

CIRCULAR ENERGY

پروژه درس

تحلیل سیستم‌های انرژی

گردآورندگان:

بهرنگ مافی

امیر صدیقی

استاد پروژه:

دکتر عباس رجیبی

بهمن ۱۴۰۰

دانشگاه صنعتی شریف

فهرست

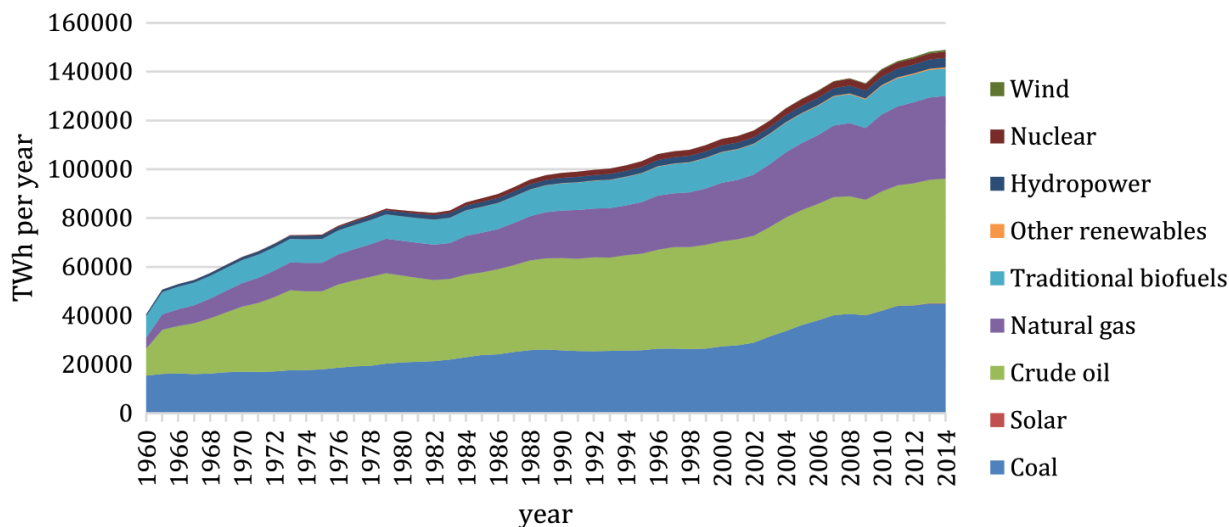
۱- مقدمه:	۱
۲- تاریخچه	۲
۲-۱- تاریخچه انرژی چرخشی:	۲
۳- طبقه بندی همزیستی صنایع بر پایه انرژی:	۷
۳-۱- ابشار انرژی	۸
۳-۲- جایگزینی سوخت:	۱۰
۳-۳- تولید انرژی زیستی	۱۲
۴- نیروگاه های CHP :	۱۴
۵- تکنولوژی های تبدیل زباله شهری به انرژی	۱۸
۶- تکنولوژی تولید انرژی از مواد زیستی:	۲۳
۶-۱- دستگاه تولیدکننده بیوگاز	۲۵
۶-۲- موارد استفاده از گاز زیستی (بیوگاز)	۲۶
۷- صنایع همزیست بر پایه انرژی: مشوق ها، موانع و کارسازی ها	۲۷
۷-۱- DBE ها در آبشار انرژی:	۲۸
۷-۲- DBE ها در جایگزینی سوخت:	۲۹
۷-۳- DBE ها در تولید انرژی زیستی:	۳۰
۸- نمونه اجرا شده در شهر میلی (Meili) چین:	۳۱
۹- نتیجه گیری:	۳۵
References	۳۸

فهرست شکل‌ها

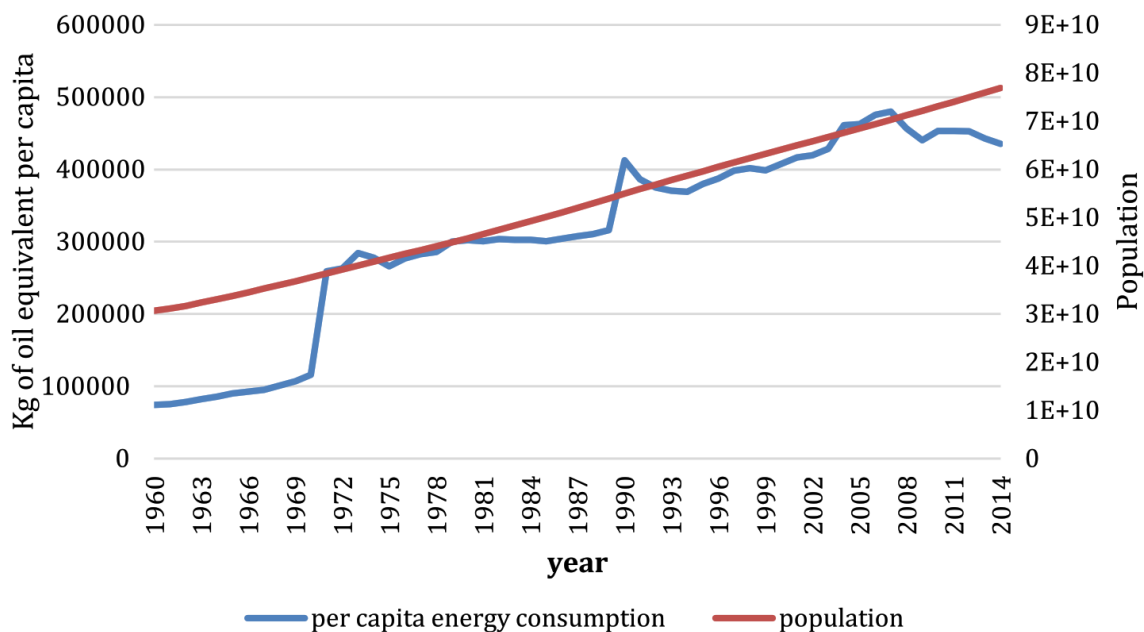
- شکل ۱) میزان جهانی مصرف انرژی اولیه بر منابع انرژی، بر حسب تراوات ساعت در سال‌های مختلف ۱
- شکل ۲) مصرف انرژی سرانه و جمعیت جهان از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ ۱
- شکل ۳) آبشار انرژی بین شرکت‌های A و B. انرژی زیستی بین A و C. جایگزینی سوخت بین A و D ۷
- شکل ۴) چهار سبک آبشار انرژی ۹
- شکل ۵) چهار سبک جایگزینی سوخت ۱۱
- شکل ۶) نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۵
- شکل ۷) میکرو توربین، نوع ساده‌ای از یک CHP ۱۶
- شکل ۸) یک نمونه از Micro CHP در ابعاد زیر 6MVA ۱۷
- شکل ۹) یک CCHP که توانایی تولید برق، حرارت و سرما را دارد ۱۷
- شکل ۱۰) درصد مواد تشکیل دهنده زباله های جامد در امریکا ۱۸
- شکل ۱۱) نحوه مدیریت زباله های جامد در امریکا ۱۹
- شکل ۱۲) میزان زباله جامد شهری در جهان و سهم انرژی چرخشی در آنها ۲۰
- شکل ۱۳) درصد سوزاندن زباله‌های شهری برای تولید انرژی در کشورهای مختلف ۲۱
- شکل ۱۴) سیستم Mass-Burn ۲۲
- شکل ۱۵) سیستم تبدیل زباله به انرژی ۲۳
- شکل ۱۶) شهر میلی: مقایسه سیستم خطی انرژی و سیستم چرخشی انرژی ۳۲
- شکل ۱۷) مقایسه بین BAU: کسب و کار در حالت عادی. NP: سناریوی جدید و CE ۳۳
- شکل ۱۸) سهم مشارکت هریک از صنایع شهر میلی پس از اجرای سناریوهای انرژی پاک ۳۴

۱- مقدمه:

مصرف انرژی جهانی از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴، بیش از دوبرابر افزایش داشته است (شکل ۱) و دلیل آن، علاوه بر افزایش جمعیت، افزایش میزان مصرف سرانه انرژی نیز هست. (شکل ۲) و این افزایش همچنان ادامه دارد.



شکل ۱) میزان جهانی مصرف انرژی اولیه بر منابع انرژی، بر حسب تراوات ساعت در سال‌های مختلف. منبع: Smil (۲۰۱۶)



شکل ۲) مصرف انرژی سرانه و جمعیت جهان از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ [1]

درواقع، رشد تقاضای جهانی برای انرژی در سال ۲۰۱۷، ۲.۱ درصد بوده است که بیش از دو برابر رشد ۲۰۱۶ است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۴۰ به ۳۰ درصد رشد هم برسد [1, 2, 3]. در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد انرژی از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال و گاز طبیعی تامین می‌شود و در نتیجه بیش از ۶۰ درصد تولید گاز CO₂ جهان به همین ترتیب تولید می‌شود [3]. که دلیل اصلی گرمایش جهانی است [4]. به این دلیل، سیاست‌گذاران در سطح جهان تصمیم به کاهش ۸۰ درصدی تولید گاز CO₂ تا سال ۲۰۵۰ گرفته‌اند [4]. به منظور دستیابی به این هدف، میزان انرژی تولیدی از سوخت‌های فسیلی باید به شکل قابل توجهی کاهش یابد.

یک استراتژی موثر برای انجام این کار، همزیستی صنعتی (Industrial Symbiosis: IS) صنایع انرژی محور به منظور کاهش مصرف سستی انرژی در این صنایع است. برای مثال، بخش تولید آهن و فولاد چین می‌تواند با استفاده از روش‌های IS، تا ۶ درصد مصرف انرژی کلی خود را کاهش بدهد.

امروزه، IS بعنوان یک استراتژی کلیدی برای حرکت به سمت انرژی چرخشی شناخته می‌شود. در IS، با استفاده مجدد از ضایعات حاصل از چرخ تولید بعنوان جایگزینی برای ورودی‌های سستی تولید برای سایر چرخه‌های سستی تولید سر و کار داریم.

در این مقاله، تمرکز ما بر رویکردهای IS بر پایه انرژی است، یعنی کاهش مقدار انرژی مورد نیاز خارج از سیستم‌های صنعتی یا کاهش مقدار سوخت سستی مورد نیاز برای تولید. کاهش موثر استفاده از سوخت‌های سستی برای تولید انرژی، نیازمند ایجاد روش‌های کارآمد انرژی چرخشی است.

۲- تاریخچه

۲-۱- تاریخچه انرژی چرخشی:

در واکنش به چارچوب معاهده سازمان ملل در مورد تغییرات آب و هوا، ۱۹۶ کشور، استراتژی‌هایی را برای توسعه فن‌آوری‌های با کربن پایین را پایه‌گذاری کردند. از بین این کشورها، چین بیشترین میزان گازهای گل‌خانه‌ای را در سال تولید می‌کند، ولی میزان تولید سرانه گاز دی‌اکسید کربن‌اش کم‌تر از روسیه و ۶۸ درصد از کشورهای عضو OECD^۱ است [5]. چین با تولید بیشترین میزان اجناس مختلف در جهان، اقتصادی دارد که به سرعت در حال

1 Organisation for Economic Co-operation and Development

رشد است. چنین رشد اقتصادی، بی‌شک صدمات محیط زیستی فراوان و تاثیرگذاری بد بر روی سلامتی انسان‌ها را در پی دارد و مطالبات اجتماعی مردم چین و سایر نقاط جهان، موجب شده است تا انگیزه‌ای بسیار قوی برای توسعه و تبیین انرژی چرخشی (CE) بوجود آید.

در دهه نود میلادی، در نتیجه رشد اقتصادی و کاهش منابع طبیعی، مفهوم CE در چین محبوبیت بسیاری پیدا کرد. پایه انرژی چرخشی بر مبنای استفاده از بازیافت جریان مواد و انرژی نهاده شده است و تعادلی بین رشد و توسعه اقتصادی با محیط زیست و محدودیت منابع، برقرار کرده است. امروزه، CE بیش از گذشته در جهان توسعه یافته است و سازمان‌هایی مانند European Commission و موسسه Ellen McArthur به طور تخصصی به بخش‌های مشخصی از آن می‌پردازند، از جمله طراحی مواد و برآورد و مشخص نمودن جریان‌ها [6].

شواهد مشخصی از یک منشاء واحد یا شخص واحدی که مفهوم CE را بنیان گذاشته باشد، وجود ندارد. ولی مشارکت چندین نفر از جمله پروفیسور جان لایل از آمریکا، دانشجویش ویلیام مک داناویو، شیمیست آلمانی مایکل براونگارت و معمار و اقتصاددان والتر اشتاهل در این رابطه ثبت شده است [7]. همچنین ایده CE ممکن است متأثر از کتاب بهار خاموش اثر ریچل کارسون [8] یا حد رشد، پایان‌نامه باشگاه رو در ۱۹۷۰، سفینه زمین، استعاره‌ای که بارابارا وارد و کنث بولدینگ و اثر اقتصاددان محیط زیستی، هرمن دیلی، بکار برده شد [9].

البته CE پیش از این تاریخ با اسامی دیگری هم شناخته می‌شد، مانند همزیستی صنایع (Industrial Symbiosis). همچنین مفاهیمی مانند شهر eco-city که در ژاپن و سنگاپور بسیار مطرح شده است، از جمله مفاهیم مرتبط با CE به حساب می‌آیند. در مقوله بوم‌شناسی صنعتی و تئوری سیستم‌ها، مفهوم CE با گستره وسیعی از علوم مانند ترمودینامیک و اقتصاد بوم‌شناسی سروکار داریم. توجه به این نکته مهم است که به دلیل قانون انتروپی، از دید ترمودینامیک، هیچ سیستمی نمی‌تواند ۱۰۰٪ چرخشی و بسته باشد. طبق تئوری سیستمی و قانون ترمودینامیک، اجرای CE مدل‌های تولید و مصرف را طوری تحت تاثیر قرار می‌دهد که در حالت «عدم رشد»^۲ قرار می‌گیرند، و نه در حالت رشد اقتصادی.

^۲ وضعیتی اقتصادی که ثروت نه زیاد می‌شود و نه کم. با حالت رکود اقتصادی اشتباه نشود.

مفهوم CE در فرهنگ‌ها و جوامع و سیستم‌های سیاسی متفاوت، به اشکال متفاوتی تکامل یافته است. در آلمان، در اوایل ۱۹۹۰، ایده CE با تمرکز بر روی بهبود مصرف مواد خام و منابع طبیعی به منظور حفظ رشد اقتصادی، به کار گرفته شد. در چین، در اواخر دهه ۹۰ میلادی، مدلی از یک پارک صنعتی-محیط زیستی ارائه شد و در اواسط سال ۲۰۰۰، مفهوم «جامعه هماهنگ» تبیین شد که پس از آن با تاکید بر روی بازیافت پسماندها پس از مصرف و توسعه حلقه‌های بسته مبتنی بر پسماند در یک سازمان یا بین چند سازمان، اجرا شد. در چین، از CE بعنوان مکانیزمی برای توسعه تولید سودمند، توسعه فناوری‌های جدید، به روز رسانی تجهیزات و بهبود مدیریت صنعتی استفاده شده است. در بریتانیا، دانمارک، سوئیس و پرتغال، CE در ابتدا بعنوان مدیریت پسماند اجرا شد، ولی بعداً مدل‌های کسب و کاری تعریف شد که بر اساس استفاده چرخشی از مواد (یا بازیافت آن‌ها) بنا نهاده شده بود. در کره و ژاپن، مشوق‌هایی بر پایه CE برای شهروندان تعیین شد که احساس مسئولیت آن‌ها در مصرف مواد و تولید پسماند را بالا می‌برد.

۱) دسته بندی اقتصاد چرخشی:

یک دسته بندی انجام شده توسط کی.وینانس و همکاران، در مقاله [10]، به شرح زیر است:

۱) ابزارها و رویکردهای سیاسی

۲) زنجیره ارزش، جریان مواد و خصوصیات محصول

۳) نوآوری‌های فنی، سازمانی و اجتماعی

۲-۱) ابزارها و رویکردهای سیاسی

ابزارهای سیاسی، ابزارهای اقتصادی و تنظیمی هستند که بدون وجود دخالت دولت‌ها، اتفاق نمی‌افتند. این ابزارهای سیاسی، ممکن است چارچوب‌های سیاسی یا رویکردهای از بالا به پایین باشند، یا برنامه‌های دولت یا رویکرد از پایین به بالا. از جمله مواردی که ابزارهای سیاسی و دولت‌ها منجر به اجرای انرژی چرخشی شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [11]:

- پارک‌های صنعتی - زیستی (eco-industrial Parks)

- شبکه‌های صنعتی - زیستی (eco-industrial Networks)

- همزیستی صنعتی (Industrial Symbiosis: IS)

لازمه ایجاد پارک‌های صنعتی-زیستی، تبادل آب، انرژی، اطلاعات یا مواد است، به گونه‌ای که «استفاده از مواد خام و انرژی حداقل شود، پسماند کاهش یابد و اقتصاد و روابط زیست محیطی و اجتماعی پایدار برقرار شود.» [12]

شبکه‌های صنعتی-زیستی و همزیستی زیستی، بر اساس همان تفکر پارک‌های صنعتی-زیستی برقرار می‌شود، ولی وسعت جغرافیایی بیشتری را در یک ناحیه، یک استان یا یک کشور پوشش می‌دهد. گاهی نیز این سه عنوان، مشابه همدیگر به کار می‌روند. ولی بهتر است که بین این سه عنوان، تفکیک قائل شد، زیرا وسعت و وظیفه عناصر دخیل در آن‌ها و تجربیاتشان متفاوت از هم است و همچنین عوامل بالقوه ایجاد آن‌ها نیز فرق می‌کند.

پارک صنعتی-زیستی کلاوندبورگ در دانمارک، جریان تبادل مواد بین صنایع مختلف در یک منطقه را ایجاد کرده است و پیشرفت اقتصادی و سودی که از همکاری بین صنایع ایجاد کرده، موجب شده است تا برای سایر ISها در سراسر جهان یک الگو باشد [13]. از جمله در اوترگاتلند سوئد، که ارتباط تبادل مواد بین یک کارخانه چوب‌بری، یک کارخانه تولید نئوپان، یک کارگاه آسیاب پالپ و چندین مصرف‌کننده شهری که با استفاده از پسماندها بعنوان سوخت، موجب کاهش مصرف گرما و انرژی و کاهش تولید گاز دی اکسیدکربن شده‌اند.

پروژه صنعتی-زیستی بندر روتردام هلند، پروژه‌ای بود که با رویکرد پایین به بالا شروع شد. علاقه صنایع خرد به بهبود وضع اقتصادی-اجتماعی، در سال ۱۹۹۴ با مشارکت ۶۹ واحد صنعتی ادامه یافت و پس از گسترش، به مشارکت دولت و واحدهای دانشگاهی انجامیده است.

۲-۲) زنجیره ارزش، جریان مواد و خصوصیات محصول

در گزارشی که در سال ۲۰۱۴ توسط سازمان ملل متحد تهیه شد، CE را از دید مواد و «اولویت‌های بالقوه و انتخاب سیاست‌ها برای حمایت از اجرای انرژی چرخشی در اتحادیه اروپا» به چند دسته تقسیم نمود: چوب و کاغذ، پلاستیک‌ها، فلزات، محصولات کشاورزی و زباله، فسفر و سایر مواد شیمیایی [14].

- چوب و کاغذ: صنایع مرتبط با جنگل‌ها، کاغذ و خمیر کاغذ، مصرف کنندگان مقادیر زیاد انرژی هستند. ولی با بکارگیری همزیستی صنعتی، قادر به تبادل حرارت و برق با نیروگاه‌های شهری هستند. برای مثال، صنایع کیمین در فنلاند که با یک نیروگاه برق، یک تصفیه خانه آب و یک تصفیه خانه فاضلاب و یک مرکز دفت زباله، تشکیل IS داده است و مقادیر قابل توجهی گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده است [15].

- پلاستیک: حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد زباله‌های شهری را پلاستیک‌ها تشکیل می‌دهند. بنابراین بازگرداندن دست‌کم بخشی از این میزان پسماند به چرخه انرژی، می‌تواند نقش مهمی در حفظ محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای ایفا کند.
- فلزات: صنایع تولید فولاد و آهن، با تبادل حرارت با سایر صنایع از یک طرف و با استفاده از سوخت‌های حاصل از پسماند بجای سوخت‌های فسیلی، نقش مهمی در اجرای IS ایفا می‌کنند که در همین مقاله بیش‌تر به آن پرداخته خواهد شد.
- فسفر و مواد شیمیایی: تولید مواد شیمیایی، همان‌طور که نقشی کلیدی در پیشرفت و توسعه ایفا می‌کنند، منابع تولید آلودگی و مصرف‌کننده بزرگ انرژی نیز هستند. بنابراین اجرای تکنیک‌های CE می‌تواند در این صنایع نقش مهمی داشته باشند.
- تولیدات کشاورزی و زباله‌ها: استفاده از پسماندهای زیستی و فضولات حیوانی در کشاورزی بعنوان منبع تولید انرژی، می‌تواند ضمن کاهش میزان زباله، در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش گاز دی اکسید کربن و گلخانه‌ای، نقش مهمی داشته باشند.

۳-۲) نوآوری‌های فنی، سازمانی و اجتماعی:

اغلب موانعی که سر راه اجرای انرژی چرخشی هستند، موانع فنی یا اقتصادی هستند که گاه بخاطر مشارکت اندک ذی‌نفعان موثر بوجود می‌آیند. برای رفع این موانع، لازم است سازمان‌ها و گروه‌های اجتماعی درگیر اجرای سیستم بشوند. برای مثال، سازمان‌هایی مانند الن مک‌آرتور و یا سازمان مک‌کینزی، مکانیزم‌هایی برای نوآوری‌های فنی و اجتماعی، ابداع کرده‌اند [7].

کوهن-روزنتال نوعی اثر انتروپی را در مواد و جریان‌ها توضیح می‌دهند که در آنالیز تولید مواد، طراحی و بازیافت آن‌ها تاثیر دارد. تولید صنعتی به شکل سنتی، ترکیبی از مواد را طی پروسه‌هایی تبدیل به مواد دیگری می‌کند که اغلب در ساختار و عملکرد با مواد اولیه هیچ تشابه و سنخیتی ندارند. از نظر تئوری، CE پیشنهاد می‌کند رویه‌های تولید به گونه‌ای طراحی شوند که مانند سیستم‌های طبیعی رفتار کنند. یعنی محصولات از نظر ساختار شیمیایی و فیزیکی، با مواد اولیه خود یکی باشند. البته این تئوری هنوز عملی به نظر نمی‌رسد، زیرا محدودیت‌های بسیاری در طراحی و تولید محصولاتی وجود دارد که با ساختار مواد اولیه خود یکسان باشند [16].

۳- طبقه بندی همزیستی صنایع بر پایه انرژی:

سه شیوه برای چرخش انرژی شناخته شده است:

(۱) آبشار انرژی (Energy Cascade)

(۲) جایگزینی سوخت

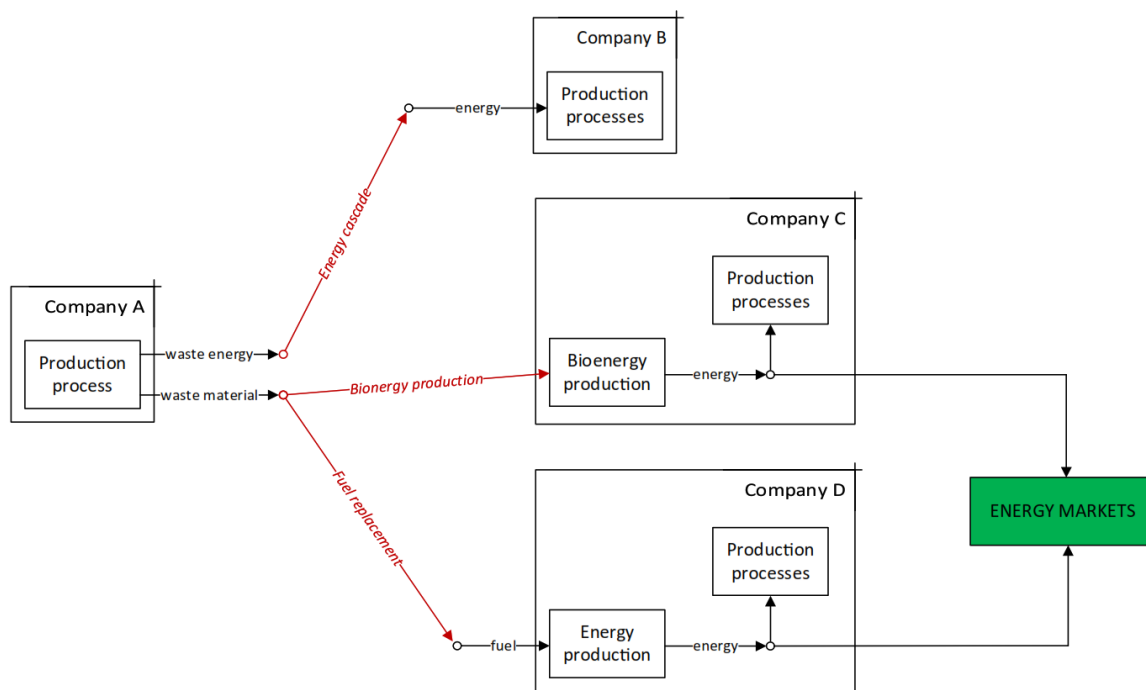
(۳) تولید انرژی زیستی

آبشار انرژی بین دو پروسه زمانی رخ می‌دهد که انرژی تلف شده در پروسه نخست (مثلاً حرارت تلف شده یا بخار) در پروسه بعدی مورد استفاده قرار بگیرد.

جایگزینی سوخت زمانی رخ می‌دهد که مواد ضایعاتی جای سوخت سنتی در سیستم تولید انرژی بر پایه سوخت فعلی را بگیرد (بطور مثال جایگزین کردن ذغال سنگ)

و سرانجام IS های بر پایه تولید انرژی از سوخت‌های زیستی، از ضایعات ارگانیک بعنوان سوخت استفاده می‌کنند.

در شکل ۳، با فرض این‌که شرکت‌های مختلفی در انرژی چرخشی حضور دارند، این دسته بندی نشان داده شده است.



شکل ۳) آبشار انرژی بین شرکت‌های A و B، انرژی زیستی بین A و C، جایگزینی سوخت بین A و D.

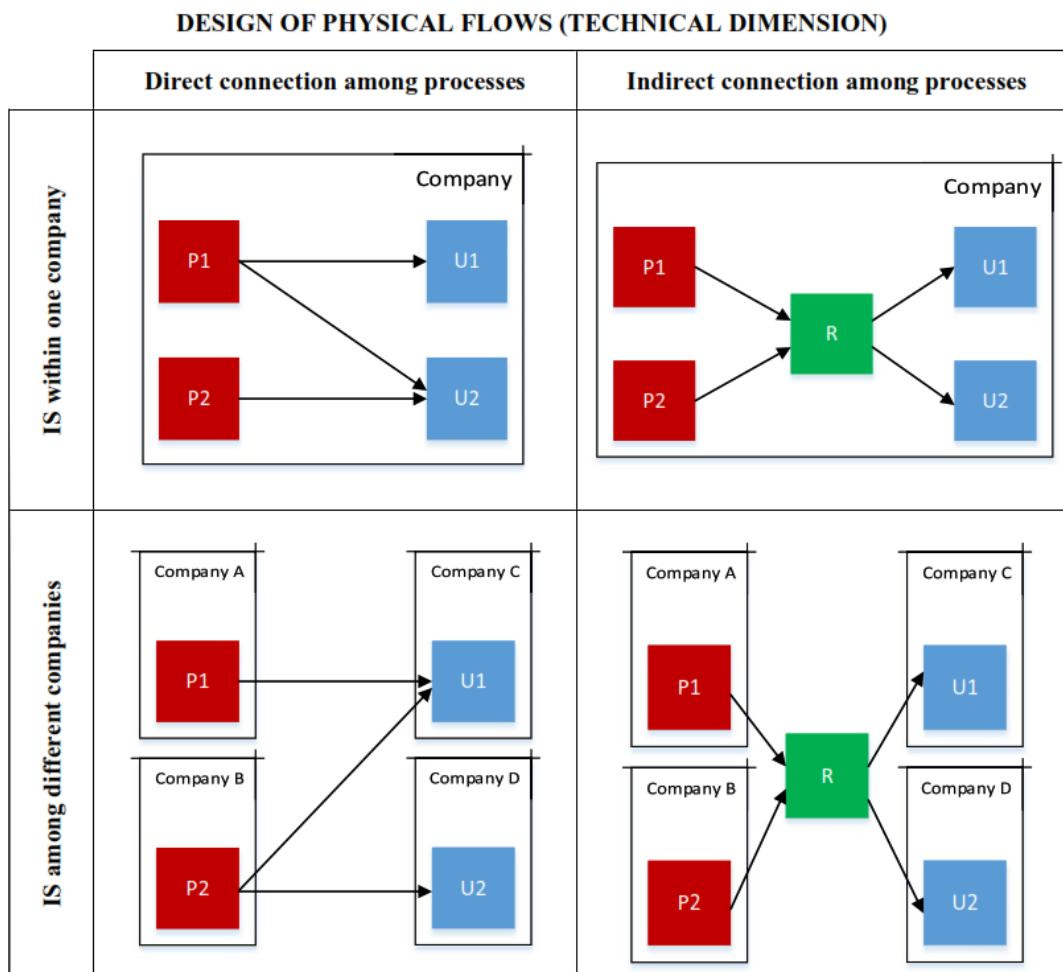
در ادامه، هریک از دسته بندی‌های فوق با معرفی نمونه‌های اجرا شده، شرح داده می‌شوند.

۳-۱- ابشار انرژی

بر اساس نوع کسب و کار و ابعاد فنی آن، چهار سبک ابشار انرژی وجود دارد (شکل ۴). از دید کسب و کار، ابشار انرژی ممکن است داخل یک شرکت اجرا شود یا در بین شرکت‌های مختلف و متفاوت. از دید فنی، جریان انرژی ممکن است مستقیم در بین پروسه‌های تولید جاری شود یا این‌که انرژی به تاسیسات بازیابی انرژی فرستاده و بعد به سایر پروسه‌ها ارسال شود. در تمام این حالات، اجرای ابشار انرژی نیاز به ایجاد زیرساخت‌های جدید، مانند خطوط لوله جهت اتصال پروسه‌های مرتبط باهم یا تاسیسات بازیابی حرارت، خواهد داشت.

در رده تولیدکنندگان انرژی تلف شده، چندین شرکت و پروسه‌های تولیدی درگیر را یافتیم: نیروگاه‌ها، کارخانه‌های آهن و فولاد، کارخانه‌های تولید نئوپان، شرکت‌های شیمیایی، تاسیسات تولید شکر، تولیدکنندگان سوخت زیستی، شرکت‌های تولید مواد معدنی و تولیدکنندگان شیشه.

در رده مصرف‌کنندگان، در حال حاضر شرکت‌های متعددی بعنوان مصرف‌کننده انرژی تلف شده شناخته شده‌اند. شرکت‌های بازیافت زباله، کارخانه‌های کاغذسازی و تولید نئوپان، شرکت‌های تولیدکننده مواد غذایی، تولیدکنندگان لوازم خانگی، شرکت‌های تولیدکننده مواد شیمیایی، تاسیسات نمک‌زدایی، شرکت‌های ساخت و ساز، تولیدکنندگان خودرو، شرکت‌های high-tech، تولیدکنندگان سوخت زیستی و پالایشگاه‌ها، گلخانه‌ها و تولیدکنندگان آهن و فولاد.



شکل ۴) چهار سبک آبخار انرژی

همانگونه که می‌بینید، یک شرکت می‌تواند همزمان تولیدکننده و مصرف کننده انرژی تلف شده باشد، برای مثال وقتی از بخار پرفشار استفاده می‌کند (که از شرکت دیگری دریافت کرده است) در عین حال، بخار کم فشار باقی‌مانده را هم تولید می‌کند (که به شرکت دیگری فرستاده می‌شود)

اجرای آبخار انرژی، به ما این امکان را می‌دهد که مصرف انرژی در یک مجتمع صنعتی را به حداقل برسانیم، زیرا مجموع انرژی لازم که باید از خارج از سیستم تامین شود، کاهش می‌یابد. برای مثال، در شهر جینان چین، با استفاده از روش آبخار انرژی در یک مجتمع صنعتی در نزدیکی شهر، انرژی لازم به اندازه ۱۰۹۰۰ تن معادل زغال سنگ (tce) در سال کاهش پیدا کرده است. در شهر لیوژو چین، ۲۰۰ تن در سال بخار حاصل از یک نیروگاه و یک

کارخانه تولید آهن و فولاد، به مرکز تولید حرارت بخش مسکونی فرستاده می‌شود و در نتیجه ۱۲۵۰۰ تن معادل زغال‌سنگ انرژی در سال صرفه‌جویی می‌شود.

بعلاوه، کاهش نیاز به انرژی، بطور غیرمستقیم و با کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، به محیط زیست کمک می‌کند. برای مثال، کاهش گاز CO₂ ناشی از اجرای آبشار انرژی در لیوژو چین، برابر با ۱۲.۶ کیلوتن در سال و در شهر اولسان کره جنوبی، ۴۵.۵ کیلوتن در سال بوده است.

مطالعات بسیاری حاکی از فواید اجرای آبشار انرژی در بین شرکت‌ها در مناطق صنعتی است. برای نمونه، در گویانگ چین، سالانه حدود ۳۰۰ تن حرارت تلف شده بازیابی می‌شود که در نتیجه ۱۸۸۶۴ (tce) سوخت فسیلی کمتر مصرف شده و در نتیجه ۴۹ کیلوتن در سال CO₂ کمتر تولید می‌شود.

در پارک صنعتی دوست‌دار محیط زیست جزیره جورونگ در سنگاپور، تقاضای انرژی ۴۰ درصد کاهش یافته است و در شهر صنعتی مسعید در قطر، با اجرای آبشار انرژی، هزینه مصرف سالیانه انرژی ۵ میلیون دلار کاهش داشته است و CO₂ بیش از ۲۰۰ تن در روز کم شده است. در مجتمع پتروشیمی یئوسو کره جنوبی نیز توانسته‌اند حرارت تلف شده تولیدی را تا ۸۲ درصد کاهش بدهند و هزینه انرژی تا ۸۸ درصد کاهش داشته است.

۳-۲- جایگزینی سوخت:

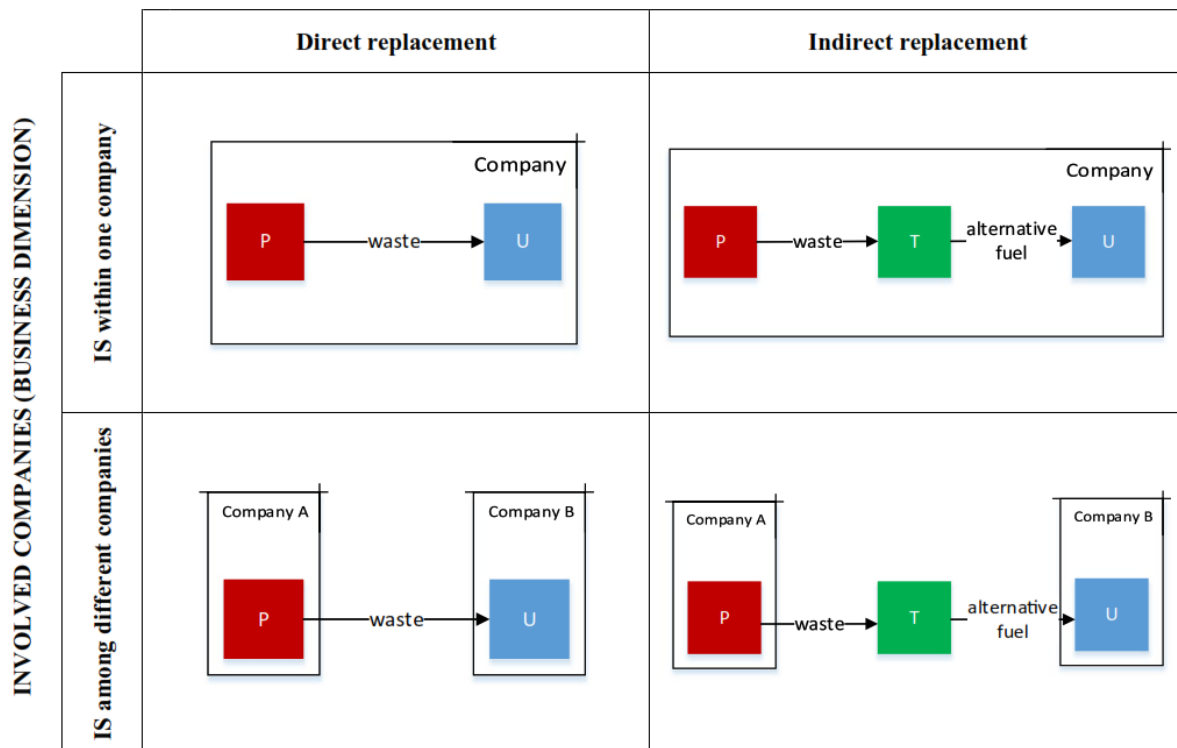
بر اساس نوع کسب و کار و ابعاد فنی آن، چهار سبک جایگزینی سوخت وجود دارد (شکل ۵) از دید کسب و کار، جایگزینی سوخت ممکن است داخل یک شرکت اجرا شود یا در بین شرکت‌های مختلف و متفاوت. از دید فنی، ضایعات ممکن است مستقیم بعنوان سوخت بکار رود (جایگزینی مستقیم) یا این‌که به از طریق تاسیسات عمل‌آوری و پالایش، به سوخت دیگری تبدیل بشود (جایگزینی غیرمستقیم).

در حال حاضر، ضایعات متفاوتی بعنوان سوخت جایگزین استفاده می‌شوند: لیگنین^۳ حاصل از صنایع کاغذ و چوب، ضایعات پلاستیکی، تایرهای مصرف شده، خرده‌های چوب، ضایعات زغال حاصل از پرسه استخراج زغال سنگ، پسماندهای جامد حاصل از تولید بایودیزل، اکسید کربنیک حاصل از کوره‌های کاربید کلسیم، ضایعات

^۳ یک پلیمر پیچیده ساخته شده از واحدهای مولکولی فنیلپروپان است که به شکل آمورف و مخلوط با هولوسلولز در گیاهان به صورت لایه‌ای دور سلولز را فرا گرفته‌است. بعد از سلولز لیگنین رایج‌ترین ترکیب در ساختار گیاهان چوبی و غیرچوبی است. چوب خشک حاوی حدود ۲۵ درصد لیگنین است که در دیواره سلولی و در قسمت خارجی سلول قرار گرفته‌است. لیگنین به‌عنوان یک اتصال دهنده دیواره سلولی عمل می‌کند و فیبرهای سلولی حاوی ماتریکس را برای استحکام ساختار چوب به هم متصل می‌نماید. منابع لیگنین فراوانند و اکثراً هم غیرقابل مصرفند. چوب و پوست درختان که از صنایع الواری به‌جای می‌مانند و همچنین فضولات کشاورزی می‌توانند مقدار بسیار زیادی لیگنین حاصل دهند. منبع کوچک‌تر ولی در دسترس‌تر لیگنین خمیر کاغذ و صنایع چوب است که ذخیره زیادی برای لیگنین است. محتویات لیگنین در گونه‌های مختلف چوب از یک درخت به درخت دیگر و حتی در یک منطقه از یک درخت نسبت به منطقه دیگر از همان درخت متفاوت است. لیگنین یک پلیمر با وزن مولکولی بیشتر از ۱۰۰۰۰ در درختان کاج و احتمالاً کمتر از ۵۰۰۰ در درختان برگ‌ریز می‌باشد که سه مونومر اصلی آن کونیفریل الکل، ایزوونزول و سیرنزول الکل می‌باشند. مونومر این یک آمینو اسید است

کشاورزی حاصل از مزارع، روغن‌پسماند و حلال‌های شیمیایی و ضایعات خطرناک. اغلب این ضایعات بعنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی، خصوصاً زغال، در نیروگاه‌ها یا صنایع با مصرف انرژی بالا استفاده می‌شوند.

FUEL REPLACEMENT STRATEGY (TECHNICAL DIMENSION)



شکل ۵) چهار سبک جایگزینی سوخت

تحقیقات جدیدی نیز بر روی منابع سوخت جایگزین انجام شده است که بطور سنتی بازیابی نمی‌شدند و اغلب در زمین دفن می‌شدند. آلسینا (۲۰۱۷) تحقیقاتی انجام داده است تا از دانه‌های مصرف شده قهوه جمع‌آوری شده از کافه‌ها، بعنوان منبع ایجاد گرما برای ایجاد قهوه بریان شده استفاده کرد. همچنین اسپرانديو، تحقیقاتی برای استفاده از تفاله‌های جو از کارخانه‌های نوشابه‌سازی کرده است، تا یا بصورت تخته‌هایی در بیابند و به مصرف سوخت و ایجاد حرارت در پروسه نوشابه‌سازی برسند، یا به شکل زغال در بیابند و در فرآیند پیش‌گرمایش برای gasification بکار بروند.

همچنین از زباله‌های شهری برای سوخت جایگزین استفاده شده است. برای مثال، در کاوازاکی (ژاپن)، پلاستیک و کاغذ را از زباله‌ها جدا می‌کنند تا پس از انجام فرایندهایی، به سوخت جامد با کیفیتی برسند که در فولادسازی کاربرد دارد. در پینگلیانگ چین از زباله‌های تفکیک نشده شهری بعنوان جایگزین زغال نیروگاه استفاده می‌شود.

از دید زیست محیطی، این راهکار سه فایده اصلی دارد:

۱- کاهش زباله‌های دفنی در میدان‌های دفن زباله

۲- کاهش سوخت فسیلی در پروسه‌های صنعتی

۳- کاهش گازهای گلخانه‌ای

با این رویکرد، در شهر گویانگ چین در ۲۰۱۶، به دو دست‌آورد رسیده‌اند:

۱- ۱۰ تن در سال پلاستیک ضایعاتی بجای ۱۲ تن زغال در صنایع سیمان، فولاد و آهن استفاده می‌شوند و تولید گاز دی اکسید کربن به اندازه ۳۱.۲ کیلوتن در سال کاهش پیدا کرده است.

۲- مصرف ۱۰۰ تن در سال زغال مورد نیاز نیروگاه‌ها کاهش یافته است و در نتیجه ۳۰ کیلوتن معادل زغال سوخت فسیلی صرفه جویی می‌شود و ۷۸ کیلوتن در سال گاز دی اکسید کربن کمتری تولید می‌شود.

البته کاهش گاز CO_2 در موارد مختلف جای بحث دارد. اکرمین و چرتوف در ۲۰۱۳ نشان دادند که سوزاندن زباله ممکن است CO_2 بیشتری تولید کند که بستگی به فن‌آوری‌های بکار گرفته شده دارد.

۳-۳- تولید انرژی زیستی

بر اساس نوع کسب و کار و ابعاد جغرافیایی آن، می‌توان تولید انرژی زیستی را دسته بندی کرد. از دید کسب و کار، تولید انرژی زیستی ممکن است داخل یک شرکت اجرا شود که تولید کننده ضایعات، پروسه تولید انرژی زیستی را هم انجام می‌دهد. یا در بین شرکت‌های مختلف و متفاوت که زنجیره تولید انرژی زیستی تشکیل خواهد شد. از لحاظ جغرافیا، زباله مورد نیاز برای تولید انرژی زیستی، می‌تواند در مناطق شهری، صنعتی یا روستایی تولید بشود.

آلفارو و میلر در ۲۰۱۴، چندین IS انرژی محور را شناسایی کردند که برای استفاده از زباله روستایی، امکان ایجاد در مزارع کوچک را دارند و برق و بیوگاز را برای مصارف داخلی تولید می‌کنند و به نفع اقتصاد کشاورزان هستند. همچنین افراد مختلف، امکان استفاده از تفاله‌های حاصل از روغن گیری زیتون جهت تولید انرژی، چوب درخت کائوچو حاصل از فرایند استخراج شیره درخت برای تولید لاستیک جهت تولید برق، زنجیره تولید برق از فضولات حیوانات مزرعه در هلند را بررسی کرده‌اند.

تحقیقات بسیاری در زمینه آنالیز ضایعات مختلف و فضولات جهت بهینه سازی اقتصادی میزان تولید انرژی با استفاده از برنامه ریزی خطی انجام شده است [17].

در مورد استفاده از زباله‌های شهری، می‌توان از زباله‌های بر پایه مواد زیستی که حدود ۴۶ درصد زباله را تشکیل می‌دهند، انرژی تولید کرد. برای انجام این کار بطور کارآمد، لازم است شهروندان که تولیدکننده زباله هستند، همین‌طور مدیران محلی که مسئول جمع‌آوری زباله و دفن آن هستند، همه درگیر بشوند. منشاء این زباله‌ها، مصارف خانوار، غذاهای تهیه شده از فروشگاه‌ها، غذاهای تامین شده از رستوران‌ها و دکه‌های تامین غذا، و رسیدگی به فضای سبز خانه‌ها است. بعلاوه، این زباله‌های ارگانیک را می‌توان با زباله‌های روستایی ترکیب کرد. در این زمینه، وگا کوئزادا در ۲۰۱۷، مطالعات امکان‌سنجی ترکیب زباله‌های شهری با فضولات حیوانی و تولید بیوگاز را بررسی کرده است.

همچنین پسماندهای ناشی از تصفیه فاضلاب شهری را می‌توان از طریق تولید همزمان، برای تولید برق به کار برد. در مورد استفاده از زباله‌های صنعتی برای تولید انرژی، سگارُبسا و روسو و همچنین سانتاگاتا در سال ۲۰۱۷، هم‌افزایی IS که توسط شرکت‌های مرتبط با زنجیره صنعت تامین گوشت بکار گرفته شده است را بررسی کرده‌اند که در آن، حجم عظیمی زباله‌های ناشی از کشتارگاه‌ها تولید می‌شود. قسمت عمده این زباله‌ها، بخش‌هایی از حیوانات سلاخی شده است که امکان فروش بعنوان گوشت یا تبدیل به محصولات گوشتی را ندارند. تمام این قطعات غیر قابل استفاده جمع‌آوری می‌شوند و پس از یک پروسه آماده سازی اولیه، بخش جامد (مانند استخوان و گوشت) را می‌توان برای تولید انرژی بکار برد.

ولنتورف در ۲۰۱۶، استفاده از ضایعات روغنی حاصل از تولید سوخت را جهت تولید انرژی بررسی کرده است. انرژی الکتریکی و بیوگاز را می‌توان لجن حاصل از پروسه تصفیه آب نیز تولید کرد.

در کل، تولید انرژی زیستی باید سه فایده محیط زیستی داشته باشد:

۱- کاهش زباله (زیستی) در مراکز دفن زباله

۲- کاهش انرژی تولید شده از منابع معمول

۳- کاهش گازهای گلخانه‌ای

کاهش گازهای گلخانه‌ای بطور مشخص، نتیجه کاهش میزان انرژی تولیدی از منابع سنتی است و با بهبود فن‌آوری‌های تولید انرژی زیستی، می‌توان میزان تولید گازهای گلخانه‌ای منتج از این فرایند را هم کاهش داد.

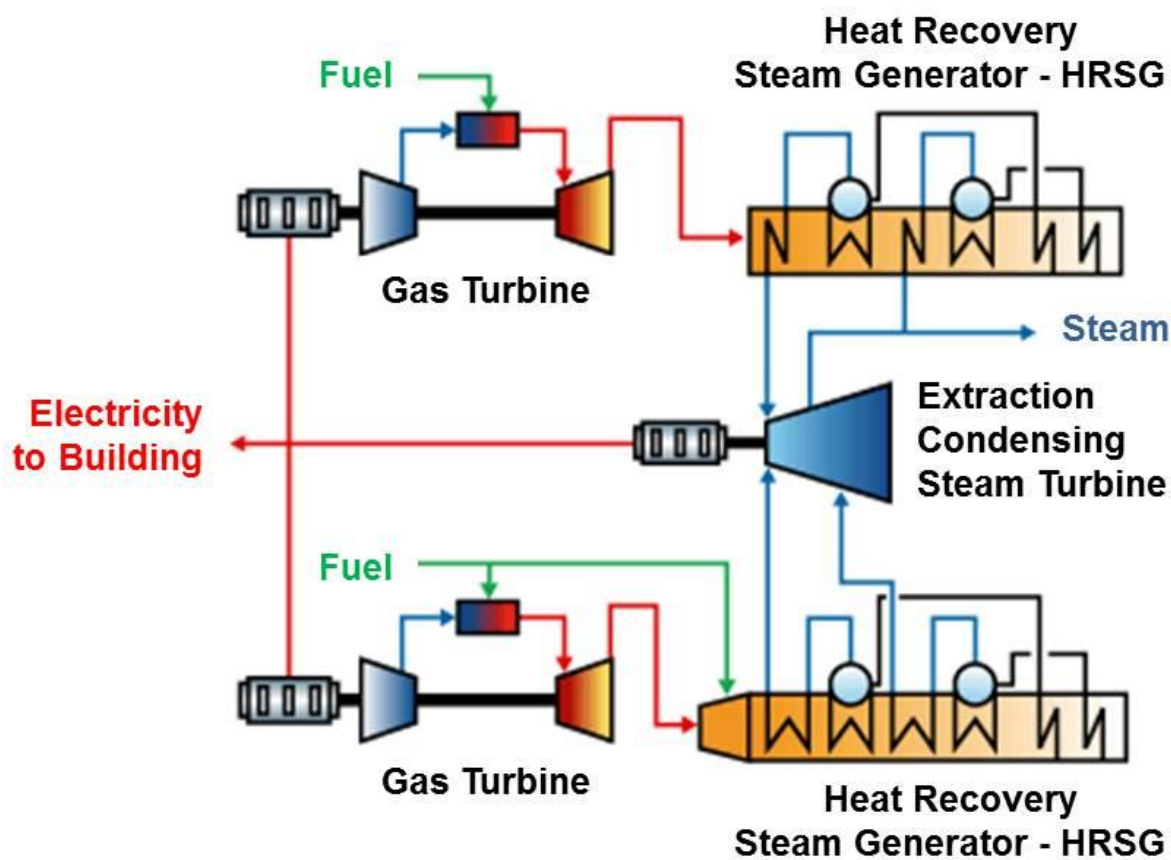
۴- نیروگاه‌های CHP [18]:

یکی از انواع سیستم‌های آبشار انرژی، نیروگاه‌های ترکیب حرارت و نیرو یا همان CHP است. این نیروگاه‌ها قادر هستند تا بطور هم زمان چند نوع انرژی تولید کنند.

نیروگاه گازی براساس چرخه برایتون (Brayton Cycle) کار می‌کند. در توربین گازی سیال یک گاز است و به همین دلیل به آن توربین گازی می‌گویند. به بیان بهتر، عامل انتقال و تبدیل انرژی، گازی مانند هوا است. هوا به صورت بی‌دررو یا آدیاباتیک فشرده شده، احتراق در فشار ثابت رخ داده و انبساط هوای فشرده و داغ، به صورت بی‌دررو انجام می‌شود و هوا به فشار اولیه می‌رسد. در چرخه استاندارد برایتون، به جای تحول احتراق، یک تحول انتقال حرارت در نظر گرفته می‌شود. همچنین با هدایت گازهای خروجی به یک مبدل حرارتی فرضی، دمای آن را به شرایط محیط می‌رسانند تا به این ترتیب، چرخه بسته در نظر گرفته شود.

توربین‌های گاز صنعتی مولد توان الکتریکی، که توربو ژنراتور گاز نیز نامیده می‌شوند، توربین‌هایی‌اند که توان تولید شده آن‌ها، به طور مستقیم یا پس از تغییر سرعت دوران در جعبه دنده، به ژنراتور منتقل شده و در آنجا به توان الکتریکی تبدیل می‌شود. این توربین گاز به دو صورت سیکل ساده یا سیکل ترکیبی است. در سیکل ساده، گازهای خروجی که تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد دما دارند، از اگزوز توربین مستقیماً وارد هوا شده و انرژی باقیمانده در آن هدر می‌رود.

این انرژی حرارتی مازاد را می‌توان به اشکال مختلف به چرخه تولید انرژی بازگرداند. یکی از معمول‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌ها، ایجاد نیروگاه سیکل ترکیبی است. به این ترتیب که از این انرژی مازاد، در بویلرهای بازیاب، آب بازگشتی از کندانسور توربین بخار را دوباره به بخار تبدیل می‌کند. به این ترتیب، می‌توان راندمان نیروگاه گازی که حدود ۳۳ درصد است را با تبدیل به نیروگاه سیکل ترکیبی، به ۵۷ درصد رساند.

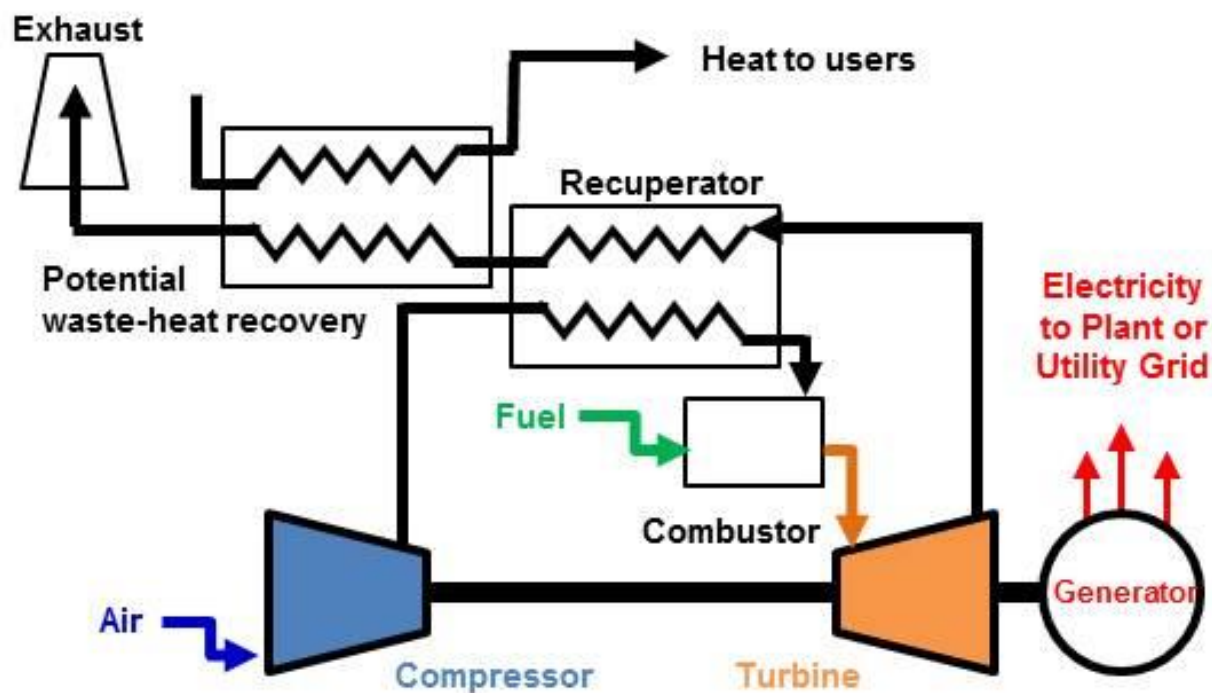


شکل ۶) نیروگاه سیکل ترکیبی

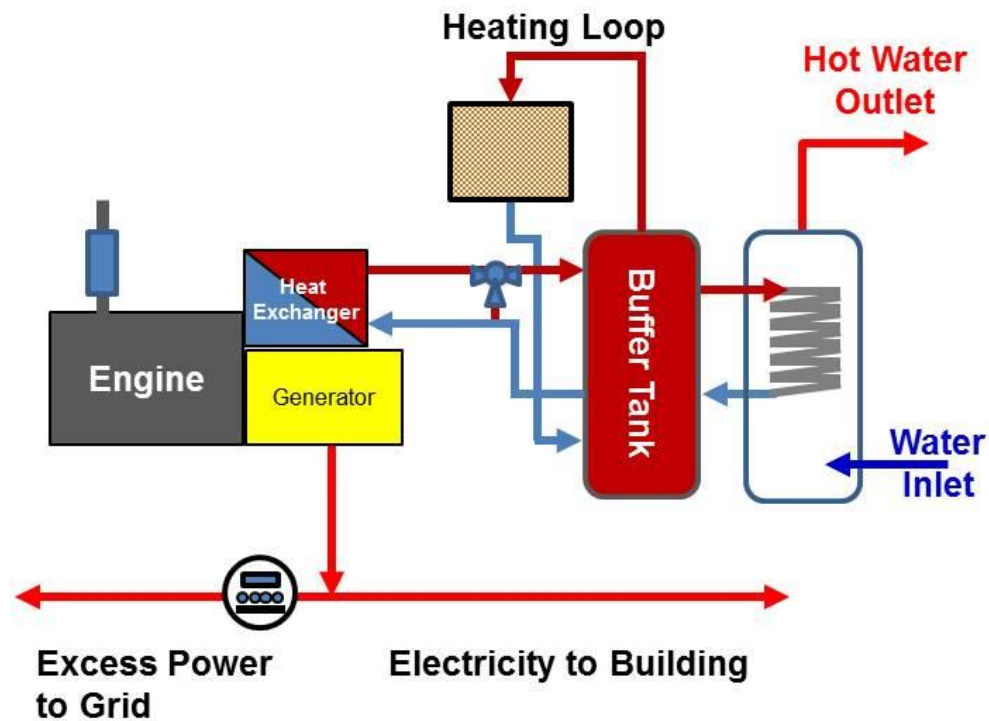
روش دیگر، استفاده از انرژی حرارتی مازاد بطور مستقیم است. می‌توان با استفاده از مبدل‌های حرارتی (Heat exchanger) این حرارت را برای تولید آب گرم (صنعتی یا ساختمان‌ها) استفاده کرد. همچنین در صورت به کارگیری چیلر جذبی جهت تولید برودت و استفاده از گرمای قابل بازیافت نیروگاه تولید برق، به منظور تأمین انرژی مورد نیاز ژنراتور چیلر، امکان تولید همزمان برق، گرما و سرما نیز وجود خواهد داشت که چنین سیستمی را CCHP می‌نامند (Combined Cooling, Heat And Power).

در بسیاری از صنایع، مانند پتروشیمی‌ها و صنایع کاغذسازی و صنایع غذایی، (که صنایع پر مصرف انرژی به حساب می‌آیند) می‌توان با اجرای سیستم CHP، علاوه بر تولید محلی انرژی الکتریکی که موجب کاهش تلفات انتقال انرژی الکتریکی می‌شود، از حرارت مازاد تولیدی در پروسه‌های تولیدی کارخانه استفاده کرد. (مانند ایجاد بخار)

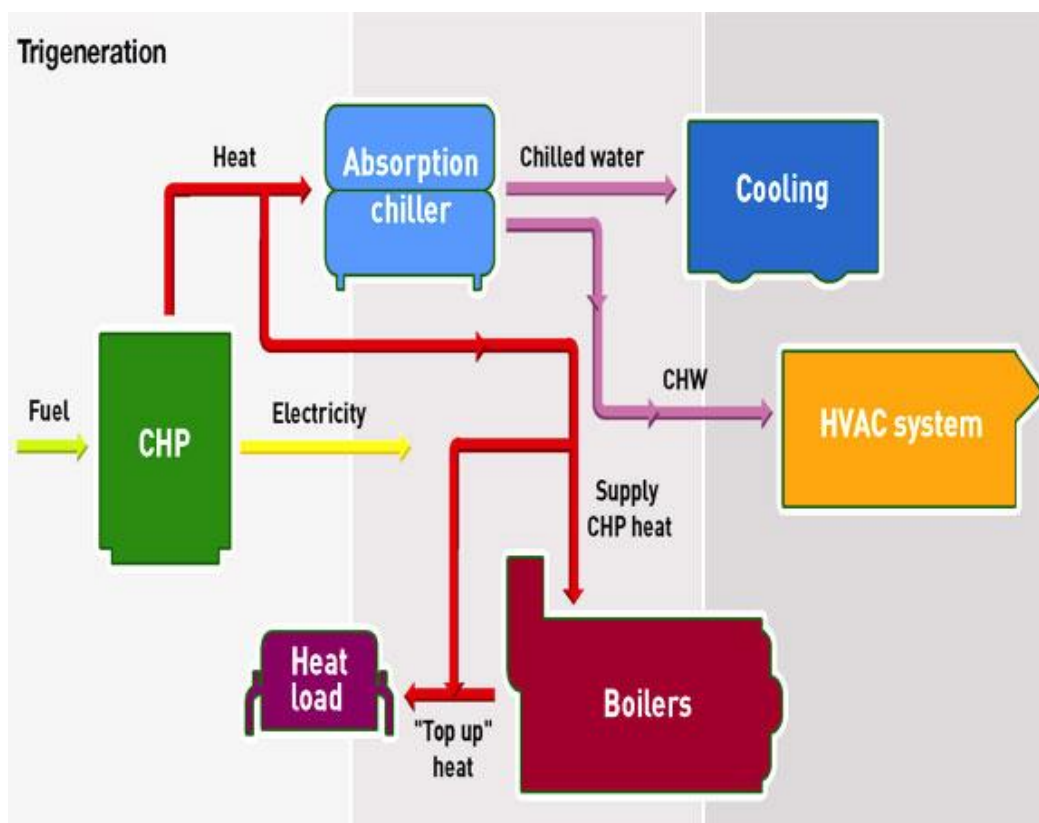
همچنین از این حرارت می‌توان در تامین گرمای گلخانه‌ها، کوره‌های پیش‌گرم آجرپزی و مانند آن استفاده کرد. همچنین با توجه به این‌که گاز خروجی، حاوی دی‌اکسیدکربن است، می‌توان از این گاز برای کارخانه‌های نوشابه‌سازی و همچنین گلخانه‌ها هم استفاده کرد.



شکل ۷) میکرو توربین، نوع ساده‌ای از یک CHP



شکل ۸) یک نمونه از Micro CHP در ابعاد زیر 6MVA



شکل ۹) یک CCHP که توانایی تولید برق، حرارت و سرما را دارد.

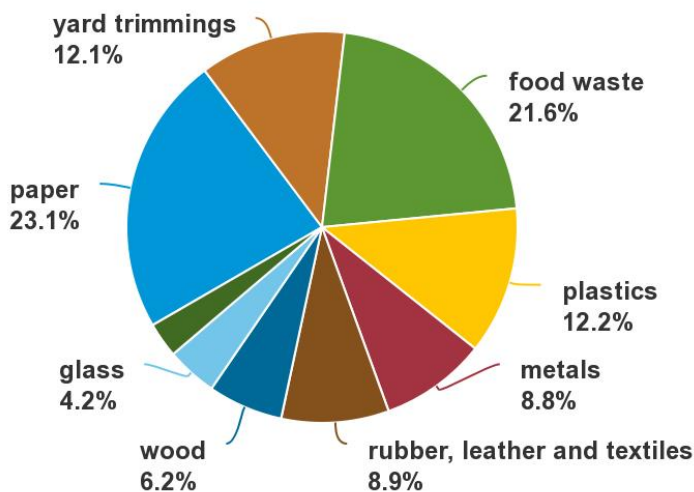
۵- تکنولوژی‌های تبدیل زباله شهری به انرژی

همان‌گونه که در بالا دیدیم، بخش مهمی از فرآیند انرژی چرخشی، مربوط به بازگرداندن پسماندها و ضایعات به چرخه انرژی است. چنانکه تنها در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۸، ۱۲ درصد از ۲۹۲ میلیون تن زباله شهری تولید شده، در تاسیسات تبدیل زباله به انرژی سوزانده شده‌اند. ولی کماکان ظرفیت بسیار بالایی برای تبدیل زباله‌های شهری به انرژی وجود دارد.

- بطور کلی، زباله‌های شهری جامد (Municipal Solid Waste =MSW) به سه دسته تقسیم می‌شوند:
- زباله‌های زیستی (تولید شده از حیوانات یا گیاهان) مانند کاغذ، مقوا، پسماندهای غذا، چمن‌های زده شده، برگ، چوب و محصولات چرمی.
 - زباله‌های غیرزیستی قابل اشتعال مانند پلاستیک و سایر محصولات نفتی.
 - زباله‌های غیر قابل اشتعال مانند شیشه و فلزات

Total MSW generation in the United States by type of waste, 2018

Total=292 million tons

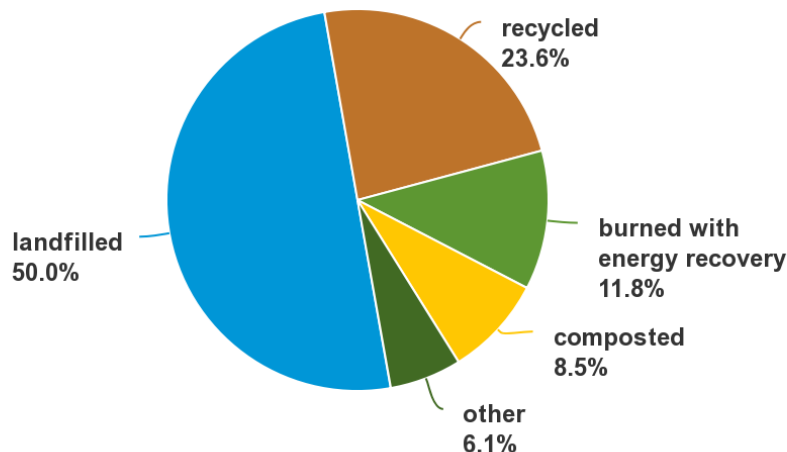


Source: U.S. Environmental Protection Agency, *Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet*, November 2020

شکل ۱۰) درصد مواد تشکیل دهنده زباله های جامد در آمریکا

Management of MSW in the United States, 2018

Total=292 million tons



Source: U.S. Environmental Protection Agency, *Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet*, November 2020

شکل ۱۱) نحوه مدیریت زباله های جامد در امریکا

اغلب این زباله‌های شهری در تأسیسات مخصوص با آتش سوزانده می‌شوند تا بخار برای تولید الکتریسیته یا حرارت برای خانه‌ها تولید شود. در سال ۲۰۲۰، ۶۵ نیروگاه ایالات متحده آمریکا با سوزاندن حدود ۲۵ میلیون تن زباله جامد قابل سوختن، حدود ۱۳.۵ میلیارد کیلووات ساعت تولید داشته‌اند. از این میزان، حدود ۶۱ درصد وزن زباله‌ها را مواد زیستی تشکیل دادند که سهم ۴۵ درصدی از تولید الکتریسیته را داشته‌اند. بقیه زباله‌های قابل سوختن از مواد غیرزیستی قابل اشتعال مانند پلاستیک تشکیل شده است.

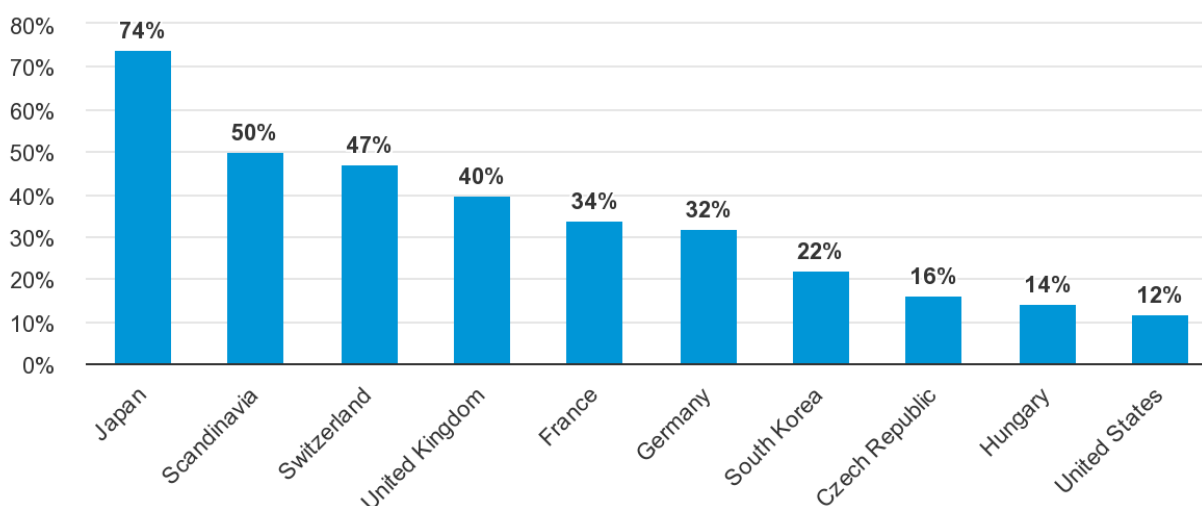
بسیاری از مکان‌های دفن زباله، از گاز متان حاصله برای تولید الکتریسیته نیز استفاده می‌کنند. سوزاندن زباله‌ها، علاوه بر تولید انرژی، به کاهش حجم زباله قابل دفن نیز کمک می‌کند. وزن خاکستر حاصله حدود نصف وزن زباله است و حجم را تا ۸۷ درصد کاهش می‌دهد.

Country	Quantity raw waste			Yield of solid fuel GJ/tonne	Electricity Generation Capacity kW	Annual Electricity Generation TJ	Direct Use from Combustion TJ	Total Energy Production TJ
	TJ	TTOE	million tonnes					
Albania	405							
Algeria			5					
Australia			6.9	9	11.4			
Austria			2.4				16421	30270
Belgium			1.1		76600			1765
Botswana							1420	
Brazil			40		41870			2311
Canada			11.856		211187		1,688	
Croatia			1.5		2000	0.0144		
Czech Republic			0.24		3000	42	1966	2008
Denmark	40051					6718		
Egypt			2.4					
Estonia			0.569					
Finland			2.2			2160	2380	4610
France	2394				772800	13586	27209	40795
Germany			0.94		852000	11200		
Greenland				10.5			83	
Hong Kong			7.7					
Hungary			0.2	12.5		1504	28093	62993
Iceland					831	15	56	71
Ireland								1085
Israel			5					
Italy						619475	5602	
Japan			0.601		2230000			
Jordan			2		1000	5142 MWh	5142 MWh	
Korea (Republic)							21153	
Latvia					9400	106		
Lebanon			1.44					
Mexico			37.59			820		
Netherlands						10296	1085	11381
New Zealand					37800	726	280	
Philippines						6		
Poland							675	
Portugal			1		90000	7652		
Romania	545							
Senegal					20000			
Serbia			2.8					
Singapore					135000	3994.68		
Sweden					282	4990		
Switzerland						3316		13562
Syria			4					
Taiwan					583.8	27128.9		
Thailand					5000	94.63		
Turkey					59.65	220		
Ukraine			19.57					
United Kingdom			3.8		375900	7061	2108	9169
United States of America			254		2669000	54255	20833	75088
Uruguay					1000			

شکل ۱۲) میزان زباله جامد شهری در جهان و سهم انرژی چرخشی در آنها
 [World Energy Resources: Waste to Energy- World Energy Council 2013]

نمودار شکل ۱۳، درصد سوزاندن زباله‌های شهری برای تولید انرژی در کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که می‌بینیم، در کشورهایی مانند ژاپن و کشورهای اروپایی که محدودیت زمین برای دفن زباله وجود دارد، این میزان بالاتر از بقیه است.

Percent of total municipal solid waste that is burned with energy recovery in selected countries



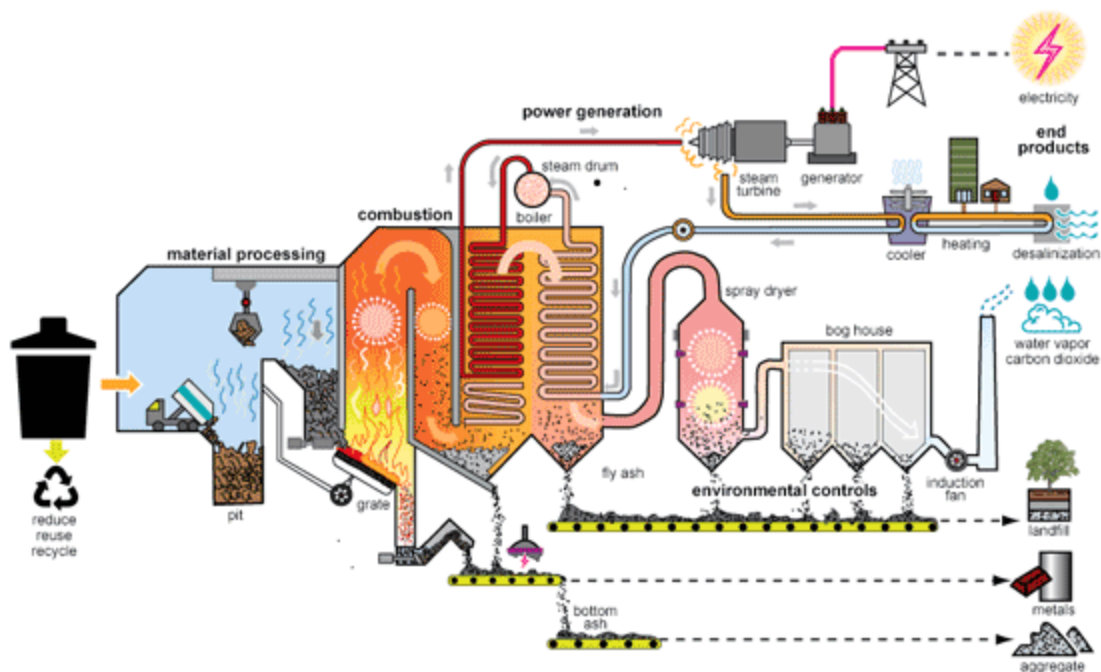
Source: Data from Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) as of November 22, 2021



Note: Scandinavia includes Denmark, Norway, and Sweden. Data for the United States, South Korea, and Japan are for 2018; for all other countries the year is 2019.

شکل ۱۳) درصد سوزاندن زباله‌های شهری برای تولید انرژی در کشورهای مختلف

از جمله تکنولوژی‌های حال حاضر برای تبدیل زباله شهری (MSW) به انرژی، سیستم Mass-Burn در آمریکا است که در آن، زباله خام در کوره بسیار بزرگی می‌سوزد و از یک بویلر و یک ژنراتور برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. گاه، زباله‌های غیرقابل اشتعال را تفکیک می‌کنند. در شکل زیر، یک نمونه از این سیستم را می‌بینیم.

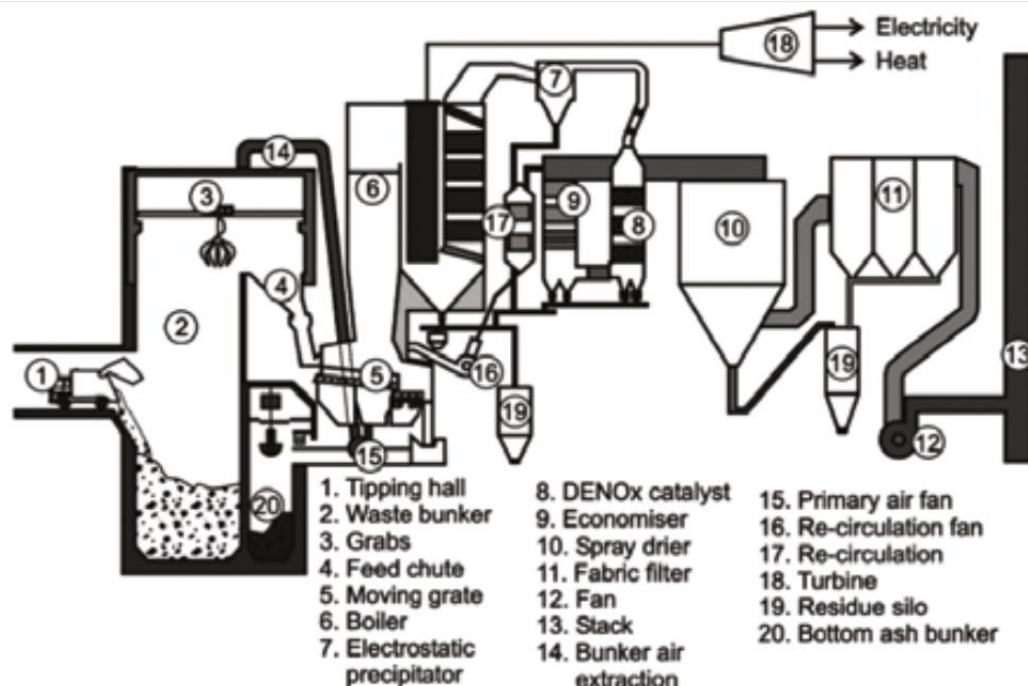


شکل ۱۴) سیستم Mass-Burn

در این سیستم، زباله‌های تفکیک نشده، سوزانده می‌شوند و پسماند حاصله، تفکیک می‌شود. بدین صورت که فلزات و عناصر قابل تبدیل به مصالح ساختمانی استخراج شده و در نهایت خاکستر باقی‌مانده توده شده و دفن می‌شود. حرارت حاصله در بویلر، تولید بخار آب می‌کند که در ژنراتور برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. از حرارت بخار خروجی نیز برای گرمایش منازل و سیستم‌های تصفیه آب استفاده می‌شود. در این حالت، میزان دی اکسید کربن حاصله و گازهای گلخانه‌ای به شکل قابل توجهی پایین می‌آید (در مقایسه با سوخت فسیلی مورد نیاز برای تولید همین میزان انرژی) و همچنین حجم پسماند غیرقابل استفاده که باید در خاک مدفون شود نیز بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

در شکل ۱۵، نوع دیگری از سیستم تبدیل زباله به انرژی را می‌بینیم.

در این سیستم، زباله ابتدا به درون یک بانکر ریخته می‌شود، سپس در بویلر سوزانده می‌شود تا از حرارتش، بخار لازم برای تولید الکتریسیته ایجاد شود. تفاوت این روش با نوع قبل، مجموع پروسه‌هایی است که روی دود حاصل از این فرآیند اجرا می‌شود تا با فیلترینگ‌های مختلف و جداسازی دوده و سایر مواد معلق، ضرات آلوده کننده کمتری به هوا منتقل شود و آلودگی کمتری تولید کند. در واقع در این روش، خاکستر خروجی از دو منبع حاصل می‌شود: یکی ناشی از سوختن زباله‌ها در بویلر، و دیگری ناشی از فرآیند تصفیه دود خروجی است.



شکل ۱۵) سیستم تبدیل زباله به انرژی

۶- تکنولوژی تولید انرژی از مواد زیستی:

بیوگاز مخلوطی است قابل اشتعال که در اثر تخمیر مواد آلی در یک دامنه دمای معین و PH مشخص در شرایط غیرهوازی توسط میکروبها بوجود می‌آید. واکنشهای تخمیری در دستگاه بیوگاز شامل مجموعه‌ای از فعالیتهای شیمیایی و بیولوژیکی دو گروه از باکتریهای اسیدزا و متانزا در محفظه تخمیر است که رشد، ادامه حیات و میزان بیوگاز تولیدی آنها به شرایط محیط تخمیر بستگی دارد. جداسازی هیدروژن سولفور، گاز کربنیک و بخار آب از بیوگاز ضرورت دارد در غیر اینصورت مقدار ناخالصی گاز متان زیاد بوده و از ارزش سوختی آن کاسته می‌شود. بیوگاز تولیدی، بی‌رنگ، بی‌بو و درحین سوختن بدون دود بوده و دارای ارزش حرارتی ۴۵۸۰ الی ۵۴۹۵ کیلوکالری در هر متر مکعب به ازای درجه خلوص ۵۰ درصد الی ۶۵ درصد متان می‌باشد. از بیوگاز می‌توان جهت مصارف گرمایی، سوخت موتورهای احتراق داخلی و واحدهای تولید برق، مواد اولیه صنایع شیمیایی و تولید کود آلی استفاده نمود.

با توسعه صنایع دامپروری و کشاورزی و همچنین استفاده بیشتر از منابع غذایی، آلودگی حاصل از فضولات گیاهی و دامی افزایش یافته است. در جهت تصفیه این فضولات می‌توان از روش تجزیه بی‌هوازی یا تجزیه هوازی استفاده

نمود. روش بی‌هوازی در مقایسه با روش دیگر نه تنها انرژی بر نیست بلکه مقداری انرژی بصورت بیوگاز تولید می‌نماید.

بیشتر کشورهای دنیا برنامه‌ریزی گسترده‌ای برای تأمین انرژی مورد نیاز خود از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر انجام داده‌اند. با توجه به روند کنونی، کشورهای اروپایی به دنبال توصیه اتحادیه اروپا و نیاز خود، به سمت استفاده از انرژی‌های جایگزین و تجدیدپذیر، تا سال ۲۰۳۰ میلادی حدود ۱۵ درصد از مجموع انرژی مورد نیاز خود را از طریق تجدیدپذیر، تأمین خواهند کرد. زیست‌توده و بیوگاز حاصل از آن یکی از انواع انرژی است که می‌تواند از زباله یا کشت گیاهان مخصوص به دست آید و می‌تواند جایگزین بخشی از انواع دیگر انرژی شود.

زیست‌توده (BioMass) به مواد بیولوژیکی (گیاهی یا حیوانی) مرده یا زنده گفته می‌شود که هنوز کاملاً تجزیه یا تخمیر نشده باشند. از تخمیر زیست‌توده گاز مرداب یا بیوگاز تولید می‌شود. به طور کلی در دو سوم خشکی کره زمین، کشت محصولات کشاورزی امکان‌پذیر است که می‌توان از این انرژی استفاده کرد ولی در حال حاضر فقط در ۱۵ الی ۲۰ درصد خشکی عملیات کشت صورت می‌گیرد.

بیوگاز یا گاز مرداب مخلوطی است قابل اشتعال که در اثر تخمیر مواد آلی در یک دامنه دمای معین و PH مشخص در شرایط غیرهوازی توسط میکروبها به وجود می‌آید. گاز مرداب از حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد گاز متان و اکسیدهای کربن، هیدروژن سولفید، نیتروژن و هیدروژن تشکیل شده است.

این گاز به صورت طبیعی در پساب‌ها و مرداب‌ها مشاهده می‌شود. در روستاها می‌توان با استفاده از فضولات دامی و انسانی همراه با گیاهان و چربی‌ها، بیوگاز تولید و در همان محل به عنوان سوخت استفاده کرد.

دنای امروز نیاز مبرم دارد که توجه زیادی برای تولید و استفاده از بیوگاز نشان دهد و اغلب کشورهای پیشرفته طرح‌های بزرگی در این زمینه به مرحله اجرا گذاشته‌اند، در کشورهایی مانند چین و هندوستان از بیوگاز به میزان قابل توجهی استفاده می‌شود و کشور سوئد تا سال ۲۰۵۰ میلادی چهل درصد از بازار خودرو خود را به استفاده از بیوگاز مجهز می‌کند که آن را از فرآیند سینتیک بر روی چوب تأمین می‌کند زیرا که هزینه تولید بیوگاز این کشور معادل ۳/۵ تا ۴/۵ کرون سوئد است که این مقدار حدود ۷۰٪ هزینه‌های جاری بنزین در این کشور است. در کشور انگلیس آیین‌نامه کاربرد سوخت‌های تجدیدپذیر در ترابری این کشور، برای شرکت‌های دست‌اندرکار فعالیت‌های انرژی مانند شرکت‌های نفتی، مؤسسات واردکننده نفت و گاز و دیگر نهادهای عرضه‌کننده سوخت، لازم‌الاجرا خواهد بود.

۱-۶- دستگاه تولیدکننده بیوگاز

ساختمان اصلی این دستگاه شامل دو حوضچه ورودی و خروجی و یک مخزن تخمیر است که عموماً در قسمت بالا به مخزن گاز منتهی می‌گردد. اخیراً دستگاه‌های بیوگاز با فرم و ابعاد مختلف و متناسب با شرایط اقلیمی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته و بهره‌برداری می‌شوند. سیستم‌های تولید بیوگاز که در سطح زمین و یا معمولاً در زیرزمین ساخته می‌شوند. دارای سه قسمت اصلی هستند:

- حوضچه و کانال ورودی

- مخزن هضم‌کننده

- حوضچه و کانال خروجی

بطور کلی مواد آلی را در حوضچه ورودی به نسبت تقریباً مساوی با آب مخلوط می‌کنند تا رقیق شود. آنگاه این مواد توسط لوله‌ای به مخزن تخمیر وارد می‌شود. در این مخزن با انجام فعل و انفعالات شیمیایی بی‌هوازی توسط مجموعه‌ای از باکتری‌ها، عملیات و تولید گاز متان انجام می‌گیرد و گاز حاصله در قسمت بالای مخزن که انباره‌ی گاز نامیده می‌شود، جمع‌آوری شده و جهت مصرف به خارج از سیستم هدایت می‌گردد. مواد و بقایای حاصل از فرآیند تخمیر، پس از استحصال گاز از طریق کانال خروجی خارج و مواد آلی جدید از طریق کانال ورودی جایگزین می‌شود. بقایای تخمیر شده پس از استحصال گاز، یک کود بسیار مغذی و مرغوب برای استفاده در کشاورزی می‌باشد. معمولاً تأسیسات تولید بیوگاز را در زیرزمین و با مصالحی از قبیل آجر، سیمان و آهن می‌سازند. اولین مرحله ایجاد سیستم بیوگاز احداث مخزن است قبل از احداث باید مطالعه دقیقی از شرایط خاک و سطح آب زیرزمینی انجام گیرد. برای حصول اطمینان از دوام مخزن باید جایی را انتخاب کرد که خاک آن نفوذناپذیر و سفت بوده و سفره آب زیرزمینی یا بسیار عمیق و یا خیلی کم حجم باشد. به طور کلی مخزن باید طوری انتخاب شود که:

الف - حتی‌الامکان نزدیک درخت نباشد، که ریشه درخت بتواند به داخل مخزن نفوذ کرده و باعث ترک برداشتن و یا شکستن آن شود .

ب - تا آنجا که امکان دارد در مسیر تابش مستقیم اشعه خورشید واقع شود. و همچنین از مناطقی که دارای ارتفاع کم می‌باشد به منظور جلوگیری از خطر احتمالی سیل به دور باشد.

ج- می‌توان مخزن و چاه توالی یا طویل را به یکدیگر متصل نمود و یا مخزن را به طور مستقیم زیر طویل قرار داد. این عمل باعث سهولت عملیات و تغذیه دستگاه و تمیز نگه داشتن توالی‌ها و اصطبل‌ها می‌گردد.

د- به طور کلی محل انتخاب باید دارای شرایط مناسبی برای بنا نهادن مخزن باشد [19]. نحوه پر کردن دستگاهها نیز عبارت است از:

- روش بسته: در این روش تمامی حجم دستگاه را به یکباره از مواد زاید و فضولات پر نموده و پس از طی دوره لازم که حدود ۲۰ تا ۴۰ روز است، لجن و فضولات باقیمانده را تخلیه و دستگاه را دو مرتبه از مواد پر می‌نمایند.

- روش پیوسته: روزانه به تناسب مقادیری فضولات و مواد زاید در دستگاه ریخته می‌شود و گاز تولیدی بستگی به مواد و میزان ریخته شده در هر روز دارد. به ازای هر کیلوگرم ماده خشک به طور تقریبی ۴۰۰ تا ۶۰۰ لیتر بیوگاز تولید می‌شود [20].

۴-۲- موارد استفاده از گاز زیستی (بیوگاز)

گاز حاصل از فرآیند تولید بیوگاز، بی‌رنگ، بی‌بو و در حین سوختن بدون دود است و از آن در موارد زیر استفاده می‌شود: [21]

۱- مصارف گرمایی: یک متر مکعب بیوگاز حدود ۵۲۰۰ تا ۶۵۰۰ کیلوکالری انرژی آزاد می‌کند (این رقم برای متان خالص حدود ۸۵۰۰ تا ۹۵۰۰ کیلوکالری برآورد می‌شود) که ارزش حرارتی آن به مراتب بیشتر از مواقعی است که بقایای دامی یا گیاهی مستقیماً سوزانده شوند.

۲- مصرف سوخت در پخت و پز: یک متر مکعب بیوگاز برای پخت و پز سه وعده غذایی یک خانوار ۴ تا ۶ نفری کافی است.

۳- سوخت مکمل برای موتورهای احتراق داخلی.

۴- تولید جریان برق: در کشور چین نمونه‌هایی از نیروگاه‌های تولید برق که با استفاده از بیوگاز کار می‌کنند ساخته شده و از سال ۱۹۷۴ مشغول به کار هستند.

۵- مواد اولیه صنایع شیمیایی [22]: بیوگاز دارای حدود ۶۵٪ متان و ۳۵٪ دی‌اکسید کربن می‌باشد که این مواد می‌توانند بعنوان ماده اولیه در تولید فرآورده‌های شیمیایی بکار روند (منو کلرومتان، بعنوان ماده اولیه اصلی برای ساختن سیلیکات‌های آلی، حل‌کننده‌های مختلف در خنک‌کننده‌ها و حشره‌کش‌ها، دی‌کلرومتان CH_2Cl_2 ، بعنوان

ماده اولیه برای تولید مواد پاک‌کننده چربی‌ها، مواد با قابلیت نفوذ بالا، فیلمهای عکاسی، تری‌کلرومتان CH_3Cl ، بعنوان ماده اولیه برای تولید پلاستیک، آنتی‌بیوتیک و حل‌کننده‌ها، تتراکلریدکربن C_1CH_4 ، ماده اولیه برای ساخت مواد ضد حریق و ... از دی‌اکسیدکربن حاصل نیز می‌توان در تولید موادی همچون یخ خشک استفاده نمود.

۶- تولید کود آلی: پس از انجام عمل تخمیر و تولید بیوگاز، فضولات باقی‌مانده، یک کود غنی مناسب برای استفاده در اراضی کشاورزی خواهند بود، چرا که این کود برخلاف کودهای حیوانی تازه فاقد بو بوده و آلودگی محیط زیست را بدنبال ندارد و حجم کمتری اشغال می‌کند. بذر علفهای هرز و انگل‌های جانوری در آن از بین می‌رود، هیچ جاذبه‌ای برای رشد پشه و مگس و سایر حشرات موزی ندارد.

۷- کمک به حفاظت پوشش گیاهی جنگل‌ها و مراتع: با تولید بیوگاز، سوخت مورد نیاز افراد تأمین شده و دیگر نیازی به بوته‌کشی و قطع درختان نخواهد بود.

۸- کمک به بهداشت محیط: یکی دیگر از نکات مثبت پروژه تولید بیوگاز، کنترل آلودگی محیط زیست و ایجاد محیط بهداشتی سالم در روستاهاست که از تجمع پشه و مگس، آلوده شدن آبهای مصرفی، شیوع بیماریهای انگلی جلوگیری می‌کند.

۷- صنایع همزیست بر پایه انرژی: مشوق‌ها، موانع و کارسازی‌ها

برای IS های بر پایه انرژی، موارد مختلفی از مشوق‌ها، موانع و کارسازی‌ها (DBE) یافته شده است که بطور کلی در چهار دسته تقسیم بندی شده‌اند: [23]

- مالی
- فنی
- نظارتی
- سازمانی

بطور کلی، DBE های مالی اشاره به سود مالی و سرمایه‌گذاری‌هایی دارد که در زمینه همزیستی صنایع صورت می‌گیرد. DBE فنی اشاره به شرایط فنی دارد که بر اجرای همزیستی IS تاثیرگذار است. DBE های نظارتی در مورد هرگونه قانون‌گذاری تشویقی برای سوق دادن صنایع به اتخاذ رویکردهای همزیستی است. در آخر، DBE های

سازمانی در مورد ساختار سازمانی موسسات و کارخانه‌ها، مدل کسب و کارشان و رفتارهای استراتژیک‌شان در راستای اجرای IS است. در ادامه، این چهار DBE را در انواع IS توضیح داده شده در قسمت قبل، بررسی می‌کنیم.

۷-۱- DBE ها در آبشار انرژی:

از دید کسب و کار، در آبشار انرژی، اغلب شرکت تولید کننده، انرژی تلف شده را به شرکت مصرف کننده می‌فروشد. بنابراین، شرکت تولیدکننده انگیزه بالایی دارد که بخاطر کسب سود بیشتر از تلفات انرژی، IS را اجرایی کند. از طرف دیگر، شرکت مصرف کننده نیز انرژی مورد نیاز خود را با قیمت پایین‌تر [24] دریافت خواهد کرد. از سوی دیگر، ممکن است تمایل شرکت‌ها به اجرایی کردن IS فروکش کند، زیرا لازم است استراتژی کسب و کار خود را بر اساس نیازهای اجرای IS تغییر دهند. در واقع، ایجاد یک موازنه هزینه-فرصت بین فرصت مالی و هزینه سازمانی لازم است تا بتوان به یک جمع بندی نهایی در مورد اجرای سیستم IS رسید.

بعلاوه، ایجاد ساختار لازم در شرکت جهت انتقال این انرژی تلف شده از تولید کننده به مصرف کننده نیز لازم است. این مانع فنی، از لحاظ جغرافیایی و مکانی، هم افزایی بین شرکت‌ها را محدود می‌کند زیرا لازم است انتقال انرژی در حداقل فاصله انجام شود تا از لحاظ فنی امکان پذیر باشد.

همچنین از نظر فنی، مصرف کننده انرژی ممکن است نیازهای فنی خاصی داشته باشد (مانند دما یا فشار بخار تلف شده) تا بتواند انرژی تلف شده را مصرف کند. چنین نیازهایی ممکن است استفاده از انرژی تلف شده را غیراجرایی کند، مگر این‌که شرکت تولیدکننده در پروسه تولید خود تغییراتی ایجاد کند تا مشخصات فنی انرژی تلف شده خروجی خود را با نیاز مصرف کننده هماهنگ کند که منجر به هزینه‌های بیشتری خواهد شد. بنابراین، مانع فنی ممکن است به نیاز برای سرمایه‌گذاری منجر شود. بنابراین اگر شرکت‌ها، بازگشت این سرمایه را در زمان مناسب امکان پذیر نبینند، ممکن است به دلیل مانع مالی که ناشی از مانع فنی است، سراغ اجرای IS نروند. محاسبه بازگشت سرمایه، به قیمت انرژی در بازار و هزینه عملیاتی کردن IS بستگی دارد.

بعلاوه، در روش آبشار انرژی، ممکن است ریسک ناپیوستگی در تامین جریان انرژی وجود داشته باشد که ناشی از ناپیوستگی در تامین انرژی منبع اصلی، خطاهای فنی یا تغییر در مولفه‌های بازار باشد. بنابراین، به منظور جبران اختلاف بین عرضه و تقاضا، پیشنهاد می‌شود شرکت‌های مصرف کننده، زمانی که میزان انرژی تلف شده دریافتی بیش از نیازشان است، آنرا ذخیره کنند تا در زمان کمبود عرضه، از این ذخیره استفاده کنند. هرچند، این راه حل همیشه و در مورد هر نوع انرژی تبادلی قابل اجرا نیست، زیرا تکنولوژی ذخیره سازی انرژی ممکن است از نظر

اقتصادی، امکان پذیر نباشد. در چنین حالتی، تمایل به اجرای IS به دلیل اختلاف بین روند تامین و مصرف انرژی، ممکن است با موانع جدی روبرو شود.

عوامل نظارتی می‌توانند به نوعی تنظیم شوند که بعنوان یک عامل پارادایم شیفت^۴ عمل کنند. برای مثال، تغییر در سیستم مالیات گیری، می‌تواند مشوقی باشد برای رویکرد سازمان‌ها به اجرای آبشار انرژی. همچنین دولت‌ها می‌توانند با کاهش پیچیدگی‌های اداری و رفع موانع، به اجرای سیستم IS کمک کنند. برای مثال، وضع قوانینی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و تشویق به استفاده از انرژی‌های پاک، می‌تواند محرکی باشند برای رویکرد سازمان‌ها به درپیش گرفتن روش‌های چرخش انرژی، از جمله آبشار انرژی.

۷-۲- DBE ها در جایگزینی سوخت:

از دید کسب و کار، شرکت‌ها از روش جایگزینی سوخت استقبال خواهند کرد، زیرا مصرف کنندگان پسماند، کاهش هزینه سوخت مورد نیاز برای تولید انرژی را خواهند داشت و تولیدکنندگان، کاهش هزینه از بین بردن ضایعات و پسماندها. بنابراین، DBE مالی، انگیزه‌ای برای اجرای این روش است. هرچند، در اروپا، استفاده از ضایعات بعنوان سوخت فقط برای زباله‌های با کیفیت پایین اعمال می‌شود، زیرا پسماندهای با کیفیت بالا را می‌توان برای جایگزینی ورودی تولید بکار برد. برای مثال، پلیمر لیگنین را می‌توان بجای فیبرهای کربن بکار برد و پلاستیک با کیفیت بالا می‌تواند جایگزین فنل بشود [25].

مهمترین عامل در عدم اجرای جایگزینی سوخت، عدم وجود اطلاعات قابل اتکا در مورد میزان عرضه و تقاضای پسماند است که DBE سازمانی به حساب می‌آید. در واقع، یک مشکل رایج این است که عرضه (یا تقاضا) برای یک پسماند خاص وجود دارد، ولی مصرف کننده (یا تولیدکننده) از این امر باخبر نیست.

پسماندها، ابتدا باید پروسه‌ای را برای آماده سازی طی کنند تا برای تبدیل شدن به سوخت آماده شوند. برای مثال، ناخالصی‌هایشان باید گرفته شود. در این حالت، شرکت‌ها باید پروسه‌های بخصوص و اضافه‌ای را طراحی و اجرا کنند که ارتباطی با کسب و کار اصلی شان ندارد. (DBE سازمانی) برای مثال، استفاده از پودر قهوه استفاده شده بعنوان سوخت در کارخانه بریان کردن قهوه، نیاز به ماشین آلات خشک کننده و فشرده کننده پودرها دارد تا

^۴ تغییر در نگرش‌ها و رویکردها.

تخته‌هایی بعنوان سوخت حاصل شوند. هزینه تامین این ماشین آلات و هزینه‌های جانبی عملکردی، روی سودی که از اجرای IS می‌برند، تاثیر منفی می‌گذارد.

مساله دوم، این است که پسماندها از نظر مشخصات فنی ممکن است با سوخت سنتی تفاوت داشته باشد، مثلا میزان حرارت تولیدی کمتری داشته باشند. در این حالت، جایگزینی، یک گزینه بی نقص نیست، ولی یک پیشنهاد جایگزین قابل بررسی است. به بیان دیگر، برخی مشخصات پسماند ممکن است این جایگزینی را محدود کند، مثلا وقتی کیفیت پسماند پایین تر از سوخت سنتی باشد. یک دلیل می‌تواند این باشد که پسماند حاصله در سمت تولید کننده با مشخصات مورد نیاز مصرف کننده، تولید نمی‌شود. بنابراین از نظر کیفیت و کمیت دچار ناسازگاری تولید و مصرف خواهیم شد.

یک راه حل، ترکیب سوخت سنتی با سوخت حاصل از پسماند است. باید در نظر داشت که انجام چنین کاری، نیازمند هماهنگ سازی سیستم‌های احتراقی با مشخصات این ترکیب است که در نتیجه، عملیات اضافی برای شرکت‌ها ایجاد می‌شود.

سومین مساله، این است که هنگام جایگزینی سوخت پسماندی با سوخت سنتی، نیازمندی‌های محیط زیستی دیگری باید در نظر گرفته شود، زیرا تجهیزاتی که برای پالایش پسماند حاصل از سوخت سنتی (مانند دود) بکار می‌رود، ممکن است برای سوخت پسماندی یا سوخت ترکیبی، کارایی درستی نداشته باشد.

چهارمین مساله، از دید دولت است که انگیزه‌اش می‌تواند کاهش مصرف مواد خام مصرفی برای تولید و همچنین کاهش گازهای گلخانه‌ای باشد. دولت (در سطح محلی، ملی و حتی بین‌المللی) می‌تواند با اعمال مشوق‌ها، نقشی کلیدی در مقوله مالی و نظارتی ایفا کند و در عین حال برای شرکت‌ها، پشتیبانی فنی نیز فراهم کند. برای مثال، دولت می‌تواند مشوق‌های اقتصادی برای شرکت‌هایی تعیین کند که سوخت سنتی را کنار می‌گذارند و برای تولید گازهای گلخانه‌ای، جریمه بگذارد. همچنین می‌تواند با برگزاری سمینارها و نشست‌هایی بین ذی‌نفعان صنعت، بستر مناسبی برای تبادل اطلاعات برای صاحبان صنایع فراهم کند.

۷-۳- DBE ها در تولید انرژی زیستی:

از منظر کسب و کار، سازمان‌ها مایل به استفاده از این روش بعنوان یک روش جایگزین برای تولید انرژی هستند، زیرا می‌توانند هزینه کم‌تری برای دفع پسماندهایشان پردازند و سود اضافه بابت فروش انرژی حاصل از زباله‌های زیستی، به دست بیاورند.

از دید فنی، دسترسی داشتن به فن‌آوری‌های لازم برای تولید انرژی زیستی، تسهیل‌گر کلیدی برای تولید انرژی از زباله است (DBE فنی). مثلاً، در مالزی، ایجاد سیستم پالایشگاه بر پایه زیست‌توده (bio mass)، شرط اصلی برای تاسیس پارک دوست‌دار محیط زیست تولید روغن پالم بوده است، طوری که هم‌زمان گرما، نیرو و انرژی سرماساز در خود تاسیسات تولید شود [17].

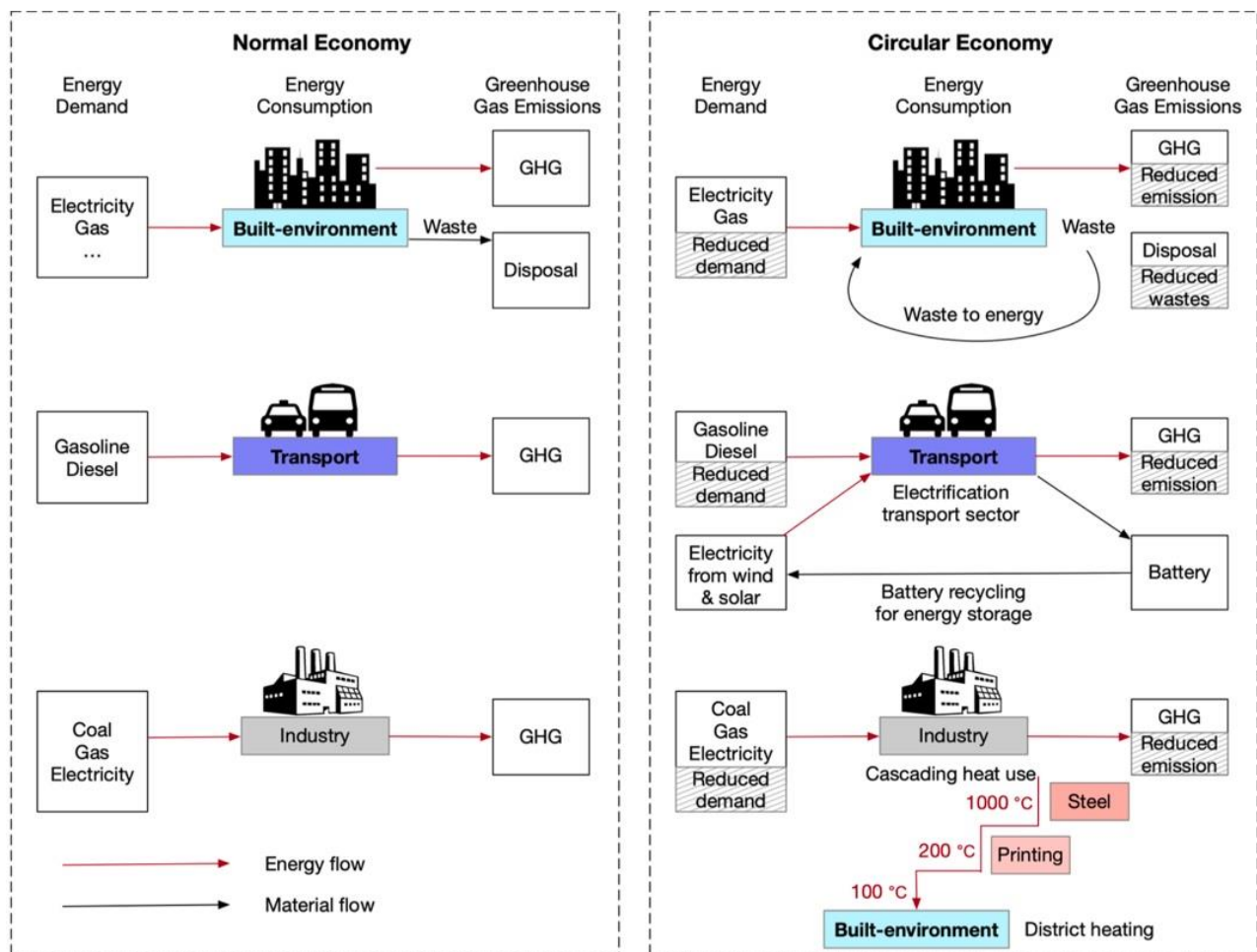
از منظر اقتصادی، امکان‌سنجی ایجاد سیستم تولید انرژی از زباله‌های زیستی، بستگی به عوامل فنی و اقتصادی خاصی دارد که کاملاً بسته به مورد، فرق می‌کند. مواردی مانند بهای حمل و نقل زباله زیستی، قیمت برق (برای محاسبه سودآوری تولید انرژی زیستی)، پروسه آماده‌سازی زباله و تاسیسات به روز تولید انرژی زیستی. در برخی موارد، این عوامل باعث می‌شوند تا تولید انرژی زیستی، اثرات منفی اقتصادی داشته باشد، بنابراین نیاز به حمایت مالی دولتی خواهد داشت (نظارتی)

در واقع، فواید زیست‌محیطی و اجتماعی تولید انرژی از زباله‌های زیستی، می‌تواند انگیزه‌ای باشد برای دولت‌های محلی یا ملی تا با حمایت مالی خود، به کاهش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای کمک کنند.

۸- نمونه اجرا شده در شهر میلی (Meili) چین [26]:

شهر میلی چین در کنار رود یانگ تسه در استان جیانگ‌سو چین و ۱۰۰ کیلومتری غرب شانگهای قرار دارد. جمعیتش حدود ۱۴۰ هزار نفر و مساحتش ۸۰ کیلومتر مربع است که ۴۷ کیلومتر مربعش ساخت و ساز شده است. شهر میلی، صنعتی است و کارخانجات فولاد سازی و نساجی و خودروسازی و مانند آن در شهر تاسیس شده‌اند. بنابراین مصرف انرژی شهر بالا است (۰.۱۱۵ کیلوگرم معادل نفت بر یوان) که بسیار بیش از متوسط مصرف انرژی چین است. آلودگی هوا در میلی شدید است و گرمایش و سرمایش خانه‌های شهر نیز با سوخت زغال سنگ تامین می‌شود و رشد روز افزون شهر و جمعیتش، بر این مشکلات می‌افزاید.

بنابراین، شهر ظرفیت بسیار بالایی برای شناسایی و اجرای روش‌های نوین برای تامین انرژی و جایگزینی سوخت‌های فسیلی دارد.



شکل ۱۶) شهر میلی: مقایسه سیستم خطی انرژی و سیستم چرخشی انرژی

برنامه انجمن اداره کننده شهر، علاوه بر بهبود فنی سیستم‌های تولید صنعتی مانند فولاد و به روز کردنشان که باعث می‌شود مصرف انرژی کاهش یابد، سیستم حمل و نقل نیز به خودروهای الکتریکی و هیبریدی مجهز خواهد شد که خود از میزان آلودگی و مصرف انرژی خواهند کاست.

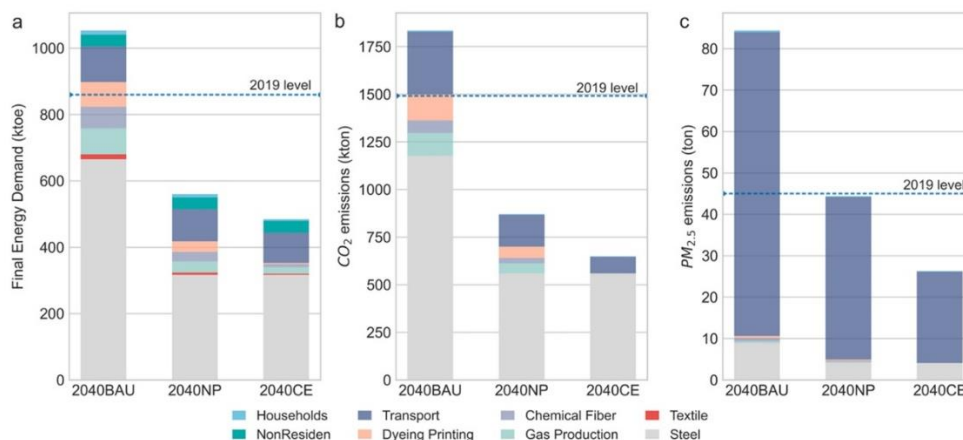
از منظر انرژی چرخشی، این سناریوها بررسی شده‌اند تا در دستور کار قرار گیرند:

چین قصد دارد تا سال ۲۰۶۰ به صفر کردن مصرف کربن برسد، همچنین بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار در منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سدها، خورشیدی و باد است. همچنین در نظر دارد مشوق‌هایی را برای استفاده از سیستم‌های انرژی چرخشی بصورت قانون در بیاورد. بنابراین، شهر میلی نیز با پیروی از این قوانین، در جهت اجرایی کردن انرژی چرخشی پیش می‌رود.

نخستین سناریو، استفاده از سیستم آبشار انرژی است. دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و بالاتر در کارخانجات فولادسازی تولید می‌شود و در حال حاضر هیچ هم‌افزایی بین صنایع مختلف وجود ندارد و مستقل از هم کار می‌کنند. ولی ایجاد IS با ایجاد یک شبکه متصل انتقال حرارت، می‌تواند این امکان را فراهم آورد که صنایعی – مانند نساجی – که با دماهای پایین‌تری کار می‌کنند (حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و صنایع رنگرزی (۲۰۰ درجه سانتیگراد)، می‌توانند بویلرهای زغالی کوچک خود را برچینند و از خروجی حرارت کارخانه فولاد استفاده کنند. همچنین می‌توان از این حرارت مازاد، برای گرمایش منازل مسکونی نیز استفاده کرد.

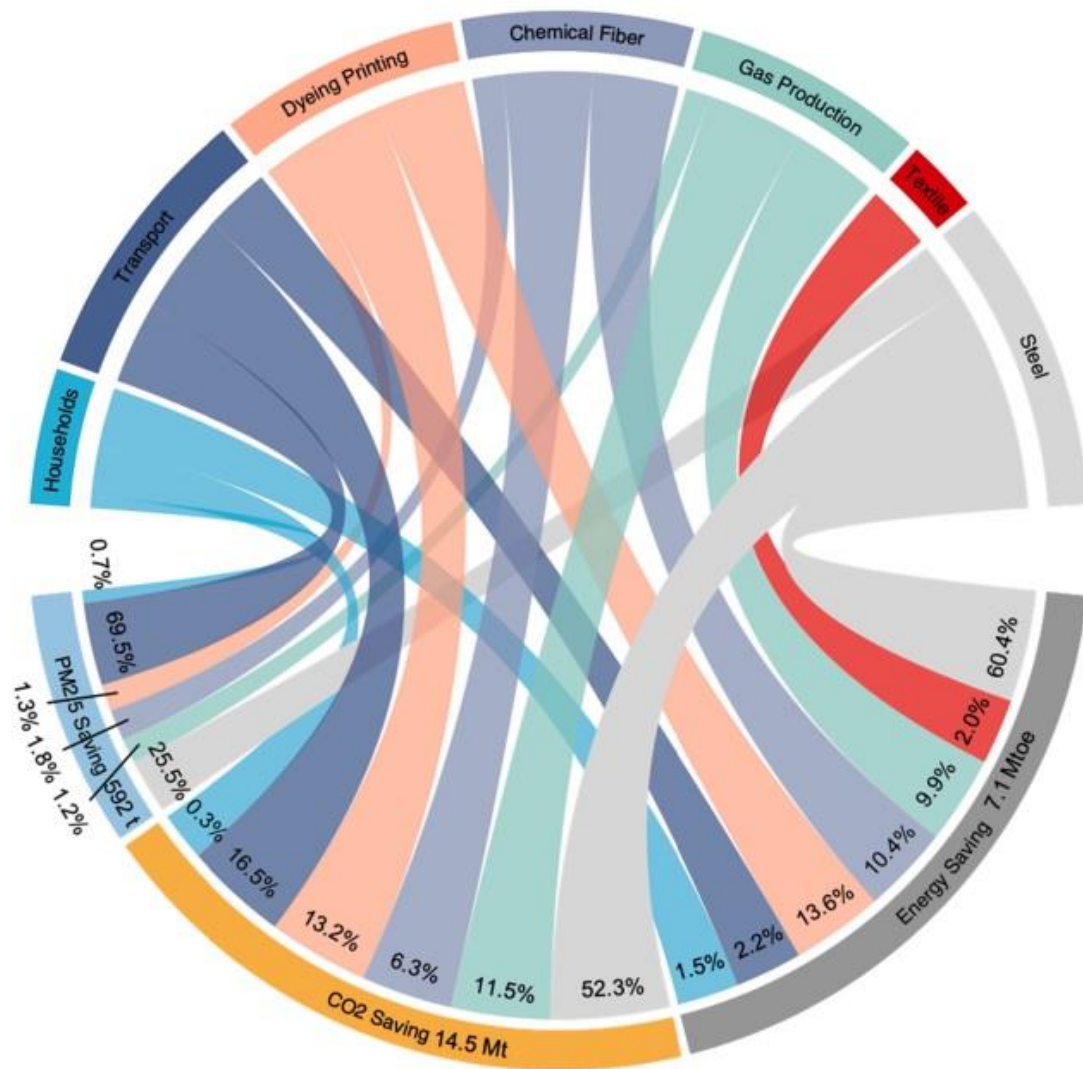
سناریوی بعدی، استفاده از زباله‌های شهری است. میلی، حدود ۵۵۰۰۰ تن زباله جامد در سال ۲۰۲۰ تولید کرده است. ولی با توجه به این‌که این زباله (۳۸.۵٪ آن) که برای تولید انرژی سوزانده می‌شود، به خارج شهر برده شده و در جای دیگری مصرف می‌شود، بنابراین خارج سیستم مورد مطالعه ماست و در این مقاله به آن پرداخته نشده است.

نتیجه مدل‌سازی این سناریوها که با نرم‌افزار LEAP⁵ انجام شده است، بطور خلاصه در شکل زیر آورده شده است:



شکل ۱۷) مقایسه بین BAU: کسب و کار در حالت عادی. NP: سناریوی جدید و CE: سناریو انرژی چرخشی، از لحاظ تقاضای انرژی نهایی، تولید دی اکسید کربن و PM_{2.5} (ذرات ریز معلق در هوا)

⁵ The Low Emission Analysis Platform software



شکل ۱۸) سهم مشارکت هریک از صنایع شهر میلی پس از اجرای سناریوهای انرژی پاک در کاهش آلودگی و صرفه‌جویی انرژی

۹- نتیجه گیری:

در این مقاله، اجرای انواع مختلفی از همزیستی صنایع به منظور نیل به مقوله انرژی چرخشی را بررسی کردیم تا به یکی از نگرانی‌های حال و آینده جامعه ما پردازیم: تامین انرژی. رویکرد سنتی و خطی شرکت‌ها به تولید و فروش بیش‌تر محصول، موجب افزایش روز افزون نیاز به مصرف انرژی می‌شود. بعلاوه، الگوی ناپایدار مصرف انرژی جامعه که بسیار هم انرژی بر است، عطش ما را برای منابع انرژی شدت می‌دهد تا بتوانیم اقتصاد مدرن جهانی را بگردانیم و در نتیجه توانایی تولید انرژی ایمن و مطمئن برای نسل‌های آینده را تبدیل به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دولت‌های جهان بکنند.

چنان‌که در این مقاله دیدیم، یکی از پیش‌روترین زمینه‌ها برای تغییر تولید انرژی از حالت خطی به حالت چرخشی، اجرای IS یا همان همزیستی صنایع است. هرچند موارد موفق بسیاری برای تایید روش‌های ذکر شده در این مقاله وجود دارد (و تعدادی از آن‌ها را هم این‌جا بعنوان نمونه آوردیم)، ولی همچنان بررسی‌های بیشتری لازم است تا بخصوص در مورد مشوق‌ها و موانع اجرای IS ها، مدل سازی‌های بیشتری انجام شود و روش‌ها باز هم بهینه شوند. برخی از مشکلاتی که هنوز جای کار دارند تا اثرات آن‌ها بر ذی‌نفعان (بالقوه و بالفعل) اجرای IS بررسی شود، به شرح زیر است:

چطور می‌توان موانع سرمایه‌گذاری و مالی را کاهش داد؟

خطوط انتقال حرارت فعلی برای فواصل کوتاه طراحی شده است و برای درگیر شدن سازمان‌هایی که از هم فاصله زیادی دارند، تاسیس سیستم لوله کشی طولانی، با مانع مالی بزرگی روبرو خواهد شد. البته همین حالا هم اجرای تاسیسات لوله‌کشی برای انتقال حرارت اضافی بین دو شرکت نزدیک به هم، سرمایه‌بر است. بنابراین کار بر روی شبکه انتقال حرارت اضافی و بهینه سازی آن می‌تواند در کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مالی تاثیر به سزایی داشته باشد. مثلاً می‌توان از مواد مختلفی برای انتقال حرارت استفاده کرد یا فن‌آوری‌های جدیدی برای تاسیس سیستم لوله‌کشی بکار برد.

همچنین تامین مالی مداوم و قابل اطمینان، برای اجرای پروژه‌های سنگین از این دست، بسیار حیاتی است. جلب توجه دولت‌ها به مسائل محیط زیستی و عام‌المنفعه، یک نکته کلیدی برای جذب سرمایه است. در نتیجه، درگیر کردن ذی‌نفعان مختلف در تامین مالی، یک امر بسیار واجب است.

چگونه می‌توان "مدیریت یکپارچه IS" را در سطح اجرایی حاصل کرد؟

این امر برای کاهش هزینه‌های عملیاتی بسیار حیاتی است و به دلیل وضعیت متغیر تولید انرژی مازاد و وضعیت متغیر بازار مصرف بین شرکت‌های دخیل، یک چالش اساسی به حساب می‌آید. در برخی موارد لازم است شرایط فیزیکی یا تکنیکی را بهبود داد و در موارد دیگر شاید لازم به ذخیره انرژی باشد تا مجبور به کلنجار رفتن با ناهماهنگی‌ها بین میزان تولید و مصرف انرژی مازاد نباشیم. بنابراین همکاری بین واحدهای ترمودینامیکی، مدیریت خرید و مدیریت اجرا لازم است تا هزینه‌های مالی و موانع لجستیک کاهش یابند. اگر این موانع حذف شوند، وابستگی صنعت به سوخت فسیلی به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

نحوه جلب موافقت جامعه

نخستین پاسخ به این مساله، ترکیب سیستم انرژی صنایع و مناطق مسکونی است. اگر مسائل مالی حل شوند، می‌توان حرارت مازاد را به خانه‌ها منتقل کرد. چنین کاری برای خانه‌هایی که در مناطق صنعتی واقع هستند، از چند جهت بسیار امیدوارکننده است:

با کاهش سوخت فسیلی مصرفی در منطقه صنعتی، جامعه می‌تواند هوای پاک‌تری تنفس کند.

جامعه این فرصت را پیدا می‌کند تا هزینه‌های انرژی خود را کاهش دهد (که احتمالاً به پشتیبانی دولت هم نیاز خواهد داشت)

جامعه، دولت و صنعت، از مزایای استفاده از انرژی چرخشی بهره خواهند برد.

بجز بستن چرخه‌های انرژی، چه چرخه‌های دیگری را در سایر بخش‌ها می‌توان بست؟

بستن چرخه انرژی از طریق آبشار انرژی، جایگزینی سوخت و تولید انرژی زیستی، تنها بخشی از IS های بر پایه انرژی هستند. ولی روش‌های دیگری برای استفاده از پسماندهای جانبی دیگر هم وجود دارند که خود می‌توانند کسب و کار خوبی را به راه بیندازند. برای مثال، استخراج مواد با ارزش از فضولات حیوانات (از طریق پالایش زیستی) می‌تواند به اقتصادی بودن فرآیند تولید بیوگاز هم کمک کند. بعلاوه، هزینه نگهداری حیوانات مزارع را نیز برای کشاورزانی که برای خلاصی از شر فضولات حیوانات باید هزینه‌های جانبی بپردازند را کاهش می‌دهد. در نتیجه هزینه تولید شیر و گوشت و لبنیات و در نتیجه قیمت آن‌ها هم کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌بینیم با شناسایی و بستن چرخه‌های مختلف انرژی، ورود ذی‌نفعان مختلف را موجب می‌شود و سود نهایی را افراد جامعه خواهند برد.

لازم به ذکر است، موارد دیگری مانند انرژی‌های سبز از جمله فوتوولتائیک و بادی نیز می‌توانند نقش مهمی در رویکرد به چرخش انرژی به شمار بیایند و به کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی کمک شایانی بکنند که این مقوله هم جای بررسی بیشتری دارد.

در نهایت، باید گفت که گستره وسیعی برای محققان باز است تا با هدایت و بکار گرفتن شاخه‌های مختلف علم در زمینه‌های خاص^۶ راه‌های مختلف دست‌یابی به چرخش انرژی را شناسایی و اجرایی بکنند. انتظار می‌رود صنایع فعال و خصوصاً انرژی برهای بزرگ، با استفاده از چرخه‌های بسته انرژی مختلف، آینده‌ای پایدار برای تامین انرژی جهانی را رقم بزنند.

^۶Niche: نیش مارکت یا بازار گوشه‌ای یا انتخابی، بخشی از بازار است که محصولی خاص روی آن متمرکز است و امکان فروش محصولات یا خدمات تخصصی وجود دارد.

References

- [1] "The World Bank," 2017. [Online]. Available: <http://data.worldbank.org>. [Accessed 29 May 2017].
- [2] "International Energy Agency(IEA)," 2018. [Online]. Available: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GECO2017.pdf>.
- [3] "International Energy Agency(IEA)," 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Keyword2017.pdf>. [Accessed 23 January 2018].
- [4] "Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)," 2014. [Online]. Available: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>. [Accessed 29 May 2017].
- [5] "World Bank," 2015. [Online]. Available: <http://data.worldbank.org>. [Accessed 1 August 2015].
- [6] D. Peak, P. Kandachar and E. Tempelman, "Critical materials from a product design perspective," *Materials and Design*, vol. 65, pp. 147-159, 2014.
- [7] "Ellen MacArthur Foundation," [Online]. Available: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/business/reports/ce2013>. [Accessed 2015 August 5].
- [8] R. Carson, *Silent Spring*, Greenwich, CT: Fawcett Publications, 1962.
- [9] D. W. Pearce and R. K. Turner, *Economics of natural resources and the environment*, 1990.
- [10] K. Winans, A. Kendall and H. Deng, "The history and current applications of the circular economy concept," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 825-833, 2017.
- [11] W. Jiao and F. Boons, "Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 67, pp. 14-25, 2014.
- [12] "President's Council on Sustainable Development [PCSD]," 10 August 2015. [Online]. Available: <http://clinton2.nara.gov/pcsd/Publications>.
- [13] E. J. Schwarz and K. W. Steininger, "Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development," *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, pp. 47-56, 1997.
- [14] "United Nations. Towards a circular economy: A zero waste program for Europe," 2014. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf>. [Accessed August 2015].
- [15] L. Sokka and S. Lehtoranta, "Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use - An example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland," *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, p. 4.
- [16] E. Cohen-Rosenthal, "Making sense out of industrial ecology: A framework for analysis and action," *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, no. 1111-1123, pp. 8-10, 2004.
- [17] R. R. Tan, V. Andiappan, Y. Kin Wan, R. T. Ng and D. K. Ng, "An optimization-based cooperative game approach for systematic allocation of costs and benefits in interplant process integration," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 106, pp. 43-58, 2016.
- [18] "Energy Solution Center: understanding CHP," [Online]. Available: <https://understandingchp.com>.

- [19] A. Comoaretti, P. Febo, C. Greco and S. Orlando, "Current state and future of biogas and digestate production," *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 19(No.1), pp. 1-14, 2013.
- [20] o. Abimbola and o. Olumide, "Evaluation of Biogas Production from Food Waste," *International Journal of Engineering and Science*, vol. 3, no. 01, pp. 01-07, 2014.
- [21] F. Fantozzi and C. Buratti, "Biogas Production from different Substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 5783-5789, 2009.
- [22] C. Uhuegbu and L. Onuorah, "PRODUCTION OF BIOGAS FROM PLANTAIN PEELS," *Research Journal in Engineering and Applied Sciences* 3, vol. 2, pp. 145-150, 2014.
- [23] J. Li, S.-Y. Pan, H. Kim, J. H. Linn and P.-C. Chiang, "Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies," *Journal of Environmental Management*, vol. 162, pp. 158-170, 2015.
- [24] L. Dong, F. Gu, T. Fujita, Y. Hayashi and J. Gao, "Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: Case study on industrial symbiosis projects in China," *Energy Policy*, vol. 65, pp. 388-397, 2014.
- [25] M. Gabriel, J. Schögggl and A. Posch, "Early front-end innovation decisions for self-organized industrial symbiosis dynamics—a case study on lignin utilization," *Sustainability (Switzerland)*, 2017.
- [26] C. Su and F. Urban, "Circular economy for clean energy transitions: A new opportunity under the COVID-19 pandemic," *Applied Energy*, vol. 289, 2021.
- [27] "European Commission," 2011. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/eiciency_plan_en.pdf. [Accessed 27 June 2017].