

## فهرست

|   |           |
|---|-----------|
| پیشگفتار .....  | ۸         |
| مقدمه .....   | ۹         |
| <b>فصل اول: غشاها و فرآیند غشایی .....</b>            | <b>۱۱</b> |
| ۱-۱ مقدمه .....                                       | ۱۱        |
| ۲-۱ غشا .....   | ۱۲        |
| ۳-۱ فناوری غشایی .....                                | ۱۲        |
| ۴-۱ نحوه عمل کردن غشا .....                           | ۱۳        |
| ۵-۱ تقسیم‌بندی غشا .....                              | ۱۳        |
| ۱-۵-۱ تقسیم‌بندی براساس مکانیسم حاکم بر جداسازی ..... | ۱۴        |
| ۱-۵-۱-۱ میکروفیلتراسیون .....                         | ۱۴        |
| ۱-۵-۱-۲ اولترافیلتراسیون .....                        | ۱۴        |
| ۱-۵-۱-۳ نانوفیلتراسیون .....                          | ۱۴        |
| ۱-۵-۱-۴ اسمز معکوس .....                              | ۱۵        |
| ۱-۵-۲ تقسیم‌بندی براساس جنس غشا .....                 | ۱۵        |
| ۱-۵-۲-۱ غشاهای پلیمری .....                           | ۱۵        |
| ۱-۵-۲-۲ غشاهای مایع .....                             | ۱۶        |
| ۱-۵-۲-۳ غشاهای سرامیکی .....                          | ۱۷        |
| ۱-۵-۲-۴ غشاهای فلزی .....                             | ۱۷        |
| ۱-۵-۳ تقسیم‌بندی براساس ساختار غشا .....              | ۱۷        |
| ۱-۵-۴ تقسیم‌بندی غشا از نظر میزان تخلخل .....         | ۱۸        |
| ۶-۱ غشای زمینه مخلوط .....                            | ۱۹        |
| ۷-۱ مکانیسم‌های انتقال گاز در غشا .....               | ۲۱        |
| ۸-۱ انواع ساختار غشاهای زمینه مخلوط .....             | ۲۲        |
| ۹-۱ روش‌های ساخت غشای زمینه مخلوط .....               | ۲۳        |

|    |  |
|----|--|
| ۲۴ | ۱-۹-۱ روش اختلاط محلول (ریخته گری محلول).....    |
| ۲۵ | ۲-۹-۱ روش پلیمریزاسیون درجا.....                 |
| ۲۵ | ۳-۹-۱ روش سل-زل.....                             |
| ۲۵ | ۱۰-۱ مواد معدنی و پرکننده‌ها.....                |
| ۲۸ | ۱۱-۱ مورفولوژی فصل مشترک آلی / معدنی.....        |
| ۳۲ | ۱۲-۱ اندازه پرکننده و مورفولوژی.....             |
| ۳۴ | ۱۳-۱ عامل‌های اتصال‌دهنده سیلانی.....            |
| ۳۶ | ۱۴-۱ مکانیسم‌های عملکردی غشاهای زمینه مخلوط..... |
| ۳۶ | ۱-۱۴-۱ مکانیسم افزایش حجم آزاد.....              |
| ۳۵ | ۲-۱۴-۱ مکانیسم افزایش حلالیت.....                |
| ۳۷ | ۳-۱۴-۱ مکانیسم حضور نانوگپ.....                  |
| ۳۸ | ۱۵-۱ مدل‌های پیش‌بینی عملکرد جداسازی گاز.....    |

#### فصل دوم: استفاده از غشاها در جداسازی گاز طبیعی..... ۴۱

|    |  |
|----|--|
| ۴۱ | ۱-۲ گاز طبیعی.....   |
| ۴۳ | ۲-۲ جداسازی گاز طبیعی.....   |
| ۴۴ | ۳-۲ جداسازی گاز توسط تکنولوژی غشایی.....                               |
| ۴۶ | ۴-۲ عملکرد جداسازی گاز با استفاده از غشاهای زمینه مخلوط.....           |
| ۴۸ | ۵-۲ مروری بر پژوهش‌های اخیر در غشاهای زمینه مخلوط.....                 |
| ۴۸ | ۱-۵-۲ غشاهای زمینه مخلوط مبتنی بر پلی‌سولفون.....                      |
| ۵۰ | ۲-۵-۲ غشاهای زمینه مخلوط مبتنی بر پلی‌ایمید و ماتریمید.....            |
| ۵۲ | ۳-۵-۲ غشاهای زمینه مخلوط مبتنی بر سایر ماتریس‌های پلیمری.....          |
| ۵۳ | ۴-۵-۲ غشای زمینه مخلوط مبتنی بر ژئولیت.....                            |
| ۵۵ | ۵-۵-۲ تأثیر اصلاح نانوذرات با استفاده از عوامل اتصال‌دهنده سیلانی..... |

#### فصل سوم: تحلیل و ارزیابی عملکرد غشاها برای جداسازی گاز در یک کار آزمایشگاهی..... ۵۷

|    |                                   |
|----|-----------------------------------|
| ۵۷ | ۱-۳ مقدمه.....                    |
| ۵۸ | ۲-۳ انتخاب مواد.....              |
| ۵۸ | ۱-۲-۳ پلیمر.....                  |
| ۵۹ | ۲-۲-۳ حلال.....                   |
| ۵۹ | ۳-۲-۳ پرکننده.....                |
| ۶۰ | ۴-۲-۳ سیلان.....                  |
| ۶۱ | ۳-۳ سنتز پرکننده MCM-41.....      |
| ۶۳ | ۴-۳ اصلاح سطح پرکننده MCM-41..... |

|         |   |
|---------|---|
| ۶۳..... | ۱-۴-۳ اصلاح سطح پرکننده MCM-41 بدون استفاده از حلال |
| ۶۴..... | ۲-۴-۳ اصلاح سطح پرکننده MCM-41 با استفاده از حلال   |
| ۶۵..... | ۵-۳ ساخت غشا  |
| ۶۵..... | ۱-۵-۳ ساخت غشای پلی‌سولفون خالص                     |
| ۶۶..... | ۲-۵-۳ ساخت غشای زمینه مخلوط                         |
| ۶۹..... | ۶-۳ روش‌های شناسایی و بررسی غشا                     |
| ۶۹..... | ۱-۶-۳ آزمون فشار ثابت تراوایی گاز                   |
| ۷۱..... | ۲-۶-۳ FTIR  |
| ۷۲..... | ۳-۶-۳ SEM   |
| ۷۲..... | ۴-۶-۳ BET   |
| ۷۳..... | ۵-۶-۳ XRD   |
| ۷۳..... | ۶-۶-۳ AFM   |
| ۷۳..... | ۷-۶-۳ پتانسیل زتا                                   |
| ۷۴..... | ۸-۶-۳ TGA   |
| ۷۴..... | ۷-۳ آزمایش‌های پرکننده MCM-41                       |
| ۷۴..... | ۱-۷-۳ آزمون SEM                                     |
| ۷۵..... | ۲-۷-۳ آزمون BET                                     |
| ۷۷..... | ۳-۷-۳ آزمون XRD                                     |
| ۷۸..... | ۴-۷-۳ آزمون FTIR                                    |
| ۷۹..... | ۸-۳ آزمایش‌های غشا                                  |
| ۷۹..... | ۱-۸-۳ آزمون SEM                                     |
| ۸۱..... | ۲-۸-۳ آزمون XRD                                     |
| ۸۲..... | ۹-۳ نتایج جداسازی گاز                               |
| ۸۹..... | ۱۰-۳ نتیجه‌گیری                                     |
| ۹۱..... | منابع   |