

# سوزاک

## ثروتی نهفته در پسماندها

- چرا فناوری بیوگازی
- تاریخچه بیوگاز در ایران
- بهره‌برداری از فناوری بیوگاز
- انواع واحدهای بیوگاز
- فناوری بیوگاز در مقیاس روستایی
- فناوری بیوگاز در مقیاس شهری
- عوامل بازدارنده گسترش فناوری تولید بیوگاز در ایران

نشریه شماره ۱۱۶، بهار ۱۳۸۹





## به نام خداوند جان و خرد

آدرس: تهران، میدان ونک، بزرگراه حقانی  
بعد از چهارراه جهان کودک،  
خیابان دیدار جنوبی، کوچه هوشیار، پلاک ۳  
کد پستی: ۱۵۱۸۷-۵۶۴۱۳

info@rahshahr.com  
www.rahshahr.com

تلفن: ۸۲۱۷۲۱۷۲  
دورنگار: ۸۸۸۸۳۸۶۸

شماره سند: 01 09653 O PB 0116 00

یکصد و شانزدهمین نشریه علمی، فنی و مهندسی ره‌شهر  
آدرس وبسایت نشریات فنی گروه بین‌المللی ره‌شهر  
<http://bulletins.rahshahr.com>

## فهرست

- ۳ • سخنی با خوانندگان
- ۴ • چرا فناوری بیوگازی؟
- ۹ • تاریخچه بیوگاز در ایران
- ۱۱ • پتانسیل‌های تولید بیوگاز در کشور
- ۱۵ • بهره‌برداری از فناوری بیوگاز
- ۱۵ • فناوری بیوگاز در مقیاس روستایی
- ۱۶ • انواع واحدهای بیوگاز
- ۲۱ • مقیاس سیستم‌های بیوگاز
- ۲۱ • نمونه موردی استفاده از واحدهای خانگی بیوگاز
- ۲۴ • فناوری بیوگاز در مقیاس شهری
- ۲۹ • عوامل بازدارنده گسترش فناوری تولید بیوگاز در ایران
- ۳۰ • نتیجه‌گیری

### ناشر

گروه بین‌المللی ره‌شهر

### پژوهش و نگارش

فیروزه سوری

### هماهنگی و نظارت اجرایی

فاطمه خلیلی

### صفحه‌آرایی و طرح جلد

آوا ذاکری فردی



## سخنی با خوانندگان

پیشرفت شگرف علم و فناوری در جهان امروز، از طرفی آسایش و رفاه زندگی بشر را موجب شده، اما از طرفی دیگر جهان را با بحران‌های جدی زیست‌محیطی و انرژی مواجه ساخته است. این بحران‌ها نه تنها تهدیدی برای کیفیت زندگی جوامع بشری به شمار می‌آیند، بلکه ادامه روند کنونی و حیات بشر را با خطری جدی مواجه خواهند ساخت. بحران‌های زیست‌محیطی جهان امروز، محصول استفاده از سوخت‌های فسیلی به صورت گسترده در بخش‌های مختلف جوامع انسانی، همچنین تولید حجم بالایی از انواع آلاینده‌ها و ضایعات، عدم مدیریت و نظارت بر دفع این آلاینده‌ها و محدودیت توان پالایندگی طبیعت است. امروزه جایگزینی سوخت‌های فسیلی، مدیریت ضایعات و بهره‌گیری از شیوه‌های مناسب دفع و بازیافت انواع آلاینده‌ها در اکثر کشورها اعم از توسعه یافته و در حال توسعه از اهمیت فراوانی برخوردار است.

از سوی دیگر بحران انرژی نتیجه وابستگی شدید جوامع به منابع انرژی فسیلی و روند در حال رشد مصرف سالانه انرژی است. ادامه روند کنونی از یک سو تهی شدن منابع فسیلی را به دنبال خواهد داشت، که خود تهدیدی است برای اقتصاد کشورهای صادرکننده و از سوی دیگر نسل‌های آینده را با مشکل جدی تامین انرژی مواجه خواهد ساخت. گرچه کشور ما از موهبت برخورداری از منابع غنی نفت و گاز بهره‌مند است اما نباید فراموش کرد این منابع علاوه بر اینکه منابعی محدود هستند، سرمایه‌های ملی بوده و ما ملزم به حفظ آن برای نسل‌های آینده هستیم. برای حل این بحران جدی، در سرتاسر دنیا، راه‌کارهایی اندیشیده شده، که یکی از کارآمدترین آنها استفاده از فناوری بیوگاز است. فناوری بیوگاز، علاوه بر حل بسیاری از معضلات زیست‌محیطی، به‌عنوان یک منبع انرژی پاک، بخشی از نیاز جامعه به انرژی را تامین خواهد کرد.

در ایران، با وجود پتانسیل بالای استفاده از این فناوری، سهولت و مزایای جانبی مهم آن، تاکنون به این فناوری متأسفانه کمتر توجه شده است. از موانع گسترش این فناوری می‌توان به مواردی چند اشاره کرد: ارزان بودن انرژی در ایران، منسجم نبودن و پیوستگی نداشتن مطالعات انجام‌شده در این زمینه، عدم تبلیغ و فرهنگ‌سازی در استفاده از این فناوری، عدم ارائه اطلاعات کامل و نتایج حاصل از پروژه‌های اجراشده به‌صورت همگانی برای دسترسی آزاد علاقه‌مندان، تمایل به حفظ انحصاری اطلاعات به دست آمده از پروژه‌های اجراشده، آموزش نیافتن نیروی متخصص به‌صورت گسترده به منظور اشاعه استفاده از این فناوری به کلیه مناطق کشور، عدم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و در نتیجه عدم ایجاد رقابت بین دست‌اندرکاران و همچنین عدم آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی.

امید است با تقویت روحیه مشارکت و تعاون میان دست‌اندرکاران و متخصصین، سرمایه‌گذاری و مشارکت بخش‌های خصوصی، آموزش نیروهای متخصص و برنامه‌ریزی برای به‌کارگیری این فناوری در سطوح مختلف، شاهد تسریع و بهبود روند رو به رشد بهره‌گیری از این فناوری در مقیاس‌های مختلف باشیم.

**گروه بین‌المللی ره‌شهر**

## چرا فناوری بیوگازی؟

بهره‌گیری از فناوری بیوگاز در مقیاس‌های خرد و کلان، به‌عنوان رویکردی نویدبخش بخصوص در طرح‌های توسعه، مدیریت و ساماندهی ضایعات آلی تولید شده در مناطق شهری و روستایی مورد توجه قرار گرفته است. بیوگاز به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر انرژی با منافع اقتصادی- اجتماعی بسیار و نقش به‌سزایی که در حل معضلات زیست‌محیطی ناشی از آلاینده‌ها و ضایعات آلی تولید شده در جوامع انسانی دارد، توجه بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، در حال توسعه و سازمان‌های بین‌المللی را به خود جلب کرده است. گفتنی است منابعی که به‌عنوان ماده اولیه در این فناوری استفاده می‌شوند، عمدتاً منابعی هستند که سبب آلودگی‌های وسیع زیست‌محیطی شده و تهدیدی برای جوامع انسانی هستند، که در صورت استفاده در فناوری بیوگاز، به منابع غنی و ارزشمند تبدیل خواهند شد.

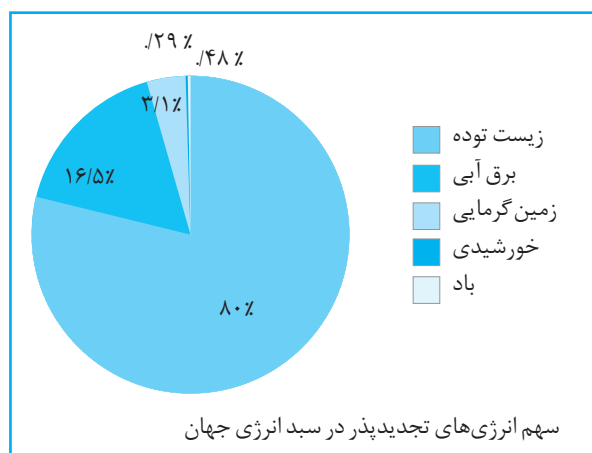
با وجود پتانسیل‌های بالقوه در کشور برای استفاده از فناوری بیوگاز، متأسفانه به‌دلیل پایین بودن قیمت انرژی، عدم سرمایه‌گذاری، عدم آشنایی و آموزش کافی در این زمینه، به این فناوری تاکنون کمتر توجه شده است.

### • ضرورت استفاده از بیوگاز از دیدگاه انرژی‌های نو

افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای کره زمین، بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییرات آب و هوایی، آلودگی بسترهای طبیعی و تأثیرات ویرانگر زیست‌محیطی بر جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی حاصل مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و رشد صنایع از یک سو و محدود بودن این منابع و رشد روزافزون مصرف انرژی که جوامع بشری را در آینده‌ای نه چندان دور با بحران انرژی مواجه خواهد ساخت از سوی دیگر، به طرح نوع جدیدی از توسعه با نام توسعه پایدار منجر شده است [۱۲]. یکی از ابعاد مطرح شده در توسعه پایدار که سبب توجه کشورها به توسعه و سرمایه‌گذاری در این زمینه شده، استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی همچون انرژی خورشیدی، باد، زمین‌گرمایی، زیست‌توده، هیدروژن و ...

است. بر اساس آمارهای کنونی، ۱۳/۳ درصد از انرژی‌های اولیه جهان در سال ۲۰۰۵ از انواع انرژی تجدیدپذیر تامین گردیده که سهم منابع مختلف آن در نمودار زیر نشان داده شده است [۶].

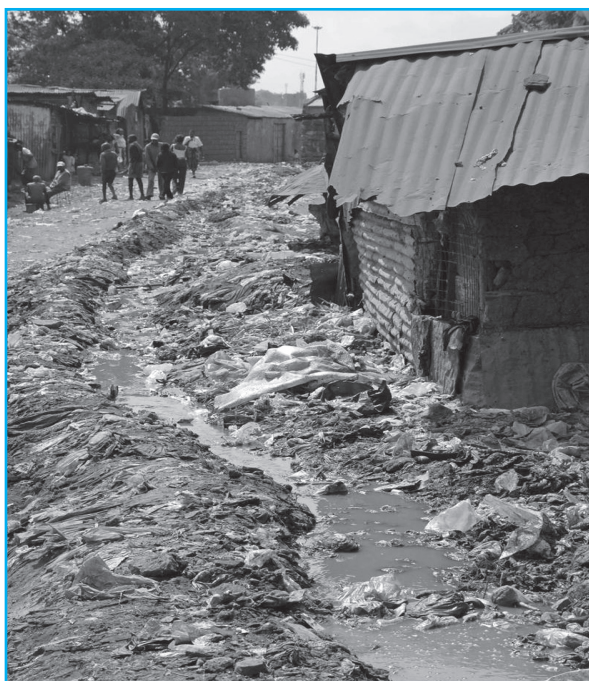
در کشورمان نیز طی چند سال اخیر طرح‌های مطالعاتی و تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است که ماحصل آن اجرای



پروژه‌هایی به‌منظور بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر انرژی است. ضرورت و دلایل سرمایه‌گذاری و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران را از دیدگاه انرژی می‌توان چنین ذکر کرد [۶]:

- (۱) پایان پذیر بودن ذخایر فسیلی در دنیا و افزایش قیمت نفت و گاز
  - (۲) گرم شدن کره زمین و مشکلات زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی
  - (۳) ذخیره انرژی
  - (۴) رویکردهای جهانی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر
- انرژی زیست‌توده در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم قابل ملاحظه‌ای دارد و کشور ما نیز در بهره‌برداری از منابع مختلف آن از پتانسیل بالایی برخوردار است. امروزه برای منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری‌های متنوعی توسعه یافته و با در حال توسعه است که از آن جمله می‌توان فناوری بیوگاز در مدیریت و بازیافت فاضلاب شهری و روستایی را نام برد.





آلودگی منابع طبیعی توسط آلاینده‌های تولید شده در مجامع انسانی

در کشور ما تنها ۹۲ شهر از سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب بهره‌مند هستند و این در حالی است که بیشتر روستاهای کشور سیستم مناسب جمع‌آوری فاضلاب ندارند. این امر نه تنها خطر شیوع بیماری‌های واگیردار را بخصوص در جوامع روستایی افزایش می‌دهد، بلکه وجود این آلودگی‌ها و مواد، پدیده گندیدگی محیط‌های آبی را به دنبال دارد که این امر برای سلامت محیط و انسان پیامدهای بدی دارد.

### امنیت انرژی

با بررسی عوامل موثر بر افزایش امنیت انرژی مشاهده می‌شود که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در موارد متعددی می‌تواند باعث افزایش امنیت انرژی شود که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- توسعه منابع انرژی
- تطبیق بیشتر با قوانین زیست‌محیطی
- ایجاد تنوع در فناوری‌های تولید انرژی
- توسعه منابع منطقه‌ای به منظور کاهش میزان انتقال انرژی در شبکه (امنیت توزیع)
- افزایش ذخیره انرژی مورد نیاز بر اساس مناطق مختلف و دستیابی به مقدار بهینه ذخیره انرژی
- توزیع منطقه‌ای مناسب مراکز تولید و تبدیل انرژی (امنیت تولید)
- کمک به حذف نقاط حساس در شبکه انتقال

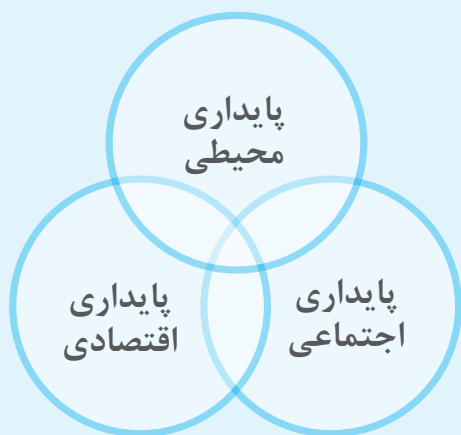
### • ضرورت استفاده از بیوگاز از دیدگاه زیست‌محیطی

طبیعت به عنوان خاستگاه انسان و سایر موجودات و بستر فعالیت‌های آنها، توانایی پذیرش و پالایش میزان معینی از آلاینده‌ها را دارد. امروزه با افزایش جمعیت تمرکز، به‌ویژه در کلان‌شهرها، روزانه شاهد تولید میلیون‌ها تن ضایعات و آلاینده‌ها هستیم، که حجم بالایی از آنها بخصوص در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم بدون نظارت خاصی وارد بسترهای طبیعی می‌شود. امروزه بسیاری از بسترهای طبیعی اطراف شهرها (رودخانه‌ها، مسیل‌ها، تالاب‌ها و زمین‌های حاشیه شهرها) به زباله‌دانی اجتماعات انسانی تبدیل شده است.

پخش این آلاینده‌ها مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را به همراه دارد که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تولید و انتشار سالانه میلیون‌ها تن دی اکسیدکربن و گازهای گلخانه‌ای از محل دفع این آلاینده‌ها [۷] و [۱۰]
- آلودگی خاک و سفره‌های آب زیرزمینی بر اثر نفوذ مواد سمی، فاضلاب و شیر زباله‌ها، بخصوص در مناطق پربارش و دارای سطح بالای سفره‌های آب‌های زیرزمینی [۹]

## توسعه پایدار



انقلاب صنعتی، توسعه علم و پیشرفت فناوری، با هدف رفاه و آسایش بیشتر برای جوامع بشری پدید آمد و در اندک زمانی به شدت مورد توجه و استقبال قرار گرفت، اما گذشت زمان و بروز مسائل و مشکلات زیست محیطی همچون گرم شدن کره زمین، گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزن، بارش باران‌های اسیدی، آلودگی خاک و منابع آب و اختلال در اکوسیستم‌های موجود گویای این واقعیت است که مصرف بی‌رویه منابع طبیعی<sup>۱</sup> و صنعت، به تخلیه و انباشت ضایعات و پسماندهای تولید شده محیط‌های مصنوع در سینک‌های طبیعی<sup>۲</sup> انجامیده است [۱۵].

پیامدهای زیست محیطی مذکور به همراه بحران انرژی سال ۱۹۷۰، به طرح نوعی از توسعه با نام توسعه پایدار منجر شد. توسعه پایدار به معنی ارائه راه‌حلی در مقابل الگوهای فانی کالبدی، اجتماعی و اقتصادی توسعه است که بتواند از بروز مسائلی همچون نابودی منابع طبیعی، تخریب سامانه‌های زیستی، آلودگی جهانی، تغییر اقلیم، افزایش بی‌رویه جمعیت، بی‌عدالتی و پایین آمدن کیفیت زندگی انسان‌های حال و آینده جلوگیری کند. بنابراین توسعه پایدار تحولی است که علاوه بر پاسخ‌گویی به نیازهای بشر امروز، بتواند حداقل شرایطی مشابه جهان امروز را برای آیندگان به ارمغان آورد. در واقع یک تحول، زمانی پایدار است که محافظ محیط و مولد فرصت‌ها باشد. این تحول نیازمند پیوند ناگسستنی میان اکولوژی، اقتصاد و امنیت اجتماعی است. در توسعه پایدار، پیشرفت‌های اقتصادی و شرایط زندگی

اجتماعی باید مطابق جریان درازمدت حفظ پایه‌های طبیعی زندگی باشد [۲۰].

توسعه پایدار، از بین طرح‌ها و برنامه‌های مختلف تحولات و رشد اجتماعی آنهایی را برمی‌گزیند که از نظر زیست محیطی و اجتماعی نسبت به سایر الگوها برتری داشته باشند. بنابراین مهم این نیست که تنها به حفاظت از محیط زیست اهمیت داده شود، بلکه تلاش برای این است که درعین کمک به رشد و توسعه، محیط زیست نیز حفظ شود. بنابراین به منظور دستیابی به توسعه پایدار، راهبردها و اصول چهارگانه زیر باید رعایت شود:

- به‌کارگیری و پایدار ساختن منابع تجدیدپذیر (پاک)
- بهینه‌سازی و ممیزی استفاده از منابع تجدید ناپذیر (فسیلی)
- به حداقل رساندن تولید ضایعات و آلودگی‌ها که در مقیاس و ظرفیت محیط محلی تا جهانی جذب شدنی است
- تأمین نیازهای پایه‌ای انسان و اجتماع و ایجاد محیطی سالم برای نسل‌های آینده

1. Natural Resources

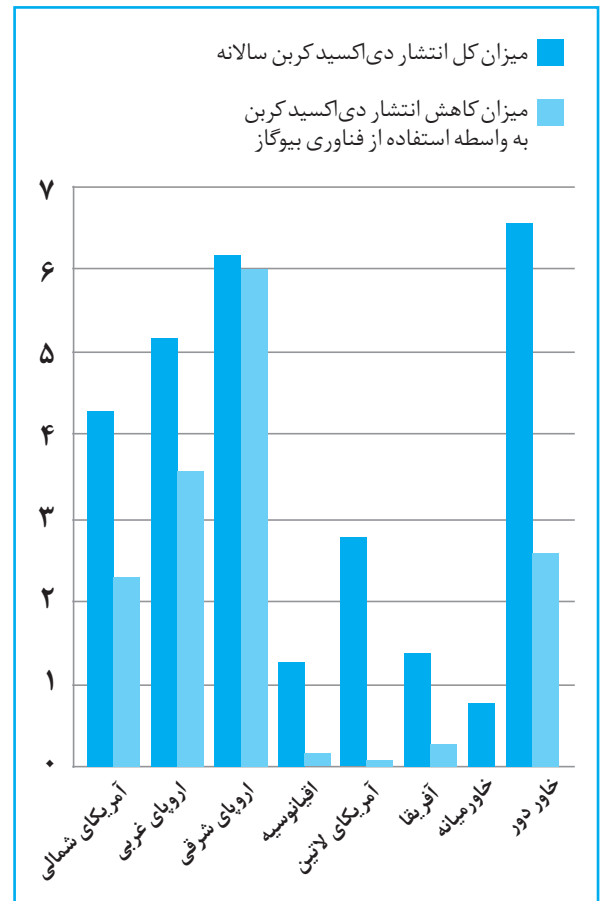
۲. Sink. بسترهای طبیعی که مواد شیمیایی از قبیل کودهای گیاهی، آلاینده‌های آلی یل یون‌های فلزی، طی فرایندهای طبیعی در آن جمع می‌شود

## • آلودگی‌های محیطی مختل‌کننده اکوسیستم‌های

### موجود

درصد بالایی از ضایعات و آلاینده‌ها را مواد آلی تجزیه‌پذیر تشکیل می‌دهند که می‌توانند به‌عنوان ماده اولیه در فناوری بیوگاز استفاده شوند. بهره‌گیری از فناوری بیوگاز نه تنها مشکلات دفع و تصفیه این آلاینده‌ها را حل می‌کند و آنها را به منابعی ارزشمند برای تولید انرژی پاک و ارزان تبدیل می‌سازد، بلکه دارای منافع زیست‌محیطی از قبیل تولید کود طبیعی با درصد بالای نیتروژن، تغذیه منابع و سفره‌های آب‌های زیرزمینی با استفاده از پساب خروجی واحدهای بیوگاز، کاهش میزان تخریب منابع محیط‌زیست (کاهش جنگل زدایی)، کاهش دی اکسید کربن با استفاده از فناوری تخمیر بی‌هوازی و فرسایش خاک نیز است [۷].

میزان پتانسیل کاهش انتشار دی اکسید کربن به واسطه استفاده از فناوری بیوگاز [۱۷]



## • ضرورت استفاده از بیوگاز از دیدگاه اقتصادی-اجتماعی

فناوی بیوگاز مزایای اقتصادی فراوانی دارد که در اینجا به ذکر پاره‌ای از آنها می‌پردازیم:

— کاهش هزینه‌های جمع‌آوری و بازیافت فاضلاب و پساب

طبق مطالعات انجام شده توسط کارشناسان سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، در تصفیه خانه‌ها برای هر متر مکعب فاضلاب در روش لجن فعال ۱-۰/۴ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌شود، با در نظر گرفتن ۶۰ لیتر گاز متان تولید شده از هر مترمکعب فاضلاب و در نظر گرفتن بازده تولید برق ۲۰ درصد، هر تصفیه خانه لجن فعال قادر خواهد بود تقریباً ۱۷/۵ درصد انرژی مورد نیاز خود را تامین کند [۱۱].

— ایجاد درآمد از طریق فروش انرژی، کود آلی و تامین آب قابل استفاده در کشاورزی و فضای سبز، برای مردم دولت [۱۰]

— تصفیه فاضلاب بی‌آنکه در درازمدت پیامدهایی چون آلودگی آب و خاک و هزینه‌های ناشی از آن را داشته باشد

— بهینه‌سازی خاک و بهره‌وری در صنعت کشاورزی به دلیل استفاده از کود آلی تولیدشده در محفظه تخمیرهای بی‌هوازی بیوگاز و اثرات بلندمدت آن در اصلاح ساختار و حاصلخیزی خاک [۱۰]

— جلوگیری از خروج ارز با توجه به تولید کود آلی به‌منظور کاهش مصرف کود شیمیایی و کاهش تقاضا برای دفع آفات و علف هرزکش‌ها و همچنین کاهش تقاضا برای سوخت فسیلی [۱۰]

— دستیابی به فناوری ساخت تکنولوژی بیوگاز در کشور در مقیاس‌های مختلف و صدور آن به دیگر کشورهای علاقمند

— تولید متان و دی اکسید کربن به‌عنوان محصولات فرعی حاصل از تجزیه بی‌هوازی مواد آلی، به‌عنوان مواد اولیه

میکروارگان‌های کشته شده در واحد بیوگاز عبارت است از: تیفوئید، وبا، باکتری اسهال خونی (در طول یک تا دو هفته)، کرم قلابدار و کرم پهن (بیماری‌های حاد ناحیه گرمسیری به مدت سه هفته). تخم انگل‌هایی مانند کرم نواری و کرم کدو فقط هنگامی که لجن پس از اتمام دوره تخمیر در معرض تابش اشعه خورشید قرار می‌گیرد تا خشک شود [۱] و [۲].

| بخش‌های نمونه‌گیری شده | تعداد تخم انگل‌ها | تعداد تخم انگل‌های جدا شده | تعداد تخم انگل‌های نابود شده | میزان باسیل روده‌ای |
|------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|
| ورودی مولد             | ۳۹۶               | صفر                        | ۳۸/۷ درصد                    | ۱۰-۶                |
| مخزن رسوب‌گیری         | ۱۱۶               | ۷۰/۷ درصد                  | ۶۲/۷ درصد                    | ۱۰-۴                |
| خروجی مخزن ذخیره کود   | ۳۱                | ۹۲/۲ درصد                  | ۶۸/۰۶ درصد                   | ۱۰-۳                |

صنعتی. متان ماده اولیه استیلن، الکل، متانول، آمونیاک، کود و حتی ویتامین B۱۲ و ... است. از دی‌اکسید کربن می‌توان در تهیه کود، یخ خشک و ... استفاده کرد [۱۳].

— امکان استفاده به عنوان سوخت و سایل نقلیه  
— تامین سوخت مورد نیاز روستاهای دور از شبکه گاز کشور بدون نیاز به زیرساخت‌های هزینه‌بر  
— سادگی، کم‌هزینه بودن، آسان بودن قابلیت نصب و راه‌اندازی دستگاه‌های تولیدکننده بیوگاز در مقیاس‌های کوچک  
در کنار آثار اقتصادی مذکور می‌توان به آثار اجتماعی آن نیز اشاره کرد:

— ایجاد اشتغال در بخش‌های مختلف  
— بهینه‌سازی وضعیت بهداشتی بخصوص در حاشیه شهرها، شهرهای کوچک و روستاها با از بین بردن درصد قابل توجهی از عوامل بیماری‌زا در فرآیند تصفیه بی‌هوازی

## کودهای زیستی

یکی از کارشناس کشاورزی در مصاحبه‌ای با ایرنا اعلام کرد: سالانه تنها برای واردات کود شیمیایی فسفاته، ۳۰۰ میلیون دلار ارز از کشور خارج می‌شود. این کارشناس در ادامه اضافه کرد: این میزان بیشتر از رقمی است که برای واردات دارو به کشور هزینه می‌شود. وی سطح زیر کشت کشور را ۱۶ میلیون هکتار اعلام کرد و افزود: حداقل ۶۰۰ هزار تا یک میلیون تن کود شیمیایی فسفاته برای این سطح از کشت وارد کشور می‌شود. این کارشناس به مضرات استفاده از کود شیمیایی در مزارع اشاره کرد و گفت: برای کاهش مصرف زیان‌بار کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی، باید جایگزین شود.

افزایش محصول به میزان ۱۰ تا ۵۴ درصد براساس آزمایش‌های آماری و کاهش میزان مصرف کود شیمیایی فسفاته به نصف یا کمتر، از جمله مزیت‌های استفاده از

کود زیستی است. کاهش تاثیرات تخریبی مصرف کودهای شیمیایی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و در نتیجه کاهش اثرات سرطان‌زایی این مواد، از دیگر مزایای استفاده از کود زیستی است.

در صورت رواج استفاده از کود زیستی در مزارع گندم، علاوه بر صرفه‌جویی ۳۰۰ میلیون دلار هزینه ارزی واردات کود شیمیایی، با توجه به سطح زیر کشت گندم کشور، می‌توان ۵۰۰ میلیون دلار نیز از محل افزایش محصول گندم و صدور آن، درآمدزایی کرد.

وی همچنین میانگین کشوری افزایش محصول در مزارع ذرت را ۱۳/۲ درصد، سیب زمینی ۱۴/۴۰، چغندر قند ۱۵/۹ و لوبیا و حبوبات را ۲۴/۱ درصد ذکر کرد.

این افزایش‌ها برای محصولات برنج ۱۱/۸، پنبه ۶/۵، کلزا ۱۰/۱ و یونجه ۲۹ درصد بوده است [۲۲].



## تاریخچه بیوگاز در ایران

در ایران، حمام شیخ بهایی (قرن ۱۱ هجری) احتمالاً نخستین حمامی بوده است که در آن از گاز متان برای گرم کردن استفاده می‌کردند. اما اولین محفظه تخمیر تولید متان به صورت نوین در سال ۱۳۵۴ در روستای نیاز لرستان ساخته شده است. در سال ۱۳۶۱ نیز یک واحد ۳ مترمکعبی در دانشگاه صنعتی شریف بررسی شد.

در سال‌های ۱۳۶۱-۱۳۶۵ مرکز تحقیقات انرژی‌های نو ایران در سازمان انرژی‌های نو در سازمان انرژی اتمی، پژوهش‌های ویژه‌ای در این زمینه انجام داد که از آن جمله می‌توان به احداث ۱۰ واحد بیوگاز در استان‌های سیستان و بلوچستان، ایلام و کردستان اشاره کرد. در دهه ۱۳۶۰ وزارت جهاد سازندگی نیز اقداماتی انجام داد. این وزارتخانه ابتدا در سال ۱۳۶۴ یک واحد آزمایشگاهی در حیدرآباد کرج ساخت. سپس نمونه واقعی در روستای چین سیب‌لی از توابع بخش آق‌قلا در منطقه گرگان احداث شد. این وزارتخانه ۴۰ محفظه دیگر تخمیر در مناطق مختلف کشور ساخت که ۱۸ واحد آن به مرحله گازدهی رسید. مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی نیز در این زمینه گام‌هایی برداشته‌اند که از آن جمله می‌توان واحدهایی را نام برد که جهاد دانشگاهی دانشکده کشاورزی کرج در سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۶۵ و مهندس خلیل شیخ قاسمی (کارشناس شرکت آب و فاضلاب) در سال ۱۳۷۲ در شاهین‌دژ آذربایجان ساخته‌اند.

— کاهش بیماری‌های تنفسی ناشی از دود چوب و یا استفاده از فضولات حیوانی به عنوان سوخت که بر اثر تماس مستقیم با فضولات به انسان انتقال می‌یابد [۲۰].

— صرفه‌جویی در زمان و کاهش کار زنان روستایی، به دلیل استفاده از بیوگاز به عنوان سوختی تمیز، در دسترس و با ویژگی استفاده آسان و عدم نیاز به صرف وقت برای جمع‌آوری هیزم و یا آماده‌سازی فضولات حیوانی به منظور تهیه سوخت [۲۰].

— بهینه‌سازی بسترهای طبیعی محل دفع زباله و فاضلاب — کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی، حذف بوهای مشمئزکننده و کنترل مگس و جانوران و حشرات موذی در حاشیه شهرها و مناطق آلوده [۱۰].

امروزه استفاده از بیومتان به عنوان سوخت وسایل نقلیه در بسیاری از کشورهای اروپایی مورد توجه قرار گرفته است. کشور سوئد که دارای رتبه نخست در این زمینه است، از بیومتان به عنوان سوخت وسایل نقلیه شخصی، اتوبوس‌ها و حتی قطارها استفاده می‌کند.

با توجه به این که امروزه واردات بنزین، بودجه زیادی لازم دارد، می‌توان با بهره‌گیری از بیوگاز به عنوان منبعی پاک و در دسترس علاوه بر کاهش وابستگی به واردات بنزین و همچنین آلودگی‌های ناشی از مصرف بنزین در حمل و نقل، به حفظ منابع نفت و گاز به عنوان سرمایه‌های ملی کوشید [۱۹].



• بیومتان شامل ۷۰-۶۵ درصد متان، ۳۵-۳۰ درصد دی‌اکسیدکربن و مقدار کمی از سایر گازها است.

است. در مورد محفظه‌های تخمیر لجن و رآکتورهای تصفیه بی‌هوازی فاضلاب در ایران در سال‌های اخیر، پروژه‌هایی همچون رآکتور ساوه توسط سازمان انرژی‌های نو ایران به مرحله اجرا درآمد [۶].

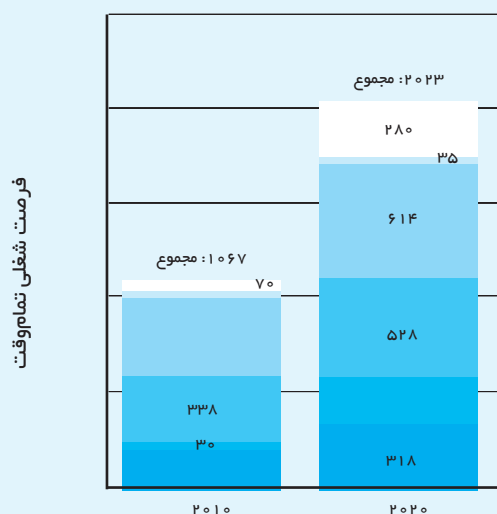
آخرین واحدهای ساخته‌شده، یک واحد بیوگاز برای تخمیر فاضلاب انسانی در جزیره کیش و یک واحد تخمیر فضولات دامی (گاوداری) در ماهدشت کرج بوده که هر دو توسط سازمان انرژی اتمی در سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۸۰ طراحی و ساخته شده

| فناوری         | اشتغال در طول ساخت<br>نفر/سال | اشتغال در طی یک دوره بهره‌برداری<br>۲۰ ساله<br>نفر/سال |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|
| باد            | ۱۴                            | ۱۱                                                     |
| فتوولتائیک     | ۱۹                            | ۲۶                                                     |
| زیست توده      | ۹                             | ۲۷                                                     |
| برق آبی-کوچک   | ۳۲                            | ۱۶                                                     |
| برق آبی-بزرگ   | ۹                             | ۸                                                      |
| زمین گرمایی    | ۸                             | ۴                                                      |
| گرمایش خورشیدی | ۲۰                            | ۲۰                                                     |

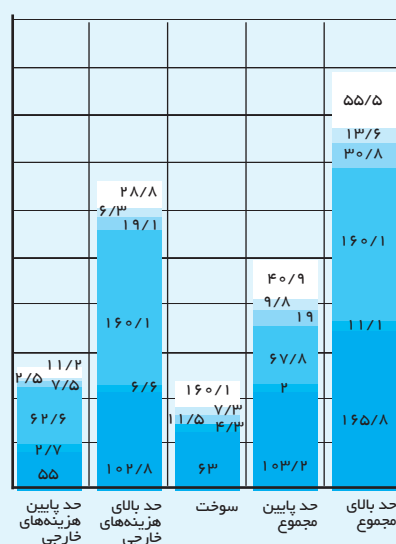
بر اساس بررسی‌های سازمان‌های مختلف، منابع انرژی‌های نو در مقایسه با منابع فسیلی اشتغال بیشتری ایجاد می‌کنند. با فرض کارکرد سالانه ۷۵۰۰ ساعت، برای هر Mw نیروگاه زیست توده، به ترتیب برای ۳۳/۷۵ و ۱۰۱/۲۵ نفر در سال در طی دوره احداث و بهره‌برداری ۲۰ ساله اشتغال ایجاد می‌شود. اروپا در خصوص میزان اشتغال حاصل از منابع تجدیدپذیر انرژی و میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و هزینه‌های اجتماعی آن گزارشی منتشر کرده که در نمودار زیر نتایج آن ارائه شده است.

گرمایش خورشیدی  
زمین گرمایی  
برق آبی  
زیست توده  
فتوولتائیک (سلول‌های خورشیدی)  
باد

میزان ایجاد اشتغال به سبب به‌کارگیری انرژی خورشیدی در اروپا



میزان صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت و هزینه‌های خارجی



همانگونه که ملاحظه می‌شود بالاترین میزان اشتغال پیش‌بینی شده برای جوامع اروپایی به انرژی زیست توده اختصاص دارد [۵].

## پتانسیل‌های تولید بیوگاز در کشور

### • منابع تولید بیوگاز

در فرآیند تولید بیوگاز می‌توان از زباله‌ها و پسماندهای انسانی، حیوانی و گیاهی (آلاینده‌هایی که منشا آلی دارند) استفاده کرد. پتانسیل‌های تولید بیوگاز در کشور به پنج دسته تقسیم می‌شود:

۱. فضولات دامی

۲. زائدات کشاورزی و جنگلی

۳. فاضلاب شهری و روستایی

۴. زباله‌های شهری

۵. فاضلاب‌های صنعتی

طبق بررسی‌ها، پتانسیل تولید بیوگاز در ایران به ترتیب زیر است:

۱. مقدار فضولات دامی در ایران ۷۴۹۴۶ هزار تن در سال است که بیوگاز تولید شدنی از آن ۸۶۶۸ میلیون متر مکعب است.

۲. میزان زائدات کشاورزی و جنگلی در ایران ۲۳۱۴۷/۵ هزار تن در سال است که بیوگاز تولید شدنی از آنها ۵۴۷۵/۸ میلیون متر مکعب است.

تصفیه ۲۴۵-۱۰۷/۸ میلیون متر مکعب خواهد بود و چنانچه از فرایند هوادهی استفاده شود، این مقدار کمتر خواهد شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصل از محفظه تخمیرهای لجن حدود ۲۰/۹-۱۰۷/۸ میلیون مترمکعب خواهد بود.

۴. بیوگاز حاصل از فاضلاب‌های صنعتی بسیار متغیر است. این مقدار بستگی به نوع صنعت، نوع فرایند تصفیه و مقدار فاضلاب دارد. برای مثال بیوگاز قابل تولید از صنایع بزرگ غذایی (روغن نباتی، الکل‌سازی، کنسرو، کمپوت، شيلات و ...) در کشور حدود ۲۷۹/۴-۸۱/۵ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود.

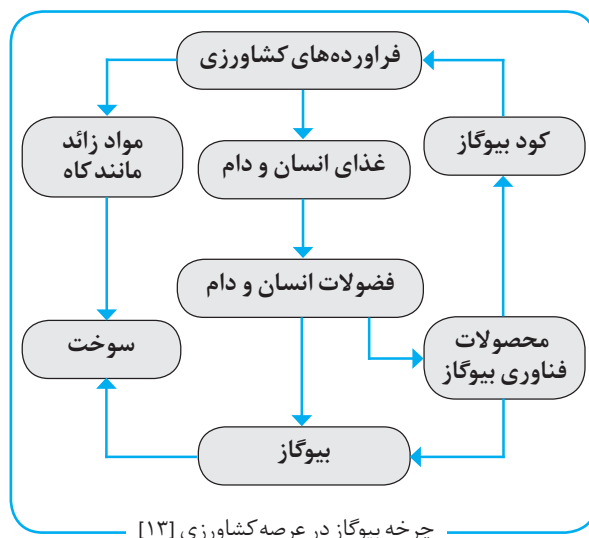
۵. با فناوری‌های کنونی، میانگین سالانه استخراج گاز از محل‌های دفن زباله حدود ۷ مترمکعب از هر تن زباله است که در مقایسه با بازده نظری تولید بیوگاز بسیار پایین است. استخراج گاز در این شرایط برای شهرهای بسیار بزرگ مقرون به صرفه خواهد بود. اما با بهره‌گیری از فرایند تخمیر و تجزیه بی‌هوازی زباله‌ها، مجموع بیوگاز قابل تولید در کشور (با فرض ۶۰ درصد بازدهی فرایند)، ۱۶۴۵/۷ میلیون مترمکعب بیوگاز در سال می‌شود.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیوگاز در مناطق شهری و روستایی ایران پتانسیل بالایی دارد که با سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری‌های درست قابل بهره‌برداری است [۶] و [۸].

### • پتانسیل تولید انرژی از زیست توده در شهرهای مختلف کشور

یکی از مزایای فناوری زیست توده امکان استفاده از آن در مقیاس‌های مختلف شهری و روستایی است. میزان بهره‌برداری از انرژی زیست‌توده در استان‌های مختلف با توجه به میزان عرضه و مصرف انرژی استان تعیین می‌شود. پایین بودن میزان مصرف انرژی سبب می‌شود بخش قابل ملاحظه‌ای از میزان انرژی مصرفی از منابع زیست‌توده قابل تامین باشد.

استان‌های کردستان، اردبیل و آذربایجان غربی از آن دسته



۳. اگر شهرهای بالای هزار نفر را ملاک قرار دهیم و با استفاده از فرایند بی‌هوازی فاضلاب را تصفیه کنیم، بیوگاز حاصل از

استان‌هایی هستند که بیش از ۴۰ درصد از انرژی اولیه آنها می‌تواند از منابع انرژی زیست‌توده تهیه شود. از سوی دیگر استان‌هایی مانند تهران، اصفهان، خوزستان، خراسان و فارس به دلیل بالا بودن میزان ضایعات آلی تولیدشده، از توانایی تولیدی بالایی برخوردار هستند ولی در قیاس با عرضه بالای انرژی اولیه در این استان‌ها، درصد پایداری را به خود اختصاص داده‌اند.

## فناوری پیوگاز

فضولات و ضایعات آلی که به‌عنوان مواد ورودی در این فناوری استفاده می‌شوند، در شرایط مناسب و دور از اکسیژن در مجاورت باکتری‌های بی‌هوازی تخمیر شده و بیوگاز تولید می‌کنند. محصول دیگر آن مواد مغذی است که می‌توانند به‌عنوان کود استفاده شوند.

## پيوگاز چيست؟

| نام گاز        | فرمول            | درصد ترکیب |
|----------------|------------------|------------|
| متان           | CH <sub>4</sub>  | ۵۵-۶۵      |
| گاز کربنیک     | CO <sub>2</sub>  | ۳۵-۵۴      |
| ازت            | N <sub>2</sub>   | ۰-۳        |
| هیدروژن        | H <sub>2</sub>   | ۰-۱        |
| اکسیژن         | O <sub>2</sub>   | ۰-۱        |
| هیدروژن سولفور | H <sub>2</sub> S | ۰-۱        |

15

## ● عوامل تاثیر گذار در میزان بیوگاز تولید شده

واکنش‌های تخمیری در دستگاه بیوگاز شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی دو گروه از باکتری‌های اسیدزا و متان‌زا در محفظه تخمیر است، که رشد، ادامه حیات و میزان بیوگاز تولیدی آنها به شرایط محیطی محفظه تخمیر بستگی دارد. درجه حرارت، رطوبت، pH، نسبت کربن به نیتروژن، غلظت مواد و زمان ماند از جمله عوامل موثر بر عملکرد دستگاه بیوگاز است [۱] و [۲].

### ● درجه حرارت:

واکنش‌های بی‌هوازی در دستگاه‌های بیوگاز در گرمای ۱۰-۶۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد. درجه حرارت مطلوب برای تولید بیوگاز ۳۵ درجه سانتیگراد است. میزان تولید بیوگاز در دمای ۴۵-۵۵ درجه سانتیگراد حدود ۵۰-۶۰ درصد نسبت به دمای ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد که به دلیل هزینه‌بر بودن نگهداری دستگاه در دماهای بالا استفاده نمی‌شود. در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد مقدار گاز تولید شده به علت مرگ باکتری‌های متان‌زا به شدت کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیوگاز در مقایسه با سایر گازها، ارزش حرارتی بسیاری دارد و می‌تواند به‌عنوان یک منبع در دسترس انرژی، به‌صورت مستقیم و یا غیر مستقیم بهره‌برداری شود [۱].

جدول مقایسه بیوگاز با سایر مواد سوختی دستگاه بیوگاز

| ماده حرارتی | واحد e         | ارزش حرارتی | بازده                   | ارزش حرارتی خالص kwh/e | یک متر مکعب بیوگاز e/m <sup>3</sup> |
|-------------|----------------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| کودگاوی     | kg             | ۲/۵         | ٪۱۲                     | ۰/۳                    | ۱۱/۱۱                               |
| چوب         | kg             | ۵           | ٪۱۲                     | ۰/۶                    | ۵/۵۶                                |
| زغال        | kg             | ۸           | ٪۲۵                     | ۲                      | ۱/۶۴                                |
| زغال سنگ    | kg             | ۹           | ٪۲۵                     | ۲/۲۵                   | ۱/۴۵                                |
| بوتان       | kg             | ۱۳/۶        | ٪۶۰                     | ۸/۱۶                   | ۰/۴                                 |
| پروپان      | kg             | ۱۳/۹        | ٪۶۰                     | ۸/۳۴                   | ۰/۳۹                                |
| گازوئیل     | kg<br>L لیتر   | ۱۲<br>۱۲    | آشپزی ٪۵۰<br>موتور ٪۳۰  | ۶<br>۴                 | ۰/۵۵<br>۰/۳۶                        |
| برق         | kwh            | ۱           | روشنایی ٪۹<br>موتور ٪۸۰ | ٪۹<br>۰/۸۰             | ۲<br>۱/۷۹                           |
| بیوگاز      | m <sup>3</sup> | ۵/۹۶        | ٪۵۵                     | ۳/۲۸                   | ۱                                   |

جدول مقایسه خواص گازهای متداول با بیوگاز

| نوع گاز   | هوای مورد نیاز m <sup>3</sup> | سرعت فشار در هوا cm/s | وزن مخصوص نسبت به هوا | ارزش حرارتی | ترکیبات                              |
|-----------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|
| عنصر      | درصد                          |                       |                       |             |                                      |
| متان      | ۹/۵                           | ۴۳                    | ٪۵۵                   | ۹/۹۴        | CH <sub>4</sub>                      |
| پروپان    | ۲۳/۸                          | ۵۷                    | ۱/۵۶                  | ۲۵/۹۴       | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>        |
| بوتان     | ۳/۹                           | ۴۵                    | ۲/۰۷                  | ۳۴/۰۲       | CH <sub>4</sub> H <sub>10</sub>      |
| گاز طبیعی | ۷                             | ۶۰                    | ٪۳۸                   | ۷/۵۲        | H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>     |
| گاز شهری  | ۳/۷                           | ۸۲                    | ٪۴۱                   | ۴/۰۷        | ۲N <sub>2</sub> , O, CH <sub>4</sub> |
| بیوگاز    | ۵/۷                           | ۴۰                    | ٪۹۴                   | ۵/۹۶        | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>    |



در دمای ۱۲-۱۸ درجه سانتیگراد نیز امکان تولید بیوگاز وجود دارد ولی این تولید از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. در دماهای پایین تر از ۱۰ درجه سانتیگراد تولید بیوگاز متوقف خواهد شد.

قرارگیری مخزن در عمق خاک، عایق کاری محفظه ی تخمیر، قرارگیری محفظه در قسمت آفتابگیر سایت، استفاده از انرژی های خورشیدی و نیز تعبیه لوله های آب گرم و مبدل های حرارتی، از جمله شیوه های تأمین و حفظ حرارت محفظه ی تخمیر دستگاه های بیوگاز در مقیاس های مختلف است.

#### ● غلظت مواد:

بهترین غلظت برای تخمیر بی هوازی، در محفظه های تخمیر بیوگاز حدود ۷-۹ درصد مواد جامد است. از آنجا که مواد مورد استفاده، درصد بالاتری از مواد جامد را دارند لذا باید با آب رقیق شوند. غلظت زیاد از رشد باکتری ها جلوگیری می کند و کمبود آن موجب لایه لایه شدن محلول می شود که برای جلوگیری از این امر باید به صورت مداوم هم زده شوند.

#### ● مواد سمی:

برای عملکرد مناسب محفظه ی تخمیر، مقدار سولفیدها کمتر از  $200 \text{ mg/L}$ ، جیوه کمتر از  $2 \text{ mg/L}$  و آمونیاک کمتر از  $2500 \text{ mg/L}$  باید باشد.

#### ● زمان ماند:

مخلوط آب و مواد آلی به منظور تخمیر و تجزیه و تولید بیوگاز، مدتی در محفظه تخمیر نگهداری می شود. زمان ماند به سرعت تجزیه ی مواد ورودی، میزان گاز تولیدی و دمای که عمل تخمیر در آن صورت می گیرد، بستگی دارد.

| زمان بهینه نگهداری (روز) | حداقل زمان نگهداری (روز) | دما (°C) |
|--------------------------|--------------------------|----------|
| ۲۸                       | ۱۱                       | ۲۰       |
| ۲۰                       | ۸                        | ۲۵       |
| ۱۴                       | ۶                        | ۳۰       |
| ۱۰                       | ۴                        | ۳۵       |
| ۱۰                       | ۴                        | ۴۰       |

#### ● هم زدن:

هم زدن مواد داخل محفظه تخمیر برای تحریک عمل باکتری ها و تولید گاز بر اساس ضوابط ویژه ای مطلوب است. این هم زدن با اضافه کردن روزانه مواد انجام می شود تا حرکتی در توده مواد به وجود آمده و مواد تجزیه نشده در مجاورت باکتری های بی هوازی قرار گیرند.

در مقیاس کوچک، این عمل می تواند دستی انجام شود. در مقیاس های بزرگ و در تصفیه خانه ها علاوه بر استفاده از

#### ● رطوبت و آب مورد نیاز

میزان آبی که در مواد اولیه بخار می شود، حدود ۹۰ درصد از وزن کل مواد را تشکیل می دهد. ازدیاد و یا کمبود بیش از حد رطوبت، تاثیر مستقیمی بر میزان گاز تولید شده دارد. به طور کلی بر اساس آزمایش های انجام شده در بسیاری کشورها نسبت آب به مواد اولیه، نصف و یا حدود  $4/5$  در نظر گرفته می شود.

#### ● خاصیت اسیدی یا pH

باکتری های متانزا نسبت به pH محیط حساس هستند و محدوده ی فعالیت آنها بین  $6/8$  تا  $7/2$  است. باکتری های متانزا و دیگر ارگانیسم های بی هوازی معمولاً در محیط هایی با pH  $6/8$  تا ۸ فعالیت می کنند. نوسانات ناگهانی pH محیط باعث توقف عمل تخمیر و در نتیجه قطع گاز می شود.

#### ● نسبت کربن به نیتروژن C/N

باکتری های بی هوازی برای حیات و انجام فعالیت های خود به کربن و نیتروژن نیاز دارند. برای تخمیر بی هوازی، نسبت C/N مواد آلی باید  $1/30$  -  $1/20$  باشد. نسبت  $1/30$  بهترین نسبت است، اما باید توجه داشت که این مقدار نباید از  $1/35$  تجاوز کند.

### • تولید کود

کود آلی تولیدشده در واحدهای بیوگاز مزایای بسیاری دارد. تقریباً کلیه ترکیبات نیتروژن که در کودهای حیوانی موجود است در این تغییر و تبدیل به کود تبدیل می شود. کود حاصل از بیوگاز به شکل دوغاب تخمیر شده، دارای بیشترین مواد مغذی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)  $P, N$  و  $K$  برای گیاهان است. میزان این مواد به ترتیب عبارت است از نیتروژن دو تا پنج درصد، فسفر و پتاسیم یک درصد؛ همچنین این کود منبع خوبی از میکرونیوتترینتها مانند روی، آهن، منگنز و مس است.

استفاده از این کود سبب حاصلخیزی خاک شده و بازده محصولات را ۱۰-۲۰ درصد افزایش می دهد. بهتر است از کود حاصله به نسبت ۱۰ تن در هر هکتار در نواحی مرطوب و ۵ تن در هر هکتار در نواحی خشک استفاده شود. از کودهای بیوگازی همچنین می توان به صورت ترکیبی با کودهای شیمیایی استفاده کرد [۳].



استفاده مستقیم از دوغاب خروجی حوضچه خروجی به عنوان کود در مزارع کشاورزی

همزنهای مکانیکی، می توان قسمتی از گاز بدست آمده را دوباره با فشار به قسمت پایین انبار تزریق کرد.

## ◀ بهره برداری از فناوری بیوگاز

امکان استفاده از فناوری بیوگاز در مقیاسهای مختلف شهری و روستایی از جمله مزایای استفاده از این منبع انرژی پاک است. دستگاههای تولید بیوگاز با اهداف و رویکردهای متفاوتی در مقیاسهای شهری و روستایی احداث می شوند که نقش تعیین کننده ای در نحوه بهره برداری از محصولات<sup>۴</sup> تولید شده در دستگاههای بیوگاز دارد.

## ◀ ۱. فناوری بیوگاز در مقیاس روستایی

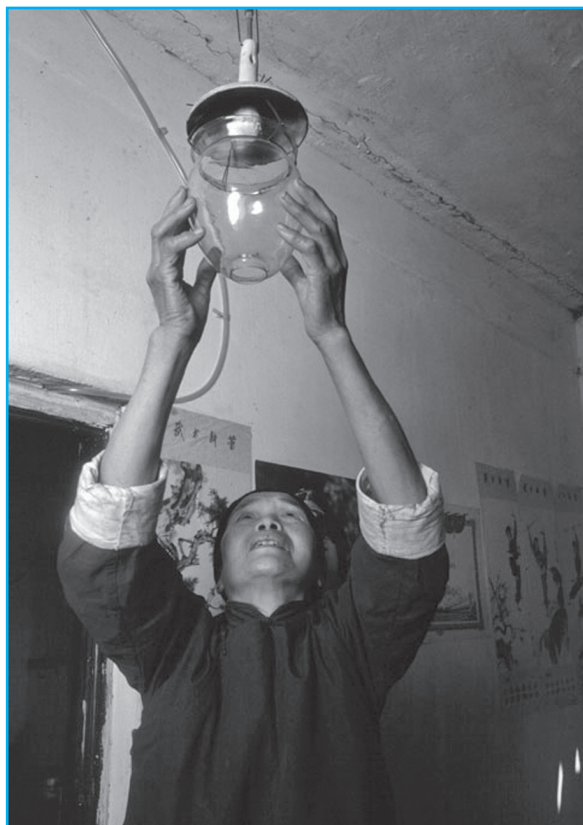
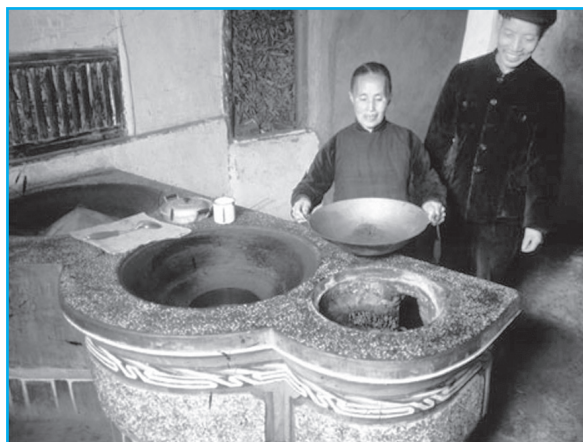
در بسیاری از نواحی روستایی کشور که دور از شبکههای اصلی توزیع قرار گرفته اند، از چوب درختان جنگلی و یا فضولات دامی جهت پخت و پز، تامین آب گرم و گرمایش فضاهای داخلی در فصلهای سرد سال استفاده می شود. سوزاندن درختان جنگلی به عنوان سوخت، بیشترین آسیب را به منابع طبیعی، وارد می کند و کمبود فضای سبز و تشدید فرسایش خاک را در پی دارد؛ همچنین تغییر فرم فضولات دامی به صورت غیر بهداشتی برای تولید سوخت، موجب بروز بسیاری بیماریهای عفونی و انگلی در روستا می شود. تهیه و حمل مواد سوختی از مراکز توزیع آن برای مصارف یاد شده، علاوه بر مشکلات حمل و نقل و هزینه ای که برای زارعین در بردارد، مقرون به صرفه نخواهد بود.

به دلیل فراوانی و در دسترس بودن منابع تولید بیوگاز و همچنین سادگی دستگاههای بیوگاز، استفاده از این فناوری علاوه بر حل مشکلات اقتصادی و بهداشتی روستاها، مزیت های دیگری نیز دارد. مهمترین مزایای استفاده از این فناوری، تولید کود، تامین سوخت خانگی، بهسازی، بهداشت و تولید برق است.

۴. بیوگاز و کود آلی تولید شده پس از تخمیر و تجزیه مواد آلی وارد شده به محفظه تخمیر

### • سوخت خانگی

بیوگاز را به دلیل ارزش حرارتی بالا، می‌توان به عنوان سوختی تمیز و در دسترس برای مصرف‌های آشپزی، روشنایی و تولید آب گرم به کار گرفت. مصرف بیوگاز علاوه بر اینکه زنان و کودکان را از جمع‌آوری هیزم بی‌نیاز می‌کند، میزان بیماری‌های ریوی و چشمی ناشی از دود هیزم را نیز به شدت کاهش می‌دهد [۸].



استفاده از بیوگاز به عنوان سوخت در آشپزخانه و روشنایی

### • بهداشت

با توجه به اینکه اکثر روستاهای کشورمان سیستم جمع‌آوری و در بسیاری موارد، دفع پساب ندارند و در بسیاری موارد، پساب در محیط پراکنده است و موجب آلودگی محیط می‌شود، استفاده از فناوری بیوگاز روش مناسبی برای دفع بهداشتی فضولات انسانی و همچنین جمع‌آوری و کنترل فضولات دامی است [۸].

### • تولید برق

موتورهای دیزلی با اندکی تغییر، قادر به تولید برق با استفاده از بیوگاز خواهند بود. از برق تولید شده می‌توان برای تامین روشنایی استفاده کرد [۸].

### واحدهای بیوگاز روستایی

در یک تقسیم‌بندی کلی واحدهای بیوگاز روستایی شامل واحدهای مخزن گاز ثابت، واحدهای مخزن گاز متحرک و واحدهای بالونی است. این واحدها اصول ساختمانی مشابه دارند، ولی برای انتخاب صحیح مدل بیوگاز همه اطلاعات ساخت، نظیر حجم محفظه تخمیر، حجم مخزن گاز، جزئیات سرپوش، جزئیات ورودی و خروجی و اطلاعات راهبری پایش شده (از جمله نوع خوراک، مقدار ترکیب خوراک با آب، درصد تولید گاز، درصد گازهای جزئی تشکیل دهنده بیوگاز، ثبت pH، دما و فشار) ضروری است.

### • انواع واحدهای بیوگاز

#### ۱. واحدهای مخزن گاز ثابت:

واحدهای مخزن گاز ثابت که در ایران به نام بیوگاز چینی شناخته شده است، مخزن گاز نامتحرک دارد. گاز حاصله در قسمت فوقانی محفظه تخمیر ذخیره می‌شود. هنگامی که تولید گاز آغاز می‌شود، لجن تخمیری به سمت مخزن خروجی یا مخزن دفع لجن جابه‌جا می‌شود. تولید بیشتر گاز موجب افزایش فشار گاز ذخیره شده می‌شود، به همین دلیل حجم محفظه تخمیر را بیش از ۲۰ مترمکعب در نظر نمی‌گیرند. اگر میزان گاز در مخزن ذخیره شده اندک باشد، فشار گاز

پایین خواهد بود [۱] و [۲] و [۶].

• **مزایا:** هزینه ساختمان پایین است. اجزای واحد متحرک نیست و قطعات زنگ نمی‌زنند؛ بنابراین عمر طولانی (بیش از ۲۰ سال) خواهند داشت. ساختمان زیرزمینی دارند که هم در برابر سرمای زمستان محفوظ است و هم باعث صرفه‌جویی در فضا می‌شود. موجب اشتغال‌زایی بومی می‌شود و احداث آن به بنای مدرن نیاز ندارد.

• **معایب:** غالباً گاز این واحدها را نمی‌توان کاملاً مهار کرد (نفوذپذیری و ترک خوردگی)؛ غالباً فشار گاز خیلی بالا



ساخت واحد بیوگاز مخزن ثابت با استفاده از مصالح بنایی

و بسیار متغیر است. از طرفی دمای تخمیر پایین است، بنابراین در مناطق سردسیر کارایی مطلوب ندارد. افزون بر این، کاربران نیز باید تحت نظارت افراد ماهر آموزش ببینند.

## ۲. واحدهای مخزن گاز متحرک:

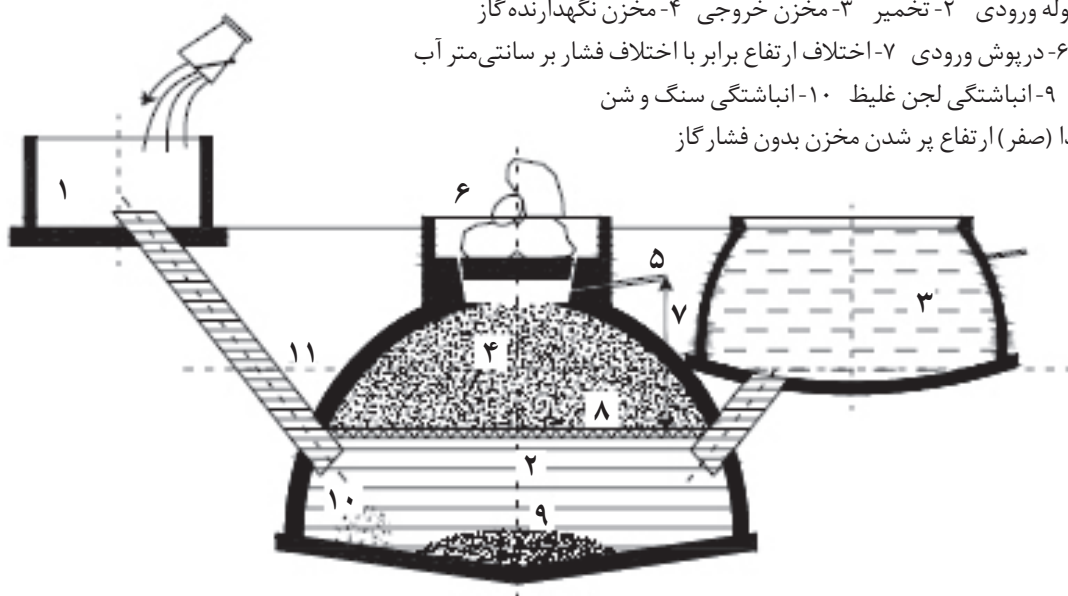
واحدهای با مخزن گاز متحرک، که در ایران به نام بیوگاز هندی شناخته می‌شوند، شامل محفظه‌ی تخمیر و مخزن نگهدارنده‌ی گاز متحرک است (شکل زیر). مخزن نگهدارنده‌ی گاز یا بر روی لجن تخمیری و یا در پوسته‌ی آب مخصوص به خود شناور است. گاز متصاعد شده در مخزن شناور جمع‌آوری می‌شود. اگر گاز مصرف شود مخزن مجدداً به حالت اول برمی‌گردد [۱] و [۲] و [۶].

• **مزایا:** کار با آن آسان است. وجود سرپوش متحرک باعث می‌شود که فشار، ثابت باقی بماند. البته این فشار به وزن سرپوش بستگی دارد (تقریباً ۷ الی ۱۵ سانتی‌متر آب). حجم گاز ذخیره شده به‌طور مستقیم دیدنی است و در ساختمان آن درصد خطا کم‌تر است.

• **معایب:** هزینه ساخت مخزن شناور سنگین است. قطعات

## واحد بیوگاز با مخزن ثابت

- ۱- همزن با لوله ورودی ۲- تخمیر ۳- مخزن خروجی ۴- مخزن نگهدارنده گاز
- ۵- لوله گاز ۶- درپوش ورودی ۷- اختلاف ارتفاع برابر با اختلاف فشار بر سانتی‌متر آب
- ۸- لایه زلال ۹- انباشتگی لجن غلیظ ۱۰- انباشتگی سنگ و شن
- ۱۱- خط مبدا (صفر) ارتفاع پر شدن مخزن بدون فشار گاز

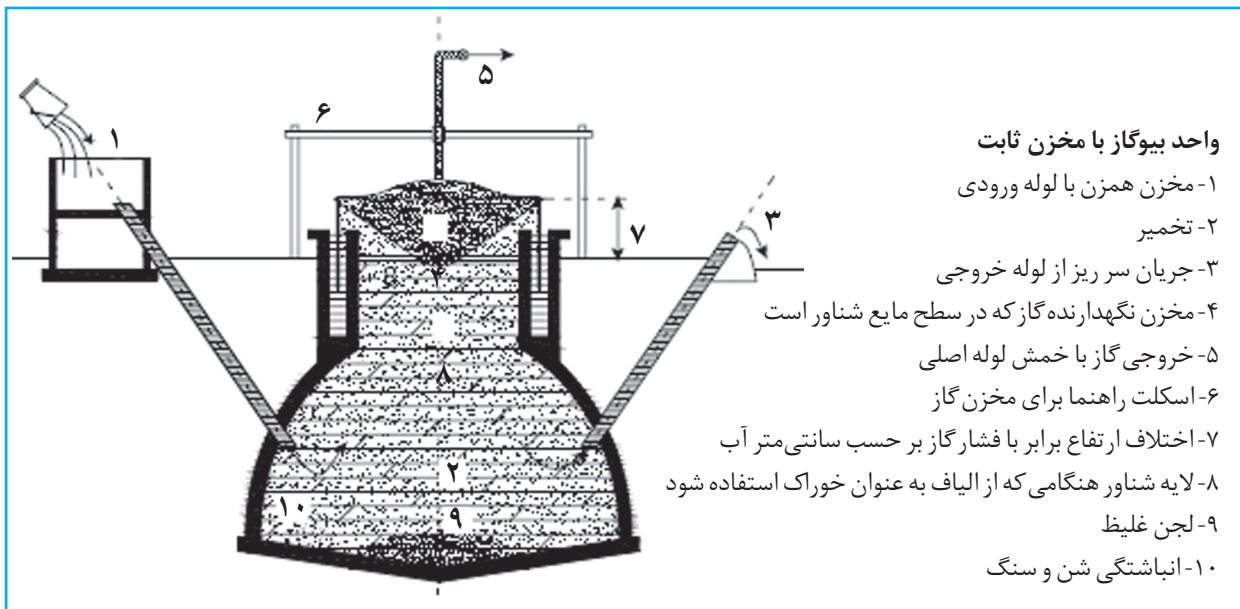






واحد بیوگاز با مخزن متحرک

فولادی در معرض زنگ زدگی قرار دارند که سبب کوتاه شدن عمر واحد می شود. عمر مفید هر واحد به طور معمول ۱۵ سال و در نواحی گرمسیر ۵ سال است. وجود همین سرپوش ها باعث پرت حرارتی می شود و مخارج تعمیر و نگهداری ناشی از هزینه های رنگ آمیزی نیز در این کار زیاد است.



### ۳. واحدهای بالونی :



واحدهای بالونی

واحدهای بالونی شامل کیسه ی پلاستیکی و یا لاستیکی است که گاز متصاعد شده، در قست فوقانی آن ذخیره می شود. ورودی و خروجی گاز در این سیستم به جدار بالون چسبیده است. هنگامی که بالون از گاز پر می شود، مانند مخزن گاز ثابت عمل می کند. بدین معنا که اگر بالون باد نشود، حالت ارتجاعی چندانی ندارد. تخمیر مواد لجنی به آرامی صورت می گیرد و با حرکت جداره بالون مخلوط می شود که این عمل تاثیر مطلوبی در فرایند تخمیر دارد. مواد به کار رفته در بالون باید از نوع مقاوم در برابر اشعه فرابنفش باشند. موادی که استفاده از آنها در ساخت بالون، نتایج مثبتی داشته است عبارتند از: پلاستیک گل قرمز (RMP)، تراویرا و بوتیل [۱].

- **مزایا:** هزینه اندک و سهولت حمل و نقل، تمیز کردن و تخلیه، تعمیر و نگهداری و همچنین دمای بالای محفظه تخمیر.
- **معایب:** عمر واحد ۵ سال است. به آسانی صدمه می بیند و زمینه ایی برای ایجاد اشتغال برای افراد بومی ندارد.

## ● اصول ساختمان دستگاه های بیوگاز

عواملی از قبیل اقلیم، فرهنگ، اقتصاد و امکانات مالی باعث به وجود آمدن مدل های گوناگون تولید و بهره برداری از بیوگاز شده است. کلیه ی این سیستم ها شامل بخش های حوضچه ی ورودی، محفظه ی تخمیر بی هوازی، حوضچه خروجی، مخزن جمع آوری بیوگاز و سیستم انتقال و استفاده از بیوگاز است.

در همه این روش ها مواد اولیه با آب مخلوط شده و از طریق حوضچه ورودی به داخل محفظه ی تخمیر فرستاده می شوند. این مواد پس از تخمیر و تولید گاز با اضافه کردن مواد جدید و خاصیت ظروف مرتبط، از مجرای ویژه ای عبور و به حوضچه خروجی یا حوضچه کمپوست منتقل می شوند. محفظه گاز معمولا در بالای محفظه تخمیر قرار گرفته و عمل جمع آوری و ذخیره گاز، آن جا صورت می گیرد. پس از شروع کار دستگاه، بیوگاز تولید شده، از طریق شیر مخصوصی که در بالای این مخزن قرار دارد روزانه به محل مصرف فرستاده و مورد استفاده قرار می گیرد [۸].

۴۰ سانتی متر و ارتفاع نیز حداکثر ۴۰ سانتی متر است و در ارتفاعی بالاتر از سطح زمین قرار می گیرد [۸].

### ۲. محفظه تخمیر

محفظه ی تخمیر با ایجاد شرایط مناسب، تولید گاز متان، محصول تجزیه ی بی هوازی، را به حداکثر می رساند. در این محفظه پس از ورود مواد اولیه و در شرایط مناسب حرارتی، رطوبتی و نبود هوا، تخمیر یا تجزیه بی هوازی توسط باکتری های متان زا صورت گرفته و گاز تولید می شود. ساختمان این مخزن با توجه به شرایط آب و هوایی و امکانات فنی و اقتصادی متفاوت است. برای مثال در مناطق سردسیر در عمق زمین قرار می گیرد و دیواره های آن عایق بندی می شود و یا در مناطق با میزان بالای بارندگی و یا بالا بودن سطح آب های زیرزمینی که احتمال نفوذ آب به داخل آن وجود دارد بدنه را برای جلوگیری از نفوذ آب، آب بندی و قیراندود می کنند تا هم مانع نفوذ آب شود و هم درجه حرارت آن ثابت بماند. مجراهای ورودی و خروجی در داخل مخزن باید به گونه ای طراحی و اجرا شود که با ورود مواد جدید، مواد تخمیر شده از کف مخزن به بالای آن منتقل شده و به داخل حوضچه خروجی هدایت شوند. در بعضی مواقع در داخل مخزن یک همزن نیز تعبیه می شود که این امر در تولید گاز نقش مهمی دارد [۸].

### ۳. حوضچه خروجی

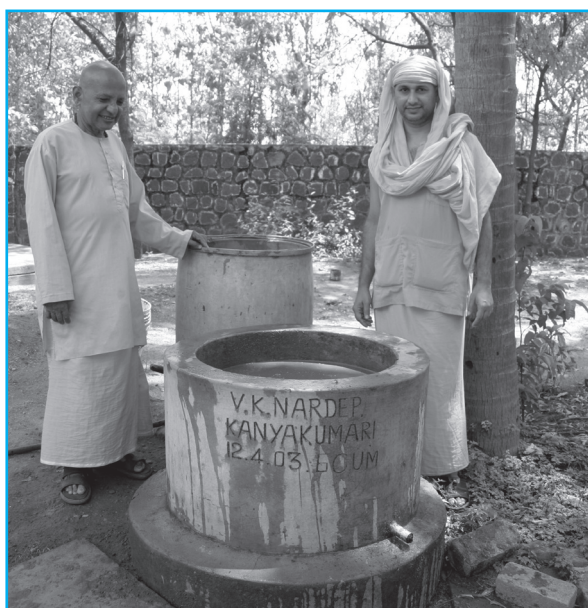
این حوضچه در طرف مقابل حوضچه ورودی به نحوی ساخته می شود که سطح فوقانی آن، هم سطح کف حوضچه ی ورودی قرار گیرد. به این ترتیب با استفاده از قانون ظروف مرتبط<sup>۵</sup>، مواد اولیه که در حوضچه ورودی به حالت مایع در می آیند، به سادگی و با فشاری که از داخل به مواد تخمیر شده در مخزن تخمیر وارد خواهد کرد، باعث هدایت مواد تجزیه شده و خروج لجن از طریق مجرای خروجی به حوضچه خروجی می شود. لجن تخمیر شده بیوگاز در این حوضچه تا زمان

### ۱. حوضچه ورودی

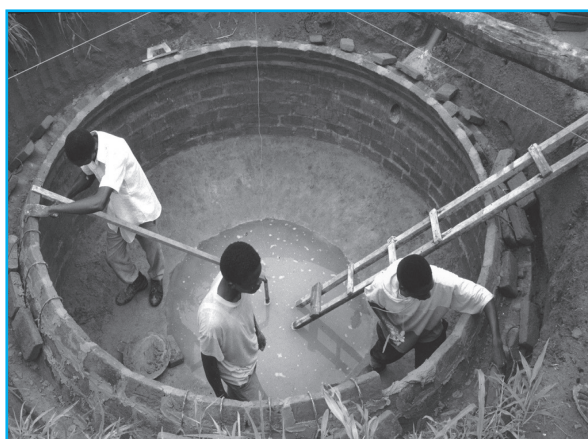
در این بخش که در واقع تغذیه کننده ی محفظه تخمیر است، ضایعات آلی (پساب و فضولات حیوانی) با آب مخلوط می شود. این حوضچه در سطح فوقانی زمین و در مقابل حوضچه خروجی در طرف دیگر محفظه ی تخمیر ساخته شده و از طریق مجرای ورودی، مواد اولیه را به قسمت تحتانی محفظه ی تخمیر انتقال می دهد و عمل اصلی این حوضچه مخلوط کردن آب و مواد اولیه است. حوضچه معمولا استوانه ای شکل است و در بهترین حالت شعاع سطح مقطع

۵. اگر چند ظرف به اشکال مختلف را از مایع واحدی پر کرده و آنها را به همدیگر مرتبط کنیم سطح مایع در تمام آنها یکسان خواهد شد، این مطلب بنام قانون ظروف مرتبط معروف است.



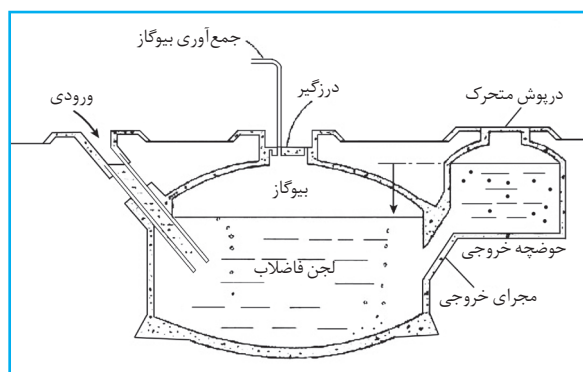


محفظه ذخیره گاز با استفاده از ورق فولادی در واحدهای بیوگاز با مخزن شناور



مخزن ذخیره گاز که به صورت یکپارچه با محفظه تخمیر از مصالح بنایی ساخته می شود در واحدهای با مخزن ثابت

مصرف ذخیره می شود. با ساخت چند حوضچه خروجی مرتبط، خشک کردن و آبگیری لجن با استفاده از حرارت خورشید میسر می شود [۸].



اجزا یک واحد بیوگاز

#### ۴. محفظه گاز

این محفظه، محل تجمع گازهای ایجاد شده در اثر تخمیر مواد آلی است. این محفظه گنبدی شکل است و از ورقهای فولادی به ضخامت ۱ تا ۳ میلی متر ساخته می شود. گنبدی شکل بودن محفظه سبب می شود تا از یک سو مقدار بیشتری گاز در آن ذخیره شود و از سوی دیگر از تجمع آب باران روی آن و پوسیدگی مخزن جلوگیری شود. بالای این مخزن یک لوله فلزی را از داخل، جوش می دهند و روی سرپوش مخزن نیز برای تخلیه گاز، شیری نصب می کنند تا با باز و بسته کردن آن، گاز به محل مصرف هدایت شود. برای مقابله با زنگ زدگی جداره های داخلی مخزن و کلیه اجزای تشکیل دهنده آن، که همگی فلزی هستند، کلیه سطوح را باید با ضد زنگ پوشاند. به منظور جلوگیری از نشت گاز، محل اتصال شیر گاز باید درزگیری شود. اطمینان از حسن انجام این کار با قراردادن سرپوش داخل آب و یا با آزمایش فشار هوا امکان پذیر است [۸].

امروزه در واحدهای با مخزن شناور، از دو نوع جدید مخزن ذخیره کننده گاز استفاده می شود. مخازنی که از جنس فایبرگلاس بوده و طول عمرشان ۱۰ سال است، و مخازنی از جنس پلاستیک که عملکردی همچون سازه های بادی دارند و به بالن های ذخیره بیوگاز شهرت دارند.

## ● مقیاس سیستم‌های بیوگاز

در روستاها می‌توان از واحدهای مجزای بیوگاز برای هر خانواده و یا واحدهای متوسط و بزرگ برای مجموعه‌ای از خانوارها و یا کل روستا استفاده کرد [۲۱].

### ۱. سیستم بیوگاز خانگی (کوچک)

این سیستم امکان استفاده از فناوری بیوگاز را برای هر خانواده‌ی روستایی فراهم می‌کند. این سیستم شامل یک محفظه‌ی تخمیر ۶-۱۰ مترمکعبی، سیستم انتقال بیوگاز و تجهیزات تبدیل بیوگاز به انرژی مورد نظر است. در این سیستم فضولات و ضایعات آلی تولیدشده در یک خانواده روستایی به همراه فضولات ۲-۴ راس گاو، میزان بیوگاز لازم جهت پخت و پز و روشنایی را تامین می‌کند [۲۰].



محفظه ذخیره گاز فایبرگلاس

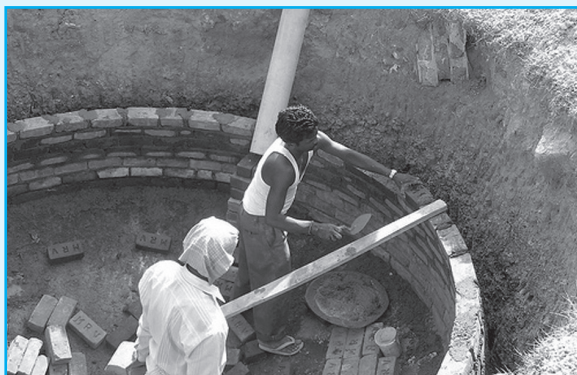


بالن‌های ذخیره بیوگاز

## نمونه موردی استفاده از واحدهای خانگی بیوگاز

جایگزینی چوب به عنوان سوخت یکی از چالش‌های اصلی در نواحی روستایی هند است. استخراج و استفاده از چوب جنگل‌ها علاوه بر تهی شدن منابع طبیعی، باعث ایجاد مشکلات ریوی و چشمی نیز می‌شود. از سوی دیگر نواحی روستایی با مشکل دفع سریع و مناسب فضولات انسانی، ضایعات تولید شده و فضولات دامی روبه‌رو هستند. بنابراین نواحی روستایی در هند، دو مشکل جدی زیست‌محیطی و بهداشتی دارند که استفاده از واحدهای بیوگاز خانگی راهکاری مناسب در پاسخگویی به هر دو مشکل مذکور است.

در ایالت کارانتاکای هند استفاده از این فناوری علاوه بر مزایا فوق با تولید کود قابل فروش و ایجاد اشتغال در بخش‌های مختلف ساخت، فروش و نگهداری نقش مهمی در بهبود شرایط اقتصادی خانواده و جامعه روستایی داشته است. تا سال ۲۰۰۹ بیش از ۸۰۰۰ واحد در این روستا نصب و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است؛ پیش‌بینی می‌شود با احداث هر واحد میزان انتشار کربن در هوا سالانه، ۴ تن کاهش یابد [۲۰].

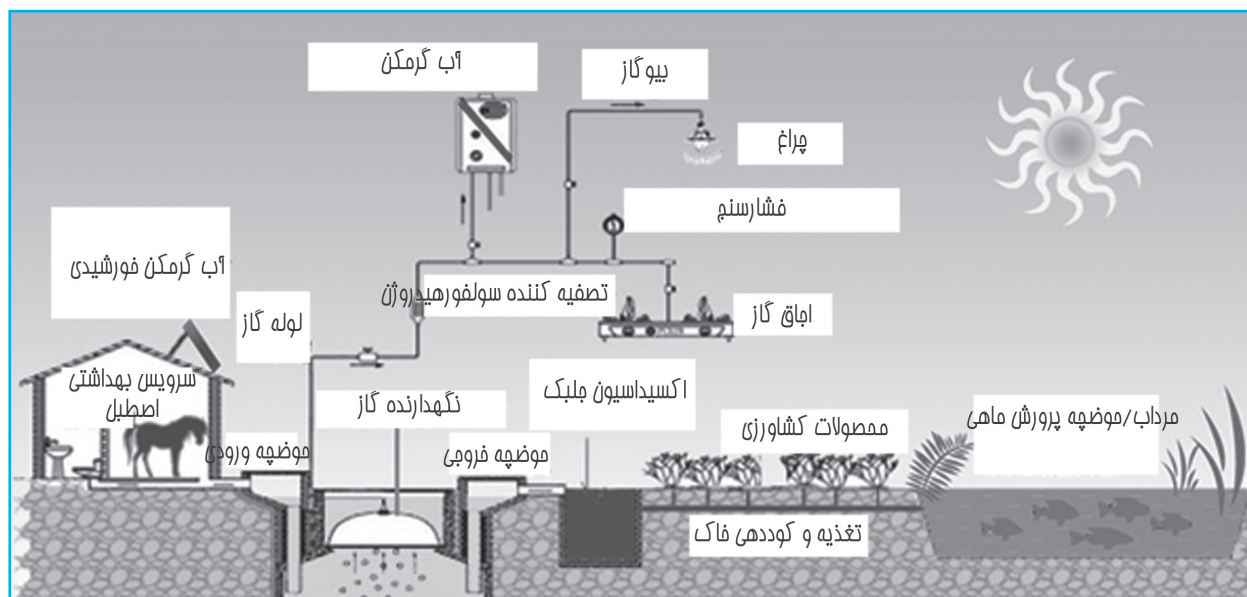


استفاده از نیروی کار محلی در ساخت واحدهای بیوگاز



ورمی کمپوست یا کمپوست کرم حاصل مخلوط کردن دوغاب خروجی از محفظه تخمیر با برگ و گاه است که در مرحله بعد جهت بهبود کیفیت آن از کرم‌های خاکی استفاده می‌کنند.

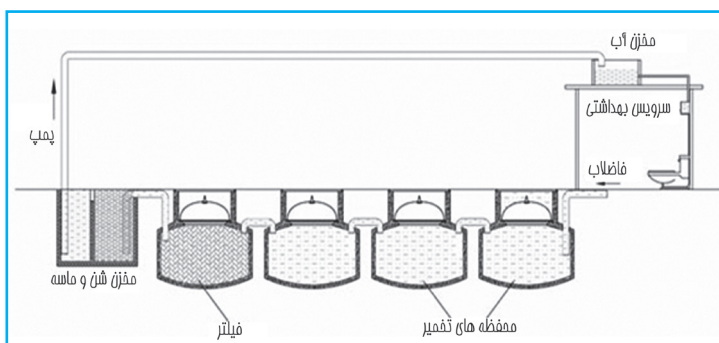




نمونه موردی استفاده از واحدهای خانگی بیوگاز

## ۲. سیستم بیوگاز متوسط

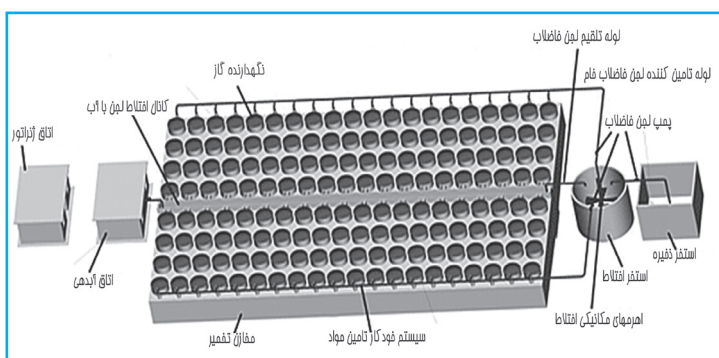
این سیستم که متشکل از چند واحد تخمیر است، بیشتر در واحدهای کوچک دامداری، مدارس، کارگاه‌ها و سرویس‌های بهداشتی عمومی کاربرد دارد. در این سیستم برای افزایش کیفیت پساب خروجی، از مخازن شن و ماسه با دانه‌بندی‌های مختلف استفاده می‌شود [۲۱].



واحد بیوگاز در مقیاس متوسط با امکان تصفیه فیزیکی پساب خروجی

## ۳. سیستم بیوگاز بزرگ

سیستم‌های بزرگ بیوگاز، سیستم‌هایی هستند که تعداد زیادی مخزن در محفظه‌ی تخمیر دارند. از این سیستم می‌توان به صورت مرکزی در روستاها و یا واحدهای بزرگتر دامداری استفاده کرد. این شیوه، برای مدیریت و پالایش پساب و ضایعات آلی انسانی و دامی تولیدشده در حجم بالا، مناسب است. با توجه به حجم زیاد ضایعات و فضولات و در نتیجه تولید بالای بیوگاز، امکان تولید برق فراهم می‌شود [۲۱].



اجزاء تشکیل دهنده واحدهای بزرگ بیوگاز

## نمونه موردی استفاده از بیوگاز در مقیاس بزرگ

### سیستم بیوگاز زندان کیتاراما در رواندا<sup>۶</sup>

**مشخصات پروژه:** این پروژه در زندان کیتاراما در رواندا، با جمعیتی بالغ بر ۵۰۰۰ زندانی اجرا شده است. سیستم بیوگاز در این زندان را موسسه علم، فناوری و مدیریت کیگالی، طراحی و نصب کرده است. این پروژه که نخستین پروژه استفاده از بیوگاز در مقیاسی بزرگ است، از سال ۲۰۰۱ شروع به فعالیت کرد و به دلیل دقت فراوانی که در مراحل طراحی و ساخت آن اعمال شده، پیش‌بینی می‌شود بیش از ۳۰ سال کارایی داشته باشد.

در این زندان روزانه ۲۵-۵۰ مترمکعب پساب تولید می‌شود که از طریق کانال‌های زیر زمینی به سیستم بیوگازی با ظرفیت ۵۰۰ مترمکعب، ۵ مخزن تخمیر ۱۰۰ مترمکعبی متصل به یکدیگر، هدایت شده و روزانه ۵۰ مترمکعب بیوگاز برای استفاده در آشپزخانه تولید می‌شود.

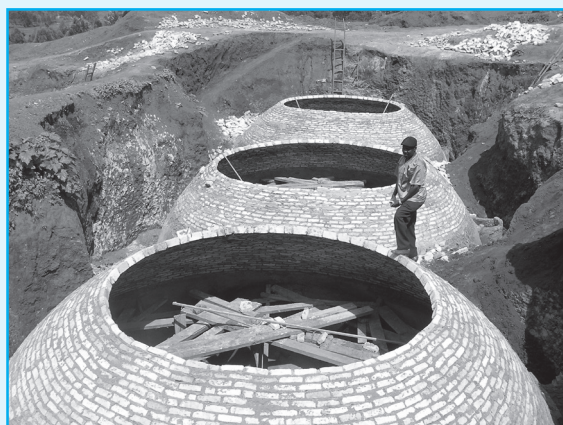
**هدف از اجرای پروژه:** هدف اصلی از اجرای این پروژه در درجه اول افزایش سطح بهداشت، کاهش عوامل تهدیدکننده سلامت زندانیان و ساکنان نواحی مجاور و همچنین از بین بردن بو و منظر نامطلوب پساب است. تامین اهداف ذکر شده در کنار مزایای زیست‌محیطی و اجتماعی، سبب گسترش استفاده از این فناوری در ۶ زندان دیگر شده است و این موسسه امیدوار است که

بتواند سالیانه ۳ پروژه مشابه را اجرا کند. **دستاوردهای پروژه:** کاهش جنگل‌زدایی و کاهش میزان انتشار دی‌اکسید کربن از آثار زیست‌محیطی مصرف بیوگاز تولیدشده به شمار می‌آید.

در این زندان با جمعیت ۵۰۰۰ نفر، روزانه ۲۵ مترمکعب چوب (تقریباً معادل ۱۰ تن) مصرف می‌شود. استفاده از بیوگاز تولیدشده در مخزن‌های تخمیر، میزان مصرف چوب را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. با در نظر گرفتن ۵ پروژه مشابه اجراشده، سالانه ۲۷۰۰۰ مترمکعب در میزان مصرف چوب سوختی صرفه‌جویی می‌شود.

دیگر مزیت زیست‌محیطی این پروژه کاهش میزان دی‌اکسیدکربن تولیدشده بر اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از چاه‌های پساب است که سالانه تقریباً ۱۰۰۰۰ تن میزان دی‌اکسید منتشرشده را کاهش می‌دهد.

یکی از نکات جالب اجرای این پروژه به‌کارگیری و آموزش زندانیان در مراحل مختلف اجرا، بهره‌برداری و نگهداری از این سیستم است. این افراد می‌توانند پس از طی دوران محکومیت به‌عنوان تکنسین در این زمینه در شرکت‌های مربوط فعالیت کنند [۲۰].



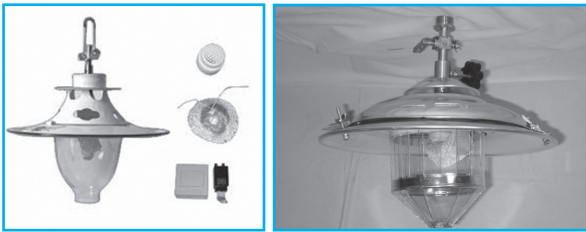
مخزن‌های تخمیر بیوگاز در داخل گودال‌های حفر شده در محوطه زندان، با ظرفیت ۱۰۰ مترمکعب، ساخته و بهره‌برداری می‌شود.

۱. تولید حرارت: برای بالا بردن دمای محیط، پخت و پز و گرم کردن آب



اجاق گاز بیوگاز

۲. ایجاد نور و روشنایی: با لامپ بیوگاز. لامپ بیوگاز، ترکیبی از یک ورودی هوا، یک تنظیم‌کننده هوا و یک کانال مخلوط‌کن گاز و هوا است.



سیستم روشنایی بیوگاز

تولید الکتریسیته: بیوگاز را با استفاده از ژنراتور می‌توان به برق تبدیل کرد.



ژنراتور بیوگاز

## ۲. فناوری بیوگاز در مقیاس شهری

بسترها و سینک‌های طبیعی تنها می‌توانند حجم محدودی از آلاینده‌های تولیدشده در شهرها و محیط‌های مصنوع را پالایش کنند، این در حالی است که تمرکز جمعیت در نواحی شهری با تولید روزانه حجم بالایی پساب و آلاینده همراه است. تخلیه مستقیم این آلاینده‌ها در بستریهای طبیعی



مخزن بیوگاز با گنجایش ۲۰۰ مترمکعب برای تصفیه فضولات ۱۰۰۰ راس دام. مقدار بیوگاز تولید شده قادر به تامین انرژی روزانه ۱۰۰ خانوار روستایی است. استان میون چین [۲۱]



مخزن بیوگاز با گنجایش ۱۰۰ مترمکعب برای تصفیه فاضلاب ۵۰۰ نفر. گاز حاصله در یک رستوران به‌عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. شهر دانگوان چین [۲۱]

## تصفیه و مصرف بیوگاز

تصفیه بیوگاز شامل جداسازی برخی اجزا مانند سولفید هیدروژن، آب، الکل گوگردار، دی‌اکسید کربن، گازهای فرار و ذرات موجود در بیوگاز تولیدشده است. این ناخالصی‌ها افزون بر اینکه از ارزش حرارتی بیوگاز تولیدشده می‌کاهند، باعث ایجاد فرسایش و خوردگی در سیستم‌های انتقال و بهره‌برداری و همچنین انتشار گوگرد در هنگام سوختن بیوگاز نیز می‌شوند [۱۸].

## بیوگاز و کاربرد آن

همان‌گونه که گفته شده از بیوگاز حاصل از تخمیر و تجزیه فضولات آلی می‌توان برای تولید حرارت، نور و روشنایی و تولید الکتریسیته استفاده کرد.

امروزه بویژه در کشور چین گونه‌های متنوعی از محصولات خانگی تولید و به بازار عرضه می‌شود که در آنها از بیوگاز به‌عنوان منبع تامین انرژی بهره می‌برند.



(رودخانه‌ها، مسیل‌ها، زمین‌های بایر و...) و حاشیه شهرها، علاوه بر ایجاد مشکلات زیست‌محیطی، خطری جدی برای جوامع انسانی است. تجزیه بی‌هوازی پساب و ضایعات آلی به‌عنوان آخرین حلقه از تصفیه پساب و با هدف تامین شرایط بهداشتی برای زندگی مردم، حفظ محیط زیست، بازیابی پساب، تولید کود طبیعی و تولید انرژی یکی از راهکارهایی است که امروزه در تصفیه‌خانه‌های پساب شهری بهره‌برداری می‌شود.

#### • تامین شرایط بهداشتی برای زندگی مردم

پساب‌های شهری دارای میکروب‌های گوناگونی هستند که بخشی از آنها را میکروب‌های بیماری‌زا تشکیل می‌دهند. ورود پساب تصفیه‌نشده به محیط‌زیست و منابع طبیعی آب، نه تنها موجب آلودگی این منابع و ایجاد عوامل بیماری‌زا می‌شود، بلکه خطر گسترش بیماری‌ها به‌خصوص بیماری‌های واگیردار و عفونی را نیز افزایش می‌دهد [۴].

#### • حفظ محیط زیست

ورود پساب تصفیه‌نشده علاوه بر آلودگی مستقیم محیط‌زیست و تاثیر مخرب بر اکولوژی‌های طبیعی، بر جوامع انسانی آثار سوء غیرمستقیم نیز دارد که پیشتر در بخش ضرورت‌های زیست‌محیطی استفاده از بیوگاز به آن اشاره شده است.

#### • بازیابی فاضلاب

از آنجا که مقدار نمک‌های معدنی محلول در پساب به مراتب کمتر از آب دریاها آزاد است، پساب جزو آب‌های شیرین ولی آلوده محسوب می‌شود. استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده به‌جای آب شیرین به مراتب ارزان‌تر از شیرین‌سازی آب دریاها شور و یا انتقال آب از راه دور است. این مساله در ایران، که با مشکل کمبود آب شیرین مواجه

است، می‌تواند بسیار مفید و مقرون به‌صرفه باشد. مصارف کشاورزی، صنعتی، تغذیه مصنوعی آبزیان و پرورش ماهی از جمله مهم‌ترین مصارف مجدد پسماند و پساب تصفیه‌شده است.

#### ۱. مصارف کشاورزی و فضاهای سبز شهری

به‌علت وجود مواد کودی در پساب تصفیه‌شده، استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری کشاورزی، افزون بر صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین، می‌تواند منبعی غنی برای گیاهان و تقویت کشتزارها نیز باشد. در چین با مصرف پساب تصفیه‌شده با ۱۵-۲۰ میلی گرم BOD<sup>۷</sup> در لیتر برای آبیاری زمین‌های کشاورزی توانسته‌اند محصول گندم و برنج را از ۸۰۰ کیلو در هکتار به ۲۰۰۰ کیلو در هکتار برسانند، با مصرف پساب می‌توان در هر مترمربع به‌طور متوسط ۰/۵ کیلو محصول اضافه تولید کرد [۴] و [۳].

#### کاهش نیاز به آب کشاورزی

در بعضی کشورها با مصرف پساب احیاء شده برای آبیاری کشاورزی توانسته‌اند میزان آب مورد نیاز کشاورزی را در هر سال بین ۵۰۰-۲۵۰۰ مترمربع در هکتار کاهش دهند که با مصرف سرانه ۹۰ لیتر آب برای اجتماعات، پساب ۷۵ نفر می‌تواند یک هکتار زمین را آبیاری کند. با در نظر گرفتن سرانه مصرف آب در کشور که ۱۸۰-۲۰۰ لیتر است، این میزان به بیش از ۲ برابر، افزایش خواهد یافت [۳].

#### ۲. مصارف صنعتی

در مصارف صنعتی پس از اطمینان از کیفیت میکروبیولوژیکی پساب تصفیه‌شده، می‌توان از آن به‌عنوان آب خنک‌کننده

7-Biochemical Oxygen Demand

BOD عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون بیوشیمیایی مواد آلی موجود در آن. در حقیقت BOD تعیین‌کننده مقدار اکسیژن مورد نیاز برای ثبوت بیولوژیکی مواد آلی نمونه مورد نظر خواهد بود. اگر BOD آبی در حدود ۵ میلی گرم در لیتر باشد، آب خوب و اگر به حدود ۵ میلی گرم در لیتر برسد مشکوک و بیشتر از ۵ میلی گرم در لیتر آب، آلوده است.

| نوع ترکیبات  | مصارف کشاورزی<br>(میلی گرم در لیتر) | پرورش ماهی<br>(میلی گرم در لیتر) | تغذیه منابع آب<br>(میلی گرم در لیتر) |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| BOD          | بدون حد                             | ۱۰                               | ۵                                    |
| مواد معلق    | ۳۰                                  | کم                               | ۳۰                                   |
| املاح محلول  | ۲۵۰۰                                | ۲۰۰۰                             | کم                                   |
| ازت آلی      | بدون حد                             | به صورت آمونیاک<br>نباشد         | کم                                   |
| ازت آمونیاکی | بدون حد                             | ۰.۵                              | خیلی کم                              |
| ازت نیتراتی  | بدون حد                             | بدون حد                          | ۵                                    |
| فسفات        | بدون حد                             | بدون حد                          | ۱۰                                   |
| فلزات سنگین  | ۰                                   | ۰                                | ۰                                    |
| فنل          | ۱                                   | ۰.۰۰۱                            | ۰.۰۰۱                                |

ترکیبات پساب تصفیه شده جهت استفاده مجدد

### • تولید کود طبیعی

لجنی که از تصفیه زیستی<sup>۹</sup> پساب به دست می آید، رنگ قهوه ای مایل به سیاه و بویی شبیه خاک مرطوب دارد که ناراحت کننده نیست و به آسانی آب خود را از دست می دهد و حجم آن به صورت چشمگیری کم می شود. این لجن دارای مقادیر زیاد ترکیبات شیمیایی نظیر نیترات ها، سولفات ها و فسفات ها است که برای رشد گیاهان ارزش کودی دارد. برای افزایش قابلیت جذب این لجن و همچنین از بین بردن باکتری های بیماری زای باقی مانده، آن را با کودهای گیاهی که از بازمانده برگ و ساقه درختان تشکیل شده اند و یا با کودهای حیوانی آمیخته و دست کم به مدت ۲۱-۲۸ روز در هوای آزاد نگاه می دارند. با فعالیت باکتری های هوازی لجن کاملاً تثبیت شده و می تواند به عنوان کود طبیعی، در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد [۴].



کود حاصل از تصفیه بی هوازی فاضلاب [۲۵]

دستگاه های صنعتی، شست و شوی دستگاه های صنعتی، شستن زمین و حتی مواد اولیه استفاده کرد. در شهر لندن در کنار تصفیه خانه ماگدن<sup>۸</sup> با ظرفیت تصفیه یک میلیون متر مکعب پساب، نیروگاه حرارتی احداث شده است که آب خنک کننده آن، پساب تصفیه شده تصفیه خانه ماگدن است [۴].

### ۳. تغذیه مصنوعی آبزیان

استفاده مجدد از پساب تصفیه شده علاوه بر اینکه از کاهش منابع آب شیرین بر اثر برداشت بی رویه جلوگیری می کند، می تواند در تغذیه مصنوعی آبزیان مورد استفاده قرار گرفته و میزان ذخیره این آب ها را به میزان وسیعی افزایش دهد. در این شیوه میزان ترکیبات نیترات و فسفات پساب تصفیه شده باید بررسی شود و در صورت لزوم، عملیات نیترات زدایی و فسفات زدایی روی آن صورت گیرد. این ترکیبات خاصیت غذایی زیادی دارند و ورود آنها به منابع طبیعی آب، موجب افزایش رشد و تکثیر گیاهان آبزی مانند جلبک ها و آلک ها می شوند. به عبارت دیگر به کمک نور خورشید و عمل فتوسنتز و فعالیت میکروارگانیسم های مختلف، مواد معدنی نام برده دوباره به مواد آلی گیاهی تبدیل می شود. مرگ و نابودی این گیاهان آبزی موجب آلودگی دوباره منابع آب می شود. همچنین در صورت نفوذ پساب تصفیه شده کنترل نشده به زمین، مقدار نیترات آب های زیرزمینی افزایش می یابد و استفاده از این آب ها را برای مصارف شهری مشکل می سازد [۴].

### ۴. پرورش ماهی

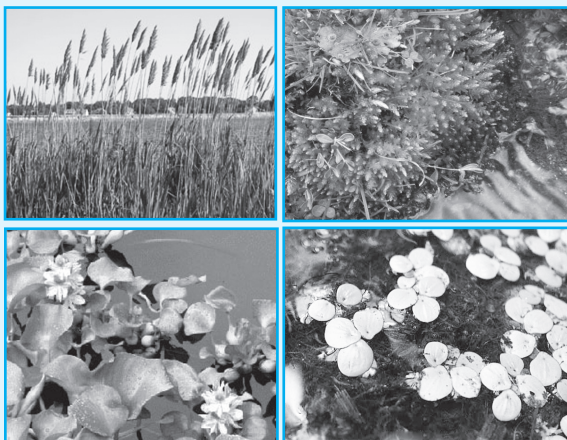
پرورش ماهی یکی از راه های مهم تامین پروتئین مورد نیاز بشر است. پساب تصفیه شده محتوی مواد با ارزشی برای رشد ماهی ها است. از این رو یکی از مصارف عمده پساب تصفیه شده، پرورش ماهی است [۴].

8. Magden

۹. تصفیه ای که با استفاده از باکتری های هوازی و بی هوازی صورت می گیرد.

## مرداب‌های مصنوعی

برای ایجاد مرداب‌های مصنوعی نیز از گیاهانی از قبیل سنبل مرداب، عدسک آبی، سیزاب کتایل، انواع نی و بوریا و سرانجام خزه استفاده می‌شود [۱۴].



سنبل مرداب، عدسک آبی، نی، خزه

همچنین در زمینه تصفیه آب به‌وسیله گیاهان، گروه بین‌المللی ره‌شهر کتابی با عنوان معماری سبز، با گیاهان آب را تصفیه کنیم، ترجمه و چاپ کرده است که به تفصیل به بررسی این موضوع می‌پردازد.

استفاده از مرداب‌های مصنوعی برای تصفیه طبیعی پساب روشی است که به‌تازگی کاربرد فراونی پیدا کرده است. مرداب‌های مصنوعی به دریاچه‌هایی با عمق کم یعنی حدود ۱۰-۶۰ سانتیمتر گفته می‌شوند که در تصفیه تکمیلی پساب از آنها استفاده می‌شود. هدف از ساختن یک مرداب مصنوعی، بیشتر ایجاد و یا بهبود محیط زیست و یا ایجاد تعادل در شرایط زیست‌جانوران و یا آدمیان است.

در این شیوه پساب پس از تصفیه ثانویه<sup>۱۰</sup>، به دریاچه و یا کانال‌های کم‌عمق موازی (مرداب‌های مصنوعی) وارد می‌شود. کف مرداب‌ها باید از زمین‌های نفوذناپذیر و یا با نفوذپذیری بسیار کم باشد. معمولاً بر روی کف نفوذناپذیر، قشری از ماسه قرار می‌دهند تا ریشه گیاهان آبی را در خود نگهداری کرده و به پایداری آنها کمک کند.

عمل تصفیه، هنگام حرکت آزاد پساب و تماس با ساقه و ریشه گیاهان آبی و فعل و انفعالات باکتری‌های هوازی انجام می‌گیرد. در ظاهر سطح مرداب‌های مصنوعی پس از مدتی به سه شکل پوشیده از گیاهان آبی، سطح آزاد آب و بالاخره جزیره‌هایی سرسبز دیده می‌شود.

## • تولید انرژی

حرکت درآورده و برق تولید می‌کنند. برق تولیدشده می‌تواند در تصفیه‌خانه استفاده شود و یا به شبکه اصلی گاز شهری تزریق گردد [۴].

مقدار تولید سرانه گاز از محفظه‌های تخمیر لجن در تصفیه‌خانه‌های پساب با تصفیه زیستی، ۲۰-۳۰ لیتر برای هر نفر در شبانه‌روز است. قدرت گرمایی یک مترمکعب گاز حاصل تقریباً معادل قدرت گرما زائی ۶/۵ کیلووات ساعت انرژی برق است. چنانچه بخواهند از این گاز برای تولید

نزدیک به ۷۰ درصد گازهای تولیدشده در محفظه‌های تخمیر لجن پساب را گاز متان تشکیل می‌دهد که ارزش سوختی آن در حدود ارزش سوختی گاز شبکه شهری است. در تصفیه‌خانه‌های کوچک و متوسط از این گاز برای گرمایش تصفیه‌خانه و بویژه گرم کردن محفظه‌های تخمیر لجن پساب استفاده می‌شود. در تصفیه‌خانه‌های بزرگ این گاز را جمع‌آوری کرده و با استفاده از توربین‌های گازی، ژنراتور برقی را به

۱۰. مرحله دوم تصفیه پساب یا تصفیه ثانویه شامل تصفیه زیستی با استفاده از باکتری‌های گوناگون هوازی موجود در پساب و تصفیه زیستی با استفاده از باکتری‌های بی‌هوازی برای تصفیه پساب و لجن است. در این مرحله آلودگی پساب ۹۰ تا ۹۶ درصد کاهش پیدا خواهد کرد و این کاهش آلودگی برای دفع پساب به منابع‌های طبیعی آب، بهداشت و پاک نگه داشتن محیط زیست کافی است [۴].

انرژی برق استفاده کنند، باید ۰/۷ متر مکعب گاز برای تولید هر کیلووات ساعت انرژی در نظر گرفته شود. با یک محاسبه ساده می‌توان نتیجه گرفت که به ازای هر هزار نفر ساکن یک شهر، با استفاده از بیوگاز جمع‌آوری شده از محفظه‌های تخمیری بی‌هوازی لجن پساب، تقریباً ۱/۵ کیلووات قدرت تولید

برق قابل پیش‌بینی است [۴]. توانایی تامین بخشی از انرژی مورد نیاز تصفیه‌خانه‌های پساب شهری مزیتی است که از وابستگی کامل مجموعه به شبکه سراسری می‌کاهد و امکان ادامه فعالیت مجموعه را در شرایط بحرانی و قطع شبکه سراسری فراهم می‌کند.

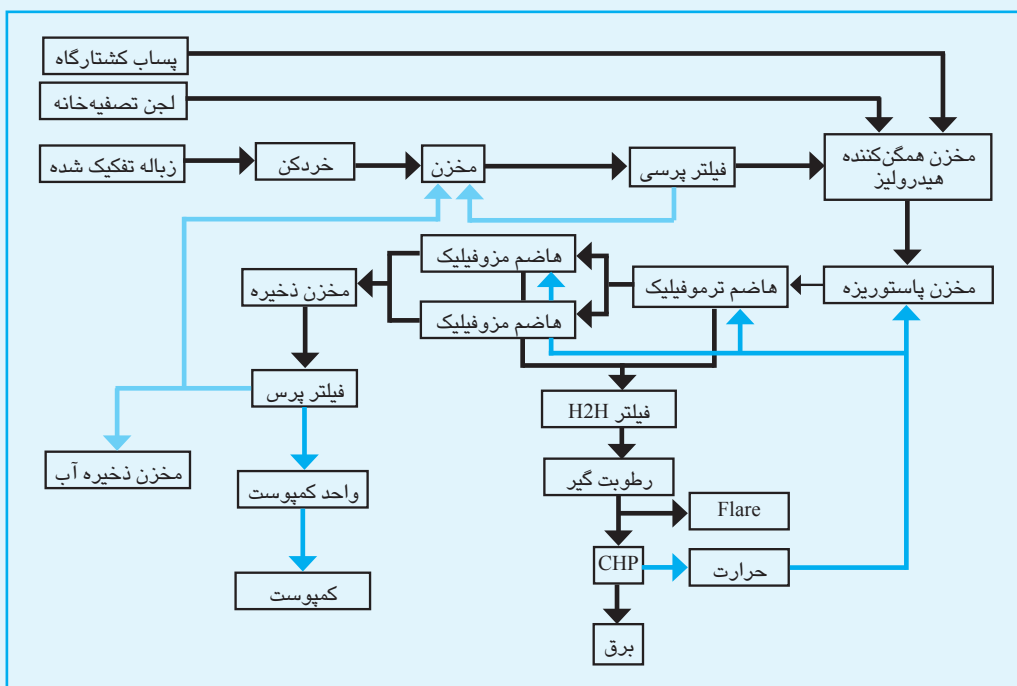
### یک نمونه اجرا شده: راکتور ساوه

پروژه نیروگاه بیوگاز ساوه که بخش انرژی‌های نو سازمان انرژی اتمی ایران آن را طراحی کرده و بخشی از آن را نیز اجرا کرده است، در سال ۱۳۸۳ و پس از مصوبه تجمیع، به سازمان انرژی‌های نو ایران منتقل شد. در این طرح یک شرکت مشاور ایرانی با همکاری یک شرکت خارجی ضمن تکمیل مطالعه امکان‌سنجی نیروگاه، طراحی مفهومی آن را نیز ارائه کرد. پیش‌بینی اولیه ظرفیت نیروگاه، ۴۶۰ کیلووات بود.

راکتور ساوه با ظرفیت ۱۰۰۰۰ لیتر، به تخمیر و تجزیه بی‌هوازی پسماندهای آلی جامد و مایع شامل لجن حاصل از تخلیه چاه‌های خانگی (روزانه ۱۳ مترمکعب)، زباله‌ها و خونابه کشتارگاه شهر ساوه در مقیاس نیمه

صنعتی به صورت غیریوسته می‌پردازد. این راکتور برای کنترل دما کاملاً ایزوله شده و برای گرم کردن خوراک و ایجاد شرایط دمایی مناسب (دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در این راکتور) دارای کویل داخلی است. همچنین برای به چرخش در آوردن محتویات یک دستگاه پمپ لجن‌کش نیز دارد.

فرایند تخمیر و تجزیه بی‌هوازی حجم لجن فوق، ضمن جمع‌آوری و کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی و کمک به بهداشت و سلامت عمومی شهر ساوه، منجر به تولید کود و آب غنی قابل استفاده برای توسعه فضای سبز و کشاورزی و نیز تأمین قسمت قابل توجهی از انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز شهر می‌شود [۹] و [۲۴].



نحوه چیدمان قسمت‌های اصلی نیروگاه



## عوامل بازدارندهی گسترش فناوری تولید بیوگاز در ایران

با وجود مزایای فراوان استفاده از این فناوری و همچنین پتانسیل‌های موجود، علل متعددی باعث شده است که تولید بیوگاز در ایران گسترش نیابد و میان انواع انرژی‌ها جایگاه درخوری نداشته باشد. مهمترین این عوامل عبارتند از:

۱. **ارزان بودن انرژی در ایران:** انرژی‌های در دسترس در کشور به علت وابستگی به منابع زیرزمینی و داشتن یارانه، با بهای اندک به دست مصرف‌کننده می‌رسد که در مقایسه با بسیاری از کشورها، بسیار ارزان است. برای مثال، قیمت انرژی در آمریکا ۱۲/۹ ریال بر مگاژول و قیمت انرژی در ایران ۲/۳ ریال بر مگاژول است. این درحالی است که تولید هر انرژی غیرمتعارف جدید مانند انرژی خورشیدی، باد و زیست‌توده، مستلزم صرف هزینه‌های اولیه به نسبت زیادی است.

ازجمله این هزینه‌ها می‌توان به هزینه‌های زیر اشاره کرد:

۱) هزینه‌های تحقیق و توسعه

۲) هزینه‌های پشتیبانی مقدماتی

۳) هزینه‌های توسعهی اقتصادی و فناوری صنایع وابسته

۴) هزینه‌های حفاظتی و مراقبتی

۵) تخفیف مالیاتی

۶) سایر هزینه‌های متعارف دیگر مانند سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های راهبری و مدیریت، تعمیرات و ...

از طرف دیگر باید توجه داشت که حتی قیمت تمام‌شدهی انرژی‌های متعارف - نظیر سوخت‌های فسیلی - قیمت واقعی آنها نبوده و برای محاسبه قیمت‌های اصلی، هزینه‌های دیگری را نیز باید در نظر داشت که در کشور ما لحاظ نمی‌شوند. از مهمترین این هزینه‌ها، هزینه‌های رفع آلودگی ایجاد شده توسط نیروگاه‌ها، هزینه‌های زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های آلاینده و هزینه‌های تخریب منابع طبیعی است.

در هر حال بدون در نظر گرفتن عوامل فوق، قیمت هر کیلوژول انرژی معادل بیوگاز تولیدی در ایران را ۱۰ تا ۱۳ دلار برآورد

کرده‌اند که در مقایسه با قیمت سوخت‌های دیگر (مثلاً گاز طبیعی  $\$1/GJ$ ) رقم بزرگی است.

مساله دیگر این است که تغییر قیمت انرژی، موضوعی بسیار پیچیده و متأثر از عوامل گوناگون اقتصادی، سیاسی و اجتماعی است، در نتیجه سیاستگذاری در امر انرژی مستلزم بررسی‌های کارشناسانه، دقیق و طولانی‌مدت بوده که در نهایت راه را برای جایگزین کردن سوخت‌های پاکیزه و تجدید پذیر هموار سازد [۶].

۲. **عدم مشارکت و سرمایه‌گذاری در کشور:** در حال حاضر در ایران تنها سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) متولی پروژه‌های مطالعاتی، امکان‌سنجی و اجرایی استفاده از زیست‌توده و ارائه‌دهنده این خدمات به متقاضیان است. حضور شرکت‌های خصوصی در این زمینه علاوه بر جذب سرمایه سبب ایجاد روحیه رقابتی میان دست اندرکاران می‌شود و روحیه پیشرفت در عرصه‌های مختلف استفاده از این فناوری را سرعت می‌بخشد.

وزارت نیرو موظف است انرژی برق تولیدی به وسیله نیروگاه‌ها و تولیدکنندگان بخش‌های خصوصی و دولتی را با قیمت‌های تضمینی خریداری کند. نرخ تضمینی به پیشنهاد سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به تصویب شورای اقتصاد خواهد رسید.

در مورد نرخ برق تولیدی بخش‌های غیردولتی از منابع انرژی‌های نو با توجه به جنبه‌های مثبت زیست‌محیطی و صرفه‌جویی‌های ناشی از عدم مصرف منابع انرژی فسیلی و به‌منظور تشویق سرمایه‌گذاری در این نوع تولید به ازای هر کیلووات ساعت برای ساعات اوج و عادی حداقل ششصد و پنجاه (۶۵۰) ریال و برای ساعات کم‌باری حداقل چهارصد و پنجاه (۴۵۰) ریال (حداکثر چهار ساعت در شبانه‌روز) در محل تولید تعیین شده است [۱۶].

۳. نبود روحیه‌ی مشارکت در مردم: یکی از دلایل مهم گسترش نیافتن بیوگاز- به خصوص بیوگاز روستایی در ایران- مشارکت نکردن مردم در ایجاد و اداره واحدهای کنونی است. این مطلب در مصاحبه با مسئولان بیوگاز جهادسازندگی و سازمان انرژی اتمی و بازدیدهای محلی به وضوح دریافت شد. دسترسی به انرژی ارزان، و تشویق نکردن مسئولان در این زمینه باعث شده است که این روحیه انفعالی و بی تفاوتی متأسفانه بیشتر شدت یابد [۶].

۴. آگاهی کم و آموزش ناکافی: یکی دیگر از دلایل مهم که مانع از گسترش فناوری‌های بیوگاز شده است ناآگاهی مردم- و حتی مسئولین- نسبت به مزایای این فناوری‌ها و آثار نامطلوب سایر انرژی‌های تجدیدناپذیر است. فناوری‌های تولید بیوگاز علاوه بر اینکه خود آلاینده نیستند از ورود عوامل آلاینده محیط زیست و بیماری‌زا (مانند پسماندها و پساب‌ها) به محیط جلوگیری می‌کند، اشتغال می‌آفریند و رفاه عمومی جامعه را افزایش می‌دهد. متأسفانه مسائلی نظیر موارد فوق نه برای مسئولین اهمیت داشته است و نه برای مردم اهمیت دارد و هیچ‌یک بهایی به آنها نمی‌دهند. همین امر باعث شده برای معرفی این فناوری‌ها و مزایای آنها و به تبع آن استفاده از آنها به عنوان منابع مهم تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر هیچ‌گونه آموزشی ارائه نشده باشد. در نتیجه طبیعی است که اهمیت و لزوم استفاده از این انرژی برای مردم مشخص نباشد و از این مقوله استقبال نشود [۶].

۵. کمبود اطلاعات فنی: متأسفانه جزئیات کارهای پراکنده و معدودی که در کشور انجام شده، ثبت و نگهداری نشده است. از سویی دقت نداشتن در ثبت داده‌ها (در همه مراحل طراحی، ساخت و راهبری) و از طرف دیگر به روز نبودن دانش فنی کنونی در این رشته علمی باعث شده است که هم بازده واحدهای بیوگاز احداث شده اندک باشد و هم تصمیم‌گیری در اداره واحدهای بعدی به شک و تردید زیاد درآمیزد [۶].

۶. نبود همکاری اطلاعاتی بین متخصصین و دشواری دسترسی به اطلاعات: عدم ارائه اطلاعات پروژه‌هایی که تاکنون در کشور اجرا شده است، نبود اطلاع‌رسانی عمومی،

عدم هماهنگی مناسب جهت دسترسی به این اطلاعات از جمله عوامل کندی پیشرفت در این زمینه است. برای نگارش این متن مقاله‌های ارائه شده در این زمینه در طی سال‌های اخیر بررسی شد. به جرات می‌توان ادعا کرد که در اکثر این مقاله‌ها بیش از ۷۰-۸۰ درصد اطلاعات ارائه شده شبیه به هم و مشابه با کتاب‌های تالیف‌شده در سال‌های ۷۴-۷۵، یعنی بیش از ۱۵ سال پیش است. اجرای طرح‌هایی همچون راکتور ساوه و نیروگاه زیست‌توده مشهد و شیراز از پیشرفت‌های حائز اهمیتی در این زمینه حکایت دارد که متأسفانه این اطلاعات در دسترس قرار نگرفته است. نبود مشارکت علمی در این زمینه سبب می‌شود که علاقمندان، فعالیت در این زمینه را از ابتدا آغاز کنند که این امر سبب کندی پیشرفت می‌شود و گاهی فرد را از ادامه کار منصرف می‌سازد.

یکی دیگر از مسائلی که نگارنده با آن مواجه شد، نیاز به نامه نگاری‌های گسترده برای دستیابی به اطلاعات مربوط به نمونه‌های داخلی اجرا شده و همچنین عدم تمایل برخی دست‌اندرکاران به ارائه این اطلاعات ساده و تمایل به حفظ انحصاری این اطلاعات بود. البته شماری دیگر از دست‌اندرکاران، برای همکاری و راهنمایی تمایل و اشتیاق زیاد داشتند که می‌توان به گسترش این روحیه در میان کلیه دست‌اندرکاران و متخصصان امیدوار بود.

## نتیجه‌گیری

با توجه به رشد جمعیت و گسترش صنایع در ایران، شاهد افزایش میزان مصرف انواع سوخت‌های فسیلی خواهیم بود. محدود بودن این منابع و لزوم حفظ آنها برای نسل‌های آینده، میزان بالای آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و افزایش میزان آلاینده‌های آلی و پساب تولیدشده بویژه در مجامع شهری، تأکیدی است بر لزوم استفاده از فناوری بیوگاز به عنوان راهکاری مناسب برای مسائل یاد شده.

با وجود پتانسیل بالای استفاده از این فناوری در کشور، سهولت این فناوری و مزایای جانبی مهم آن، به این فناوری

مسئولان و متخصصان و نبود روحیه مشارکت و تمایل به حفظ انحصاری اطلاعات موجود است. با این همه، پیشرفت‌ها و فعالیت‌های شایان ذکری نیز در کشور پدید آمده است که از میان آنها می‌توان از فعالیت‌های سازمان انرژی‌های نو ایران شامل آموزش و فرهنگ سازی، امکان سنجی استفاده از منابع مختلف در سطح کشور و احداث رآکتور ساوه، نیروگاه زیست توده شیراز و مشهد نام برد.

امید است با تقویت روحیه مشارکت و تعاون میان دست‌اندرکاران و متخصصین، سرمایه‌گذاری و مشارکت بخش‌های خصوصی، آموزش نیروهای متخصص و برنامه‌ریزی برای به‌کارگیری این فناوری در سطوح مختلف، شاهد تسریع و بهبود روند رو به رشد بهره‌گیری از این فناوری در مقیاس‌های مختلف باشیم.

متأسفانه کمتر توجه شده است. از جمله عوامل گسترش نیافتن این فناوری می‌توان به مواردی چند اشاره کرد: ارزان بودن انرژی در ایران، منسجم نبودن و پیوستگی نداشتن مطالعات انجام‌شده در این زمینه، عدم تبلیغ و فرهنگ‌سازی در استفاده از این فناوری، عدم ارائه اطلاعات کامل و نتایج حاصل از پروژه‌های اجراشده به‌صورت همگانی برای دسترسی آزاد علاقه‌مندان، تمایل به حفظ انحصاری اطلاعات به دست آمده از پروژه‌های اجراشده، آموزش نیافتن نیروی متخصص به‌صورت گسترده به منظور اشاعه استفاده از این تکنولوژی به کلیه مناطق کشور، عدم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و در نتیجه عدم ایجاد رقابت بین دست‌اندرکاران و همچنین عدم آموزش و فرهنگ سازی عمومی. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بسیاری از مشکلات و موانع موجود در زمینه استفاده از این تکنولوژی حاصل عملکرد

### واژه نامه

#### بیوگاز (Biogas)

بیوگاز محصول فرعی تجزیه و تخمیر فضولات و ضایعات آلی ناپایدار اعم از انسانی، گیاهی و حیوانی در فقدان اکسیژن و فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی به‌ویژه باکتری‌های متان‌زا در محفظه تخمیر است.

#### بیومتان (Bio methane)

بیومتان شامل ۶۵-۷۰ درصد متان، ۳۰-۳۵ درصد دی‌اکسیدکربن و مقدار کمی از سایر گازهاست که از تخمیر بی‌هوازی ضایعات آلی بدست می‌آید.

#### جنگل زدایی (Deforestation)

تبدیل جنگل به سایر کاربری‌ها یا کاهش تاج پوشش درختان به زیر آستانه ۱۰ درصد در واحد سطح را جنگل‌زدایی می‌گویند. میزان جنگل‌زدایی در دهه ۲۰۰۰ یعنی سال‌های (۲۰۰۰-۱۹۹۱) نسبت به دهه قبل از آن افزایش ۵۵ درصدی داشته است. در دهه ۹۰ میزان جنگل‌زدایی سالیانه ۹/۴ میلیون هکتار بوده است، در حالی‌که در دهه بعدی به حدود ۱۴/۶ میلیون هکتار رسیده است. بیشترین میزان جنگل‌زدایی در دهه ۲۰۰۰ مربوط به کشورهای آرژانتین، برزیل، کنگو، اندونزی، میانمار، مکزیک، نیجریه، سودان و زامبیا و زیمبابوه بوده است.

#### زمین گرمایی (Geothermal)

انرژی زمین‌گرمایی حرارت داخلی زمین است که به‌وسیله یک سیال مانند بخار یا آب داغ یا هر دو به سطح زمین انتقال می‌یابد. از انرژی گرمایی در سطح زمین می‌توان در کاربردهای متفاوت از جمله تولید برق استفاده کرد.

#### زیست توده (Biomass)

زیست توده شامل کلیه مواد موجود در طبیعت است که در گذشته نزدیک جاندار

بوده، از موجودات زنده به عمل آمده و یا از زائدات و ضایعات آنها هستند. امروزه زیست توده یک منبع انرژی تجدیدپذیر است که برای تولید گرما و الکتریسیته به‌کار می‌رود.

#### کودزیستی (Biofertilizer)

به مواد حاصل‌خیزکننده‌ای گفته می‌شود که دارای تعداد کافی از یک یا چند گونه از میکروارگانیسم‌های سودمند خاکری است. کودهای زیستی، میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند عناصر غذایی خاک را در یک فرآیند زیستی تبدیل به مواد مغذی همچون ویتامین‌ها و دیگر مواد معدنی کرده و به ریشه خاک برسانند. مصرف کودهای زیستی کم‌هزینه‌تر هستند و در اکوسیستم آلودگی به وجود نمی‌آورند. کودهای زیستی مواد نگهدارنده میکروارگانیسم‌های سودمند خاک هستند.

#### گازهای گلخانه‌ای (Greenhouse gases)

گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن، دی‌نیتروژن اکسید (گاز خنده)، متان، بخار آب و ازن هستند. این گازها به این دلیل گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند که فضایی گلخانه‌ای در اطراف زمین ایجاد کرده و مانع از انتشار امواج مادون قرمز انتشار یافته توسط زمین می‌شوند. افزایش این گازها در جو طی دهه‌های اخیر سبب افزایش دمای کره زمین شده است.

#### فتوولتائیک (Photovoltaic)

فتوولتائیک (PV) یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی است. در این روش با به‌کارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان‌پذیر می‌شود. سلول‌های خورشیدی از نوع نیمه رسانا است که از سیلیسیوم یعنی دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته می‌شوند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتائیک می‌تابد، بین دو الکترود منفی و

مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آنها می‌شود.

#### فرسایش خاک (Erosion)

فرسایش، کاهش ضخامت لایه سطحی خاک به وسیله رواناب یا باد است. فرسایش فرایندی است که در آن ذرات خاک توسط عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و توسط یکی از عوامل انتقال دهنده به مکان دیگری حمل می‌شود. چنانچه عامل جداکننده ذرات باد و یخچال باشد به ترتیب فرسایش بادی و یخچالی نام می‌گیرد. فرسایش آبی به دلیل مدیریت نامناسب زمین، تخریب پوشش گیاهی و عدم کنترل جریان آب صورت می‌گیرد و منجر به رواناب سطحی و انتقال خاک می‌شود، که از اثرات خارجی این پدیده می‌توان رسوب در سدها و آبراهه‌ها، سیل و آلودگی آب را نام برد.

#### نیروی برق آبی (Hydropower)

نیروی برق آبی یا هیدروالکترسیته اصطلاحی است که به انرژی الکتریکی تولیدی از نیروی آب اطلاق می‌شود. بیشتر نیروگاه‌های برق آبی انرژی مورد نیاز خود را از انرژی پتانسیل آب پشت یک سد تامین می‌کنند. بیشترین مزیت استفاده از نیروگاه‌های آبی، عدم نیاز به استفاده از سوخت‌ها و در نتیجه حذف

هزینه‌های مربوط به تامین سوخت و در نتیجه انتشار اندک دی اکسید کربن است.

#### ورمی کمپوست (Vermicompost)

یا کمپوست کرم، عبارت است از کود آلی کمپوست بیولوژیکی که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی و دفع این مواد از بدن کرم حاصل می‌شود. این مواد هنگام عبور از بدن کرم آغشته به مخاط دستگاه گوارش (موکوس)، ویتامین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود که در نهایت به عنوان یک کود آلی غنی شده و بسیار مفید برای ساختمان و بهبود عناصر غذایی خاک تولید و مصرف می‌شود. بنابراین ورمی کمپوست عبارت است از فضولات کرم به همراه درصدی از مواد آلی و غذایی بستر و لاشه کرم‌ها.

#### هزینه‌های اجتماعی (Social costs/ Externel costs)

هزینه‌ای که به علت اثرات زیست محیطی مستقیم مانند انتشار آلاینده‌ها، تخریب اکوسیستم‌ها، آسیب به زیرساخت‌ها و آسیب‌های اجتماعی به افراد ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر مجموعه پولی است که بتواند صدمات ناشی از مواد و آلاینده‌ها را جبران کند.

## منابع

۱. ساسه، لودویک. **تاسیسات واحدهای بیوگاز**، ترجمه نجفیپور، قاسم دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۱۳۷۴خ.
۲. علی عمرانی، قاسم. **مبانی تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی**، انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۵خ
۳. میسمی، حسین و سعیده، سعیدی. **جمع‌آوری و دفع پساب مجامع کوچک**، شرکت مهندسی آب و پساب کشور. ۱۳۸۸خ
۴. منزوی، محمد تقی. **پساب شهری، تصفیه پساب، (جلد دوم)**، انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۸۸خ.
۵. **از انرژی‌های نو چه می‌دانید؟ جلد سوم، زیست‌توده**، سازمان انرژی‌های نو ایران
۶. شیخ احمدی، امین، زرگرزاده، مجید، **بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی**
۷. رسولی کوهی، مجتبی. صفائی، بتول. طالقانی، گیتی. شعبانی کیا، اکبر. **بررسی فنی اقتصادی فناوری بیوگاز در ایران**. دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در بخش ساختمان
۸. گودرزی، کوروش. کشتکار جعفری، امیر. خاکپور، حامد. **کنترل آلودگی هوا در اثر وجود زباله‌ها با استفاده از نیروگاه بیوگاز**. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی
۹. شعبانی کیا، اکبر. نظری، علی. **بررسی میزان تولید بیوگاز از تخمیر و تجزیه بی‌هوازی لجن حاصل از تخلیه چاه‌های جذبی**. سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز توسعه انرژی‌های نو، بخش بیوگاز. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان
۱۰. شعبانی کیا، اکبر. نظری، علی. **انتخاب جایگاه مناسب برای نیروگاه‌های بیوگاز در تامین انرژی کشور در برنامه پنج ساله چهارم**. سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز توسعه انرژی‌های نو، بخش بیوگاز. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان
۱۱. نصیری، جواد. کهریانیان، احمد. **پتانسیل منابع زیست توده در ایران و اولویت بندی منابع بر مبنای قابلیت تولید برق**. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان
۱۲. امیری نژاد، علی اشرف. **جایگزینی انرژی بیوگاز به جای سوخت‌های فسیلی در ایران**، مجموعه مقالات سومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان
۱۳. خدادادی، محمد. حقیقت مصباحی، داود. **فناوری سوخت‌های تجدیدپذیر بیوگاز**، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت
۱۴. وولورتون، باگیهان آب را تصفیه کنیم، **راه طبیعت برای زدودن آلودگی آب‌ها**، ترجمه رضا روحانی، گروه مهندسين مشاور ره‌شهر، چاپ اول، زمستان ۱۳۸۶خ.
۱۵. کریشنارائو، پی نینتی. یآوری رضا. **توسعه پایدار، اقتصاد و راه کارها**. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۵خ.
۱۶. **سازمان انرژی‌های نو ایران**
17. Klinger, Barbara. **Environmental aspects of biogas technology**, German biogas association
18. [www.biogas.ifas.ufl.edu](http://www.biogas.ifas.ufl.edu)
19. [www.biofuelstp.eu](http://www.biofuelstp.eu)
20. [www.ashdenawards.com](http://www.ashdenawards.com)
21. [www.puxinbiogas.com](http://www.puxinbiogas.com)
22. [www.assc.ir](http://www.assc.ir)
23. [www.archnoise.com](http://www.archnoise.com)
24. [www.suna.org.ir](http://www.suna.org.ir)
25. [www.biogas-renewable-energy.info/sludge\\_valorisation.html](http://www.biogas-renewable-energy.info/sludge_valorisation.html)