کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه دکتری رشته مهندسی شیمی گرایش جداسازی

عنوان پایان نامه:

ساخت، اصلاح و ارزیابی غشاهای انتقال تسهیل یافته برای جداسازی اتیلن از اتان

استاد راهنما:

دکتر سید سیاوش مدائنی

نگارش:

مجید اسماعیلی

اسفند ماه ۱۳۹۱

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه دکتری رشته مهندسی شیمی گرایش جداسازی

مجید اسماعیلی

تحت عنوان:

ساخت، اصلاح و ارزیابی غشاهای انتقال تسهیل یافته برای جداسازی اتیلن از اتان

در تاریخ 139112/13 توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

1- استاد راهنمای پایان نامه دکتر سید سیاوش مدائنی با مرتبه علمی استاد تمام امضاء

2- استاد داور داخل گروه دکتر مسعود رحیمی با مرتبه علمی استاد تمام امضاء

3- استاد داور داخل گروه دکتر غلامرضا مرادی با مرتبه علمی دانشیار امضاء

4- استاد داور خارج از دانشگاه دکتر عبدالرضا مقدسی با مرتبه علمی دانشیار امضاء

5- استاد داور خارج از دانشگاه دکتر سینا زرشکی با مرتبه علمی استادیار امضاء

من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

حمد و سپاس شایسته یگانه معبودی است که قدرت تفکر را در وجودمان قرار داد تا بتوانیم بیاندیشیم، ذهن خلاق را عطا فرمود تا بتوانیم بیاموزیم و چراغ دانایی را روشنی بخش جاده زندگیمان قرار داد تا به بیراهه نرویم. اکنون که با استعانت و عنایت حضرت حق نگارش این پایان نامه به انتها رسید بر خود لازم می دانم مراتب تقدیر و امتنان خود را تقدیم به اساتید و بزرگوارانی کنم که در به فرجام رساندن این مهم مرا یاری دادند. بدینوسیله از استاد گرامی ام جناب آقای دکتر مدائنی که راهنمایی این پایان نامه به عهده داشتند و در دوران تحصیل از توجهات بی شائبه و رهنمودهای ارزنده ایشان بر خوردار بودم، جناب آقای دکتر برزین که از مشاوره ایشان بهره برده و در محضرشان کسب علم نمودم، اساتید محترم آقایان دکتر رحیمی، دکتر مرادی، دکتر مقدسی و دکتر زرشکی که قبول زحمت فرموده و مطالعه، تصحیح و داوری این تحقیق را پذیرا گشتند، جناب آقای دکتر محمدی بخاطر مساعدتها و همکاری صمیمانه ای که در اجرای این پروژه داشتند، کلیه اساتید محترم گروه مهندسی شیمی دانشگاه رازی و کلیه کارکنان و اعضا هیات علمی شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی ایران و پژوهشگاه پلی مر و پتروشیمی، کلیه دوستانی که به نحوی در به ثمر رسیدن این پروژه همکاری داشته اند، خانواده ام که در همه حال حامی و پشتیبانم بوده اند و بالاخره همسر مهربان و فداکارم که یاری و تشویقهایش همواره موجب پشتکارم در این مسیر بوده است، خاضعانه سپاسگزارم. از خداوند بزرگ، اخلاص و دوام توفیق می طلبم.

مجید اسماعیلی

زمستان ۹۱

این ناچیز ثمره دانش اندوزی خویش برگ سبزی است تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر فداکارم به پاس از خودگذشتگی ها و زحمات بی دریغشان.

ستاره پر فروغ زندگی ام، همسرم، به پاس همراهی، همدلی و همفکری هایش.

برادران و خواهر مهربانم به پاس صمیمیت و محبتهای بی شائبه شان.

پدر و مادر گرامی همسرم به پاس الطاف و حمایتهای بی پایانشان.

چکیده پایان نامه‌های دانشگاه رازی دانشکده: فنی مهندسی

نام: مجید نام خانوادگی: اسماعیلی

رشته: مهندسی شیمی گرایش: جداسازی

استاد راهنما: سید سیاوش مدائنی استاد مشاور: ---

مقطع تحصیلی: دکتری تاریخ فارغ التحصیلی :

عنوان پایان نامه به فارسی:

ساخت، اصلاح و ارزیابی غشاهای انتقال تسهیل یافته برای جداسازی اتیلن از اتان

عنوان پایان نامه به انگلیسی:

Preparation, modification and characterization of facilitated transport membrane for ethylene-ethane separation

چکیده :

در این گزارش مهمترین بخشهای مطالعات کتابخانه ای، جزئیات ساخت سیستم جداسازی گاز، ساخت و ارزیابی غشاها گردآوری گردیده است. اصلی ترین بخشهای این گزارش عبارتند از:

- جمع آوری اطلاعات لازمه از مقالات منتشر شده در زمینه ساخت غشاهای انتقال تسهیل یافته
- معرفی مواد شیمیایی مورد نیاز برای انجام پروژه
- روشهای بکار گرفته شده در ساخت غشاها
- اجزای سیستم جداسازی گاز و نحوه کارکرد آن
- نتایج آزمونهای انجام شده

مواد شیمیایی مورد نیاز همگی از شرکتهای خارجی تهیه گردیده اند و بر سه گونه اصلی مواد پلیمری، نمکهای معدنی و حلالهای آلی دسته بندی شده اند. برای ساخت

غشاها که از نوع مرکب بودند از دو روش اصلی استفاده گردیده است. از روش تغییر فاز برای تهیه غشاهای زیر لایه و از روش قالبگیری – تبخیر حلال برای ایجاد لایه فعال روی غشاها استفاده گردیده است. برای تست غشاهای استفاده شده، یک سیستم غشایی جداسازی گاز که دارای اجزای متنوعی میباشد ساخته و استفاده گردید. فشار عملیاتی تست این غشاها در محدوده ۱ تا bar ۴ انتخاب گردید.

در این پروژه از سه ماده پلیمری پلی اتیلن اکساید، پلی وینیل پیرولیدن و پلی وینیل الکل برای ساخت غشا استفاده گردید. از نمکهای تترافلورو بورات نقره، نیترات مس و کلرید مس و همچنین نیترات نقره به عنوان سازنده سایتهای حامل در ساخت غشا استفاده گردید. از میان نمکهای مورد استفاده، تترافلوروبورات نقره بالاترین کیفیت را در جداسازی اتیلن از اتان نشان داد. نمکهای دیگر کیفیت چندان بالایی نداشتند و جداسازی چندان متاثر از مکانیسم انتقال تسهیل یافته انجام نمی شد. نمک مس نسبت به نمک تترافلوروبورات نقره کارایی ضعیفتر ولی نسبت به نمک نیترات نقره کارایی بهتری داشت. از میان پلیمرها، پلی وینیل الکل به هنگام قالبگیری محلول پلیمری و در فاصله خشک شدن غشا، فرایند احیا شدن یونهای نقره را تسریع می بخشید و غشای چندان یکدستی حاصل نمیشد. اما پلی اتیلن اکساید و پلی وینیل پیرولیدن برای ساخت چنین غشاهایی بسیار مناسب نشان دادند.

غشاهای ساخته شده قبل و حین انجام آزمون تراوش پذیری مورد ارزیابی قرار گرفته اند. برای این منظور آزمایشهای متفاوتی روی غشاها انجام گردید. از جمله این آزمونها میتوان به آزمونهای طیف سنجی، آنالیز حرارتی، میکروسکوپ الکترونی، میکروسکوپ اتمی، پراکنش اشعه ایکس، و مقاومت مکانیکی اشاره کرد.

در بخشی از این پروژه به طور خاص روی مشکل پایداری غشاها که نقطه عطفی در تحقیقات محققین در این زمینه است تمرکز گردیده است. امید است که مطالب جمع آوری شده بتواند زمینه ساز بکارگیری غشاهای انتقال تسهیل یافته برای جداسازی اتیلن از اتان در کشور عزیزمان باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: جداسازی الفین‌ها از پارافین‌ها با فرایندهای غشایی	
1-1- ضرورت تحقیقات غشایی در زمینه جداسازی الفینها از پارافینها	2
1-2- فاکتورهای موثر در انتخاب سیستم غشایی	4
1-3- مکانیسم‌های جداسازی غشایی گازها	4
1-3-1- مکانیسم جذب- نفوذ ساده	5
1-3-2- مکانیسم جذب- نفوذ پیچیده	7
1-3-3- مکانیسم تبادل یون	8
1-4- سیستم غشایی انتقال تسهیل یافته	11
1-4-1- آشنایی با غشاهای انتقال تسهیل یافته	11
1-4-2- مروری بر روند تکامل غشاهای انتخابگر الفین	13
1-4-3- انواع غشاهای انتقال تسهیل یافته	15
1-4-3-1- غشاهای مایع ساکن	16
1-4-3-2- غشاءای حامل ثابت	17
1-4-3-2-1- استفاده از پلیمرهای تبادلگر کاتیونی به عنوان بستر حامل	18
1-4-3-3- انتقال تسهیل یافته با غشاهای الکترولیت پلیمر جامد	19
1-4-3-3-1- بررسی مکانیسم تشکیل کمپلکس	20
1-4-3-3-2- نحوه انتخاب نمک حامل برای تسهیل انتقال	22
1-4-3-3-3- نحوه توزیع یونها در ساختار غشای انتقال تسهیل یافته	25
1-4-3-3-4- طریقه ساخت غشاهای الکترولیت پلیمر جامد	28
1-4-3-3-5- نحوه بررسی عملکرد غشاهای انتقال تسهیل یافته	32
1-4-3-3-6- بکارگیری نانوذرات معدنی برای بهبود خواص عامل حامل	35
1-4-3-3-7- اثر افزایش دما در انتقال تسهیل یافته الفینها	38
1-4-3-3-8- اثر زمان کارکرد غشاهای انتقال تسهیل یافته در انتخابگری غشا	41
1-4-3-3-9- تاثیر پذیری عملکرد غشاهای انتقال تسهیل یافته از فشار فرایند	44
1-4-3-3-10- بررسی اثر غلظت نمک بر عملکرد غشا	46
1-4-3-3-11- اثر تشکیل کمپلکس بر دانسیته غشا	49
1-4-3-3-12- مطالعه تغییرات قوت پیوندهای پلیمری در اثر تشکیل کمپلکس	51
1-4-3-3-13- وابستگی دمای انعطاف پذیری غشای پلیمری به وجود نمک حامل و افزودنی ها	53
1-5- بکارگیری جاذب های غشایی در جداسازی الفینها از پارافینها	56
1-5-1- بکارگیری پلیمرهای تبادلگر کاتیونی در ساخت جاذب های غشایی	58
فصل دوم: فرایندهای غیرغشایی به کار رفته در جداسازی الفینها از پارافینها	
2-1- جداسازی الفینها از پارافینها با استفاده از فرایند تقطیر	63

2-1-1- تقطیر تبریدی 63
2-1-2- تقطیر استخراجی 65
2-2- بکارگیری فرایند جذب در جداسازی الفینها 67
2-2-1- جذب سطحی در بسترهای غربال مولکولی 67
2-2-1-1- شناخت فرایند جذب سطحی 67
2-2-1-2- بکارگیری فرایند جذب سطحی در جداسازی الفینها 68
2-2-1-3- روش افزایش دمای چند مرحله ای برای احیای بستر جذب 72
2-2-2- جذب فیزیکی 75
2-2-3- جذب شیمیایی 76
2-3- ترکیب سیستمهای جذبی و تقطیری برای جداسازی الفینها 77
فصل سوم: مواد شیمیایی مورد استفاده
3-1- پلیمرهای سازنده غشا 80
3-1-1- پلی اتر سولفون 80
3-1-2- پلی وینیل پیرولیدن 80
3-1-3- پلی اتیلن اکساید 81
3-1-4- پلی وینیل الکل 82
3-1-5- پلی دی متیل سیلوکسان 82
3-2- انواع حلالهای استفاده شده 82
3-2-1- آب مقطر 82
3-2-2- دی متیل استامید 83
3-2-3- متانول 84
3-2-4- هگزان نرمال 84
3-3- نمکهای فلزی مورد استفاده 85
3-3-1- ترا فلورو بورات نقره 85
3-3-2- نیترات نقره 86
3-3-3- نیترات مس 86
3-3-4- کلرید مس 86
فصل چهارم: ساخت غشاهای زیر لایه از جنس پلی اتر سولفون
4-1- تهیه محلول پلیمری 89
4-2- ساخت غشاهای تخت با روش تغییر فاز 89
4-2-1- تئوری فرایند 89
4-2-2- طریقه ساخت غشاهای تخت 90
فصل پنجم: ساخت غشاهای مرکب با روش پوشش دهی غوطه وری
5-1- تئوری فرایند غوطه وری 93
5-2- تهیه محلولهای پلیمری حاوی نمکهای فلزی 93
5-2-1- ساخت محلول پلیمری با نسبتهای مولی مختلف از نمک و پلیمر 93

5-2-2- ساخت محلول با نسبتهای وزنی مختلف از نمک و محلول 94
5-3- پوشش دهی غشاهای زیر لایه از جنس پلی اتر سولفون 95
5-4- خشک کردن غشاهای مرکب قالبگیری شده 96
5-5- تصویر الکترونی از مقطع عرضی غشاهای مرکب 96
فصل ششم: اجزای سیستم جداسازی گاز
6-1- سل تراوش پذیری گاز 101
6-2- یکنواخت کننده گازها 101
6-3- کنترولر شدت جریان گاز 101
6-3-1- دستگاه **MFC** 102
6-3-2- دستگاه تنظیم کننده 104
6-3-3- کامپیوتر و نرم افزار هدایتگر 104
6-4- انواع فلومتر جریان گاز 104
6-5- کپسولهای گاز استفاده شده 105
6-6- اتصالات فرایندی 106
6-7- شماتیک کل سیستم جداسازی 106
فصل هفتم: نحوه انجام فرایند جداسازی گاز
7-1- تشریح فرایند جداسازی 109
فصل هشتم: آزمایشات ساخت و اصلاح غشاهای انتقال تسهیل یافته
8-1- آزمایشات نور سنجی 112
8-1-1- نتایج آزمایش طیف سنجی مادون قرمز غشاهای مرکب دارای نمک نیترات نقره و مس 112
8-1-2- نتایج آزمون طیف سنجی مادون قرمز غشاهای مرکب دارای نمک نیترات و کلرید مس 116
8-1-3- نتایج آزمون طیف سنجی مادون قرمز غشاهای مرکب با لایه فعال ساخته شده از پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره 119
8-1-4- بررسی حالت آزاد یا کمپلکس داده گروههای عامل در ساختار غشاهای مرکب با لایه فعال ساخته شده از پلی وینیل پیرولیدن حاوی نمک نیترات نقره 121
8-1-5- بررسی اثر حضور کاتیون مس در مجاورت کاتیون نقره بر قوت باند کربونیل و توزیع یونها 124
8-1-6- نتایج آزمایشات پراش اشعه ایکس روی غشاهای مرکب دارای نمکهای نیترات و کلرید مس 127
8-1-7- بررسی ساختار کریستالی لایه فعال غشای مرکب **PES/PVP/$AgNO_3$** با استفاده از آزمون پراش اشعه ایکس 131
8-2- آزمایش آنالیز حرارتی 134
8-2-1- نتایج آزمایش آنالیز حرارتی غشاهای مرکب دارای نمک نیترات نقره و مس 135
8-2-2- بررسی دمای نرم شدگی غشاهای مرکب با لایه فعال ساخته شده از پلی وینیل الکل 138

و نمک نیترات نقره
8-3- آزمایش میکروسکوپ اتمی 141
8-3-1- نتایج آزمایشات میکروسکوپ اتمی غشاهای مرکب دارای نمک نیترات نقره و مس 141
8-3-2- بررسی سطح غشاهای تهیه شده از پلی وینیل الکل به عنوان پلیمر سازنده لایه 146
فعال
8-4- آزمایش میکروسکوپ روبشی 149
8-4-1- بررسی نحوه توزیع یونهای مس حاصل از تجزیه نمکهای نیترات و کلرید مس 149
8-4-2- بررسی نحوه توزیع عامل کمپلکس دهنده در غشاهای ساخته شده با پلی وینیل الکل 153
8-5- اندازه گیری بار در سطح یا ساختار غشا 156
8-5-1- اندازه گیری بار در ساختار غشای مر کب با لایه فعال پلی وینیل پیرولیدن با روش 157
الکتروفورز
8-6- بررسی پایداری غشاهای انتقال تسهیل یافته 160
8-6-1- پایدارسازی غشاهای انتقال تسهل یافته حاوی تترافلوروبورات نقره با کمک یونهای 160
مس
8-7- مقاومت مکانیکی غشاها 163
8-7-1- بررسی پایداری مکانیکی غشاهای انتقال تسهیل یافته ساخته شده از نمک نقره و 164
مس
فصل نهم: آزمایشات تراوش پذیری غشاهای ساخته شده
9-1- بررسی کیفیت جداسازی غشاهای نامتقارن و مرکب بدون نمک نقره 168
9-2- نتایج تراوش پذیری غشاهای مرکب پلی وینیل الکل حاوی نمک نیترات نقره 172
9-3- بررسی عملکرد غشاهای مرکب پلی وینیل پیرولیدن حاوی نمک نیترات نقره 174
9-4- ارزیابی عملکرد غشاهای مرکب پلی اتیلن اکساید حاوی نمک تترا فلورو بورات نقره 178
9-5- ارزیابی توان حاملهای ایجاد شده در ساختار غشا با استفاده از نمکهای مس 182
9-6- بررسی کیفیت جداسازی غشاهای حاوی نمک مس و نقره 186
9-7- بررسی عملکرد غشاهای پلیمری با خوراک گاز ترکیبی 190
فصل دهم: نتیجه گیری و پیشنهادات
10-1- نتیجه گیری 195
10-2- پیشنهادات 196
منابع و مراجع 197
چکیده به زبان انگلیسی 205

فهرست اشکال

صفحه

شکل 1-1- نحوه عملکرد غشاهای انحلال - نفوذ نامتقارن با یک لایه نازک انتخابگر در سطح و یک زیر لایه متخلخل 5

شکل 1-2- نحوه عملکرد غشاهای انحلال - نفوذ نامتقارن با یک لایه نازک انتخابگر در سطح و یک زیر لایه متخلخل 6

شکل 1-3- نحوه عملکرد غشاهای انتخابگر سطحی با یک لایه نازک انتخابگر در سطح و یک زیر لایه متخلخل 7

شکل 1-4- نحوه عملکرد غشاهای جداساز با مکانیسم انحلال- نفوذ پیچیده 8

شکل 1-5- نحوه عملکرد دو نوع غشای اکسید جامد 10

شکل 1-6- شماتیک عملکرد غشای تبادلگر کاتیون 11

شکل 1-7- ایجاد اتصالات عرضی در نوعی پلی ایمید توسط دو عامل متفاوت 14

شکل 1-8- شماتیک نحوه عملکرد عامل حامل در غشاهای انتقال تسهیل یافته مایع ساکن 16

شکل 1-9- مکانیسم انتقال تسهیل یافته در غشاهای مایع ساکن حاوی یون‌های نقره در جداسازی اتیلن و اتان 17

شکل 1-10- واحد تکرار شونده پلی اتراترکتون سولفون دارد شده پس از جایگزینی H^+ با Ag^+ 18

شکل 1-11- مکانیسم پیشنهادی انتقال اتیلن در غشای الکترولیت پلیمر جامد برپایه یک پلیمر پایه اتری 21

شکل 1-12- وضعیت انرژی اربیتال‌های اتمی و پیوندی 24

شکل 1-13- نحوه درگیر شدن اربیتالهای پیوندی و غیر پیوندی الفین با اربیتال d نقره 25

شکل 1-14- نتایج آزمایش طیف سنجی با دستگاه **FT-Raman** در حالت لرزش یونهای SO_3^- در غشاهای ساخته شده از **PVP** و $PVP\text{-}AgCF_3SO_3$ و در نسبتهای مولی متفاوت از یون نقره و مونومر وینیل پیرولیدن 26

شکل 1-15- نتایج طیف سنجی غشاهای $PVP\text{-}AgCF_3SO_3$ با دستگاه **FT-Raman** با نسبت مولی 1 به 3 از **[C=O]** به **[Ag]** در حالت جذب پروپیلن 27

شکل 1-16- مکانیسم نحوه برقراری کمپلکس با انواع یونهای موجود در نوعی غشای انتقال تسهیل یافته تهیه شده از نمک نقره 28

شکل 1-17- دیاگرام فرایند تهیه غشاهای تخت یا الیافی با تمام جزئیات 30

شکل 1-18- تصویر مقطع یک غشای مرکب انتقال تسهیل یافته از نوع الکترولیت پلیمر جامد . لایه فعال غشا از پلی اتیلن اکساید و تترافلوربورات نقره و لایه نگهدارنده غشا از پلی اتر ایمید ساخته شده اند 31

شکل 1-19- تصویری از یک فرایند ساده غشایی 32

شکل 1-20- تراوش پذیری و انتخابگری ایده آل پروپیلن و پروپان در غشای $PVP/AgCF_3SO_3$ به صورت تابعی از غلظت یونهای نقره 34

شکل 1-21- خواص جداسازی غشاهای $POZ/AgNO_3$ در کسر مولی متفاوت از نانوذرات سیلیکا در فشار 40 **psig** و دمای $20^{\circ}C$ 36

شکل 1-22- خواص جداسازی غشاهای $POZ/AgNO_3/SiO_2$ **(1:1:0.1)** و $POZ/AgBF_4$ **(1:1)** برحسب زمان در فشار 40 **psig** و دمای $20^{\circ}C$ 37

شکل 1-23- نتایج اسپکتروسکوپی **FT-IR** برای غشای $POZ/AgNO_3$ در غلظتهای متفاوتی از ذرات سیلیکا در آزمایش **Kang** و همکارانش 38

شکل 1-24- تراوش پذیری پروپیلن خالص بر حسب تغییرات دما در غشای $PVP/AgBF_4$ 39

شکل 1-25- تغییرات $\frac{P'20}{P20}$ بر حسب دما در غشای $PVP/AgBF_4$ 40

شکل 1-26- تصاویر سه بعدی **AFM** از سطح غشای $PVP/AgBF_4$ در دماهای مختلف 41

شکل 1-27- انتخابگری و تراوش پذیری غشاهای مرکب $PEP/AgBF_4$ **1:1** و $POZ/AgBF_4$ **1:1** بر حسب زمان در دمای $20^{\circ}C$ و فشار 40**psig** 42

شکل 1-28- طیف های **FT-IR** برای غشاهای مرکب خالص و با نسبت های مولی متفاوت واحد مونومری به نقره 43

شکل 1-29- واحد مونومری در **PEP** که با یون نقره کمپلکس داده است 44

شکل 1-30- تراوش پذیری اتیلن خالص در غشای مرکب $PEO/AgBF_4$ **(2:1)** بر حسب فشار خوراک 45

شکل 1-31- اثر فشار خوراک بر **(a)** تراوش پذیری و **(b)** انتخابگری مخلوط اتیلن و اتان **(50/50)** در غشای مرکب $PEO/AgBF_4$ **(1:1)** 46

شکل 1-32- اثر غلظت نمک بر تراوش پذیری مخلوط اتیلن و اتان (30/70) در غشای مرکب $PEO/AgBF_4$ 48
شکل 1-33- اثر غلظت نمک بر انتخابگری مخلوط اتیلن و اتان (30/70) در غشای مرکب $PEO/AgBF_4$ 48
شکل 1-34- اثر غلظت نمک بر (a) تراوش پذیری و (b) انتخابگری مخلوط اتیلن و اتان (50/50) در غشای مرکب $PEO/AgBF_4$ (1:1) 49
شکل 1-35- نتایج آزمایشات WAXD در غشاهای مورد استفاده در آزمایش Bai و همکارانش 50
شکل 1-36- نتایج آزمایشات FT-IR در غشاهای مورد استفاده در آزمایش Bai و همکارانش 52
شکل 1-37- دیاگرامهای حرارتی غشاهای PEO، $PEO-AgBF_4$(1:1) و $PEO-AgNO_3$(1:1) تهیه شده توسط دستگاهDSC 53
شکل 1-38- دمای انتقال شیشه ای فیلمهای تهیه شده از $POZ-AgNO_3$(1:1) با نسبت های مولی متفاوت از نانوذرات سیلیکا در محلول پلیمری 55
شکل 1-39- نمایش فرایندهای جذب غشایی تسهیل یافته و جذب غشایی مرسوم در غشاهای الیافی در جداسازی اتیلن از اتان 58
شکل 1-40- دیاگرام فرایند جذب غشایی استفاده شده توسط Nymeijer و همکارانش در جداسازی اتیلن از اتان 59
شکل 1-41- تراوش پذیری اتیلن بر حسب شدت جریان مایع جاذب در فرایند جذب غشایی با فشار 3 بار ودمای اتاق 60
شکل 1-42- انتخاب پذیری اتیلن نسبت به اتان بر حسب شدت جریان مایع جاذب در فرایند جذب غشایی با فشار 3 بار ودمای اتاق 60
شکل 1-43- تراوش پذیری اتیلن در فشارهای مختلف بر حسب شدت جریانهای مختلف مایع جاذب 61
شکل 2-1- فرایند مرسوم تقطیر تبریدی در جداسازی الفین/پارفین 64
شکل 2-2- فرایند مرسوم تقطیر استخراجی در جداسازی الفین/پارافین 65
شکل 2-3- شماتیک یک سیستم جداسازی ترکیبی از تقطیر و غشا در جداسازی پروپیلن از پروپان 66
شکل 2-4- دیاگرام بلوکی فرایند جداسازی پروپان از پروپیلن توسط جذب سه مرحله ای در بستر غربال مولکولی 69
شکل 2-5- ایزوترمهای جذب گازهای خالص در بسترهای زئولیتی متفاوت از نوع 4A، 5A و 13X و کربن فعال در دمای 25°C 70
شکل 2-6- اطلاعات ترکیبی جذب و احیا برای مخلوط پروپیلن- پروپان در بستر زئولیتی از نوع 4A 71
شکل 2-7- اطلاعات ترکیبی جذب و احیا برای مخلوط پروپیلن- پروپان در بستر زئولیتی از نوع 5A 71
شکل 2-8- اطلاعات ترکیبی جذب و احیا برای مخلوط پروپیلن- پروپان در بستر زئولیتی از نوع 13X 72
شکل 2-9- سیستم آزمایشگاهی Kulvaranon و همکارانش در فرایند جذب و دفع پروپان- پروپیلن در بستر غربال مولکولی از نوع 13A 73
شکل 2-10- غلظت پروپیلن در جریان دفع شده در بستر غربال مولکولی از نوع 13A بر حسب دمای فرایند دفع پس از جذب مخلوط پروپان- پروپیلن 74
شکل 2-11- مقدار مولی پروپیلن و پروپان باقی مانده در بستر غربال مولکولی از نوع 13A بر حسب کسر مولی پروپیلن در جریان دفع شده 75
شکل 2-12- فرایند جذب فیزیکی با حلال لین اویل در بازیابی الفینها از جریان گازهای خروجی از واحد پلی اتیلن 76
شکل 2-13- فرایند جذب در فاز مایع بر پایه تشکیل کمپلکس فلزی 77
شکل 3-1- پولکهای پلی اترسولفون 80
شکل 3-2- نمایی از پودر پلی وینیل پیرولیدن 81
شکل 3-3- شکل ظاهری نمک کلرید مس 87
شکل 4-1- شماتیک فیلم کش با اهرم تنظیم کننده ضخامت 91
شکل 5-1- شماتیک فرایند ساخت غشاهای مرکب از طریق غوطه‌وری 93
شکل 5-2- شماتیک فرایند قالبگیری محلول سازنده لایه فعال غشا روی غشای زیر لایه 95
شکل 5-3- تصویر SEM غشای مرکب پلی وینیل پیرولیدن بر پایه پلی اتر سولفون (غلظت پلی اتر سولفون برابر 18٪ وزنی و غلظت پلی وینیل پیرولیدن در لایه نگهدارنده برابر10٪ وزنی) 97
شکل 5-4- تصویر SEM غشای مرکب پلی وینیل الکل بر پایه پلی اتر سولفون (غلظت پلی اتر سولفون برابر 18٪ 97

وزنی و غلظت پلی وینیل الکل در لایه نگهدارنده برابر10٪ وزنی)
شکل 5-5- تصویر SEM غشای مرکب پلی وینیل الکل بر پایه پلی ا تر سولفون (غلظت پلی اتر سولفون برابر 22٪ وزنی و غلظت پلی وینیل الکل در لایه نگهدارنده برابر10٪ وزنی) 98
شکل 5-6- تصویر SEM غشای مرکب پلی وینیل پیرولیدن بر پایه پلی اتر سولفون حاوی نمک نیترات نقره که با لایه نازکی از پلی دی متیل سیلوکسان پوشش داده شده است 98
شکل 5-7- تصویر SEM غشای مرکب پلی وینیل پیرولیدن بر پایه پلی اتر سولفون که با لایه نازکی از پلی دی متیل سیلوکسان پوشش داده شده است 99
شکل 5-8- تصویر SEM غشای مرکب پلی اتیلن اکساید بر پایه پلی اتر سولفون حاوی نمکهای نقره و مس (غلظت پلی اتر سولفون برابر18٪ وزنی، غلظت پلی اتیلن اکساید در لایه نگهدارنده برابر 4٪ وزنی و ([Ag]+[Cu]:[CO]=1:6)) 99
شکل 6-1- شماتیک و اجزای سل تراوش پذیری گاز 102
شکل 6-2- شماتیک محفظه اختلاط گازها 102
شکل 6-3- تصویری از انواع متفاوت کنترولرهای شرکت Brooks 103
شکل 6-4- اصول عملکرد دستگاه MFC 103
شکل 6-5- شماتیک دستگاه تنظیم کننده کنترولرها 104
شکل 6-6- شماتیک یک فلومتر حبابی 105
شکل 6-7- شماتیکی از سیستم جداسازی گاز 107
شکل 8-1- نتایج آزمایش FTIR-ATR برای فیلمهای ساخته شده از PVP و $PVP+AgNO_3$ 114
شکل 8-2- نتایج آزمایش FTIR-ATR برای فیلمهای ساخته شده از PVP و $PVP+Cu(NO_3)_2$ 114
شکل 8-3- مقایسه قوت گروه کربونیل در فیلمهای ساخته شده از PVP محلول خالص و همچنین PVP به همراه نمکهای مس و نقره با نسبتهای مولی مساوی از نمک و مونومر ([Cu] or [Ag]:[CO]=1:1) 116
شکل 8-4- نتایج آزمایش FTIR-ATR برای فیلمهای ساخته شده از PVP خالص و $PVP+Cu(Cl)_2$ (حلال متانول می باشد) 117
شکل 8-5- نتایج آزمایش FTIR-ATR برای فیلمهای ساخته شده از PVP خالص و $PVP+Cu(NO_3)_2$ (حلال متانول می باشد) 118
شکل 8-6- نتایج آزمون طیف سنجی مادون قرمز برای غشاهای مرکب ساخته شده از پلی اتر سولفون به عنوان لایه نگهدارنده و پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره به عنوان لایه جداساز 120
شکل 8-7- طیفهای جذب باندهای کربونیل در ساختار لایه فعال غشاهای مرکب $PES/PVP/AgNO_3$ حاوی غلظتهای متفاوتی از نمک نیترات نقره ([Ag]:[C=O]=0, 1:6, 1:3, 1:1) 122
شکل 8-8- نمودارهای تفکیک شده مربوط به باند کربونیل در لایه فعال غشای مرکب $PES/PVP/AgNO_3$ حاوی غلظتهای متفاوتی از نمک نیترات نقره ([Ag]:[C=O]=1:6, 1:3, 1:1) 123
شکل 8-9- طیف آزمون FTIR-ATR مربوط به غشاهای مرکب PES/PEO حاوی نسبتهای مولی متفاوت از نمک $AgBF_4$ و $Cu(NO_3)_2$ 125
شکل 8-10- نمایشی از دو نسبت مولی متفاوت نمکهای نقره و مس به منظور ارزیابی اثر افزودن نمک مس بر قوت گروه کربونیل و توزیع یونها 126
شکل 8-11- منحنی های تفکیک شده جذب گروههای کربونیل آزاد، کمپلکس داده و تجمعی در سا ختار لایه فعال غشاهای مرکب PES/PEO حاوی درصدهای مولی متفاوت نمک $AgBF_4$ و $Cu(NO_3)_2$ 127
شکل 8-12- نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس در مورد غشای مرکب با لایه فعال ساخته شده از پلی وینیل پیرولیدن خالص 129
شکل 8-13- نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس در مورد غشای مرکب د ارای لایه مرکب پلی وینیل پیرولیدن حاوی نمک نیترات یا کلرید مس ([C=O]:[Cu]=2:1, $CuCl_2$ or $Cu(NO_3)_2$) 130
شکل 8-14- نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس در مورد غشای مرکب دارای لایه مرکب پلی وینیل پیرولیدن حاوی نمک نیترات یا کلرید مس ([C=O]:[Cu]=1:1, $CuCl_2$ or $Cu(NO_3)_2$) 130
شکل 8-15- تغییرات درصد بلورینگی پلیمر در لایه فعال غشای مرکب در اثر افزودن نمک های مس با غلظتهای 131

متفاوت محاسبه شده از اطلاعات بدست آمده از اشکال 6-8 و 6-9
شکل 8-16- نتایج آزمون XRD برای فیلمهای پلیمری پلی وینیل پیرولیدن حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره ([Ag]:[C=O]=0, 1:6, 1:3, 1:1) 133
شکل 8-17- نتایج آزمایش آنالیز حرارتی DSC برای فیلمهای ساخته شده از PVP و $PVP+AgNO_3+H_2O$ ([Ag]:[C=O]=1:1) 136
شکل 8-18- نتایج آزمایش آنالیز حرارتی DSC برای فیلمهای ساخته شده از PVP و $PVP+Cu(NO_3)_2+H_2O$ ([Cu]:[C=O]=1:1) 137
شکل 8-19- نمودارهای آنالیز حرارتی فیلم پلی وینیل الکل خالص با جرم مولکولی متوسط 50000-80000 دالتون 139
شکل 8-20- نمودارهای آنالیز حرارتی فیلمهای پلیمری سازنده لایه فعال غشا با ترکیبهای متفاوتی از پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره در محدوده دمایی 150 - 210°C 139
شکل 8-21- نمودارهای آنالیز حرارتی فیلمهای پلیمری سازنده لایه فعال غشا با ترکیبهای متفاوتی از پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره در محدوده دمایی 20 - 150°C 140
شکل 8-22- نمایش شماتیک تغییر زبری سطح بر اثر تشکیل کمپلکس 142
شکل 8-23- تصاویر سه بعدی میکروسکوپ الکترونی از سطح غشاهای تهیه شده از:
(a) PVP خالص (b) $PVP+AgNO_3$ ([Ag]:[CO]=1:2) (c) $PVP+AgNO_3$ ([Ag]:[CO]=1:1) (d) $PVP+Cu(NO_3)_2$ ([Cu]:[CO]=1:2) (e) $PVP+Cu(NO_3)_2$ ([Cu]:[CO]=1:1) 144
شکل 8-24- تصاویر میکروسکوپ اتمی از سطح غشاهای مرکب با لایه فعال ساخته شده از پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره. (a) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 18٪ و لایه فعال بدون نمک نقره (b) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 22٪ و لایه فعال بدون نمک نقره (c) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 18٪ و لایه فعال حاوی نمک نقره [Ag]:[OH]=9:1 (d) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 22٪ و لایه فعال حاوی نمک نقره [Ag]:[OH]=9:1 (e) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 18٪ و لایه فعال حاوی نمک نقره [Ag]:[OH]=2:1 (f) غلظت پلی اتر سولفون در لایه نگهدارنده برابر 22٪ و لایه فعال حاوی نمک نقره [Ag]:[OH]=2:1 148
شکل 8-25- تصویر الکترونی از مقطع و توزیع یونهای مس در سطح و لایه های غشای مرکب حاوی یونهای کلرید مس در لایه فعال (غلظت یونهای مس برابر 17٪) 150
شکل 8-26- تصویر الکترونی از مقطع و توزیع یونهای مس در سطح و لایه های غشای مرکب حاوی یونهای نیترات مس در لایه فعال (غلظت یونهای مس برابر 17٪) 150
شکل 8-27- تصویر الکترونی از مقطع و توزیع یونهای مس در سطح و لایه های غشای مرکب حاوی یونهای کلرید مس در لایه فعال (غلظت یونهای مس برابر 33٪) 151
شکل 8-28- تصویر الکترونی از مقطع و توزیع یونهای مس در سطح و لایه های غشای مرکب حاوی یونهای نیترات مس در لایه فعال (غلظت یونهای مس برابر 33٪) 151
شکل 8-29- توزیع عناصر در سطح و لایه های غشای مرکب بر پایه پلی اتر سولفون پوشیده شده با محلول PVP حاوی نمک $CuCl_2$ ([CO]:[Cu]=2:1) 152
شکل 8-30- توزیع عناصر در سطح و لایه های غشای مرکب بر پایه پلی اتر سولفون پوشیده شده با محلول PVP حاوی نمک $Cu(NO_3)_2$ ([CO]:[Cu]=2:1) 152
شکل 8-31- مقایسه شماتیک دو نوع تغییر متفاوت ساختار پلیمری (الف) توزیع یکنواخت یونهای مس در بین زنجیره ها و افزایش بلورینگی (ب) توزیع تجمعی یونهای مس در میان شبکه پلیمری و عدم تغییر قابل توجه بلورینگی 153
شکل 8-32- عکس الکترونی از مقطع و توزیع عناصر نقره و اکسیژن در لایه های مختلف غشای مرکب با لایه فعال پلی وینیل الکل ([OH:Ag]=9:1) 155
شکل 8-33- عکس الکترونی از مقطع و توزیع عناصر نقره و اکسیژن در لایه های مختلف غشای مرکب با لایه فعال پلی وینیل الکل ([OH:Ag]=2:1) 155
شکل 8-34- نوسانات توزیع عناصر مختلف در لایه های غشای مرکب با لایه فعال پلی وینیل الکل 156

([OH:Ag]=9:1)
شکل 8-35- نوسانات توزیع عناصر مختلف در لایه های غشای مرکب با لایه فعال پلی وینیل الکل 156
([OH:Ag]=2:1)
شکل 8-36-افزایش توریع تجمعی کاتیونهای نقره حول سایتهای الکترون دهنده کربونیل در اثر افزایش غلظت کاتیونها 159
شکل 8-37- میانگین پتانسیل زتا بر حسب غلظت نمک در محلولهای پلیمری حاوی پلی وینیل پیرولیدن و نمک نیترات نقره 160
شکل 8-38- طیفهای آزمون UV-Visible مربوط به غشاهای مرکب PES/PEO حاوی غلظتهای مولی برابر نمک $Cu(NO_3)_2$ و نمک $AgBF_4$ 161
شکل 8-39- طیفهای آزمون UV-Visible مربوط به غشاهای مرکب PES/PEO حاوی غلظتهای مولی متفاوت نمک $AgBF_4$ 162
شکل 8-40- ساختار متفاوت تشکیل کمپلکس بین گروههای کربونیل و نمکهای $AgBF_4$، $Cu(NO_3)_2$ یا هر دوی آنها 163
شکل 8-41- تغییر استحکام مکانیکی غشاهای کامپوزیت PES/PEO در اثر تغییر غلظت نمکهای $AgBF_4$ یا $Cu(NO_3)_2$ در ساختار لایه فعال غشا 165
شکل 9-1- تغییرات تراوش پذیری غشاهای تک لایه پلی اتر سولفون با غلظتهای مختلف در اثر تغییرات فشار خوراک 169
شکل 9-2- تغییرات انتخابگری غشاهای تک لایه پلی اتر سولفون با غلظتهای مختلف در اثر تغییرات فشار خوراک 170
شکل 9-3- تغییرات تراوش پذیری غشاهای مرکب PES/PDMS با غلظتهای مختلف پلی اتر سولفون در اثر تغییرات فشار خوراک 171
شکل 9-4- تغییرات انتخابگری غشاهای مرکب PES/PDMS با غلظتهای مختلف پلی اتر سولفون در اثر تغییرات فشار خوراک 171
شکل 9-5- تغییرات تراوش پذیری اتیلن بر حسب فشار فرایندی در غشاهای مرکب PES/PVA/PDMS حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 173
شکل 9-6- تغییرات انتخابگری اتیلن بر حسب فشار فرایندی در غشاهای مرکب PES/PVA/PDMS حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 173
شکل 9-7- نتایج شار جریان اتیلن و اتان عبوری از غشاهای مرکب PES/PVP حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 176
شکل 9-8- نتایج انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب PES/PVP حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 176
شکل 9-9- نتایج شار جریان اتیلن و اتان عبوری از غشاهای مرکب PES/PVP/PDMS حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 177
شکل 9-10- نتایج انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب PES/PVP/PDMS حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات نقره 178
شکل 9-11- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب PES/PEO حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر18٪) 179
شکل 9-12- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب PES/PEO حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 179
شکل 9-13- انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب PES/PEO حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر18٪) 180
شکل 9-14- انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب PES/PEO حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر18٪) 180
شکل 9-15- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب $PES/PEO/Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از 184

نمک نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر18٪)
شکل: 9-16- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب $PES/PEO/Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 184
شکل 9-17- انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب $PES/PEO/Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر18٪) 185
شکل 9-18- انتخاب پذیری ایده آل اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب $PES/PEO/Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 185
شکل 9-19- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب $PES/PEO/AgBF_4 + Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره و نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 187
شکل 9-20- انتخابگری اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب $PES/PEO/AgBF_4+Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره و نیترات مس (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 188
شکل 9-21- شار جریان اتیلن عبوری از غشاهای مرکب $PES/PEO/AgBF_4 + Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره و نیترات مس پس از 8 ساعت قرار گرفتن در معرض اتیلن (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 189
شکل 9-22- انتخابگری اتیلن نسبت به اتان در غشاهای مرکب $PES/PEO/AgBF_4+Cu(NO_3)_2$ حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک تترافلوروبورات نقره و نیترات مس پس از 8 ساعت قرار گرفتن در معرض جریان اتیلن (غلظت پلی اتر سولفون در غشای زیر لایه برابر20٪) 190
شکل 9-23- انتخابگری اتیلن نسبت به فشار تراوش در غشاهای مرکب PES/PVP/PDMS حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی ([Ag]:[CO]= 0, 1:6, 1:3, 1:1)) از نمک نیترات نقره (خوراک شامل مقادیر مولی مساوی اتیلن و اتان است) 191
شکل 9-24- انتخابگری اتیلن نسبت به فشار تراوش در غشاهای مرکب PES/PVA حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی ([Ag]:[OH]= 0, 1:9, 1:6, 1:3, 1:2) از نمک نیترات نقره (خوراک شامل مقادیر مولی مساوی اتیلن و اتان است) 192
شکل 9-25- انتخابگری واقعی اتیلن نسبت به اتان برحسب فشار تراوش در غشاهای مرکب PES/PEO حاوی مقادیر غلظتی متفاوتی از نمک های $AgBF_4$ و $Cu(NO_3)_2$ پس از 8 ساعت قرار گرفتن در معرض اتیلن (خوراک شامل مقادیر مولی مساوی اتیلن و اتان است) 193

صفحه	فهرست جداول
26	جدول 1-1- مقایسه حلالیت نمکهای نقره در پلی اتیلن اکساید
34	جدول 1-2- نتایج تراوش پذیری گازهای خالص و انتخابگری در مخلوط
47	جدول 1-3- حلالیت اتان و اتیلن و نسبت حلالیت آنها در غشای ساخته شده از ترپلیمر نایلون 12/ تترامتیلن اکساید در دمای محیط و فشار 5 بار
50	جدول 1-4- تراوش پذیری، فاصله موثر بین زنجیره ها و دانسیته غشاها در آزمایش Bai و همکارانش
54	جدول 1-5- وابستگی دمای تبدیل شیشه ای PEO به جرم مولکولی
69	جدول 2-1- مشخصات جاذبهای مورد استفاده در فرایند جذب پروپیلن در آزمایش Jeverlin و همکارانش
76	جدول 2-2- نمونه ای از ترکیب جریانات خوراک و محصول در فرایند جداسازی الفینها با استفاده از حلال لین اویل
80	جدول 3-1- مشخصات پلی اترسولفون اسفاده شده در آزمایش جهت ساخت غشا مرکب
81	جدول 3-2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پلی وینیل پیرولیدن
82	جدول 3-3- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پلی اتیلن اکساید
83	جدول 3-4- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پلی وینیل الکل
84	جدول 3-5- مشخصات حلال دی متیل استامید
84	جدول 3-6- مشخصات حلال متانول
85	جدول 3-7- مشخصات فیزیکی و شیمیایی هگزان نرمال
85	جدول 3-8- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمک تترا فلورو بورات نقره
86	جدول 3-9- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نیترات نقره
87	جدول 3-10- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نیترات مس
87	جدول 3-11- مشخصات فیزیکی و شیمیایی کلرید مس
119	جدول 8-1- محاسبه سطح زیر پیک کربونیل مربوط به غشاهای مرکب مورد استفاده در آزمایش FTIR-ATR
132	جدول 8-2- محاسبه فاصله موثر بین زنجیره های پلیمری در لایه فعال غشای مرکب بر اساس داده های بدست آمده از اشکال 12-13 و12-14
133	جدول 8-3- بلورینگی فیلمهای پلی وینیل پیرولیدن به عنوان لایه فعال غشاهای مرکب PES/PVP حاوی غلظتهای متفاوتی از نمک نیترات نقره ([Ag]:[C=O]=0, 1:6, 1:3, 1:1)
137	جدول 8-4- شعاع اتمی و یونی نقره و مس
141	جدول 8-5- تغییرات دمای تبدیل شیشه ای، دمای شل شدگی ساختار کریستالی و دمای ذوب در لایه فعال غشا ساخته شده از پلی وینیل الکل و نمک نیترات نقره
145	جدول 8-6- پارامترهای زبری غشاهای ساخته شده از PVP خالص و غشاهای انتقال تسهیل یافته حاوی نمکهای مس و نقره
149	جدول 8-7- پارامترهای زبری غشاهای مرکب ساخته شده از محلول PVA خالص و همچنین حاوی نمک نیترات نقره روی زیر لایه پلی اتر سولفون