

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی تجربی کاربرد فرایند الکترودیالیز ناپیوسته در جداسازی سدیم سولفات از دوغابه منیزیم استئارات

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

محمد علی مسیگل

اساتید راهنما:

دکتر احمد محب
دکتر ارجمند مهربانی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی آقای محمد علی مسیگل

تحت عنوان

**بررسی تجربی کاربرد فرایند الکترودیالیز ناپیوسته در جداسازی سدیم سولفات از دوغابه
منیزیم استنارات**

در تاریخ 90/12/13 توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر احمد محب

1- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر ارجمند مهربانی

2- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر مرتضی صادقی

3- استاد داور

دکتر اکرم زمانی

4- استاد داور

دکتر حمید زیلوئی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله)
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

برای

پدر فرزانه و مادر فداکارم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هفت	فهرست مطالب
1	چکیده
	فصل اول: مقدمه
2	1-1 مقدمه
3	2-1 تولید صنعتی استنارات منیزیم
5	3-1 هدف پژوهش
	فصل دوم: فرایندهای غشایی
6	1-2 مقدمه
7	2-2 تعریف غشا
8	3-2 تقسیم‌بندی غشاها از نظر مواد سازنده
8	1-3-2 غشاهای پلیمری
9	2-3-2 غشاهای سرامیکی
9	3-3-2 غشاهای فلزی
10	4-3-2 غشاهای مایع
10	4-2 تقسیم بندی غشاها از نظر ساختمان
11	5-2 تقسیم‌بندی غشاها از نظر مورفولوژی
12	6-2 خواص غشاها
12	1-6-2 خواص فیزیکی
12	2-6-2 خواص شیمیایی
13	7-2 انواع فرایندهای غشایی
13	1-7-2 اسمز معکوس
13	2-7-2 اولترافیلتراسیون
14	3-7-2 میکروفیلتراسیون
14	4-7-2 دیالیز
15	5-7-2 الکترودیالیز
15	6-7-2 جداسازی گازها
16	7-7-2 تراوش تبخیری
	فصل سوم: فرایند غشایی الکترودیالیز
17	1-3 مقدمه
18	2-3 اصول الکترودیالیز
20	3-3 اجزای واحد الکترودیالیز

21.....	غشاهای تبادلگر یونی	1-3-3
25.....	الکترودها.....	2-3-3
26.....	منبع تامین اختلاف پتانسیل اعمال شده به سیستم	3-3-3
26.....	کاربردهای الکترودیالیز	4-3
27.....	اصول الکترودیالیز معکوس	5-3
28.....	اصول الکترودیونیزاسیون	6-3
29.....	پدیده پلاریزاسیون غلظتی	7-3
31.....	مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه الکترودیالیز	8-3
فصل چهارم: شرح فعالیت‌های آزمایشگاهی		
38.....	مقدمه	1-4
38.....	سلول‌های الکترودیالیز متداول	2-4
39.....	محدودیت‌های طراحی سل	3-4
40.....	مقاومت الکتریکی سیستم	1-3-4
40.....	سطح موثر غشاها	2-3-4
40.....	دانسیته جریان	3-3-4
40.....	سطح موثر الکترودها	4-3-4
41.....	ولتاژ اعمال شده به سیستم	5-3-4
41.....	نسبت ارتفاع به قطر محفظه‌های سل	6-3-4
41.....	جنس سل	7-3-4
41.....	فرایند طراحی سل	8-3-4
44.....	مشخصه‌های سل	4-4
44.....	الکتروموتورها	1-4-4
46.....	الکترودها.....	2-4-4
46.....	غشاها	3-4-4
46.....	منبع تامین جریان DC	4-4-4
47.....	منبع تامین پتانسیل الکتروموتورها	5-4-4
47.....	همزن‌ها	6-4-4
48.....	واحد آزمایشگاهی الکترودیالیز	5-4
49.....	عوامل مورد بررسی	6-4
49.....	طراحی آزمایشات	7-4
50.....	روش‌های طراحی آزمایش	1-7-4
50.....	روش رویه پاسخ	2-7-4
52.....	طراحی صورت گرفته در این پروژه	3-7-4
54.....	شرح چگونگی انجام آزمایشات	8-4
فصل پنجم: نتایج		
55.....	روش کلاسیک	1-5

56.....	بررسی اثر ولتاژ	1-1-5
63.....	بررسی اثر غلظت استئارات منیزم در خوراک	2-1-5
70.....	بررسی اثر دور همزن محفظه رقیق‌شونده	3-1-5
73.....	بررسی اثر غلظت اولیه سود در محفظه کاتدی	4-1-5
76.....	ارزیابی نتایج روش رویه پاسخ برای میزان بازیابی یون سدیم	2-5
79.....	بررسی اثر ولتاژ بر میزان بازیابی یون سدیم	1-2-5
81.....	بررسی اثر غلظت اولیه خوراک بر میزان بازیابی یون سدیم	2-2-5
83.....	بررسی اثر دور همزن وسط بر میزان بازیابی یون سدیم	3-2-5
84.....	ارزیابی نتایج روش رویه پاسخ برای میزان مصرف انرژی (SPC)	3-5
85.....	بررسی اثر متقابل ولتاژ - دور همزن	1-3-5
86.....	بررسی اثر متقابل دور همزن - زمان	2-3-5
87.....	بررسی اثر متقابل ولتاژ - زمان	3-3-5
87.....	بررسی اثر متقابل غلظت خوراک - زمان	4-3-5
88.....	بهینه‌سازی سیستم	4-5
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات		
90.....	نتیجه‌گیری	1-6
91.....	پیشنهادات	2-6
92.....	مراجع:	

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
4	شکل 1-1: ساختار مولکولی منیزیم استنارات
19	شکل 3-1: آرایش متناوب غشاهای کاتیونی و آنیونی در یک سلول الکترودیالیز
21	شکل 3-2: اجزای اصلی یک واحد الکترودیالیز
21	شکل 3-3: سیر پیشرفت‌های صورت گرفته بر روی غشاهای تبادلگر یونی تا سال 2000 میلادی
23	شکل 3-4: نمایش غشای تبادلگر کاتیونی
23	شکل 3-5: ساختار غشای تبادلگر کاتیونی با گروه‌های تثبیت‌شده سولفوریک اسید
24	شکل 3-6: ساختار غشای تبادلگر آنیونی با گروه‌های تثبیت‌شده آمونیوم
27	شکل 3-7: اجزای یک واحد الکترودیالیز معکوس
28	شکل 3-8: حذف ذرات باردار کلئیدی رسوب کرده بر روی غشای آنیونی توسط روش EDR
29	شکل 3-9: نمایی ساده از نحوه انتقال یون‌ها و احیای الکتروشیمیایی در سل EDI
30	شکل 3-10: ایجاد گرادیان غلظت و لایه مرزی در نزدیکی سطح غشای کاتیونی
31	شکل 3-11: وقوع پدیده پلاریزاسیون غلظتی و ایجاد دانسیته جریان مجاز در سل الکترودیالیز
32	شکل 3-12: بازیابی استیک اسید توسط سل طراحی شده یو و همکاران
33	شکل 3-13: نمودار غلظت لاکتیک اسید در محلول خوراک و محصول نهایی با زمان در تحقیق وی و همکاران
39	شکل 4-1: نمایی از سلول‌های مجموعه جریان صفحه‌ای
43	شکل 4-2: تصویر از بالای سلول آزمایشگاهی مورد استفاده
44	شکل 4-3: شمای کلی سلول الکترودیالیز
45	شکل 4-4: الکتروموتورها و جعبه کلید کنترل آنها
45	شکل 4-5: محفظه اصلی الکترودیالیز به همراه الکتروموتورها
47	شکل 4-6: منبع تغذیه جریان مستقیم
47	شکل 4-7: همزن‌ها و الکتروموتورهای مورد استفاده
48	شکل 4-8: تصویر همزن دو پره‌ای مورد استفاده در این پژوهش
48	شکل 4-9: واحد آزمایشگاهی الکترودیالیز مورد استفاده در این پژوهش
57	شکل 5-1: میزان بازیابی یون سدیم در سه ولتاژ مختلف با غلظت اولیه دوغابه 15%، دور 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار
57	شکل 5-2: میزان بازیابی یون سدیم در سه ولتاژ مختلف با غلظت اولیه دوغابه 30%، دور 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار
57	شکل 5-3: میزان بازیابی یون سدیم در سه ولتاژ مختلف با غلظت اولیه دوغابه 45%، دور 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار

- شکل 5-4: تغییرات هدایت محفظه وسط در سه ولتاژ مختلف با غلظت اولیه دوغابه 30%، دور 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 58
- شکل 5-5: میزان انرژی مصرفی با تغییر ولتاژ در سه غلظت متفاوت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 59
- شکل 5-6: تغییرات دانسیته جریان در سه ولتاژ متفاوت با غلظت اولیه 15%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 60
- شکل 5-7: تغییرات دانسیته جریان در سه ولتاژ متفاوت با غلظت اولیه 30%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 61
- شکل 5-8: تغییرات دانسیته جریان در سه ولتاژ متفاوت با غلظت اولیه 45%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 61
- شکل 5-9: میزان انتقال یون سدیم با تغییر ولتاژ در سه غلظت خوراک، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 61
- شکل 5-10: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با غلظت خوراک 15%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 62
- شکل 5-11: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با غلظت خوراک 30%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 62
- شکل 5-12: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با غلظت خوراک 45%، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 63
- شکل 5-13: تغییرات بازیابی یون سدیم در سه غلظت متفاوت با ولتاژ 10 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 64
- شکل 5-14: تغییرات بازیابی یون سدیم در سه غلظت متفاوت با ولتاژ 15 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 64
- شکل 5-15: تغییرات بازیابی یون سدیم در سه غلظت متفاوت با ولتاژ 20 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 65
- شکل 5-16: تغییرات هدایت محفظه وسط در سه غلظت خوراک با ولتاژ 10 ولت، دور 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 65
- شکل 5-17: تغییرات میزان انرژی مصرفی با غلظت خوراک در سه ولتاژ متفاوت و دور همزن 250 دور بر دقیقه 66
- شکل 5-18: تغییرات دانسیته جریان در سه غلظت خوراک در ولتاژ 10 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 67
- شکل 5-19: تغییرات دانسیته جریان در سه غلظت خوراک در ولتاژ 15 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 67
- شکل 5-20: تغییرات دانسیته جریان در سه غلظت خوراک در ولتاژ 20 ولت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 68
- شکل 5-21: میزان انتقال یون سدیم با تغییر غلظت خوراک در سه ولتاژ متفاوت، دور همزن 250 دور بر دقیقه و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 68

- شکل 5- 22: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با ولتاژ 10 ولت، غلظت اولیه سود 0/5 مولار و دور همزن 250 دور بر دقیقه 69
- شکل 5- 23: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با ولتاژ 15 ولت، غلظت اولیه سود 0/5 مولار و دور همزن 250 دور بر دقیقه 69
- شکل 5- 24: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با ولتاژ 20 ولت، غلظت اولیه سود 0/5 مولار و دور همزن 250 دور بر دقیقه 70
- شکل 5- 25: تاثیر دور همزن بر میزان بازیابی سدیم در ولتاژ 15 ولت، غلظت خوراک 30% و غلظت اولیه سود 0/5 مولار ... 71
- شکل 5- 26: تاثیر دور همزن بر میزان بازیابی سدیم در ولتاژ 20 ولت، غلظت خوراک 45% و غلظت اولیه سود 0/5 مولار ... 71
- شکل 5- 27: تغییرات دانسیته جریان در سه دور همزن متفاوت در ولتاژ 20 ولت، غلظت خوراک 45% و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 72
- شکل 5- 28: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با ولتاژ 15 ولت، غلظت خوراک 30% و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 72
- شکل 5- 29: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با ولتاژ 20 ولت، غلظت خوراک 45% و غلظت اولیه سود 0/5 مولار 73
- شکل 5- 30: نسبت غلظت سود در هر لحظه به غلظت اولیه با زمان، ولتاژ 20 ولت، غلظت خوراک 30% و دور همزن 250 دور بر دقیقه 74
- شکل 5- 31: تغییرات غلظت سود در محفظه کاتدی با زمان، ولتاژ 20 ولت، غلظت خوراک 30% و دور همزن 250 دور بر دقیقه 74
- شکل 5- 32: تغییرات دانسیته جریان با غلظت اولیه سود در محفظه کاتدی در ولتاژ 20 ولت و غلظت خوراک 30% و همزن 250 دور بر دقیقه 75
- شکل 5- 33: تغییرات بازیابی یون سدیم در سه غلظت اولیه سود در محفظه کاتدی در ولتاژ 20 ولت و غلظت خوراک 30% و دور همزن 250 دور بر دقیقه 75
- شکل 5- 34: تغییرات میزان انرژی مصرفی با غلظت اولیه سود در محفظه کاتدی در ولتاژ 20 ولت و غلظت خوراک 30% و دور همزن 250 دور بر دقیقه 76
- شکل 5- 35: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده برای میزان بازیابی یون سدیم 79
- شکل 5- 36: نمودار خطوط تراز برای میزان بازیابی یون سدیم با ولتاژ و زمان 80
- شکل 5- 37: نمودار سه بعدی برای میزان بازیابی یون سدیم با ولتاژ و زمان 80
- شکل 5- 38: نمودار خطوط تراز برای میزان بازیابی یون سدیم با ولتاژ و غلظت دوغابه استنارات 81
- شکل 5- 39: نمودار سه بعدی برای میزان بازیابی یون سدیم با ولتاژ و دور همزن وسط 81
- شکل 5- 40: نمودار خطوط تراز برای میزان بازیابی یون سدیم با غلظت دوغابه استنارات و زمان 82
- شکل 5- 41: نمودار خطوط تراز برای میزان بازیابی یون سدیم با غلظت دوغابه و دور همزن وسط 82
- شکل 5- 42: نمودار خطوط تراز برای میزان بازیابی یون سدیم با دور همزن وسط و ولتاژ 83
- شکل 5- 43: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده برای میزان مصرف انرژی 85
- شکل 5- 44: نمودار خطوط تراز برای میزان مصرف انرژی با دور همزن وسط و ولتاژ 86
- شکل 5- 45: نمودار خطوط تراز برای میزان مصرف انرژی با دور همزن وسط و زمان 86

- شکل 5-46: نمودار سه بعدی برای میزان مصرف انرژی با ولتاژ و زمان 87
- شکل 5-47: نمودار سه بعدی میزان تغییرات انرژی با غلظت خوراک و ولتاژ 88
- شکل 5-48: میزان درجه مطلوبیت هر کدام از پاسخ‌ها و درجه مطلوبیت کل 89

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
42.....	جدول 4-1: گزینه‌های موجود در طراحی ابعاد سل
46.....	جدول 4-2: خواص فیزیکی و شیمیایی غشاهای مورد استفاده در تحقیق
52.....	جدول 4-3: محدوده و سطح متغیرهای عملیاتی
53.....	جدول 4-4: مشخصات آزمایش‌های طراحی شده توسط نرم افزار Design Expert 7.1.6
77.....	جدول 5-1: نتایج اجرای آزمایشات
78.....	جدول 5-2: آنالیز واریانس میزان بازیابی یون سدیم توسط نرم افزار
84.....	جدول 5-3: آنالیز واریانس میزان مصرف انرژی توسط نرم افزار
89.....	جدول 5-4: شرایط مرزی متغیرهای ورودی و پاسخ‌های موجود جهت بهینه‌سازی
89.....	جدول 5-5: چهار مورد از شرایط بهینه بدست آمده برای بهینه‌سازی همزمان دو پاسخ

چکیده

استنارات منیزیم به عنوان یک ماده روان کننده بسیار مفید و تاثیر گذار در صنایع دارویی در تولید قرص ها مورد استفاده قرار می گیرد. این کاربرد گسترده به علت قیمت کم و قدرت روان کنندگی بسیار بالای این ماده است. به خاطر ساختار مولکولی کاملاً غیر قطبی و خاصیت آب گریزی، این ماده عملاً در آب نامحلول است و خواص شیمیایی و فیزیکی مناسب این ماده باعث شده است که به عنوان امولسیفایر و عامل ضد چسبندگی مورد استفاده قرار گیرد. هدف این پژوهش استفاده از فرایند الکترو دیالیز به منظور جداسازی نمک سدیم سولفات از دوغابه استنارات منیزیم است که به عنوان یک ناخالصی در انتهای فرایند تولید صنعتی استنارات منیزیم در آن ایجاد می شود. با جداسازی سدیم سولفات، امکان استفاده مجدد از سدیم هیدروکسید اضافی در اولین مرحله از تولید صنعتی استنارات منیزیم وجود دارد هم چنین از مصرف بسیار زیاد آب که در فرآیند صنعتی معمول برای جداسازی نمک استفاده می شود جلوگیری به عمل می آید. به این منظور یک سل الکترو دیالیز طراحی و ساخته شده و روش الکترو دیالیز مورد استفاده قرار گرفت. در قدم اول آزمایشاتی به منظور بررسی نحوه تاثیر متغیرهای عملیاتی شامل ولتاژ اعمال شده به سامانه، غلظت اولیه دوغابه استنارات منیزیم، دور همزن محفظه وسط و غلظت ابتدایی سود در محفظه کاتدی انجام گرفت. توابع هدف، میزان بازیابی یون سدیم از محفظه وسط، انرژی مصرفی سیستم و میزان شار یون های سدیم از غشای کاتیونی بودند. بازیابی بالای بدست آمده برای سدیم (حدود 90 درصد) در غلظت اولیه دوغابه برابر با 15% جرمی، ولتاژ 20 ولت، دور همزن محفظه وسط برابر با 250 دور بر دقیقه در مدت زمان 120 دقیقه نشان داد که فرایند الکترو دیالیز به عنوان یک گزینه مناسب برای جداسازی نمک سدیم سولفات از دوغابه استنارات منیزیم می تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان داد که افزایش ولتاژ باعث بهبود راندمان جداسازی نمک می شود هم چنین استفاده از غلظت های بالاتر استنارات منیزیم در خوراک، باعث کاهش راندمان جداسازی شد. بنابراین فرایند الکترو دیالیز برای غلظت های کمتر کارایی بهتری دارد. نتایج هم چنین نشان داد که افزایش دور همزن محفظه وسط از 250 به 500 دور بر دقیقه به دلیل ایجاد تلاطم بسیار شدید در محفظه خوراک از حرکت جهت دار کاتیون ها به سمت غشای کاتیونی و حرکت آنیون ها به سمت غشای آنیونی ممانعت کرده که باعث کاهش ناچیز شار انتقالی یون ها و هم چنین کاهش راندمان جداسازی سدیم می شود. آنالیز رویه پاسخ برای بررسی اثر متقابل پارامترهای تاثیر گذار بر روی میزان بازیابی یون سدیم و انرژی مصرفی سیستم مورد مطالعه قرار گرفت. برای هر یک از متغیرهای درگیر 5 سطح در نظر گرفته شد. ولتاژ (در محدوده 5-25 ولت)، غلظت اولیه دوغابه استنارات منیزیم (در محدوده 10-60 درصد جرمی)، دور همزن محفظه وسط (در محدوده 200-600 دور بر دقیقه) و زمان (در محدوده 20-180 دقیقه) برای طراحی آزمایشات توسط نرم افزار Design Expert 7.1.6 مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله از پژوهش غلظت های اولیه سود و سولفوریک اسید در محفظه های کاتدی و آندی برابر با 0/5 مول بر لیتر بود. مدل سازی درجه دوم صورت گرفته برای بازیابی سدیم و انرژی مصرفی توسط نرم افزار با ضرایب همبستگی R^2 به ترتیب برابر با 0/9276 و 0/9243 نشان داد که مدل ها به خوبی قابلیت تطبیق داده های آزمایشگاهی و داده های محاسبه شده را دارند. ارزیابی واریانس نشان داد که پارامترهای ولتاژ و زمان با $Prob > F$ کمتر از 0/0001 دارای بیشترین تاثیر بر بازیابی سدیم هستند در حالی که متغیر دور همزن محفظه وسط با $Prob > F$ برابر با 0/3595 دارای کمترین تاثیر است. هم چنین ولتاژ و دور همزن به ترتیب با F-value برابر با 132/9 و 23/37 و $Prob > F$ کمتر از 0/0001 و 0/0002 بیشترین تاثیر را بر روی مصرف انرژی داشتند.

کلمات کلیدی: 1- استنارات منیزیم 2- الکترو دیالیز 3- جداسازی 4- روش رویه پاسخ

فصل اول

مقدمه

1-1 مقدمه

اهمیت فرایندهای جداسازی با هدف تولید محصولات با ارزش و دارای خلوص مناسب، با گسترش روزافزون تقاضای جهانی روز به روز افزایش می‌یابد. محصولات حاصل از فرایندهای مختلف صنعتی غالباً نیازمند بکارگیری روشی نوین و به صرفه به منظور تفکیک و تخلیص اجزای آنها هستند. در صورت عدم جداسازی مواد با ارزش کمتر، کیفیت محصول کاهش یافته و طبیعتاً نیل به هدف نهایی که تولید فراورده‌های مطلوب بازارهای جهانی است میسر نخواهد بود. دستیابی به فراورده‌های با ارزش تنها در سایه طراحی و سازمان‌دهی دقیق این نوع از فرایندها امکان‌پذیر است. فرایندهای کلاسیک جداسازی را می‌توان در چند گروه جای داد. نخست فرایندهایی که در آنها جداسازی با بهره‌گیری از وقوع انتقال جرم بین فازها صورت می‌پذیرد. دوم فرایندهایی که انتقال جرم در یک فاز رخ می‌دهد و دسته سوم فرایندهایی که وقوع واکنش شیمیایی عامل جداسازی است. در تمامی این روش‌ها، تشکیل فاز دوم توسط عاملی خارجی مانند انرژی یا جرم به وقوع می‌پیوندد که منجر به صرف هزینه بالایی می‌شود. با توجه به روند افزایش قیمت انرژی در سالیان اخیر، عملیات جداسازی بدون تشکیل فاز دوم مورد مطالعه و بررسی جدی قرار گرفته است. از طرف دیگر وضع قوانین سخت‌گیرانه محیط زیستی در راستای جلوگیری از ورود پساب‌های صنعتی به محیط زیست که عمدتاً ناشی از وجود فاز دوم در عملیات جداسازی معمول است باعث شده استفاده از فن‌آوری غشایی در صنایع دارویی، شیمیایی و معدنی بواسطه مصرف انرژی کمتر، میزان انتخاب‌پذیری بیشتر در مقایسه با سایر فرایندهای جداسازی، راندمان مناسب و متعادل و کاهش آلودگی‌های زیستی افزایش یافته و توسعه این فرآیندها مورد توجه بسیاری از محققان و پژوهشگران قرار گرفته است [1و2].

از جمله مهم‌ترین فرایندهایی که امروزه در جداسازی مواد شیمیایی و معدنی با بهره‌گیری از انواع غشاها مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به میکروفیلتراسیون¹، اولترافیلتراسیون²، اسمز معکوس³، الکترودیالیز⁴، نانوفیلتراسیون⁵، جداسازی گازها⁶، تراوش تبخیری⁷ و دیالیز⁸ اشاره نمود [3]. ذرات درشت مانند گلبول‌های قرمز، آرد و باکتری‌ها که با چشم غیرمسلح قابل دیدن هستند و اندازه آن‌ها بیش از چند میکرون و تا حدود چند میلی‌متر است بوسیله فیلتراسیون معمولی قابل جداسازی می‌باشند. ذرات ریز مانند کلوئیدها و رنگ‌دانه‌ها که اندازه آن‌ها در حدود 0/1 تا 1 میکرون است بوسیله میکروفیلتراسیون قابل جداسازی هستند. برای جداسازی ویروس، پروتئین و سایر ماکرومولکول‌ها با اندازه حدود 0/01 تا 0/1 میکرون می‌توان از اولترافیلتراسیون استفاده نمود. فرایند نانوفیلتراسیون برای جداسازی مولکول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت ذرات بسیار کوچک با ابعاد کمتر از 1 نانومتر مانند نمک‌های محلول در آب یا یون‌های فلزی توسط فرایندهای الکترودیالیز و اسمز معکوس جدا می‌شوند [4].

فرایند الکترودیالیز علاوه بر استفاده بسیار گسترده در شیرین‌سازی و تصفیه آب دریا، در جداسازی کاتیون‌های فلزی مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم و ... از پساب‌های صنعتی نقش بسیار موثری ایفا می‌کند. هم‌چنین این فرآیند در صنایع غذایی و دارویی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [5 و 2].

1-2 تولید صنعتی استئارات منیزیم⁹

استئارات منیزیم با فرمول مولکولی $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ و نام آیوپاک منیزیم اوکتادکانوات¹⁰ به عنوان یک ماده روان‌کننده بسیار مفید در صنایع دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کاربرد گسترده به علت قیمت کم و قدرت روان‌کنندگی بسیار بالای این ماده است. این ماده در دمای اتاق به صورت یک پودر سفید رنگ بوده و نقطه ذوب آن در دمای اتاق نزدیک به 88 درجه سلسیوس می‌باشد. جرم مولکولی آن 591/25 گرم بر مول بوده و بواسطه غیرقطبی بودن و خاصیت آب‌گریزی این ماده، امکان حل شدن آن در آب وجود ندارد [6] اما به میزان بسیار کم در بنزن حل می‌شود. شکل 1-1 ساختار مولکولی این ماده را نشان می‌دهد.

¹ Microfiltration

² Ultrafiltration

³ Reverse Osmosis

⁴ Electrodialysis

⁵ Nanofiltration

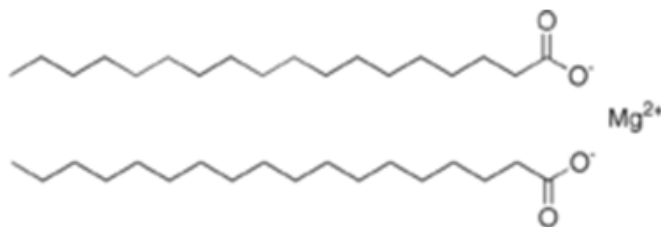
⁶ Gas Separation

⁷ Pervaporation

⁸ Dialysis

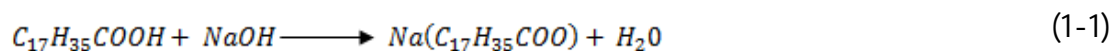
⁹ Magnesium Stearate

¹⁰ Magnesium Octadecanoate

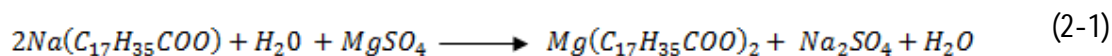


شکل 1-1: ساختار مولکولی منیزیم استئارات

از دیگر ویژگی‌های برجسته آن می‌توان به داشتن نقطه ذوب بالا و پایداری شیمیایی مناسب اشاره نمود. در صنایع مرتبط با تولید قرص‌ها، کپسول‌ها و پودرهای دارویی معمولاً از این ماده به عنوان رقیق‌کننده نیز استفاده می‌گردد. از قدرت روان‌کنندگی¹ بسیار بالای این ماده به عنوان یک مانع قدرتمند در جلوگیری از چسبیدن مواد در حین اجرای فرایند فشرده‌سازی پودرها و تولید قرص‌های دارویی استفاده می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهد که زمان آزاد شدن مواد فعال موجود در قرص‌ها به شدت تحت تاثیر این ماده است. این ماده هم‌چنین به عنوان یک امولسیون‌کننده² و نرم‌کننده³ در صنایع مربوط به پلیمر مورد استفاده قرار می‌گیرد [7]. در فرایند تولید صنعتی استئارات منیزیم، استئاریک اسید⁴ با محلول سدیم هیدروکسید واکنش داده و سدیم استئارات⁵ تولید می‌کند.



با افزودن محلول آبی سولفات منیزیم به مخلوط واکنش مرحله اول، واکنش جایگزینی تولید استئارات منیزیم به شکل زیر انجام می‌شود.



محصول اصلی مرحله دوم، استئارات منیزیم می‌باشد که یک ترکیب آلی نامحلول در آب است و عملاً به دلیل تولید در یک محیط آبی به صورت یک دوغابه نسبتاً رقیق در آب حضور دارد. برای استفاده از این محصول لازم است با انجام عملیات فیلتراسیون، آب موجود در دوغابه و هم‌چنین نمک سدیم سولفات از محصول اصلی جدا شود. مشکل موجود در این مرحله، حضور مولکول‌های نمک مذکور به صورت ناخالصی در فیلترکیک تشکیل شده از استئارات منیزیم می‌باشد. در حال حاضر برای حذف این نمک، فیلترکیک چندین بار با آب شسته و مجدداً فیلتر می‌گردد که نه تنها منجر به مصرف حجم بسیار زیادی از آب شده بلکه آب حاوی نمک با ورود به سیستم پساب، ضمن ایجاد مشکلات زیست محیطی، موجب هدررفت نمک نیز می‌گردد.

¹ Lubricating

² Emulsifier

³ Plasticizer

⁴ Stearic Acid

⁵ Sodium Stearate

1-3 هدف پژوهش

با توجه به موارد فوق، هدف از انجام این پروژه مطالعه تجربی بر روی امکان جداسازی نمک سدیم سولفات از استئارات منیزیم با استفاده از فرآیند الکترودیالیز می‌باشد. برای این منظور دوغابه نهایی پایان واکنش مرحله دوم با کاربرد مقدار لازم از آب مقطر، رقیق شده و سپس در یک سل الکترودیالیز مورد جداسازی قرار می‌گیرد. از جمله مزایا و برتری‌های این روش نسبت به روش متداول می‌توان به کاربرد بسیار کمتر آب برای جداسازی اشاره نمود. هم‌چنین با ایجاد یک سل الکترودیالیز امکان بازیابی سود از محلول فراهم شده که این مقدار را می‌توان پس از تنظیم غلظت به صورت جریان برگشتی در واکنش تولید سدیم استئارات به عنوان ماده اولیه مورد استفاده قرار داد. در نهایت از هدررفت نمک سدیم سولفات و هم‌چنین آلوده شدن آب که باعث ایجاد مشکلات برای محیط زیست می‌شود جلوگیری به عمل خواهد آمد.

در این مطالعه، اثر پارامترهای مختلف مانند اختلاف پتانسیل الکتریکی اعمال شده به دو سر الکترودها، غلظت اولیه خوراک، دور همزن محفظه خوراک، غلظت اولیه محلول سود در محفظه کاتدی و زمان اجرای فرآیند بر روی پارامترهای تاثیرپذیر مانند میزان بازیابی یون سدیم، میزان انرژی مصرفی و شار انتقال یون‌های سدیم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. علاوه بر موارد مذکور برای تحلیل دقیق‌تر و بررسی اثر پارامترهای برهم‌کنش بر میزان بازیابی، از روش طراحی آزمایشات آنالیز رویه¹ توسط نرم‌افزار Design Expert 7.1.6 استفاده گردیده و نتایج آزمایشات به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در فصل دوم این پایان‌نامه به معرفی فرایندهای غشایی پرداخته می‌شود. در ادامه در فصل سوم، فرآیند الکترودیالیز به عنوان یکی از مهم‌ترین فرایندهای غشایی به تفصیل بررسی خواهد گشت و مروری بر تحقیقات قبلی مبنی بر کاربرد این فرآیند در جداسازی کاتیون‌ها و آنیون‌ها و بازیابی اسیدها و بازها انجام خواهد گرفت. در ادامه در فصل چهارم، به مواد و تجهیزات مورد استفاده در این پروژه هم‌چنین روش طراحی و انجام آزمایشات اشاره خواهد شد. فصل پنجم به بررسی نتایج حاصل از آزمایشات و تحلیل نتایج اختصاص یافته و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات در فصل ششم ارائه خواهد شد.

¹Surface Method

فصل دوم

فرایندهای غشایی

1-2 مقدمه

در سالیان اخیر، غشا و فرایندهای غشایی به عنوان یک راه بسیار مهم برای جداسازی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نمک‌زدایی از آب شور دریا و پساب‌های صنعتی با استفاده از فرایندهای اسمز معکوس و الکترودیالیز از جمله مهم‌ترین کاربردهای صنعتی غشاها می‌باشند که به واسطه صرفه اقتصادی، به طور گسترده در صنایع، مورد استفاده قرار می‌گیرند. میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به عنوان یکی دیگر از کاربردهای اصلی غشا و فرایندهای غشایی در حوزه جداسازی به شمار می‌روند که در تولید آب صنعتی با درصد خلوص بسیار بالا¹ به کار می‌روند. فرایندهای غشایی علاوه بر موارد مذکور به طور وسیعی در صنایع دارویی و غذایی نیز کاربرد دارند. ویژگی مشترک در میان تمام فرایندهای مذکور جداسازی یک مخلوط با استفاده از یک غشای انتخاب‌پذیر بدون تولید ماده سمی و یا محصول ناخواسته جانبی است [2و3].

ابتدایی‌ترین مطالعات بر روی غشاها به اواسط قرن هیجده میلادی بر می‌گردد. زمانی که در سال 1746 نولت² برای اولین بار از واژه اسمز³ برای بیان نفوذ آب از یک دیافراگم استفاده نمود. پس از او توماس گراهام⁴ در سال 1829 مشاهده نمود که مثانه خوک، زمانی که در معرض محیطی که در آن کربن دی‌اکسید وجود دارد قرار می‌گیرد متورم

¹ Ultra Pure Water

² Nolet

³ Osmosis

⁴ Graham