



**دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.SC"
مهندسی شیمی - فرایند**

عنوان :

شیرین سازی آب به روش الکترو دیالیز

استاد راهنما :

نگارش :

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	چکیده
	مقدمه
	فصل اول : فرایند های غشایی
۱	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- تکنولوژی غشایی
۶	۳-۱- فرآیند غشایی
۷	۴-۱- طبقه بندی فرآیندهای جداسازی غشایی
۷	۱-۴-۱- میکروفیلتراسیون
۸	۲-۴-۱- الکتروفیلتراسیون
۸	۳-۴-۱- اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون
۱۰	۴-۴-۱- جداسازی گازی
۱۰	۵-۴-۱- تراوش تبخیری
۱۱	۶-۴-۱- حمل کننده واسطه ای
۱۳	۷-۴-۱- دیالیز
۱۴	۸-۴-۱- دیالیز نفوذی
۱۴	۹-۴-۱- تقطیر غشایی
۱۶	۱۰-۴-۱- الکترودیالیز
	فصل دوم : الکترو دیالیز
۱۷	۱-۲- مقدمه
۱۸	۲-۲- الکترودیالیز
۱۹	۱-۲-۲- پارامترهای فرآیند
۲۳	۲-۲-۲- الکترودها
۲۴	۳-۲-۲- غشا الکترودیالیز
۲۶	۴-۲-۲- مکانیزم انتقال در غشا تبادل یونی
۲۷	۵-۲-۲- مشخصات غشا یونی
۲۸	۶-۲-۲- نیازهای نگهداری کلی برای واحد الکترودیالیز
۲۹	۷-۲-۲- واحد الکترودیالیز
۳۱	۸-۲-۲- الکترو دیالیز معکوس
۳۲	۹-۲-۲- کاربرد های الکترو دیالیز
	فصل سوم : فرایند های شیرین سازی آب
۳۴	۱-۳- مقدمه
۳۶	۲-۳- فرایند های نمک زدایی
۳۹	۳-۳- فرآیندهای غشایی
۳۹	۱-۳-۳- اسمز معکوس
۴۱	۱-۱-۳-۳- روش انتخابی برای نمک زدایی آب دریایی
۴۲	۲-۱-۳-۳- مزایای استفاده از سیستم RO در نمک زدایی

۴۲	..... معایب سیستم <i>RO</i> ۳-۱-۳-۳
۴۳	..... الکترودیالیز <i>ED</i> ۲-۳-۳
۴۵	..... ۱-۲-۳-۳ مزایای استفاده از الکترودیالیز در نمکزدایی
۴۵	..... ۲-۲-۳-۳ مشکلات استفاده از الکترودیالیز
۴۶	..... ۳-۳-۳ روشهای دیگر غشایی
۴۶	..... ۱-۳-۳-۳ نانوفیلتراسیون <i>NF</i>
۴۶	..... ۲-۳-۳-۳ اولترافیلتراسیون <i>UF</i>
۴۶	..... ۳-۳-۳-۳ میکروفیلتراسیون <i>MF</i>
۴۶	..... ۴-۳ فرآیندهای حرارتی
۴۶	..... ۱-۴-۳ فلش چند مرحله‌ای <i>MSF</i>
۴۸	..... ۱-۱-۴-۳ فواید استفاده از <i>MSF</i>
۴۸	..... ۲-۱-۴-۳ مشکلات استفاده از <i>MSF</i>
۴۹	..... ۲-۴-۳ روش تقطیر چند تأثیره <i>MED</i>
۵۱	..... ۱-۲-۴-۳ فواید <i>MED</i>
۵۲	..... ۲-۲-۴-۳ مشکلات سیستم <i>MED</i>
۵۲	..... ۳-۴-۳ کمپرس بخار <i>VC</i>
۵۳	..... ۱-۳-۴-۳ مزایای تبخیر فشرده
۵۴	..... ۲-۳-۴-۳ معایب روش تبخیر فشرده
۵۴	..... ۳- سایر فرآیندهای نمکزدایی
۵۴	..... ۱-۵-۳ تقطیر خورشیدی
۵۵	..... ۲-۵-۳ انجماد
۵۶	..... ۳-۵-۳ تقطیر غشایی
۵۶	..... ۶- انرژی فرآیندهای نمکزدایی
۵۷	..... ۷-۳ مقایسه‌ی روشهای شیرین سازی آب
۵۹	..... ۱-۷-۳ مقایسه‌ی سه روش اصلی <i>EDR, MED, RO</i>
۶۰	..... ۲-۷-۳ مقایسه‌ی دو روش غشایی <i>RO</i> و <i>ED</i>
۶۱	..... ۸-۳ موقعیت جهان در ارتباط با محصول ، فرایند ، تکنولوژی و قیمت شیرین سازی آب
۶۱	..... ۱-۸-۳ نصب
۶۲	..... ۲-۸-۳ توسعه
۶۳	..... ۹-۳ وضعیت آب‌های ایران
۶۴	..... ۱-۹-۳ فرایند سنتی تصفیه‌ی آب در ایران
۶۴	..... ۲-۹-۳ لزوم انجام تحقیق بر روی فرایندهای تصفیه‌ی آب
۶۵	..... ۱۰-۳ عوامل موثر در شیرین سازی آب
۶۵	..... ۱-۱۰-۳ آب ورودی
۶۵	..... ۲-۱۰-۳ آب خروجی
۶۶	..... ۳-۱۰-۳ راندمان آب خروجی
۶۶	..... ۴-۱۰-۳ فرایندهای مقدماتی
۶۶	..... ۵-۱۰-۳ تمیز کردن غشا و مخازن ، جلو گیری و از بین بردن جرم و تمیز کردن لوله‌ها

۶۷	۳-۱۰-۶- مواد زائد خروجی
۶۷	۳-۱۰-۷- محدودیت های زیست محیطی
۶۷	۳-۱۰-۱- خروج محصولات جانبی
۶۹	۳-۱۰-۲- اثر شوری آب ورودی به دریا
۶۹	۳-۱۰-۳- سایر عوامل زیست محیطی
۷۰	۳-۱۱-۱- عوامل موثر در انتخاب فرایند های نمک زدایی
۷۰	۳-۱۱-۲- ضریب بهره وری
۷۰	۳-۱۱-۳- مخارج کارخانه
۷۰	۳-۱۱-۴- بهره
۷۰	۳-۱۱-۵- هزینه های جانبی
۷۱	۳-۱۱-۶- فاصله آب و کارخانه
۷۱	۳-۱۱-۷- کیفیت آب ورودی
۷۱	۳-۱۱-۸- کیفیت آب خروجی
۷۱	۳-۱۱-۹- منابع انرژی
۷۱	۳-۱۱-۱۰- فرایند مقدماتی
۷۱	۳-۱۱-۱۱- هزینه های مواد شیمیایی
۷۱	۳-۱۱-۱۲- فاکتور بار کارخانه
۷۲	۳-۱۱-۱۳- دسترسی به نیروی ماهر
۷۲	۳-۱۱-۱۴- دور ریز آب شور بازگشتی
۷۲	۳-۱۱-۱۵- انبار کردن و توزیع نهایی آب تازه
۷۲	۳-۱۱-۱۶- ظرفیت کارخانه
۷۲	۳-۱۱-۱۷- مکان یابی
۷۲	۳-۱۲- هزینه های نمک زدایی
۷۳	۳-۱۳- عواملی که در هزینه های نمک زدایی اثر می گذارد
۷۳	۳-۱۳-۱- منبع انرژی
۷۴	۳-۱۳-۲- آب ورودی
۷۴	۳-۱۳-۳- مکان یابی
۷۵	۳-۱۳-۴- کمیت آب ورودی
۷۵	۳-۱۳-۵- کیفیت آب ورودی
۷۶	۳-۱۳-۶- فرایند های مقدماتی و فرایند تکمیلی
۷۶	۳-۱۳-۷- در دسترس بودن زمین
۷۶	۳-۱۳-۸- مواد اضافی تولید شده در نمک زدایی
۷۶	۳-۱۴-۱- مخارج اصلی و عملیاتی
	فصل ۴- وسایل و طراحی آزمایش
۷۷	۴-۱- مقدمه
۷۸	۴-۲- دستگاههای مورد استفاده
۷۸	۴-۲-۱- سل الکترودیالیز
۸۱	۴-۲-۲- غشا
۸۱	۴-۲-۳- الکترودها

۸۲	.....	۴-۲-۴- پمپ
۸۲	.....	۵-۲-۴- تأمین کننده برق سیستم
۸۳	.....	۶-۲-۴- هدایت سنج
۸۳	.....	۷-۲-۴- گرم کننده
۸۳	.....	۳-۴- خوراک دستگاه
۸۳	.....	۴-۴- روش انجام آزمایش
۸۵	.....	۵-۴- طراحی آزمایش
۸۵	.....	۱-۵-۴- هدف طراحی آزمایش
۸۶	.....	۲-۵-۴- روش طراحی آزمایش
		فصل ۵- محاسبات و نتایج
۸۸	.....	۱-۵- مقدمه
۸۹	.....	۲-۵- الگوریتم تاگوچی
۹۴	.....	۳-۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها
		فصل ۶- نتیجه‌گیری کلی
۱۰۳	.....	۱-۶- مقدمه
۱۰۴	.....	۲-۶- دما
۱۰۴	.....	۳-۶- دبی
۱۰۵	.....	۴-۶- غلظت
۱۰۵	.....	۵-۶- ولتاژ
		ضمایم
		فهرست منابع
		چکیده انگلیسی

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۵	۱-۱.شکل: تکنولوژی غشایی تابع واسطه ای بین علوم مختلف و نظام مهندسی
۶	۱-۲.شکل: مدول الکترودیالیز
۱۱	۱-۳.شکل: فرایند تراوش تبخیری
۱۲	۱-۴.شکل: فرایندهای حمل کنندهای ثابت و متحرک
۱۳	۱-۵.شکل: شمایی از فرایند دیالیز
۱۵	۱-۶.شکل: شمایی از تقطیر غشایی
۱۹	۲-۱.شکل: اساس الکترودیالیز
۲۰	۲-۲.شکل: مقاومت‌های موجود در یک جفت سل
۲۱	۲-۳.شکل: ارزیابی جریان و ولتاژ در غشاها تبادل یونی
۲۲	۲-۴.شکل: ارزیابی ولتاژ و جریان در غشا تبادل یونی
۲۲	۲-۵.شکل: مقاومت بر حسب معکوس جریان
۲۴	۲-۶.شکل: غشاها تبادل آنیونی و کاتیونی بر اساس پلی استایرن و دیوبنیل بنزل
۲۷	۲-۷.شکل: شمایی از توزیع یونی در محلول با پتانسیل به عنوان یک تابع از فاصله
۲۹	۲-۸.شکل: یک دیاگرام جریان برای یک فرایند الکترودیالیز تک مرحله‌ای
۳۶	۳-۱.شکل: مینیمم ذخیره‌ی آب
۳۹	۳-۲.شکل: نمایش شماتیک فرایند نمک زدایی اسمز معکوس
۴۰	۳-۳.شکل: انواع سیستم غشاهاي اسمز معکوس
۴۴	۳-۴.شکل: شمایی از فرایند الکترودیالیز
۴۷	۳-۵.شکل: فرایند MSF
۴۹	۳-۶.شکل: نمای شماتیک واحد MED با لوله‌های افقی
۵۰	۳-۷.شکل: نمای شماتیک واحد MED با لوله‌های عمودی
۵۳	۳-۸.شکل: نمای شماتیک واحد VC
۵۵	۳-۹.شکل: شمایی از تقطیر خورشیدی
۶۲	۳-۱۰.شکل: توزیع تاسیسات نمک زدایی در جهان
۶۳	۳-۱۱.شکل: ظرفیت واحد‌های نمک زدایی در جهان
۶۴	۳-۱۲.شکل: مراحل تصفیه‌ی سنتی آب
۷۸	۴-۱.شکل: شمای کلی واحد آزمایشگاهی ED
۷۹	۴-۲.شکل: شمای کلی سل مورد استفاده در واحد ED
۸۴	۴-۳.شکل: منحنی کالیبراسیون هدایت سنج محلول کلرید سدیم
۹۲	۴-۴.شکل: منحنی تغییرات هدایت در نمک زدایی بر حسب ولتاژ
۹۳	۴-۵.شکل: منحنی تغییرات هدایت در نمک زدایی بر حسب دما
۹۳	۴-۶.شکل: منحنی تغییرات هدایت در نمک زدایی بر حسب دبی
۹۳	۴-۷.شکل: منحنی تغییرات هدایت در نمک زدایی بر حسب غلظت
۹۹	۵-۵.شکل: درصد جداسازی در دبی و ولتاژ‌های مختلف
۱۰۰	۵-۶.شکل: درصد جداسازی در دبی و دماهای مختلف
۱۰۰	۵-۷.شکل: درصد جداسازی در دبی و غلظت‌های مختلف

- ۸-۵. شکل: در صد جدا سازی در ولتاژ و غلظت های مختلف ۱۰۱
- ۹-۵. شکل: در صد جداسازی در ولتاژ و دما های مختلف ۱۰۱
- ۱۰-۵. شکل: در صد جداسازی در غلظت و دما های مختلف ۱۰۲

فهرست جدول ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحة</u>
۱-۱.جدول: طبقه بندی چند فرایнд جدا سازی بر اساس خواص شیمیایی یا فیزیکی اجزای جدا شده ۲	۲
۱-۲.جدول: طبقه بندی فرایند های غشایی بر طبق نیروی محرکه ۷	۷
۱-۳.جدول: مشخصات فرایند میکروفیلتراسیون ۸	۸
۱-۴.جدول: مشخصات فرایند الترا فیلتراسیون ۸	۸
۱-۵.جدول: مشخصات فرایند نانو فیلتراسیون ۹	۹
۱-۶.جدول: مشخصات فرایند اسمز معکوس ۹	۹
۱-۷.جدول: مشخصات فرایند جدا سازی گازی ۱۰	۱۰
۱-۸.جدول: مشخصات فرایند تراوش تبخیری ۱۱	۱۱
۱-۹.جدول: مشخصات فرایند حمل کننده واسطه ای ۱۲	۱۲
۱-۱۰.جدول: مشخصات فرایند دیالیز ۱۴	۱۴
۱-۱۱.جدول: مشخصات فرایند دیالیز نفوذی ۱۴	۱۴
۱-۱۲.جدول: مشخصات فرایند تقطیر غشایی ۱۵	۱۵
۱-۱۳.جدول: مشخصات فرایند الکترو دیالیز ۱۶	۱۶
۳-۱.جدول: منابع آب روی کره ای زمین ۳۵	۳۵
۳-۲.جدول: استاندارد آب آشامیدنی WHO ۳۶	۳۶
۳-۳.جدول: مقایسه ای تعداد کارخانجات نمک زدایی در کشور های مختلف (در هزار m^3/day) ۵۸	۵۸
۳-۴.جدول: مقایسه ای فرایند های نمک زدایی ۵۸	۵۸
۳-۵.جدول: مقایسه ای مصرف انرژی در فرایند های نمک زدایی ۵۸	۵۸
۳-۶.جدول: مقایسه ای هزینه های فرایند های نمک زدایی ۵۹	۵۹
۳-۷.جدول: مقایسه ای سه روش EDR ، MED ، RO ۶۰	۶۰
۳-۸.جدول: مخارج اصلی و مخارج تهیه ای آب در هر روز ۷۷	۷۷
۴-۱.جدول: ظرفیت تبادل یونی غشا ۸۱	۸۱
۴-۲.جدول: آرایی متعامد L برای عامل های قابل کنترل ۹۰	۹۰
۴-۳.جدول: مشاهدات مربوط به میزان نمک زدایی از آب دریا با استفاده از هدایت سنج ۹۰	۹۰
۴-۴.جدول: اثرات اصلی عامل ها برای آزمایش های جدول ۲-۵ ۹۲	۹۲
۴-۵.جدول: تحلیل واریانس آزمایش های نمک زدایی آب ۹۹	۹۹

چکیده

تحقیق حاصل شامل شش فصل می باشد. فصل یک شرح مختصری از عنوانین : فرایند های جدا سازی تفکیک آن ها از لحاظ خواص شیمیایی و فیزیکی ، تکنولوژی غشایی ، جداسازی غشایی و طبقه بندی آن ها بر اساس نیروی محركه شان می باشد. در این فصل مشخصات هر یک از فرایند های غشایی به صورت جدولی شامل نوع غشای به کار رفته ضخامت غشا، اندازه ی حفرات غشا، نیروی محركه ی جدا سازی و کاربرد های هر کدام ذکر شده است.

در فصل دوم فرایند الکترودیالیز، اساس کار فرایند، غشاها، واحد الکترودیالیز، انرژی مصرفی فرایند، انواع الکترودیالیز و کاربردهای آن توضیح داده شده است.

فرایندهای شیرین سازی آب اعم از حرارتی و غشایی در فصل سوم مورد بررسی قرار می گیرد. در این فصل مقایسه ای بین روش های مختلف شیرین سازی آب از لحاظ قیمت، ظرفیت واحد، کیفیت محصول، منابع انرژی، میزان انرژی مصرفی انجام می شود. سپس عوامل مؤثر بر انتخاب فرایندهای نمک زدایی و عواملی که در هزینه های نمک زدایی اثر می گذارند بررسی می شود.

در فصل چهارم لوازم و وسایل مورد آزمایش و نوع آزمایش تشریح و روش طراحی آزمایش بیان می شود.

در فصل پنجم با استفاده از روش آماری تاگوچی در طراحی ابتدآزمایش ها توسط آرایه L_{II} طراحی می شود. سپس داده های حاصل از آزمایش ها تجزیه و تحلیل می شود.

در فصل ششم نتیجه گیری آزمایش ها مورد بحث قرار می گیرد. در این فصل اثر عوامل دما، دبی، ولتاژ و غلظت در فرایند جداسازی بررسی می شود.