فرآیند تصفیه پساب با استفاده از ترکیب دو فرآیند UF/MD
 ۱۱۲
- شکل ۵-۱: ساختارهای D- و L- لیزین
 ۱۱۷
- شکل ۵-۲: ساختار مولکولی لیزین
 ۱۱۸
- شکل ۵-۳: سیستم ISEP™
 ۱۲۲
- شکل ۵-۴: جزئیات سیستم SEP™
 ۱۲۲
- شکل ۵-۵-۱: نمودار جریانهای فرآیند تولید L- لیزین هیدروکلراید با تخمیر و بازیافت با
 ۱۲۴ تبادل یون
- شکل ۵-۵-۲: نمودار جریانهای فرآیند تولید L- لیزین هیدروکلراید با تخمیر و بازیافت با
 ۱۲۵ تبادل یون
- شکل ۵-۶: یک سل تجربی راکتورهای آنزیمی غشایی (LC کنترلگر سطح و P فشار پمپ)
 ۱۲۶
- شکل ۵-۷: واحد UF در جدا کردن توده بیولوژیکی
 ۱۲۷
- شکل ۵-۸: جریانهای ورودی و خروجی از تبادل یون
 ۱۲۷
- شکل ۵-۹: حذف آب و آمونیاک توسط تبخیر کننده
 ۱۲۸
- شکل ۵-۱۰: تغلیظ لیزین هیدروکلراید در کریستال کننده خلاء
 ۱۲۸
- شکل ۶-۱: مراحل روش تاگوچی
 ۱۳۶
- شکل ۷-۱: منحنی حلالیت L- لیزین هیدروکلراید در آب بر حسب دما
 ۱۴۱
- شکل ۷-۲: PFD فرآیند غشایی در نظر گرفته شده برای تغلیظ L- لیزین هیدروکلراید
 ۱۴۲
- شکل ۷-۳: نمای واقعی UF Set Up
 ۱۴۴
- شکل ۷-۴: Set Up PFD آزمایشگاهی UF
 ۱۴۴
- شکل ۷-۵: مدول مورد استفاده در UF Set فرآیند UP
 ۱۴۵
- شکل ۷-۶-الف: نمای واقعی RO Set Up - نمای کلی
 ۱۴۶
- شکل ۷-۶-ب: نمای واقعی RO Set Up - نمای ظرف خوراک
 ۱۴۶
- شکل ۷-۶-ج: نمای واقعی RO Set Up - نمای مدول
 ۱۴۷
- شکل ۷-۶-د: نمای واقعی RO Set Up - نمای پمپ سانتریفیوژ
 ۱۴۷

- شکل ۷-۷: داده های میزان محلول عبور کرده از غشاء ۱ بر حسب زمان ۱۵۱
- شکل ۷-۸: داده های میزان محلول عبور کرده از غشاء ۲ بر حسب زمان ۱۵۱
- شکل ۷-۹: اثر غلظت L- لیزین هیدروکلراید بر میزان شار در فرآیند UF ۱۵۵
- شکل ۷-۱۰: اثر فشار عملیاتی بر میزان شار آب مقطر در فرآیند UF ۱۵۵
- شکل ۷-۱۱: اثر فشار عملیاتی بر میزان شار در فرآیند UF ۱۵۶
- شکل ۷-۱۲: اثر سرعت خوراک بر میزان شار در فرآیند UF ۱۵۶
- شکل ۷-۱۳: اثر pH بر شار در فرآیند UF آب پنیر ۱۵۷
- شکل ۷-۱۴: اثر pH بر میزان شار در فرآیند UF ۱۵۷
- شکل ۷-۱۵: اثر فشار بر میزان تراوش آب مقطر در دماهای ۲۴ و ۶۰ °C ۱۶۳
- شکل ۷-۱۶: اثر فشار بر شار غشاء در معرض خوراک ۱۶۳
- شکل ۷-۱۷-۱: اثر دما بر میزان تراوش آب مقطر در فشار ۱۲ bar ۱۶۴
- شکل ۷-۱۷-۲: اثر دما بر میزان تراوش آب مقطر در فشار ۱۶ bar ۱۶۵
- شکل ۷-۱۸: اثر دما بر شار غشاء در معرض خوراک ۱۶۵
- شکل ۷-۱۹: اثر غلظت خوراک بر شار غشاء ۱۶۶
- شکل ۷-۲۰: اثر سرعت خطی جریان خوراک روی سطح غشاء بر شار آن ۱۶۶
- شکل ۷-۲۱: رفتار شار بر حسب زمان در فرآیند MD ۱۷۰
- شکل ۷-۲۲: تأثیر دما بر روی شار فرآیند VMD ۱۷۱
- شکل ۷-۲۳: تأثیر غلظت خوراک بر روی شار فرآیند VMD ۱۷۱
- شکل ۷-۲۴: تأثیر فشار خلاء بر روی شار فرآیند VMD ۱۷۲
- شکل ۷-۲۵: تأثیر سرعت خوراک بر روی شار فرآیند VMD ۱۷۳
- شکل ۷-۲۶: نمای فرآیند ترکیبی طراحی شده برای تغلیظ سوسپانسیون ۵۰٪ وزنی L-لیزین هیدروکلراید ۱۷۳

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۹	جدول ۱-۱: توسعه تاریخی غشاها
۱۵	جدول ۲-۱: طبقه بندی فرآیندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه اعمال شده
۲۳	جدول ۳-۱: فرآیندهای غشایی و خصوصیات آنها
۲۳	جدول ۴-۱: برخی کاربردهای رایج فرآیندهای غشایی
۲۴	جدول ۵-۱: بازار جهانی غشاها و مدولها برای برخی فرآیندهای غشایی
۳۴	جدول ۱-۲: پلیمرهای مورد استفاده در ساخت غشاهای UF
۵۴	جدول ۲-۲: کاربردهای تکنولوژی غشایی در صنایع غذایی
۵۶	جدول ۳-۲: ترکیبات بعضی از محصولات لبنی
۵۷	جدول ۴-۲: تخمین پتانسیل ذخیره انرژی در صنایع غذایی، نوشیدنی و توتون در صورت استفاده از UF، RO و PV در EU-16
۵۷	جدول ۵-۲: حداقل انرژی مورد نیاز در MF نسبت به تبخیر
۶۰	جدول ۶-۲: ابعاد جداسازی غشایی در تکنولوژی بیولوژیکی
۶۹	جدول ۷-۲: کاربردهای اساسی فرآیند UF در صنایع مختلف و انواع مدول مورد استفاده و سازندگان آنها
۷۲	جدول ۱-۳: فشار اسمزی محلولهای مختلف در $25^{\circ}C$
۷۵	جدول ۲-۳: خواص بعضی از غشاهای RO تجاری
۸۳	جدول ۳-۳: مقایسه مدولهای مختلف
۸۵	جدول ۴-۳: استفاده از عوامل شیمیایی به عنوان پیش تصفیه واحدهای RO
۹۸	جدول ۱-۴: مقادیر کشش سطحی بعضی از مایعات در دمای $20^{\circ}C$
۹۸	جدول ۲-۴: انرژی سطح بعضی از پلیمرها
۱۱۰	جدول ۳-۴: لیست رایجترین غشاهای تجاری به کار رفته در MD فرآیند
۱۱۱	جدول ۴-۴: میزان کاهش آلاینده های نفتی توسط فرآیند UF
۱۱۳	جدول ۵-۴: مقایسه بین کیفیت پساب تصفیه شده بوسیله سیستم UF و سیستم ترکیبی UF/MD
۱۱۴	جدول ۶-۴: مقایسه فرآیندهای RO و MD



۱۱۷	جدول ۵-۱: مشخصات L- لیزین
۱۱۸	جدول ۵-۲: مشخصات L- لیزین هیدروکلراید
۱۴۹	جدول ۷-۱: مشخصات غشاء مورد استفاده در آزمایشهای VMD
۱۴۹	جدول ۷-۲: مشخصات نمونه L- لیزین هیدروکلراید خریداری شده
۱۵۰	جدول ۷-۳: سطوح مختلف عوامل مورد بررسی در آزمایشهای UF
۱۵۰	جدول ۷-۴: مقدار سطوح مختلف در آزمایشهای طراحی شده برای فرآیند UF
۱۵۲	جدول ۷-۵: نتایج حاصل از انجام آزمایشهای UF، تکرار ۱
۱۵۲	جدول ۷-۶: نتایج حاصله از انجام آزمایشهای UF، تکرار ۲
۱۵۳	جدول ۷-۷: نتایج آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی در مورد آزمایشهای UF
۱۵۳	جدول ۷-۸: نتایج متوسط آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی در مورد آزمایشهای UF
۱۵۴	جدول ۷-۹: میزان تأثیر عوامل مختلف بر شار عبوری از غشاء UF
۱۵۸	جدول ۷-۱۰: دقت پیش بینی نتایج آزمایشهای تأیید کننده UF توسط روش طراحی آزمایش تاگوچی
۱۵۸	جدول ۷-۱۱: سطوح مختلف عوامل مورد بررسی در آزمایشهای RO
۱۵۹	جدول ۷-۱۲: سطوح انتخاب شده برای پارامترهای فرآیند UF
۱۶۰	جدول ۷-۱۳: نتایج خام آزمایشهای انجام شده
۱۶۰	جدول ۷-۱۴: نتایج آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی
۱۶۰	جدول ۷-۱۵: نتایج متوسط آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی
۱۶۱	جدول ۷-۱۶: میزان تأثیر عوامل مختلف بر شار عبوری از غشاء
۱۶۸	جدول ۷-۱۷: سطوح انتخاب شده برای پارامترهای فرآیند UF
۱۶۸	جدول ۷-۱۸: نتایج خام آزمایشهای انجام شده
۱۶۹	جدول ۷-۱۹: نتایج آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی
۱۶۹	جدول ۷-۲۰: نتایج متوسط آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی
۱۶۹	جدول ۷-۲۱: میزان تأثیر عوامل مختلف بر شار عبوری از غشاء
۱۷۴	جدول ۷-۲۲: غلظت و مشخصات جریانهای فرآیند ترکیبی طراحی شده برای تغلیظ سوسپانسیون ۵۰٪ وزنی L- لیزین هیدروکلراید

مقدمه

جداسازی یکی از مهمترین مراحل عملیاتی در طول یک فرآیند شیمیایی می باشد و نقش عمده ای در تخلیص مواد اولیه و محصولات آن ایفاء می کند. در بسیاری از عملیات صنعتی شیمیایی، هدف اصلی ایجاد تغییر در غلظت اجزای موجود در مخلوط های مختلف و بدست آوردن فرآورده های جدید است. از آنجا که در اکثر این فرآیندهای عملیاتی، حفاظت از ماهیت شیمیایی اجزاء مد نظر می باشد لذا این تغییر غلظت در اثر واکنش شیمیایی ایجاد نمی شود بلکه از طریق تفکیک فیزیکی اجزای تشکیل دهنده آن مخلوط از یکدیگر عملی می گردد. در برخی از موارد به ویژه چنانچه تفکیک ذرات جامد مورد نظر باشد، جداسازی فیزیکی می تواند به صورت یک عمل کاملاً مکانیکی انجام گردد. مثلاً ذرات جامد معلق در یک مایع را می توان با عبور دادن مخلوط از درون یک صافی جدا نمود. همچنین با الک کردن یک مخلوط جامد می توان ذرات با اندازه های مختلف موجود در آن را از یکدیگر تفکیک کرد و یا اینکه با استفاده از اختلاف جرم ویژه موجود بین ذرات، آنها را با وارد کردن به درون مایعی با جرم ویژه مناسب از یکدیگر جدا نمود [۱].

استفاده از روشهای مکانیکی برای تفکیک اجزاء در تمام موارد مقدور نمی باشد. مثلاً هنگامی که تغییر مقادیر اجزای موجود در مخلوطها مورد نظر باشد باید از روشهایی که موجب تغییرات غلظت اجزاء در مخلوط می شود استفاده کرد. در این حالت دلیل تغییر غلظت اجزاء و در نتیجه تفکیک آنها از یکدیگر در نتیجه انتقال جرم اجزاء می باشد [۱].

تعداد قابل توجهی از روشهای جداسازی با ایجاد یک فاز دوم و انتقال جرم بین این دو فاز انجام می گیرد. روشهایی چون تقطیر و تبلور از این جمله به شمار می آیند. در این روشها برای ایجاد فاز دوم به مصرف انرژی قابل توجهی نیاز می باشد. از سوی دیگر در برخی از روشهای جداسازی، فاز دوم یک ماده شیمیایی ثانویه است که به فاز خوراک افزوده می شود اما نهایتاً این فرآیندها نیز برای جداسازی نهایی و بازیافت فاز دوم نیازمند فرآیندهای دسته اول و بنابراین نیازمند به صرف انرژی قابل ملاحظه ای هستند [۱].

توجهی که در دهه های اخیر به صرفه جویی در میزان مصرف انرژی صنایع معطوف شده، در مهندسی شیمی جایگاه ویژه ای یافته است. در موضوع مورد بحث یعنی فرآیندهای جداسازی، این انگیزه در طراحی فرآیندها تقویت شده است که تا حد امکان از تشکیل فاز دوم در جداسازی اجتناب شود و به این صورت در مصرف انرژی صرفه جویی به عمل آید [۱].

بدین ترتیب توجه به گروهی از فرآیندها معطوف گردیده که جداسازی را بدون تغییر فاز انجام می دهد. عنصر اصلی در این نوع فرآیندها یک مانع است که بین دو فاز قرار گرفته و عملکرد گزینشی دارد. فرآیندی از این دست که قادر است جداسازی ذرات را در ابعاد کوچک انجام دهد، جداسازی