

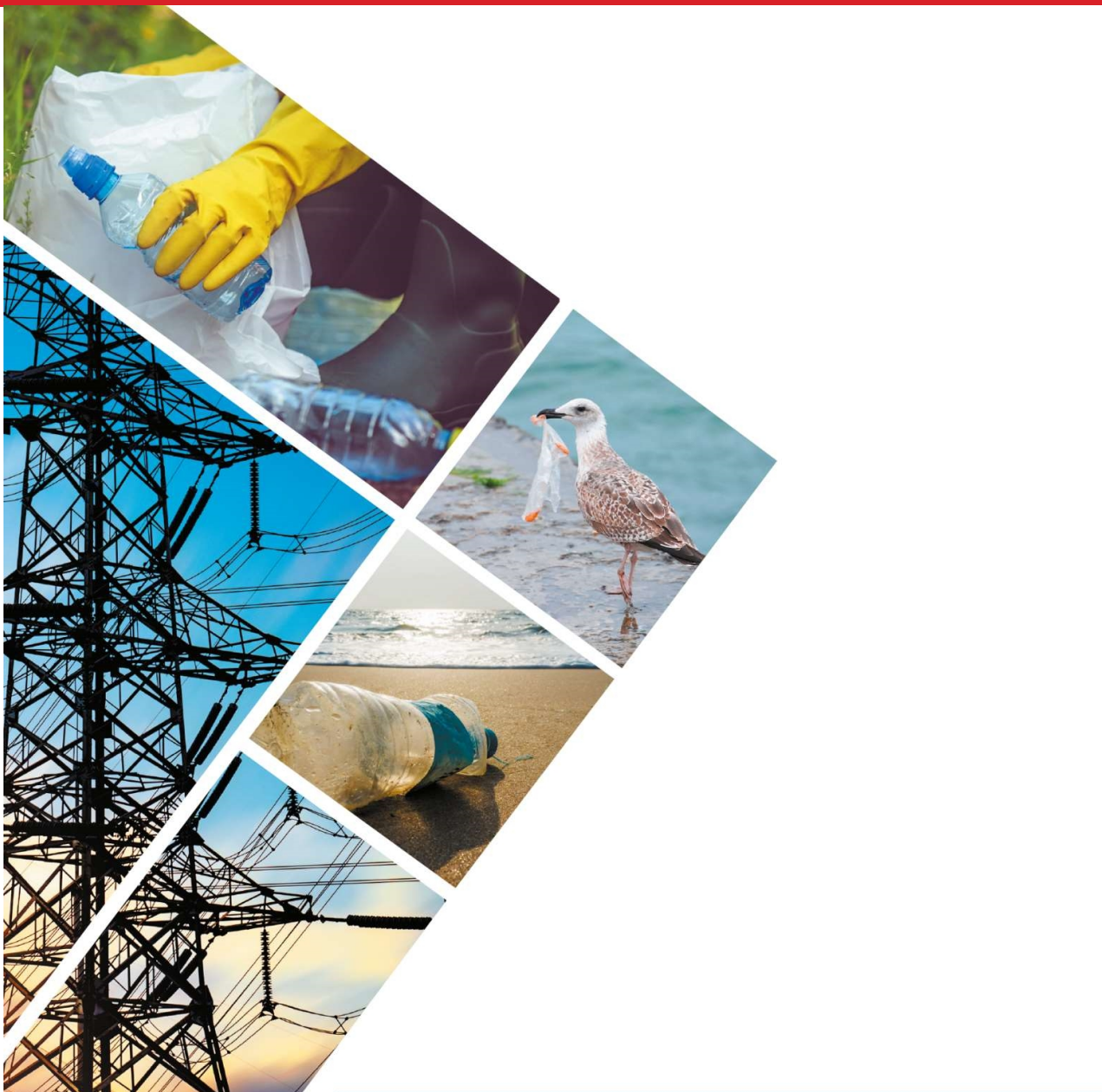


پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی محیط زیست

برونداهای تخصصی

گروه پژوهشی محیط زیست

سال ششم، شماره ۱، اسفندماه ۱۳۹۹



- ❖ بررسی اقتصادی "استفاده از سوخت RDF به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه های سیمان ایران"، عبدالله مصطفایی، پیمان پورمقدم
- ❖ شدت سر و صدا در نیروگاههای حرارتی ذغال سنگ سوز، سمیه علیجانی
- ❖ زیست فناوری و ضرورت توسعه آن در صنعت برق و انرژی، مهسا صدیقی

بنام خدا

اعضای هیئت تحریریه:

مهندس مرتضی جلالی، مهندس امیر سهرابی
کاشانی، دکتر عبدالله مصطفایی، مهندس رامین
پایدار، دکتر سعید نظری، دکتر مهسا صدیقی، دکتر
سمیه علیجانی، مهندس زهرا دلاورمقدم، مهندس
پیمان پورمقدم

اعضای هیئت داوران:

دکتر کامران آرمان، دکتر آرش الماسیان، مهندس
مهسا علائی، مهندس رامین فخری

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی
محیطزیست» با هدف فراهم آوردن بستری
مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب
مرتبط با محیطزیست و ایمنی در صنعت برق
به صورت داخلی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای
هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می کند و استفاده
از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.
مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش های درج
شده بر عهده نویسندگان است.

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: عبدالله مصطفایی

سر دبیر: عبدالله مصطفایی

مدیر اجرایی: پیمان پورمقدم

گرافیکست و صفحه آرا: پیمان پورمقدم

ویراستار: پیمان پورمقدم

عکس روی جلد: رامین پایدار

همکاران این شماره:

همکاران گروه: دکتر عبدالله مصطفایی، دکتر

سمیه علیجانی، دکتر مهسا صدیقی، مهندس

پیمان پورمقدم

همکاران معاونت پژوهشی: نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: environ@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک

باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه محیطزیست

تلفن: 021-88079446

دورنگار: 021-88361603

| | |
|--|----|
| • سخن سردبیر | 1 |
| • بررسی اقتصادی "استفاده از سوخت RDF به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه های سیمان ایران" | 5 |
| • شدت سر و صدا در نیروگاههای حرارتی ذغال سنگ سوز | 22 |
| • زیست فناوری و ضرورت توسعه آن در صنعت برق و انرژی | 36 |
| • معرفی کتاب | 54 |

سخن سردبیر

دانشمندان توانسته‌اند باکتری‌ها را به کارخانه‌های بیولوژیک برای تولید مواد شیمیایی، داروها و به‌تازگی نیز پالایشگاه سوخت تبدیل کنند. آقای «کیسلینگ» دانش‌آموخته مهندسی شیمی در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی است. او و همکارانش با دست‌کاری ژنتیکی باکتری اشریشیا کلی (E.coli) توانسته‌اند از شکر موجود در گیاهان، سوخت بیودیزل و دیگر انواع هیدروکربن‌ها را تولید کنند. قابل ذکر است که این باکتری در روده موجودات زنده به‌وفور وجود دارد. نتایج این تحقیق در نشریه «نیچر» مورخ ۲۸ ژانویه ۲۰۱۰ چاپ شده است. «کیسلینگ» در این‌باره می‌گوید: «ما ژن‌هایی را به خدمت گرفتیم که می‌توانند بیودیزل (استرهای اسید چرب و بیواتانول) را مستقیماً تولید کنند.» او می‌افزاید: «این سوخت را که توسط باکتری «ای کلی» تولید شده است، می‌توان مستقیماً مورد استفاده قرار داد. این در حالی است که چربی‌ها و روغن‌های حاصل از گیاهان در روش‌های سابق را باید ابتدا استری کرد و سپس به مصرف رساند.» احتمالاً نکته مهم‌تر آن است که محققان، ژن‌هایی را وارد این باکتری کرده‌اند که امکان ترشح آنزیم‌هایی را فراهم می‌آورد که می‌توانند ترکیبات پیچیده‌تر مانند سلولز (همی سلولز) گیاهان را شکسته و شکر مورد نیاز این فرآیند را تولید کنند. «کیسلینگ» معتقد است: «این ارگانیسم می‌تواند سوخت را از شکرهای خیلی ارزان‌تر مثل مواد سلولزی نیز تولید کند.»

این باکتری مستقیماً بیودیزل ترشح می‌کند به‌نحوی که بر بالای مخزن تخمیر شناور می‌شود و دیگر به فرآیندهایی مثل تقطیر و دیگر امور خالص‌سازی نیازی نیست چون مثلاً در بیودیزل حاصل از جلبک باید به هر نحو ممکن، ابتدا سلول را بشکنید تا روغن آن خارج شود. (علاقه‌مندان به سوخت حاصل از جلبک می‌توانند به مقاله مزیت‌های استفاده از جلبک برای تولید انرژی در روزنامه اعتماد مورخ ۱۳۸۸/۵/۱۰ مراجعه کنند.) لازم به ذکر است مبحث تبدیل «ای کلی» به پالایشگاه تولید بیودیزل سلولزی، در گروه علم

«زیست‌شناسی سنتزی» دسته‌بندی می‌شود. برای این کار «کیسلینگ» و همکارانش از باکتری‌های «Clostridium Stercorarium» و «Bacteroides Ovatus» که در خاک و روده موجودات گیاه‌خوار به فراوانی وجود دارند، ژن‌هایی تولید کردند که می‌توانند آنزیم‌های موردنیاز برای شکستن سلولز را تحصیل کنند. این تیم سپس یک کد ژنتیکی خارجی را نیز به صورت یک آمینواسید با رشته کوتاه، به باکتری داخل کردند تا به سلول‌های متحول شده «اشریشیا کلی» سیستمی را القا کند که سلولز گیاهی را به شکر تبدیل کرده و باکتری نیز این شکر را به بیودیزل بدل سازد.

این فرآیند برای تولید هیدروکربن‌هایی با حداقل 12 کربن مناسب است که برای سوخت دیزل و حتی سوخت جت مناسب است ولی برای سوختی مثل بنزین که کربن‌های کمتری دارد، مناسب نیست. «کیسلینگ» متذکر می‌شود: «در بنزین هیدروکربن‌های کوتاه‌تر مثلاً با هشت کربن و شاخه جانبی زیاد وجود دارد ولی دیزل و سوخت جت از هیدروکربن‌های با رشته بزرگ‌تر و شاخه‌های کمتر تشکیل شده‌اند. البته راه‌هایی برای تولید بنزین در این سیستم نیز وجود دارد که ما در حال تحقیق روی این فناوری‌ها هستیم»

گذشته از این مسائل، کشور آمریکا به‌تنهایی سالانه بالغ بر 530 میلیارد لیتر بنزین را به مصرف می‌رساند و این عدد در مقابل مصرف 7/5 میلیارد لیتری بیودیزل است. این محقق قبلاً محاسبه کرده بود که اگر حدود 40/5 میلیون هکتار از اراضی این کشور به زیر کشت گیاه «میسکانتوس گیگانتیوس» (یک گیاه آسیایی با ارتفاع بیش از سه متر) برود و از این میکروب‌های دست‌کاری شده ژنتیکی نیز استفاده شود، می‌توان تمامی سوخت موردنیاز بخش حمل‌ونقل آمریکا را تولید کرد. البته این اراضی فقط یک‌چهارم اراضی مستعد آمریکا را تشکیل می‌دهد. باکتری «اشریشیا کلی» محتمل‌ترین گزینه برای چنین اموری است چون ارگانیسمی است که بیشترین پژوهش روی آن صورت گرفته و مقاوم‌ترین گزینه نیز به شمار می‌رود. «کیسلینگ» می‌گوید: «این باکتری به‌خوبی دست‌کاری‌های ژنتیکی را تحمل کرده و قابلیت‌های خیره‌کننده‌ای

دارد چون همه ارگانیس‌ها برای حیات به اسیدهای چرب در غشای سلولی نیاز دارند و اگر شما قسمتی از این اسید چرب را بردارید، آن‌ها مشغول بیوستتز اسید چرب می‌شوند تا این کاهش را جبران کنند.» البته سرعت رشد باکتری اشیریشیا کلی نیز زیاد است مثلاً سرعت تکثیر آن سه برابر سرعت تکثیر مخمر و ۵۰ برابر مایکوپلاسما و ۱۰۰ برابر میکروب‌های کشاورزی است. آقای «چرچ» متخصص ژنتیک در دانشکده پزشکی هاروارد است. البته او در این تحقیق شرکت نداشته است ولی بیان می‌دارد: «این باکتری می‌تواند در شوینده‌ها یا حتی بنزین نیز زنده بماند ولی بسیاری از موجودات زنده قادر به این کار نیستند. به‌علاوه دست‌کاری آن نیز نسبتاً آسان است. ضمناً سریعاً می‌توان این باکتری را به کارخانه‌ای برای تولید مواد آلی بدل کرد. این باکتری به شما قدرت می‌دهد به تولید هر نوع ماده آلی در سامانه‌های بیولوژیکی فکر کنید.»

در اینجا این ایده وجود دارد که بیودیزل به‌صورت ناپیوسته و از یک کلنی خاص و بر اساس قابلیت طبیعی این باکتری تولید شود و پس از تولید سوخت آن، باکتری معدوم شود و یک کلنی دیگر به کار گرفته شود. «کیسلینگ» علت این کار را «به حداقل رساندن احتمال جهش ژنتیکی در یک میکروب» می‌داند تا به این وسیله بتوان از زنده ماندن باکتری و فرار آن و تأثیرات بعدی آن جلوگیری کرد.

البته این فرآیند در مقایسه با دیگر فرآیندها، مناسب‌ترین روش برای تولید سوخت زیستی به شمار نمی‌رود چون به‌صورت تئوریک فقط می‌تواند از ۱۰ درصد شکر بهره‌برداری کند. «کیسلینگ» می‌گوید: «زمانی که به عدد ۸۰ تا ۹۰ درصد دست‌یابیم، آنگاه این فرآیند تجاری می‌شود. به‌علاوه ما نیز تصمیم داریم در مقیاس بالا این کار را انجام دهیم مثلاً تولید را در مخازن صد هزار لیتری به انجام برسانیم تا بتوان سوخت زیستی میکروبی را باور کرد.» با این وجود در همین شرایط نیز چندین شرکت همانند شرکت LS9 و Gevo و نیز شرکت Amyris Biotechnologies (که توسط «کیسلینگ» پایه‌گذاری شده است) مشغول فعالیت روی تولید این سوخت در مقیاس‌های زیاد هستند.

به نظر می‌رسد برای حل مشکلات باید مجدداً به طبیعت پناه برد.

عبداله مصطفایی
گروه محیط‌زیست

بررسی اقتصادی "استفاده از سوخت RDF به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه‌های سیمان ایران"

نویسندگان: عبدالله مصطفایی¹، پیمان پورمقدم²

چکیده: صنعت سیمان از جمله صنایع اساسی کشور به شمار می‌آید که جزو صنایع بسیار پرمصرف از لحاظ انرژی است. از سوی دیگر سالانه میزان قابل توجهی پسماند جامد در کشور تولید می‌شود که دارای ارزش حرارتی بالایی بوده و قابلیت استفاده در کوره‌های پخت سیمان را دارا است. در این مقاله کمیت و کیفیت پسماندهای جامد شهری تولیدشده در ایران بررسی شده و با برآورد اجزای تشکیل‌دهنده سوخت ارزش حرارتی HHV و LHV سوخت RDF قابل استحصال از پسماندهای جامد شهری به ترتیب MJ/kg 18/59 و 16/7 MJ/kg و میزان RDF قابل استحصال 3/4 میلیون تن در سال برآورد شده است. در نهایت برآورد اقتصادی جایگزینی سوخت RDF با سوخت‌های گاز و مازوت در سناریوهای مختلفی از قیمت این سوخت‌ها ارائه شده است.

کلیدواژه: صنعت سیمان، RDF، برآورد اقتصادی، سوخت مشتق شده از پسماند جامد، HHV.

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش فرهنگ شهرنشینی و مصرف‌گرایی، حجم پسماند خشک و نیمه‌خشک افزایش چشمگیری داشته است و این میزان پسمان خشک ارزش حرارتی بالایی نیز دارد؛ اما روش‌ها و تدابیر در ارتباط با استفاده و یا امحاء آن‌ها به‌ویژه در کشور ما همچنان به‌کندی در حال پیشرفت است. تولید و استفاده از RDF، نه تنها به‌عنوان یک روش امحاء پسماند بلکه به‌عنوان یک سوخت تجدید پذیر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است، این فناوری هم‌اکنون در کشورهای مختلف، از جمله کشورهای اروپایی مورد توجه است. در ایران نیز در اکثر شهرهای بزرگ نظیر تهران، شیراز، اصفهان، تبریز، ارومیه، مشهد به دلیل نوع

1- هیأت علمی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Amostafaei@nri.ac.ir

2- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Ppourmoghaddam@nri.ac.ir

پسماند جامد شهری و ترکیبات آن و رو به افزایش بودن قسمت خشک و نیمه‌خشک زباله، استفاده از فناوری تولید RDF از زباله و در نظر گرفتن آن به عنوان منبع تولید انرژی حرارتی بسیار اهمیت دارد. در شرایط کنونی و به دلیل قیمت پایین گاز طبیعی و مازوت تحویلی به کارخانه‌های سیمان، توجیه اقتصادی این طرح و سایر طرح‌های مشابه باید در سطح کلان و باهدف مدیریت پسماندهای شهری و صنعتی بررسی شود (استفاده از سوخت‌های جایگزین در کارخانه‌های سیمان به دلیل قیمت بسیار پایین حامل‌های انرژی در کشور دارای توجیه اقتصادی نیست). این در حالی است که پسماندهای جامد به عنوان سوخت و یا مواد اولیه جایگزین در بیش از نیمی از کارخانه‌های سیمان مستقر در اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجاکه می‌توان سوخت جایگزین شده را به خارج از کشور صادر نمود، با در نظر گرفتن قیمت سوخت جایگزین باقیمت سوخت صادراتی ایران استفاده از سوخت‌های جایگزین در ایران جنبه اقتصادی خواهد یافت.

در این تحقیق با در نظر گرفتن شرایط کمی و کیفی پسماندهای جامد شهری تولیدشده در ایران، میزان و مشخصات RDF تولیدشده از نظر مشخصه‌هایی نظیر ارزش حرارتی برآورد شده و با استفاده از آن برآورد اقتصادی جایگزینی سوخت RDF با بخشی از سوخت‌های متداول کارخانه‌های سیمان کشور بررسی شده است.

1- میزان تولید پسماندهای جامد شهری

ایران کشوری است که از لحاظ سطح توسعه و شرایط آب و هوایی در مناطق مختلف آن تفاوت‌هایی مشاهده می‌گردد، به همین دلیل نرخ تولید پسماند جامد به ازای هر نفر از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. همچنین در طی زمان میزان پسماند تولیدشده در مناطق مختلف کشور دچار تغییر بوده است. در جدول (1) میزان پسماند خشک گزارش شده برای نقاط مختلف کشور ارائه شده است.

جدول (۱) - تولید و سرانه تولید پسماند جامد شهری در ایران

| مرجع | سرانه هر نفر کیلوگرم در روز | میزان (تن در روز) | سال | شهر |
|------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| [۱] | ۰/۴۴ | ۱۸۳۵ | ۱۳۸۷ | خوزستان |
| | ۰/۶۹ | ۱۷۹ | ۱۳۸۷ | کهگیلویه و بویراحمد |
| | ۰/۷۷ | ۶۰۱ | ۱۳۸۷ | همدان |
| | ۰/۷۰ | ۵۲۲ | ۱۳۸۷ | کردستان |
| | ۰/۸۰ | ۸۲۵ | ۱۳۸۷ | کرمانشاه |
| | ۰/۷۴ | ۱۹۷ | ۱۳۸۷ | ایلام |
| | ۰/۷۰ | ۷۱۰ | ۱۳۸۷ | لرستان |
| | ۰/۷۹ | ۱۴۴۹ | ۱۳۸۷ | آذربایجان شرقی |
| | ۰/۷۷ | ۸۰۸ | ۱۳۸۷ | آذربایجان غربی |
| | ۰/۷۱ | ۲۷۰ | ۱۳۸۷ | اردبیل |
| | ۰/۸۴ | ۱۱۰۶ | ۱۳۸۷ | مازندران |
| | ۰/۷۶ | ۸۷۵ | ۱۳۸۷ | گیلان |
| | ۰/۶۴ | ۴۶۰ | ۱۳۸۷ | گلستان |
| | ۰/۵۲ | ۱۴۱۷ | ۱۳۸۷ | اصفهان |
| | ۰/۳۴ | ۱۳۹ | ۱۳۸۷ | چهارمحال و بختیاری |
| | ۰/۳۹ | ۲۷۶ | ۱۳۸۷ | یزد |
| | ۰/۵۰ | ۶۸۶ | ۱۳۸۷ | کرمان |
| | ۰/۵۰ | ۵۳۷ | ۱۳۸۷ | سیستان و بلوچستان |
| | ۰/۸۴ | ۶۸۲۲ | ۱۳۸۷ | شهر تهران |
| | ۰/۵۳ | ۱۹۹۶ | ۱۳۸۷ | تهران بدون شهر تهران |
| | ۰/۷۹ | ۳۹۳ | ۱۳۸۷ | زنجان |
| ۰/۶۷ | ۳۰۶ | ۱۳۸۷ | سمنان | |
| ۰/۵۰ | ۵۶۷ | ۱۳۸۷ | مرکزی | |
| ۰/۷۰ | ۴۹۲ | ۱۳۸۷ | قزوین | |
| ۰/۳۸ | ۲۸۵ | ۱۳۸۷ | قم | |
| ۰/۹۴ | ۷۹۶ | ۱۳۸۷ | هرمزگان | |
| ۰/۶۵ | ۳۱۶ | ۱۳۸۷ | بوشهر | |
| [۲] | ۰/۷۴۵ | ۴۶۷۲۰ | ۱۳۹۸ متوسط ۲۰۰۹-۲۰۱۹ | ایران |

بر اساس نتایج گزار شده در جدول فوق ، تولید پسماند جامد در مناطق مختلف ایران به طور متوسط در 10 سال اخیر 0/745 به ازای هر نفر در روز گزارش شده است [2].

2- ترکیب فیزیکی پسماندهای جامد شهری

نتیجه تخلیه پسماندهای جامد شهری بدون هیچ گونه جداسازی به سطل زباله یک ترکیب فیزیکی پیچیده است [1]. شناخت ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری و ارزیابی آن جهت طراحی روش‌ها و فناوری‌های مورداستفاده جهت تسویه و بازیابی آن بسیار حائز اهمیت است [1]. در جدول (2) ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری گزارش شده برای نقاط مختلف کشور ارائه شده است. میزان متوسط ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری در بازه زمانی سال‌های 1388 تا 1398 در سطر انتهایی جدول (2) گزارش شده است [2].

3- معرفی سوخت مشتق شده از زباله (RDF)

پسماندی که پس از طی نمودن پروسه‌های مختلف بازیافت (جداسازی، خرد کردن، شکل‌دهی مناسب نظیر شکل گلوله‌ای یا ساچمه‌ای، آجر، میله سوختی) به عنوان سوخت حاصل از مواد زائد بکار برده می‌شود¹ RDF نامیده می‌شود [3]. در شکل زیر نمونه‌هایی از سوخت RDF ارائه شده است. مواد آلی زباله‌های شهری و موادی که ارزش حرارتی بالایی دارند (مانند پلاستیک‌ها) از اجزای اصلی RDF به حساب می‌آیند.

RDF از اجزای جامد قابل احتراق زباله به دست می‌آید و علاوه بر زباله‌های جامد شهری (MSW²)

از زباله‌های جامد صنعتی نیز می‌توان در تولید RDF استفاده نمود [4]. تولید و استفاده از RDF نه تنها به عنوان

¹ Refuse Derived Fuel

² Municipal Solid Waste



جدول (۲) - ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری در ایران

| منطقه | سال | مواد ارگانیک | کاغذ و مقوا | پلاستیک | فلزات | لاستیک | پارچه و منسوجات | شیشه | چوب | سایر موارد | خاک | مرجع |
|--------------------|-------------------|--------------|-------------|---------|-------|--------|-----------------|------|------|------------|-----|------|
| تهران | ۱۳۸۸ | ۷۴/۵۶ | ۵/۰۴ | ۶/۲۵ | ۲/۴۸ | ۱/۱۱ | ۳/۲۹ | ۲/۰۳ | ۱/۸۲ | ۳/۴۲ | - | [1] |
| فارس | ۱۳۸۸ | ۶۴/۱۴ | ۶/۳۵ | ۱۲/۹۶ | ۲/۲۷ | ۱/۳۲ | ۲ | ۰/۲۳ | ۰ | ۷/۷۳ | - | [1] |
| جنوب شرقی | ۱۳۸۸ | ۶۲/۵۵ | ۸/۳ | ۱۲/۱۵ | ۳/۰۵ | ۱/۹ | ۲/۲۵ | ۲/۲۵ | ۰/۹ | ۶/۶۵ | - | [1] |
| سواحل جنوبی | ۱۳۸۸ | ۷۸/۹۸ | ۴/۹۴ | ۷/۴۱ | ۲/۴ | ۰/۴ | ۱/۶۲ | ۱/۸۹ | ۰ | ۲/۳۶ | - | [1] |
| اصفهان | ۱۳۸۸ | ۷۶/۳ | ۴/۳۸ | ۵/۲۶ | ۲/۹ | ۰/۹۷ | ۳/۷۲ | ۱/۷۱ | ۰ | ۴/۷۶ | - | [1] |
| خراسان | ۱۳۸۸ | ۷۰/۹۶ | ۶/۹۳ | ۶/۸۷ | ۲/۳۶ | ۰/۷۴ | ۲/۹۳ | ۲/۲۷ | ۰ | ۶/۹۴ | - | [1] |
| خزر | ۱۳۸۸ | ۷۷/۷۲ | ۸/۴۳ | ۷/۶۱ | ۰/۸۹ | ۰/۴۷ | ۱/۲۴ | ۰/۹۱ | ۰/۹۶ | ۱/۷۷ | - | [1] |
| آذربایجان | ۱۳۸۸ | ۶۷/۳۴ | ۸/۶۷ | ۱۱/۸۵ | ۲/۲۵ | ۰ | ۲/۸۷ | ۱/۸۱ | ۲/۳۹ | ۲/۸۲ | - | [1] |
| زاگرس | ۱۳۸۸ | ۷۸/۲۴ | ۷/۲۱ | ۷/۲۸ | ۱/۷۱ | ۰/۵۲ | ۱/۴ | ۱/۹۴ | ۰/۶ | ۱/۱ | - | [1] |
| خوزستان | ۱۳۸۸ | ۶۰/۹۲ | ۸/۲۶ | ۸/۳۸ | ۴/۴۲ | ۳/۲۴ | ۴/۰۶ | ۴/۱۱ | ۱/۱ | ۵/۵ | - | [1] |
| میانگین وزنی ایران | ۱۳۹۸ ^۱ | ۶۸/۴۲ | ۷/۳۱ | ۱۰/۷۹ | ۱/۵۹ | ۱/۹ | ۳/۰۲ | ۲/۳۳ | ۰/۹۷ | ۴/۴۸ | - | [2] |

^۱ متوسط بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸

یک روش امحاء پسماند بلکه به عنوان یک سوخت تجدید پذیر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است،

این فناوری هم‌اکنون در کشورهای مختلف، از جمله کشورهای اروپایی کاربرد گسترده‌ای داشته است [5].

جداسازی اجزای قابل احتراق از MSW و تبدیل آن‌ها به انرژی با استفاده از روش‌های پیش

فراورش¹ و یا روش‌های تبدیلی² انجام می‌شود. این اجزا بیشتر شامل کاغذ و پلاستیک می‌باشند [6]. در

برخی مراجع مهم‌ترین عوامل ترویج استفاده از زباله در کوره‌های سیمان را این چنین برمی‌شمارند [6]، [7]،

[8]، [9] :

- روشی پایدار برای دفع زباله‌های خطرناک و غیرقابل بازیافت است، دمای بالای کوره علاوه بر احتراق کامل مشکل بیماری‌زا بودن سوخت را حل می‌کند (جلوگیری از دفن پسماندهای خطرناک و حفظ محیط‌زیست)
- طول و وسعت قابل توجه کوره که سطح تبادل انرژی را بین مشعل و زباله و نیز زباله و کلینکر به حداکثر می‌رساند.
- محیط قلبیابی داخل کوره که قابلیت استفاده از پسماندهای اسیدی و یا آغشته به اسید را فراهم می‌آورد
- در مقایسه با فرایند سوزاندن³ در فرایند احتراق زباله در کوره سیمان دفع پسماند به صورت کامل انجام شده و پسماند باقیمانده‌ای تولید نمی‌شود
- احتراق هر تن RDF جایگزین سوخت زغال‌سنگ می‌تواند مانع انتشار 1/48-1/88 ton CO₂ گردد

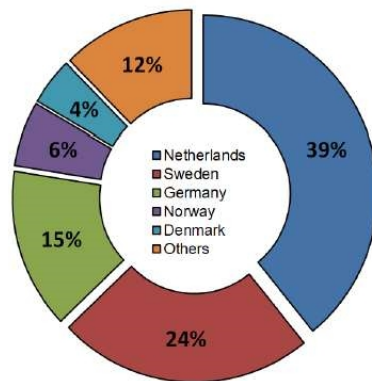
¹ Front-end

² Back-end

³ Incineration

- نسبت به سوخت خام MSW سوخت RDF دارای ارزش حرارتی بالاتر و تقریباً ثابت، یکنواخت بودن خواص فیزیکی و شیمیایی، سهولت حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی، انتشار آلاینده‌های کمتر، هوای اضافی موردنیاز کمتر در زمان احتراق

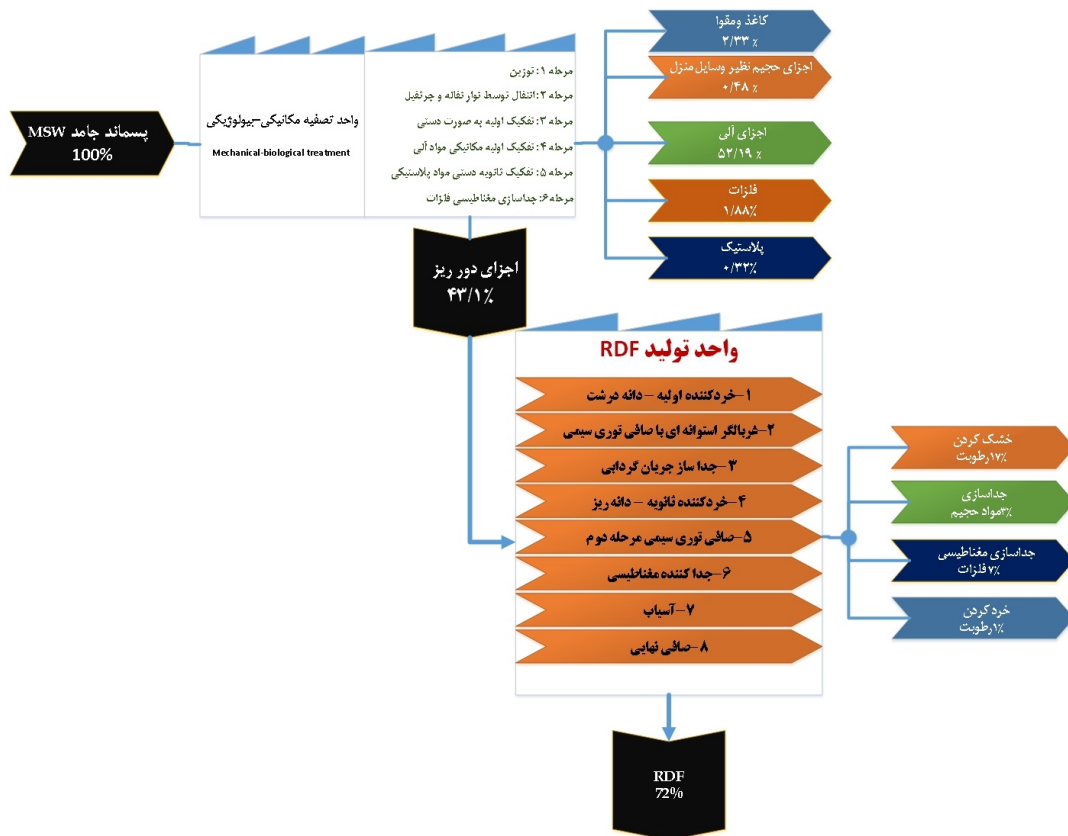
استفاده از این نوع سوخت در کشورهای پیشرفته اروپایی در دو دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. میزان تقریبی تولید RDF در اروپا حدود ۳ میلیون تن در سال برآورد شده است [۱۰]. میزان RDF تولیدشده اتحادیه اروپا در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۳/۴، ۲/۹۹ و ۲/۲۲ میلیون تن در سال گزارش شده است [۱۱]. کشورهای هلند، سوئد، آلمان، نروژ و دانمارک کشورهای مطرح در تولید و مصرف سوخت RDF بوده‌اند، شکل (۱).



شکل (۱) - سهم تولید RDF در کشورهای اروپایی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ [۱۱]

۳- فرایند تولید RDF از MSW

در شکل (۲) فرایند کلی استحصال و تولید RDF از پسماندهای جامد شهری MSW در یکی از کارخانه‌های تولید سوخت RDF در کشور اسپانیا ارائه شده است.



شکل (۲) - فرایند استحصال و تولید RDF از پسماندهای جامد شهری MSW، کشور اسپانیا [۱۲]

۵- محاسبه ارزش حرارتی پسماند

ارزش حرارتی پسماند را می‌توان با استفاده از روابط ریاضی محاسبه نمود. مزیت استفاده از این روابط محاسبه ارزش حرارتی هر پسماند بر اساس ترکیب شیمیایی آن است [۱۳]. در صنایع دو نوع ارزش حرارتی HHV^1 و LHV^2 استفاده می‌شود. HHV بالاترین ارزش حرارتی سوخت بوده که گرمای نهان تبخیر آب را نیز در برمی‌گیرد ولی در LHV گرمای نهان تبخیر آب در نظر گرفته نمی‌شود. ارزش حرارتی RDF بر اساس LHV محاسبه می‌شود زیرا بعد از فرایند احتراق سوخت گرمای نهان تبخیر آب بازیابی نمی‌شود. در جدول (۳) برخی از روابط استفاده شده برای محاسبه HHV و LHV ارائه شده است.

¹ Higher Heating Value

² Lower Heating Value

جدول (۳) - روابط رایج در محاسبه ارزش حرارتی پسماند جامد شهری در ایران

| مرجع | توضیحات | معادله | ردیف |
|------|--|---|------|
| [۱۳] | C, H, O, S و N به ترتیب درصد وزنی (خشک) کربن، هیدروژن، اکسیژن، گوگرد و نیتروژن | $HHV \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 337C + 1419 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 93S + 23N$ | ۱ |
| | W برابر درصد وزنی آب | $LHV \left[\frac{MJ}{kg} \right] = HHV \left[\frac{MJ}{kg} \right] - 0.0244(W + 9H)$ | ۲ |

درصد وزنی آب پسماند بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$W = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن تر}} \times 100$$

جدول (۴) - ترکیب‌های شیمیایی استفاده شده برای پسماند جامد شهری در ایران

| مرجع | کربن % | هیدروژن % | اکسیژن % | نیتروژن % | گوگرد % | خاکستر % | نوع پسماند |
|------|--------|-----------|----------|-----------|---------|----------|-------------------------|
| [۱۳] | ۶۰ | ۷/۲ | ۲۲/۸ | - | - | ۱۰ | پلاستیک |
| | ۴۳/۲ | ۵/۸ | ۴۴/۵ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۵/۵ | کاغذ و مقوا |
| | ۴/۵ | ۰/۶ | ۴/۳ | ۰/۱ | | ۹۰/۵ | فلز |
| | ۴۸ | ۶/۴ | ۴۰ | ۲/۲ | ۰/۲ | ۳/۲ | منسوجات |
| | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۱ | - | ۹۸/۹ | شیشه |
| | ۴۹/۵ | ۶ | ۴۲/۷ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۱/۵ | چوب |
| | ۶۹/۷ | ۸/۷ | - | - | ۱/۶ | ۲۰ | لاستیک |
| | ۶۰ | ۸ | ۱۱/۶ | ۱۰ | ۰/۴ | ۱۰ | چرم |
| | ۲۶/۳ | ۳ | ۲ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۶۸ | خاک |
| | ۴۸ | ۶/۴ | ۳۷/۶ | ۲/۶ | ۰/۴ | ۵ | مواد آلی (زائدات غذایی) |

در جدول (۵) نمونه محاسبات و فرضیات انجام شده در برآورد میزان LHV و HHV پسماند ارائه

شده‌اند. ارزش سوختی پسماند به‌طور مستقیم با میزان مواد قابل احتراق در آن و به‌طور معکوس با مقدار رطوبت موجود در آن بستگی دارد. به همین دلیل، قبل از سوزاندن مستقیم یا در هنگام تولید RDF، باید مواد فسادپذیر که درصد بالایی از رطوبت را دارا هستند از پسماند جدا یا خشک شوند. در جدول زیر مشخصات سوخت‌های مطرح در صنعت سیمان ارائه شده است.

جدول (5) - نمونه محاسبات و فرضیات انجام شده در برآورد میزان LHV و HHV پسماند

| نوع پسماند | % پسماند ¹ | وزن اولیه دورریز ¹ (Tons) | میزان رطوبت ² (%) | وزن خشک پسماندها | خاکستر (تن) | گوگرد (تن) | نیتروژن (تن) | اکسیژن (تن) | هیدروژن (تن) | کربن (تن) |
|--|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------|-------------|------------|--------------|-------------|--------------|-----------|
| پلاستیک | ۲۹/۵۶ | ۱۱۸۲/۴ | ۲ | ۱۱۵۸/۸ | ۱۱۵/۹ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۲۶۴/۲ | ۸۳/۴ | ۶۹۵/۳ |
| کاغذ و مقوا | ۱۵/۷ | ۶۲۸ | ۵/۵ | ۵۹۳/۵ | ۳۲/۶ | ۱/۲ | ۱/۸ | ۲۶۴/۱ | ۳۴/۴ | ۲۵۶/۴ |
| فلز | ۲/۴ | ۹۶ | ۳ | ۹۳/۱ | ۸۴/۳ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۴/۰ | ۰/۶ | ۴/۲ |
| منسوجات | ۶/۷۷ | ۲۷۰/۸ | ۱۰ | ۲۴۳/۷ | ۷/۸ | ۰/۵ | ۵/۴ | ۹۷/۵ | ۱۵/۶ | ۱۱۷/۰ |
| شیشه | ۶/۵۶ | ۲۶۲/۴ | ۲ | ۲۵۷/۲ | ۲۵۴/۳ | ۰/۰ | ۰/۳ | ۱/۰ | ۰/۳ | ۱/۳ |
| چوب | ۲/۷۳ | ۱۰۹/۲ | ۲۰ | ۸۷/۴ | ۱/۳ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۳۷/۳ | ۵/۲ | ۴۳/۲ |
| لاستیک | ۰ | ۰ | ۲ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| چرم | ۱/۲۳ | ۴۹/۲ | ۱۰ | ۴۴/۳ | ۴/۴ | ۰/۲ | ۴/۴ | ۵/۱ | ۳/۵ | ۲۶/۶ |
| خاک | ۴/۵۵ | ۱۸۲ | ۸ | ۱۶۷/۴ | ۱۱۳/۹ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۳/۳ | ۵/۰ | ۴۴/۰ |
| مواد آلی (زائدات غذایی) | ۳۰/۵ | ۱۲۲۰ | ۷۰ | ۳۶۶/۰ | ۱۸/۳ | ۱/۵ | ۹/۵ | ۱۳۷/۶ | ۲۳/۴ | ۱۷۵/۷ |
| مجموع | ۱۰۰ | ۴۰۰۰ | | ۳۰۱۱/۳ | ۶۳۲/۸ | ۳/۷ | ۲۲/۴ | ۸۱۴/۲ | ۱۷۱/۵ | ۱۳۶۳/۶ |
| % رطوبت پسماند | | | | | | | | | | |
| ۲۴/۷۲ | | | | | | | | | | |
| % وزنی اجزا (خشک) | | | | | | | | | | |
| کربن هیدروژن اکسیژن نیتروژن گوگرد | | | | | | | | | | |
| ۵۷/۴۰ ۷/۲۲ ۳۴/۲۸ ۰/۹۴ ۰/۱۶ | | | | | | | | | | |
| مول اجزا (mole*10 ³) | | | | | | | | | | |
| ۱۱۳/۶۳ ۱۷۱/۵۰ ۵۰/۸۹ ۱/۶۰ ۰/۱۲ | | | | | | | | | | |
| میزان مول اجزا با فرض مول 1 برای نیتروژن (mole*10 ³) | | | | | | | | | | |
| ۷۱ ۱۰۷ ۳۲ ۱ ۰/۰۷ | | | | | | | | | | |
| C71 H107 O32 N1 S0.07 | | | | | | | | | | |
| فرمول شیمیایی محاسبه شده برای پسماند | | | | | | | | | | |
| HHV پسماند | | | | | | | | | | |
| ۱۸/۵۹ MJ/kg | | | | | | | | | | |
| LHV پسماند | | | | | | | | | | |
| ۱۶/۷ MJ/kg | | | | | | | | | | |

¹ مشخصات یک نمونه از پسماندهای شهر تهران [13]

² میزان متوسط رطوبت در انواع مختلف پسماند، [13]



5- برآورد اقتصادی استفاده از سوخت‌های جایگزین در صنعت سیمان ایران

در این بخش برآورد اقتصادی استفاده از سوخت RDF در صنعت سیمان ایران بر اساس فرضیات

جدول (5) ارائه شده است.

| جدول (5) - اطلاعات و فرضیات استفاده‌شده در برآورد اقتصادی | | |
|---|-----------------------------|------------------------|
| عنوان | واحد | میزان |
| میزان RDF قابل استحصال از MSW | % | 20 |
| متوسط تولید MSW در ایران | Ton/year | ۱۷,۰۵۲,۸۰۰ |
| میزان RDF قابل استحصال | Ton/year | ۳,۴۱۰,۵۶۰ |
| میزان مصرف انرژی برای تولید هر کیلو کلینکر | kcal/kg | ۸۷۰ |
| میزان سیمان تولیدی در ایران | Ton/Year | 65,000,000 |
| میزان انرژی مصرفی در کارخانه‌های سیمان | kcal/year | 56,550,000,000,000 |
| اطلاعات و فرضیات مربوط به سوخت‌های متداول کارخانه‌های سیمان | | |
| ارزش حرارتی گاز طبیعی | kcal/m ³ | 8400 |
| ارزش حرارتی مازوت | kcal/L | 9790 |
| ارزش حرارتی TDF | kcal/kg | 3997,8 |
| میزان کاهش انتشار ناشی از جایگزینی RDF با گاز طبیعی | TonCO ₂ /Ton RDF | ۰/۴۲ |
| میزان کاهش انتشار ناشی از جایگزینی RDF با مازوت | TonCO ₂ /Ton RDF | ۰/۷۶ |
| اطلاعات و فرضیات اقتصادی | | |
| شاخص قیمت مصرف‌کننده (CPI) در سال 1392 | ۶۶/۹۵۴ | مرجع سازمان آمار ایران |
| | ۲۰۳/۳۷ | |
| شاخص قیمت مصرف‌کننده (CPI) در سال 1399 | | |
| نرخ دلار در سال 1392 | تومان | 3200 |
| نرخ دلار در سال 1399 | تومان | 17000 |
| میزان کاهش راندمان ناشی از جایگزینی سوخت RDF | % | درصد جایگزینی × 0/2 |
| قیمت RDF | Rial /kg | 1823 |
| قیمت گاز طبیعی تحویلی کارخانه سیمان در سال 1399 | Rial /m ³ | 1000 |
| قیمت مازوت تحویلی کارخانه سیمان در سال 1399 | Rial/lit | 3000 |
| قیمت گاز طبیعی صادراتی در سال 1399 | USD /m ³ | ۰/۲۸۳۵ |
| قیمت مازوت صادراتی در سال 1399 | USD /Ton | ۰/۵۳۱ |
| هزینه کاهش انتشار CO ₂ | USD/Ton CO ₂ | 15 |

صرفه‌جویی خالص ناشی از جایگزینی سوخت RDF در کارخانه‌های سیمان طبق رابطه زیر برآورد شده است.

$$\text{net cost saving} = \frac{(\text{fuel saving} + \text{CO}_2 \text{ emission saving} - \text{RDF production cost}) \times (100 - \text{efficiency loss})}{100}$$

در جدول (6) مشخصات سوخت‌های مطرح در صنعت سیمان ارائه شده است.

جدول (6) - مشخصات سوخت‌های مطرح در صنعت سیمان [6]

| نوع سوخت | واحد | ارزش حرارتی | درصد رطوبت | درصد خاکستر |
|-----------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| RDF | kcal/kg | ۳۰۰۰-۳۵۰۰ | ۱۵-۲۵ | ۲۰-۲۲ |
| TDF | kcal/kg | ۷۵۰۰-۸۵۰۰ | ۵-۱۰ | ۵ |
| زغال سنگ | kcal/kg | ۶۵۰۰-۷۵۰۰ | ۳-۷ | ۷-۱۲ |
| گاز طبیعی | kcal/m ³ | ۸۲۰۰-۸۶۰۰ | بسیار ناچیز | بسیار ناچیز |
| مازوت | kcal/L | ۹۷۹۰ | ۰/۵ | ۰/۴ |
| گازوئیل | kcal/L | ۹۲۳۲ | ۰/۳ | ۰/۰۱ |

در جدول (7) برآورد اقتصادی جایگزینی سوخت RDF با سوخت‌های مطرح در صنعت سیمان ارائه

شده است. در مطالعات انجام گرفته درصد جایگزینی سوخت RDF مناسب در فرایند تولید سیمان به گونه‌ای که

مؤلفه‌های فرایندی تولید سیمان تغییر چندانی نداشته باشد 15% گزارش شده است [99]. بر این اساس

میزان RDF مورد نیاز برای جایگزینی 15% از سوخت کارخانه‌های سیمان 2,121,797 تن در سال برآورد شده

است. با استفاده از داده‌های ارائه شد برای ارزش حرارتی سوخت‌های متعارف استفاده شده در صنعت سیمان

(جدول (6)) میزان سوخت صرفه‌جویی شده حاصل از جایگزینی RDF با سوخت گاز ۱,۰۰۹,۸۲۱,۴۲۹

مترمکعب در سال و جایگزینی با سوخت مازوت ۸۶۶,۴۴۵ مترمکعب در سال برآورد شده است.



جدول (7) - برآورد اقتصادی جایگزینی سوخت RDF با سوخت‌های مطرح در صنعت سیمان

| | | | |
|--|-------------------|----------------------|---|
| | 2,121,797 | Ton/Year | میزان RDF موردنیاز برای جایگزینی 15% از سوخت کارخانه‌های سیمان |
| | ۳۸۶۶۹۷,۹۴۹,۴۹۵ | Toman/Year | هزینه سوخت RDF موردنیاز برای جایگزینی 15% از سوخت کارخانه‌های سیمان |
| سوخت پایه کارخانه سیمان : گاز | | | |
| | ۱,۰۰۹,۸۲۱,۴۲۹ | m ³ /year | میزان سوخت صرفه‌جویی شده حاصل از جایگزینی RDF |
| بر اساس قیمت گاز تحویلی به کارخانه‌های سیمان | ۱۰۰,۹۸۲,۱۴۲,۸۵۷ | Toman/Year | سود حاصل از سوخت صرفه‌جویی شده |
| بر اساس قیمت گاز صادراتی ایران | ۴,۸۶۶,۸۳۴,۳۷۵,۰۰۰ | | |
| | ۲۲۹,۷۱۱,۶۹۵,۱۹۷ | Toman/Year | سود ناشی از کاهش انتشار CO ₂ حاصل از جایگزینی سوخت RDF |
| بر اساس قیمت گاز تحویلی به کارخانه‌های سیمان | -۵۴,۳۲۳,۹۸۸,۰۹۸ | Toman/Year | سود خالص ناشی از جایگزینی RDF |
| بر اساس قیمت گاز صادراتی ایران | ۴,۵۶۸,۵۵۲,۶۷۷,۰۸۱ | | |
| سوخت پایه کارخانه سیمان : مازوت | | | |
| | ۸۶۶,۴۴۵ | m ³ /year | میزان سوخت صرفه‌جویی شده حاصل از جایگزینی RDF |
| بر اساس قیمت مازوت تحویلی به کارخانه‌های سیمان | ۲۵۹,۹۳۳,۶۰۵,۷۲۰ | Toman/Year | سود حاصل از سوخت صرفه‌جویی شده |
| بر اساس قیمت مازوت صادراتی ایران | ۷,۶۶۴,۹۷۴,۱۵۲,۱۹۶ | | |
| | ۴۱۳,۳۸۸,۸۲۸,۵۲۵ | Toman/Year | سود ناشی از کاهش انتشار CO ₂ حاصل از جایگزینی سوخت RDF |
| بر اساس قیمت مازوت تحویلی به کارخانه‌های سیمان | ۲۷۸,۰۰۲۵,۷۵۰,۲۰۸ | Toman/Year | سود خالص ناشی از جایگزینی RDF |
| بر اساس قیمت مازوت صادراتی ایران | ۷,۴۶۰,۹۱۵,۰۸۰,۲۹۰ | | |

در شرایطی که قیمت گاز معادل قیمت گاز تحویلی به کارخانه‌های سیمان در نظر گرفته شود، سود خالص ناشی از جایگزینی RDF با سوخت گاز ۵۴- هزار میلیارد تومان در سال برآورد شده که نشان‌دهنده غیراقتصادی بودن آن است.

در شرایطی که قیمت گاز، قیمت گاز صادراتی ایران در نظر گرفته شود (با فرض امکان صادرات گاز جایگزین شده با سوخت RDF) سود خالص ناشی از جایگزینی حدود ۴،۵۶۸ میلیارد تومان در سال برآورد شده است که نشان‌دهنده اقتصادی بودن این طرح در شرایطی است که قیمت سوخت گاز معادل قیمت صادراتی آن در نظر گرفته شود.

در شرایطی که قیمت مازوت معادل قیمت مازوت تحویلی به کارخانه‌های سیمان در نظر گرفته شود، سود خالص ناشی از جایگزینی RDF با سوخت مازوت 278 هزار میلیارد تومان در سال برآورد شده است. در شرایطی که قیمت مازوت، قیمت مازوت صادراتی ایران در نظر گرفته شود سود خالص ناشی از جایگزینی حدود ۷،۴۶۱ میلیارد تومان در سال برآورد شده است.

6- نتیجه‌گیری

در این مقاله، سناریوهای مختلفی برای جایگزینی سوخت RDF با سوخت‌های متعارف مورد استفاده در صنعت سیمان در نظر گرفته شده است. بر اساس فرضیات در نظر گرفته شده در این تحقیق و نتایج به دست آمده، جایگزینی سوخت RDF با سوخت مازوت برای هر دو سناریوی در نظر گرفته شده برای قیمت مازوت (1- قیمت مازوت معادل قیمت مازوت تحویلی به کارخانه‌های سیمان، 2- قیمت مازوت معادل قیمت مازوت صادراتی ایران) اقتصادی برآورد شده است در حالی که جایگزینی سوخت RDF

با سوخت گاز تنها در شرایطی که قیمت سوخت گاز معادل قیمت گاز صادراتی ایران در نظر گرفته شود اقتصادی برآورد شده است. نتایج ارائه شده حکایت از آن دارد که افزایش قیمت سوخت کارخانه‌های سیمان می‌تواند تأثیر به‌سزایی در جایگزینی سوخت RDF با سوخت‌های متداول داشته و با صادرات این سوخت‌های جایگزین علاوه بر رفع مشکل دفع پسماندهای جامد سود قابل توجهی برای کشور ایجاد نمود.

مراجع

[1] Nabizadeh, R., M. Heidari, and M. Hassanvand, Municipal solid waste analysis in Iran. *Iran J Health & Environ*, 2008. 1(1): p. 9-18.

[2] Esmailizadeh, S., A. Shaghghi, and H. Taghipour, Key informants' perspectives on the challenges of municipal solid waste management in Iran: a mixed method study. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2020: p. 1-15.

[۳] مختارانی و همکاران، تولید سوخت RDF از مواد زائد جامد شهری شرکت آریا پرتو.

[4] Robinson, W.D., *The solid waste handbook: A practical guide*. 1986: John Wiley & Sons.

[۵] علیزاده و همکاران، عنوان: مقایسه اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت مشتق شده از زباله

و سوخت‌های فسیلی رایج برای تولید انرژی، اولین کنفرانس بین‌المللی مطالعات بین‌رشته‌ای در مدیریت و مهندسی. ۱۳۹۷.

[۶] رکنیزاده و همکاران، بررسی فنی و اقتصادی ورود سوخت حاصل از زباله و تأثیر فرسوده در صنایع

سیمان ایران. انرژی ایران، ۱۳۹۳. ۷ (۱)

[7] Mokrzycki, E. and A. Uliasz-Bocheńczyk, Alternative fuels for the cement industry. *Applied Energy*, 2003. 74(1-2): p. 95-100.

[8] Ghosh, S.K., *Energy Recovery Processes from Wastes*. 2020: Springer.

[9] Hemidat, S., et al., Potential utilization of RDF as an alternative fuel to be used in cement industry in Jordan. *Sustainability*, 2019. 11(20): p. 5819.

[10] Gendebien, A., Refuse derived fuel, current practice and perspectives. WRc Ref: CO5087-4, 2003.

[11] RDF:Insight , Monthly insight and reporting from Footprint Services. 2019.

[12] Gallardo, A., et al., Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *Journal of Cleaner Production*, 2014. 83: p. 118-125.

[13] پناهنده و همکاران، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از دورریز پسماندهای شهر تهران به عنوان

سوخت کوره‌های سیمان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، 2017.

Economic Investigation of Utilization of RDF as an Alternative Fuel to Be Used In Cement Industry in Iran

Abstract: Cement industry is one of the most energy-intensive of all manufacturing industries in Iran. On the other hand annually a significant amount of solid waste is produced in Iran which has a high calorific value and can be used in cement kilns. In this article quantity and quality of municipal solid waste produced in Iran is investigated. Based on physical composition of waste, high heating value (HHV) and low heating value (LHV) of RDF are estimated as 18.59 MJ/kg and 16.7 MJ/kg respectively. The amount of recyclable RDF is estimated at 3.4 million ton per year. Ultimately, Economic estimation of replacing Conventional fuels (natural gas and fuel oil) with RDF in different scenarios of the price of these fuels are presented.

شدت سر و صدا در نیروگاههای حرارتی ذغال سنگ سوز

نویسنده: سمیه علیجانی¹

چکیده: سروصدا به عنوان هرگونه صدای ناخواسته‌ای تعریف می‌شود که شما تمایلی به شنیدن آن ندارید. صدای بلند می‌تواند منجر به استرس‌های جسمی و روانی، کاهش بازده، ایجاد مشکل در برقراری ارتباط و تمرکز، حوادث و آسیب‌های شغلی شود. در هر نیروگاه حرارتی قدیمی، مکان‌های زیادی وجود دارد که منجر به ایجاد صدای بلند می‌شوند. در این مقاله، انواع مختلفی از نیروگاه‌های حرارتی ذغال سنگ سوز در فاصله سال‌های 1980 تا 2011 انتخاب شده است. در بخش گسترده‌ای از یک نیروگاه حرارتی، صداهای بلند با شدت $90-95\text{ dB}$ تولید می‌شود که برای سلامت انسان مضر است. زمانی که سروصدا، فعالیت‌های روزانه نظیر کار کردن، خوابیدن و برقراری ارتباط را مختل می‌کند، می‌تواند به عنوان یک عامل نامطلوب شناخته شود. این عامل می‌تواند منجر به کاهش حافظه، افسردگی حاد و حملات عصبی شود. استاندارد *ISO 1999*، مدلی را برای پیش‌بینی کاهش شنوایی در یک فرکانس مشخص و در یک جمعیت آماری با سن معین ارائه می‌دهد. این جمعیت برای یک مدت‌زمان مشخص، روزانه 8 ساعت، در معرض یک صدا با فرکانس مشخص قرار گرفته‌اند. به منظور ارزیابی سطح ریسک، می‌توان از سه مقیاس زیر استفاده نمود:

- سطح 1: صداهایی با شدت کمتر از 80 dB به عنوان صداهایی شناخته می‌شوند که ریسک پایینی دارند و این صداها، اثر اندکی روی کاهش شنوایی فرد دارند.
- سطح 2: صداهایی که شدت آن‌ها بین $80-85\text{ dB}$ است به عنوان صداهایی که ریسک متوسط دارند شناخته می‌شوند و این صداها، می‌توانند در مواردی منجر به کاهش شنوایی شوند.
- سطح 3: صداهایی که شدت آن‌ها بیش از 85 dB است به عنوان صداهایی که ریسک بالایی دارند شناخته می‌شوند و به منظور کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها روی شنوایی، استفاده از روش‌های فنی توصیه می‌گردد.

در این مقاله، ارزیابی ریسک حاصل از تولید صدا و تخمین شدت ریسک انجام شده است. به منظور ارتقا بهداشت شغلی و کاهش اثرات نامطلوب صدا روی سلامت کارکنان، استفاده از ابزارهای کنترل‌کننده صدا ضروری است.

کلیدواژه: سروصدا، شنیدن، نیروگاه حرارتی، سطح ریسک

مقدمه

سروصدایی که منجر به کاهش شنوایی می شود به عنوان یکی از متداول ترین چالش های بهداشت شغلی در سراسر جهان طی ۲۵ سال گذشته شناخته شده است. سالانه، هزاران نفر از کارکنان به دلیل کار در محیط های کاری پرسروصدا، به کاهش شنوایی اجتناب ناپذیر دچار می شوند. در برخی موارد، عمل جراحی و یا استفاده از سمعک نیز نمی تواند این نوع کاهش شنوایی را درمان کند. حتی اگر کارکنان در معرض سروصدای بلند برای مدت زمان کوتاهی باشند، امکان تغییر شنوایی به طور موقت (احساس پرشدن گوش) و یا شنیدن زنگ در گوش (وزوز کردن گوش) وجود دارد. این مشکلات می تواند چند دقیقه یا ساعت ها پس از ترک محل پرسروصدا به قوت خود باقی بماند. در هر صورت، تکرار این مسئله می تواند منجر به کاهش همیشگی شنوایی و یا وزوز کردن دائمی گوش شود.

سروصدای بلند می تواند منجر به ایجاد استرس های جسمی و روحی، کاهش بازدهی، ایجاد اختلال در برقراری ارتباط و تمرکز و حوادث و آسیب های شغلی شود، از آنجا که شنیدن سیگنال های هشداردهنده در سروصدای زیاد، مشکل خواهد بود. سروصداهایی که منجر به کاهش شنوایی فرد می شوند، توانایی فرد را در برقرار ارتباط، شنیدن صحبت سایرین و سروصداهای بلندتر کاهش می دهند. از دست دادن چنین توانایی منجر به بروز مشکلات در انجام فعالیت های اجتماعی می گردد و می تواند مشکلات روحی و افسردگی به همراه داشته باشد.

۱- گوش چگونه کار می کند؟

زمانی که امواج صوت وارد گوش خارجی می شود، نوسانات روی پرده گوش اثر می گذارد و به گوش میانی و داخلی منتقل می شود. در گوش میانی، سه استخوان کوچک به نام های Incus، Malleus و Stapes، نوسانات را تشدید کرده و به گوش داخلی منتقل می کنند. گوش داخلی دارای یک عضو حلزون

شکل است که از مایع پر شده و از سلول‌های مویی نازک تشکیل شده است. این سلول‌های مویی نازک، به واسطه نوسانات حرکت می‌کنند و امواج صوت را به تکانه‌های عصبی تبدیل می‌کنند و در نتیجه منجر به شنیدن صدا می‌شوند.

در صورتی که فرد در معرض صدای بلند قرار بگیرد، این سلول‌های مویی آسیب‌دیده و منجر به کاهش شنوایی می‌گردد.

چه علائم هشدار دهنده‌ای نشان‌دهنده محیط کار پرسروصدا است؟

صدا می‌تواند به‌عنوان یک مشکل در محیط کار محسوب شود اگر:

- فرد زمانی که محیط کار را ترک می‌کند، صدای زنگ یا چکش در گوش خود بشنود
- فرد برای صحبت کردن با همکار خود که کمتر از یک متر از او فاصله دارد، مجبور به فریاد زدن باشد
- فرد زمانی که محیط کار را ترک می‌کند، به‌طور موقتی دچار کاهش شنوایی شود

2- چه صدایی به‌عنوان صدای بلند شناخته می‌شود؟

واحد اندازه‌گیری صدا، برحسب دسی‌بل (dB A) است که به‌افتخار الکساندر گراهام‌بل نام‌گذاری شده است. دسی‌بل به‌عنوان شدتی از صوت شناخته می‌شود که توسط گوش انسان شنیده می‌شود. دسی‌بل بر اساس مقیاس لگاریتمی اندازه‌گیری می‌شود که بدان معنی است که تغییر جزئی در عدد دسی‌بل منجر به تغییر بزرگ در شدت صوت و پتانسیل آن برای آسیب‌رسانی به شنوایی فرد می‌شود.

استاندارد OSHA محدودیت‌های قانونی برای شدت صوت در محیط کار وضع کرده است. اساس این محدودیت‌ها بر پایه مدت‌زمان کار (به‌طور متوسط 8 ساعت در روز) است. بر اساس استاندارد OSHA، حد مجاز شدت صوت برای تمامی کارکنانی که 8 ساعت در روز کار می‌کنند، 90 dB A است. این

استاندارد از یک نرخ تغییر ۵ dB A استفاده می‌کند. این بدان معنی است که زمانی که شدت صوت به اندازه ۵ dB A افزایش یابد، مدت زمانی که فرد می‌تواند در معرض صدا قرار بگیرد، به نصف می‌رسد. جدول ۱، شدت صوت را در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱- شدت صوت در سناریوهای مختلف

| شدت صدا (dB A) | سناریو | ردیف |
|----------------|-------------------------------|------|
| ۰ | آستانه شنیدن | ۱ |
| ۳۰ | نجوا در فاصله ۲ متری | ۲ |
| ۵۰ | محیط‌های شهری | ۳ |
| ۶۰ | گفتگو در فاصله ۱ متری | ۴ |
| ۷۰ | جاروبرقی در فاصله ۳ متری | ۵ |
| ۸۰ | کامیون در فاصله ۱۵ متری | ۶ |
| ۱۰۰ | مته مخصوص سوراخ کردن سنگ | ۷ |
| ۱۱۰ | مجالس جشن شبانه | ۸ |
| ۱۲۰ | بلند شدن جت در فاصله ۱۰۰ متری | ۹ |
| ۱۴۰ | آستانه درد | ۱۰ |

در سال ۱۹۸۱، به منظور حفاظت کارکنانی که در صنعت با صدای ۸۵ dB A و بیشتر در مدت زمان ۸ ساعت در روز سروکار دارند، استاندارد OSHA قوانین جدیدی نظیر اجرای برنامه‌های حفاظت شنوایی (Hearing Conservation Program) اجرا کرد. استفاده از تست شنوایی رایگان سالیانه، استفاده از ابزارهای رایگان برای حفاظت از گوش در برابر صدا و آموزش از جمله این برنامه‌ها است.

۳- متدولوژی و انتخاب محل برای بررسی شدت صوت

تقریباً تمامی نیروگاه‌های حرارتی (ذغال سنگ سوز) هندوستان در دهه ۱۹۸۰ تأسیس شده‌اند. استفاده از فناوری قدیمی و همچنین فرسایش تجهیزات نقش مهمی را در ایجاد سروصدا ایفا می‌کند. باگذشت زمان، ترک خوردگی اجزای مختلف تجهیزات و یا نشستی از لوله‌ها منجر به ایجاد مشکلاتی در زمینه

اجرای برنامه زمان‌بندی تعمیر و نگهداری تجهیزات می‌شود. برخی تجهیزات با وجود گذشت طول عمر مفید آنها، همچنان در حال کار کردن و بهره‌برداری هستند. چنین عواملی در مجموع منجر به ایجاد خطراتی برای سلامت انسان می‌شود. در هر نیروگاه حرارتی قدیمی، بخش‌های زیادی وجود دارد که مسئول ایجاد سروصدا هستند که در ذیل به آنها اشاره شده است:

- سقف توربین
- فن‌ها (PA, FD و ID)
- کف توربین
- اطراف کمپرسور AHP
- پمپ خوراک‌دهی بویلر
- پمپ AHP
- اطراف کمپرسور
- محفظه پمپ GS
- سقف محفظه احتراق
- محفظه پمپ CW
- فیدر ذغال سنگ
- محفظه انبار ذخیره
- آسیاب ذغال سنگ

به منظور بررسی شدت صوت در نیروگاه، پنج نیروگاه حرارتی مختلف ذغال سنگ سوز از دهه

1980 تا 2011 در هندوستان انتخاب شده است. ظرفیت هر نیروگاه به همراه سال تأسیس آن در جدول 2

آورده شده است. شدت صوت در 22 محل حساس در 5 نیروگاه به مدت 12 ماه اندازه گرفته شده است.

جدول 2- مشخصات نیروگاه‌های منتخب برای بررسی شدت صوت

| مرحله | شماره واحد | ظرفیت (MW) | تاریخ تأسیس |
|-------|------------|------------|-------------|
| 1 | 1 | 210 | مارس 1989 |
| 1 | 2 | 210 | ژانویه 1990 |
| 1 | 3 | 210 | آوریل 2000 |
| 1 | 4 | 210 | ژانویه 2001 |
| 1 | 5 | 500 | اگوست 2011 |
| کلی | 5 | 1340 | |

شدت صوت طی ۱۲ ماه از آوریل ۲۰۱۶ تا مارس ۲۰۱۷ اندازه گیری شده است. مقادیر متوسط

سالانه تمامی ۲۲ محل، به صورت جدول و نمودار در ادامه آورده شده است.

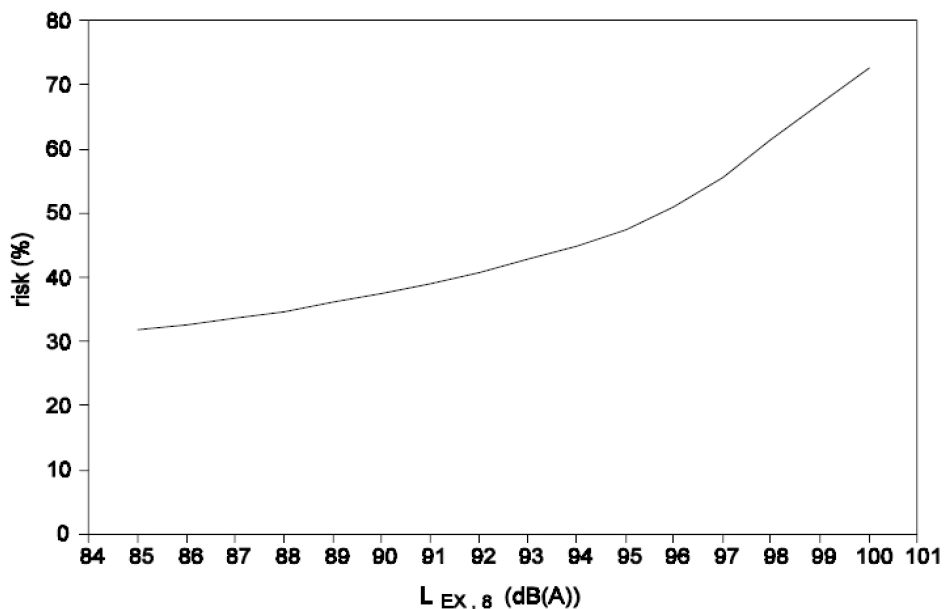
۴- ارزیابی و تخمین ریسک

استاندارد ISO 1999، مدلی را برای پیش بینی کاهش شنوایی در یک فرکانس مشخص و در یک

جمعیت آماری با سن معین ارائه می دهد. این جمعیت برای یک مدت زمان مشخص، روزانه ۸ ساعت، در

معرض یک صدا با فرکانس مشخص قرار گرفته اند. بر اساس مدل ارائه شده توسط این استاندارد، شکل ۱ به

دست آمده است.



شکل ۱- درصد اختلالات شنوایی به صورت تابعی از در معرض قرار گرفتن سروصدا در طی ۸ ساعت در روز

در این شکل، اختلالات شنوایی جمعیت ۶۰ ساله پس از گذشت ۴۰ سال که در معرض صوت با

فرکانس ۵۰۰ Hz، ۱ kHz، ۲ kHz و ۳ kHz قرار گرفته اند، به صورت تابعی از شدت صوت نشان داده شده

است. نتایج نشان می دهد که ریسک اختلالات شنوایی به صورت یک تابع درجه دوم بر حسب مدت در

معرض قرار گرفتن در برابر سروصدا افزایش می‌یابد. به‌منظور ارزیابی سطح ریسک، می‌توان از سه مقیاس زیر استفاده نمود:

- سطح 1: صداهایی با شدت کمتر از 80 dB به‌عنوان صداهایی شناخته می‌شوند که ریسک پایینی دارند و این صداها، اثر اندکی روی کاهش شنوایی فرد دارند.
- سطح 2: صداهایی که شدت آنها بین 80-85 dB است به‌عنوان صداهایی که ریسک متوسط دارند شناخته می‌شوند و این صداها، می‌توانند در مواردی منجر به کاهش شنوایی شوند.
- سطح 3: صداهایی که شدت آنها بیش از 85 dB است به‌عنوان صداهایی که ریسک بالایی دارند شناخته می‌شوند و به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب آنها روی شنوایی، استفاده از روش‌های فنی توصیه می‌گردد.

بر اساس استاندارد OSHA، مدت‌زمان مجاز در معرض قرار گرفتن صوت با شدت مشخص در

جدول 3 آورده شده است.

جدول 3- مدت‌زمان مجاز در معرض قرار گرفتن صوت با شدت مشخص

| مدت‌زمان مجاز (برحسب ساعت) | شدت صوت (dB A) | ردیف |
|----------------------------|----------------|------|
| 8 | 90 | 1 |
| 6 | 92 | 2 |
| 4 | 95 | 3 |
| 3 | 97 | 4 |
| 2 | 100 | 5 |
| 1/5 | 102 | 6 |
| 1 | 105 | 7 |
| 0/5 | 110 | 8 |
| 0/25 | 115 | 9 |

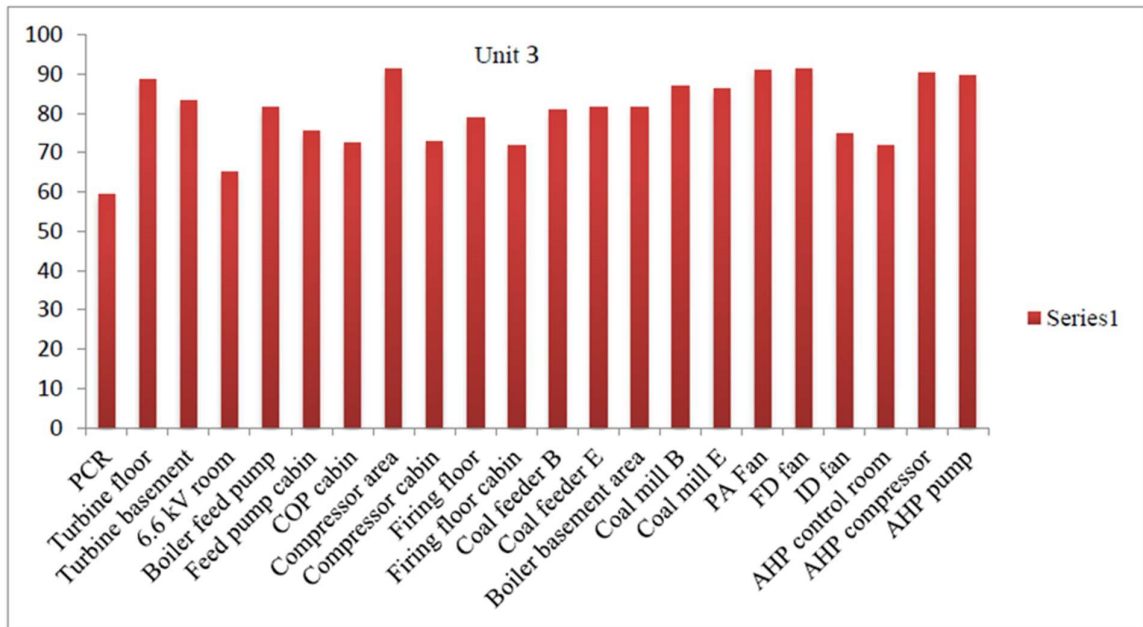
۵- نتایج و بحث

مقادیر متوسط شدت صوت در ۵ نیروگاه در محل های مختلف طی ۱۲ ماه سال در جدول ۴ آورده

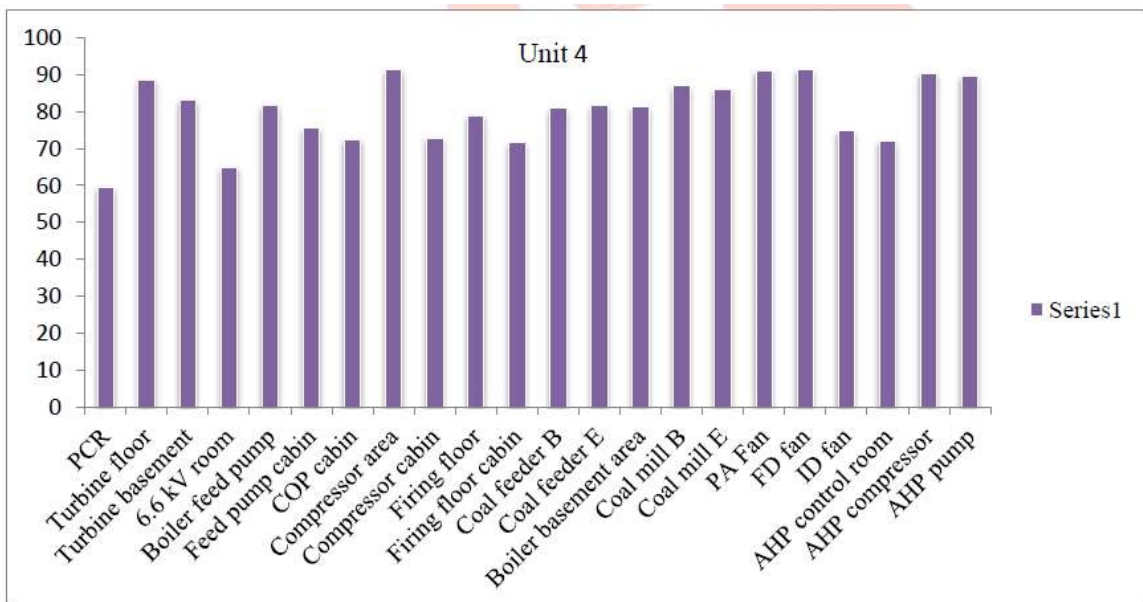
شده است. بر اساس داده های حاصله، شدت صوت در غالب موارد، سطح ۳ تشخیص داده شده است.

جدول ۴- شدت صوت در محل های منتخب در ۵ نیروگاه حرارتی ذغال سنگ سوز

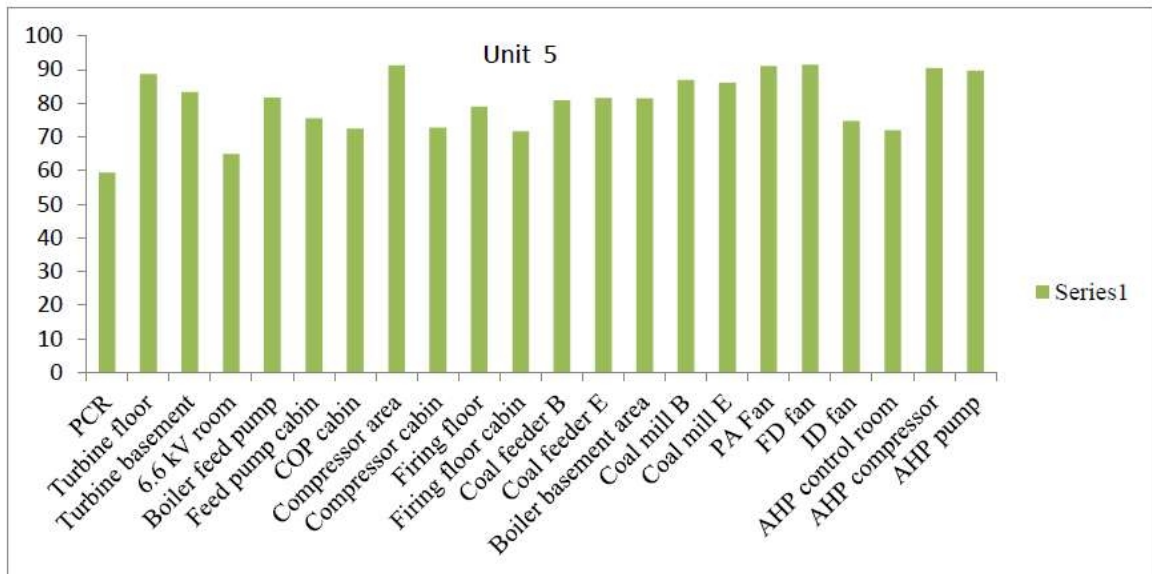
| محل | دیف | واحد شماره ۱ | | واحد شماره ۲ | | واحد شماره ۳ | | واحد شماره ۴ | | واحد شماره ۵ | |
|-----------------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
| | | شدت صوت (dB) | سطح | شدت صوت (dB) | سطح | شدت صوت (dB) | سطح | شدت صوت (dB) | سطح | شدت صوت (dB) | سطح |
| PCR | ۱ | ۵۸/۳ | ۱ | ۵۷/۶۷ | ۱ | ۵۸/۸۸ | ۱ | ۵۹/۶۸ | ۱ | ۵۹/۴۵ | ۱ |
| سقف توربین | ۲ | ۸۵ | ۳ | ۸۵/۰۸ | ۳ | ۸۴ | ۲ | ۸۴ | ۲ | ۸۸/۶۳ | ۳ |
| کف توربین | ۳ | ۸۱/۶ | ۲ | ۸۰/۹۲ | ۲ | ۸۲/۷۶ | ۲ | ۷۸/۷۴ | ۱ | ۸۳/۳۲ | ۲ |
| 6.6 kV room | ۴ | ۶۹/۲۷ | ۱ | ۶۷/۷۴ | ۱ | ۷۳/۴۷ | ۱ | ۶۷/۷۴ | ۱ | ۶۵ | ۱ |
| پمپ خوراک بویلر | ۵ | ۸۲/۳۸ | ۲ | ۸۱/۹۹ | ۲ | ۸۱/۶۱ | ۲ | ۸۲/۰۴ | ۲ | ۸۱/۶۷ | ۲ |
| محفظه پمپ خوراک بویلر | ۶ | ۷۶/۳۵ | ۱ | ۷۴/۸۹ | ۱ | ۷۳/۴۷ | ۱ | ۷۳/۲۹ | ۱ | ۷۵/۴۹ | ۱ |
| COP cabin | ۷ | ۷۱/۱۴ | ۱ | ۷۴/۱۳ | ۱ | ۷۴/۰۷ | ۱ | ۷۴/۶۸ | ۱ | ۷۲/۵۱ | ۱ |
| اطراف کمپرسور | ۸ | ۸۹/۶۲ | ۳ | ۸۹/۹۹ | ۳ | ۹۰/۲۱ | ۳ | ۸۹/۱۶ | ۳ | ۹۱/۲۹ | ۳ |
| محفظه کمپرسور | ۹ | ۶۱/۱۴ | ۱ | ۷۶/۰۴ | ۱ | ۷۹/۵ | ۱ | ۷۵/۸۵ | ۱ | ۷۲/۷۵ | ۱ |
| سقف محفظه احتراق | ۱۰ | ۷۸/۱۴ | ۱ | ۸۰/۰۸ | ۲ | ۸۳/۱۰ | ۲ | ۸۱/۶۱ | ۲ | ۷۸/۹۳ | ۱ |
| محفظه احتراق | ۱۱ | ۷۳/۳۱ | ۱ | ۷۳/۷۴ | ۱ | ۷۷/۱۶ | ۱ | ۷۲/۶۱ | ۱ | ۷۱/۶۶ | ۱ |
| فیدر B ذغال سنگ | ۱۲ | ۸۶/۳۳ | ۳ | ۸۵/۷۲ | ۳ | ۸۴/۹۲ | ۲ | ۸۱/۶۷ | ۲ | ۸۰/۸۲ | ۲ |
| فیدر E ذغال سنگ | ۱۳ | ۹۱/۹۵ | ۳ | ۸۷/۲۱ | ۳ | ۸۳/۶۳ | ۲ | ۸۲/۰۸ | ۲ | ۸۱/۶ | ۲ |
| کف بویلر | ۱۴ | ۸۳/۴۴ | ۲ | ۸۴/۵ | ۲ | ۸۵/۵۷ | ۳ | ۸۴/۵۴ | ۲ | ۸۱/۴۵ | ۲ |
| آسیاب B ذغال سنگ | ۱۵ | ۸۳/۶ | ۲ | ۸۳/۱۱ | ۲ | ۸۳/۷۱ | ۲ | ۷۹/۹۲ | ۱ | ۸۶/۹۳ | ۳ |
| آسیاب E ذغال سنگ | ۱۶ | ۸۵/۱۳ | ۳ | ۸۳/۴ | ۲ | ۸۳/۹ | ۲ | ۸۲/۷ | ۲ | ۸۶/۱۱ | ۳ |
| فن PA | ۱۷ | ۸۴/۴۸ | ۲ | ۸۶/۲۶ | ۳ | ۸۸/۲۵ | ۳ | ۸۶/۶۲ | ۳ | ۹۱/۱۲ | ۳ |
| فن FD | ۱۸ | ۸۶/۰۵ | ۳ | ۸۵/۹۳ | ۳ | ۸۷/۹۰ | ۳ | ۸۶/۱۴ | ۳ | ۹۱/۴۲ | ۳ |
| فن ID | ۱۹ | ۸۲/۶۹ | ۲ | ۸۳/۸۵ | ۲ | ۷۸/۰۵ | ۱ | ۷۷/۰۷ | ۱ | ۷۴/۸ | ۱ |
| اتاق کنترل AHP | ۲۰ | ۶۴/۹۹ | ۱ | ۶۶/۱ | ۱ | ۶۳/۹ | ۱ | ۶۲/۵۳ | ۱ | ۷۱/۹۶ | ۱ |
| کمپرسور AHP | ۲۱ | ۸۳/۸۲ | ۲ | ۸۸/۲۵ | ۳ | ۸۲/۳۶ | ۲ | ۷۸/۳۱ | ۱ | ۹۰/۴۵ | ۳ |
| پمپ AHP | ۲۲ | ۸۴/۰۵ | ۲ | ۷۶/۸ | ۱ | ۸۱/۸ | ۲ | ۸۱/۳۱ | ۲ | ۸۹/۶۵ | ۳ |



شکل ۴- شدت صوت در محل‌های انتخابی در واحد نیروگاهی شماره سه



شکل ۵- شدت صوت در محل‌های انتخابی در واحد نیروگاهی شماره چهار



شکل ۶- شدت صوت در محل های انتخابی در واحد نیروگاهی شماره پنج

۶- کاهش ریسک و نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصله در مورد شدت صوت در محل های انتخابی در نیروگاه، به کارگیری روش های کاهش شدت صوت تا میزان قابل قبول ضروری است. بهترین روش برای کنترل مخاطرات مربوط به صوت در محیط کار، کاهش و یا حذف منبع تولیدکننده صوت است. در این راستا می توان تعمیر تجهیزات و یا جانمایی مناسب اتاق کار را در دستور کار قرارداد.

استفاده از راهکارهای عملی نیز باید در نظر گرفته شود. غالباً اجرای یک برنامه جهانی به صورت یکپارچه امکان پذیر نیست. در ابتدا مشکلات ضروری تر باید برطرف شود و سپس به ترتیب اولویت، سایر مسائل بررسی گردد.

در نیروگاه های حرارتی، منابع اصلی صوت، واحد بارگیری ذغال سنگ، واحد خردکن ذغال سنگ، کمپرسور، پمپ خوراک بویلر، توربین، فن FD و ID، واحد دمین و برج خنک کننده است. با توجه به

بررسی 5 نیروگاه حرارتی ذغال سنگ سوز و اندازه‌گیری شدت صوت در 22 محل منتخب این نیروگاه‌ها، منابع مشترک تولیدکننده صوت در این نیروگاه‌ها عبارت‌اند از:

- توربین
- اگزوز بخار
- ژنراتور
- دمنده‌های سانتریفوژی
- فن‌ها (ID, FD و PA)
- کمپرسورها
- موتورها
- خطوط لوله و داکت‌ها

به‌منظور کاهش خطرات مربوط به تولید صوت و ارتقا بهداشت شغلی، استفاده از ابزارها و روش‌های کنترل صوت ضروری است. جایگزین کردن تجهیزات قدیمی با تجهیزات جدید و یا بی‌صدا اکیداً توصیه می‌شود. استفاده از وسایل عایق صوتی و حفاظت گوش در برابر صدا نیز راهکار موقتی برای کاهش و کنترل اثرات نامطلوب صوت است. نصب دیوارهای عایق صوتی (دیوارهای سبز) اطراف نواحی پرسروصدا نیز منجر به کاهش شدت صوت در این نواحی می‌گردد. به‌کارگیری برنامه زمان‌بندی منظم با فواصل زمانی کوتاه برای تعمیر و نگهداری تجهیزات یکی دیگر از راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش شدت صوت است. نصب نمایشگر هشداردهنده High Noise Level Zone در نواحی که شدت صوت در سطح 3 است، ضروری است. ضمن اینکه کارکنان قبل از ورود به این نواحی باید به وسایل حفاظت شنوایی مجهز گردند. همچنین برای کارکنانی که در این محل‌ها کار می‌کنند، چکاب‌های مربوطه به‌طور خودکار باید انجام شود.

مراجع

- [1] Tandel B.N, and MacwanJem, Assessment and Mlr Modelling Of Urban Traffic Noises at Major Arterial Roads of Surat, India, Journal of Environmental Research and Development. 2013; 7(4A):1703-1709.
- [2] Murthy,V.K., Khanal, S.N., Assessment of traffic noise pollution in Banepa, a semi urban town of Nepal, Kathmandu university, Journal of science, engineering and technology, 2007;1:1-9.
- [3] Babisch W: Noise and health. Environ Health Perspect, 2005, 113(1):A14-15.
- [4] Babisch W: Traffic Noise and Cardiovascular Disease: Epidemiological Review and Synthesis. 2000, 2(8):9- 32.
- [5] Ahmad Jamrah, Abbas Al-Omari and RemmSharabi,Evaluation Of Traffic Noise Pollution In Amman and Jordan, Environmental Monitoring and Assessment ,2006;120:499-525.
- [6] Edmund Yet Wah Seto, Ashley Holt, Tom Rivard and Rajiv Bhatia, Spatial Distribution Of Traffic Induced Noise Exposures In A U.S City: An Analytic Tool For Accessing The Health Impact Of Urban Planning Decision, International Journal Of Health Geographics 2007; 6(24):1-16.
- [7] Patil C.R., J.P.Modak, P.VaishaliChoudhari and D.S.Dhote, Subjective Analysis Of Road Traffic Noise Annoyance Around Major Arterials In Intermediate City , European Journal Of Applied Sciences, 2011; 3(2):58-61.
- [8] Subramani.TKavitha.MSivaraj.K.P, Modelling of Traffic Noise Pollution, International Journal of Engineering Research and Applications, 2012; 2(3):3173-3182.
- [9] Debasish Bhattacharya, Debashish Pal, A Study Of Road Traffic Noise Annoyance On Daily Life In Agartala City Using Fuzzy Expert System And Multiple Regression Analysis, International Journal Of Scientific And Research Publications 2012; 2(5):1-7.
- [10] Lundberg U: Coping with Stress: Neuroendocrine Reactions and Implications for Health. Noise Health 1999; 1(4):67-74.
- [11] Li B., Taa.S, Dawsona. R.W., Caoa. J. and Lamb. K.A. GIS based road traffic noise prediction modelApplied Acoustics, 2002; 63:679–691.
- [12] Santosh Chouhan, Ram RatanAhirwal, Yogendra Kumar Jain, Traffic Control Scheme Using Mobile Data Collectors For Wsn, International Journal Of Scientific and Research Publication 2012;2:1-7

- [13] Belojevic GA, Jakovljevic BD, Stojanov VJ, Slepcevic VZ, Paunovic KZ: Nighttime road-traffic noise and arterial hypertension in an urban population. *Hypertens Res* 2008, 31(4):775-781
- [14] Alam, J.B., Jobair.J. Rahman.M.M, Dikshit. A.K. and Khan S.K. Study on traffic noise level of sylhet by multiple regression analysis associated with health hazards||, Iran. *J.Environ. Health. Sci.Eng.* 2006; 3(2):71-78.
- [15] World Health Organization (WHO) (2001) Occupational and Community Noise. Fact sheet Number 258, Revised February 2001, Geneva.
- [16] Republic of Turkey Ministry of Environment (1986) Turkey Organization Standards, Noise Exposure Regulation.
- [17] Ugwuanyi, J.U., Ahemen, I. and Agbendeh, A.A. (2004) Assessment of Environmental Noise Pollution in Markurdi Metropolis, Nigeria. *Zuma Journal of Pure and Applied Sciences*, 6, 134-138.
- [18] Goelzer, B.I.F., Hansen, C.H. and Sehrndt, G.A (Editors) (2001) Occupational Exposure Noise: Evaluation, Prevention and Control. World Health Organisation Special Report, S64, Federal Institute of Occupational Safety and Health, Germany
- [19] Öhrström, E. (1989) Sleep Disturbance Psycho-Social and Medical Symptoms a Pilot Survey among Person Exposed to High Levels of Road Traffic Noise. *Journal of Sound and Vibration*, 133, 117. 1

NOISE LEVEL AT COAL BASED THERMAL POWER PLANT

Abstract: Noise is defined as any unwanted sound that you do not need or want to hear. Loud noise can also create physical and psychological stress, reduce productivity, interfere with communication and concentration, and contribute to workplace accidents and injuries by making it difficult to hear warning signals. There are number of locations in every old Thermal Power Plant who is responsible to create noise. Different Coal based Thermal Power Plants were selected from the decade 1980 to 2011. In thermal power plant, most of the section can create high decibel noise i.e. 90 dB to 95 dB and it is hazardous to human health. Sound becomes undesirable when it disturbs the normal activities such as working, sleeping, and during conversations it can also cause memory loss, severe depression, and panic attacks. ISO 1999 standard describes a model for the prediction of the distribution of the hearing loss at a given frequency, in a population of a given age, after a certain number of years of exposure to a LEX, 8h level. Use of a three Level risk scale provides guidance for the assessment of the Level of risk.

Level 1- Daily noise exposure level definitely below 80 dB (A), which has a minimal risk of noise induced hearing loss.

Level 2- Intermediate risk, lying between 80-85 dB (A) having some risk of noise induced hearing losses

Level 3- Daily noise exposure level definitely over 85 dB (A), the value for which it is recommended that Technical measures should be taken to reduce noise exposure.

The Risk evaluation due to Noise generation and the estimation of unaccepted level has been computed.

The potential hazard shall be controlled to eliminate the occupational health effects to the exposed persons either in acute or chronic sense.

Key word: Noise, Hear, Thermal Power Plant, Level of Risk

زیست فناوری و ضرورت توسعه آن در صنعت برق و انرژی

نویسنده: مهسا صدیقی¹

چکیده: امروزه توانایی ایجاد بیوتکنولوژی یکی از مبنای توسعه کشورهاست. افزایش جمعیت و کاهش منابع به روز، مشکلات ناشی از به کارگیری فناوری های شیمیایی و فیزیکی، و مشکلات بهداشتی و ناشی از تخریب محیط زیست، باعث گردیده تا توجه سیاست گذاران به فناوری زیستی معطوف شود و این امر نویدهای امیدبخشی را برای توسعه به همراه دارد. با توجه به اینکه جنبه های زیست محیطی احداث و راه اندازی نیروگاه ها و انتشار آلاینده های مختلف در طول دوره فعالیت آن ها یکی از مهم ترین معیارها برای مقایسه نیروگاه ها به شمار می رود، از این رو استفاده از فناوری زیستی (بیوتکنولوژی) در رفع معضلات زیست محیطی نیروگاه ها و نیز دستیابی به منابع انرژی پاک، امری حائز اهمیت است و ضرورت دارد که در خصوص تحقیق و توسعه زیست فناوری در صنعت برق، برنامه ریزی و اقدامات لازم صورت گیرد. در این مطالعه، توجه پذیری و ضرورت کاربرد و توسعه زیست فناوری در صنعت برق و انرژی از منظر فنی، زیست محیطی، اقتصادی و قانونی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

کلیدواژه: زیست فناوری، صنعت برق و انرژی، ضرورت ها، کاربردها

مقدمه

زیست فناوری امروزه به عنوان ابزاری کارآمد و قدرتمند با توانایی کاربری های مختلف در صنعت برق کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مهم ترین حوزه های کاربردی زیست فناوری در این صنعت می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بیوانرژی (زیست انرژی): دستیابی به نوعی از انرژی های تجدید پذیر با منشأ زیستی
- حفاظت محیط زیست: پایش، کنترل و حذف آلاینده های تولید شده در صنعت برق با روش های دوستدار محیط زیست (در مقایسه با روش های متداول شیمیایی-فیزیکی)

¹ عضو هیئت علمی گروه پژوهشی محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: msedighi@nri.ac.ir

• کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری: تشخیص و رفع منشأ خوردگی میکروبی در تأسیسات

و تجهیزات نیروگاهی

در حال حاضر در حوزه‌های ذکر شده کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در صنعت برق کشور مشاهده می‌شود. در این مطالعه سعی شده است تا توجیه‌پذیری و ضرورت توسعه زیست‌فناوری در صنعت برق و انرژی به لحاظ فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و قانونی مورد بررسی قرار گیرد و برخی فناوری‌های زیستی کاربردی در این صنعت معرفی شوند.

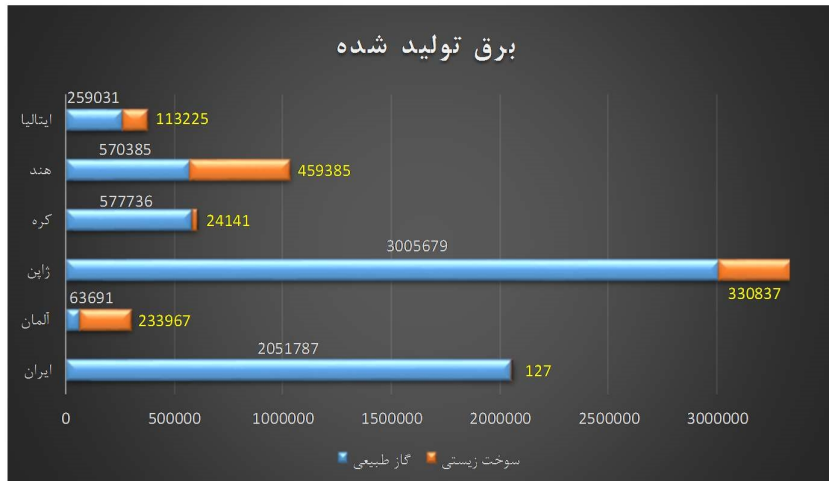
۱- توجیه‌پذیری و ضرورت توسعه زیست‌فناوری در صنعت برق و انرژی

هدف از بررسی توجیه‌پذیری و ضرورت توسعه فناوری، رصد و آمایش محیط پیرامون فناوری و تحلیل محیط حقوقی و اسناد بخشی مرتبط با توسعه فناوری است. تحلیل محیط پیرامون فناوری، یک ابزار استراتژیک مناسب برای شناخت تصویر کلی از محیطی که فناوری مورد نظر در آن اجرا می‌شود محسوب می‌گردد. این ابزار می‌تواند در راستای بهره‌برداری از فرصت‌ها و حداقل نمودن تهدیدهایی که فناوری با آن‌ها مواجه است مورد استفاده قرار گیرد. به منظور تحلیل محیط خارجی، می‌توان آینده فناوری را در افق بلندتری از زمان مشاهده کرد و علاوه بر آن تا حدودی فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی فناوری مورد نظر را شبیه‌سازی نمود. در این بخش مؤلفه‌های فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و قانونی اثرگذار بر روند توسعه فناوری مورد بررسی قرار خواهند گرفت. نکته‌ی مهم در خصوص بررسی توجیه‌پذیری و ضرورت توسعه فناوری، تلاش برای ارائه شواهد لازم و ضروری بر مبنای نیازهای بومی و ملی و همچنین ارائه دلایل منطقی برای توسعه زیست‌فناوری در صنعت برق است.

1-1- توجیه پذیری فنی

صنعت برق ایران در سال 2015، حدود 2,051,787 تراژول برق توسط نیروگاه‌های گاز طبیعی تولید کرده است. آمار موجود تنها تولید 127 تراژول برق را از سوخت‌های زیستی نشان می‌دهد که تقریباً 0/006% گاز مصرفی صنعت برق در سال 2015 را شامل می‌شود. این در حالی است که نسبت برق تولیدشده از منابع زیستی به برق تولیدی از گاز طبیعی برای کشورهای آلمان، کره جنوبی، ژاپن، ایتالیا و هند به ترتیب 343/76%، 4/18%، 11/01% و 43/71% است (شکل 1) [1]. لذا، به جرئت می‌توان گفت که بهره‌گیری از منابع زیستی به منظور تولید انرژی در کشور ما بسیار کمتر از آن است که بتوان حتی آن را با کشورهای توسعه‌یافته مقایسه کرد. از این رو، به نظر می‌رسد که اقبال به سمت استفاده از منابع زیستی در صنعت برق کشور بتواند کمک شایانی به تولید انرژی کند که این امر ضرورت استفاده از فناوری‌های زیستی را در این حوزه کاملاً روشن می‌سازد.

از سوی دیگر، با توجه به شرایط نامساعد زیست‌محیطی و با در نظر گرفتن اینکه سوخت‌های زیستی به مراتب گازهای آلاینده کمتری را به محیط می‌افزایند، اتخاذ تدابیری برای کاهش تولید آلاینده‌ها امری ضروری است. شایان ذکر است که بیوانرژی به عنوان یکی از منعطف‌ترین شکل‌های انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند بدون محدودیت‌های انرژی زمین‌گرمایی (جغرافیایی) و انرژی خورشیدی و انرژی بادی (فصلی) به طور مستقل یا توأمان با انواع دیگر انرژی‌های تجدید پذیر مورد استفاده قرار گیرد که این امر در تمرکززدایی تولید برق نیز مزیت قابل توجهی است. به علاوه، سوخت‌های زیستی به راحتی قابل نگهداری هستند.



شکل ۱- مقایسه برق تولیدشده از گاز طبیعی و منابع زیستی در ایران، آلمان، ژاپن، کره جنوبی، هند و ایتالیا [۱]

انرژی زیستی

هضم بی‌هوازی یکی از مطرح‌ترین فرآیندهای زیستی است که محصول آن، بیوگاز (زیست‌گاز)، سوخت زیستی گازی است که قسمت غالب آن را متان تشکیل می‌دهد. تنها لازمه‌ی این فناوری وجود پسماندهای تجزیه‌پذیر در محل است. لذا، محدودیت‌های جغرافیایی یا فصلی اثر چندانی بر آن ندارند. در این فرآیند بار آلی مواد زیستی موجود در پسماندها تجزیه‌شده و منجر به تولید بیوگاز می‌شود که نسبت به گاز طبیعی استخراج‌شده اثر به‌مراتب کمتری بر چرخه کربن دارد. در واقع هضم بی‌هوازی علاوه بر تثبیت پسماند، منجر به تولید سوخت زیستی نیز می‌شود. این فناوری از طبیعت الهام گرفته شده ولی بهینه‌سازی فرآیند نیازمند ناظر متخصص در حوزه زیست‌فناوری است. صنایعی چون دام‌پروری و کشاورزی، جزو صنایع پررونق کشور ما می‌باشند و سهم به‌سزایی از پسماندهای این صنایع (پسماندهای حیوانی و گیاهی) را می‌توان به‌عنوان مواد اولیه‌ی ایدئال برای هضم بی‌هوازی و سایر فناوری‌های زیستی برای تولید انرژی استفاده

کرد. از این رو، بهره‌برداری از تمامی ظرفیت‌های انرژی و افزایش نسبت سوخت زیستی به سوخت فسیلی برای تولید برق امری ضروری به حساب می‌آید که تحقق آن در گرو بهره‌گیری از زیست‌فناوری است.

لازم به ذکر است که انرژی‌های تجدید پذیر زیستی تنوع بالایی دارند و حامل‌های انرژی‌های زیستی در هر سه حالت جامد (زیست‌توده،...)، مایع (بیواتانول، بیودیزل و...) و گاز (بیومتان، بیوگاز و...) وجود دارند که هر یک از مزایای مختص به خود بهره‌مند هستند. یکی از انواع انرژی‌های تجدید پذیر زیستی، بیوالکتریسته است که در واقع برق تولید شده در نتیجه یک فعالیت زیستی است. استفاده از این دسته از فناوری‌ها نیز سود سرشاری را برای صنعت برق خواهد داشت.

خوردگی زیستی

یکی از پرهزینه‌ترین مشکلات موجود در نیروگاه‌ها مسئله خوردگی است. یکی از انواع خوردگی که تا به حال کمتر به آن توجه شده "خوردگی میکروبی" است که از آن به عنوان "خوردگی زیستی" نیز یاد می‌شود. میکروارگانیسم‌های موجود در آب جاری در تجهیزات نیروگاهی، امکان تطابق و ادامه‌ی زندگی را می‌یابند. در نتیجه‌ی فعالیت این دسته میکروارگانیسم‌ها، بخش‌هایی از نیروگاه دچار خوردگی شده و نهایتاً هزینه‌های سنگینی را به واحد تحمیل می‌کند. خوردگی میکروبی به لحاظ ظاهری نیز از سایر خوردگی‌ها قابل تشخیص بوده و سالانه هزینه‌های سنگینی را متوجه سازمان‌های مسئول در سراسر جهان می‌سازد. هزینه‌های سالانه در سراسر جهان که صرف خوردگی می‌شود حدود $1/8$ تریلیون دلار برآورد می‌شود که حدود 50% آن به خوردگی میکروبی تعلق دارد [2]. برای مقابله با این گونه از خوردگی، نیاز به آشنایی با میکروارگانیسم‌ها، شرایط رشد، عوامل کند کننده‌ی رشد، عوامل ضد میکروبی و... است. زیست‌فناوری با

فراهم سازی دانش و روند پیش، کنترل و پاک سازی، به جرئت از کلیدی ترین فناوری های کاربردی در این حوزه است.

۱-۲- توجیه پذیری زیست محیطی

زیست فناوری این امکان را فراهم می سازد تا طیف وسیعی از آلاینده ها را با روش های دوستدار طبیعت رفع ساخت یا حتی در برخی موارد همچون آلودگی محیط های جامد و یا مایع، گاهاً زیست فناوری تنها رویکرد غیرمخرب محسوب می شود، حال آنکه همتای شیمیایی- فیزیکی این فناوری در روند تصفیه آلودگی به محیط زیست آسیب می رساند و یا تجهیزات و ادوات خاصی را نیازمند است. علاوه بر این، در این حوزه امکان سنجش متغیرهایی با فناوری بیوسنسور (زیست حسگر) فراهم می آید که به روش های دیگر قابل مشاهده و یا اندازه گیری نیستند. از طرفی تنوع زیستی میکروارگانیسم ها، این حوزه از فناوری را قادر می سازد تا برای رفع آلودگی در خاک، آب و هوا رویکردهای متنوع و کاربردی چون زیست پالایی خاک، تصفیه بیولوژیک و بیوفیلتراسیون (تصفیه زیستی فاز گازی) را ارائه دهد. باید توجه داشت که آلودگی های تولید شده از نیروگاهی به نیروگاه دیگر متفاوت است و با توجه به شرایط هر نیروگاه فناوری های مورد نیاز آن متفاوت خواهد بود. در ادامه برخی راهکارهای زیستی به منظور کنترل و حذف آلاینده های نیروگاهی تشریح شده است.

زیست فناوری و کاهش آلاینده های گازی نیروگاهی

آلاینده های گازی تولید شده در صنایع نیروگاهی، به دودسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می شود. آلودگی فیزیکی، ناشی از ذرات معلق حاصل از فرآیند سوختن است و این امر به خصوص در مناطق مسکونی تحت الشعاع انتشار گازهای نیروگاهی، کاملاً مشهود است. در جهت مرتفع این مسئله، یکی از روش های

مرسوم استفاده از موادی موسوم به چسب ذره¹ است که معمولاً تولید شیمیایی آن‌ها هزینه‌ی بالایی را به سازمان تحمیل می‌کند. محصولات شیمیایی مقرون‌به‌صرفه نیز، تبعات زیست‌محیطی به همراه دارند. زیست‌فناوری در این حوزه منجر به تولید محصولات زیستی منطبق با محیط‌زیست همچون کلسیم منیزیم استات² و مالچ زیستی شده است.

گروه دیگر آلاینده‌های نیروگاهی که در دسته‌بندی آلودگی شیمیایی قرار می‌گیرند گازهای تولیدی در فرآیند تولید برق هستند. سهم قابل توجهی از این آلودگی‌ها به گازهای CO₂، SO₂ و NO_x تعلق دارد. امکان حذف هم‌زمان چند آلاینده و تبدیل و تصفیه‌ی آلاینده‌ها در محل - که در قیاس با برخی روش‌های شیمیایی که مراحل جذب و تصفیه‌ی جداگانه دارند، امکان کاهش هزینه‌های جاری و سرمایه‌گذاری اولیه را میسر می‌سازد- از جمله برتری‌های زیست‌فناوری در ارائه‌ی راهکارهای مناسب برای این معضل زیست‌محیطی است. امکان استفاده از گستره‌ای از میکروارگانیسم‌ها من جمله کپک‌ها، باکتری‌ها و غیره چه به صورت کشت خالص یا ناخالص و امکان تطابق‌پذیری این موجودات با شرایط متفاوت، انعطاف‌پذیری بالایی را به زیست‌فناوری بخشیده است.

میزگرد فدرال فناوری‌های بازسازی محیط‌زیست (FRTR³)، بیوفیلتراسیون را این‌گونه تعریف می‌کند [3]:
 "بیوفیلتراسیون روشی ارزان‌قیمت با کارایی بالا برای کنترل آلودگی هوا است که در آن آلاینده‌ها بر سطح بستر متخلخلی جذب شده که در آنجا توسط میکروارگانیسم‌های موجود تجزیه می‌شوند".

طبق این تعریف، روش‌های بیوفیلتراسیون نیز از جمله روش‌های ارزان‌قیمت و با کارایی بالا به حساب می‌آیند. از این رو، با توجه به اینکه آلودگی هوا از اهم مسائل زیست‌محیطی کشور است، صنعت برق نیز

¹ Dust-Binder

² Cma: Calcium Magnesium Acetate

³ Federal Remediation Technologies Roundtable

به عنوان یکی از اصلی ترین تولیدکنندگان این آلاینده ها باید خود را به بهینه ترین و کاراترین روش های تصفیه ی هوا مجهز سازد که در راستای تحقق این امر، تحقیق و توسعه و استفاده از زیست فناوری امری اجتناب ناپذیر است.

زیست فناوری و کاهش آلاینده های پساب های نیروگاهی

فاضلاب های نیروگاهی طبیعی متفاوت از فاضلاب های بهداشتی و شهری دارند و معمولاً بخش قابل توجهی از آن زیست تخریب پذیر^۱ نبوده و یا تا حذف تدریجی توسط طبیعت، آسیب جدی بر محیط زیست وارد می کند. فلزات سنگین، اختلاف pH با محیط، دمای بالا و ترکیبات گوگردی از جمله خصوصیات این پساب صنعتی هستند. بسته به اندازه، فرآیندهای مورداستفاده، مواد اولیه و کیفیت پساب ها، پساب هر نیروگاه با دیگری تفاوت دارد. معمولاً در نیروگاه هایی که فرآیند جذب آلاینده های گاز در آنها صورت می گیرد، حداقل یک جریان آلوده به ترکیبات گوگردی و فلزات سنگین بعد از جداسازی لجن باقی می ماند. لجن تولید شده در فرآیند نیز حاوی مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین بوده که در صورت تخلیه به محیط زیست آسیب های جدی به آن وارد می کند. زیست فناوری با توجه به شرایط موجود راهکارهای متفاوتی را من جمله تصفیه زیستی پساب صنعتی و بهداشتی و استفاده از ریز جلبک ها و پیل های میکروبی برای جذب و استخراج فلزات سنگین در نظر می گیرد. شایان ذکر است که در حال حاضر، لجن های حاوی فلزات سنگین منبع ارزانی برای تولید این مواد بوده و زیست فناوری امکان استفاده از آنها را فراهم می سازد. لذا، استفاده از زیست فناوری به منظور کاهش آلودگی پساب های نیروگاهی می تواند بسیار مورد توجه باشد و حرکت به سمت توسعه زیست فناوری در این حوزه می تواند مزایای بی شماری را برای صنعت برق کشور به ارمغان آورد.

^۱ Biodegradable

زیست فناوری و کاهش آلاینده‌گی خاک در صنایع نیروگاهی

باید توجه داشت که خطرات آلودگی خاک کمتر از آلودگی هوا نیست اما به علت نامحسوس بودن این آلودگی معمولاً از آن چشم‌پوشی می‌شود. در موارد بسیاری آلاینده‌های نیروگاهی باعث آلودگی خاک و محیط اطراف نیروگاه می‌شوند (تصفیه‌ی نامناسب پساب، دفع نامناسب پسماندهای جامد و ...). به‌خصوص در موارد آلودگی خاک به فلزات سنگین، زیست پالایی یکی از بهترین روش‌های دوستدار محیط‌زیست است، حال‌آنکه روش‌های شیمیایی معادل آن هم‌زمان با فرآیند تصفیه، آسیب‌های ناخواسته‌ای نیز به محیط‌زیست وارد می‌آورند. از ریز جلبک‌ها تا انواع باکتری‌ها و کپک‌ها، زیست فناوری مجهز به طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها برای زیست پالایی این فضاها است. با توجه به هزینه‌ی بالای انتقال خاک برای پالایش و امکان بازماند برخی عوامل شیمیایی در خاک و نیاز به تصفیه‌ی خاک به روشی که منجر به صدمه دیدن محیط‌زیست نشود، امروزه نیاز به استفاده از زیست فناوری به‌عنوان یک فناوری ارزان‌قیمت و منطبق با محیط‌زیست، در این حوزه بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

پایش زیستی و زیست حسگرها

یکی از حوزه‌های تخصصی زیست فناوری، پایش انواع آلاینده‌ها است که انجام این فرآیند از طرق دیگر امری دشوار و زمان‌بر بوده و یا به‌کلی امکان‌پذیر نیست. با توجه به اینکه یکی از عمده مسائل مطرح در صنعت برق کشور مسئله زیست محیطی است، پایش و تشخیص به‌موقع و قابل استفاده، حتی برای افراد غیرمتخصص، امری ضروری است. این امر موجب می‌شود که تا حد امکان از آسیب‌های زیست محیطی، عواقب و هزینه‌های آن جلوگیری شود. استفاده از بیوسنسورها (زیست حسگرها) به‌عنوان یکی از کاربردهای زیست فناوری و یک ابزار قدرتمند در شناسایی تغییرات محیطی، این امکان را فراهم می‌آورد تا

با حداقل امکانات عملیات پایش صورت گیرد. بهره‌گیری از این فناوری‌ها در راستای پایش زیست‌محیطی از جمله کاربردهای نوینی است که در آینده بسیار مورد توجه خواهد بود.

۱-۳- توجیه‌پذیری اقتصادی

با توجه به نیاز روزافزون به تأمین انرژی مورد نیاز برای پیشرفت اجتماعی، صنعتی و اقتصادی در هر مقطع زمانی، صنعت برق همواره نیاز به ارتقا و پیشرفت دائمی خواهد داشت. این صنعت با توجه به الگوهای توسعه کشورهای پیشرفته بایستی در نوع پیشرفت و توسعه‌ی خود رویکردی «پایدار» داشته باشد و این بدان معنی است که در راستای پیشرفت فناورانه به حوزه‌های دیگر متأثر از این صنعت آسیبی وارد نشود تا آیندگان نیز علاوه بر استفاده از ثمره‌های فناوری در حوزه‌های دیگر دچار کمبود نگردند. در این راستا در سطح جهانی و ملی قوانین، اسناد و روندهای مشخصی برای این دسته از مسائل و به‌طور کلی برای «پیشرفت پایدار» وجود دارد. یکی از عواقب و یا تبعاتی که معمولاً کشورهای در حال توسعه دچار آن می‌شوند غفلت از مسائل مرتبط با محیط‌زیست است که معمولاً به علت تدریجی بودن آن به اندازه‌ی کافی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. صنعت برق به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای، مسئولیت سنگینی را در راستای پیشگیری و کنترل این دسته از آلاینده‌ها بر دوش دارد. به گزارش موسسه پژوهشی پایگاه داده انتشارهای جهانی جوی^۱، میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در ایران در چند دهه‌ی اخیر دارای دو مشخصه بوده است [۴]:

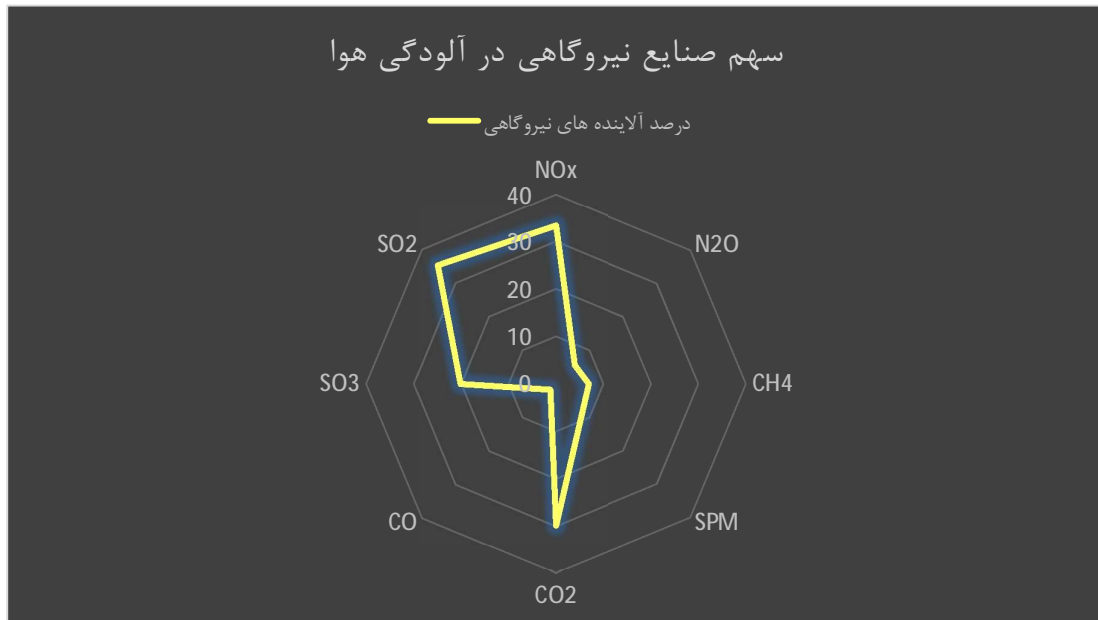
- سهم صنعت برق حدود ۲۵٪ کل نشر است.
- انتشار CO₂ به طرز چشمگیری در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

^۱ Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)

علی‌رغم تفاوت نوع صنعت برق در کشورهای متفاوت، شباهت قابل توجهی در نوع آلاینده‌های این صنعت در تمامی کشورها مشهود است. در واقع صرف‌نظر از نوع سوخت، معمولاً نیروگاه‌های حرارتی بزرگ‌ترین و متمرکزترین منابع تولید گاز CO₂ هستند. با توجه به قوانین بین‌المللی برای کنترل انتشار این دسته از آلاینده‌ها و علم به این موضوع که این آلاینده‌ها سالانه ضرر قابل توجه و بعضاً جبران‌ناپذیری به شاخص‌های اقتصادی، انسانی، اجتماعی و... می‌زنند، استفاده از زیست‌فناوری به‌عنوان روشی کارا و مقرون‌به‌صرفه از اهمیت بالایی برخوردار است. در راستای این مهم، ملاحظه می‌شود که در «ترازنامه انرژی» [5] به‌طور کامل به جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی پرداخته شده است. طبیعی است که در بسیاری از موارد این دو جنبه از یکدیگر جدا نبوده اما در مواردی نیز به‌تنهایی قابل بررسی و ارزیابی هستند. به‌علاوه، این نکته نیز باید در نظر گرفته شود که بسیاری از آلاینده‌ها در طولانی‌مدت اثرات نامطلوبی بر عواملی چون سطح رفاه، کاهش امید به زندگی، افزایش تلفات جانی و از این قبیل موارد داشته‌اند و پایش اطلاعات مرتبط با آن‌ها معمولاً دشوار و ناهمگون بوده و نیازمند زیرساخت‌های اطلاعاتی قوی است. با این حال، امروزه با صرف‌نظر از این عوامل بخش عظیمی از جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی و استراتژیک نادیده گرفته می‌شود.

با توجه به گزارش‌های موجود در ترازنامه انرژی [5] 1394 صنایع نیروگاهی تولیدکننده‌ی بخش عمده‌ی آلاینده‌های هوا است (شکل 2). در همین سند هزینه‌ی اجتماعی برای هر پوند NO_x 137/29-3/7 دلار، برای هر پوند SO₂ 39/30-0/79 دلار و برای هر پوند CO₂ حدود 0/012 دلار در نظر گرفته شده است [8]. ترازنامه‌ی انرژی، سهم تولید سالانه گاز CO₂ در سال 1394 برای صنعت برق را حدود 174 میلیون تن گزارش کرده است که با توجه به این ارقام و با انجام محاسباتی ساده می‌توان هزینه‌های اجتماعی این آلاینده‌ها را به‌طور تقریبی محاسبه کرد. با این مفروضات می‌توان برای گاز CO₂ تقریباً حدود 4/6 میلیارد

دلار، برای NO_x ۵/۱ - ۱۹۰ میلیارد دلار و برای SO_2 ۷۶۲ میلیون تا ۳۸ میلیارد دلار سهم از آسیب‌های اجتماعی در صنعت برق در نظر گرفت.



شکل ۲- سهم صنایع نیروگاهی در آلودگی هوا (%) در سال ۱۳۹۴

زیست‌فناوری ضمن کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلاینده‌های نیروگاهی، امکان استفاده از گازهایی چون CO_2 را در جهت تولید محصولات صنعتی فراهم می‌آورد و صنعت برق به‌عنوان بزرگ‌ترین حوزه تولید متمرکز این گاز یکی از صنایع مستعد برای بهره‌برداری از زیست‌فناوری است. در پژوهشی در ایالات متحده محققین از گاز خروجی نیروگاه برای کشت ریز جلبک استفاده کردند [۶]. در این تحقیق با استفاده از یک واحد تولید ریز جلبک مجهز به پنل خورشیدی، CO_2 موجود در گاز خروجی باهدف تولید خوراک دام به ریز جلبک تبدیل می‌شود. در بررسی‌های صورت گرفته در این مقاله قیمت هر کیلو ریز جلبک تولیدشده ۱ دلار در نظر گرفته شده است و گزارش داده شده که با شرایط پایلوت ساخته شده، در صورت تولید و امکان تأمین ۸۴ تن CO_2 قادر به تولید روزانه ۴۰۰ کیلوگرم ریز جلبک خواهد بود. با فرض

بهره‌مندی از تنها از 10% CO₂ تولیدی نیروگاه‌های ایران می‌توان با تولید سالانه 85714 تن ریز جلیک، به ارزش 85714000 دلار درآمدزایی داشت.

بدیهی است که کاربردهای زیست‌فناوری به حوزه‌ی آلودگی هوا محدود نیست و در زمینه‌های دیگر نیز به کمک صنعت برق خواهد شتافت. بسته به شرایط اقلیمی محل استفاده و نوع آلودگی موجود، زیست‌فناوری راهکاری مناسب، کارا، توجیه‌پذیر و منطبق با اقلیم منطقه به حساب خواهد آمد.

1-4- توجیه‌پذیری قانونی

با بررسی برخی از اسناد و قوانین بالادستی مرتبط با حوزه انرژی‌های نو و محیط‌زیست به‌وضوح درمی‌یابیم که نیاز کشور به توسعه فناوری‌های زیستی در صنعت برق تا چه اندازه ضروری است. برخی از این اسناد بالادستی در ادامه بررسی شده‌اند.

کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات اقلیمی¹ و پروتکل کیوتو [7و8]

کنوانسیون با بهره‌مندی از مفاد یکی از موفق‌ترین معاهدات چندجانبه زیست‌محیطی در تاریخ (پروتکل مونترال 1987)، اعضا را به قدم برداشتن در جهت سلامت و ایمنی بشر حتی در مواجهه با عدم قطعیت علمی واداشته است. «هدف نهایی کنوانسیون، کنترل غلظت گازهای گلخانه‌ای در سطحی است که از مداخله‌ی پرخطر انسانی با اقلیم جلوگیری کند». متن کنوانسیون از این‌قرار است که «دستیابی به این سطوح بایستی در چارچوب زمانی مناسبی صورت گیرد تا زیست‌بوم به‌طور طبیعی با تغییرات اقلیمی تطبیق یابد، تولید مواد غذایی دچار وقفه نشود، و زمینه توسعه پایدار اقتصادی فراهم آید».

پروتکل کیوتو عامل «عملیاتی شدن» کنوانسیون (UNFCCC) بود. این پروتکل کشورهای صنعتی را متعهد به کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس اصول کنوانسیون می‌کند، حال‌آنکه کنوانسیون به‌خودی‌خود

¹ UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

جنبه‌ی تشویقی دارد. پروتکل کیوتو عمدتاً کشورهای صنعتی را خطاب قرار داده و به آنها محدودیت‌های سخت‌گیرانه تحمیل نموده است. این در صورتی است که این قوانین برای کشورهای در حال توسعه محدودیت‌های به مراتب کمتری را در بردارد.

ایران به عنوان یکی از اعضای سازمان ملل، متعهد به اجرایی کردن کنوانسیون و پروتکل کیوتو است، در نتیجه به عنوان یک کشور در حال توسعه، قانوناً امکان بهره‌مندی از تسهیلات مالی، فناوری و مشاوره‌ای در راستای تحقق اهداف کنوانسیون را دارد.

با توجه به شرایط موجود آلودگی‌های هوا و الزامات بین‌المللی و فراهم بودن زمینه‌های همکاری‌های بین-المللی، اهمیت مسائل زیست‌محیطی می‌بایست بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه امروزه کشورهای پیشرفته از زیست‌فناوری به عنوان یک ابزار قدرتمند جهت مرتفع سازی مسائل زیست‌محیطی استفاده می‌کنند، استفاده از این فرصت برای گذشتن از فناوری‌های واسطه (شیمیایی و فیزیکی) و دستیابی به فناوری‌های روز دنیا از چندین جنبه نقش زیست‌فناوری را پررنگ‌تر می‌کند.

سند ملی زیست‌فناوری جمهوری اسلامی ایران [۹]

این سند از راهبردی‌ترین اسناد در حوزه زیست‌فناوری کشور بوده که اساس و شالوده‌ی پیشرفت‌های چندین سال اخیر در راستای توانمندسازی و آسان‌سازی به‌کارگیری زیست‌فناوری در صنایع مختلف در بخش‌های خصوصی و دولتی و در حوزه‌های علمی و پژوهشی است. این سند در باب زیست‌فناوری اشاره دارد که:

«کاربرد زیست‌فناوری در صنعت که منجر به تولید فرآورده‌ها و دست‌یافت‌های گوناگون با صرف هزینه و انرژی کمتر، ضایعات اندک و کمترین اثر مخرب بر محیط‌زیست می‌شود، موجب آن شده که این فناوری به یکی از پاک‌ترین و درعین حال سودآورترین بخش‌های صنعت شهرت یابد.»

همچنین، در این سند با پذیرفتن مزایا و توانایی‌های گسترده زیست‌فناوری، کمبود بهره‌گیری از آن را در تمامی بخش‌های صنعتی و پژوهشی اعم از دولتی و خصوصی مطرح کرده و برای توسعه‌ی آن موارد زیر را از عوامل مؤثر می‌داند:

- حمایت همه‌جانبه‌ی دولت از زیست‌فناوری
- سرمایه‌گذاری مناسب و ویژه دولت در زیرساخت‌ها
- اختصاص بودجه مناسب و قابل توجه
- تشویق و حمایت از سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی

این سند با اشاره به اینکه وضعیت زیست‌فناوری در کشور "نامطلوب" بوده، آرمان‌های ملی در راستای به‌کارگیری زیست‌فناوری را تعریف می‌کند. «ارتقای سهم شایسته زیست‌فناوری در توسعه‌ی بخش کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت و درمان، صنعت و معدن» یکی از این آرمان‌ها بوده که به‌طور مستقیم به صنعت برق مرتبط است.

سند ملی توسعه دانش‌بنیان انرژی‌های تجدید پذیر [10]

در سند ملی توسعه دانش‌بنیان انرژی‌های تجدید پذیر به مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی، بحران انتشار گازهای گلخانه‌ای و راهکارهایی که کشورها برای پیشگیری از آن اتخاذ کرده‌اند اشاره می‌شود. در ماده 5 این سند اهداف کلانی که با صنعت برق و کاربرد زیست‌فناوری در این صنعت مرتبط هستند، عبارت‌اند از:

- دستیابی به سهم 10% نیروگاه‌های تجدید پذیر نسبت به کل ظرفیت نیروگاهی نصب‌شده در کشور در سال 1404
- دستیابی به سهم 1/5% حرارت تجدید پذیر نسبت به کل حرارت مصرفی در کشور در سال 1404
- دستیابی به کاهش حداقل 10 میلیون تن انتشار گاز گلخانه‌ای در سال 1404 نسبت به سال 1394 از طریق افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر

• دستیابی به ظرفیت بیوگاز معادل دو در هزار گاز مصرفی کشور از طریق تبدیل صنعتی ضایعات و زائدات کشاورزی و حیوانی با تأکید بر نقاط دارای منابع اولیه در دسترس در سه مورد اول، زیست فناوری به عنوان یکی از حوزه های بخش انرژی، نقش مهمی را در تولید سوخت های زیستی و به تبع آن کاهش آلاینده ها بازی می کند. اما در مورد آخر، این سند موردی را جزء اهداف کلان خود قرار داده است که مختص به حوزه زیست فناوری است و این به نوبه ی خود نشانگر سهم بزرگ زیست فناوری در حوزه ی انرژی های تجدید پذیر است.

جمع بندی

همان گونه که بیان شد زیست فناوری از پتانسیل بالایی برای ارائه ی راه حل های ساده، ارزان و دوستدار محیط زیست در حوزه های مختلف صنعت برق برخوردار است و دستیابی به دانش فنی و فناوری در این حوزه در راستای استفاده از تمامی ظرفیت های صنعت برق کشور امری حیاتی تلقی می شود.

مراجع

[1] UN, 2015. Energy Statistics Yearbook. Website Link: <https://unstats.un.org/unsd/energy/yearbook/default.htm>

[2] Beech, B., Gaylarde, C., 1999. Recent Advances in Study of Biocorrosion – An Overview. Rev. Microbiol. 30, 177-190.

[3] Federal Remediation Technologies Roundtable. Website Link: <https://frtr.gov>

[4] Emissions Database for Global Atmospheric Research. Website Link: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>

[5] وزارت نیرو، ۱۳۹۴. ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴.

[6] Pavlik, D., Zhong, Y., Daiek, C., Liao, W., Morgan, R., Clary, W., Liu Y., 2017. Microalgae cultivation for carbon dioxide sequestration and protein production using a high-efficiency photobioreactor system. Algal Res. 25, 413-420.

[7] United Nations, 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. Download Link:

http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf

[8] United Nations, 1997. UNFCCC: Kyoto Protocol. Download Link: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

[۹] وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، 1384. سند ملی زیست‌فناوری جمهوری اسلامی ایران. لینک

دانلود: http://www.irkbn.com/attachment/14_316_47_sanad.pdf

[10] شورای عالی انقلاب فرهنگی، 1393. سند توسعه دانش بنیان انرژی های تجدیدپذیر

Biotechnology and Essentiality of Its Development in Energy and Power Industry

Abstract: The development and adoption of biotechnology has expanded in many countries. The population increase and reduced resources, drawbacks of applying physical-chemical technologies, and health and environmental difficulties, have caused attracting the governments support policies to this technology. Due to environmental negative impacts of power plants and according to emission of different pollutants during their life cycle, applying biotechnology for reducing the environmental negative effects and accessing the green energy sources can be significantly important and it is essential to plan for research and development in this area. In the present study the essentiality of application and development of biotechnology in energy and power industry has been evaluated according to technical, environmental, commercial and legal aspects.

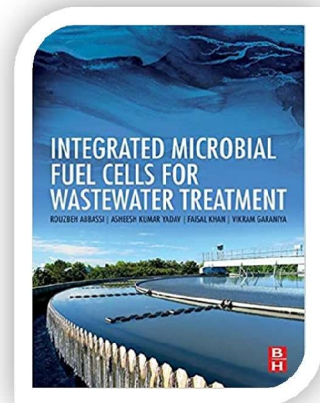
عنوان: Integrated Microbial Fuel Cell For

Wastewater Treatment

پدیدآورنده: Rouzbeh Abbassi

سال انتشار: ۲۰۲۱

ناشر: الزویر



فناوری‌های متداول تصفیه فاضلاب به دلیل هزینه‌های بالای عملیاتی و ناکارآمدی فرآیند، پایدار نیستند. استفاده از سلول‌های سوختی یکپارچه میکروبی برای تصفیه فاضلاب یک روش ابتکاری برای بهبود کارایی فرآیندهای تصفیه فاضلاب عنوان شده است.

این کتاب به چهار بخش تقسیم شده است. بخش اول کتاب به مرور سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی "پیشرفته" و اصول فناوری MFC و پتانسیل آن برای افزایش کارایی تصفیه فاضلاب و کاهش هزینه تولید برق پرداخته است. در بخش دوم کتاب، ادغام، نصب و بهینه‌سازی MFC در فرایندهای متداول تصفیه فاضلاب مانند فرآیند لجن فعال، تالاب‌ها، وتلنها و بیوراکتورهای غشایی بررسی شده است. در بخش سوم کتاب به ادغام MFC با سایر فرآیندهای تصفیه فاضلاب پرداخته شده و در بخش آخر به کارگیری سامانه‌های یکپارچه MFC برای تصفیه فاضلاب در مقیاس بزرگ و چالش‌های پیش روی آن بررسی شده است.

۱. Nabizadeh, R., M. Heidari, and M. Hassanvand, *Municipal solid waste analysis in Iran*. Iran J Health & Environ, 2008. **1**(1): p. 9-18
۲. Esmailizadeh, S., A. Shaghghi, and H. Taghipour, *Key informants' perspectives on waste management in Iran: a mixed method study. the challenges of municipal solid waste management*. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2020: p. 1-15
۳. مختارانی, ع.ن.ن., تولید سوخت RDF از مواد زائد جامد شهری aryaparto.
۴. Robinson, W.D., *The solid waste handbook: A practical guide*. 1986: John Wiley & Sons
۵. علیزاده, س.ن.م.ا.ن., عنوان: مقایسه اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت مشتق شده از زباله و سوخت های فسیلی رایج برای تولید انرژی, in اولین کنفرانس بین المللی مطالعات بین رشته ای در مدیریت و مهندسی. ۱۳۹۷.
۶. رکنیزاده, ج. and و. نجاتی, بررسی فنی و اقتصادی ورود سوخت حاصل از زباله و تاثیر فرسوده در صنایع سیمان ایران. انرژی ایران, ۱۳۹۳. ۷(۱).
۷. Mokrzycki, E. and A. Uliasz-Bocheńczyk, *Alternative fuels for the cement industry*. Applied Energy, 2003. **74**(1-2): p. 95-100
۸. Ghosh, S.K., *Energy Recovery Processes from Wastes*. 2020: Springer
۹. Hemidat, S., et al., *Potential utilization of RDF as an alternative fuel to be used in cement industry in Jordan*. Sustainability, 2019. **11**(20): p. 5819
۱۰. Gendebien, A., *Refuse derived fuel, current practice and perspectives*. WRc Ref: CO5087-4, 2003
۱۱. *RDF:Insight , Monthly insight and reporting from Footprint Services*. 2019
۱۲. Gallardo, A., et al., *Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste quality standards. Journal of Cleaner reject fraction and its compliance with Production*, 2014. **83**: p. 118-125
۱۳. پناهنده, et al., بررسی فنی و اقتصادی استفاده از دورریز پسماندهای شهر تهران به عنوان سوخت کوره های سیمان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۰۱۷. ۱۹: p. 495-506