

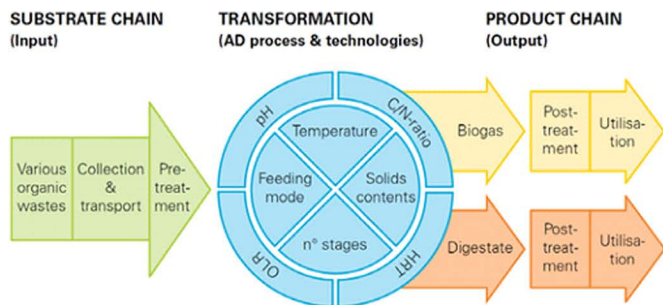


روش‌های تصفیه و ارتقاء بیوگاز - قسمت اول

مهران صادقی

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 از جمله 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 (Biomass sources) 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 (Anaerobic Digestion-AD) ضایعات آلی می‌تواند به شکلی مؤثر منجر به تولید بیوگاز شود. با این‌که بیوگاز عمدتاً متشکل از متان و کربن‌دی‌اکسید است اما دارای برخی ترکیبات دیگر نیز می‌باشد 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 ارائه شده‌اند. در این پژوهش مروری بر فناوری تولید بیوگاز، تصفیه و ارتقاء بیوگاز ارائه می‌شود.





شکل ۳: زنجیره فرآیند هضم بی‌هوازی

*منابع تولید بیوگاز

ضایعات لیگنوسلولزی (Lignocellulosic Waste)

ضایعات لیگنوسلولزی شامل بقایای محصولات کشاورزی و جنگلداری است. این مواد نمی‌توانند به خاطر وجود ترکیباتی از جمله لیگنین، سلولز و همی سلولز مستقیماً تبدیل به بیوگاز شوند زیرا زیست‌تخریب‌پذیری و هضم ضعیفی دارند. لذا باید از پیش تیمارهای آنزیمی برای آن‌ها استفاده شود. از طرفی به دلیل بالا بودن نسبت C/N در مواد لیگنوسلولزی و کم بودن متان تولیدی باید آن‌ها را در هضم هم‌زمان با سایر خوراک‌ها استفاده کرد.

ضایعات جامد شهری (Municipal Solid Waste-MSW)

رشد اقتصادی و گسترش سریع شهرها و همچنین تغییر نوع زندگی و مصرف‌گرایی منجر به تولید حجم عظیمی از ضایعات جامد شهری شده است. دفع زباله‌های شهری امروزه خود یک مشکل زیست‌محیطی است. امروزه تولید انرژی از ضایعات جامد شهری در نیروگاه‌های زباله-به-انرژی (Waste-to-Energy Plants) انجام می‌گیرد. این کار را یا در هاضم‌ها و یا از طریق استحصال گاز لندفیل‌ها انجام می‌دهند. مزیت این‌گونه هضم حجم کم و نیاز آبی پایین آن است.

ضایعات مواد غذایی (Food Waste-FW)

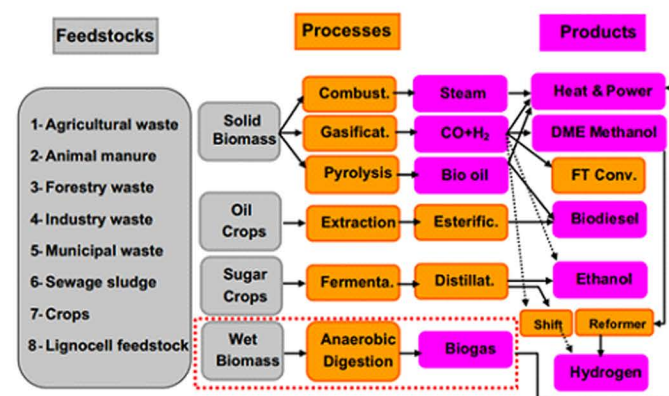
ضایعات مواد غذایی عمدتاً در هتل‌ها، رستوران‌ها، خانه‌های مسکونی، غذاخوری‌ها (کانتین) و شرکت‌ها تولید می‌شود. با رشد جمعیت و اقتصاد این بخش نیز رشد کرده و بخشی از ضایعات جامد شهری را تشکیل می‌دهد. از آنجایی که رطوبت این‌گونه از زباله‌ها بالاست می‌توان آن‌ها را به صورت مستقیم هضم کرد.

کودهای دامی (Livestock Manure)

امروزه در اکثر کشورها دامداری‌های فراوانی وجود دارند و میزان زیادی کود دامی تولید می‌کنند. معمولاً هضم تکی کودهای دامی بازده پایینی دارد و از طرفی به دلیل بالا بودن برخی ترکیبات از جمله آمونیاک در آن‌ها توصیه می‌شود که در هضم هم‌زمان با سایر خوراک‌ها قرار گیرند.

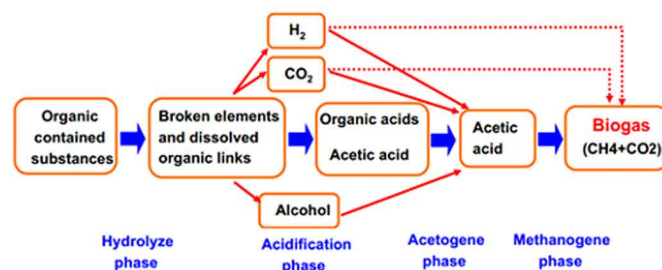
لجن فعال (فاضلاب‌ها) (Activated Waste Sludge-AWS)

علاوه بر ضایعات آلی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، لجن فعال نیز منبعی دیگر برای تولید بیوگاز است. پروتئین و سلولز دو ترکیب مهم تشکیل‌دهنده لجن هستند که می‌توانند تبدیل به بیوگاز شوند.



شکل ۱: راه‌های تبدیل زیست‌توده به انرژی

کل فرآیند تبدیل مواد آلی پیچیده به بیوگاز را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد که به ترتیب عبارت‌اند از هیدرولیز، اسیدزایی، استات‌زایی و متان‌زایی. قابل ذکر است که در هضم بی‌هوازی این چهار مرحله هم‌زمان رخ می‌دهد.



شکل ۲: مراحل هضم بی‌هوازی مواد آلی

اگر دقیق‌تر به تولید بیوگاز توجه کنیم، متوجه می‌شویم که می‌توان زنجیره فرآیند هضم بی‌هوازی را به سه بخش اساسی دسته‌بندی کرد (شکل ۳): زنجیره تأمین خوراک (ورودی)، زنجیره تبدیل (فرآیند) و فناوری‌های هضم بی‌هوازی (و زنجیره محصول (خروجی)).

*تصفیه (Biogas cleaning) و ارتقاء بیوگاز (Biogas Upgrading)

بر اساس جدول ۲ ترکیبات نامطلوبی در بیوگاز وجود دارد که باعث ایجاد مشکلات فراوانی برای مصرف‌کنندگان بیوگاز می‌گردد. لذا حذف این ترکیبات امری ضروری است. حذف هرگونه ناخالصی و ترکیبات سمی را تصفیه بیوگاز و تنظیم مقدار CO_2 به منظور افزایش ارزش حرارتی را ارتقاء بیوگاز می‌نامند. بیومتان محصول نهایی این دو فرآیند است که شامل متان (۹۵-۹۹٪) و گاز دی اکسید کربن یک تا پنج درصد به همراه مقادیر بسیار ناچیز H_2S است.

یک پارامتر مهم در بررسی سوخت‌ها ارزش حرارتی است. به طور کلی ارزش حرارتی بیوگاز $5/21 MJ/m^3$ می‌باشد، در حالی که این مقدار برای گاز طبیعی $8/35 MJ/m^3$ بوده و این اختلاف به خاطر اجزاء غیر قابل احتراق بیوگاز (عمدتاً CO_2) است. به دلیل حجم بزرگ CO_2 یک افت شدید در ارزش حرارتی بیوگاز و همچنین افزایش هزینه فشرده‌سازی و حمل و نقل به وجود می‌آید.

یک شاخص مهم در مقایسه سوخت‌های گازی شاخص واب است. این شاخص به صورت نسبت ارزش حرارتی سوخت به مجذور چگالی ویژه آن تعریف می‌شود.

$$I_w = V_c / \sqrt{G_s}$$

یکای این شاخص MJ/Nm^3 است که N در اینجا نشان‌دهنده شرایط استاندارد دما و فشار می‌باشد.

جدول ۱: ترکیبات بیوگاز، بیوگاز ارتقاء یافته و گاز طبیعی (متان)

جزء	بیوگاز	بیوگاز ارتقاء یافته	گاز طبیعی
متان (% حجمی)	۵۰-۷۰	۸۰-۹۰	۸۹
دیگر هیدروکربن‌ها (% حجمی)	۰	۰	۹/۴
هیدروژن (% حجمی)	۰	۰	۰
کربن دی‌اکسید (% حجمی)	۳۰-۵۰	۱۰-۱۵	۰/۶۷
نیترژن (% حجمی)	۰-۱	۰-۱	۰/۲۸
اکسیژن (% حجمی)	۰-۰/۵	۰-۰/۵	۰
هیدروژن سولفید (ppm)	۰-۴۰۰۰	۰-۲۰۰	۲/۹
آمونیاک (ppm)	۰-۱۰۰	۰-۵۰	۰

جدول ۲: اثرات مخرب ناخالصی‌ها و آلودگی‌های بیوگاز

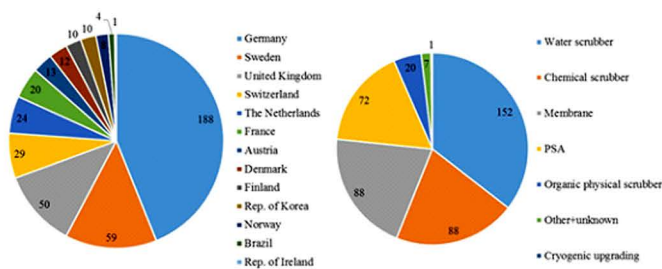
جزء	محتوا	اثر
کربن دی‌اکسید	۲۰-۳۰٪	ارزش حرارتی را پایین می‌آورد خواص ضد کوبش موتور را بالا می‌برد در وضعیت‌تر باعث خوردگی می‌گردد
هیدروژن سولفید	۰-۰/۵٪ حجمی	باعث خوردگی در تجهیز و لوله‌کشی سیستم می‌شود باعث انتشار گوگرد دی‌اکسید می‌شود کاتالیست‌ها را خراب می‌کند
آمونیاک	۰-۰/۵٪ حجمی	باعث انتشار NOx می‌شود
بخار آب	۰-۱٪ حجمی	باعث خوردگی در تجهیز و لوله‌کشی سیستم می‌شود به خاطر میعان (تقطیر) وسایل و نیروگاه را تخریب می‌کند
گردوغبار	$\geq 5 \mu m$	لوله‌ها و نازل‌ها را در معرض یخ‌زدگی قرار می‌دهد نازل‌ها را مسدود می‌کند
نیترژن	۰-۱٪ حجمی	ارزش حرارتی را پایین می‌آورد خواص ضد کوبش موتور را بالا می‌برد
سیلوکسان	۰-۵۰ mg/m	موتورهای احتراقی را تخریب می‌کند

باید اشاره شود که مصرف نهایی بیوگاز بر اساس ترکیبات آن (جدول ۱)، فرآیند ارتقاء مورد نیاز و چارچوب‌های ملی از جمله سیستم مالیاتی، یارانه‌ها و دسترس پذیری شبکه گاز تعیین می‌شود. کشورهای مختلف دارای استانداردها و خصوصیات مختلفی برای تزریق گاز به شبکه و استفاده به عنوان سوخت خودرو هستند.

بیوگاز موارد استفاده فراوانی از جمله سوخت اجاق‌ها و بویلرها، سوخت موتورها و توربین‌های گازی، تزریق به خطوط گاز طبیعی و سوخت پیل‌های سوختی دارد که هر کدام استانداردهای خاص خود را برای سوخت ورودی دارند. یکی از قوانین بسیار مهم برای به کار بردن سوخت بیوگاز در این تجهیزات مقدار گاز H_2S آن می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳: مقدار H_2S مجاز برای برخی تجهیزات

تجهیز	تلورانس H_2S (ppm)
بویلرها و موتورهای استرلینگ	≤ 1000
اجاق آشپزخانه	≤ 10
موتورهای احتراق داخلی	≤ 500
توربین‌ها	≤ 10000
میکرو توربین‌ها	≤ 70000
پیل‌های سوختی	
غشاء تبادل پروتونی (PEM)	≤ 1
پیل سوختی فسفریک اسید (PAFC)	≤ 20
پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC)	≤ 10
پیل سوختی اکسید جامد (SOFC)	≤ 1



شکل ۴: توزیع نیروگاه‌های تصفیه و ارتقاء بیوگاز بر اساس کشورهای عضو IEA بیوانرژی (۲۰۱۵)

همان‌طور که از مرور منابع پیداست فناوری تصفیه و ارتقاء بیوگاز بیشتر در کشورهای اروپایی که خود تولیدکننده عمده بیوگاز هستند توسعه یافته است. شکل ۴ توزیع ۲۲۱ نیروگاه تصفیه و ارتقاء بیوگاز در سال ۲۰۱۳ در جهان را نشان می‌دهد. آلمان و سوئد هر کدام با ۱۸۸ و ۵۹ نیروگاه دو کشور پیشرو در توسعه و بهره‌برداری از این فناوری هستند. در بخش سه به صورت جداگانه به بررسی روش‌های موجود برای تصفیه و ارتقاء بیوگاز پرداخته می‌شود.

غلظت بالای گوگرد به عنوان یک اقدام اولیه یا مواردی که H_2S زیاد در بیوگاز مجاز است (بیش از ۱۰۰۰ PPM) استفاده می‌شود.

ارتقای بیوگاز

هدف اصلی ارتقاء بیوگاز به بیومتان حذف CO_2 برای بالا بردن کیفیت گاز از طریق افزایش محتوای حجمی انرژی است. ارتقاء غالباً زمانی نیاز است که بیوگاز می‌خواهد به خطوط گاز طبیعی تزریق شده یا به عنوان سوخت خودرو مورد استفاده قرار گیرد.

ارتقاء بیوگاز به بیومتان توسط فناوری‌هایی انجام می‌شود که عمدتاً از بخش‌های دیگر (مثلاً جداسازی برودتی از صنعت داروسازی آمده است) اقتباس شده است. این فناوری‌ها به دو بخش تجاری و تحقیقاتی تقسیم می‌شوند. دسترس پذیری فنی (Technical Availability) را به صورت درصد سالانه ساعات کاری بیان می‌کنند که پارامتری مهم در ارزیابی سامانه‌های ارتقاء است. زمانی یک فناوری آماده ورود به بازار است که ظرفیت و قابلیت اطمینان آن مناسب بازار باشد. فناوری‌های موجود در سطح تجاری عبارت‌اند از جذب سطحی با نوسانات فشار، اسکرابینگ آب، اسکرابینگ شیمیایی، جداسازی غشایی و جداسازی برودتی. البته همان‌طور که بیان شد روش‌های نوین دیگری هم، مثل فناوری بیولوژیکی، موجود هستند که هنوز به بلوغ کامل نرسیده و آماده ورود به بازار نیستند. در ادامه خلاصه‌ای از اصول روش‌های تجاری آمده است.

۱- روش جذبی (Absorption) یا اسکرابینگ (Scrubbing) روش جذبی در دو بخش فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد. در روش جذب فیزیکی که معروف‌ترین آن اسکرابینگ آب است، CO_2 بدون هیچ رخداد شیمیایی و تنها با جذب فیزیکی CO_2 توسط آب از جریان بیوگاز خارج می‌شود، این در حالی است که در روش جذب شیمیایی یک واکنش شیمیایی بین ماده جذب‌شده و حلال رخ می‌دهد.

۱-۱- جذب فیزیکی

این روش بر اساس اختلاف حلالیت گازهای متنوع در یک محلول مایع اسکرابینگ است و دو محلول مرسوم در این روش آب و حلال آلی هستند. اجزاء گازی جذب‌شده در این روش به صورت فیزیکی با مایع اسکرابینگ پیوند می‌دهند.

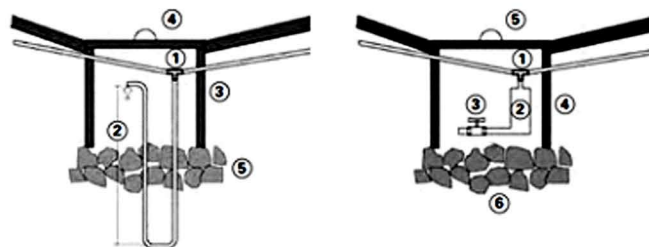
در این روش، آب یک جاذب انتخابی است به صورت گسترده در جذب فیزیکی در مقیاس صنعتی به کار می‌رود. در حال حاضر به خاطر حساسیت کمتر آن به ناخالصی‌ها ۴۱٪ بازار ارتقاء بیوگاز را به خود اختصاص داده است. H_2S را هم می‌توان به دلیل بالا بودن حلالیتش در آب جدا کرد. اگرچه توصیه می‌شود جداسازی H_2S قبل از CO_2 باشد، زیرا H_2S محلول به شدت خورنده بوده و بوی به شدت نامطبوعی به همراه خواهد داشت.

در اسکرابینگ آب سازوکار به این صورت است که ابتدا برای تقویت جذب معمولاً بیوگاز فشرده می‌شود که به آن اسکرابینگ آب تحت فشار یا PWS هم گویند. پس از

همان‌طور که پیشتر هم آمد، بیوگاز غیر از متان و کربن دی‌اکسید، حاوی آب، هیدروژن سولفید، نیتروژن، اکسیژن، آمونیاک و سیلوکسان است. غلظت این مواد وابسته به ترکیبات خوراکی است که گاز از آن تولید شده است. در فناوری‌های ارتقاء بیوگاز (که کربن‌دی‌اکسید آن جدا می‌شود)، برخی ترکیبات ناخواسته دیگر هم جدا می‌گردد. اگرچه، برای جلوگیری از خوردگی و فرسایش مکانیکی تجهیزات ارتقاء بیوگاز بهتر است قبل از ارتقاء به تصفیه و پاک‌سازی بیوگاز (مخصوصاً آب و هیدروژن سولفید) نیز پرداخته شود. به حذف هرگونه ناخالصی غیر از CO_2 تصفیه بیوگاز گویند.

۱- حذف آب

بیوگاز هنگام خروج از هاضم دارای بخار آب اشباع است و در صورت میعان در خطوط انتقال گاز موجب خوردگی می‌گردد. آب را می‌توان با روش‌های خنک‌سازی، فشرده‌سازی، جذب و جذب سطحی حذف نمود. با افزایش فشار یا کاهش دما، آب میعان کرده و می‌توان آن را از بیوگاز جدا نمود. خنک‌سازی با مدفون کردن لوله‌های گاز زیرزمین و استفاده از تله میعان (Condensate Trap) امکان‌پذیر است. جذب سطحی نیز با استفاده از SiO_2 ، کربن فعال یا صافی‌های مولکولی انجام می‌گیرد. این مواد معمولاً با استفاده از گرما یا کاهش فشار احیا می‌شوند. دیگر روش‌های موجود نیز جذب در محلول‌های گلیکول یا استفاده از نمک‌های هیگروسکوپیک است.



شکل ۵: دو نوع تله آب (Water Trap) برای مصارف روستایی: دستی و خودکار

۲- حذف هیدروژن سولفید

هیدروژن سولفید طی کاهش میکروبیولوژیکی (Microbiological Reduction) ترکیبات حاوی گوگرد (سولفات‌ها، پپتیدها و آمینواسیدها) تولید می‌شود. غلظت هیدروژن سولفید در بیوگاز را می‌توان با ته‌نشینی (Precipitation) در مایع داخل هاضم یا در سامانه‌های دیگر در حین جداسازی کربن دی‌اکسید تنظیم و تعدیل کرد.

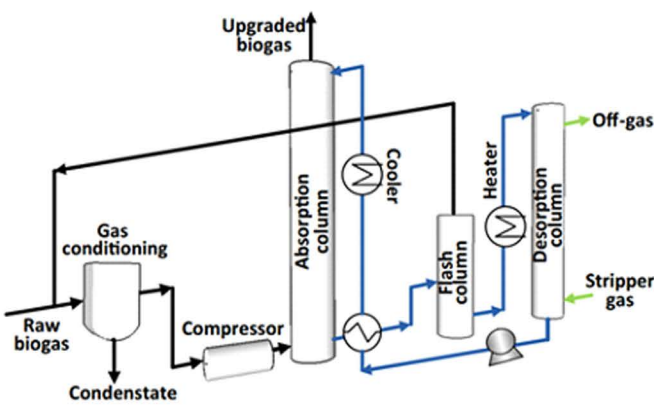
۳- ته‌نشینی

افزودن یون‌های Fe^{2+} یا Fe^{3+} به شکل $FeCl_3$ یا $FeSO_4$ به هاضم تقریباً تمام سولفیدهای آهن حل‌نشده را ته‌نشین می‌کند که نهایتاً با دایجستیت از هاضم خارج می‌شوند. این روش در هاضم‌هایی با

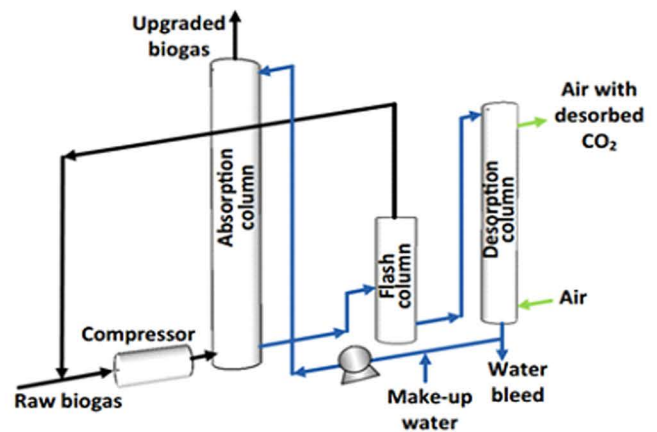
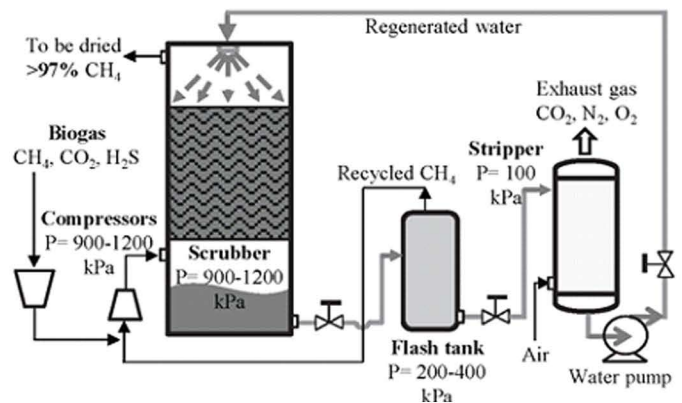
جذب در اسکرابرها (Scrubber) گاز تصفیه شده که حاوی بیش از ۹۷٪ متان است از بالای محفظه اسکرابینگ جمع آوری می‌گردد، این در حالی است که مایع خروجی (Liquid Effluent) که حاوی مقدار زیادی CO_2 و کمی متان است به مخزن فلاش (Flash Tank) می‌رود تا متان موجود در آن بازیابی شود.

اسکرابینگ آب در برج‌هایی پر از حلقه‌های پال یا راشیگ به منظور ایجاد انتقال جرم گاز-مایع کافی در فشار شش تا ۱۰ بار انجام می‌شود. در آخر آب در استریپر (Stripper) یا ستون دفع (Desorption) با کمک عبور هوا (Air Sparging) احیا شده و به راکتور باز می‌گردد. باید اشاره شود که N_2 و O_2 به دلیل تقطیر ناپذیر بودن قابل جداسازی نمی‌باشند. در اینجا بیشتر مصرف انرژی برای تراکم هوا، پمپ‌ها و سامانه احیاء آب می‌باشد. پاک‌سازی دائم آب برای اطمینان از عدم آلودگی به H_2S و جلوگیری از رسوبات ضروری است. این روش به‌عنوان نوعی پیش تیمار نیز برای روش‌های دیگر (مخصوصاً PSA) استفاده می‌شود.

در روش جذب فیزیکی می‌توان از حلال‌های آلی مانند متانول و دی‌متیل اترهای پلی‌اتیلن‌گلیکول (DMPEG) نیز برای حذف CO_2 استفاده کرد. این حلال می‌تواند CO_2 ، H_2S و H_2O را به دلیل بالاتر بودن حلالیت آن‌ها نسبت به متان در پلی‌اتیلن‌گلیکول به صورت هم‌زمان جذب کند. نحوه اسکرابینگ و احیاء حلال دقیقاً مشابه اسکرابینگ آب است. نام تجاری این حلال‌ها Selexol و Genosorb است و میل جذب آن‌ها برای CO_2 و H_2S برابر بیشتر از آب است، مخصوصاً Selexol که ترکیبی از دی‌متیل اترهای پلی‌اتیلن‌گلیکول است. در نتیجه حجم کمتری جذب با اندازه متراکم نیاز است که موجب کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری نیروگاه می‌گردد. این فرآیند می‌تواند CO_2 با خلوص بالا تولید کند و به خاطر جذب آب و هیدروکربن‌های هالوژنه (در لندفیل‌ها) توسط گلیکول طی این فرآیند دیگر نیازی به خشک کردن بیوگاز ارتقاء یافته نیست.

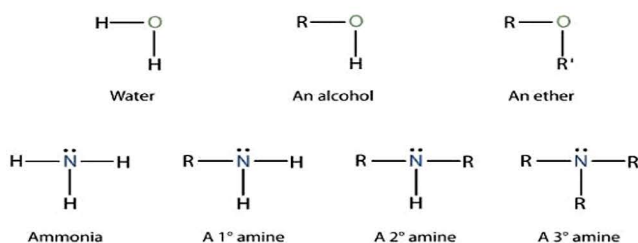


شکل ۸: شماتیک ارتقاء به روش جذبی (اسکرابینگ حلال آلی)

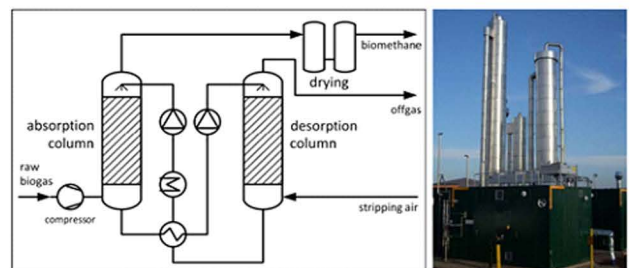


شکل ۶: شماتیک ارتقاء به روش جذب فیزیکی (اسکرابینگ آب)

۱-۲- جذب شیمیایی
این روش نیز مانند جذب فیزیکی است اما بین حلال و مواد جذب‌شده واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد. روش جذب شیمیایی بر اساس جاذب‌های فعال CO_2 مانند آلکانول‌آمین‌ها از جمله مونواتانول‌آمین (MEA) یا دی‌متیل اتانول‌آمین (DMEA) و همچنین محلول‌های آبی قلیایی مانند $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ، NaOH ، K_2CO_3 ، KOH و FeCl_2 انجام می‌شود.
آمین‌ها ترکیبات آلی هستند که جزو بازها به شمار رفته که یک اتم نیتروژن مرکزی و یک تا سه گروه آلکیل متصل به آن هستند و به ترتیب آمین نوع یک، آمین نوع دو و آمین نوع سه نام‌گذاری می‌شوند (شکل ۹).



شکل ۹: انواع آمین‌ها در مقایسه با آب، الکل و اتر



شکل ۷: فرآیند ارتقاء به روش اسکرابینگ آب تحت فشار در کونورن آلمان با ظرفیت بیوگاز $1250 \text{ m}^3/\text{h}$



شکل ۱۱: نیروگاه ارتقاء بیوگاز به روش جذب شیمیایی در گوتنبرگ سوئد با ظرفیت بیوگاز خام m^3/h

بستر آکنده (Packed Bed):

بستر آکنده در مهندسی شیمی و فرآیندهای شیمیایی به مخازن، لوله‌ها یا دیگر تجهیزاتی گفته می‌شود که در آن از مواد خاصی به‌عنوان پرکن یا آکنده استفاده شده است. هدف اصلی استفاده از این مواد افزایش سطح تماس فازها در فرآیند است. همچنین ممکن است از مواد جاذبی چون کربن فعال یا کاتالیزورها نیز به صورت آکنده در فرآیند استفاده شود.

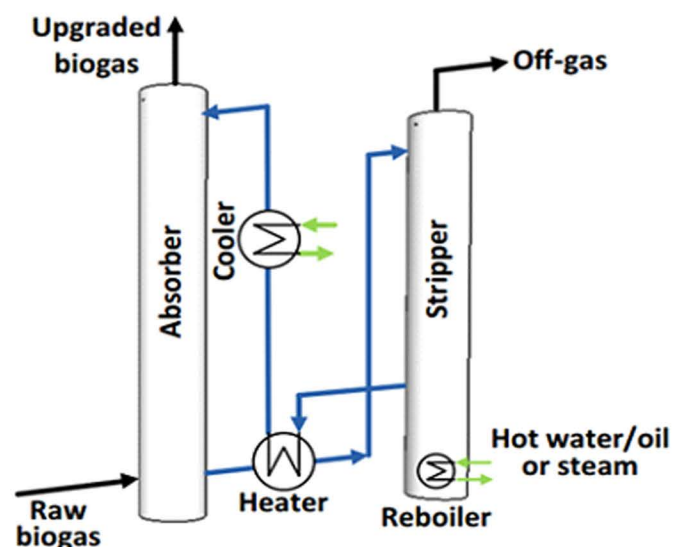
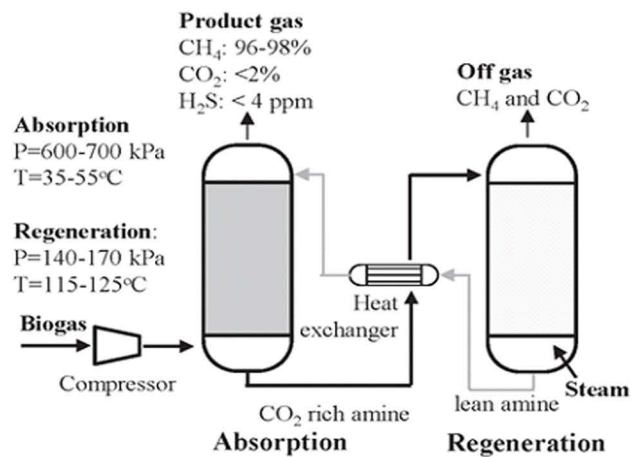


حلقه‌های پال



حلقه‌های راشیگ

در روش جذب شیمیایی، فرآیند جذب در فشار بالا و دمای نسبتاً پایین (۳۵-۵۵ درجه سلسیوس) انجام می‌گیرد و گاز متان با خلوص بالا از راکتور جمع‌آوری می‌شود. حلال غنی‌شده از کربن‌دی‌اکسید با استفاده از بخار آب دوباره بازتولید می‌گردد. معمولاً یک مبدل گرمایی برای پیش‌گرمایش آمین غنی از کربن‌دی‌اکسید استفاده می‌شود. در این روش واحدها حاوی یک بستر آکنده (تصادفی یا ساختاری) است که به یک واحد دفع کوپل شده تا از خطر رشد زیست‌توده به خاطر بالا بودن pH محلول‌های آمین جلوگیری شود. محلول آمین به‌طور گسترده برای جذب CO_2 استفاده می‌شود و بیش از ۹۹٪ متان را استحصال می‌کند. در اینجا نیز باید قبل از فرآیند H_2S را حذف نمود زیرا باعث آلودگی آمین می‌گردد. فرآیند احیاء معمولاً با بخار یا گرما انجام می‌شود و CO_2 با خلوص ۹۳٪ در این بخش حاصل می‌شود. برخلاف بازده بالای حذف CO_2 ، مصرف انرژی تقریباً بالاست (گرمای بالای احیا) و همچنین احتمال رسوب نمک و کف زایی وجود دارد.



شکل ۱۰: شماتیک ارتقاء بیوگاز به روش جذب شیمیایی