



دانشگاه فردوسی مشهد  
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

# تصفیه فاضلاب حاصل از احیاء رزین تبادل یونی ستونهای رنگبری در صنعت قند بوسیله فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون

فخرالدین صالحی

استادان راهنما

دکتر سید محمد علی رضوی

دکتر محمد الهی

استاد مشاور

دکتر مصطفی شهیدی نوقابی

خرداد ۱۳۹۰



دانشگاه فردوسی مشهد  
دانشکده کشاورزی  
گروه علوم و صنایع غذایی

تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان تصفیه فاضلاب حاصل از احیاء رزین تبادل یونی ستونهای رنگبری در صنعت قند بوسیله فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون توسط آقای فخرالدین صالحی در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۳۱ با نمره ۲۰ و درجه ارزشیابی عالی در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

تاریخ دفاع ۳۱/۳/۹۰ نمره و درجه ارزشیابی ۲۰، عالی

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	دکتر سید محمد علی رضوی	دانشیار	استاد راهنما	
۲	دکتر محمد الهی	استادیار	استاد راهنما	
۳	دکتر مصطفی شهیدی نوقابی	استادیار	استاد مشاور	
۴	دکتر خلیل بهزاد	استادیار	استاد مدعو	
۵	دکتر علی شریف	استادیار	استاد مدعو	
۶	دکتر فریده طباطبایی	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	

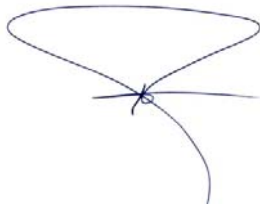
## تعهد نامه

عنوان پایان نامه:

تصفیه فاضلاب حاصل از احیاء رزین تبادل یونی ستونهای رنگبری در صنعت قند بوسیله فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون

اینجانب **فخرالدین صالحی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی دکتر سید محمد علی رضوی متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.



## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

## چکیده

هدف این پژوهش، بررسی کارایی فرآیند نانوفیلتراسیون در تصفیه فاضلاب حاصل از احیاء رزین های تبادل یونی ستون های رنگبری در صنعت قند به منظور بازیافت آب و کلرید سدیم بوده است. برای این منظور، تاثیر اختلاف فشار عرضی (در سه سطح ۱-۲ مگا پاسکال)، غلظت خوراک (در سه سطح ۶۰-۱۰۰ گرم بر لیتر)، pH (در دو سطح ۸ و ۹)، دما (در سه سطح ۳۰-۵۰ درجه سانتیگراد) و در دو تکرار بر کارایی فرآیند نانوفیلتراسیون شامل شار تراوه، گرفتگی و درصد دفع کلرید سدیم و ترکیبات رنگی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت انجام آزمایشات از غشاء لوله ای پلی آمیدی مدل AFC80 ساخت شرکت PCI استفاده گردید. با افزایش اختلاف فشار عرضی و غلظت خوراک، گرفتگی غشاء، مقاومت هیدرولیکی کل و مقاومت لایه ژل افزایش یافتند. با افزایش دمای فرایند و pH خوراک، شار تراوه افزایش یافت، در حالی که گرفتگی غشاء، مقاومت هیدرولیکی کل و مقاومت لایه ژل کاهش یافتند. میانگین شار تراوه و گرفتگی غشاء به ترتیب  $7/7 \pm 3/7$  و  $8/9 \pm 4/1$  بدست آمدند. درصد دفع کلرید سدیم بین ۱۶ تا ۴۲٪ بود. شار پایدار در طی فرآیند، حذف کامل ترکیبات رنگی ( $99/9\%$ )، گرفتگی پایین و بازیافت بیش از ۹۰٪ آب و ۷۷٪ کلرید سدیم، از نتایج قابل توجه این پژوهش هستند که استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون را به عنوان یک روش مناسب جهت بازیافت اینگونه فاضلاب های نمکی توصیه می کند. در این پژوهش همچنین کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدلسازی فرایند نانوفیلتراسیون فاضلاب ستون رنگبری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدلسازی نشان داد شبکه عصبی با ۹ نرون در یک لایه پنهان به خوبی قادر به پیشگویی شار تراوه و درصد دفع کلرید سدیم با ضریب همبستگی بالا (به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۸۸) می باشد.

**کلید واژه ها:** درصد دفع، شبکه عصبی مصنوعی، فاضلاب ستون رنگبری، مقاومت هیدرولیکی،

نانوفیلتراسیون.

بسمه تعالی

بر خود لازم می‌دانم از پدر، مادر و برادرانم که همواره مشوق و موجب دلگرمی اینجانب بودند، پاسکزاری کنم؛ حضورشان همواره  
سبب باده.

از استادانهای بزرگوارم جناب آقای دکتر رضوی، بزرگ انسانی که به ساگرش علم و انسانیت آموخت، صمیمانه قدردانی می‌کنم.  
از جناب آقای دکتر الهی که به عنوان استادانها، بنده رایاری نمودند، تشکر می‌کنم.

از زحمات بی‌دین استاد مشاور ارجمند جناب آقای دکتر شهیدی تشکر و قدردانی می‌کنم.

از اساتید محترم مدعو جناب آقایان دکتر بهزاد و دکتر شریف که مسئولیت داور این پایان نامه را بر عهده گرفتند و با نظرات ارزشمندشان بر  
غمای علمی این اثر افزودند، پاسکزارم.

از همکاری صمیمانه ناینده محترم تحصیلات تکمیلی، سرکار خانم دکتر طباطبائی، تشکر می‌کنم.

از بذل محبت سرکار خانم آجری طی مدت حضور اینجانب در مجتمع صنایع غذایی، پاسکزاری می‌کنم.

از همکلاسی‌های خوب و مهربانم که لحظه لحظه تحصیل و تحقیقان را در کنار هم گذرانیدیم تاره آورد آنها خاطراتی باشند که شیرینی این روزها را فراموش  
نکنیم، پاسکزارم.

فخرالدین صالحی

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست اشکال.....	و
فهرست جداول.....	ی
فهرست علائم و اختصارات.....	ک
فصل اول: اصول فرآیند های غشایی.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- تقسیم بندی فرآیند های غشایی.....	۳
۳-۱- تقسیم بندی انواع غشاها.....	۴
۱-۳-۱- بر اساس جنس غشاء.....	۵
۲-۳-۱- بر اساس ساختمان و ساختار غشاء.....	۵
۳-۳-۱- بر اساس شکل هندسی غشاء.....	۶
۴-۱- کارایی غشاء.....	۹
فصل دوم: روش های رنگبری شربت در صنعت قند.....	۱۱
۱-۲- مقدمه.....	۱۱
۲-۲- عملیات تکمیلی تصفیه شربت.....	۱۵
۱-۲-۲- سولفیتاسیون.....	۱۵
۲-۲-۲- ذغال حیوانی.....	۱۶
۳-۲-۲- کربن فعال.....	۱۶
۴-۲-۲- تبادل یونی.....	۱۷

۱۸	.....۱-۴-۲-۲- احیاء رزین های تبادل یونی
۱۹	.....۲-۴-۲-۲- تصفیه فاضلاب رزین های تبادل یونی
۲۱	..... فصل سوم: تئوری شبکه عصبی مصنوعی
۲۱	.....۱-۳- مقدمه
۲۲	.....۲-۳- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی
۲۳	.....۳-۳- شبکه پرسپترون
۲۵	.....۴-۳- فرآیند آموزش شبکه
۲۵	.....۱-۴-۳- آموزش با ناظر
۲۵	.....۲-۴-۳- آموزش بدون ناظر
۲۶	.....۵-۳- توابع انتقال
۲۷	..... فصل چهارم: بررسی منابع
۲۷	.....۱-۴- مقدمه
۲۸	.....۲-۴- تصفیه پسآب ها به روش NF
۲۸	.....۱-۲-۴- پسآب های نمکی
۳۱	.....۲-۲-۴- پسآب های رنگی
۳۴	.....۳-۴- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای مدلسازی فرآیند غشایی NF
۳۷	..... فصل پنجم: مواد و روش ها
۳۷	.....۱-۵- سیستم غشایی
۳۸	.....۲-۵- غشای NF
۳۸	.....۳-۵- آماده سازی نمونه ها



- ۴-۵- انتخاب شرایط عملیاتی فرآیند NF..... ۳۹
- ۱-۴-۵- اختلاف فشار عرضی..... ۳۹
- ۲-۴-۵- دمای فرآیند..... ۴۰
- ۳-۴-۵- غلظت خوراک..... ۴۰
- ۴-۴-۵- زمان فرآیند..... ۴۰
- ۵-۴-۵- pH خوراک..... ۴۰
- ۵-۵- شار تراوه..... ۴۱
- ۶-۵- گرفتگی غشاء..... ۴۲
- ۷-۵- آزمایشات..... ۴۲
- ۱-۷-۵- دانسیته تراوه..... ۴۲
- ۲-۷-۵- ویسکوزیته تراوه..... ۴۳
- ۳-۷-۵- درصد نمک..... ۴۵
- ۴-۷-۵- رنگ..... ۴۶
- ۸-۵- درصد دفع کلرید سدیم و ترکیبات رنگی..... ۴۷
- ۹-۵- مقاومت های هیدرولیک..... ۴۸
- ۱۰-۵- مدلسازی به روش شبکه های عصبی مصنوعی..... ۵۱
- ۱۱-۵- آنالیز آماری..... ۵۴
- فصل ششم : نتایج و بحث..... ۵۵
- ۱-۶- شار تراوه..... ۵۵
- ۱-۱-۶- اثر زمان..... ۵۶
- ۲-۱-۶- اثر اختلاف فشار..... ۵۸

- ۵۹..... اثر غلظت خوراک ۳-۱-۶
- ۶۱..... اثر دما ۴-۱-۶
- ۶۲..... اثر pH ۵-۱-۶
- ۶۴..... درصد دفع کلرید سدیم ۲-۶
- ۶۵..... اثر اختلاف فشار ۱-۲-۶
- ۶۶..... اثر غلظت خوراک ۲-۲-۶
- ۶۷..... اثر دما ۳-۲-۶
- ۶۸..... اثر pH ۴-۲-۶
- ۶۹..... درصد دفع ترکیبات رنگی ۳-۶
- ۷۱..... گرفتگی ۴-۶
- ۷۳..... مقاومت های هیدرولیکی ۵-۶
- ۷۴..... مقاومت هیدرولیکی کل ۱-۵-۶
- ۷۷..... اثر اختلاف فشار ۱-۱-۵-۶
- ۷۷..... اثر غلظت خوراک ۲-۱-۵-۶
- ۷۸..... اثر دمای فرآیند ۳-۱-۵-۶
- ۷۹..... اثر pH ۴-۱-۵-۶
- ۷۹..... مقاومت ذاتی غشاء ۲-۵-۶
- ۸۰..... مقاومت لایه ژل ۳-۵-۶
- ۸۱..... اثر اختلاف فشار ۱-۳-۵-۶
- ۸۲..... اثر غلظت خوراک ۲-۳-۵-۶
- ۸۳..... اثر دما ۳-۳-۵-۶

۸۴	.....pH اثر ۴-۳-۵-۶
۸۵	.....مقاومت لایه پلاریزاسیون غلظت ۴-۵-۶
۸۶	.....اثر اختلاف فشار ۱-۴-۵-۶
۸۷	.....اثر غلظت خوراک ۲-۴-۵-۶
۸۸	.....اثر دما ۳-۴-۵-۶
۸۹	.....pH اثر ۴-۴-۵-۶
۹۰	.....کارایی فرآیند NF در بازیافت فاضلاب ستون رنگبری ۶-۶
۹۰	.....مدلسازی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری ۷-۶
۹۵	.....فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۵	.....۱-۷- نتیجه گیری
۹۷	.....۲-۷- پیشنهادات
۹۹	.....فصل هشتم: منابع
۱۰۵	.....فصل نهم: پیوست
۱۰۵	.....پیوست ۱- اسامی لاتین و فارسی اشخاص

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- فیلتراسیون غشایی.....	۲
شکل ۱-۲- مدول لوله ای.....	۷
شکل ۱-۳- مدول صفحه ای.....	۷
شکل ۱-۴- مدول حلزونی.....	۸
شکل ۱-۵- مدول الیافی.....	۹
شکل ۲-۱- فرآیند شماتیک تولید شکر.....	۱۴
شکل ۲-۲- رزین تبادل یونی.....	۱۸
شکل ۲-۳- شماتیک فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری.....	۲۰
شکل ۳-۱- ساختار کلی یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه.....	۲۳
شکل ۳-۲- حالت ایده ال جداسازی با NF.....	۲۸
شکل ۳-۳- شماتیک فرآیند رنگبری توسط NF.....	۳۲
شکل ۳-۴- سیستم NF بکارگرفته شده جهت نانوفیلتراسیون فاضلاب ستونهای رنگبری.....	۳۷
شکل ۳-۵- تصویر کنداکتیویمتر مدل ۴۰۱۰ جن وی.....	۴۶
شکل ۳-۶- تصویر اسپکتروفتومتر جن وی مدل ۶۱۰۵.....	۴۷
شکل ۴-۱- ساختار شماتیک ورودی و خروجی های شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه (۴/n/۲) به منظور پیشگویی میانگین شار و درصد دفع کلرید سدیم فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری.....	۵۴
شکل ۴-۲- شار دینامیکی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (۶۰ g/l ، TMP=۱MPa و pH=۸).....	۵۷

- شکل ۶-۲- شار دینامیکی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (  $60 \text{ g/l}$ ،  $1/5 \text{ MPa}$  TMP = و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۵۷
- شکل ۶-۳- شار دینامیکی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (  $60 \text{ g/l}$ ،  $2 \text{ MPa}$  TMP = و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۵۸
- شکل ۶-۴- اثر دما و اختلاف فشار بر میانگین شار تراوه فرآیند NF فاضلاب نمکی (  $80 \text{ g/l}$  و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۵۹
- شکل ۶-۵- شار دینامیکی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در غلظت های مختلف (  $50^\circ\text{C}$ ،  $2 \text{ MPa}$ ،  $\text{pH}=8$  و TMP = ) ..... ۶۰
- شکل ۶-۶- میانگین شار تراوه فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری به عنوان تابعی از اختلاف فشار در عرض غشاء در غلظت های متفاوت (  $50^\circ\text{C}$  و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۶۰
- شکل ۶-۷- میانگین شار تراوه فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری به عنوان تابعی از غلظت در دماهای عملیاتی (  $2 \text{ MPa}$  TMP = و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۶۱
- شکل ۶-۸- شار دینامیکی فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در غلظت های مختلف (  $60 \text{ g/l}$ ،  $50^\circ\text{C}$ ،  $2 \text{ MPa}$  TMP = ) ..... ۶۳
- شکل ۶-۹- میانگین شار تراوه فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری به عنوان تابعی از  $\text{pH}$  و غلظت خوراک ورودی (  $40^\circ\text{C}$  و  $2 \text{ MPa}$  TMP = ) ..... ۶۳
- شکل ۶-۱۰- اثر اختلاف فشار و دمای فرآیند NF بر درصد دفع کلرید سدیم (  $60 \text{ g/l}$  و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۶۶
- شکل ۶-۱۱- درصد دفع کلرید سدیم توسط غشای NF به عنوان تابعی از اختلاف فشار در عرض غشا و در غلظت های متفاوت (  $50^\circ\text{C}$  و  $\text{pH}=8$  ) ..... ۶۷
- شکل ۶-۱۲- اثر غلظت و دمای خوراک ورودی به سیستم NF بر وی درصد دفع کلرید سدیم (  $1/5 \text{ MPa}$ ،  $\text{pH}=8$  و TMP = ) ..... ۶۸

- شکل ۶-۱۳- اثر pH و غلظت خوراک ورودی به فرآیند NF بر درصد دفع کلرید سدیم (  $T=50^{\circ}\text{C}$  )  
 ۶۹.....(  $\text{TMP}=1/5\text{MPa}$  )
- شکل ۶-۱۴- پروفیل مقاومت کل- زمان فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (  $60\text{g/l}$  )  
 ۷۶.....(  $\text{pH}=8$  و  $T=30^{\circ}\text{C}$  )
- شکل ۶-۱۵- پروفیل مقاومت کل- زمان فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (  $60\text{g/l}$  )  
 ۷۶.....(  $\text{pH}=8$  و  $T=40^{\circ}\text{C}$  )
- شکل ۶-۱۶- پروفیل مقاومت کل- زمان فرآیند NF فاضلاب رزین رنگبری در دماهای مختلف (  $60\text{g/l}$  )  
 ۷۶.....(  $\text{pH}=8$  و  $T=50^{\circ}\text{C}$  )
- شکل ۶-۱۷- اثر اختلاف فشار بر مقاومت کلی غشاء در طی فرآیند NF (  $\text{pH}=8$  و  $180\text{g}$  )  
 ۷۷.....
- شکل ۶-۱۸- میانگین مقاومت کل غشاء NF در غلظت ها و اختلاف فشارهای مختلف (  $\text{pH}=8$  و  $T=50^{\circ}\text{C}$  )  
 ۷۸.....
- شکل ۶-۱۹- اثر غلظت و دمای خوراک ورودی به سیستم NF بر مقاومت کل (  $\text{pH}=8$  و  $\text{TMP}=1\text{MPa}$  )  
 ۷۹.....
- شکل ۶-۲۰- اثر pH و غلظت خوراک ورودی به فرآیند NF بر مقاومت کل (  $\text{TMP}=1/5\text{MPa}$  و  $T=50^{\circ}\text{C}$  )  
 ۷۹.....
- شکل ۶-۲۱- اثر اختلاف فشار فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری بر مقاومت لایه ژل  
 ۸۲.....
- شکل ۶-۲۲- اثر غلظت خوراک بر مقاومت لایه ژل در طی NF فاضلاب ستون رنگبری  
 ۸۳.....
- شکل ۶-۲۳- اثر دمای فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری بر مقاومت لایه ژل  
 ۸۴.....
- شکل ۶-۲۴- اثر pH خوراک بر مقاومت لایه ژل در طی NF فاضلاب ستون رنگبری  
 ۸۵.....
- شکل ۶-۲۵- اثر اختلاف فشار فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری بر مقاومت لایه پلاریزاسیون غلظت  
 ۸۷.....
- شکل ۶-۲۶- اثر غلظت خوراک بر مقاومت لایه پلاریزاسیون غلظت در طی NF فاضلاب ستون رنگبری  
 ۸۸.....
- شکل ۶-۲۷- اثر دمای فرآیند NF فاضلاب ستون رنگبری بر مقاومت لایه پلاریزاسیون غلظت  
 ۸۹.....
- شکل ۶-۲۸- اثر pH خوراک بر مقاومت لایه پلاریزاسیون غلظت در طی NF فاضلاب ستون رنگبری  
 ۸۹.....

شکل ۶-۲۹- مقادیر میانگین مربعات خطا به عنوان تابعی از تعداد سیکل های یادگیری طی فرآیند یادگیری

و آزمون شبکه عصبی مصنوعی..... ۹۲

شکل ۶-۳۰- مقادیر تجربی در برابر مقادیر پیشگویی شده برای میانگین شار تراوه فرآیند NF فاضلاب ستون

رنگبری توسط شبکه عصبی بهینه (ضریب همبستگی برابر ۰/۹۸)..... ۹۴

شکل ۶-۳۱- مقادیر تجربی در برابر مقادیر پیشگویی شده برای درصد دفع کلرید سدیم توسط شبکه عصبی

بهینه (ضریب همبستگی برابر ۰/۸۸)..... ۹۴

شکل ۶-۳۲- نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه..... ۹۴

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- اندازه ترکیبات رنگی موجود در شربت قند.....	۱۵
جدول ۱-۵- مشخصات فنی سیستم پایلوتی غشاء NF (AFC80).....	۳۸
جدول ۱-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر شار تراوه.....	۵۶
جدول ۲-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر درصد دفع کلرید سدیم.....	۶۵
جدول ۳-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر گرفتگی غشاء.....	۷۲
جدول ۴-۶- اثر تغییرات دما، اختلاف فشار، غلظت خوراک و pH بر میانگین گرفتگی غشاء در طی نانوفیلتراسیون فاضلاب رزین رنگبری (هر داده میانگین حداقل ۳۶ عدد است).....	۷۳
جدول ۵-۶- محاسبه k (ثابت ویسکومتر) بر اساس ویسکوزیته و دانسیته آب مقطر.....	۷۴
جدول ۶-۶- دانسیته خوراک در غلظت ها و pH های مختلف و در دماهای عملیاتی متفاوت.....	۷۴
جدول ۷-۶- ویسکوزیته خوراک در غلظت ها و pH های مختلف و در دماهای عملیاتی متفاوت.....	۷۵
جدول ۸-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر مقاوت هیدرولیکی کل.....	۷۵
جدول ۹-۶- مقاوت ذاتی غشاء در شرایط عملیاتی متفاوت.....	۸۰
جدول ۱۰-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر مقاوت لایه ژل.....	۸۱
جدول ۱۱-۶- جدول آنالیز واریانس عوامل موثر بر مقاوت لایه پلاریزاسیون غلظت.....	۸۶
جدول ۱۲-۶- مقادیر خطاها در پیشگویی درصد دفع کلرید سدیم و شار تراوه NF فاضلاب رزین رنگبری توسط شبکه های عصبی مصنوعی مختلف دارای ۲ تا ۲۰ نرون در یک لایه پنهان.....	۹۱
جدول ۱۳-۶- مقادیر وزن ها و بایاس های متناظر با هر نرون در شبکه عصبی مصنوعی بهینه (دارای ۹ نرون در لایه پنهان) برای پیشگویی درصد دفع کلرید سدیم و شار تراوه NF فاضلاب رزین رنگبری.....	۹۳



## فهرست علائم و اختصارات

معادل فارسی	علامت	معادل کامل انگلیسی
اختلاف فشار اسمزی	$\Delta\pi$	Osmotic pressure differences, MPa
ویسکوزیته تراوه	$\mu_p$	Permeate viscosity, Pa.s
ویسکوزیته آب مقطر	$\mu_w$	Distilled water viscosity, Pa.s
شبکه عصبی مصنوعی	ANN	Artificial Neural Network
باپاس	b	Bias
غلظت	C	Concentration
غلظت خوراک	$C_f$	Feed concentration, g L <sup>-1</sup>
غلظت تراوه	$C_p$	Permeate concentration, g L <sup>-1</sup>
تابع فعال سازی	f	Activation Function
شار تراوه	$J_p$	Permeate flux, kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
شار آب مقطر قبل از عملیات	$J_w$	Distilled water flux before run, kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
شار آب مقطر بعد از عملیات	$J_{wf}$	Distilled water flux after run, kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
لیونبرگ-مارکوت	LM	Levenberg–Marquardt
میانگین خطای مطلق	MAE	Mean absolute error
میکروفیلتراسیون	MF	Microfiltration
میانگین مربعات خطا	MSE	Mean squared error
حد وزن مولکولی	MWCO	Molecular weight cut off
نرون	n	Neuron
نانوفیلتراسیون	NF	Nanofiltration
میانگین مربعات خطای نرمالیزه	NMSE	Normalized Mean squared error
فشار	P	Pressure
فشار ورودی	$P_i$	Inlet pressure, MPa
فشار خروجی	$P_o$	Outlet pressure, MPa
فشار سمت تراوه	$P_p$	Permeate pressure, MPa
ضریب همبستگی	r	Correlation coefficient
درصد دفع	R	Rejection
مقاومت پلاریزاسیون غلظت	$R_{cp}$	Concentration polarization resistance, m <sup>-1</sup>

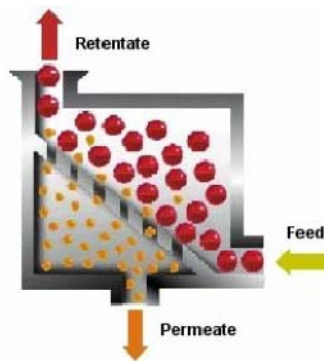
Gel layer resistance, $m^{-1}$	$R_g$	مقاومت لایه ژل
Membrane resistance, $m^{-1}$	$R_m$	مقاومت ذاتی غشاء
Reverse osmosis	RO	اسمز معکوس
Total hydraulic resistance, $m^{-1}$	$R_T$	مقاومت هیدرولیکی کل
Sigmoid Functions	Sig	تابع سیگموئیدی
Temperature	T	دما
Hyperbolic Tangent Function	tanh	تابع تانژانت هیپربولیک
Transmembrane pressure, MPa	TMP	اختلاف فشار عرضی
Ultrafiltration	UF	اولترافیلتراسیون
Initial volume of feed, L	$V_f$	حجم اولیه خوراک
Final volume of retentate, L	$V_r$	حجم نهایی خوراک
Volumetric concentration factor	VCF	فاکتور تغلیظ حجمی
Weight	w	وزن
input to a neuron	$x_i$	ورودی به نرون
Output	$y_j$	خروجی

## فصل اول

### اصول فرآیندهای غشایی

#### ۱-۱- مقدمه

فرآیندهای غشایی به دلیل مزایای خود از قبیل هزینه سرمایه گذاری پایین، کاهش مصرف انرژی، تسهیل در امر تصفیه پسابها و بهبود کیفیت محصولات مورد توجه مراکز تحقیقاتی، شرکتهای سازنده و صنایع مصرف کننده نظیر واحدهای تولید مواد شیمیایی، پالایشگاههای نفت و گاز، واحدهای پتروشیمی، نیروگاهها، صنایع غذایی و دارویی، تامین کنندگان آب شرب و تصفیه خانه ها، قرار گرفته است (مدائنی، ۱۳۸۱). به کارگیری فرآیندهای غشایی در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی با رشد قابل توجهی روبرو بوده است که منجر به ارتقاء در کیفیت محصولات، افزایش راندمان استحصال مواد مغذی، کاهش مصرف انرژی و تولید فرآوردههای جدید شده است (پابی و همکاران، ۲۰۰۹). به طور مثال می توان به استفاده از فرآیندهای غشایی در تصفیه پساب های صنعتی، فرآیندهای نمک زدایی، تغلیظ و تخلیص محلول های پروتئینی اشاره نمود که امروزه به شکل صنعتی مورد استفاده قرار گرفته اند. غشاء لایه ای است با ضخامت کم که جداسازی مواد را عموماً براساس اندازه های مولکولی آنها ممکن می سازد (شکل ۱-۱). به عبارت دیگر غشاء یک سد نیمه تراوا می باشد که می تواند به عنوان فاز سوم، میان دو فاز قرار گرفته و انتقال جرم میان آنها را کنترل نماید (نوردمن، ۲۰۰۰؛ باکر، ۲۰۰۴).



شکل ۱-۱- فیلتراسیون غشایی

نخستین کاربرد غشاء به سال ۱۹۲۰ بر می گردد. در این سال برای انجام کارهای باکتری شناسی از غشاء میکروفیلتراسیون استفاده شد. بعد از جنگ جهانی دوم یک گروه ویژه برای مطالعه بر روی تکنولوژی غشایی در آلمان تشکیل شد و در سالهای ۱۹۴۷ تا ۱۹۵۰ غشاهایی با ساختار مناسب ساخته شدند. در سال ۱۹۵۷ نتایج گزارشات تحقیقاتی، منجر به تمایل به استفاده از روش های فیلتراسیون غشایی برای تولید آب آشامیدنی شد. کاربرد غشاها در مقیاس آزمایشگاهی تا سال ۱۹۶۰ ادامه یافت و نهایتاً منجر به تولید غشاهای نامتقارن اسمز معکوس از جنس سلولز استات در مقیاس صنعتی ساخته شد. در همین دهه همچنین غشاهای اولترافیلتراسیون نامتقارن توسط میشل ساخته شد. در اواسط دهه ۱۹۶۰ از غشاهای میکروفیلتر برای استریل کردن مایعات استفاده شده است (مدائنی، ۱۳۸۱). در فرایندهای غشایی، جزئی از خوراک که از غشاء عبور می کند تراوه<sup>۱</sup> و بخشی که از غشاء عبور نمی کند و یا به عبارتی توسط غشاء نگه داشته می شود، ناتراوه<sup>۲</sup> نامیده می شود که بر اساس هدف جداسازی، هرکدام از آنها می توانند به عنوان محصول در نظر گرفته شوند. فرایندهای غشایی براساس نوع کاربرد و نوع نیرو محرکه مورد نیاز برای انجام فرایند با یکدیگر متفاوتند (چریان، ۱۹۹۸). مهمترین مزایای فرایندهای غشایی به این شرح می باشند:

- برخی از فرایندهای جداسازی مانند فرآیند دیالیز، تنها به کمک غشاءها امکان پذیر می باشند.

<sup>۱</sup>- Permeate

<sup>۲</sup>- Retentate