

انرژی

انجمن انرژی
پیشرو در کارآفرینی

تولید برق با استفاده از بیوگاز
میکروپمپ ها
موتور وانکل
فناوری میکرو سیالی
انرژی های تجدیدپذیر

گاهنامه انجمن علمی دانشجویی بین رشته‌ای انرژی دانشگاه تبریز
سال اول، شماره دوم، فروردین ۱۴۰۲، قیمت ۴۰۰۰ تومان



«إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَى يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِنَ الْحَيِّ ذَلِكُمُ اللَّهُ فَأَنَّى تُؤْفَكُونَ»

همانا خداوند آفریدگار دانه و هسته است، زنده را از مرده بیرون می آورد و مرده را از زنده بیرون می آورد، آن خداست، پس چگونه گم می شوید؟



شناسنامه نشریه

صاحب امتیاز:
انجمن علمی دانشجویی انرژی دانشگاه تبریز

شماره مجوز: ک.ن.ت.۱۰۵/۵

استاد مشاور:
جناب آقای دکتر فرامرز رنجبر - جناب آقای دکتر معلمی

مدیر مسئول:
مهندس آرش نوربخش سعدآباد A_nourbakhsh@tabrizu.ac.ir

سردبیر:
مهندس مهدی نامی خلیله‌ده Mahdinami1400@ms.tabrizu.ac.ir

مدیرداخلی:
مهندس سیدامیررضا عبداللهی s.a_abdollahi@yahoo.com

ویراستار و ناظر کیفی:
مهندس مهدی نامی‌خلیله‌ده

طراح و صفحه آرا:
مهندس سینا جداری خوشباف

هیئت تحریریه:
دکتر سیدفرامرز رنجبر، بهزاد مهدوی، آرش نوربخش سعداباد، مهدی نامی خلیله‌ده، سیدامیررضا عبداللهی، سعید میرزایی، یاسر عاقبتی املشی ، سیامک سیفی.

پل‌های ارتباطی:
۱-ایمیل نشریه **energyjournal2023@gmail.com**
۲-دبیرخانه نشریه: دانشگاه تبریز، مرکز رشد و فناوری دانشگاه، ساختمان رشد فناوری، طبقه ۲، واحد اس ۵

فهرست

سخن سردبیر ۵

انرژی‌های تجدیدپذیر ۶

بررسي امکان تولید برق با استفاده از بیوگاز تولید شده از زباله‌هاي شهری با روش‌های بی‌هوازی و لندفیل ۱۱

مقدمه‌ای بر میکروپمپ‌ها ۱۵

فناوری میکرو سیالی و آزمایشگاه روی تراشه ۱۸

مروری بر کتاب انرژی آینده ۲۰

اثرات زیست‌محیطی توربین‌های بادی ۲۲

موتور وانکل ۲۵

سخن سردبیر

مهدی نامی



منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو میرود ممد حیات است، چون برمی آید مفرح ذات.
هدف مجله علمی انرژی فراهم آوردن بستری مناسب برای بیان و انتشار پژوهش‌های علمی در جهت بهبود درک موضوعات اصلی و وابسته به مهندسی مکانیک در شاخه حرارت، سیالات، ترمودینامیک و انرژی است. تمرکز این مجله بر هر دو گونه پژوهش‌های تحلیلی و تجربی می‌باشد. تاکید اصلی مجله انرژی بر موضوعاتی می‌باشد که به درک اساسی از مسائل مهندسی مکانیک و و به کارگیری آنها در مشکلات مهندسی کمک کند. این مجله مجموعه‌ی گسترده‌ای از موضوعات مهندسی مکانیک از جمله انرژی، حرارت، سیالات، هوافضا، ساخت وتولید، دینامیک، ارتعاشات، کنترل، مواد، طراحی و ... را با تاکید بر جوانب حرارت و سیالات و تبدیل انرژی پوشش می‌دهد. انواع مقالات چاپ شده در مجله علمی انرژی شامل مقاله‌های پژوهشی، مقالات مروری، یادداشت‌های تحقیقاتی و یادداشت‌های فنی می‌باشد. امید است که مجله علمی انرژی به عنوان عاملی تاثیرگذار در بالابردن سطح استانداردهای بحث، تجزیه، تحلیل و ارزیابی‌های وابسته به مهندسی مکانیک شناخته شود. این مجله از تمامی مقاله‌ها با نتایج تحقیقاتی در خور توجه در زمینه‌های مهندسی مکانیک کاربرد آنها استقبال می‌نماید.
الحمدالله دومین شماره از نشریه انرژی چاپ و در اختیار شما فرهیختگان قرار گرفت، طبیعی است که هر مطلب علمی دارای نواقص و ایرادات اجتناب ناپذیری باشد. لذا از شما مخاطبین و خوانندگان این شماره درخواست داریم، کاستی‌ها را با هیئت تحریریه مجله در میان بگذارید تا در شماره‌های آتی، از این اشکالات جلوگیری شود.

انرژی‌های تجدیدپذیر

آرش نوربخش سعدآباد
دانشجوی دکتری مکانیک، گرایش تبدیل

انرژی به صورت‌های مختلفی از جمله گرما، نور، مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی و هسته‌ای وجود دارد. ما از انرژی برای انجام کارهایمان از پختن غذاهای موردعلاقه گرفته تا فرستادن فضانورد به فضا، استفاده می‌کنیم. غذایی که شما میل می‌کنید شامل انرژی شیمیایی بوده و بدن شما آن را ذخیره کرده تا در هنگام بازی یا کار آزاد کند. منابع انرژی که ما هر روزه استفاده می‌کنیم به شکل‌های مختلفی هستند و از راه‌های مختلفی ذخیره می‌شوند. این منابع به دودسته تجدیدپذیر (منبع انرژی که در مدت کوتاهی دوباره احیا می‌شود) و تجدیدناپذیر (منبع انرژی که تمام می‌شود و در مدت کوتاهی نمی‌تواند دوباره به وجود آید) تقسیم می‌شوند. این منابع انرژی می‌توانند برای تولید منبع انرژی دوم مثل الکتریسیته مورداستفاده قرار گیرند. باد، انرژی گرمایی داخل زمین، انرژی بیومس و انرژی آب و انرژی خورشیدی از جمله منابع انرژی تجدیدپذیرند. اما در حال حاضر ما بیشتر انرژی خود را از منابع تجدیدناپذیر دریافت می‌کنیم که شامل سوخت‌های فسیلی همچون نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ است. بدین علت آنها را سوخت فسیلی می‌نامند؛ زیرا آنها در مدت میلیون‌ها سال در اثر حرارت هسته زمین و فشار صخره‌ها و خاک روی گیاهان و حیوانات مرده تشکیل شده‌اند. انرژی هسته‌ای از جمله مطمئن‌ترین و پاک‌ترین انرژی‌هایی است که می‌تواند کمبود و حتی خلأ انرژی‌های فسیلی را جبران کند. انرژی هسته‌ای اگر چه درگذر زمان، زمینه‌ای برای ساخت سلاح‌های مرگبار بوده، اما نمی‌توان اثرات مثبت این انرژی نهفته در دل ذرات را نادیده گرفت.

باتوجه‌به روبه‌اتمام بودن منابع انرژی تجدیدناپذیر، مانند نفت و گاز و مشکلاتی که استفاده از این انرژی‌ها به وجود آورده است؛ مانند تغییرات اقلیم، آلودگی هوا و تخریب محیط‌زیست، استفاده از انواع انرژی تجدیدپذیر ضروری می‌باشد. طبق گزارش مؤسسه گودارد ناسا برای تحقیقات فضایی، میزان دی‌اکسیدکربن موجود در هوا در ۶۵۰ هزار سال گذشته در بالاترین مقدار قرار دارد. این مقدار ۴۰۸ppm است. رکورد ۱۳۶ساله گرمای زمین از سال ۲۰۰۱ به بعد بوده است و سال ۲۰۱۶ به‌عنوان گرم‌ترین سال کره زمین شناخته شد. در کنار این مشکلات، آب‌شدن یخچال‌ها و افزایش سطح آب دریاها نیز از دیگر مشکلات تغییر اقلیم است. به همین دلیل تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر، بسیار حائز اهمیت است. منابع انرژی تجدیدپذیر پاک هستند و کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد می‌کنند. درعین‌حال این منابع، پایان‌ناپذیرند و برای سالیان متمادی و نسل‌های بعدی قابل‌استفاده خواهند بود.



شکل ۱-انرژیهای تجدیدپذیر

۱-انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی، انرژی حاصل از خورشید است که به انرژی گرمایی یا الکتریکی تبدیل می‌شود. این انرژی تمیزترین و فراوان‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر است. امروزه فناوری‌های خورشیدی می‌توانند از این انرژی برای مصارف مختلف از جمله تولید برق، تأمین نور یک فضای داخلی راحت و گرم‌کردن آب برای مصارف خانگی، تجاری یا صنعتی استفاده کنند.

سه روش اصلی برای مهار انرژی خورشیدی وجود دارد که عبارت‌اند از: فتوولتائیک، گرمایش و سرمایش خورشیدی و تمرکز انرژی خورشیدی. فتوولتائیک از طریق یک فرایند الکترونیکی مستقیماً از نور خورشید برق تولید می‌کند و می‌توان برای تأمین انرژی وسایل الکترونیکی کوچک مانند ماشین‌حساب، علائم به کار برده در جاده تا خانه‌ها و مشاغل بزرگ تجاری از آن استفاده کرد. دو فناوری دیگر انرژی خورشیدی یعنی گرمایش و سرمایش خورشیدی و تمرکز انرژی خورشیدی، هر دو از گرمای تولید شده توسط خورشید برای تأمین گرمای فضا یا آب گرم یا توربین‌های تولیدکننده برق در سیستم‌ها استفاده می‌شود. دو کاربرد اصلی انرژی خورشیدی شامل تولید برق و تولید گرما از انرژی خورشیدی است.



شکل ۲-کلکتورهای خورشیدی

در مقیاس کوچک‌تر می‌توان از انرژی خورشید برای پخت غذا در کوره‌های خورشیدی مخصوص استفاده کرد. کوره‌های خورشیدی معمولاً نور خورشید را از مناطق مختلف و وسیع در یک نقطه مرکزی متمرکز می‌کنند. این نقطه مرکزی یک ظرف با سطح سیاه است که نور خورشید را به گرما تبدیل می‌کند. کوره‌ها خورشیدی معمولاً قابل‌حمل هستند و ورودی سوختی دیگری ندارند.



شکل ۳-کورههای خورشیدی

معایب انرژی خورشیدی	مزیت‌های انرژی خورشیدی
قیمت	تجدیدپذیر بودن
وابستگی به شرایط آب‌وهوا	کاهش هزینه‌های برق
بالابودن هزینه ذخیره‌کردن آن	کاربردهای متفاوت
اشغال فضای زیاد توسط دستگاه‌های مربوط به انرژی خورشیدی	پایین‌بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری
آلودگی‌های مربوط به ساخت سیستم‌های فوتوولتائیک، نصب و حمل سلول‌های خورشیدی	پیشرفته بودن تکنولوژی آن

شکل ۳-کورههای خورشیدی

نیروگاه‌های خورشیدی از کلکتورهای متمرکزکننده یا همگراکننده نور استفاده می‌کنند تا نور خورشید را از یک منطقه گسترده به یک گیرنده کوچک سیاه متمرکز کنند. در نتیجه شدت نور به طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته و دماهای بالا تولید می‌شود. آینه‌ها یا عدسی‌هایی که بادقت با یکدیگر تراز می‌شوند می‌توانند به‌اندازه کافی نور خورشید را متمرکز کنند تا هدف را تا دمای ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد (۳۶۰۰ درجه فارنهایت) یا بیشتر گرم کنند. از این گرما می‌توان در یک دیگ بخار استفاده کرد که به نوبه خود بخار نیروگاه مولد برق توربین بخار را تولید می‌کند. برای تولید مستقیم بخار، آینه‌ها و عدسی‌های متحرک را می‌توان طوری تنظیم کرد که مقدار زیادی تابش خورشید را بر روی لوله‌های سیاه شده‌ای که از آن آب جریان می‌یابد، بتاباند و در نتیجه آب داخل لوله داغ .و تبخیر می‌شود



۲-انرژی بادی

در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های تولید برق است که آلودگی نداشته و پایان‌ناپذیر است. طبق آمار موجود تولید هر کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی از باد می‌تواند از انتشار حدود یک کیلوگرم CO_2 در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت فسیلی جلوگیری نماید. برای نمونه در منطقهٔ منجیل هر توربین ۵۰۰ کیلووات، در سال حداقل ۱۵۰۰۰۰ کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌کند که باعث کاهش آلاینده‌های محیط‌زیست خواهد گردید. از طرف دیگر می‌توان به جاذبه‌های طبیعی و چشم‌انداز سیستم‌های انرژی بادی که در معرض دید افراد قرار می‌گیرند اشاره کرد که نمادی از انرژی پاک برای مردم تلقی می‌گردد. در ضمن از سطح زمینی که برای احداث مزرعهٔ برق بادی اختصاص می‌یابد و ۹۰ درصد آن قابل‌استفاده است. انرژی بادی نیز در زمینه تکنولوژی، بین انرژی‌های تجدیدپذیر شتاب رشد بالایی دارد. چرا که هزینه‌های آن در حال کاهش است. توربین‌های بادی، انرژی جنبشی باد را به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌کنند. مقدار این انرژی تولید شده از باد به‌اندازه توربین‌ها و اندازه پره‌ها وابسته است. تولید انرژی از باد در بریتانیا و ایالات متحده آمریکا در سال‌های ۱۸۸۷ و ۱۸۸۸ انجام پذیرفت. اما توربین‌های مدرن، برای اولین‌بار در سال ۱۸۹۱ در کشور دانمارک ساخته شد. توربین‌های بادی بر اساس محور چرخش خود به دو نوع افقی و قائم دسته‌بندی می‌شوند که برای مزارع بادی، محور افقی مرسوم‌تر است. در حال حاضر ۵۲۰ هزار مگاوات ظرفیت نصب شده برای انرژی بادی در سراسر جهان وجود دارد. نکته حائز اهمیت در مورد این انرژی عدم نیاز به آب برای تولید انرژی است. مزرعه بادی گانسو در چین با ظرفیت ۷۹۰۰ مگاوات بزرگ‌ترین مزرعه بادی در جهان است. در سال‌های اخیر، مشکلات زیست‌محیطی و مسائل مربوط به تغییر آب‌وهوای کرهٔ زمین به علت استفاده از منابع انرژی فسیلی بر شدت این تمایلات افزوده است. در سال ۱۹۸۰ اولین توربین برق بادی متصل به شبکهٔ سراسری نصب گردید. بعد از مدت کوتاهی اولین مزرعهٔ برق بادی چند مگاواتی در آمریکا نصب و به بهره‌برداری رسید. در پایان سال ۱۹۹۰ ظرفیت توربین‌های برق بادی متصل به شبکه در جهان به ۲۰۰ مگاوات رسید که تقریباً تمام این تولید مربوط به ایالت کالیفرنیای آمریکا و کشور دانمارک بود. امروزه کشورهای دیگر نظیر هلند، آلمان، بریتانیا، ایتالیا و هندوستان برنامه‌های ملی و ویژه‌ای را در این راستا آغاز کرده‌اند به‌طوری‌که آلمان با تولید بیش از ۱۸۰۰۰ مگاوات برق سعی دارد بیشترین استفاده را از این انرژی تجدیدپذیر ببرد.



شکل ۵-توربینهای بادی

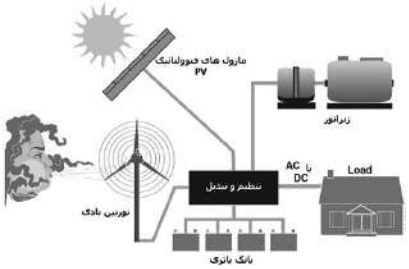
سیستم‌های تولید انرژی هیبریدی، ترکیبی از منابع خورشیدی و بادی

در سیستم‌های تولید انرژی هیبریدی، از دو یا چند منبع متفاوت انرژی به‌صورت ترکیبی استفاده می‌شود که این موضوع سبب می‌شود که در مقایسه با سیستم‌هایی که از یک منبع انرژی تغذیه می‌شوند، سیستم تولید انرژی قابلیت اطمینان بالاتری داشته باشد. مزیت استفاده ترکیبی از دو سیستم خورشیدی و بادی در کنار یکدیگر، بازده بیشتر توربین‌های بادی در فصول سرد و هم چنین استفاده از خروجی پیک تولید پنل‌های خورشیدی در فصل تابستان است.

مزایای بهره‌برداری از انرژی باد

انرژی باد نیز مانند سایر منابع انرژی تجدیدپذیر مزایایی نسبت به انرژی‌های تجدیدناپذیر دارد.

۱- عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت که در نتیجه از میزان مصرف سوخت‌های فسیلی می‌کاهد.
۲- رایگان بودن انرژی باد.
۳- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد نسبت به انرژی‌های فسیلی.
۴- کم‌تر بودن هزینه‌های جاری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی باد در بلندمدت.
۵- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار.
۶- قدرت مانور زیاد، جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه.
۷- عدم نیاز به آب.
۸- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب.
۹- نداشتن آلودگی محیط‌زیست.



شکل۶-سیستمهای ترکیبی

۳-انرژی زمین گرمایی[1]

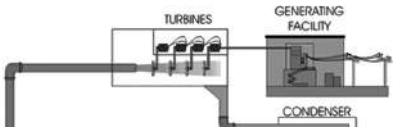
انرژی زمین گرمایی، حرارتی است که از زیر سطح زمین به دست می‌آید. آب و یا بخار، انرژی زمین گرمایی را به سطح زمین منتقل می‌کنند. بسته به مشخصات، انرژی زمین گرمایی می‌تواند برای اهداف گرمایشی و سرمایشی یا تولید برق پاک مورداستفاده قرارگیرد. این منبع کلیدی انرژی، مقدار قابل‌توجهی از نیاز الکتریسیته کشورهایی مانند ایسلند، السالوادور، نیوزلند، کنیا و فیلیپین و بیش از ۹۰ درصد نیاز گرمایی ایسلند را پوشش می‌دهد. ایسلند پرچم‌دار استفاده از این انرژی است. مزایای این نوع انرژی این است که به شرایط آب‌وهوایی بستگی نداشته و ظرفیت بسیار بالایی دارد. کل ظرفیت نصب شده این انرژی در جهان تا پایان سال ۲۰۱۷، نزدیک به ۱۳ هزار مگاوات می‌باشد. مجتمع گیزر، در ایالت کالیفرنیا با ظرفیت نصب شده ۱۵۲۰ مگاوات، بزرگ‌ترین مجموعه زمین گرمایی در جهان است. چهار روش اصلی برای استفاده از انرژی زمین گرمایی وجود دارد: نیروگاه زمین گرمایی، پمپ حرارتی زمین گرمایی استفاده مستقیم و سیستم‌های تقویت‌شدهٔ زمین گرمایی. انرژی زمین گرمایی را نوعی «انرژی پایدار» و تجدیدپذیر می‌دانند؛ چرا که این نوع منبع انرژی نسبت به میزان مصرف ممکن بسیار بزرگ است و به‌صورت پیوسته جایگزین می‌شود. با این که سیارهٔ زمین به شکل مداوم و به‌آرامی خنک می‌شود، برداشت بخشی از انرژی توسط انسان تأثیر خاصی در تسریع روند خنک‌شدن نشان نمی‌دهد.



شکل ۷-تصاویری از انرژی زمین گرمایی

بزرگ‌ترین منابع انرژی زمین گرمایی جهان در کشور چین در دل زمین نهفته و بعدازاین کشور در مقام دوم مجارستان قرار گرفته است. مجارستان باتوجه‌به مساحت کشور، غنی‌ترین کشور جهان به‌حساب می‌آید. بیشترین برق زمین گرمایی در فیلیپین، نیکاراگوئه، ایسلند و نیوزیلند تولید می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفتهٔ جهانی، ایران در گروه کشورهایی که دارای ذخایر احتمالی برای تولید برق از انرژی زمین گرمایی با استفاده از سیکل‌های تبخیر لحظه‌ای و تمام سیال (برای دوره ۳۰ساله) قرار گرفته است و قابلیت تولید برق زمین گرمایی با ظرفیت بیش از ۲۰۰ مگاوات دارد. باید بدانید از منابع گرمایی با دمای بین ۳۰ - ۱۵۰ درجهٔ سانتیگراد برای تولید برق استفاده نمی‌شود؛ بلکه از این منابع برای گرمایش ساختمان‌های مسکونی و تجاری، استخرهای پرورش ماهی، گرمایش موردنیاز در فرایندهای صنعتی و حمام بهره می‌برند.

همچنین در قریب به ۷۵ کشور جهان از پمپ حرارتی زمین گرمایی در قسمتی از زمین با دمای بین
۱۰ -۷ ۲۰ درجهٔ سانتیگراد برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها استفاده می‌کنند. جالب است بدانید که گرمایش خانگی بیشترین سرعت رشد در میان روش‌های دیگر را به خود اختصاص داده است.



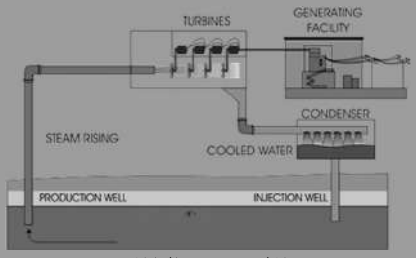
جدول۲-تعداد مناطق زمین گرمایی احتمالی

نیروگاه

این تأسیسات از گرمای عمق زمین و انتقال آب یا بخار داغ به سطح زمین برای تولید برق استفاده می‌کنند. برای دسترسی بهتر به منابع گرمایی، چاه‌هایی در اعماق پوسته حفر می‌شود. حفاری‌ها عموماً در کنار چشمه‌های آب گرم، آتش‌فشان‌های جوان انجام می‌شود؛ چراکه در چنین مکان‌هایی در یک فاصلهٔ معقول دسترسی به نقطهٔ داغ وجود دارد. آب داغ در چنین نقاطی می‌تواند به بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد نیز برسد. سه نوع طراحی برای چنین نیروگاه‌هایی وجود دارد: بخار خشک[2]، بخار دوفازی[3] و مایع داغ[4].

1.Geothermal Energy 2.dry steam 3.flash steam 4.binary cycle

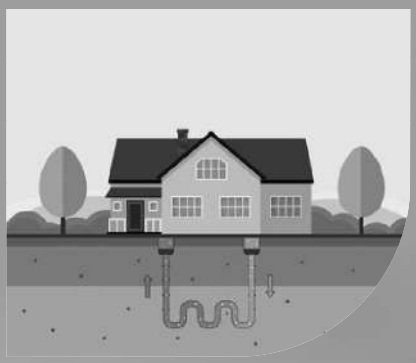
طراحی نیروگاه بر اساس دما، عمق و کیفیت آب یا بخار خارج شده دارد. اگر سیال خارج شده بخاری فوق داغ یا خشک[5] باشد، از آن مستقیماً برای به حرکت درآوردن توربین استفاده می‌گردد. اگر سیال خارج شده دوفازی یا مایعی با دمای بالا باشد، از سیستم دوفازی بهره می‌گیرند. در نهایت اگر دمای سیال پایین باشد در یک سیستم مایع داغ، ابتدا گرمای سیال در یک مبدل حرارتی منجر به تبخیر سیال دیگری با دمای جوش پایین‌تر می‌شود و در نهایت بخار تولیدی وارد توربین می‌گردد.



شکل ۸–سیستم بخار خشک

پمپ حرارتی

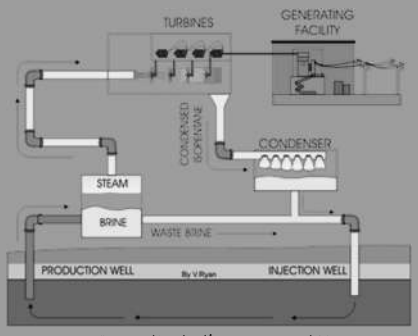
پمپ حرارتی زمین گرمایی یا سیستم تبادل حرارت با زمین فناوری نوینی است که با استفاده از حرارت زمین (نه سیال زمین گرمایی) شرایطی مطبوع را برای مکان‌های سرپوشیده فراهم می‌سازد. ازآنجاکه پمپ‌های حرارتی از سیال مخازن زمین گرمایی استفاده نمی‌کنند، از این روش می‌توان تقریباً در همه جای جهان که شیب حرارتی متعارف یا بالاتر دارند بهره‌گیری کرد.



شکل۹–پمپ حرارتی

سیستم دوفازی

در این نوع نیروگاه، سیال خروجی از چاه‌های تولیدی به‌صورت دوفاز مایع و بخار وجود دارد. به طور تقریبی می‌توان نیروگاه‌های سیال دوفازی را بر اساس چرخهٔ تولید برق و تجهیزات مورداستفاده در آن به سه دسته تقسیم نمود.



شکل ۱۰– سیستم دوفازی استفاده مستقیم

برخی مناطق از منابع انرژی زمین گرمایی به شکلی بهره‌مند هستند که می‌توانند به‌صورت مستقیم برای گرمایش ساختمان‌ها مورداستفاده قرار گیرند. برای مثال از چشمه‌های آب گرم می‌توان در گرمایش ساختمان‌های مسکونی و تجاری، حوضچه‌های پرورش ماهی و ... بهره برد.

کشور ایسلند پیشتاز استفاده از چنین سیستمی در جهان است. بیشت از ۵۰ درصد از انرژی موردنیاز این کشور از گرمای زمین تأمین می‌گردد؛ بیش از ۹۳ درصد منازل با انرژی زمین گرمایی گرم می‌شود که منجر به صرفه‌جویی بالغ بر ۱۰۰ میلیون دلاری در سال برای مردم می‌گردد. با سیستم گرمایش مستقیمی با طول ۲۵ کیلومتر - بزرگ‌ترین سیستم جهان –Reykjavik که روزی از آلوده‌ترین شهرهای جهان بود، هم‌اکنون به یکی از پاک‌ترین مناطق جهان تبدیل شده است.

سیستم تقویت‌شده زمین گرمایی

با این که گرمای زمین در همهٔ پوسته در سراسر جهان وجود دارد، تنها در ۱۰ درصد پوسته آب به شکلی جریان دارد که قابل‌استخراج است. این سیستم برای استخراج گرما از زمین‌های خشک طراحی می‌شود. البته چنین طرحی برای استخراج گرما از مناطقی که به علت بهره‌برداری زیاد خشک شده‌اند نیز، کاربردی است.

در این سیستم‌ها آب به شکل فعال درون چاه‌های تزریق با فشار بالا پمپ می‌شود. آب پمپ شده بعد از حضور در لایه‌های داغ زیرین گرم می‌شود و بالا می‌آید. این روش از روش بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز الگو گرفته است.



٤–زیست انرژی

استفاده از زیست انرژی[6] به دودسته اصلی تقسیم می‌شود: سنتی و مدرن.

استفاده سنتی، به سوزاندن زیست‌توده در اشکال چوب، لاشه حیوانات و زغال اشاره می‌کند. تکنولوژی زیست انرژی مدرن شامل سوخت‌های زیستی مایع که از قارچ‌ها و دیگر گیاهان تولید می‌شود، پالایشگاه‌های زیستی بیوگاز که ازطریق هضم بی‌هوازی پسماندها تولید می‌شود و دیگر تکنولوژی‌ها می‌باشد. زیست‌توده پتانسیل زیادی برای افزایش و ارتقا تأمین انرژی در کشورهای پر جمعیت با افزایش تقاضا مانند برزیل، هند و چین را دارد. زیست‌توده می‌تواند به طور مستقیم برای گرمایش و یا تولید برق سوزانده شود یا می‌تواند به جایگزین نفت یا گاز تبدیل شود. سوخت‌های زیستی مایع، به‌عنوان یک جایگزین تجدیدپذیر مناسب برای بنزین، به طور گسترده در بخش حمل‌ونقل استفاده می‌شود. زیست‌توده یا بیومس اصطلاحی است که در اشاره به پسماندهای برجای‌مانده از یک موجود زنده یا مرده استفاده می‌شود. باتوجه‌به خطراتی که به دلیل کاهش سوخت فسیلی بشر امروز را تهدید می‌کند، دانشمندان سراسر جهان به دنبال یافتن راهکارهایی هستند که نیاز بشر به انرژی اولیه را تأمین کنند. درکنار چوب، ضایعات و سوخت‌های الکلی این انرژی از ذرات و الیاف برخی از گیاهان نیز تهیه می‌شود. در مواردی بیومس از چربی‌های حیوانی نیز به‌دست‌آمده است. درواقع امروزه دانشمندان از هر آنچه که حیات دارد یا روزگاری می‌زیسته است، انرژی زیست‌توده را استخراج می‌کنند.

منابع انرژی زیست‌توده

بخشی از تشعشع خورشید که به اتمسفر زمین می‌رسد، به دلیل فرایند فتوسنتز در گیاهان جذب می‌شود. بیشترین راندمان تبدیل انرژی خورشیدی بین ۵ تا ۶ درصد است. حدود ۹۰ درصد این انرژی که در درختان ذخیره می‌شود معادل ذخایر سوخت‌های فسیلی قابل‌استخراج و به ثبت رسیده می‌باشد. منابع بیومسی که برای تولید مناسب هستند به‌طورکلی به شش گروه تقسیم می‌شوند:

۱– سوخت‌های چوبی
۲– زائدات جنگلی، کشاورزی، باغداری و صنایع غذایی
۳– ضایعات جامد زباله‌های شهری
۴– فضولات دامی
۵– فاضلاب‌های شهری
۶– فاضلاب‌ها، پس‌ماندها و زائدات آلی صنعتی

تمام این موارد دارای مواد آلی هستند و توانایی سوختن دارند، بنابراین برای هرکدام می‌توان ارزش حرارتی مشخصی را تعیین نمود. ترکیب هر مادهٔ سوختنی آلی با اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و آب به انضمام مقدار زیادی انرژی گرمایی آزاد می‌شود.

5.superheat vapor
6. Bioenergy



تولید برق از زیست‌توده

تکنولوژی‌هایی که برای تبدیل زیست به انرژی به کار برده می‌شود از سیستم بخاری‌های ساده تا واحدهای پیرولیز (فرایندهای ترموشیمیایی) پیشرفتهٔ تولید کنندهٔ سوخت‌های جامد، مایع و گازی را شامل می‌شوند. تکنولوژی‌های تبدیل بیومس می‌توانند به سه دستهٔ اساسی تقسیم شوند.

۱- فرایندهای احتراق مستقیم

حرارت یا بخار تولید شده به این روش برای تولید الکتریسیته و یا فراهم‌کردن حرارت موردنیاز برای مصارفی نظیر فرایندهای صنعتی، گرمایش فضا و یا گرمایش نواحی مختلف شهری مصرف می‌شود.

۲- فرایندهای ترموشیمیایی

پیرولیز از اساسی‌ترین فرایندهای ترموشیمیایی در تبدیل زیست‌توده به محصولات باارزش و مناسب است. محصولات تولید شده عبارت‌اند از یک مخلوط گازی، یک مایع و چیزی شبیه زغال کربنی خالص.

۳- فرایندهای بیوشیمیایی

این نوع فرایندها در بیوشیمی مواد خام و فعالیت متابولیک ارگانیسم‌های میکروبی جهت تولید سوخت‌های گازی و سوخت‌های مایع کاربرد دارد.

استخراج انرژی از زیست‌توده

زیست‌توده‌های جامد مانند چوب و زباله به شکل مستقیم سوزانده می‌شوند و انرژی گرمایی موردنیاز را فراهم می‌کنند. از طرفی زیست‌توده قابل‌تبدیل به گاز زیستی یا سوخت مایع با نام سوخت زیستی نیز است. این سوخت را می‌توان در مصارف گوناگونی برای تأمین انرژی اولیه موردنیاز به کار برد. گاز زیستی غالباً از کاغذ، پسماند غذاها و تجزیه پسماندها در مکان‌ها دفع زباله به دست می‌آید. در برخی از موارد این گاز زیستی از فرایندهایی که روی فاضلاب و فضولات حیوانی در دستگاه مخصوصی انجام می‌شود نیز به دست می‌آید. اتانول نیز از گیاهانی مانند ذرت و نیشکر استخراج شده که در تولید سوخت خودروها از آن بهره می‌گیرند. ازاین‌گذشته نوعی از زیست سوخت نیز با نام بیودیزل یا دیزل زیستی نیز وجود دارد که از چربی حیوانات و روغن‌های گیاهی تهیه می‌شود.

انرژی حاصل از پسماندها

زمانی که بنا باشد زیست‌توده از زباله‌های جامد شهری، پسماندها و موادی که در مکان‌های دفع زباله استخراج شوند، در واقع باانرژی حاصل از پسماند روبه‌رو هستیم. در این حالت پسماندهای تولید و یکی از منابعی که در تولید زیست‌توده از آن استفاده می‌شود نیز به شمار می‌رود. تمام پسماندهای موجود در بخش زباله و تولیدات کارخانه‌ها به‌منظور تولید الکتریسیته در نیروگاه‌ها سوزانده می‌شوند. در مواردی پسماندها در محل‌های دفع زباله دفن می‌شوند تا گاز زیستی حاصل از تجزیه این پسماندها استخراج شود.

زیست سوخت

زیست سوخت نیز یکی از انواع زیست‌توده به شمار می‌رود. در واقع اتانول و بیودیزل از جمله محبوب‌ترین سوخت‌های الکلی هستند که توجه بسیاری از دولت‌ها را به خود جلب کرده‌اند. در تولید زیست سوخت از گیاهان و دانه‌های برجای‌مانده از محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. به‌عنوان‌مثال ذرت و نیشکر از جمله منابعی هستند که در تولید زیست سوخت بکار می‌روند. در این حالت پسماندهای کشاورزی به دو صورت به کار برده می‌شود. ممکن است این پسماندها به شکل مستقیم به‌عنوان تأمین‌کننده انرژی سوزانده شوند یا به زیست سوخت تبدیل شوند.

زیست‌گاز

اگر بنا باشد بیومس به شکل گاز استفاده شود نیز امکان استخراج انرژی پسماندهای زباله‌دانی‌ها و مواد غذایی مصرفی مردم منبع بسیار خوبی برای تولید گاز زیستی خواهد بود. از طرفی فاضلاب انسانی و فضولات حیوانی نیز در این پروسه ارزشمند است. این منابع ارزان‌قیمت زیست‌گاز ارزشمندی را در خدمت صنایع و دولت‌ها قرار می‌دهند.

اتانول و بیودیزل

اتانول سوختی تجدیدپذیر است که کاملاً شفاف، بی‌رنگ و اندکی سمی است. این سوخت از شکر موجود در نیشکر و ذرت تهیه می‌شود. از گذشته تا به امروز از این سوخت استفاده می‌شده، اما امروزه توجه ویژه‌ای به این سوخت می‌شود؛ چراکه این سوخت به‌عنوان یک سوخت جایگزین در صنعت حمل‌ونقل به کار می‌رود.

چالش‌های پیشروی زیست‌توده

ازآنجایی‌که بیومس در مقایسه با سوخت‌های فسیلی به‌مراتب رقیق‌تر است، بنابراین هم‌خوانی بیشتری با زمین و آب دارد، اما از سوی دیگر کسانی که فاقد زیرساخت‌های لازم برای تحویل و تولید این سوخت هستند باید هزینه‌های بالایی را برای تأمین این زیرساخت‌ها بپردازند. از طرفی سوزاندن بیومس اگرچه در مقایسه با سوخت‌های فسیلی آسیب کمتری به محیط‌زیست وارد می‌کند، اما این سوخت نیز برای محیط‌زیست کاملاً بی‌خطر نیست. در حقیقت حتی سوزان چوب در شومینه‌ها نیز برای محیط‌زیست اتفاق خوشایندی نخواهد بود. به همین دلیل سوزاندن چوب در بسیاری از ایالت‌های آمریکا ممنوع شده است چراکه سوخت این ماده زیستی آلاینده‌های بسیار بدی را وارد جو می‌کند. بااین‌وجود خوشبختانه تکنولوژی‌های جدید در حوزه کنترل آلودگی‌های محیط‌زیست میزان آلاینده‌های زیست‌توده را در مقایسه با سوخت‌های فسیلی به‌مراتب کاهش داده است. به‌علاوه گاز دی‌اکسیدکربن حاصل از یک سال سوختن بیومس در آینده توسط دانه‌ها و گیاهانی که در این صنعت به کار برده می‌شوند و در فرایند فتوسنتز جذب و از هوا خارج خواهد شد. از سوی دیگر همان‌طور که گفته شد از اتانول و سوخت‌های الکلی به‌شدت استقبال شد. دلیل توجه دولت‌ها و صنایع از این سوخت میزان دی‌اکسیدکربن بسیار پایینی است که در اثر سوختن این سوخت تولید می‌شود.

از بیوگاز یا زیست‌گاز چه استفاده‌ای می‌شود؟

از بیوگاز می‌توان استفاده‌های گوناگون کرد که هر یک نیازهای جداگانه‌ای را طلب می‌کند.

الف) اجاق‌های بیوگاز سوز

اجاق‌های بیوگاز سوز به دلیل سادگی طرح و قیمت مناسب دارای پایه و بدنهٔ فلزی معمولی هستند؛ ولی شعله‌پخش‌کن آن‌ها باید از فلزات مقاوم در برابر خوردگی ساخته شود.

ب) لامپ‌های بیوگاز سوز

این لامپ‌ها بازدهی کمی دارند و به دلیل حرارت بالا امکان آتش‌سوزی نیز وجود دارد. با کمک بیوگاز می‌توان روشنایی شهرها را تأمین و به این وسیله در مصرف سوخت‌های فسیلی که مادهٔ اولیه موردنیاز در نیروگاه‌ها هستند صرفه‌جویی کرد.

پ) بخاری‌های تابشی

بخاری‌های مادون‌قرمز همراه با تهویهٔ مطبوع برای پرورش و نگهداری از حیوانات مانند دامداری‌ها به کار می‌روند. این بخاری‌ها بدنهٔ سرامیکی دارند که به‌وسیله شعلهٔ بیوگاز تا ۶۰۰ الی ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شوند. استفاده از این بخاری‌ها به مراقبت و نگهداری ویژه نیاز دارد.

ت) آب‌گرم‌کن‌های بیوگاز سوز

در این دستگاه‌ها از بیوگاز به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود و برای گرمایش خانه و فضاهای اداری و صنعتی به کار می‌روند.

ث) یخچال

یخچال‌های نوع جذبی که با آمونیاک و آب‌کار می‌کنند، می‌توانند از بیوگاز به‌عنوان سوخت استفاده کنند. در صورت استفاده از بیوگاز در این یخچال‌ها حتماً باید پیلوت ایمنی به کار برده شود. بسته به دمای محیط، یک یخچال ۱۰۰ لیتری روزانه ۲۰۰۰ لیتر بیوگاز مصرف می‌کند.

ج) موتورهای بیوگاز سوز

از بیوگاز حاصل از بیوماس می‌توان به‌عنوان سوخت در انواع موتورهای موجود دیزلی و چرخه‌ای و یا چهارزمانه استفاده کرد.



تاریخچه زیست‌توده در ایران

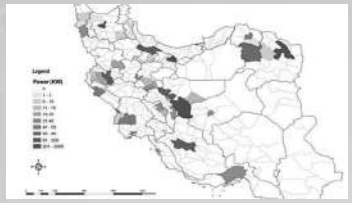
شیخ بهائی (1031-935 هجری قمری) جزء نخستین کسانی بوده که از بیوگاز حاصل از زیست‌توده (فاضلاب حمام) استفاده کرده و آن را به‌عنوان سوخت یک حمام در اصفهان به کار برده است. اولین هاضم تولید گاز متان در ایران در روستاهای نیازآباد لرستان در سال 1354 ساخته شده است. این دستگاه به گنجایش 5 مترمکعب فضولات گاوی روستا را مورداستفاده قرار داده و بیوگاز مصرفی حمام مجاور را تأمین می‌نموده است. از نظر استفاده‌های سنتی از این منبع، مطابق سرشماری سال 1375، 10 درصد خانوارهای روستایی برای گرمایش منازل خود و 5 درصد خانوارهای روستایی برای پخت‌وپز عمدتاً از چوب و فضولات دامی استفاده می‌کرده‌اند. در سال 1359 دو واحد کوچک آزمایشی در دانشگاه بوعلی سینا همدان احداث گردید که با فضولات کشتارگاه و کود گاوی تغذیه می‌گردید. دانشگاه صنعتی شریف نیز در سال 1361 یک واحد 3 مترمکعب را به‌صورت آزمایشی موردمطالعه قرارداد که با فضولات گاوی بارگیری می‌شد.

پتانسیل انرژی زیست‌توده درایران

دسته‌بندی ایران به‌عنوان یک کشور خشک توجیهی بر عدم استفاده از منابع زیست‌توده نمی‌باشد. چرا که مطالعات تطبیقی صورت‌گرفته در کشورهای خاورمیانه با شرایط مشابه حاکی از استفاده فعلی انرژی زیستی یا درنظرگرفتن انرژی منابع مذکور در چشم‌انداز آن‌ها می باشد.



شکل۱۲-اطلس مناطق دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی



شکل۱۳-اطلس منابع زیستتوده ایران



شکل۱۳-اطلس منابع زیستتوده ایران

منابع:

https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy/
https://www.irena.org/
https://www.britannica.com/science/renewable-energy
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032199000118
https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/940290
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054420600301X

بررسي امکان تولید برق با استفاده از بیوگاز تولید شده از زباله‌هاي شهری با روش‌های بی‌هوازی و لندفیل

یاسر عاقبتی املشی
مدرس دانشگاه آزاد- گیلان

چکیده

محدودیت انرژی‌های فسیلی و رشد روز افزون تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن کره زمین و در نهایت مشکلات زیست محیطی سبب گردیده تا هر روز شاهد پیشرفت‌هایی در فناوری و استفاده از انرژی‌های نو باشیم. نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان نیروگاه‌های پیشرفته و نوین در حال توسعه بوده و به‌سرعت با افزایش میزان قدرت منصوبه و کاهش قیمت روبرو می‌باشد. بهره‌برداری از تجربیات کشورهای توسعه‌یافته منجر به استفاده از انرژی‌های نوین در کشورهای در حال توسعه خواهد شد. در این مقاله ابتدا روش‌های گوناگون استحصال انرژی و بیوگاز از زیست توده بررسی شده و سپس واحدهای تولید کنندهٔ بیوگاز شناسایی گردیده و آنگاه مطالعهٔ نسبتاً کاملی ازکارهای انجام شده در این باره در کشور انجام گرفته است.

واژه های کلیدی: بیوگاز، انرژی ، تصفیه بی‌هوازی ، راکتور، لندفیل

مقدمه

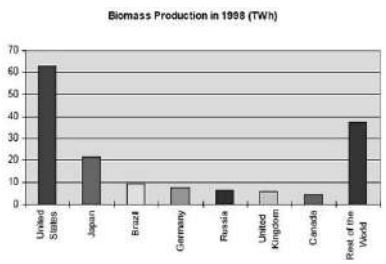
پسماندهای موجود در لندفیل (خاک چال) شامل مواد با تنوع وسیعی می باشند، اما قسمت عظیمی از آنها قابلیت تجزیه زیستی را دارا هستند. این مواد شامل پسماندهای دامی ، مواد گیاهی،کاغذ و چوب بوده که توسط میکرو ارگانیسم ها در لندفیل تجزیه می شوند. در این فرآیند گاز تولید شده که حاوی درصد بالای گاز متان می باشد را می‌توان با سوزاندن در ژنراتورهای CHP تبدیل به انرژی الکتریکی (برق) و حرارتی (آب داغ) نمود.دفن زباله‌ها در دفنگاه‌ها (لندفیل) و تشکیل حوزه‌های متمرکز دفن زباله شهری، علاوه بر سازماندهی و مدیریت زباله هدف‌هایی چون جمع‌آوری بیوگاز تولیدی و جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای را دنبال می کند. امروزه در بیشتر کشورهای جهان به دلیل وضع قوانین زیست‌محیطی شدید، از روش سنتی سوزاندن زباله استفاده نمی‌شود. زیرا به دلیل وجود این قوانین، صنایع موظف به نسب فیلترها و سایر تجهیزات کنترل‌کننده آلاینده‌های زیست محیطی هستند و از این رو به دلیل تحمیل هزینه‌های گزاف، این روش جای خود را به دفن زباله در دفنگاه‌ها داده است. با این وجود بی‌توجهی به دفنگاه‌ها و رها کردن زباله در محل دفن بدون تدابیر زیست محیطی نیز امکان پذیر نیست. در گذشته مقررات خاصی برای مکان‌های دفن زباله (لندفیل) وجود نداشت و لندفیل‌ها مکان‌هایی بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می‌کردند. با افزایش جمعیت و افزایش تولید زباله‌های شهری مقررات خاصی توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در مورد تشکیل لندفیل‌ها وضع شد و به تدریج سایر کشورها نیز به توسعه و اجرای این قوانین پرداختند. با رشد آگاهی نسبت به تاثیر آلاینده‌های لندفیل‌های غیر مهندسی بر محیط زیست ضوابطی برای طراحی لندفیل‌ها شکل گرفت[۲].

تاریخچه

از نقطه نظر تاریخی، استفاده از انرژی بیومس (زیست توده) به آغازی‌ترین دوره‌های تاریخ باز می گردد، از زمانی که آتش شناخته شد، انسان نخستین هموراه چوب و برگ خشک گیاهان را به عنوان سوخت استفاده می کرد و این چرخه تا قرن حاضر نیز ادامه پیدا کرده است[۳]. قدیمی ترین مورد خروج گاز و اشتعال ناقص آن به وسیله دفن زباله در طبقات زیر زمین، توسط پیلی نی روس گزارش شده است. وی خروج گانه گاه گاز طبیعی و اشتعال آن را از طبقات زیرین زمین مشاهده کرد. ولی وان هلمونت در سال ۱۶۳۰ شناسایی و اشتعال این گاز را رسماً اعلام کرد. در سال ۱۶۶۷ دانشمندی به نام شرلی، گاز مرداب را کشف نمود ولی اصلی ترین تاریخچه عملی گاز متان به عنوان ترکیب اصلی بیوگاز حاصل از مواد تخمیر شده توسط ولتاو در سال ۱۷۷۶ شروع شده است[۳,۴]. شروع تحقیقات عمده در زمینه تخمیر غیر هوازی و کاربرد آن در کشاورزی را به شخصی به نام دیوی و در سال ۱۸۰۸ نسبت داده اند. در سال ۱۸۸۴ طرحی به اجرا درآمد که به وسیله انرژی بیومس روشنایی خیابان‌های شهر زیبای پاریس را تأمین می نمود. امروزه منابع مفید و کاربردی بیومس تنها به چوب و برگ خشک محدود نمی‌شود و طیف وسیعی از مواد، از جمله ضایعات جامد و مایع شهری و ضایعات صنعتی و غیره را نیز در بر می‌گیرد. به عنوان مثال در طول سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ میانگین مصرف سالانه انرژی بیوماس در جهان عادل ۱۴ کوادریلیون بوده است[۵].

زیست توده در جهان

بیش از Twh ۱۵۵ برق زیست توده در جهان در سال ۱۹۹۸ تولید شده است، این بخش به شکل واضح توسط آمریکالی شمالی با تولید Twh ۶۸ (۴۳/۵ ٪ از مجموع جهانی) مورد تسلط واقع شده است. اروپای غربی (Twh ۴۰) و شرق آسیا (Twh۲۵) به ترتیب جایگاه‌های دوم و سوم را در شامل می‌شوند. در ایالات متحده آمریکا، زیست توده بیش از ۳ ٪ از مصرف انرژی ایالات متحده را نمایندگی می‌کند؛ در فنلاند، سوئد و اتریش، ۱۳ تا ۱۸ ٪ از برق تولیدی توسط زیست توده پشتیبانی می‌شود[۹].



شکل) A.۷ : کشورهای اصلی تولید کننده برق از زیست توده در سال ۱۹۹۸ [۹]

تکامل تولید انرژی از زیست توده بین سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۸ ، توسط رشد پایدار اروپای غربی (۷/۸ + ٪ به ازای هر سال)، شرق آسیا (۷/۲+ ٪ و جنوب آمریکا (۶/۸+٪) مشخص می شود. از سوی دیگر، این دوره شاهد از بین رفتن تولید در یکی از تولیدکنندگان مهم بود؛ تولید در کشورهای مشترک المنافع (شوروی سابق) از Twh ۳۰/۶ در سال ۱۹۹۳ به Twh ۶/۵ در پایان سال ۱۹۹۸ رسید. لازم به ذکر است، نرخ رشد متوسط سالانه این صنعت در سطح جهانی، ۰/۲ ٪ می‌باشد[۹,۱۰].

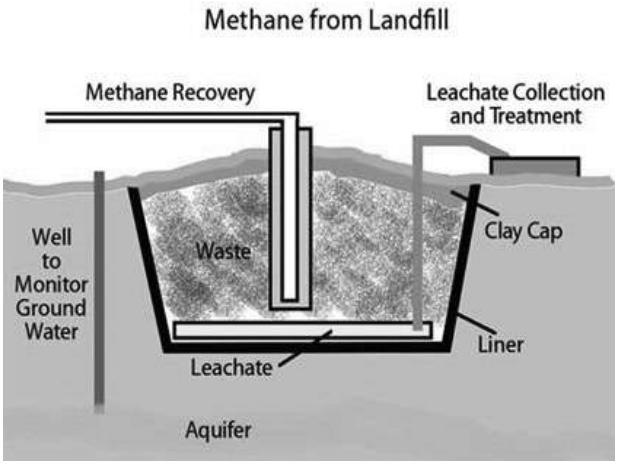
بیوگاز- لندفیل

پسماندهای موجود در لندفیل (خاک چال) شامل مواد با تنوع وسیعی می‌باشند، اما قسمت عظیمی از آن‌ها قابلیت تجزیه زیستی را دارا هستند. این مواد شامل پسماندهای دامی ، مواد گیاهی،کاغذ و چوب بوده که توسط میکرو ارگانیسم ها در لندفیل تجزیه می شوند. در این فرآیند گاز تولید شده که حاوی درصد بالای گاز متان می باشد را می توان با سوزاندن در ژنراتورهای CHP تبدیل به انرژی الکتریکی (برق) و حرارتی (آب داغ) نمود[۱۱]. دفن زباله‌ها در دفنگاه‌ها (لندفیل) و تشکیل حوزه‌های متمرکز دفن زباله شهری، علاوه بر سازماندهی و مدیریت زباله هدف‌هایی چون جمع‌آوری بیوگاز تولیدی و جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای را دنبال می‌کند. امروزه در بیشتر کشورهای جهان به دلیل وضع قوانین زیست‌محیطی شدید، از روش سنتی سوزاندن زباله استفاده نمی‌شود. زیرا به دلیل وجود این قوانین، صنایع موظف به نسب فیلترها و سایر تجهیزات کنترل‌کننده آلاینده‌های زیست محیطی هستند و از این رو به دلیل تحمیل هزینه‌های گزاف، این روش جای خود را به دفن زباله در دفنگاه‌ها داده است. با این وجود بی‌توجهی به دفن‌گاه‌ها و رها کردن زباله در محل دفن بدون تدابیر زیست محیطی نیز امکان پذیر نیست. در گذشته مقررات خاصی برای مکان‌های دفن زباله (لندفیل) وجود نداشت و لندفیل‌ها مکان‌هایی بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می‌کردند. با افزایش جمعیت و افزایش تولید زباله‌های شهری مقررات خاصی توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در مورد تشکیل لندفیل ها وضع شد و به تدریج سایر کشورها نیز به توسعه و اجرای این قوانین پرداختند. با رشد آگاهی نسبت به تاثیر آلاینده‌های لندفیل‌های غیر مهندسی بر محیط زیست ضوابطی برای طراحی لندفیل‌ها شکل گرفت[۱۲].



شکل۸) سیستم جمع آوری بیوگاز از لندفیل

جمع آوری بیوگاز به دو روش فعال (Active) و غیر فعال (Passive) صورت می‌گیرد که به‌طور خلاصه، درسیستم‌های جمع‌آوری فعال از دمنده‌های مکانیکی و یا کمپرسورها به منظور ایجاد یک گرادیان فشار اجباری به عنوان نیروی منتقل کننده گاز استفاده می‌شود. در حالی که در سیستم‌های جمع آوری غیرفعال، گرادیان فشار طبیعی به وجود آمده بین فشار گاز تولیدی داخل لندفیل و فشار هوای محیط، باعث انتقال و استخراج گاز می گردد . اگر در یک لندفیل از پوشش‌های مصنوعی مناسب در کف، دیواره‌ها و روی سطح بالایی برای محبوس‌کردن گاز لندفیل استفاده شود، یک سیستم جمع آوری غیرفعال نیز می تواند بازده عملکردی مشابه بازده سیستم های فعال داشته باشد[۱۳،۱۴]. سیستم‌های جمع آوری فعال از نظر ساختار لوله‌گذاری نیز به دو دسته چاهک های عمودی Vertical Wellsو کانال‌های افقی Horizontal Trenchesتقسیم می‌شوند. انتخاب نوع سیستم جمع آوری گاز برای یک لندفیل خاص بستگی به مشخصات و محدودیت‌های موجود دارد. برای مثال در لندفیل‌هایی که عملیات حفر عمیق با خطر همراه است یا به دلایل دیگر امکان اجرای چاهک های عمودی وجود ندارد از روش کانال‌های افقی استفاده می‌شود.



شکل ۹) سیستم های جمع آوری فعال از نظر ساختار لوله گذاری[۱۵]

عدم توجه به محل‌های دفن زباله می‌تواند اثرات جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد، به طور کلی اثرات زیست‌محیطی گاز لندفیل عبارتند از:

ایجاد بوهای نامطبوع

انتشار گازهای آلاینده

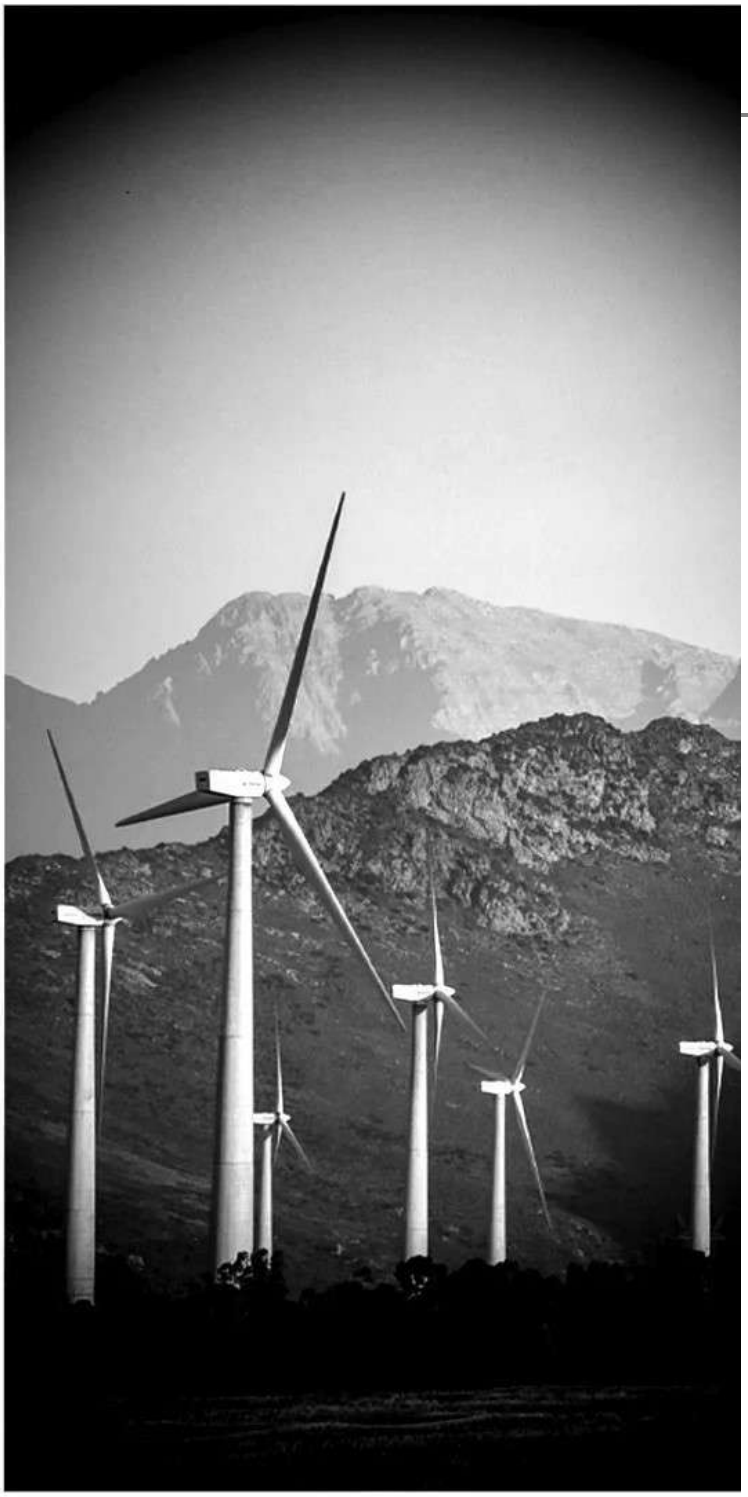
آلودگی آب‌های زیر زمینی و گاهاً سطحی

خطرات بهداشتی

تاثیر در پدیده گرمایش جهانی از طریق تولید گاز متان

احتمال بروز آتش سوزی و انفجار در محل دفن

استفاده از گاز حاصل از لندفیل ها می تواند اثرات زیست محیطی خطرناکی که از عملکرد لندفیل‌ها ناشی می شود را کاهش دهد. تولید انرژی الکتریکی از گاز حاصل از محل های دفن زباله، مزایایی را برای کیفیت هوا عرضه می کند. چه در مورد لندفیل‌های جدید و چه در مورد تصمیم گیری برای اصلاح لندفیل‌هایی که قبلاً ساخته شده‌اند. یک نیروگاه گازی لندفیلی(بیوگازی)، متان زائد را می‌سوزاند. گاز متانی که در غیر اینصورت یا در اتمسفر آزاد می شود ویا در فرآیند شعله ور(Flaring) سوزانده می‌شود[۱۶].



فرآیندهای ترموشیمیایی

در فرآیندهاي ترموشيميايي، بيومس با دريافت گرما به محصولات بسيار با ارزشي، كه معمولا از نوع يک مخلوط گازي، يک مايع نفت ما نند ، و يا چيزي شبيه زغال كربني خالص مي‌باشند، تبديل مي‌گردد. توزيع اين محصولات بستگي به ميزان و حجم بيومس، دما و فشار واكنش، مدت زمان حضور در محل احتراق و ارزش گرمايي بيومس دارد.

در فرآيندهاي ترمو شيميايي دما بالا (بيشتراز۱۰۰۰ درجه سانتيگراد) ، بيومس به گاز تبديل مي گردد و در فرآيندهاي دما پايين (كمتر از ۴۰۰درجه سانتيگراد) به عنوان مثال زغال چوب توليد مي گردد . با استفاده از روش‌هايي، ميتوان بيومس توليد سوخت‌هاي مايع و يا مواد شيميايي ديگر نيز نمود .

فناوري ترموشيميايي در صورتيكه نوع فرآيند متناسب با نوع ماده خام و نوع محصول مورد نظر انتخاب شود وشرايط عملياتي با دقت كافي تنظيم شوند، داراي عملكرد خوبي مي‌باشد.



درکشورهاي اروپايي توليد سوختهاي مايع براي کاربرد درصنعت ترابري و موتورهاي احتراق داخلي از اهميت بالايي برخوردار مي باشد، درحاليکه در برخي ازکشورها نظير برزيل توليد زغال براي کاربرد درصنايع ذوب فلزات و سراميک داراي اهميت است . برخي ازکشورها مانند کانادا بر روي بازيافت سوخت مايع و نيز توليد سوخت گازي تلاش‌هاي فراواني نموده اند. براساس تجربيات حاصله ، فن آوري توليد. زغال و توليد گاز مصنوعي با ارزش حرارتي پائين، داراي کمترين پيچيدگي مي باشند. توليد سوختهاي مايع نيازمند تجهيزات و ملحقات بيشتري است و به دقت بيشتري نياز دارد . چوب و زائدات جنگلي مناسب ترين مواد خام براي فناوري ترموشيميايي محسوب مي‌گردند. پس از آنها زائدات کشاورزي لينگوسلولزي در رده بعدي ارزشي جاي دارند . زباله هاي شهري بدليل ناهمگوني در ترکيب خود، عملکردي چندان خوبي در اين فن آوري نشان‌نداده اند ، چنان‌که درآمريکا تنها يک واحد آتشکافت زباله تا سال ۱۹۹۲ مشغول به کار بوده است[۲۱].

بررسی بیومس از دیدگاه اقتصادی

بيومس، يک منبع تجديدپذير مي‌باشد، که به راحتي در دسترس بشر قرار دارد. ارزش بهاي اين منبع بسيار کم و حتي در بعضي موارد، منفي مي‌باشد. بيوماس کاربردهاي گوناگوني دارد و مي‌تواند به عنوان مواد غذايي حيوانات، مواد اوليه صنعتي، مواد اوليه توليد انرژي و غيره مورد استفاده قرار گيرد، که هرکدام از اين کاربردها داراي ارزش اقتصادي خاص خود مي باشد. افزايش بهاي سوخت‌هاي فسيلي و نيز رو به اتمام بودن آنها از يک طرف و پيشرفت‌هاي سريع در فناوری توليد انرژي با استفاده از منابع بيومس از طرف ديگر، اين منابع را کاملا قابل رقابت با سوخت‌هاي فسيلي مي‌کند و به نظر مي‌رسد، منابع بيومس در آينده يکي از بهترين انتخاب‌ها جهت جايگزيني منابع انرژي فسيلي و تامين انرژي مورد نياز بشر باشد. استفاده از بيومس در مناطق دورافتاده روستايي، براي توليد انرژي الکتريکي و تامين ديگر مصارف انرژي، باعث صرفه‌جويي بسيار در صنعت برق و نيز در مصرف سوخت‌هاي فسيلي مي‌گردد[۲۲].

بررسی زیست محیطی منابع بیومس

استفاده از منابع بيومس، باعث کاهش ميزان اسيدي بودن باران ، آلودگي خاک و آب مي گردد. با کشت محصولات انرژي زا، مي توان جايگاه‌هايي وسيع براي حيات‌وحش تهيه نمود و بدين ترتيب تاثير مثبت بر زندگي آنها داشت. کاهش ميزان آزاد شدن گازهاي گلخانه‌اي : استفاده ازسوخت‌هاي فسيلي جهت تامين انرژي مورد نياز بشر، موجب آزاد شدن حجم بسيار زيادي از گازهاي گلخانه‌اي نظير دي اکسيدکربن و متان در اتمسفر مي گردد، که اين امر به خصوص درسالیان اخير موجب تغييرات نامطلوب آب وهوايي بر روي کره زمين گرديده است . تکنولوژي‌هاي استحصال انرژي از منابع بيومس، به دليل ويژگي‌هاي خاص خود، مي توانند تا حدودي جايگزين مناسبي براي توليد انرژي از طريق احتراق مستقيم فسيلي باشند.

کاهش ميزان اسيدي بودن باران : باران اسيدي يکي از عوامل مهم در از بين بردن درياچه‌ها و آبزيان موجود در آنها و در نتيجه به خطر انداختن زندگي انسان‌ها و نيز حيات وحش مي‌باشد. دليل اصلي به وجود آمدن باران‌هاي اسيدي، رها شدن سولفور و اکسيدهاي نيتروژن ناشي از احتراق سوخت‌هاي فسيلي بر روي کره زمين مي‌باشد. منابع بيومس شامل هيچگونه سولفور نمي‌باشند، و از آنجايي که به آساني با زغال‌سنگ مخلوط مي‌شوند، مي توان با سوزاندن مشترک اين منابع با زغال-سنگ تا حدودي از روند توليد سولفور کاست و بدين طريق باعث کاهش باران‌هاي اسيدي گرديد[۲۳].

کاهش فرسايش خاک : با کشت محصولات انرژي زا در زمين‌هاي حاشيه اي کوير، ميتوان تا حدودي سبب کاهش فرسايش خاک گرديد. محصولات انرژي زا اغلب با دوام هستند، که اين امر موجب استفاده کمتر از ماشين‌آلات کشاورزي در زمين‌هاي زير کشت آنها و در نتيجه باعث کاهش فشردگي، جابجايي و تخريب خاک مي شود.

کاهش آلودگي آب : محصولات بيومس مي توانند به طريق گوناگون، روند آلودگي آب را کاهش دهند . به عنوان مثال با کشت محصولات انرژي زا در زمين هاي حاشيه درياها مي توان از اکوسيستم آبزيان موجود در آنها حفاظت کرد و يا تبديل پسماندهاي شهري و غيرشهري به عناصر سودمند، از انتشار آلودگي و يا جاري شدن آنها به سمت رودخانه‌ها، درياها، آب‌هاي زيرزميني و ديگر منابع آبي جلوگيري نمود.

نتیجه‌گیری

ايران از جمله کشورهايی است که دارای منابع گسترده ای برای توليد بيوگاز می‌باشد. با احتساب مقادير معمول بازدهی بيوگاز از فضولات دامی، زائدات کشاورزی، زباله‌های شهری وفاضلاب‌های شهری و صنايع غذايی و اعمال ضرايب اطمينان، بيوگاز حاصل به طور ميانگين حدود۱۶۱۴۶/۳۵ ميليون مترمکعب، معادل ۳۲۳ پتاژول (۱۰۱۵ ژول) انرژی خواهد بود. متأسفانه علی رغم داشتن اين پتانسيل و فن آوری نسبتاً سادهٔ مولدها و رآکتورهای بيوگاز، از اين منابع هيچ‌گونه استفاده شايانی درکشور نمی‌گردد. واحدهای انگشت شمار موجود هم به علت مشکلات اجرايی و عدم راهبری صحيح و کارآ، بازده مطلوبی ندارند. هم اکنون دو مولد بيوگاز روستايی (هضم فضولاتدامی)، يک مولد هضم فاضلاب انسانی و سه رآکتور تصفيه فاضلاب‌های صنعتی از بيوگاز توليدياستفاده می‌کنند. اين اعداد در مقايسه با تعداد واحدهای بيوگاز روستايی درکشورهای چين، هند و نپال (به ترتيب ۵,۰۰۰,۰۰۰ ، ۲,۷۰۰,۰۰۰ و ۳۷,۰۰۰ [۲۴]) در حکم صفر است. مهم‌ترين عوامل بازدارنده درتوسعه بيوگاز در ايران عبارتند از ارزان بودن انرژی، نبودن مرجع و متصدی مشخص و واحد برای اين نوع انرژی، عدم مشارکت مردمی و عدم آموزش و آشنايی کافی.



منابع

۱. علی زاده بخش بیوگاز مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی های نو «مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران» سازمان انرژی اتمی ایران-۱۳۷۵
۲. قاسمعلی عمرانی»روند توسعه بیوگاز در ایران و جهان»مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران»-صص ۱۵-۱
۳ . غلامرضا علیزاده»بیوگاز و ضرورت توسعهٔ آن در ایران از دیدگاه اقتصادی» مجموعه مقالات اولین... ، آبان ۱۳۷۵-صص ۹۳-۸٤
٤. حسن ستاری ساربانقلی، داوود کبیری»مشکلات، موانع و محاسن توسعه بیوگاز در روستا»مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی- صص ۳۸٦-۳۷۲ - وزارت جهادسازندگی، دفتر مطالعات انرژی ۱۳۷۸
۵. فاطمه تابنده»انرژی حاصل از زیست توده و جایگاه آن در ایران»مجموعه مقالات سمینار توسعه و کاربرد انرژی های نو، صص ۲٦۵-۲۵۲، وزارت نیرو، امورانرژی ، دفتر انرژی های نو، ۱۳۷٦
٦. جلال الدین شایگان ،حسین مهدیزاده و فریده قوی پنجه»تبدیل مواد آلی فاضلاب به گاز متان با استفاده از روش تصفیهٔ بی هوازی»
مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز ۱۳۷۵- صص ٤٦-۳۲
۷- Metcalf & Eddy Inc. Revised by G. Tchobanoglous and F.L Berton"Wastewater Engineering: Treatment,Disposal,Reuse"McGraw Hill ,۱۹۹۱
۸. سید جواد شیخ الاسلامی ، علیرضاکشتکار» فرایند تولید بیوگاز»دومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی ، خرداد ۱۳۷۷.
۹. خلیل شیخ قاسمی»تکنولوژی ساخت دستگاه Deenband hu و تجارب به دست آمده در حین ساخت در ایران» مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز- آبان ۱۳۷۵-صص ۱۳۷-۱۲۸
۱۰. مصاحبه با مهندس شیخ الاسلامی(مسئول بخش بیوگاز سازمان انرژی اتمی) و بازدید از واحد بیوگاز ماهدشت کرج، خرداد ۱۳۷۹
۱۱. مهرداد عدل»برآورد قابلیت های تولید انرژی از زائدات زیستی»
پایان نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران ۱۳۷۸.
۱۲. محمدعلی عبدلی»بیوگاز»سازمان انرژی اتمی ایران، بهمن ۱۳٦٤
۱۳. لودویک ساسه « تأسیسات واحدهای بیوگاز» ترجمه دکتر قاسم نجف زاده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر-۱۳۷٤
۱٤. مصاحبه با دکتر فرور و کاترین رضوی(عضو کانون مطالعات توسعه پایدار)-خرداد ۱۳۷۹
۱۵. برات قبادیان «طراحی بیوگاز گنبدی ثابت» مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز ۱۳۷۵-صص ۱۲۷-۱۰۸
۱٦. مصاحبه با مهندس بلوچستانی (مسئول پروژه های بیوگاز وزارت جهادسازندگی)، اردیبهشت

مقدمه‌ای بر میکروپمپ‌ها

سیدامیررضا عبداللهی
دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش تبدیل انرژی، دانشگاه تبریز انرژی

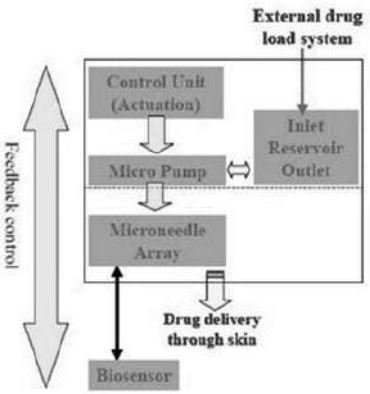
مقدمه

امروزه کاربرد میکروسیستم‌های سیالی در همه زمینه‌های علوم و مهندسی از زیست‌شناسی و علوم گرفته تا پزشکی و مایکرو الکترونیک گسترده شده‌است. در این سیستم‌ها حجم بسیار کوچکی از سیال پمپاژ و کنترل می‌شود تا در ابزارهای دیگر مورداستفاده قرار گیرد. برای مثال، نمونه‌های زیستی باید در مقادیر بسیار جزئی به داخل سیستم‌های مینیاتوری تست و محک، هدایت گردند و سیال خنک‌کننده باید به داخل یک مایکرو مبدل حرارتی رانده شود. بدین منظور روش‌های مختلفی ارائه شده و درحال‌توسعه هستند. ازاین‌دست می‌توان به استفاده از نیروی کشش سطحی، انتشار موج آکوستیک سطحی ، محرک‌های مکانیکی نظیر مواد پیزوالکتریک ، آلیاژهای حافظه‌دار و بسیاری دیگر اشاره کرد که در قسمت بعد به بررسی دقیق آن‌ها خواهیم پرداخت.

بایستی در نظر داشت که باتوجه‌به کاربرد موردنیاز، نوع ریز سیستم سیالی و مشخصات آن تغییر می‌کنند. ازاین‌رو مشخصه-هایی مانند اندازه دستگاه، توان مصرفی، مقاومت در برابر تغییرات، بازدهی و هزینه ساخت در کاربردهای مختلف متفاوت است. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های ریز سیستم‌های سیالی، میکروپمپ‌ها هستند که در حقیقت نقش قلب را برای این سیستم‌ها ایفا می‌کنند و علاوه بر این کنترل بر روی دبی و فشار سیال نیز همگی در میکروپمپ‌ها انجام می‌گیرد و قسمت کنترلی تنها پیام موردنظر را به این قسمت می‌فرستد؛ بنابراین نوع طراحی و سازوکار این وسیله در کارایی تمام سیستم بسیار مؤثر است.

تزریق یا انتقال مقادیر بسیار جزئی از دارو به بدن درکنار بسیاری کاربردهای دیگر از ابتدا یکی از اهداف طراحان مایکرو پمپ‌ها بوده است، از آن جمله می‌توان به اولین مایکرو پمپ که در سال ۱۹۸۰ توسط جان اسمیت ساخته شد، اشاره کرد. هدف از طراحی و ساخت این مایکرو پمپ انتقال مقدار انسولین موردنیاز به بدن و کنترل میزان قند خون در افراد مبتلا به بیماری دیابت بود که با استفاده از این سیستم نیاز به تزریق مکرر از بین می‌رفت. همچنین امروزه از این سیستم‌ها در انتقال میکرو مولکولی به داخل تومورها و جریان خون در مویرگ‌ها نیز استفاده می‌شود.

مهندسان و محققان در حال کار بر روی نسل جدیدی از این ریز سیستم‌های سیالی هستند که قابل‌نصب در بدن باشند و به‌صورت کاملاً هوشمندانه عمل کنند که در صورت موفقیت تحول بزرگی در علوم پزشکی و درمان بیماری‌ها به وجود می‌آید، چراکه علاوه بر اهمیت انتقال مقدار بسیار دقیق دارو به بدن، قسمت‌های زیادی از بدن موجودات زنده از سیستم‌هایی جهت ترشح و انتقال هورمون‌ها و دیگر مایعات حیاتی استفاده می‌کند که در صورت ایجاد نقص در آن‌ها می‌توان از ریز سیستم‌های سیالی هوشمند جهت رفع مشکل بهره برد. شکل (۱) اجزاء تشکیل‌دهنده یک‌ریز سیستم سیالی انتقال دارو را نشان می‌دهد که عبارت‌اند از مخزن دارو، واحد کنترلی، مایکرو پمپ و ریز سوزن که درمجموع با قرارگرفتن در یک سیستم بازخورد کنترلی باعث انتقال مقادیر بسیار دقیق دارو می‌گردد.



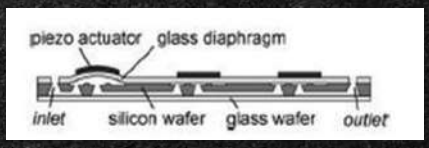
شکل ۱- شماتیک میکرو سیستم سیالی به منظور انتقال دارو

رشد و توسعه صنایع میکرو و نانو به‌دست‌آمدن دستگاه‌ها و تجهیزات مربوط به ساخت در این ابعاد زمینه مناسبی را برای مهندسان و دانشمندان فراهم آورده تا آنچه را که در تئوری به دست آورده بودند را به عمل درآورند. ازاین‌رو روش‌های مختلف ساخت در این ابعاد به وجود آمدند که از آن جمله می‌توان به روش‌های لیگا، لیتوگرافی و روش‌های شیمیایی اشاره کرد. با استفاده از این روش‌ها ساخت در ابعاد حدود ۱۰۰ نانومتر محقق گردیده است. ریز سیستم‌های سیالی نیز یکی از میدان‌های کاری تکنولوژی مایکرو نانو هستند که کارهای زیادی در زمینه ساخت آن‌ها صورت‌گرفته است و حتی نمونه‌هایی از نانو پمپ‌ها نیز ساخته شده‌اند که در حال حاضر صرفاً آزمایشگاهی بوده و جنبه کاربردی ندارند. در ادامه این نوشتار، انواع میکروپمپ‌ها، طبقه‌بندی آن‌ها و مزایا و معایب هریک را موردمطالعه قرار می‌دهیم و سپس به تحلیل و شبیه‌سازی نوع خاصی از میکروپمپ‌ها به نام میکروپمپ رفت و برگشتی می‌پردازیم و با بررسی مشخصه‌های رفتاری آن، بهترین نقطه‌کاری مشخص می‌شود.



تاریخچه میکروپمپ‌ها

رشد و توسعه میکروپمپ‌ها در سال ۱۹۸۰ توسط وال مارک و اسمیت در دانشگاه استنفورد آغاز شد. میکروپمپ ساخته‌شده توسط آن‌ها از حرکت کرم واره ای که توسط تحریک محرک‌های پیزوالکتریک به پوسته اعمال می‌شد، جهت رانش سیال استفاده می‌کرد (شکل۲). به دنبال این کار طرح‌ها و بهینه‌سازی‌های زیادی مطرح شد که هرکدام از جنبه‌هایی با بقیه متفاوت بود؛ اما دسته زیادی از آن‌ها مربوط به پمپ‌هایی می‌شد که از پوسته و یا دیافراگم جهت رانش سیال استفاده می‌کردند که به آن‌ها میکروپمپ‌های غشایی می‌گویند. به‌طورکلی میکروپمپ‌ها را می‌توان از جهات مختلفی از قبیل نوع محرک، نوع ساخت، جنسی و طرز کار طبقه‌بندی کرد؛ اما میکروپمپ‌ها غالباً در دودسته مکانیکی و غیرمکانیکی قرار می‌گیرند که پیشرفت میکروپمپ‌های غیرمکانیکی از سال ۱۹۹۰ آغاز شد.



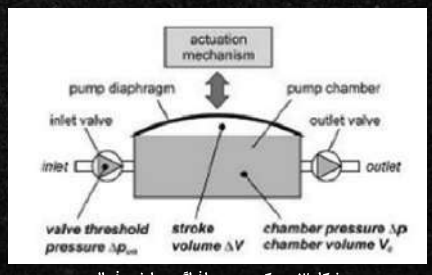
شکل ۲- میکروپمپ ساخته شده توسط وال مارک

انواع میکروپمپ

میکروپمپ‌ها را می‌توان در دودسته مکانیکی و غیرمکانیکی طبقه‌بندی کرد که میکروپمپ‌های مکانیکی خود به دودسته رفت و برگشتی و کرم واره‌ای طبقه‌بندی می‌گردند. میکروپمپ‌های غیرمکانیکی نیز انواع مختلفی دارند که در ادامه به آن‌ها خواهیم پرداخت. در اینجا لازم است تا با شیرهایی که در ساختمان میکروپمپ‌ها بکار می‌روند آشنا گردیم، چراکه آن‌ها نقش مؤثری در عملکرد میکروپمپ‌ها دارند. به‌طورکلی شیرهای ورودی و خروجی را که در ساختمان میکروپمپ‌ها بکار می‌روند را می‌توان به دودسته شیرهای فعال و غیرفعال تقسیم کرد. البته شیرهای دینامیک (نازل دیفیوزری) نیز وجود دارند که در دسته شیرهای غیرفعال جای می‌گیرند.

شیرهای فعال

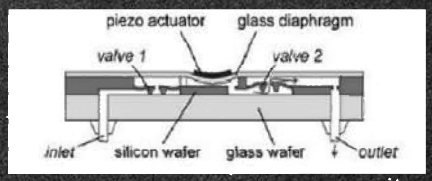
این شیرها توسط یک سیستم کنترلی خارجی و هماهنگ با بقیه قسمت‌ها باز یا بسته می‌شوند. این شیوه کارکرد دستیابی به‌دقت بالا را در میکروپمپ‌ها میسر می‌سازد؛ اما بهر حال به دلیل کوچک بودن ابعاد، ساخت آن‌ها دشوار بوده و موجب افزایش هزینه می‌گردد. در شکل (۳) یک میکروپمپ رفت و برگشتی (غشایی) با شیرهای فعال نشان‌داده‌شده است.



شکل ۳- میکروپمپ دیافراگمی با شیر فعال

شیرهای غیرفعال

شیرهای غیرفعال توسط حرکت و فشار خود سیال باز و یا بسته می‌شوند و دیگر نیازی به

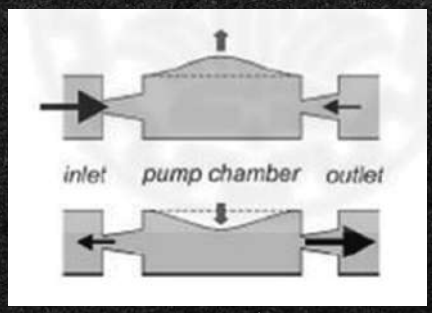


شکل ٤- میکروپمپ دیافراگمی با شیر غیرفعال

در اثر ازدیاد نیروی وارده از طرف سیالی به آن‌ها در یک‌جهت گشوده می‌شوند؛ ولی از جهت دیگر با محدودیت مواجه‌اند و ازدیاد نیروی سیال در آن جهت تنها آن‌ها را به دیواره اطراف محکم‌تر می‌فشارد. سازوکار ذکرشده باعث می‌شود تا این شیرها تحت تنش خستگی قرار گیرند و علاوه‌برآن کارایی خود را در فرکانس‌های کاری بالا از دست بدهند.

شیرهای دینامیک (نازلی - دیفیوزر)

برای رفع مشکل شیرهای غیرفعال، شیرهای نازل - دیفیوزری به وجود آمدند که از این مزیت که مقاومت سیالی نازل‌ها و دیفیوزرها در جهت ورودی و خروجی متفاوت است بهره می‌برند و با بکار نبردن اجزاء متحرک از ایجاد ترک و شکست خستگی جلوگیری می‌کنند؛ اما بهر حال بازدهی کمتری نسبت به انواع قبلی دارند و همیشه یک جریان برگشتی در آن‌ها وجود دارد. شکل (۵) این نوع شیر را در یک میکروپمپ غشایی نشان می‌دهد.



شکل ۵- میکروپمپ دیافراگمی با شیر دینامیک (نازلی- دیفیوزر)

میکروپمپ‌های مکانیکی

بیشتر میکروپمپ‌های مکانیکی که تاکنون گسترش پیدا کرده‌اند مربوط به دسته رفت و برگشتی می‌شوند که عموماً شامل یک محفظه فشار هستند که توسط نیروی اعمالی از طرف محرک به یک غشا، فشار داخل آن تغییر می‌کند و باعث حرکت سیال می‌گردد. علاوه‌برآن شیرهای فعال و یا غیرفعال نیز جهت کنترل جریان در ساختمان آن‌ها به کار می‌رود. بازده میکروپمپ‌های مکانیکی معمولاً به دلیل محدودیت‌های مکانیکی آن محدود است.

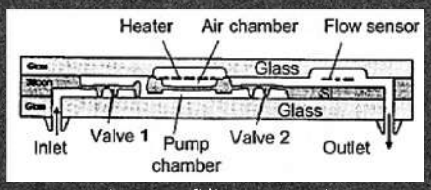
میکروپمپ‌های پیزوالکتریک

یک میکروپمپ پیزوالکتریک شامل یک دیسک پیزوالکتریک که بر روی دیافراگمی نصب شده و محفظه فشار و شیر است. این نوع میکروپمپ‌ها با استفاده از تغییر شکل مواد پیزوالکتریک در اثر اعمال ولتاژ به آن‌ها، تحریک می‌شوند. ازجمله مزایای این‌گونه میکروپمپ‌ها می‌توان به نیروی تحریک بالا، زمان پاسخ کوتاه و ساختار ساده اشاره کرد. در عین اینکه دارای معایبی نظیر ولتاژ کاری بالا و جابه‌جایی کم نیز است. به دلیل ساختار مواد پیزوالکتریک، در اثر اعمال ولتاژ به آن‌ها نیروی زیادی در جابه‌جایی کم به دست می‌آید که منوط به کاربرد آن‌ها ممکن است در بعضی موارد ولتاژ بسیار بالا برای گرفتن جابه‌جایی موردنیاز اعمال گردد. البته لازم به ذکر است که به دلیل وجود اجزاء مکانیکی در میکروپمپ‌ها، زمان پاسخ و یا فرکانسی عملکرد محدود می‌شود که در این خصوصی عملکرد شیرها بسیار مؤثر هستند. برای افزایش فرکانس کارکردی از نازل می‌توان شیرهای دیفیوزری که پیش‌تر ذکر شد استفاده کرد. بیشتر این میکروپمپ‌ها بر روی بسترهای سیلیکونی ساخته می‌شوند. درگذشته لایه پیزوالکتریک به‌صورت دستی روی غشا که آن‌هم از سیلیکون یا شیشه بود چسبانده می‌شد؛ اما امروزه این روند به‌صورت کاملاً خودکار انجام می‌شود و همین افزایش دقت باعث افزایش بازده می‌شود.

برای مثال یک نمونه از میکروپمپ غشایی پیزوالکتریک ساخته شده در سال ۱۹۸۸، دارای نرخ جریان ۳ میکرولیتر در دقیقه با ولتاژ ۸۰ ولت و فرکانس کاری ۱۵ هرتز بود کمی بعد با استفاده از تکنولوژی چاپ سطحی توانستند یک‌لایه پیزوالکتریک با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر را روی یک غشا با ابعاد ۸ میلی‌متر طولی، ۴ میلی‌متر عرض و ۷۰ میکرومتر ضخامت لایه نشانی کنند و به نرخ جریان ۱۲۰ مایکرو لیتر بر دقیقه دست یابند که در آن از ولتاژ ۶۰۰ ولت در فرکانسی ۲۰۰ هرتز استفاده شده بود و به دلیل استفاده از شیرهای دینامیکی، یک فشار برگشتی ۲ کیلوپاسکال نیز در سیستم به وجود می‌آمد.

میکروپمپ‌های ترمو پنوماتیکی

میکروپمپ‌های ترمو پنوماتیکی تنها در نوع تحریک با میکروپمپ‌های پیزوالکتریک متفاوت هستند که در آن‌ها به‌جای استفاده از مواد پیزوالکتریک از یک گرم‌ساز، غشا و یک محفظه درزبندی شده پر از گاز یا مایع جهت ایجاد نیروی تحریک استفاده می‌شود (شکل٦).



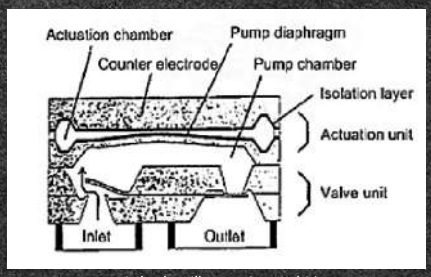
شکل ٦- میکروپمپ دیافراگمی ترمو پنوماتیکی

در این نوع از میکروپمپ‌ها گرمایش اهمی و سرمایشی طبیعی باعث تغییر حجم سیال داخل محفظه شده و درنتیجه غشا را جابه‌جا می‌کنند که باعث تغییر فشار و رانش سیال می‌گردد. ازجمله مزایای آن‌ها می‌توان به جابه‌جایی بزرگ عشاء ولتاژ کاری کم آن‌ها اشاره کرد. البته معایبی نظیر ثابت زمانی بالا یا کندی پاسخ، محدودیت سازه‌ای غشای برای ارتعاش با دامنه زیاد و توان مصرفی بالا باوجود کمی ولتاژ، در این نوع میکروپمپ‌ها دیده می‌شود. به دلیل استفاده از حرارت به‌عنوان نیروی تحریک در این نوع میکروپمپ‌ها، زمان لازم برای گرم و خنک‌شدن سیال داخل محفظه نسبت به زمان پاسخ پیزوالکتریک زیادتر است و همین امر باعث کندی پاسخ سیستم میکروپمپ ترمو پنوماتیکی می‌گردد؛ اما در کاربردهایی که فرکانس کاری بالا موردنظر نیست این نوع میکروپمپ‌ها به‌خوبی کار می کنند .

محرک‌های ترمو پنوماتیکی نخستین‌بار توسط دبلیک و آنجل در سال ۱۹۸۷ و برای استفاده در شیرهای مینیاتوری ارائه گردید. سپس توسط ون پل و همکارانش (۱۹۹۰) رشد و توسعه پیدا کرد و دلیل آن هم در دسترس نبودن ولتاژ کاری بالای مواد پیزوالکتریک بود. یک نمونه از این میکروپمپ قادر به تولید ۳۴ میکرولیتر بر دقیقه در فشار ۵ کیلوپاسکال ولتاژ ۶ ولت است که توان مصرفی آن ۲ وات و فرکانس کاری آن ۱ هرتز است. یک راه برای دست‌یافتن به غشاهای قابل‌انعطاف زیاد استفاده از پوسته‌های چین‌دار است که تا حد قابل‌قبولی مشکل سختی غشا را از میان برمی‌دارد. شکل (۷) طرز کار و ساختمان این نوع میکروپمپ را نشان می د هد .

میکروپمپ‌های الکترواستاتیک

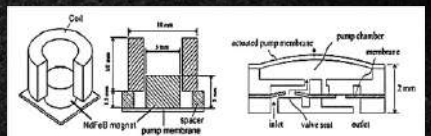
در این نوع میکروپمپ‌ها از نیروی الکترواستاتیک به‌عنوان نیروی محرک استفاده می‌شود که دارای مزایایی از قبیل توان مصرفی کم، کنترل آسان تغییر شکل غشا با استفاده از ولتاژ اعمالی و پاسخ سریع هست و دارای معایبی مانند ولتاژ تحریک بالا و محدودیت جابه‌جایی غشا است. اولین نمونه این میکروپمپ در سال ۱۹۹۱ توسط جودی و همکارانش ساخته شد که قادر به تولید ۶۴۰ نانو لیتر بر سیکل با ولتاژ ۲۰۰ ولت بود. همه قسمت‌ها ازجمله غشا و شیرها به‌صورت الکترواستاتیکی کنترل می‌شدند. این میکروپمپ توسط تکنولوژی میکرو ماشین‌کاری سطحی ساخته شد. هرچند در این شیوه تحریک می‌توان جابه‌جایی خوبی به دست آورد، اما در یک فاصله بحرانی دیافراگم به الکترود ثابت می‌چسبد و میکروپمپ از کار می‌افتد برای جلوگیری از این اتفاق از یک‌سری لایه‌های دی‌الکتریک بر روی الکترودها استفاده می‌گردد. این نوع میکروپمپ‌ها دارای کنترل‌پذیری خوب و دقیقی هستند و به همین دلیل از آن‌ها در صنایع پزشکی و داروسازی استفاده می‌گردد. شکل (۸)



شکل ۸- میکروپمپ الکترواستاتیکی

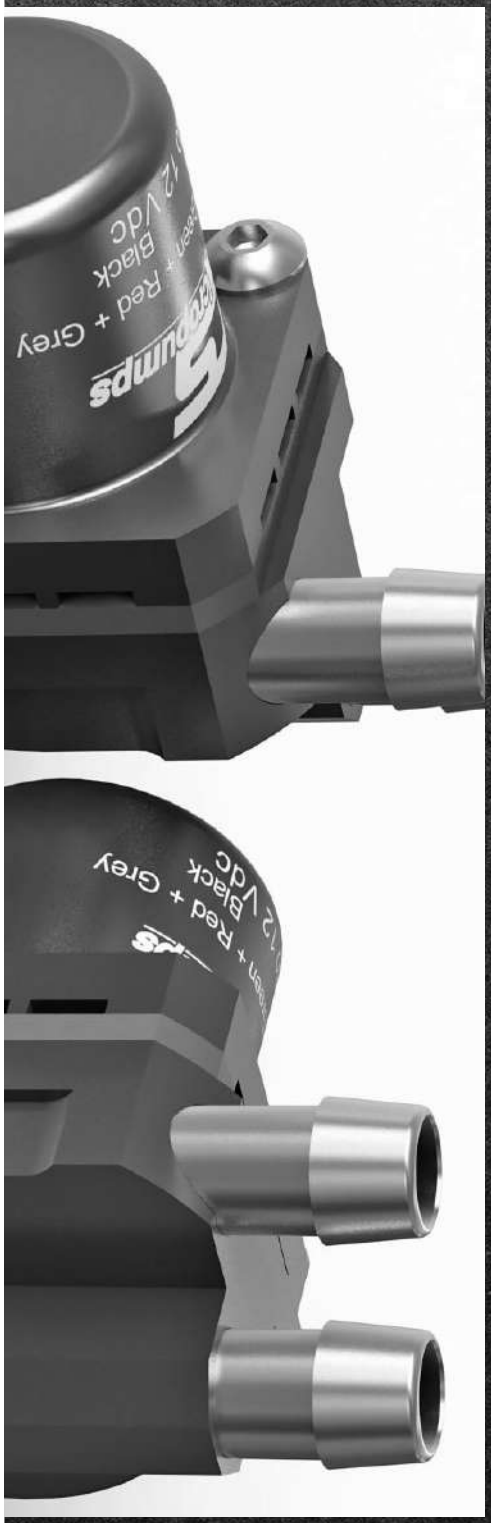
میکروپمپ‌های الکترومغناطیس

تنها تفاوت این نوع میکروپمپ با نوع الکترواستاتیک در نوع نیروی تحریک است. در اینجا غشا و بدنه نقش دو قطب مغناطیسی را ایفا می‌کنند که با استفاده از جریان الکتریسیته کنترل می‌گردند. مزایای این نوع میکروپمپ‌ها را می‌توان در عملکرد نیروی تحریک در فواصل دور ولتاژ عملکرد پایین دانست و ازجمله معایب این میکروپمپ‌ها عبارت‌اند از؛ نسبت نیروی محرک با توان سوم ضریب مقیاسی، محدودیت مواد مغناطیسی قابل ماشین‌کاری و مصرف توان بالا و اتلاف حرارتی، به دلیل اینکه نیروی الکترومغناطیسی یک نیروی حجمی است، با کاهش ابعاد این نیرو نیز کاهشی می‌یابد؛ بنابراین در کوچک‌سازی ابعاد محدودیت وجود دارد. یک نمونه از این میکروپمپ در سال ۱۹۹۹ توسط بوهم و همکارانش ساخته شد. شکل (۹). ساختمان این نوع میکروپمپ را نشان می‌دهد.



شکل ۹- میکروپمپ الکترومغناطیسی ساخته شده از پلاستیک

همان‌طور که از شکل پیداست یک محرک الکترومغناطیسی روی غشای پلیمری قرار گرفته است. این میکروپمپ توانایی پمپ‌کردن ۴۰ میلی‌لیتر بر دقیقه هوا و ۱/۲ میلی‌لیتر بر دقیقه آب را با مصرف توان ۰/۵ وات دارد. باید توجه داشت که تاکنون بهینه‌سازی‌ها و تغییرات زیادی در آن‌ها به وجود آمده است.

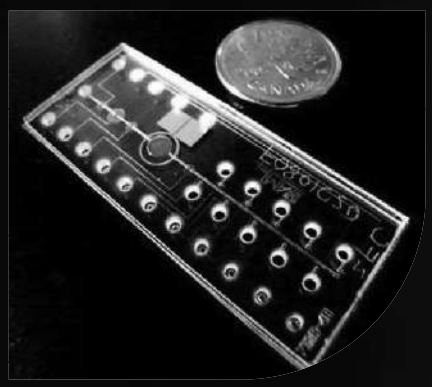




فناوری میکرو سیالی[1] و آزمایشگاه روی تراشه[2]

سیامک سیفی، دانشجوی دکتری، دانشگاه یورک کانادا
بهزاد مهدوی، دانش‌آموخته مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

در سال‌های اخیر پیشرفت دانش بشر باعث ایجاد انقلاب‌های بزرگ در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی گردیده است. فناوری میکروسیالی با ساخت میکرو ابزارها با کانال‌هایی در ابعاد میکرو و نانو و همچنین کنترل رفتار جریان سیال درون آن‌ها سروکار دارد (شکل ۱). فناوری میکروسیالی به معنای مینیاتورسازی (کوچک‌سازی) می‌باشد که انجام آنالیزهای پیچیده بیولوژیکی و شیمیایی در مدت‌زمان کوتاه و یک فضای کوچک را فراهم می‌سازد. این تکنولوژی زیرمجموعه‌ای از تکنولوژی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS)[3] یا همان میکروسیستم‌های تحلیل کلی (micro-TAS)[4] می‌باشد. فناوری میکروسیالی نام گسترده‌تری برای دستگاه‌های مکانیکی همچون میکرومیکسرها، سوپاپ‌ها، پمپ‌ها، سنسورها، جریان‌سنج‌ها و غیره می‌باشد.



شکل ۱: تصویری از یک تراشه میکروسیالی

کاربردها

در سال‌های اخیر فناوری میکروسیالی و آزمایشگاه روی تراشه (LOC) رشد چشمگیری در کارهای صنعتی و دانشگاهی داشته‌اند. سیستم‌های میکروسیالی گسترده وسیعی از کاربردها در حوزه‌های زیست‌شناسی و پزشکی را دارا هستند. آزمایش‌های تشخیصی و تحقیقاتی زیادی وجود دارند که در آنها نمونه‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرند. این آزمایش‌ها بخش وسیعی از کاربردهای سیستم‌های میکروسیالی را در این حوزه‌ها دربر می‌گیرند. این سیستم‌ها در زمینه‌های مختلف پزشکی و بیولوژیکی از جمله آنالیز DNA و آنالیز عمومی سلول‌ها، دستگاه‌های مبتنی بر اساس پروتئین و دستگاه‌های جداسازی و تشخیص مولکولی موردتوجه قرار گرفته‌اند.

ساختمان تشکیل‌دهنده

اولین مواد استفاده شده در ساخت این تراشه‌ها از جنس شیشه، سیلیکون یا الاستومر (نوعی پلیمر که قابلیت ویسکوالاستیسیته (گرانروی و کشسانی باهم) دارد) بودند. درون این تراشه‌ها ساختمان‌هایی با ابعاد میکرو و نانو تعبیه شده‌اند که سیالات با حجم‌های میکرونی (در حد میکرولیتر، نانومتر و پیکو لیتر) درون آن‌ها جریان دارند. وجود ساختمان‌هایی همچون لوله‌ها، دریچه‌ها، کانال‌ها و غیره امکان ورود چندین سیال را به داخل تراشه می‌دهد. این سیالات با استفاده از میکروپمپ‌ها امکان ورود به داخل تراشه را پیدا می‌کنند که باتوجه‌به هدف طرح با هم ترکیب شده و یا واکنش شیمیایی خاصی را دنبال می‌کنند. نهایتاً، محصولات اصلی از طریق خروجی‌ها به بیرون دستگاه منتقل می‌شوند. ساخت تراشه‌ها از جنس سیلیکون و شیشه دارای مزایایی همچون پایداری شیمیایی بود؛ اما عواملی از جمله غیرشفاف بودن و گران‌بودن باعث استفاده از مواد جدیدی در ساخت این تراشه‌ها شد. امروزه پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان‌ها[5] و دیگر پلیمرهای بر پایه سیلوکسان[6] کاربرد وسیعی در تولید تراشه‌ها را دارند. این پلیمر مزایای فراوانی را در آزمایش‌های بیولوژیکی فراهم می‌آورد. شفافیت این ماده به بررسی به‌وسیله میکروسکوپ نوری و فرابنفش کمک می‌کند. همچنین این ماده قابلیت استریل کردن و استفاده مجدد را دارد.

مزایا

سیستم‌های میکروسیالی به دلیل مزیت‌هایی که دارند از موضوعات جذاب دنیای فناوری بشمار می‌روند، به‌طوری که شرکت‌های زیادی در دنیا به دنبال توسعه این فناوری هستند. این فناوری آینده امیدبخشی را از خود نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که ساخت کیت‌های آزمایشگاهی در سال‌های آینده آزمایشگاه روی تراشه را جایگزین تست‌های تشخیص طبی رایج خواهد کرد. استفاده از فناوری میکروسیالی مزایای بسیاری را در حوزه‌های مختلف علمی فراهم آورده است. این مزایا سبب شده است که این فناوری به یک فناوری به‌سرعت درحال‌توسعه و جذاب تبدیل شود. در زیر به مهم‌ترین این مزایا اشاره شده است.

* مقرون‌به‌صرفه بودن و کم‌هزینه‌بودن انجام آزمایش‌ها
* تحلیل سریع‌تر و زمان پاسخگویی کمتر در انجام آزمایش
* اتلاف کمتر ماده و انرژی
* کاهش دخالت نیروی انسانی در نتیجه کاهش خطای انسانی و جلوگیری از ایجاد بسیاری از آلودگی‌ها
* امکان تولید تراشه‌های ایمن برای مطالعات بیولوژیکی، شیمیایی و رادیواکتیو
* انجام فرایند تشخیص و جداسازی با حساسیت و قدرت تفکیک بالا

1. Microfluidics technology 2.Lab-On-a-Chip (LOC) 3.Microelectromechanical systems (MEMS)
4.micro-Total Analysis Systems (micro-TAS) 5.Polydimethylsiloxane (PDMS) 6.Siloxane



معایب

پیچیدگی بیشتر فرایندها در آزمایشگاه روی تراشه نسبت به آزمایش‌های مرسوم به دلیل غالب‌بودن اثرات فیزیکی و شیمیایی در مقیاس‌های کوچک مانند زبری سطح و نیروهای مویینگی.

دستگاه تحلیلی میکروسیالی کاغذی [7]

کاغذ به دلیل قابل چاپ بودن، هزینه کم، وزن سبک و یکبار مصرف بودن به یک ماده بسیار مهم و انعطاف‌پذیر در تکنولوژی میکروسیالی تبدیل شده است. استفاده از مواد رایج سنتی در ساخت تراشه‌ها بسیار هزینه بالایی داشته و نیاز به نیروی آموزش دیده دارد. اما امروزه دستگاه‌های تشخیص بیماری ارزان قیمت و در دسترس مورد نیاز بوده و تهیه فناوری‌های تشخیصی حتی برای کشورهای توسعه یافته اقتصادی نیز بدلیل گران‌قیمت بودن این ابزارها می‌تواند مشکل آفرین باشد. دستگاه‌های تحلیلی میکروسیالی کاغذی ابزارهایی سازگار با محیط زیست و به صرفه می‌باشند که امکان انجام آزمایش‌ها در شرایط اضطراری و در مناطق دور افتاده را نیز فراهم می‌آورند. در این فناوری از یک کاغذ الگودار که بر روی آن حجم کمی از ماده بتواند طبق الگو به حرکت درآید، استفاده می‌کنند. دستگاه‌های تحلیلی میکروسیالی کاغذی دستگاه‌هایی از جنس مواد آبدوست (قطبی) سلولز یا نیتروسلولز هستند که هدایت مایع را با روش اشباع از یک ورودی به یک خروجی دلخواه هدایت می‌کند. مهمترین مزیت آن این است که این دستگاه بر خلاف دستگاه‌های پیچیده‌تر میکروسیالی تا حد زیادی به صورت غیرفعال کنترل می‌شود. توسعه دستگاه‌های میکروسیالی برپایه کاغذ از اوایل قرن بیست و یکم برای تأمین نیاز به سیستم‌های تشخیصی پزشکی ارزان قیمت و قابل حمل آغاز شد. دستگاه‌های تحلیلی میکروسیالی کاغذی علاوه بر آنالیزهای بیوشیمیایی برای تشخیص‌های پزشکی و پزشکی قانونی نیز کاربرد دارند. از کاغذها با انواع مختلف برای ساخت این نوع دستگاه‌ها بر اساس نوع کاربردشان استفاده می‌شود که شامل مواد مختلفی از جمله سلولز تا شیشه یا پلیمر می‌شود. به کمک صفحات کاغذی می‌توان آزمایش‌های گوناگون شناسایی مولکولی، بیوشیمیایی و ایمونولوژیک را بصورت هم‌زمان انجام داد. اولین ابزار تشخیصی بر پایه کاغذ برای آزمایش ادرار ساخته شده است که برای اندازه‌گیری پروتئین و غلظت گلوکز ادرار از آزمون‌های رنگ‌سنجی استفاده می‌کرد. از کاربردهای دیگر این دستگاه‌ها می‌توان به تشخیص سموم و عوامل بیماری‌زا اشاره کرد.

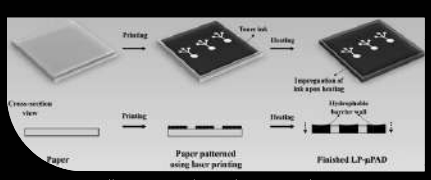
دستگاه‌های میکروسیالی بر پایه کاغذ از موارد زیر ساخته می‌شوند:

* ورودی: بستر (سلولزی) محلی که سیالات به‌صورت دستی پخش می‌شوند
* کانال‌ها: شبکه‌های میلی‌متری آب‌دوست که سیال را از میان یک دستگاه منتقل می‌کنند
* تقویت‌کننده‌های جریان: محل‌هایی با شکل‌های مختلف که سرعت جریان در آن به‌منظور پایدارسازی جریان اصلاح می‌شود
* مقاومت‌های در برابر جریان: یک عنصر مویرگی می‌باشد که به‌منظور کنترل زمانی یک جریان با سرعت‌کاهش یافته از آن استفاده می‌شود
* موانع: محل‌های آبگریز که از خروج سیال به بیرون کانال خودداری می‌کنند
* خروجی‌ها: محلی که آزمایش بیولوژیکی در آن انجام می‌شود.

کاغذ یک محیط متخلخل می‌باشد که سیال در آن در مرحله اول به روش تبخیر و فیتیله‌گذاری جابجا می‌شود. حرکت سیال از یک محیط متخلخل به کمک اثرات تبخیر، هندسه و نفوذپذیری مدیریت می‌شود. این عوامل باعث نفوذ مویرگی محدود شده که می‌توانند به کمک تبخیر و با کنترل هندسه و میزان تخلخل تنظیم شود.

به دلیل مواد مورداستفاده و مراحل ساخت، فرایند ساخت دستگاه‌های میکروسیالی بر پایه کاغذ ساده و مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. این دستگاه‌ها از ریز مجراهای آبگریز/ آب‌دوست ساخته می‌شوند که مایعات درون آن‌ها به کمک نیروی کشش سطحی در هر دو بعد عرضی و طولی حرکت می‌کنند. روش‌های متعددی برای ساخت این دستگاه‌ها وجود دارد که با توجه محل مورداستفاده از آن‌ها متفاوت هستند. اولین مرحله از ساخت مربوط به تبدیل برخی از نواحی آب‌دوست کاغذ به آبگریز به‌وسیله چاپ خطوط آبگریز موازی است. این خطوط آبگریز مسیر ریز مجراها را مشخص می‌کنند. عمق ریز مجراها نیز به‌وسیله ضخامت کاغذ مورداستفاده مشخص می‌گردد. جریان مایعات درون ریز مجراها بر پایه جریان مویینگی می‌باشد. به دلیل وجود موانع آبگریز، نمونه‌های آب‌دوست به اطراف پخش نشده و درون کانال‌های تعبیه شده حرکت می‌کنند.

دستگاه‌های میکروسیالی بر پایه کاغذ را می‌توان با استفاده از انواع متفاوت چاپ جوهرافشان، چاپ موم، لیتوگرافی نوری [8]، چاپ فلکسوگرافی [9]، قلم‌زنی، درمان با پلاسما، درمان با لیزر، پردازش نور دیجیتال [10]، پرینتر سه‌بعدی و موم غربالگری تولید کرد. هر یک از این روش‌ها موانع فیزیکی آبگریزی را بر روی کاغذ آب‌دوست ایجاد می‌کنند که منفعلانه مایعات را منتقل می‌کنند(شکل ۲).



شکل ۱: تصویری از یک تراشه میکروسیالی

7.Microfluidic Paper-Based Analytical Devices
8.Photolithography
9.Flexographic printing
10.Digital light processing (DLP)

مروری بر کتاب انرژی آینده

سعید میرزائی، کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه صنعتی شریف‌انرژی

کتاب انرژی آینده توسط آقای ترور لتچر[1] نگاشته شده است. در این کتاب به گزینه‌های بهبود یافته، پایدار و پاک برای تامین انرژی سیاره ما اشاره شده است. ویرایش سوم این کتاب دانش لازم را در اختیار دانشمندان و تصمیم گیرندگان برای درک اهمیت نسبی انرژی در آینده را می‌دهد و روش‌های مختلف تولید انرژی برای تصمیم‌گیری در مورد انرژی لازم برای توسعه پایدار و مقابله با تغییرات اقلیمی به ما می‌دهد. همچنین این کتاب به بررسی وضعیت انرژی فعلی و برآورد سناریوهای آینده مربوط به گرم شدن کره زمین و افزایش دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو می‌پردازد.

فصل اول این کتاب جنبه‌ی معرفی دارد و به معرفی ابعاد مختلف انرژی در آینده می‌پردازد. همچنین به ضرورت‌های توجه به ابعاد محیط‌زیستی و تغییر اقلیم انرژی در آینده می‌پردازد.

در فصل دوم این کتاب در مورد زغال‌سنگ در گذشته، حال و آینده توضیحاتی ارائه می‌دهد. زغال‌سنگ منبع اصلی انرژی است و پیش‌بینی می‌شود که مصرف زغال‌سنگ در آینده، حداقل تا سال ۲۰۴۰، با وجود کاهش سهم آن، افزایش یابد. پایداری زغال‌سنگ در آینده بسیار به کاهش آلودگی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای بستگی دارد. استفاده از زغال‌سنگ با مشکلات زیست‌محیطی و عملیاتی متعددی در ارتباط است. بیشتر مشکلات عملیاتی با ذرات معدنی زغال‌سنگ در ارتباط هستند. در آینده زغال‌سنگ‌های درجه پایین‌تر با رطوبت و خاکستر بالا استفاده خواهند شد چون بیشتر زغال‌سنگ‌های درجه بالا قبلا استخراج شده‌اند. برای چنین زغال‌هایی، ارتقا زغال‌سنگ‌های پیش از احتراق ضروری است. در فرآیند ارتقا، برخی از مسائل زیست‌محیطی، مانند آلودگی SOx و عناصر دیگر، مورد توجه قرار می‌گیرند.

در فصل سوم این کتاب به منابع نامتعارف نفت می‌پردازد. آینده ماسه‌های نفتی به عنوان یک منبع انرژی آینده با نیاز جامعه به انرژی و تا حدودی نیاز جامعه به محصولات پتروشیمی مفید مرتبط است. اگر جامعه از مفید دانستن محصولات نفت خام گرفته‌شده دست بکشد، آینده‌ای برای تولید ماسه‌های نفتی وجود نخواهد داشت. اگرچه گذشته شاخص آینده نیست، اما تاریخ چشم اندازی به تصمیماتی که منجر به توسعه نفت خام به عنوان منابع طبیعی شد، دارد. هزینه‌های تولید تولید نفت غیر متعارف از تولید نفت معمولی بیشتر است. چرا تولید غیر متعارف نفت مورد توجه قرار گرفته و به کار گرفته می‌شود؟ پاسخ به این پرسش چند جانبه است. حال و آینده تولید ماسه‌های نفتی تحت‌تاثیر تقاضای جهانی برای نفت خام، محدودیت‌های عملی دسترسی بازار، مصلحت اقتصادی محلی و مجوز اجتماعی برای فعالیت است.

فصل چهارم در مورد نفت و گاز شیل و فرآیند شکست هیدرولیکی[2] بحث می‌کند. تکنولوژی به سرعت در حال تحول است، همانطور که محیط سیاسی در حال تغییر و تحول است. افرادی وجود دارند که می‌گویند تلاش برای حفظ تولید از طریق تکنیک‌های چالش برانگیز و گران پایدار نیست، همانطور که بهره‌وری به سرعت کاهش می‌یابد، و فروپاشی اجتناب‌ناپذیر است. با این حال، تولید گاز شیل در حال حاضر ۵۰٪ از کل تولید گاز آمریکا را تشکیل می‌دهد و تولید را به اوج جدیدی رسانده‌است. برآوردهای منطقی نشان می‌دهند که رشد مداوم را می‌توان حداقل برای یک دهه و شاید بیشتر حفظ کرد. عاقلانه است که نشان دهیم تاریخ تولید نفت یکی از پیش‌بینی‌های مداوم در مورد از بین رفتن قریب‌الوقوع منابع و اثبات اشتباه آن‌ها با به چالش کشیدن تولید از نظر فنی امکان پذیر بوده‌است. ایده‌های جدید برای اکتشاف، حفاری، و تولید همچنان همه را شگفت‌زده کرده‌است. به نظر می‌رسد حدی وجود دارد که در آن تلاش برای بازیابی نفت و گاز با در دسترس بودن یک منبع انرژی ارزان‌تر غلبه خواهد شد. با این حال، این حد هنوز به وضوح قابل‌مشاهده نیست.

فصل پنجم در مورد متان بستر زغال‌سنگ و چشم‌اندازهای آینده‌ی آن توضیحاتی مفصلی ارائه می‌دهد. در طول ۲۰ سال گذشته، گاز متان بستر یا «(CBM)»[3] شناخته می‌شود. به عنوان یک منبع انرژی مهم ظهور کرده‌است و انتظار می‌رود که مولفه مهمی در سبد انرژی جهان در آینده باشد. CBM یک سوخت پاک در نظر گرفته می‌شود زیرا احتراق آن هیچ سمی آزاد نمی‌کند، هیچ خاکستر تولید نمی‌کند و کربن دی‌اکسید کمتری را در هر واحد انرژی نسبت به احتراق زغال‌سنگ، نفت و یا چوب منتشر می‌کند. استخراج CBM از معادن زغال‌سنگ، علاوه بر ایجاد ارزش اقتصادی، خطر انفجار گاز در معادن را نیز کاهش



1.Trevor M. Letcher 2.Hydraulic Fracturing 3. Coal-bed methane

می‌دهد. این مزایا و همچنین افزایش سریع تقاضای انرژی در سراسر جهان، کشورهای دارای منابع بزرگ زغال‌سنگ را به ارزیابی پتانسیل CBM حوضه‌های زغال‌سنگ با هدف نهایی درک بهتر و استفاده از این منبع گازی غیر متعارف ترغیب می‌کند.

بیش از ۴۰ کشور در سراسر جهان برخی فعالیت‌های مرتبط با CBM را آغاز کرده‌اند، که از این میان حدود ۲۰ کشور برنامه‌های حفاری CBM فعلی یا گذشته دارند. توسعه فن‌آوری‌های جدید و مقرون‌به‌صرفه‌تر به بهبود اقتصاد CBM کمک می‌کند و به توسعه بیشتر CBM کمک خواهد کرد. از سوی دیگر، رقابت از سایر منابع انرژی و قیمت‌های پایین گاز چالش‌هایی را برای این صنعت به وجود می‌آورد. در حالی که ایالات‌متحده توسعه CBM را در آغاز این صنعت رهبری می‌کرد، استرالیا با تولید روزافزون در حال تبدیل شدن به یک رهبر جهانی جدید است. چین در حال پیشرفت مداوم است و انتظار می‌رود با وجود بسیاری از چالش‌ها، در آینده تولید کننده مهمی باشد. علاوه بر استخراج CBM برای استفاده به عنوان گاز طبیعی، پیشرفت‌های CBM آینده ممکن است شامل ذخیره کربن دی‌اکسید به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از عملیات باشد. پروژه‌های بهبود یافته متعدد CBM در زمینه‌های ترسیب کربن نیز بسیار موثر باشد.

عنوان فصل ششم ((هیدرات‌های گاز طبیعی)) نام دارد. ((هیدرات گازی)) یک اصطلاح غیر رسمی برای موادی است که از لحاظ فنی، ترکیبات منحصر به فرد و غیر استوکیومتری هستند که در آن یک شبکه جامد از مولکول‌های آب بدون ترکیبات شیمیایی با اندازه مناسب مولکول‌های گاز محصور می‌شوند. در طبیعت، بسیاری از گازها می‌توانند ترکیب شوند؛ با این حال، رایج‌ترین مولکول مهمان متان است، از این رو اصطلاح رایج هیدرات متان است. دو دهه گذشته شاهد یک سری از تلاش‌های علمی حفاری و آزمایش ذخایر بودیم که وقوع گسترده ذخایر هیدرات گازی را تایید کرده‌اند. این برنامه‌ها نشان داده‌اند که هیدرات گازی به شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد که بسیاری از آن‌ها به دلیل تراکم کم منابع یا وقوع در داخل گل‌های ناپیوسته و تا حد زیادی غیرقابل‌نفوذ با روش‌های تولید گاز شناخته‌شده سازگار نیستند. یک پرسش رایج این است که چه زمانی هیدرات گازی به منبع انرژی جهانی تبدیل خواهد شد؟ برای مثال، مشوق‌های بالقوه قانونی و سیاسی، تمایل به توسعه منابع انرژی محلی و افزایش امنیت انرژی ملی، درک خطرات زیست‌محیطی، و در دسترس بودن و هزینه‌های منابع انرژی جایگزین از کشوری به کشور دیگر متفاوت خواهد بود. به دلایل بیان شده، پیشرفت پتانسیل هیدرات گازی ممکن است در جایی که هیدرات گازی در مناطق تولید نفت و گاز موجود وجود دارد کمک کند و فرصت‌هایی را برای نفوذ در زیرساخت‌های موجود و کاهش هزینه‌ها فراهم کند. علاوه بر این، وقوع کم هیدرات گازی و کاهش خطرات کنترل چاه مربوط به سیستم‌های مخزن فشار پایین ممکن است باعث کاهش قابل‌توجه هزینه‌های حفاری در مقایسه با سیستم‌های تولید آب‌های عمیق شود. با توجه به شرایط فعلی در صنعت، توسعه منابع هیدرات گازی به شدت بر برنامه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های دولتی متکی خواهد بود.



اثرات زیست‌محیطی توربین‌های بادی

سیدامیررضاعبداللهی،
دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، گرایش تبدیل انرژی، دانشگاه تبریز



درحالی‌که مزرعه‌های بادی، زمین‌های وسیعی را برای تولید اقتصادی برق اشغال می‌کنند، تنها ۳ درصد از این زمین‌های اشغال شده، توسط خود توربین‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند. درنتیجه، بیشتر زمین‌هایی که کاربری آن‌ها برای مزرعه بادی است، همچنان می‌توانند برای کشاورزی یا چرای دام، استفاده شوند.

تأثیر بصری توربین‌ها و مزرعه‌های بادی

توربین‌های بادی سازه‌های عمودی بزرگ با پره‌های در حال چرخش هستند و در نتیجه توجه مردم اطراف و رهگذران را به خود جلب می‌کنند. یکی از ویژگی‌های مزرعه‌های بادی این است که دائمی نیستند، بنابراین پس از انجام فاز اوراق (برچیدن توربین‌ها و اوراق کردن آن‌ها و منحل‌کردن مزرعه بادی)، منطقه‌ای که به‌عنوان مزرعه بادی مورداستفاده قرار گرفته بود، به حالت اولیه خود باز می‌گردد. در برخی کشورها برای ساخت یک مزرعه بادی، شرکت‌ها می‌بایست یک ارزیابی بصری از مزرعه بادی در حال ساخت یا مزرعه‌ای که در آینده ساخته خواهد شد را ارائه دهند.

در این ارزیابی، اثرهای مستقیم و غیرمستقیم پروژه، بر روی چشم‌انداز طبیعی آن منطقه، بررسی می‌شود. برخی از روش‌ها و تکنیک‌های به‌کاررفته در ارزیابی بصری عبارت‌اند از:

۱-ارائه نقشه‌هایی که نشان می‌دهند که یک مزرعه بادی، از چه فاصله یا منطقه‌هایی قابل‌دیدن به‌صورت کامل یا ناکامل است.

۲-به‌کارگیری روش‌های مونتاژ فیلم و عکس برای شبیه‌سازی حالتی که مزرعه ساخته شده است تا دریابیم که چشم‌انداز منطقه در زمان آینده که مزرعه ساخته شده است، به چه صورت خواهد بود.

آلودگی صوتی

برخلاف آلودگی بصری، آلودگی صوتی سنجش‌پذیر بوده و می‌توان با به‌کارگیری ابزارآلات فنی و مهندسی، میزان صدای تولید شده توسط یک توربین بادی را اندازه‌گیری نمود. آلودگی صوتی توربین‌های بادی را می‌توان به دو گروه دسته‌بندی نمود:

۱-آلودگی صوتی مکانیکی که از جعبه‌دنده و ژنراتور ناشی می‌شود.

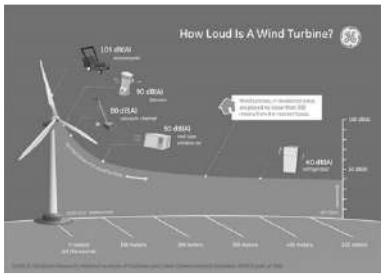
۲-آلودگی صوتی آیرودینامیکی که ناشی از چرخش پره‌ها هستند.

در توربین‌های بادی مدرن و به‌روز، بخش ناسل را با مواد عایق مناسب، عایق‌کاری می‌کنند و در نتیجه آلودگی صوتی مکانیکی، مزاحمتی برای محیط اطراف به وجود نمی‌آورد. ولی آلودگی صوتی آیرودینامیک همچنان پا برجاست. گفتنی است در آلودگی صوتی آیرودینامیک، ازآنجاکه پره‌ها با سرعت بسیار زیادی می‌چرخند، یک‌صدای سوت مانند، تولید شده که مزاحمت ایجاد می‌کند. هر چه سرعت وزش باد بیشتر باشد، آلودگی صوتی بیشتری تولید می‌شود. البته بحث آلودگی صوتی دربارهٔ توربین‌هایی که در دریا نصب می‌شوند، موضوعیت ندارد؛ چراکه صدای تولید شده به گوش انسان‌ها نمی‌رسد.

در شکل ۱ بعد صدای توربین بادی را در فواصل مختلف با یک‌سری وسایل مقایسه کرده است.

استفاده از زمین

تأثیر استفاده از زمین تا حد زیادی به مکان مورداستفاده توسط توربین‌های بادی بستگی دارد. به طور معمول توربین‌های بادی که در زمین‌های صاف و هموار نصب می‌شوند، به نسبت آن‌هایی که در زمین‌های ناهموار نصب می‌شوند، زمین بیشتری را به کار می‌گیرند. باید به این نکته توجه داشت که توربین‌ها تقریباً هرکدام به فاصلهٔ ۵ تا ۱۰ برابر قطر روتور، با یکدیگر فاصله دارند، مزرعه‌های بادی را می‌توان هم در دریاها و هم در خشکی ایجاد نمود. از آن جایی که توربین‌هایی که در دریا نصب می‌شوند، از ابعاد بزرگ‌تری برخوردار هستند، بنابراین مزرعه‌های بادی دریایی، مساحت بیشتری نسبت به مزرعه‌های بادی در خشکی اشغال می‌کنند. مزرعه‌های بادی دریایی، از نظر استفاده و به‌کارگیری از محیط دریا، می‌توانند با صنایع گوناگون مانند صنعت شیلات و صنایع نفت و گاز در آن منطقه رقابت کنند.



شکل ۱-مقایسهٔ صدای توربین بادی با سایر اشیا

تأثیر بر پرندگان

در محل نصب توربین‌های بادی، پرندگان در معرض خطرهای گوناگونی قرار می‌گیرند برخی از توربین‌های بادی موجب کشته‌شدن پرنده‌ها به‌ویژه پرنده‌های شکاری می‌شوند البته مطالعات نشان می‌دهد که تعداد پرنده‌های کشته شده توسط توربین‌های بادی در مقابل عوامل انسانی دیگر کشته‌شدن پرندگان مانند خطوط برق، ترافیک، شکار، ساختمان‌های بلند و به‌ویژه استفاده از منابع آلوده انرژی تعداد بسیار ناچیزی است؛ برای مثال در انگلستان که در آن چندین هزار توربین بادی وجود دارد تقریباً در هر سال تنها یک پرنده در هر توربین کشته می‌شود درحالی‌که تنها در اثر آثار مخرب استفاده از خودروها هر سال در حدود ۱۰ میلیون پرنده کشته می‌شوند. در ایالات متحده توربین‌ها هر سال در حدود ۷۰،۰۰۰ پرنده را می‌کشند که در مقابل ۵۷ میلیون پرنده کشته شده در اثر استفاده از خودروها یا ۹۷ میلیون پرنده کشته شده در اثر برخورد با شیشه‌ها مقدار اندکی است. مقاله‌ای در رابطه با طبیعت اظهار داشته که هر توربین به طور متوسط هر سال ۰،۰۳ پرنده یا به عبارتی ۱ پرنده در طول ۳۰ سال می‌کشد.

این خطرها البته به محل نصب توربین‌ها و چیدمان مزرعهٔ بادی، فصل، گونه‌های پرندهٔ ساکن در محل، توپوگرافی منطقه و دیگر پارامترها بستگی دارد. برخی از خطرهایی که پرندگان را تهدید می‌کنند عبارت‌اند از:

۱-خطر برخورد با پره‌های در حال چرخش توربین‌ها که می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی و یا مرگ پرندگان شود.

۲-ایجاد اختلال در زیستگاه پرندگان؛ وجود توربین‌های بادی در زیستگاه پرندگان می‌تواند باعث شود تا پرندگان مجبور به جابه‌جایی و ترک محل زندگی خود شوند و نرخ زادوولد آن‌ها را ممکن است کاهش دهد.



شکل ۲-پرندگانی که از نزدیکی یک توربین بادی عبور میکنند و در معرض برخورد با پرههای در حال چرخش روتور توربین قرار دارند

اختلال الکترومغناطیس

منظور از اختلال الکترومغناطیس، ایجاد هرگونه اختلال در عملکرد مؤثر دستگاه‌های الکترونیکی است. ازآنجایی‌که در زندگی امروزه، دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد گسترده‌ای دارند، ازاین‌رو عملکرد آن‌ها موضوع مهمی است. نوع و درجهٔ اختلال بر روی دستگاه‌های الکترونیکی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱-مکان قرارگیری توربین‌های بادی میان فرستنده و گیرنده

۲-فرکانس سیگنال‌ها

۳-ویژگی‌های پره‌های توربین‌های بادی

٤-چگونگی انتشار موج‌های رادیویی در اتمسفر محل

توربین‌های بادی امواج رادیویی و تلویزیونی، رادارها و... را مختل می‌کنند. البته تأثیر منفی آن ممکن است کم یا زیاد باشد. در مکان‌یابی و طراحی مزرعه‌های بادی، باید حجم تأثیرهای منفی بر روی امواج الکترومغناطیسی و چگونگی برطرف‌کردن یا کاهش آن‌ها بررسی شود.

تأثیرات بوم‌شناختی

برخلاف نیروگاه‌های هسته‌ای و نیروگاه‌های سوخت فسیلی که مقدار زیادی آب را برای خنک‌کردن منتشر می‌کنند، نیروگاه‌های بادی نیازی به آب برای تولید انرژی الکتریکی ندارند.

درباره نشت روغن یا آب سیالی که در نیروگاه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد حوادث متعددی گزارش شده. در برخی موارد سیال وارد آب شرب مناطق اطراف نیز می‌شود که خسارت‌هایی را برجای خواهد گذاشت. این سیال‌های معمولاً در اثر حرکت در پره توربین موادی را در خود حل کرده و سپس در محیط پراکنده می‌کنند.

استفاده از آب

توربین‌های بادی برای کارکردن و تولید الکتریسیته، نیاز به آب ندارند و این نکتهٔ مثبتی است.

تولید گازهای گلخانه‌ای

توربین‌های بادی در فرایند تولید الکتریسیته، هیچ‌گونه گاز گلخانه‌ای تولید نمی‌کنند که نکتهٔ مهم و قابل‌توجهی است.

اوراق کردن توربین‌های بادی

هر توربین و یا مزرعه‌ی بادی دارای چرخهٔ کاری ۲۰ تا ۲۵ ساله است. پس از سپری‌شدن این زمان، دو انتخاب وجود دارد:

۱-اوراق کردن توربین‌های بادی و تمام تجهیزات مربوط به آن‌ها و بازگرداندن زمین مزرعه به حال پیش از راه‌اندازی مزرعهٔ بادی

۲-به‌روزرسانی تجهیزات و توربین‌های موجود و تمدید چرخهٔ کاری مزرعهٔ بادی و توربین‌ها مراحلی که برای اوراق کردن توربین‌های بادی باید انجام داد، عبارت‌اند از:

۱-جداسازی پره‌ها، روتور و برج

۲-بیرون‌کشیدن و برداشتن کابل‌های برق از داخل و یا سطح زمین

۳-تخلیه فونداسیون از زیرزمین

٤-بازیافت قطعه‌ها و تجهیزات تا حد ممکن

مواد اصلی به‌کاررفته در ساخت توربین‌های بادی عبارت‌اند از رزین، فایبرگلاس، آهن، فولاد، مس و بتن. در میان این مواد، آهن، فولاد و مس را می‌توان تنها با ۱۰-۵ درصد دوریز بازیافت نمود.

ایمنی توربین‌های بادی

برای استفادهٔ ایمن از توربین‌های بادی، علاوه بر شناسایی خطرها و ریسک‌های موجود، می‌بایست با رعایت نکات ایمنی تاحدامکان از بروز حوادث جلوگیری نمود. برخی از منابع خطرساز ارتباطی با مدت کارکرد توربین ندارند؛ مانند برخورد رعدوبرق به سازهٔ توربین و بروز آسیب و آتش‌سوزی. برخی دیگر از منابع خطرساز ارتباط مستقیم با مدت کارکرد توربین دارند؛ مانند بروز خوردگی در قطعه‌ها و یا نشت روغن به دلیل فرسودگی منبع نگهدارندهٔ آن. پس اطلاع از چرخهٔ کاری یک توربین و پیش‌بینی مدت‌زمان کارکرد آن، ما را در برنامه‌ریزی دقیق‌تر دربارهٔ تعمیر و نگهداری و رعایت نکات ایمنی و پیشگیری از حوادث، یاری می‌کند.

منابع خطرساز در رابطه با توربین‌های بادی

۱-در رفتن پره

۲-جداشدن ناگهانی اجزای توربین

۳-فروریختن برج

٤-داغ‌شدن بیش از حد ژنراتور و روغن‌های روان‌ساز و آتش‌سوزی پس از آن

۵-شرایط آب‌وهوایی خطرناک (وزش بادهای سهمگین)

٦-کارکردن پرسنل مربوطه در ارتفاع بالا (نزدیک به ۱۰۰ متر)

۷-وجود قطعه‌های دوار

۸-کار با قطعه‌های سنگین

۹-وجود برق ولتاژ بالا

۱۰-برخورد رعدوبرق به بدنهٔ توربین و بروز آتش سوزی

۱۱-نشت روغن

۱۲-انجماد پره



شکل ٤-آتشسوزی توربین بادی در مزرعه Elistorf آلمان



شکل ۳-آتشسوزی در یک توربین بادی

بررسی بارهای سوختی معمول

به طور معمول، ناسل‌های توربین بادی از پلاستیک تقویت‌شده با فایبرگلاس (FRP) ساخته می‌شوند. درک و تعیین مقدار منبع بارهای سوخت که معمولاً در داخل یک توربین بادی وجود دارد اگر کنترل سوخت یا گزینه‌های تغییر طراحی برای حفاظت در برابر آتش موردنظر باشد، مرحله‌ای ضروری است. بار سوخت در ناسل توربین بادی اغلب زیاد است، اما به نوع توربین و نحوه ساخت آن نیز بستگی دارد.

چهار جزء اصلی که می‌توانند باعث حریق در توربین‌ها شوند عبارت‌اند از: پلیمرها، عایق‌ها، کابل‌ها و روغن‌ها. همان‌طور که قبلاً اشاره شد توربین‌ها به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند: توربین بادی محور عمودی (VAWT) و توربین بادی محور افقی (HAWT)

VAWT تاکنون بسیار کم است و اکثر توربین‌های نصب شده در حال حاضر HAWT ها هستند که برای تولید برق تجاری به‌کار می‌روند. HAWT معمولا به دو نوع تقسیم می‌شود: HAWT درایو مستقیم و HAWT دنده محور.

یک HAWT چرخ‌دنده‌ای معمولاً به دلیل مقدار زیادی روغن و روان‌کننده‌ها، بار سوخت بیشتری را در خود جای می‌دهد.

عنصر

در حین پخش شعله روی ناسل: FRP قابل‌اشتعال است و به‌سختی خاموش می‌شود رزین‌های اپوکسی مورداستفاده در ذوب پشم‌شیشه مواد مورداستفاده برای عایق صوتی داخلی ناسل‌ها که اغلب از فوم ساخته می‌شوند نیز بخش عمده‌ای از بار را تشکیل می‌دهند. این عایق‌های مواد نیز بسیار قابل‌اشتعال هستند و می‌توانند به‌راحتی روغن ریخته‌شده را خیس کنند و در نتیجه به آنها قدرت بیشتری می‌دهند.

پتانسیل آتش‌سوزی تأسیسات الکتریکی و کابل‌های برق ضخیم بلند که از ناسل تا پایه را در بر می‌گیرد بسیار بالاست. برج‌های توربین نیز مقدار زیادی پلیمر را تشکیل می‌دهد.

توربین‌های بادی واقع در محیط‌های خشک در فصول گرم سال در معرض گردوغبار هوا قرار می‌گیرند که می‌توانند راه خود را به داخل ناسل پیدا کنند مخصوصاً برای توربین‌های بدون کنترل آب‌وهوا که گردوغبار به‌راحتی جذب می‌شود و رسوبات روغن ریخته شده برای تشکیل یک مخلوط قابل‌احتراق غلیظ را فراهم می‌کند.

ناسل می‌تواند مقدار زیادی مایعات قابل‌اشتعال از جمله روغن گیربکس، روغن ترانسفورماتور را در خود جای دهد.

سیالات هیدرولیک و سایر روان‌کننده‌ها:
به‌عنوان مثال در یک توربین بادی ۱/۵ مگاواتی، تا ۹۰۰ لیتر روغن روان‌کننده شامل مایعات خنک‌کننده و پاک‌کننده را می‌توان در داخل ناسل ذخیره کرد که در این صورت در داخل ناسل، بار آتش به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

اطفا حریق در توربین‌های بادی
یک حادثه آتش‌سوزی در توربین‌های بادی می‌تواند به‌سرعت به یک خطر جدی برای افراد و محیط‌زیست تبدیل گردد. خصوصاً اگر محل وقوع آن در داخل ناسل و روتور توربین باشد که در این صورت دسترسی آتش‌نشانان به چنین تأسیساتی سخت و غیرممکن می‌نماید.
از منظر اقتصادی هزینه‌های تحمیل شده ناشی از حریق توربین‌های بادی بسیار هنگفت و زیان‌بار می‌باشد. باتوجه‌به نوع طراحی این توربین‌ها خصوصاً آنهایی که در داخل دریا نصب می‌گردند، در هنگام یک حادثه، دسترسی به آنها غیرممکن می‌باشد. به‌منظور بر طرف نمودن چنین مشکل فوق‌العاده خطرناکی کمپانی زیمنس به طور اختصاصی مشغول به کار بر روی سیستم‌های کشف و اطفا برای توربین‌های بادی بوده است و پس از بررسی‌های دقیق و تخصصی دپارتمان تکنولوژی‌های ساختمانی زیمنس برای توربین‌های داخل خشکی و آنهایی که در داخل دریا نصب می‌شوند- اصطلاحاً Offshore یک سیستم حفاظت از حریق اکتیو با نام اختصاری AFFS را ابداع نمود.
سیستم AFFS با تشخیص دقیق حریق در داخل توربین، به طور خودکار آن را اطفا می‌نماید. اولین سری از این سیستم‌ها هم اکنون در سایت Riffgat واقع در دریای شمال مورد نصب و بهره‌برداری قرار گرفته است. این سیستم‌ها متشکل از دتکتورهای کشف حریق Sinteso و سیستم اطفا حریق Sinorix که ترکیبی از نیتروژن و گاز بی‌اثر است، می‌باشد. سیستم کشف حریق نقاط حساس و تجهیزاتی که عملکرد سیستم به آنها وابسته است را به طور دقیق مانیتور می‌نماید و در صورت کشف حریق، دتکتور سیگنال خطر را به سیستم کنترل توربین ارسال می‌کند، پس از تأیید صحت وقوع حریق توسط دتکتور دیگر، واحد اطفا حریق فعال می‌شود و در این حالت توربین به طور خودکار توسط کنترلر و یا در صورت لزوم توسط اوپراتور حاضر در اتاق کنترل خاموش می‌گردد.
سیستم کشف حریق مذکور به طور مداوم وضعیت و شرایط سیستم را به ایستگاه کنترل مخابره می‌نماید. به‌منظور افزایش ایمنی، یک سیستم داخل ناسل و یک سیستم در داخل برج نصب گردیده است و علی‌رغم اتصال هر دو سیستم به هم اما عملکرد آنها در مواجه با شرایط اضطراری منحصربه‌فرد خواهد بود که این قابلیت بالاترین سطح امنیت را برای توربین به ارمغان آورده است.
سیستم اطفا Sinorix طبق اصول گازهای بی‌اثر رفتار می‌نماید به این معنی که مقدار اکسیژن داخل فضای تحت پوشش با درصدی از نیتروژن جایگزین می‌شود تا جایی که فضای تحت پوشش غیر قابل اشتعال و به طبع آن غیر قابل انفجار گردد. نیتروژن گازی ارزان می‌باشد و می‌توان آن را از فضای آزاد نیز استحصال نمود.
با اجرای یک سیستم اطفا حریق خودکار در نیروگاه‌های بادی، می‌توان از خسارت‌های سنگین و واردآمدن هزینه‌های گزاف خودداری کرد.
همچنین با وجود یک کانال ارتباطی راه دور توربین سیستم کنترل توربین با مرکز خدمات زیمنس این امکان فراهم گردیده است تا آلارم‌ها ردیابی شده و تجهیزات کشف و اطفا حریق از راه دور قابل تنظیم و کنترل باشند که همین امر از صرف هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌کند.
چرخهٔ کاری توربین‌های بادی باتوجه‌به منابع گوناگون، ۲۰ تا ۲۵ سال پیش‌بینی می‌شود.
مثال: اگر چرخهٔ کاری یک توربین بادی، ۲۵ سال و فاکتور ظرفیت آن ٤٠٪ باشد، تعداد ساعت کاری این توربین را به دست آورید؟
ساعت ۸۷۶۰۰ = ۰/٤ × ۲٤ ساعت × ۳٦٥ روز × ۲۵ سال

استانداردها
حال به معرفی برخی از استانداردهای مربوط به توربین‌های بادی می‌پردازیم:
IEC ٦١٤٠٠-١: الزامات مربوط به طراحی
IEC ٦١٤٠٠-٢: توربین‌های بادی کوچک
IEC ٦١٤٠٠-٣: الزامات طراحی توربین‌های بادی در دریا
IEC ٦١٤٠٠-٤: دنده‌های توربین‌های بادی
IEC ٦١٤٠٠-٥: پره‌های روتور توربین‌های بادی
IEC ٦١٤٠٠-١١: روش‌های اندازه‌گیری آلودگی صوتی
IEC ٦١٤٠٠-١٢-١: اندازه‌گیری عملکرد قدرت
IEC ٦١٤٠٠-١٣: اندازه‌گیری بارهای مکانیکی
IEC ٦١٤٠٠-٢١: اندازه‌گیری ویژگی کیفی قدرت
IEC ٦١٤٠٠-٢٢: انطباق آزمایش‌ها و گواهینامه‌های مربوط به توربین بادی
IEC ٦١٤٠٠-٢٧: مدل‌های شبیه‌سازی الکتریکی
IEC ٦١٤٠٠-١٦: ترانسفورماتورهای ویژهٔ توربین‌های بادی



موتور وانکل

مهدی نامی خلیله‌ده، دانشجوی کارشناسی ارشد، تبدیل انرژی، دانشگاه تبریز
سیدامیررضا عبداللهی، دانشجوی کارشناسی ارشد، تبدیل انرژی، دانشگاه تبریز

بیوگرافی کوتاه از وانکل

فلیکس ونکل در ۱۳ آگوست ۱۹۰۲ در شیلراشتراس، در نواحی جنگلی سوابیا به دنیا آمد. وانکل از دبیرستان اونترپریما در سن ۱۹ سالگی فارغ‌التحصیل شد؛ اما شرایط بد و فقر خانواده‌اش در دوران بعد از جنگ، مانع از ادامه تحصیلش گشت.

در سال ۱۹۲۷ او طرح‌هایی از موتوری بدون پیستون یا همان موتورهای دورانی را ارائه داد و توانست پس از تلاش‌های بسیار برای گرفتن حق اختراع، در سال ۱۹۲۹ حق مالکیت دستگاه صنعتی‌اش را به مدت ٦ دهه از آن خود کند. در سال ۱۹۳۳ برای ثبت این اختراع اقدام کرد و در نهایت در سال ۱۹۳٦ توانست امتیاز این موتور را نیز به دست آورد. اولین نمونه واقعی موتورهای دورانی را نیز در فوریه سال ۱۹۵۷ معرفی کرد. در ماه می، نمونه صنعتی آن که قادر به ۲ ساعت کار و تولید ۲۱ اسب بخار قدرت بود به تولید رسید. اما نمونه اصلی آن برای فروش، در جولای سال ۱۹۵۸ آماده شد. جالب است، فیلیکس ونکل به‌رغم آنکه همه عمرش را صرف کار بر روی اتومبیل‌ها کرد، هیچ‌گاه گواهینامه رانندگی نگرفت و رانندگی هم نکرد. وی سرانجام پس از تحمل یک دوره طولانی بیماری، در سال ۱۹۸۸ درگذشت.

موتور دوّار یا وانکل(Wankel):

اصول عملکرد موتور دوار شبیه به موتور پیستونی است. موتورهای دوار مانند موتورهای پیستونی، برای کارکرد خود از فشار حاصل از سوختن سوخت و هوا استفاده می‌کنند. در موتورهای پیستونی فشار ایجاد شده در سیلندرها به پیستون‌ها نیرو وارد می‌کند و باعث حرکت آنها به جلو و عقب یا به بالا و پایین می‌شود. میل شاتون و میل‌لنگ حرکت رفت و برگشتی پیستون را به حرکت دورانی تبدیل می‌کند که از آن می‌توان برای تولید نیرو و به حرکت درآوردن خودرو استفاده کرد. در موتورهای دوار نیز فشار حاصل از احتراق که در محفظه آب‌بندی‌شده تشکیل شده، نیرویی بر سطح مثلثی شکل روتور(Rotor) وارد می‌کند و این همان چیزی است که در موتورهای دوار از آن به‌عنوان پیستون استفاده شده است. موتور دوار یک موتور احتراق داخلی است، اما روش کار آن کاملاً متفاوت با موتورهای پیستونی معمولی است. در موتور پیستونی یک حجم یکسان از فضا (سیلندر) چهار عمل مکش، تراکم، احتراق و تخلیه را به طور متناوب انجام می‌دهد. در موتورهای دوار (وانکل) نیز همین چهار کار انجام می‌شود. اما هر کدام از این چهار فرایند در قسمت مربوط به خود در محفظه مربوطه اتفاق می‌افتد. این شبیه آن است که هر فرایند یک سیلندر اختصاصی داشته باشد و با حرکت مداوم پیستون این چهار فرایند انجام شود.



طرزکار موتورهای وانکل :

روتور و محفظه در موتورهای دوار، جایگزین پیستون‌ها، سیلندرها، سوپاپ‌ها، شاتون‌ها و میل بادامک در موتورهای پیستونی شده است. روتور مسیر بیضی‌شکلی طی می‌کند. در طول این مسیر هر سه رأس روتور با سطح محفظه در تماس هستند و چرخش روتور در این محفظه سه حجم مجزا از گازها را به وجود می‌آورد و حجم گازها متناوباً منبسط و منقبض می‌شود. این انبساط و انقباض، هوا و سوخت را به داخل موتور می‌کشد، آنرا متراکم می‌کند و توان مفیدی از گازهای منبسط شده تولید می‌نماید و سپس بعد از احتراق آنرا تخلیه می‌کند. در موتورهای پیستونی یک حجم یکسان و مشخص (برابر حجم سیلندر) به‌صورت پی‌درپی تحت‌تأثیر چهار فرایند مکش، تراکم، احتراق و تخلیه قرار می‌گیرد، حال اینکه در موتورهای دورانی هرکدام از این چهار فرایند در نواحی خاصی از محفظه سیلندر که تنها متعلق به همان فرایند است، صورت می‌پذیرد. موتور دورانی همانند موتورهای رایج پیستونی از سیکل چهارزمانه استفاده می‌کند که به شکل کاملاً متفاوتی به خدمت گرفته شده است. قلب یک موتور دورانی، روتور آن است که معادل پیستون در موتورهای درون‌سوز پیستونی است. روتور روی یک بادامک دایره‌ای‌شکل بزرگ بر روی محور خروجی سوار شده است. این بادامک از خط مرکزی محور خروجی فاصله داشته و همانند یک میل‌لنگ عمل می‌کند.

چرخش روتور نیروی لازم جهت چرخش محور خروجی را تأمین می‌کند. هم‌زمان با چرخش روتور در محفظه، بادامک در یک مسیر دایره‌ای به حرکت درآورده می‌شود، به صورتی که هر دور کامل روتور منجر به سه دور چرخش محور خروجی می‌گردد. در هنگامی که روتور درون محفظه حرکت می‌کند، اندازه سه حجم ایجاد شده توسط روتور نیز تغییر می‌کند

قطعات یک موتور وانکل (دورانی):

موتورهای دورانی دارای سیستم جرقه و سوخت‌رسانی مشابه با موتورهای پیستونی هستند. قسمت‌های مختلف یک موتور دورانی به شرح زیر هستند:

۱) روتور: روتور یک قطعه مثلث شکل با سه سطح برآمده یا محدب هست که هرکدام از این سطوح همانند یک پیستون عمل می‌کند. همچنین هرکدام از این سطوح دارای یک گودی یا تورفتگی هست که حجم موتور را بیشتر می‌کند. در رأس هر وجه یک تیغه فلزی قرار گرفته که عمل آب‌بندی سه حجم محبوس در بین روتور و جداره سیلندر را بر عهده دارد. همچنین در هر طرف روتور (سطح فوقانی و تحتانی) رینگ‌های فلزی قرار گرفته‌اند که وظیفه آب‌بندی جانبی روتور را به عهده دارند. روتور دارای یک چرخ‌دنده داخلی در مرکز یک وجه جانبی است که این چرخ‌دنده با چرخ‌دنده دیگری که به‌صورت ثابت روی محفظه سیلندر قرار دارد، درگیر می‌شود و این درگیرشدن، مسیر و جهت حرکت روتور را درون محفظه تعیین می‌نماید.

۲) محفظه سیلندر: محفظه سیلندر تقریباً بیضی‌شکل است و شکل محفظه احتراق نیز به‌گونه‌ای طراحی شده که همواره سه لبه روتور در تماس با دیواره محفظه قرار گیرند و سه حجم آب‌بندی‌شده را بسازند. هر قسمت از این محفظه به یکی از چهار فرایند موتور (مکش، تراکم، احتراق، تخلیه) اختصاص دارد. پورت‌های مکش و تخلیه هر دو در دیواره محفظه تعبیه شده‌اند که هیچ‌گونه سوپاپی برای این پورت‌ها وجود ندارد. پورت تخلیه مستقیماً به اگزوز خودرو راه دارد و پورت مکش به دریچه گاز.

۳) محور خروجی: محور خروجی دارای یک برآمدگی مدور (بادامک) است که نسبت به خط مرکزی محور، خروج از مرکز دارد. هر روتور روی یکی از این بادامک‌ها سوار خواهد شد. این بادامک همانند یک میل‌لنگ در موتورهای پیستونی عمل می‌کند. ازآنجاکه این بادامک‌ها دارای یک خروج از مرکز هستند، نیروی وارد از طرف روتور به این بادامک‌ها گشتاوری در محور ایجاد می‌کند که باعث چرخیدن آن می‌گردد.

نحوه استقرار اجزاء موتور وانکل:

موتور دورانی به‌صورت لایه‌لایه مونتاژ می‌گردد. یک موتور دو روتورها به پنج لایه اصلی تقسیم‌بندی می‌شود که با یک ردیف دایره‌ای از پیچ‌های بلند کنار هم نگه داشته شده‌اند. آب‌خنک کاری در مسیرهای دورتادور قطعات جریان دارد. لایه‌های اول و آخر دارای آب‌بندی و همچنین یاتاقان‌های مناسب جهت محور خروجی است و همچنین دو محفظه روتور را آب‌بندی می‌کنند. سطوح داخلی این قطعات بسیار صاف و هموار هستند که این خود به آب‌بندی روتور کمک می‌کند. روی هر یک از قطعات یک پورت ورودی تعبیه شده است. لایه بعدی محفظه بیضی‌شکلی است که قسمتی از محفظه کل روتور است و این لایه دارای پورت خروجی است. در مرکز هر روتور یک چرخ‌دنده داخلی بزرگ قرار دارد که حول یک چرخ‌دنده کوچک‌تر ثابت روی محفظه موتور می‌چرخد. این دو چرخ دنده مسیر حرکتی روتور را تعیین می‌کنند. همچنین روتور روی بادامک دایره‌ای‌شکل محور خروجی واقع شده و آن را به گردش در مزایای موتور وانکل در مقایسه با موتور پیستونی می‌آورد.

مزایای موتور وانکل در مقایسه با موتور پیستون

۱) قطعات متحرک کمتر: موتورهای دورانی در مقایسه با موتورهای چهارزمانه پیستونی، قطعات متحرک کمتری دارند. یک موتور دورانی دو روتورها، مجموعاً سه قطعه متحرک اصلی دارد: دو روتور و محور خروجی. این در حالی است که ساده‌ترین موتورهای پیستونی چهارسیلندر، حداقل ۴۰ قطعه متحرک دارد، مانند پیستون‌ها، شاتون‌ها، میل‌لنگ، میل بادامک، سوپاپ‌ها، فنر سوپاپ‌ها، اسبک‌ها، تسمه تایمینگ و... کم‌بودن قطعات متحرک می‌تواند دلیلی بر قابلیت اعتماد و اعتبار موتورهای دورانی باشد و به همین دلیل است که کارخانه‌های سازنده وسایل هوانوردی (هواپیما و کایت‌های با موتور احتراق داخلی)، موتورهای دورانی را به موتورهای پیستونی ترجیح می‌دهند.

۲) کارکرد نرم و بدون لرزش: موتور دورانی به دلیل تقارن خاص قطعات گردنده، دارای یک نوع بالانس داخلی است که هرگونه ارتعاش و لرزشی را از بین می‌برد. همچنین انتقال قدرت در موتورهای دورانی نرم‌تر است، زیرا هر احتراق در طول ۹۰ درجه چرخش روتور حاصل می‌شود و از آنجایی‌که چرخش محور خروجی سه برابر چرخش روتور است، پس هر احتراق در طول ۲۷۰ درجه چرخش محور خروجی حاصل می‌گردد.

۳) حرکت آهسته: ازآنجاکه گردش روتور، یک‌سوم گردش محور خروجی آن است، قطعات اصلی موتور آهسته‌تر از قطعات موتورهای پیستونی حرکت می‌کنند که این موضوع قابلیت اطمینان به این موتور را بالا می‌برد و قطعات آن استهلاک کمتری خواهند داشت.

کاربرد موتورهای وانکل:

از جمله مصارف این موتور می‌توان در صنایع نظامی به‌عنوان پیشرانه وسایل پرنده سبک و همچنین در موارد متعددی صنایع خودرو فقط در مزدا (مدل‌های RX۸ و RX۷) و بنز C۱۱۱ کانسپت نام برد. شرکت مزدا در تولید و توسعه خودروهایی که از موتور دورانی استفاده می‌کنند، سابقه طولانی دارد. مزدا RX-۷ که در ۱۹۷۸ به بازار خودرو آمد، موفق‌ترین خودرو با موتور دورانی بوده است، ولی قبل از آن خودروها، کامیون‌ها و حتی اتوبوس‌هایی با موتور دورانی تولید شده بودند. سرآغاز آنها نیز Cosmo Sport در ۱۹۶۷ بود. آخرین سالی که RX-۷ در آمریکا فروخته شد، سال ۱۹۹۵ بود، ولی پیش‌بینی می‌گردد که موتورهای دورانی در آینده‌ای نزدیک به بازار خودرو بازگردند. مزدا RX-۸ خودرو جدیدی از شرکت مزدا است که یک موتور دورانی جدید و برتر به نام رنه سیس را عرضه کرده است. این موتور که موتور بین‌المللی سال ۲۰۰۳ نامیده شد، به‌صورت طبیعی مکش دارد و یک موتور دو روتور است که قدرت آن ۲۵۰ اسب بخار است.

از شاهد تا صراط؛ مسیر جدید ایرانی در موتورهای وانکل:

جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۸۶ برای اولین بار خط تولید موتورهای وانکل خود را راه‌اندازی کرده است؛ ولی نمونه پهپاد هرمس ۴۵۰ با موتور انگلیسی آن از سال ۱۹۹۴ عملیاتی است. اصولاً کشور انگلستان یکی از پیشروهای اصلی در این صنعت به‌حساب آمده و ده‌ها سال سابقه فعالیت در این حوزه را دارد؛ اما ایران با حدود ۱۰ سال سابقه در این بخش توانسته است فاصله خود با بزرگان در این بخش را بسیار کم کرده و در برخی بخش‌ها نیز از آنها سبقت بگیرد و با بررسی نمونه‌های جدید می‌توان با اطمینان خاطر از کیفیت و جایگاه بالای موتورهای ایرانی پهپادهای کشورمان سخن گفت.

در سال‌های قبل، سپاه پاسداران اجازه انتشار مشخصات دو مدل از موتورهای وانکل خود با اسم‌های شاهد ۷۸۳ و شاهد ۷۸۸ را داده بود تا نشانه‌ای از روند روبه‌رشد این بخش در سپاه باشد. موتور شاهد ۷۸۳ موتوری با وزن ۱۲٫۸ کیلوگرم است و ظرفیت آن ۲۰۸ سی‌سی است. توان برون‌دهی این موتور ۳۸ اسب بخار است. موتور شاهد ۷۸۸ یک موتور وانکل به وزن ۱۵٫۵ کیلوگرم است که ظرفیت آن ۲۹۴ سی سی بوده و توان برون دهی آن ۵۰ اسب بخار است.

اما در جریان نمایشگاه هوایی کیش، صنایع دفاعی کشورمان دو مدل موتور جدید از نوع وانکل به اسم صراط ۱۰ و صراط ۲۰ را به نمایش گذاشتند که مشخصات آن، سطح جدیدی از توان متخصصان کشورمان را نشان می داد. این دو مدل در توان‌ها و وزن‌های مختلف طراحی و ساخته شده‌اند. صراط ۱۰ ظرفیتی بالغ بر ۲۰۸ سی سی داشته و توان برون دهی آن ۳۵ اسب بخار است و میزان مصرف سوخت آن ۴۲۰ گرم در ساعت و وزن آن ۱۱ کیلو و ۳۰۰ گرم است. آنچه که مشخص است در مقایسه با موتورهای انگلیسی، نمونه‌های معرفی شده ایرانی در سطح همسانی با تولیدکنندگان برتر جهان قرار گرفته و صراط ۲ به‌عنوان یک موتور تماماً ایرانی، در بخش توان برون دهی و قدرت بر مبنای اسب بخار، از نمرات بهتری برخوردار است. اگرچه تجربه ثابت کرده که همواره در نمایشگاه‌ها و مراسمات مختلف کشورمان، نمونه‌هایی در معرض نمایش قرار می‌گیرند که به نسبت تولیدات جدید نیروهای مسلح، در رتبه‌های پایین‌تری قرار دارند، اما همین نمونه‌های سال‌های قبل نیز نشان می‌دهد در مباحث مربوط به پرنده‌های بدون سرنشین، کشورمان جای خود را در رتبه‌های برتر جهان محکم کرده و بهترین پهپادهای ایرانی. هم اکنون در حال نبرد با اشرار و تروریست‌های مجهز و حمایت شده در نقاط مرزی یا خط مقدم دفاع از جبهه مقاومت هستند.

ENERGY

Journal of the Interdisciplinary Energy Student Scientific Association of Tabriz University
First Year, Second Issue, March 1401



دبیرخانه نشریه:
دانشگاه تبریز، مرکز رشد و فناوری، ساختمان رشد فناوری، واحد اس ۵