فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

۹۰-۸۱

مدیریت لجن حوضچه تبخیری در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (بررسی موردی: نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند)

زینب گل‌حسینی[۱]، مهدی جلیلی قاضی‌زاده[۲*] و سیدحسین هاشمی[۲]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه فناوری‌های محیط‌زیست، پژوهشکده علوم‌محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۲] استادیار گروه فناورهای محیط‌زیست، پژوهشکده علوم‌محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۶

چکیده

یکی از مهم‌ترین پسماندهای تولیدشده در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، لجن تولیدی در حوضچه تبخیری است. بررسی فرایند تولید برق در این نوع نیروگاه‌ها حاکی از آن است که پساب ورودی به حوضچه تبخیری حاوی آلاینده‌های مختلفی است که در حین فرایند تبخیر به‌صورت لجن در کف حوضچه تبخیری رسوب می‌کند. بر این اساس، شناسایی کمی و کیفی این پسماند و ارائه راهکارهای مدیریت آن در دستور کار قرار گرفته و به این منظور نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند برای بررسی موردی انتخاب شده است. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که این پسماند حاوی فلزات سنگین (به‌خصوص سرب و کرم) و آلاینده‌های نفتی است. مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لجن حوضچه تبخیری با معیارها و طبقه‌بندی‌های کنوانسیون بازل و سایر منابع شناخته‌شده بین‌المللی مانند دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) بیانگر آن است که این پسماند در گروه پسماندهای ویژه طبقه‌بندی می‌شود. در ادامه کلیه روش‌های محتمل برای مدیریت لجن تولیدی بررسی‌شد و بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی روش دفن در زمین به عنوان روش برتر انتخاب شد. در نهایت برای اجرای این روش، سناریوهای مختلف دفن در زمین شامل دفن سطحی و عمقی در نظر گرفته شد و ازآنجاکه در محل‌های دفن پسماند، لاینر مهم‌ترین عامل در جلوگیری از نفوذ آلاینده‌ها به محیط است، با استفاده از مدل IWEM[۱] سیستم لاینینگ مناسب برای کارگذاری در کف محل دفن در سناریوهای مختلف محیطی و غلظت‌های متفاوت نشت پیشنهاد شده است. نتایج بررسی حالت‌های مختلف نشت بیانگر آن است که در صورتی که از روش دفن سطحی استفاده شود، در همه غلظت‌های نشت نیاز به لاینر ترکیبی است و حتی کاهش مساحت حوضچه تبخیری بر انتخاب لاینر مناسب تأثیر چندانی ندارد. اما در روش دفن در یک خاکچال استاندارد که در این بررسی مکان دفن کهریزک انتخاب شده است، در غلظت نشت ۹۰ درصد نیز می‌توان لاینر ساده را برای پوشش کف محل دفن به کار برد. همچنین در صورتی که غلظت کروم تا ۳۰ درصد و غلظت سرب و منگنز تا ۵۰ درصد کاهش یابد می‌توان این پسماند را بدون لاینر نیز دفع کرد.

کلمات کلیدی: نیروگاه سیکل ترکیبی، لجن حوضچه تبخیری، دفن سطحی، خاک‌چال، IWEM.

Pond Sludge Evaporation Management in Combined Cycle Power Plants (Case Study: Damavand Combined Cycle Power Plant)

Zeynab Golhosseini,[1] Mahdi Jalili Ghazizade[2*]& Seyed Hossein Hashemi[2]

[1] MSc. in Environmental Pollution, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran
[2] Assistant Professor,Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract

Bottom sludge generated in evaporation ponds is one of the most serious waste products from combined cycle power plants. Since previous studies show that wastewater entering evaporation ponds contains various contaminants, the settled sludge can be regarded as a hazardous waste. Waste characterization showed a high concentration of heavy metals (namely, lead and chromium) as well as of Total Petroleum Hydrocarbons in the generated sludge. Regarding to classification criteria of the Basel Convention and other international instruments (such as EPA), we can see that this waste may be categorized as a hazardous waste. As a consequence, all possible methods for sludge management have been evaluated based on their technical, economic and environmental aspects and land disposal was selected as the preferred method. Finally, various scenarios for this, including landfill and surface impoundment, were considered. To avoid the penetration of contaminants into the environment, the IWEM model was used to design the bottom lining system in which different environmental scenarios and leakage concentrations was evaluated.

Keywords: Combined cycle power plant, Evaporation pond sludge, Surface impoundment, Landfill, IWEM.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: ma_jalili@sbu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

توسعه اقتصادی به عنوان یک رکن اساسی در مجموعه سیاست‌های هر کشور مطرح است و انرژی عامل اصلی و ضروری توسعه اقتصادی در هر جامعه است [۱]. در کشور ایران به علل مختلف از جمله بالا بودن میزان رشد اقتصادی تقاضای سالیانه برای انرژی‌های مختلف افزایش یافته است. به همین لحاظ احداث نیروگاه‌های جدید به ضرورتی انکارناپذیر تبدیل شده است [۲]. در کشور ایران با وجود منابع عظیم نفت و گاز، برای تأمین برق مورد نیاز از نیروگاه‌های حرارتی استفاده می‌شود. از این رو وزارت نیرو برای توسعه بخش نیروگاهی کشور اقدام به احداث نیروگاه‌های حرارتی با راندمان بالا از قبیل سیکل‌ترکیبی کرده است [۳]. نیروگاه‌های سیکل‌ترکیبی نیز همچون سایر صنایع انواع مختلفی از پسماندها را تولید می‌کنند. یکی از مهم‌ترین پسماندهای تولیدشده در صنایع، لجن حاصل از تصفیه پساب‌های شیمیایی است. نیروگاه‌ها نیز از این قاعده مستثنی نیستند. کلیه پساب‌های شیمیایی حاصل از فرآیندهای مختلف در نیروگاه‌ها، پس از خنثی شدن در حوضچه خنثی‌سازی وارد حوضچه تبخیری شده و در آنجا باقی می‌مانند. با توجه به اینکه پساب‌های شیمیایی ورودی به حوضچه تبخیری حاوی آلاینده‌های مختلفی است، می‌توان انتظار داشت لجن تولیدی در کف حوضچه دارای ترکیبات خطرناک و سمی باشد، طوری‌که این پسماند در گروه پسماندهای خطرناک طبقه‌بندی شود. بدیهی است در صورت عدم مدیریت صحیح این پسماندها، اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی غیرقابل جبرانی بر محیط وارد می‌شود که این مساله با رویکرد توسعه پایدار صنایع در تضاد است. از این رو مدیریت لجن تولیدی در نیروگاه‌های تولید برق به عنوان یکی از استراتژی‌های مهم تلقی می‌شود. مرور منابع در دسترس داخلی و خارجی نشان می‌دهد که بیشتر بررسی‌های انجام‌شده در خصوص پسماندهای نیروگاه‌های حرارتی به موضوع خاکسترهای تولیدشده در این نیروگاه‌ها پرداخته است. سعیدی و همکاران در سال ۲۰۰۷ تحقیقی درباره پسماند ناشی از شست‌وشوی پیش‌گرمکن‌های هوا در نیروگاه حراراتی شهید رجایی قزوین انجام دادند. نتایج نشان داد عمده‌ترین آلاینده‌های شناسایی شده در این پسماند فلزات سنگین و سمی از جمله Cd، Co، Cr، Mm، Ni، Pb، Zn و V است و بر طبق قانون مدیریت پسماند ایران، پسماند حاصل از شست‌وشوی پیش‌گرمکن‌های هوا در طبقه پسماندهای خطرناک قرار می‌گیرد [۴]. در پژوهش دیگری تصفیه لجن آبگیری‌شده ناشی از فاضلاب شست‌وشوی پیش‌گرمکن‌های هوا با استفاده از روش تثبیت و جامدسازی بررسی شد. استفاده از این روش موجب کاهش تحرک آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین شده و پسماند را به حالت بی‌خطر تبدیل می‌کند [۵]. درباره خاکستر و لجن تولیدی در نیروگاه‌های حرارتی در صربستان پژوهشی انجام و در آن مشخص شد که خاکستر و لجن نیروگاه‌های حرارتی شامل هیدروکربن‌های آروماتیک، آهن، آلومینیوم و کلسیم و همچنین اکسید این عناصر با منیزیم، پتاسیم، سدیم و تیتانیوم است. طبق سیستم طبقه‌بندی پسماندهای این کشور لجن و خاکستر تولیدی در این نیروگاه‌ها جزء پسماندهای خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند، اما با توجه به استانداردهای موجود می‌توان آنها را مورد استفاده قرار داد یا به حالتی کم‌خطرتر تبدیل کرد. در حال حاضر این نوع پسماندها یا در محل‌های دفن با لاینرهای مخصوص دفن می‌شوند یا در حوضچه‌های تبخیری جمع‌آوری می‌شوند [۶]. در سال ۲۰۱۰ پژوهش دیگری در مورد بازیابی فلزات از پسماندهای تولیدی در نیروگاه‌های حرارتی انجام شد که در آن پس از معرفی پسماندهای نیروگاه‌های حرارتی، به عوامل مؤثر بر بازیابی فلزاتی همچون Zn، Hg، Cu، Cd، Ca، Ga، Al و غیره از خاکسترهای ناشی از احتراق در نیروگاه‌های حرارتی پرداخته شده است [۷]. با توجه به اینکه لجن حوضچه تبخیری ناشی از پساب‌های ورودی به این حوضچه است، بررسی آلاینده‌ها در این پساب می‌تواند در شناسایی ویژگی‌های لجن مؤثر باشد. در پژوهشی که درباره پساب نیروگاه سیکل ترکیبی یزد انجام شده است، وجود فلزات سنگین از جمله Se، Mn، F، Cu، Cr، Cd و B در پساب حوضچه تبخیری شناسایی شده است که غلظت برخی از این عناصر بالاتر از حد استاندارد تخلیه به چاه جاذب است [۸].

ازآنجاکه تاکنون پژوهشی در زمینه شناسایی ویژگی‌های لجن حوضچه تبخیری در نیروگاهای سیکل ترکیبی صورت نگرفته ، در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با شناخت ویژگی‌های کمی و کیفی این نوع نیروگاه‌ها و تعیین آلاینده‌های خطرناک آن بهترین روش مدیریتی با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی تعیین شود. همچنین راهکار مناسب برای به حداقل رساندن نشت آلاینده‌های مختلف به محیط زیست ارائه خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند (که شهدای پاکدشت نیز نامیده شده است) در زمینی به مساحت ۱۹۳ هکتار در جنوب شرقی تهران و در ۳۵ کیلومتری گرمسار قرار دارد. این نیروگاه به عنوان بزرگ‌ترین نیروگاه حرارتی کشور شامل ۱۲ واحد گازی هر یک به ظرفیت ۱۵۹/۹ مگاوات و ۶ واحد بخار هر یک به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات بوده و در مجموع حدود ۲۸۸۰ مگاوات برق تولید می‌کند. سوخت مورد نیاز نیروگاه دماوند شامل گاز و گازوئیل است که از گاز به عنوان سوخت اصلی و از گازوئیل به عنوان سوخت جانشین در مواقع کمبود گاز استفاده می‌شود. حوضچه تبخیری[۲] در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند با مساحتی حدود ۴/۵ هکتار در ضلع جنوب غربی نیروگاه واقع شده است. عمق این حوضچه ۱۶۰ سانتی‌متر و عمق مفید آبگیری آن ۱۲۰ سانتی‌متر است. در زمان نمونه‌برداری از لجن، عمق آب موجود در آن به طور متوسط در حدود ۲۰ سانتی‌متر و عمق متوسط لجن در حدود ۸ سانتی‌متر بود. پساب‌های فرآیندها پس از خنثی شدن در حوضچه خنثی‌سازی وارد این حوضچه شده و در همان‌جا باقی می‌ماند.

۲-۲- نمونه‌برداری از لجن

به منظور شناسایی ویژگی‌های لجن حوضچه تبخیری، پس از شناسایی انواع پساب‌های ورودی به این حوضچه، نمونه‌برداری از لجن در آذر ماه سال ۹۳ انجام شد. در تبیین طرح نمونه‌برداری از بررسی‌ها و مشاهدات شخصی استفاده شده است. در این نوع نمونه‌برداری که بر پایه تجربه و قضاوت است، انتخاب واحدهای نمونه‌برداری (یعنی تعداد، محل و زمان برداشت نمونه‌ها) بر اساس دانش موجود از عوارض و شرایط مورد تحقیق و قضاوت هوشمندانه است، نه بر اساس تئوری‌های علمی آماری. در این نوع نمونه‌برداری در مواردی که منطقه یا عوارض نسبتاً کوچکی بررسی می‌شود، تعداد کمی نمونه آنالیز خواهند شد و هدف از نمونه‌برداری اطمینان از وجود یا عدم آلودگی در سطوح نگران‌کننده است [۹]. پس از انتخاب روش نمونه‌برداری حوضچه تبخیری حدوداً به چهار بخش مساوی تقسیم شد سپس از هر قسمت چهار نمونه برداشت شد و در نهایت با ترکیب ۱۶ نمونه یک نمونه همگن بدست آمد. نمونه پس از جمع‌آوری در یک ظرف شیشه‌ای که با فویل آلومینیومی پوشیده بود و یک ظرف پلی‌اتیلنی به آزمایشگاه منتقل شد.

۲-۳- آنالیزهای آزمایشگاهی

برای انجام آنالیزهای مورد نظر (فلزات سنگین، ترکیبات آلی، سولفات، نیترات و pH) نمونه لجن در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شد. در جدول ۱ پارامترها و روش اندازه‌گیری هر کدام ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای مورد آنالیز، روش‌ها و دستگاه‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری پارامترها

پارامتر	روش اندازه‌گیری	دستگاه مورد استفاده
pH	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual NO:5-1	pH متر مدل Sartorius PB-11
نیترات	ASTM-D4327	Ion Chromatography مدل IC850-Metrohm
سولفات	ASTM-D4327	Ion Chromatography مدل IC850-Metrohm
کل هیدروکربن‌های نفتی	متد US-EPA SW846 3550	GC 6890N, AGILENT Detector: FID
ترکیبات آروماتیک	دستورالعمل سنجش هیدروکربن‌های نفتی-سازمان حفاظت محیط زیست ایران	GC 7890N, AGILENT MS 5978, AGILENT
عناصر	ASTM-D4698-13	ICP-OES

۲-۴- معرفی نرم‌افزار IWEM

پس از آنالیز لجن نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند و مقایسه با استانداردهای موجود به ارائه راهکارهای مدیریتی پرداخته شده است. یکی از راهکارهایی که می‌تواند برای مدیریت لجن حوضچه تبخیری در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند مورد استفاده قرار گیرد روش دفن در زمین است. این روش الزاماتی دارد که در مکان‌های دفن پسماند باید رعایت شود. بدیهی است عدم تطابق اجزای محل دفن با استانداردها، مخاطراتی را برای محیط زیست ایجاد می‌کند که این اثرات می‌تواند جبران‌ناپذیر باشد. یکی از ملزومات روش دفن در زمین انتخاب لاینر مناسب است، که در بررسی حاضر به منظور طراحی سیستم لاینر مناسب در

Archive of SID
www.SID.ir

محل دفن از نرم‌افزار IWEM استفاده شده است. این مدل در تعیین لاینر مناسب برای انواع محل‌های دفن که در زیر عنوان D[3] سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا ذکر شده است، استفاده می‌شود و در راستای به حداقل رساندن پتانسیل ایجاد اثر نامطلوب بر آب‌های زیرزمینی به علت غلظت شیرابه ناشی از مواد زائد بسیار مؤثر است [۱۰]. این مدل غلظت شیرابه مورد انتظار برای هر یک از عناصر تشکیل‌دهنده مواد زائد که توسط کاربر تعیین می‌شود را با مقدار حد آستانه غلظت شیرابه[4] یا غلظت تماس محاسبه‌شده بر اساس مدل سرنوشت و نحوه انتقال مواد در آب‌های زیرزمینی در مورد هر سه نوع لاینر استاندارد موجود مقایسه می‌کند. این نرم‌افزار نتایج هریک از مواد موجود در شیرابه را بررسی و ارزیابی می‌کند و سپس حداقل لاینر مورد نیاز برای حفاظت آب‌های زیرزمینی از اثرات نامطلوب این عناصر تشکیل‌دهنده را پیشنهاد می‌کند. این مدل غلظت لیچینگ مورد انتظار برای هریک از عناصر تشکیل دهنده پسماند که توسط کاربر تعیین می‌شود را با مقدار حد آستانه غلظت لیچینگ یا غلظت تماس محاسبه‌شده بر اساس مدل سرنوشت[5] و نحوه انتقال مواد در آب‌های زیرزمینی در مورد هر سه نوع لاینر استاندارد موجود مقایسه می‌کند. این نرم‌افزار نتایج هر یک از مواد موجود در شیرابه را بررسی و ارزیابی می‌کند و سپس حداقل لاینر مورد نیاز برای حفاظت آب‌های زیرزمینی از اثرات نامطلوب این عناصر تشکیل‌دهنده را پیشنهاد می‌کند [۱۱]. در نرم‌افزار IWEM سه نوع سناریوی مختلف به لحاظ تعیین جنس لاینر مناسب به شرح زیر تعریف شده است:

- سناریوی بدون لاینر[6]

سناریوی طراحی محل دفن بدون در نظر گرفتن لاینر در مواردی به‌کار می‌رود که یا خاک زیر تأسیسات دفن دارای نفوذپذیری کمی باشد یا نزولات جوی در منطقه بسیار کم باشد؛ به عبارتی استفاده از این سناریو در شرایطی است که نرخ انتقال و انتشار آلاینده‌ها از تأسیسات دفن به سمت آب‌های زیرزمینی بسیار کم باشد.

- سناریوی با لاینر رسی[7]

یک لایه به ضخامت ۹۰ سانتی‌متر از خاک رس با قابلیت هدایت هیدرولیکی کم ($1x10^{-7}$ سانتی متر بر ثانیه) در زیر تأسیسات دفن اجرا شود.

- سناریوی با لاینر ترکیبی[8]

سناریوی سوم استفاده از لاینر مصنوعی است. در این حالت، یک لایه ۱/۵ میلی‌متری از جنس پلی‌اتیلن با دانسیته بالا که در زیر آن یک لایه رس مصنوعی با حداکثر هدایت هیدرولیکی $5 x10^{-9}$ سانتی‌متر در ثانیه و یا یک لایه ۹۰ سانتی‌متری از رس متراکم با هدایت هیدرولیکی $1x10^{-7}$ سانتی‌متر در ثانیه در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ضخامت مذکور برای لاینر ژئوممبرین منطبق بر استاندارد EPA برای حوضچه‌های دفن پسماند خطرناک است [۱۲].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های لجن حوضچه تبخیری

نمونه لجن حوضچه تبخیری برای تعیین میزان عناصر، ترکیبات نفتی، نیترات و سولفات، مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این لجن تقریباً به صورت قلیایی بوده و pH آن ۹/۲۹ است. غلظت نیترات و سولفات به ترتیب ۸۱/۳۷ و ۴۲۴۹۴۹ mg/kg است. همچنین غلظت کل ترکیبات نفتی در این نمونه ۳۵۰ mg/kg است.

میزان ترکیبات آروماتیک نیز در لجن حوضچه تبخیری اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

نتایج جدول ۲ بیانگر آن است که در میان ترکیبات آروماتیک بیشترین غلظت مربوط به نفتالن است. پس از آن ترکیبات فنانترن، فلورن، ایندنو پایرن و بنزو پایرن بیشترین غلظت را دارند.

نتایج غلظت فلزات سنگین در این نمونه که با روش ICP به دست آمده در جدول ۳ آمده است.

با توجه به غلظت عناصر در نمونه لجن، مشاهده می‌شود که عناصری همچون سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، آلومینیوم و فسفر دارای غلظت بالایی هستند که می‌توانند ناشی از تصفیه آب خام باشد. در سیستم تصفیه‌خانه و همچنین در تزریق مواد شیمیایی به واحدهای مختلف نیز از ترکیبات سدیم و فسفات استفاده می‌شود. در مرحله پیش‌راه‌اندازی نیز برای قلیاشویی بویلرها از ترکیبات تری‌سدیم فسفات و سدیم کربنات استفاده می‌شود. وجود عناصر وانادیوم و سرب نیز می‌تواند ناشی از سوخت مصرفی در نیروگاه باشد.

در جدول ۴ میزان غلظت پارامترهای آلاینده در لجن حوضچه تبخیری نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند با حدود آستانه سمیت استاندارد EPA برای شناسایی پسماند خطرناک مقایسه شده است. این استاندارد بر مبنای مقایسه

Archive of SID
www.SID.ir

غلظت نشت آلاینده‌ها از پسماند با استفاده از آزمایش TCLP[9] است. با توجه به اینکه در این بررسی میزان نشت آلاینده‌ها با این روش اندازه‌گیری نشده است، بنابراین فرض بر آن است که در خوش‌بینانه‌ترین شرایط ۱۰ درصد از این آلاینده‌ها قابلیت نشت داشته باشند. بنابراین همانطور که نتایج نشان می‌دهد حتی در صورتی‌که این مقدار نشت شود، این پسماند به لحاظ عناصر سرب و کروم در گروه پسماندهای سمی طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۲- غلظت ترکیبات آروماتیک در لجن حوضچه تبخیری (بر حسب µg/kg)

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
Naphtalene	۴۴۹۰/۲۸	Benzo(a)anthracene	<۱۰
Acenaphtylen	۳۲/۹۳۲۴	Chrysene	<۱۰
Acenaphten	۷۵/۹۹۲	B(b)fluoranthene	<۱۰
Florene	۴۰۸/۴۸	B(k)fluoranthene	<۱۰
Phenanthrene	۷۹۸/۶۱۴	B(a)pyrene	۲۲۹/۸۹۲
Anthracene	<۱۰	Dibenzo(a,h)Anthracene	۵۶/۲۰۸۴
Fluorantene	<۱۰	Benzo(g,h,i)Perylene	۵۱/۹۷۱۴
Pyrene	<۱۰	Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	۲۳۸/۲۴۸

جدول ۳- نتایج حاصل از اندازه‌گیری عناصر

عناصر	مقدار (mg/kg)	عناصر	مقدار (٪)
Arsenic	<۲۰	Aluminium	۱/۲۱
Cadmium	<۱	Phosphorus	۰/۶۷
Chromium	۹۱	Iron	۲/۸۰
Cobalt	۸	Potassium	۰/۳۸
Coper	۴۹	Sodium	۱۷
Lead	۷۰	Calcium	۸/۹۰
Molybdenum	۱۱	Magnesium	۲/۷۹
Nickel	۶۱		
Manganez	۲۷۲		
Vanadium	۳۸		
Zinc	۴۹۹		

جدول ۴- مقایسه غلظت فلزات سنگین در لجن حوضچه تبخیری نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند با استاندارد EPA

پارامتر	واحد	غلظت کل	غلظت نشت ۱۰ درصد	معیار سنجش سمی بودن بر مبنای مرجع *EPA	کد پسماند خطرناک
روی- Zn	mg/kg	۴۹۹	۴۹/۹	-	
مس- Cu	mg/kg	۴۹	۴/۹	-	
آرسنیک- As	mg/kg	<۲۰	<۲	۵	
کادمیوم- Cd	mg/kg	<۱	<۰/۱	۱	
نیکل- Ni	mg/kg	۶۱	۶/۱	-	
سرب- Pb	mg/kg	۷۰	۷	۵	D008
کروم- Cr	mg/kg	۹۱	۹/۱	۵	D007

*مواردی که با "-" مشخص شده‌اند فاقد استاندارد EPA هستند.

جدول ۵- کدگذاری لجن حوضچه تبخیری نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند بر مبنای کنوانسیون بازل

پسماند	کد پیوست I کنوانسیون بازل	کد پیوست III کنوانسیون بازل	کد پیوست VIII کنوانسیون بازل
لجن حوضچه تبخیری	Y18	$H_{6/1}$	A4060
	Y21	H_{11}	A1020
	Y22	H_{12}	
	Y23	H_{13}	
	Y31		

Archive of SID

www.SID.ir

در این بررسی کدگذاری پسماند خطرناک بر اساس کنوانسیون بازل که در قانون مدیریت پسماند ایران نیز به آن اشاره شده انجام شده و نتایج آن در جدول ۵ ارئه شده است. بر این اساس پسماندی خطرناک خواهد بود که یا در فهرست پیوست شماره یک و هشت (Annex I And Annex VIII of Basel Convection) قرار داده شده باشد و یا دارای یکی از خصوصیات خطرناک مندرج در پیوست شماره سه کنوانسیون بازل (Annex III of Basel Convection) باشد.

۳-۲- ارائه راهکارهای مدیریتی

برای مدیریت لجن حوضچه تبخیری می‌توان از روش‌هایی چون سوزاندن، بازیافت، دفن در زمین و همچنین دفن در زمین با استفاده از فرآیند تثبیت و جامدسازی به طور بالقوه استفاده کرد.

به‌منظور انتخاب روش برتر مدیریت لجن حوضچه تبخیری در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند از بین روش‌های ذکر شده، معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مختلفی مدنظر قرار گرفته است. از نظر فنی می‌توان معیارهای مختلفی را برای مقایسه روش‌های بالقوه استفاده کرد که از مهم‌ترین آنها می‌توان پیچیدگی فن‌آوری و راهبری، مدت زمان تصفیه، بازدهی، نیاز به زمین، نیاز به آب، نیاز به مواد شیمیایی افزودنی، قابلیت حذف آلاینده‌ها و تولید مواد جانبی خطرناک که نیاز به مدیریت ویژه دارند را نام برد. همچنین معیارهای مختلف اقتصادی نظیر هزینه، ارزش محصول بازیافتی و وجود بازار مصرف رقابتی برای محصولات بازیافتی از جمله مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی در این بخش هستند. همچنین بخش مهمی از معیارهای مقایسه، علاوه بر ویژگی‌های فنی و اقتصادی مربوط به جنبه‌های زیست‌محیطی است که عبارتند از: وجود زیرساخت لازم برای پایش آلاینده‌های خروجی از سیستم در منطقه، انتشار بالقوه آلاینده‌های خطرناک و تولید انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی (بازیافت انرژی).

با مقایسه روش‌های مختلف مشخص شد که روش سوزاندن نیاز به هزینه‌های زیادی دارد و تقریباً فناوری پیچیده‌ای است و به دلیل وجود آلاینده‌های مختلف در لجن حوضچه تبخیری نیاز به سیستم تصفیه گاز خروجی است. با توجه به اینکه لجن حوضچه تبخیری به صورت آب‌دار است و به انرژی زیادی نیازدارد این روش توجیه‌پذیر نیست. روش تثبیت و جامدسازی نیز روش هزینه‌بری است زیرا علاوه بر موادی همچون سیمان، به دلیل وجود ترکیبات آلی در این لجن به مواد پلیمری هم به منظور اختلاط سیمان و پسماند نیاز است. از طرف دیگر حجم پسماند در حدود ۳۰ درصد نیز افزایش می‌یابد بنابراین برای تصفیه لجن حوضچه تبخیری این روش نیز پیشنهاد نمی‌شود. بازیابی فلزات از لجن نیز هزینه‌بر بوده و به دلیل اینکه غلظت فلزات در حد زیادی نیست این روش نیز به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. در مورد لجن حوضچه تبخیری پس از کاهش پسماند از مبدأ، دفن در خاک‌چال پیشنهاد می‌شود زیرا از نظر اقتصادی نسبت به سایر روش‌ها هزینه کمتری در پی دارد به علاوه روش دفن در یک خاکچال استاندارد علاوه بر اینکه خود یک روش دفع است، به عنوان یک روش تکمیلی برای باقی‌مانده‌های سایر روش‌ها نیز مطرح می‌شود.

۳-۳- روش دفن در زمین

دفن اصولی لجن حوضچه تبخیری در زمین هم به عنوان یک راهکار مستقل برای دفع مستقیم پسماند در زمین و هم به عنوان راهکار مکمل برای روش‌های پیش گفته می‌تواند مطرح باشد. دفن پسماند لجن حوضچه تبخیری به دو شکل دفن در خاکچال استاندارد[10] و دفن سطحی و محصورسازی پسماند[11] می‌تواند صورت پذیرد.

یکی از مهم‌ترین اجزا در روش دفن در زمین، لاینر است که انتخاب مناسب آن برای جلوگیری از نشت آلاینده‌ها به خاک و آب‌های زیرزمینی نقش قابل توجهی در عملکرد صحیح روش دفن دارد. در این بررسی به منظور انتخاب لاینر مناسب در روش دفن در خاکچال از مدل IWEM استفاده شده است. یکی از ورودی‌های مهم و تاثیرگذار در این مدل، غلظت نشت آلاینده‌های موجود در پسماند است که به منظور لحاظ کردن سناریوهای مختلف، از غلظت‌های نشت متفاوتی استفاده شده است. بدین منظور غلظت‌های نشت ۹۰ درصد، ۷۰ درصد، ۵۰ درصد، ۳۰ درصد و ۱۰ درصد بررسی شدند. همچنین این غلظت‌ها برای انتخاب لاینر مناسب در سه محیط بررسی شدند. حالت اول شرایط کنونی نیروگاه، حالت دوم در صورت کاهش مساحت حوضچه تبخیری در نیروگاه و حالت سوم زمانی است که پسماند به محل دفن استاندارد منتقل شود. جدول ۶ سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

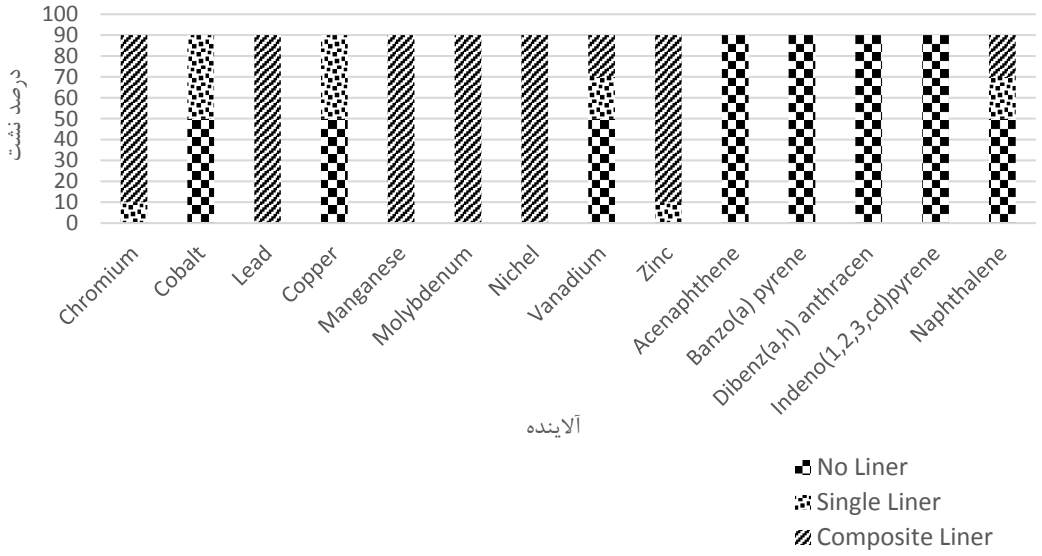
گزینه اول زمانی است که فاصله تا چاه ۱۰۰۰ متر، نوع خاک منطقه رسی-سیلتی-لومی و عمق آب زیرزمینی ۸۰ متر در نظر گرفته شده است که این مقادیر از اطلاعات موجود در خصوص نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند به‌دست آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- سناریوهای مختلف

پارامتر محیط	حالت اول (وضعیت موجود نیروگاه)	حالت دوم (کاهش مساحت حوضچه)	حالت سوم (انتقال به خاک‌چال)
فاصله تا چاه	۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰ متر	۱۶۰۰ متر
عمق آب زیرزمینی	۸۰ متر	۸۰ متر	۸۰ متر
نوع خاک	رسی- سیلتی- لومی	رسی- سیلتی- لومی	رسی- سیلتی- لومی
مساحت	۴/۵ هکتار	۱ هکتار	۱ هکتار



شکل ۱- لاینر مناسب در حالت کنونی نیروگاه

همانطور که شکل ۱ نشان می‌دهد، در این حالت با توجه به اینکه آلاینده‌هایی همچون سرب، منگنز، مولیبدن و نیکل در تمام غلظت‌ها نیاز به لاینر دوگانه دارند، بنابراین تنها لاینری که در همه غلظت‌ها می‌تواند از آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری کند، لاینر ترکیبی است.

یکی دیگر از مباحثی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، کاهش مساحت حوضچه تبخیری با توجه به مقدار پسماند تولید شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد در حال حاضر حوضچه تبخیری در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند مساحتی در حدود ۴/۵ هکتار دارد که این مساحت برای ذخیره پساب‌های شیمیایی و لجن حاصل از آن در نظر گرفته شده است. با توجه به حجم لجن تولیدی در طی ۵۰ سال می‌توان گفت که یک حوضچه با مساحت یک هکتار در داخل نیروگاه پاسخگوی لجن تولیدی در این مدت است. بنابراین لاینر پیشنهادی برای این مساحت از زمین در داخل نیروگاه در سناریوهای مختلف نشت، پیشنهاد شده است.

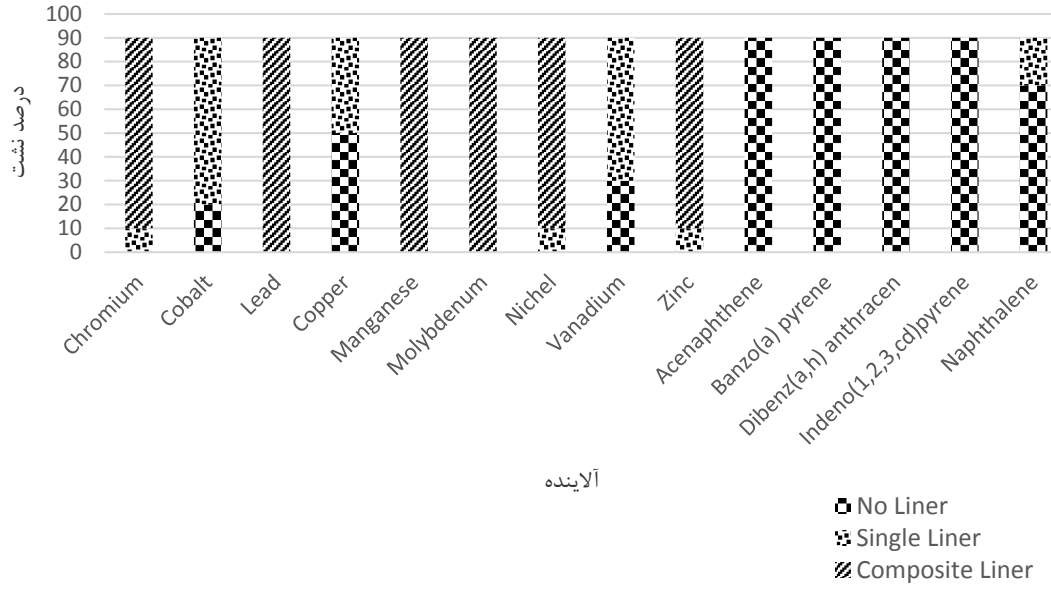
در صورتی‌که مساحت حوضچه تبخیری در نیروگاه کاهش یابد، در غلظت‌های متفاوت نشت آلاینده‌ها تغییرات بسیار جزئی نسبت به حالت اول در انتخاب لاینر مشاهده می‌شود، به عنوان مثال نیکل در حالت اول در تمامی غلظت‌ها به لاینر دوگانه نیاز دارد در حالیکه با کاهش مساحت در غلظت ۱۰ درصد نشت لاینر ساده نیز برای این آلاینده نقش حفاظتی دارد. اما به طور کلی در این حالت نیز تنها می‌توان از لاینر ترکیبی برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده کرد.

در صورتی‌که نیروگاه مقدار زمین مورد نیاز برای دفن سطحی را در سایت نیروگاه نتواند فراهم کند و یا حوضچه تبخیری در نیروگاه پاسخگوی مقدار لجن تولیدی نباشد، می‌توان از یک خاکچال مناسب در خارج از نیروگاه برای دفن لجن حوضچه تبخیری استفاده کرد.

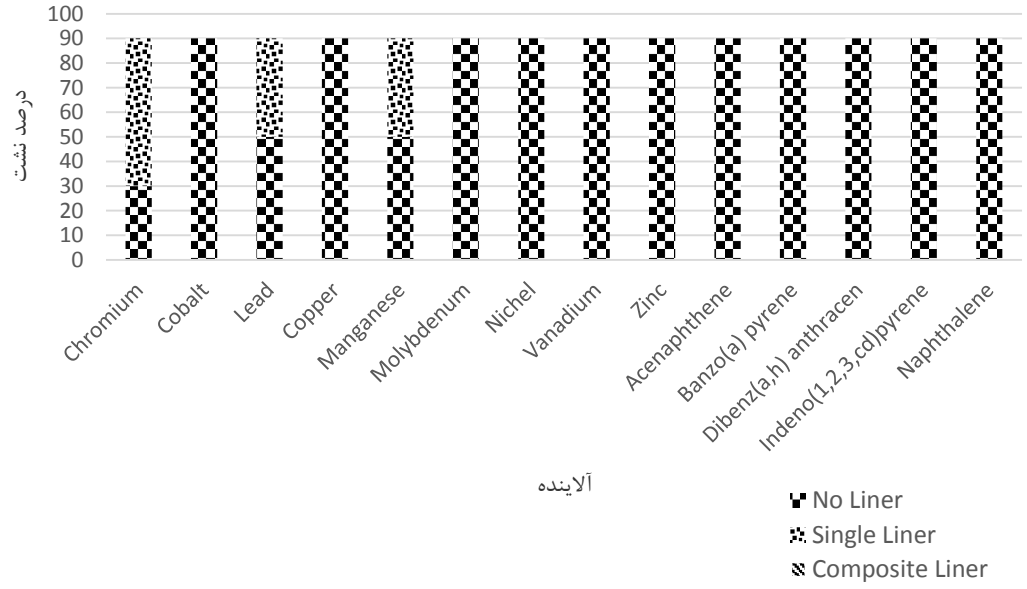
گام نخست در فرآیند دفن در خاک‌چال، شناسایی محل مناسب برای دفن پسماند خطرناک است که در این بررسی مکان دفن کهریزک انتخاب شده است. بر اساس اطلاعات موجود عمق آب زیرزمینی در این منطقه به طور متوسط ۸۰ متر و نوع خاک رسی-سیلتی- لومی در نظر گرفته شده است.

Archive

www.SID.ir



شکل ۲- لاینر مناسب برای دفن سطحی در حالت کاهش مساحت



شکل ۳- لاینر مناسب برای دفن در خاک‌چال

همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد در روش دفن در یک خاکچال استاندارد می‌توان از لاینر ساده برای همه غلظت‌های نشت استفاده کرد و حتی با کاهش غلظت نشت کروم تا ۳۰ درصد و غلظت نشت سرب و منگنز تا ۵۰ درصد می‌توان بدون لاینر هم پسماند را در زمین دفن کرد.

بنابراین همانطور که نتایج نشان می‌دهد در روش دفن سطحی در هر دو حالت تنها لاینری که می‌تواند در همه غلظت‌های نشت آلاینده‌ها از آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی محافظت کند لاینر ترکیبی است. بنابراین حتی در صورتی‌که با روش تثبیت و جامدسازی یا با کاهش از مبدأ تولید میزان آلاینده‌ها کاهش یابد در روش دفن سطحی، تنها لاینر ترکیبی می‌تواند از آب‌های زیرزمینی محافظت کند.

با مقایسه روش دفن سطحی با روش دفن در عمق در یک مکان دفن استاندارد (مکان دفن کهریزک) می‌توان نتیجه گرفت که در روش دفن عمقی در غلظت نشت ۹۰ درصد هم می‌توان از لاینر ساده استفاده کرد و اگر غلظت نشت سرب و منگنز به مقدار ۵۰ درصد و غلظت نشت کروم تا ۳۰ درصد کاهش پیدا کند دفن بدون لاینر هم امکان‌پذیر است.

www.SID.ir

۴- نتیجه‌گیری

یکی از پسماندهای تولید شده در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی لجن حوضچه تبخیری است که این پسماند ناشی از پساب‌های شیمیایی نیروگاه است. آنالیز نمونه لجن حاکی از آن است که به دلیل غلظت‌های بالای کروم و مس بر اساس استاندارد EPA، لجن حوضچه تبخیری در گروه پسماندهای خطرناک قرار می‌گیرد. با توجه به مقایسه انواع روش‌های مدیریت لجن حوضچه تبخیری مشخص شد که بهترین گزینه پس از کاهش از مبدأ، دفن در زمین است. برای انتخاب لاینر مناسب برای مکان دفن، از حساسیت درجه ۲ نرم افزار IWEM استفاده شد. به منظور تعیین میزان غلظت نشت، از سناریوهای مختلف با غلظت نشت‌های ۹۰ درصد، ۷۰ درصد، ۵۰ درصد ۳۰ درصد و ۱۰ درصد استفاده شد. نتایج بررسی حالت‌های مختلف بیانگر آن است که در صورتی که از روش دفن سطحی استفاده شود، در همه غلظت‌های نشت نیاز به لاینر ترکیبی است و حتی کاهش مساحت حوضچه تبخیری بر انتخاب لاینر مناسب تأثیر چندانی ندارد. اما در روش دفن در یک خاکچال استاندارد که در این بررسی مکان دفن کهریزک انتخاب شده است، در غلظت نشت ۹۰ درصد نیز می‌توان لاینر ساده برای پوشش کف محل دفن به کار برد و در صورتی‌که غلظت کروم تا ۳۰ درصد و غلظت سرب و منگنز تا ۵۰ درصد کاهش یابد می‌توان این پسماند را بدون لاینر نیز دفع کرد. در این بررسی تنها حالت‌های مختلف از رویکرد محیط‌زیستی بررسی شده‌اند، بنابراین برای مقایسه روش‌های دفن سطحی و دفن در یک خاکچال مناسب لازم است سایر پارامترها از جمله پارامترهای اقتصادی نیز بررسی شوند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Industrial Waste Evaluation Model
[2] Evaporation Pond
[3] Subtitle D
[4] Leachate Concentration Threshold Value (LCTV)
[5] Fate and Transport Model
[6] No Liner
[7] Single Clay Liner
[8] Composite liner
[9] Toxicity Characteristic Leaching Procedure
[10] Landfill
[11] Surface Impoundment

منابع

[1] Sadeghi M, Golavar L, Abedi z. Economic and environmental consequences of increasing the efficiency of fossil power plants. Journal of Environmental Science and Technology; **2007**; **9**(4):15-30.[**In Persian]**

[2] Saeedi M, Karbasi A, Sohrab T, Samadi R. Environmental management of power plants. Ministry of Energy; **2005 [In Persian]**

[3] Moshanir. Environmental impact assessment studies for Jahrom combined cycle power plant; **2011**. [**In Persian]**

[4] Saeedi M, Amini H R. Characterization of a thermal power plant air heater washing waste: a case study from Iran. *Waste management & research*; **2007**; ***25***(1):90-93.

[5] Gildeh H K, Saeedi M, Eshtehardian E, Taheriattar R. Solidification/Stabilization of Sludge Waste from Thermal Power Plants Using Portland Cement. Journal of Frontiers in Construction Engineering Mar; **2013**; **2**(1):10-16.

[6] Čudić V, Kisić D, Stojiljković D, Jović A. Ash from Thermal Power Plants as Secondary Raw Material. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju; **2007**; **58**(2):233-238.

[7] Meawad A S, Bojinova D Y, Pelovski Y G. An overview of metals recovery from thermal power plant solid wastes. Waste management; **2010**; **30**(12):2548-2559.

[8] Jozi A S, Pouriyeh A A. Health-safety and environmental risk assessment of power plants using multi criteria decision making method. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly; **2011**; **17**(4): 437-449.

[9] US EPA. Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for Use in Developing a Quality Assurance Project plan, EPA QA/G-5S, EPA/240/R-02/005; **2002**.

[10] Abdoli M A, Jalili Ghazizade M, Samiefard R. Hazardous waste management. Tehran University Publisher; **2010**. **[In Persian]**

[11] US EPA. Industrial Waste Management Evaluation Model (IWEM). User guide; **2002**

[12] Richardson G N, Koerner R M. "Geosynthetic design guidance for hazardous waste landfills cells and surface impoundments". EPA; **1989.**

Archive of SID

www.SID.ir