روش‌های تصفیه و ارتقاء بیوگاز - قسمت دوم

مهران صادقی

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم-گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
Sadeghi.mehran@ut.ac.ir

انرژی، نیروی محرک توسعه اقتصادی و صنعتی شدن کشورها است. در حال حاضر سوخت‌های فسیلی عمده‌ترین منبع انرژی موجود در جهان هستند اما برخی معایب آن‌ها ازجمله عدم تجدیدپذیری، قیمت بالا و انتشار آلاینده‌ها باعث شده تا سیاست‌گذاران به فکر ایجاد تغییراتی در حامل‌های انرژی بیفتند. یکی از جایگزین‌های مناسب، منابع زیست‌توده[1] و به‌طور خاص «بیوگاز» است. بیوگاز به‌عنوان یکی از منابع عمده انرژی می‌تواند مستقیماً برای گرمایش و تولید برق استفاده شود و همچنین گزینه مناسبی برای استفاده در موتورهای احتراق داخلی، میکرو توربین‌ها، پیل‌های سوختی و دیگر تأسیسات تولیدکننده انرژی است. هضم بی‌هوازی[2] ضایعات آلی می‌تواند به شکلی مؤثر منجر به تولید بیوگاز شود. بااینکه بیوگاز عمدتاً متشکل از متان و کربن‌دی‌اکسید است اما دارای برخی ترکیبات دیگر نیز هست که هرکدام برای مصرف‌کنندگان بیوگاز، خطرات و مشکلاتی را به وجود می‌آورند. بر این اساس، برای بالا بردن کیفیت بیوگاز تولیدی باید آن را تصفیه نمود و ارتقاء داد. روش‌های زیادی در این زمینه طی سالیان ارائه‌شده‌اند. در این پژوهش مروری بر فناوری تولید بیوگاز، تصفیه و ارتقاء بیوگاز و در پایان تحلیل قیاسی و نتیجه‌گیری از این روش‌ها ارائه می‌شود.

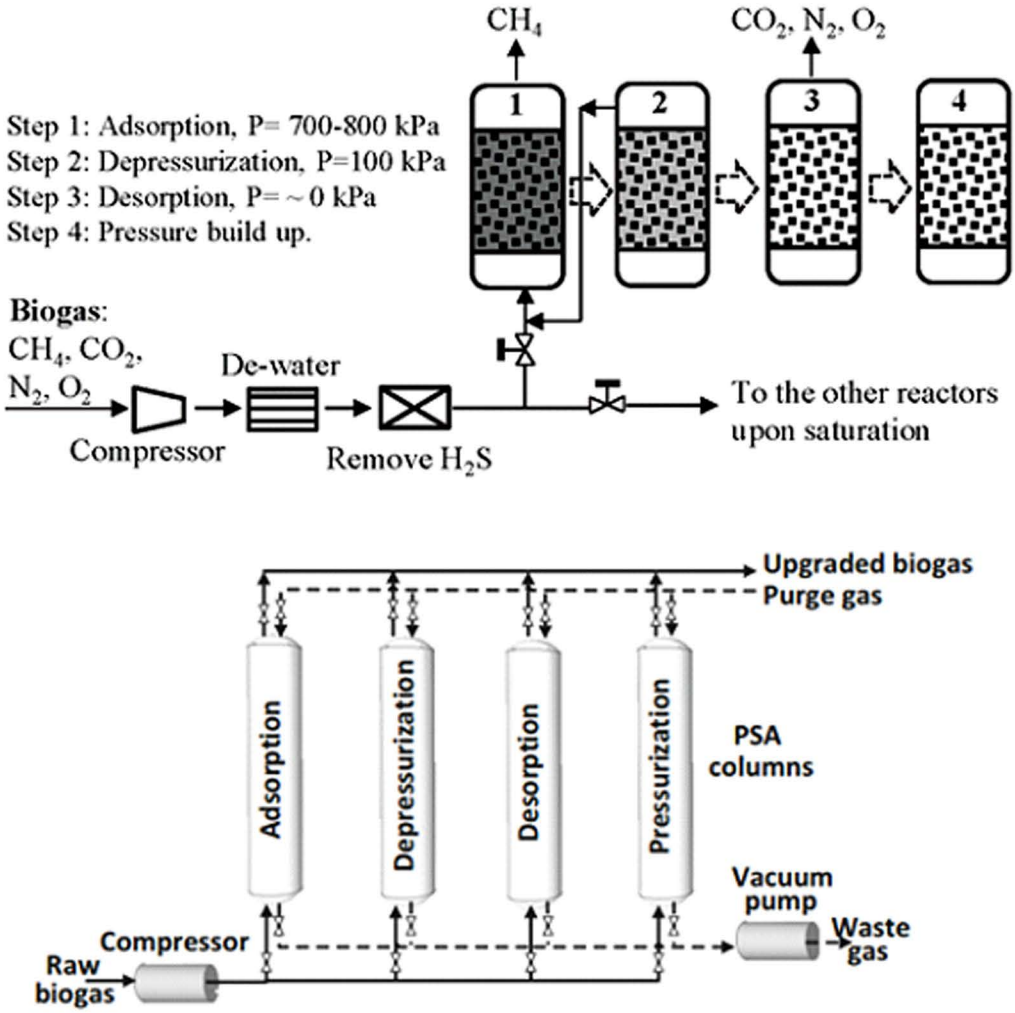
1. Biomass sources
2. Anaerobic Digestion (AD)

جذب سطحی با تناوب فشار (PSA [3])

در این روش، یک پدیده سطحی رخ می‌دهد که مربوط به چسبندگی یا پیوند انتخابی یک یا چند جزء از یک ترکیب، روی سطح یک جامد دارای میکرو تخلخل است. فرآیند «PSA» بر اساس جذب سطحی انتخابی مولکول‌های گاز براساس اندازه مولکولی آن‌ها روی سطوح جامد انجام می‌گیرد. این فرآیند در برج‌های عمودی که آکنده از جاذب‌ها هستند طی مراحل جذب سطحی، کاهش فشار، دفع و افزایش فشار انجام می‌شود. این چهار مرحله معروف به سیکل «Skarstrom» هستند. معروف‌ترین جاذب‌های مورداستفاده زئولیت، کربن فعال، زغال فعال، ژل سیلیکا و رزین‌های سنتزی هستند. توصیه می‌شود بیوگاز قبل از فرآیند، خشک شده و «H_2S» آن حذف شود زیرا «H_2S» به‌صورت بازگشت‌ناپذیر، جذب صافی‌های مولکولی می‌شود.

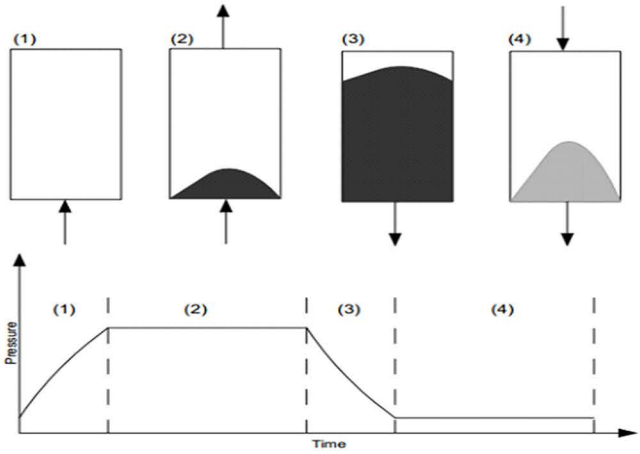
سازوکار سیکل «Skarstrom» به‌گونه‌ای است که در محفظه تحت‌فشار (گام ۱)، ناخالصی‌هایی که دارای نرخ جذب گاز [4] بالاتری هستند جذب شده و متان غنی‌شده از بالای محفظه جمع‌آوری می‌شود. سپس محفظه اشباع‌شده به فشار اتمسفر تقلیل فشار پیدا می‌کند تا ناخالصی‌ها را دفع [5] کند (گام ۲). همان‌طور که معلوم است، گاز رهاشده در این مرحله نیز ترکیبی از ناخالصی‌ها و مقدار کمی متان است. پس از این در گام سه، فشار تا نزدیکی خلأ کاهش می‌یابد که باعث بازجذب شدن گازهای به دام افتاده و احیا جاذب‌ها می‌شود. گازی که در این مرحله از محفظه خارج می‌شود عمدتاً کربن‌دی‌اکسید، نیتروژن و اکسیژن است. در گام چهار، فشار افزایش یافته تا راکتور برای چرخه بعدی آماده شود.

در این روش، برج‌های مختلفی با هم کوپل می‌شوند تا انرژی کمتری برای فشرده‌سازی مصرف شود. مقدار متان استحصالی ٪۹۸-۹۶ است.



شماتیک ارتقا بیوگاز به روش جذب سطحی با تناوب فشار (PSA)

3. Pressure Swing Adsorption
4. Gas Adsorption Rate
5. Desorption



شماتیک چهار گام روش PSA و پروفیل فشار در آن

جذب سطحی با نوسانات دما (TSA [6]) و جذب سطحی با نوسانات الکتریکی (ESA [7]) نیز نمونه‌های دیگری از این روش هستند. در مدل «TSA»، دما در فشار ثابت افزایش پیدا می‌کند؛ درحالی‌که در «PSA»، فشار کاهش می‌یابد. این روش برای احیای ماده جاذب، نیاز به انرژی گرمایی دارد. بر این اساس اگر یک منبع ارزان انرژی در دسترس باشد، این روش گزینه مناسبی است. میکروکره‌های کرایوژل کربن[8] (CCM) و میکروکره‌های زیروژل کربن[9] (CXM)، به خاطر ساختار بسیار متخلخل و پایدارشان بهترین جاذب‌ها برای روش «TSA»هستند.

در روش«ESA» فرآیند احیا، با گذراندن جریان برق از جاذب اشباع‌شده و گرمای تولیدشده توسط اثر ژول باعث سهولت در آزادسازی CO_2 می‌شود. اگرچه این روش دارای پتانسیل کاهش هزینه‌ها نسبت به «TSA»و «PSA» است؛ اما برای ماده جاذب نیاز به رسانایی الکتریکی است. کربن فعال به‌عنوان نوعی نیمه‌رسانای دارای سطح بزرگ و حفره‌های کوچک توسعه‌یافته است.

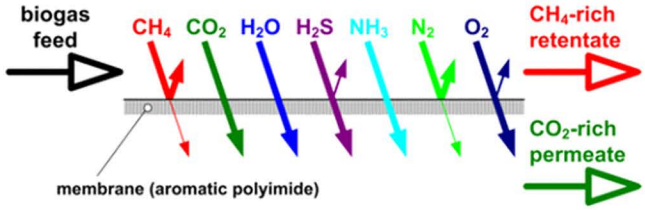
روش نفوذ یا جداسازی غشایی[10]

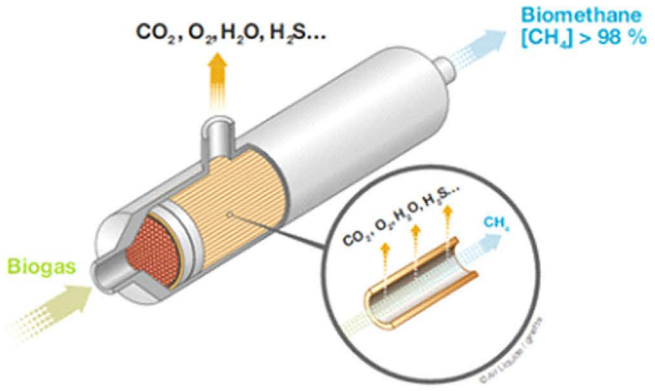
طی ۴۰ سال اخیر، جداسازی گاز بر اساس فناوری غشایی، در بازار سهم عمده‌ای داشته است. غشا مانند یک مانع تراوا[11] عمل می‌کند که تنها اجازه‌ی عبور ترکیبات خاص را می‌دهد و نفوذپذیری آن‌ها را بر اساس پارامترهایی ازجمله غلظت، فشار، دما و بار الکتریکی کنترل می‌کند.

در ارتقاء بیوگاز، «CO_2» به داخل غشا نفوذ کرده، درحالی که متان (CH_4) در سمت ورودی باقی می‌ماند؛ لذا برای موقعیت‌هایی خوب است که ورودی بیوگاز کم و مقدار کربن دی‌اکسید آن بالاست.

سه نوع غشا که برای ارتقاء بیوگاز به کار می‌رود عبارت‌اند از: غشای پلیمری[12] ، غشای غیر آلی[13] و غشاهای ماتریس ترکیبی[14] (MMM).

اکثر غشاهای تجاری، پلیمری هستند و از موادی همچون پلی‌سولفون (PSF)، پلیمید (PI)، پلی‌کربنات (PC)، پلی‌دی‌متیل سیلکسان (PDMS) و سلولز استات (CA) ساخته شده‌اند. آن‌ها دارای مقاومت مکانیکی بالا، ساخت ساده با هزینه کم و نفوذپذیری انتخابی بالا هستند. تحقیقات پیشین نشان داده است که غشاهای پلیمید و سلولز استات، بهترین گزینه‌ها در کاربردهای تجاری جداسازی و غنی‌سازی بیوگاز هستند.



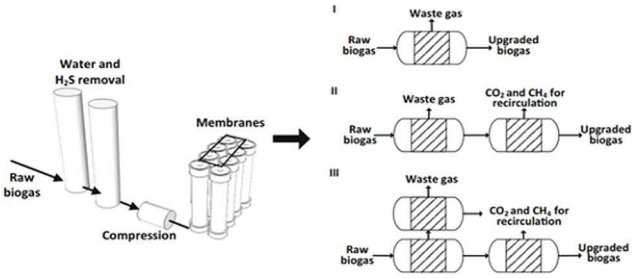


شماتیک ارتقا بیوگاز به روش نفوذ غشایی

غشا فیبر توخالی (چپ و وسط) و غشا کربن (راست)

در این روش معمولاً آب و هیدروژن سولفید موجود در بیوگاز، قبل از فشرده‌سازی تصفیه می‌شود. در مواردی که غلظت‌های بالایی از سایر مواد ازجمله آمونیاک، سیلوکسان و کربن‌های آلی فرار موجود هستند نیز عملیات تصفیه انجام می‌گیرد. استراتژی‌های جداسازی مختلف، بر اساس شرکت سازنده انتخاب می‌شوند و سه استراتژی موجود هستند.

6. temperature swing adsorption
7. Electric swing adsorption
8. Carbon Cryogel Microspheres
9. Carbon Xerogel Microspheres
10. Membrane Permeation/Separation
11. Permeable Barrier
12. Polymeric Membrane
13. Inorganic Membrane
14. Mixed-matrix Membrane



شماتیک ارتقا بیوگاز و استراتژی‌های مختلف در جداسازی غشایی

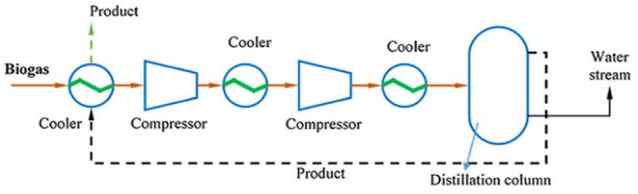
نیروگاه ارتقا بیوگاز به روش جداسازی غشایی در کیسلگ آلمان با ظرفیت m^3/h ۵۰۰

مزایای جداسازی غشایی نسبت به سایر روش‌ها ازجمله «PSA» هزینه کم، عملکرد ساده، فضای مناسب، دوست‌دار محیط‌زیست بودن، نیاز کم به نگهداری و تعمیرات(نت) و عدم استفاده از مواد شیمیایی است. مشکلات بسیار کمی در این فناوری وجود دارد که می‌توان از انسداد یا خرابی غشا به‌عنوان مهم‌ترین مشکل اشاره کرد. به طورکلی با توجه به مشکلاتی که برای غشاها رخ می‌دهد و نیاز به ترمیم پیدا می‌کنند، هزینه‌ها هم بالا می‌رود.

فناوری برودتی[15]

این فناوری جدید با استفاده از اختلاف دما به جداسازی گازها می‌پردازد. کربن‌دی‌اکسید دارای نقطه‌جوش ۷۸- درجه سلسیوس است، درحالی‌که نقطه‌جوش متان ۱۶۰- درجه سلسیوس است؛ درنتیجه با سرد کردن جریان گاز در فشار بالا، ابتدا گاز کربن‌دی‌اکسید به مایع تبدیل شده و به‌طور کامل از بیوگاز جدا می‌گردد. از این اختلاف نقطه‌جوش (یا تقطیر) می‌توان برای جداسازی ناخالصی‌های دیگر ازجمله اکسیژن، نیتروژن و سیلوکسان هم استفاده کرد. این روش اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا محصول نهایی آن به شکل بیومتان مایع (LBM) است که مشابه گاز طبیعی مایع (LNG) است.

در فناوری برودتی معمولاً چهار گام برای ارتقا بیوگاز وجود دارد. ابتدا H_2S، گرد و غبار، هالوژن‌ها، سیلوکسان و دیگر ترکیبات نامطلوب از بیوگاز خام جدا می‌شوند. در گام دوم، بیوگاز تا ۱۰۰۰کیلوپاسکال و ۲۵- درجه سلسیوس می‌رود. در گام سوم، بیوگاز تا دمای ۵۵- درجه سلسیوس رفته تا CO_2 به شکل مایع از مخلوط خارج شود. درنهایت گاز باقی‌مانده را تا ۸۵- درجه سلسیوس سرد می‌کنند تا CO_2 به شکل جامد دربیاید. گاز باقی‌مانده، متان با خلوص بالاست.



شماتیک ارتقا بیوگاز به روش جداسازی برودتی

منابع:

* Ong, M., R. Williams, and S. Kaffka, DRAFT Comparative assessment of technology options for biogas clean-up. University of California, Davies, 2014.
* Awe, O.W., et al., A review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies. Waste and Biomass Valorization,2017. 8(2) : p. 283-267.
* Singhal, S., et al., Upgrading techniques for transformation of biogas to bio-CNG: a review. International Journal of Energy Research, .2017 12(41): p. 1669-1657.
* Muل‌oz, R., et al., A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology,2015. 14 (4) : p. 759-727.
* Sahota, S., et al., Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. Bioresource Technology Reports, 2018.1: p. 88-79.
* Wu, B., et al., Assessment of the energy consumption of the biogas upgrading process with pressure swing adsorption using novel adsorbents. Journal of Cleaner Production, 2015.101: p. 261-251.
* Hulteberg, C., et al., Biogas upgrading-Review of commercial technologies. SGC rapport,2013.270.
* Khan, I.U., et al., Biogas as a renewable energy fuelتA review of biogas upgrading, utilisation and storage. Energy Conversion and Management, .2017 150: p. 294-277.
* Medrano, J.A., et al., Membranes utilization for biogas upgrading to synthetic natural gas, in Substitute Natural Gas from Waste. 2019, Elsevier. p. 274-245.
* Sun, Q., et al., Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning,

15. Cryogenic Technology