Journal of Health in the Field, Vol.7, No.2, Summer 2019 Research Article

Study on the physical and chemical characteristics of electric arc furnace dust from a steel plant and its reuse as an adsorbent

Zeynab Hosseinzadeh[1], Mehdi Saadati[2*], Abbasali Zamani [3] Abdolhosein Parizanganeh[4]

1- MSc, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2- MSc, Department of Environmental, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
4- Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

Background and Aims: EPA classifies dust from electric arc furnaces as hazardous waste. The purpose of this study was to measure the amount of heavy metals in dust and to investigate the removal of organic pollutants using this hazardous waste.

Materials and Methods: Dust samples were collected from the Esfarayen Steel Plant by coordinating the factory management. Following digestion of samples by Aqua regia solution in the laboratory, the concentration of heavy metals was measured using flame atomic absorption spectroscopy. To determine the rate of heavy metals recovery from the dust, distilled water was used with different pH of 11, 7, 5, 3, and 1. In addition, UV-spectrophotometry was used to investigate the ability of dust to adsorb organic pollutants. All stages of this research were conducted ethically.

Results: The average concentration of heavy metals in dust, in mg/kg, was obtained as iron> magnesium> zinc> manganese> nickel> lead> copper> cadmium> cobalt. The leaching study of this waste showed that cobalt metal ion has the highest leaching levels at different pH levels. Methylene Blue, Eriochrome Black T, Rhodamine, and Dexamethasone had the highest amount of adsorption by dust among the organic pollutants studied.

Conclusion: The present study showed that the recovery of iron concentrates in comparison with other metals is convenient and cost effective. Furthermore, the electric arc furnace dust can be used as a suitable inexpensive adsorbent.

Keywords: Dust Arc Furnace, Adsorbent, Heavy Metals, Organic Pollutants, Leaching

Please Cite this article as: Hosseinzadeh Z, Saadati M, Zamani A, Parizanganeh A, Rezaei A. Study on the physical and chemical characteristics of electric arc furnace dust from steel plant of Esfarayen and its reuse as an adsorbent. Journal of Health in the Field. 2019; 7(2):1-10.

***Corresponding Author:** Passive Defense Department, North Khorasan Governorate, Bojnourd, Iran.

Email: mehdi.saadati.iut@gmail.com

DOI : https://doi.org/10.22037/jhf.v7i2. 24513

Received: 2 March 2019

Accepted: 24 November 2019

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

مقاله پژوهشی

فصلنامه بهداشت در عرصه
دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی- دانشکده بهداشت و ایمنی
دوره۷ شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۱ تا ۱۰

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گردوغبار حاصل از کوره‌های قوس الکتریکی کارخانه فولاد و استفاده مجدد آن به‌عنوان جاذب

زینب حسین‌زاده[۱] ، مهدی سعادتی*[۲] ، عباسعلی زمانی[۳] ، عبدالحسین پری زنگنه[۴]

۱-کارشناس ارشد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲-کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳-دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴-استاد، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: گردوغبار حاصل از کوره‌های قوس الکتریکی توسط EPA جزء پسماندهای خطرناک طبقه بندی شده است. این مطالعه باهدف سنجش مقدار فلزهای سنگین در گردوغبار و بررسی حذف آلاینده‌های آلی با استفاده از این پسماند خطرناک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: با هماهنگی مدیریت کارخانه از محل دپوی گردوغبار کوره قوس الکتریکی کارخانه فولاد اسفراین، نمونه‌ها برداشت گردید. در آزمایشگاه پس از هضم نمونه‌ها توسط تیزاب سلطانی، غلظت فلزهای سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد و برای تعیین مقدار شستشوی فلزهای سنگین از گردوغبار، از آب مقطر با pHهای مختلف ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۱ استفاده شد، ضمن این‌که برای بررسی توانایی گردوغبار در جذب آلاینده‌های آلی از دستگاه اسپکتروفتومتری فرابنفش استفاده شد. تمامی مرحله‌های مطالعه حاضر طبق موازین اخلاقی اجرا گردید.

یافته‌ها: روند تغییر میانگین غلظت فلزهای سنگین در غبار برحسب mg/kg به‌صورت آهن>منیزیم>روی>منگنز>نیکل>سرب>مس>کادمیوم>کبالت به دست آمد. مطالعه آب‌شویی این پسماند نشان داد، یون فلزی کبالت در pHهای بیش‌ترین میزان آب‌شویی را نسبت به عنصرهای مورد مطالعه دیگر دارد. متیلن بلو، اریوکروم بلاک T، رودامین و دگزامتازون در بین آلاینده‌های آلی مورد مطالعه، بیش‌ترین مقدار جذب توسط گردوغبار را داشتند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد، بازیابی کنسانتره‌های آهن نسبت به فلزهای دیگر حاصل از این گردوغبار، مناسب و مقرون‌به‌صرفه است و استفاده از گردوغبار کوره قوس الکتریکی می‌تواند به‌عنوان جاذب مناسب، جایگزین جاذب‌های گران قیمت گردد.

کلیدواژه‌ها: گردوغبار کوره قوس الکتریکی، جاذب، فلزهای سنگین، آلاینده‌های آلی، آبشویی

***نویسنده مسئول:** ایران، خراسان شمالی، بجنورد، میدان دفاع، استانداری خراسان شمالی، اداره کل پدافند غیرعامل.
Email: mehdi.saadati.iut@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۹۷/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۸/۹/۳

مقدمه

یکی از رایج‌ترین عنصرهای زمین، آهن است که به‌طور تقریبی ۵ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و به روش کاهش با کربن استخراج می‌گردد و فولاد معروف‌ترین آلیاژ آهن است که به سه روش کلاسیک یا کوره بلند، روش احیای مستقیم سنگ آهن و نیز ذوب آهن اسفنجی و قراضه‌های فولادی با استفاده از کوره قوس الکتریکی به‌دست می‌آید [۱]. در سال ۲۰۱۳، بیش از ۱/۶ میلیارد تن فولاد خام در سراسر جهان تولید شد، درحالی‌که به‌طور تقریبی ۳۰٪ از این مقدار به روش کوره‌ی قوس الکتریکی (EAF) تولید شده است [۲]. صنعت فولاد مانند هر صنعت تولیدی دیگری، زباله تولید می‌کند، در حدود ۲۰-۱۵ کیلوگرم گردوغبار ریز شامل آهن و فلزهای غیر آهنی (Cr ،Mg، Pb ،Cd ،Zn) به ازای هر تن فولاد به‌وسیله کوره قوس الکتریکی تولید می‌شود [۲]. مطالعه‌های مختلف نشان می‌دهد، در هر سال حدود ۳/۷ میلیون تن گردوغبار کوره قوس الکتریکی (EAFD) در جهان تولید می‌گردد [۳]. بر اساس لیست European Waste و Hazardous Waste گردوغبار حاصل از EAF به دلیل وجود فلزهای سنگین جزء زباله‌های خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند [۴].

غبار کوره‌های فولادسازی به دلیل حضور ترکیب‌های سمی، اندازه ذرات و وزن، مقدار تولید روزانه که بیش‌تر دفع آن با استفاده از روش تخلیه سنتی محیط را تهدید می‌کند و مشکلات محیط زیستی هم‌چون آلودگی خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی و آلودگی هوا را در بلندمدت به همراه دارند. درنتیجه محتوای فلزهای سنگین از یک‌سو و مشکلات ناشی از دفع این پسماند خطرناک صنعتی از سوی دیگر سبب شده است که روش‌هایی پیرامون استفاده مجدد از غبار کوره قوس الکتریکی مورد بررسی قرار بگیرد. سه دلیل عمده برای پردازش گردوغبار حاصل از EAF وجود دارد. نخست این‌که بازیابی کنسانتره‌های آهن به‌عنوان یک ماده خام مناسب در تولید فولاد یا چدن بشمار می رود. دلیل دوم این است که با توجه به قیمت روی در بازار جهانی بازیابی روی به‌عنوان یک محصول تجاری مقرون‌به‌صرفه است. پردازش گردوغبار EAF، باهدف کاهش میزان خطر برای محیط زیست و یا تبدیل آن به زباله‌های غیر خطرناک دلیل سوم این بازیابی است [۵]. قرار گرفتن در معرض این گردوغبار به دلیل وجود برخی از فلزات سنگین ازجمله کادمیوم، سرب، روی، منگنز، کروم، کبالت و مس می‌تواند یک بیماری شناخته شده با عنوان تب بخار فلز تولید کند [۶]. گردوغبارهای فلزی بسیار ریز می‌توانند تا عمق شش‌ها نفوذ کرده و به آلوئل‌ها برسند و سبب بیماری‌های ریوی متعددی شوند [۷]. از یک‌سو سمیت گردوغبار کوره قوس الکتریکی و از سوی دیگر لزوم استفاده دوباره از این پسماند سبب شده است تا به این پسماندها توجه شود.

در حال حاضر روش‌های مختلفی ازجمله ترسیب شیمیایی، تبادل یونی، استفاده از نانوذرات، جداسازی غشایی، انعقاد و لخته سازی، شناورسازی، جذب بیولوژیکی و جذب سطحی برای حذف و بازیافت فلزهای سنگین از پساب صنایع مورد استفاده قرار گرفته است [۹،۸]. از میان روش‌های گفته شده، روش جذب به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن و دسترسی راحت به‌عنوان یک روش مناسب برای تصفیه شناخته شده است [۱۱،۱۰]، گردوغبار کوره قوس الکتریکی (EAF) به‌عنوان ضایعات صنعتی معمولی اغلب به‌عنوان جذب کننده یا مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعه‌های مختلف به بررسی قابلیت حذف فلزهای سنگین و آلاینده‌های آلی توسط جاذب‌هایی از قبیل سرباره فولاد، گردوغبار کوره قوس الکتریکی، مواد ضایعات فلزی، زغال پوسته برنج، آلومینای فعال، نمک دریا، پوست زیتون تلخ، هسته زغالی شده خرما، خاک اره چوب درخت کاج، تفاله چای، پوسته آفتابگردان و پوست میوه‌ها و درختان حاصل از پساب صنایع پرداختند. این جاذب‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی برای حذف فلزهای سنگین و سایر آلاینده‌ها استفاده شده‌اند [۱۷-۱۲].

مقدار تولید گردوغبار به‌وسیله کوره قوس الکتریکی (EAF) در کارخانه فولاد اسفراین به‌طور تقریبی ۳۰۰۰ تن در سال است که می‌تواند با عدم مدیریت صحیح سبب مشکلات محیط زیستی فراوان شود. این مطالعه باهدف بررسی مقدار فلزهای سنگین در نمونه‌های گردوغبار و بررسی توانایی جذب آلاینده‌های آلی توسط آن و ارائه راهکاری مناسب برای مدیریت و نگهداری این پسماند خطرناک در کارخانه فولاد اسفراین انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

شهرستان اسفراین با مختصه‌های جغرافیایی ۳۶ درجه ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۶ درجه ۵۷ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۷ دقیقه طول جغرافیایی در شمال شرق کشور و جنوب شهرستان بجنورد واقع شده است. مجتمع فولاد اسفراین از سال ۱۳۷۰ فعالیت خود را در زمینی به مساحت ۱۲۵۰ هکتار در کیلومتر ۱۲ جاده اسفراین- بجنورد آغاز و یکی از مهم‌ترین واحدهای صنعتی کشور در زمینه تولید فولادهای آلیاژی به مقدار ۸۱ هزار تن در سال و قطعه‌های فولادی به مقدار ۱۲۰ هزار تن در سال برای صنایع مختلف محسوب می‌شود. در این مجتمع از سه محل A، B و C به روش تصادفی تعداد ۵ نمونه از هر محل به مقدار ۱ کیلوگرم با دست برداشت شد و پس از مخلوط کردن نمونه‌های هر محل، مقدار

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

وزن نهایی ۳ کیلوگرم از هر محل درون کیسه ریخته و به آزمایشگاه انتقال گردید. A معرف نمونه تازه تولید شده گردوغبار توسط کوره قوس الکتریکی، B معرف دپوی تازه (تولید شده کم‌تر از یک ماه) و C معرف دپوی قدیمی (تولید شده بیش از یک سال) است. یکی از فرضیه‌های تحقیق این بود که هر چه از زمان تولید گردوغبار و انباشته شدن در محیط رو باز بیش‌تر گذشته باشد، احتمال مقدار جذب آلاینده‌ها کاهش می‌یابد؛ زیرا دپوی قدیمی نسبت به دپوی جدید بیش‌تر تحت تأثیر بارش‌های جوی و جریانات بادی قرار گرفته و احتمال افزایش سطح چسبندگی و کاهش خلل و فرج به همراه آبشویی فلزهای سنگین در آن بیش‌تر است.

آنالیز نمونه‌ها

در آزمایشگاه ، نمونه‌های گردوغبار در دمای ۱۱۰ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون به وزن ثابت رسیدند. سپس جهت سنجش فلزهای سنگین در نمونه‌های غبار، مقدار ۵ گرم از هر نمونه با ۳ بار تکرار توسط ۵۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (نسبت ۳ به ۱ اسیدهیدروکلریک ۳۳ درصد به اسید نیتریک ۶۵ درصد) درون ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری هضم اولیه شدند. برای هضم کامل، نمونه‌ها روی دستگاه هیتر نخست در دمای ۹۰ سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه و سپس در دمای ۱۲۰ سانتی‌گراد با همان زمان هضم نمونه‌ها صورت پذیرفت مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از سرد شدن نمونه‌ها و صاف کردن محلول استخراج شده در زیر هود نمونه را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ مدل (Universal ۳۲۰) نمونه‌ها صاف شد و در دمای ۴ سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند [۱۸]. در مرحله آخر، غلظت فلزهای همه نمونه‌های آماده شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی-شعله، مدل (Perkin Elmer AAnalyst ۲۴۰) اندازه‌گیری شد.

برای تعیین مقدار فلزهای قابل شستشو حاصل از گردوغبار نیز پس از انتقال مقدار ۲۰ گرم از نمونه‌ها به درون ارلن،۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با pHهای مختلف ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۱ به آن اضافه گردید و پس از گذشت ۲۴ ساعت محلول‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول استخراج شده نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی- شعله، مدل (Perkin Elmer AAnalyst ۲۴۰) مورد سنجش قرار گرفتند [۱۹]. هدف از انجام آزمایش اسیدشویی، بررسی انتقال فلزهای سنگین توسط محلول‌های اسیدی ضعیف به‌منظور شبیه‌سازی شرایط باران اسیدی و بازی و یا امکان استفاده از محلول‌های اسیدی یا بازی جهت استحصال فلزهای محتوی گردوغبار است.

در بررسی توانایی گردوغبار در حذف آلاینده‌های آلی از محیط‌های آبی، برای تهیه محلول اولیه مقدار ۲ گرم از داروهای سیپروفلوکساسین، سولفامتوکسازول، دیکلوفناک، فنل، مترونیدازول، متیلن بلو، رودامین ایمیداکلوپراید، بروموکروزول و دگزامتازون و رنگ اریوکروم بلک با خلوص بالای ۹۰ درصد درون بالن ریخته شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده و توسط دستگاه شیکر به مدت یک ساعت با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه توسط دستگاه شیکر هم زده شد، سپس درون بالن‌های ۵۰ میلی‌لیتری غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ppm ۱۰۰ از محلول اولیه تهیه گردید. در ادامه برای بررسی توانایی جذب گردوغبار ، مقدار ۱ گرم از نمونه گردوغبار و ۵۰ میلی‌لیتر محلول محتوی هر یک از ترکیب‌های آلی با غلظت‌های مشخص (۲۰، ۳۰ و ppm ۱۰۰) به مدت یک ساعت توسط دستگاه شیکر هم زده شد و پس از صاف کردن و سانتریفیوژ نمودن، مقدار ترکیب‌های آلی باقیمانده در محلول آب به کمک دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis مدل (Analytica-jena) در طول موج بیشینه مقدار هر ترکیب آلی اندازه‌گیری شد [۲۰،۱۹]. درصد جذب نیز توسط معادله‌ی ۱ محاسبه گردید:

معادله ۱

$$A(\%) = \frac{C_{Int} - C_{Fin}}{C_{Int}} * 100$$

A درصد جذب، C_{int} غلظت محلول اولیه، C_{fin} غلظت در محلول نهایی

pH و EC نمونه‌های گردوغبار کوره‌ی قوس الکتریکی در محلول ۱: ۲/۵ گردوغبار به آب مقطر و با استفاده از دستگاه pH متر مدل Jenway 3330 و EC متر مدل Jenway 4310 اندازه‌گیری شد [۲۱].

یافته‌ها

مشخصات فیزیکوشیمیایی گردوغبار کوره قوس الکتریکی

در جدول شماره ۱، تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گردوغبار نشان می‌دهد که نمونه‌های دپوی جدید دارای pH بیش‌تری هستند؛ هم‌چنین این داده‌ها تایید می‌کند که پس از انتقال نمونه‌های غبار به مرکز دپوی شرکت و گذشت زمان از میزان قلیاییت آن‌ها کاسته می‌گردد. داده‌های هدایت الکتریکی نیز این موضوع را تایید می‌کند. با گذشت زمان، هدایت الکتریکی نمونه‌ها کم شده است. هم‌چنین در جدول شماره ۱ مقدار غلظت فلزهای سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقه مورد مطالعه نیز در ۳ نمونه A، B و C آورده شده است. در تمام نمونه‌های غبار غلظت Fe نسبت به عنصرهای دیگر بیش‌تر است.

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

بررسی تأثیر pH های مختلف بر شستشوی فلزهای سنگین حاصل از گردوغبار

شستشوی گردوغبار به‌وسیله آب با pHهای مختلف نشان داد که بیش‌ترین مقدار آبشویی برای عنصرهای روی و منیزیم در محدوده pH= ۷ اتفاق می‌افتد و با افزایش میزان قلیاییت از مقدار شستشوی روی و منیزیم کاسته می‌شود (شکل ۱).

توالی فلزهای آبشویی شده حاصل از گردوغبار در pH برابر ۵

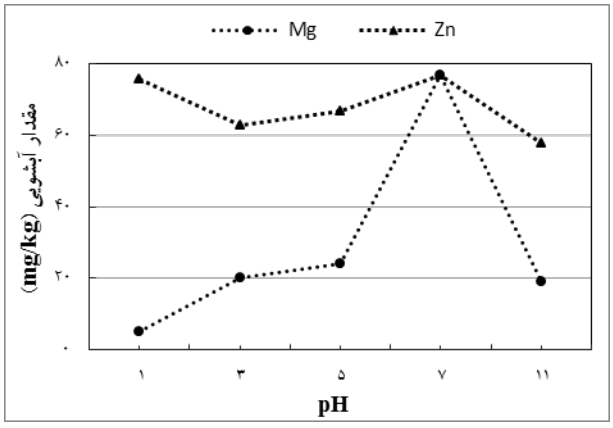
مقدار pH برابر ۵ یعنی شرایط باران اسیدی که می‌تواند در یک منطقه وجود داشته باشد. مقایسه مقدار کل فلزهای سنگین و مقدار فلزهای آبشویی گردوغبار کوره قوس الکتریکی در شکل شماره ۳ نشان می‌دهد که یون‌های فلزی کبالت و کادمیوم بیش‌ترین میزان آب‌شویی را نسبت به عنصرهای سنگین دیگر دارند. توالی درصد فلزهای آبشویی در pH= ۵ در گردوغبار مطالعه حاضر به صورت Co > Cd > Zn > Pb > Cu > Mg >Fe, Ni, Mnبه دست آمد کادمیوم و سرب در شستشوی با آب در pH= ۵ یا کمی محدوده اسیدی (pH باران اسیدی) بیش‌ترین انحلال را نشان می‌دهد. در نتیجه در زمان بارندگی، احتمال آب‌شویی و نفوذ کادمیوم و سرب به خاک و آب‌های زیرزمینی حاصل از گردوغبار بیش‌تر است. مقدار شستشوی آهن، کبالت، مس و نیکل درمحیط اسیدی و خنثی به‌طور تقریبی بانرخ ثابت و کم‌تر به pH آب وابستگی دارد. منگنز فقط در pH= ۳ و محیط اسیدی تمایل به آبشویی دارد و با افزایش pH مقدار شستشوی این فلز ثابت می‌شود(شکل ۲).

جدول ۱- مقدار فلزهای سنگین در گردوغبار کوره قوس الکتریکی (mg/Kg)

Table -1 Amount of heavy metals in dust of electric arc furnace (mg/Kg)

نمونه	Cd	Pb	Co	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe	pH	EC*
A	۶/۸	۱۹۰	۴۰/۶	۴۴۲۴۰	۱۱۳۶۰	۹۶۰۰	۴۰۸	۶۸۴۰	۳۷۶۰۰۰	۱۳/۸	۱۰۶/۲
B	۱۰۳/۴	۴۹۲	۳۳/۲	۳۷۸۰	۱۰۶۲۰	۱۴۲	۳۷۸	۵۷۲۰	۳۶۴۰۰۰	۱۳/۳۵	۱۰۸/۳
C	۴۶/۸	۲۹۸۰	۲۹/۴	۲۸۱۰۰	۹۵۰۰	۴/۸	۴۷۰	۲۹۴۲۰	۳۲۶۰۰۰	۹/۹۵	۲۴/۲
میانگین	۵۲/۳	۱۲۲۰/۶	۳۴/۴	۲۵۳۷۳/۴	۱۰۴۹۳/۳	۳۲۴۹	۴۱۸/۸	۱۳۹۹۳/۳	۳۵۵۳۳۳/۳	۱۲/۳۷	۷۹/۵۷

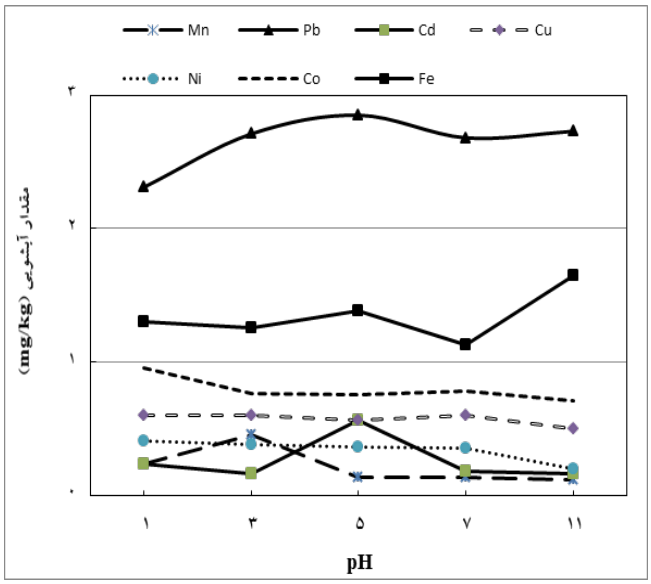
*میلی زیمنس/ سانتی‌متر



شکل ۱- تاثیر مقدار pH آب بر استخراج فلزهای منیزیم و روی از گردوغبار (میلی گرم بر کیلوگرم)

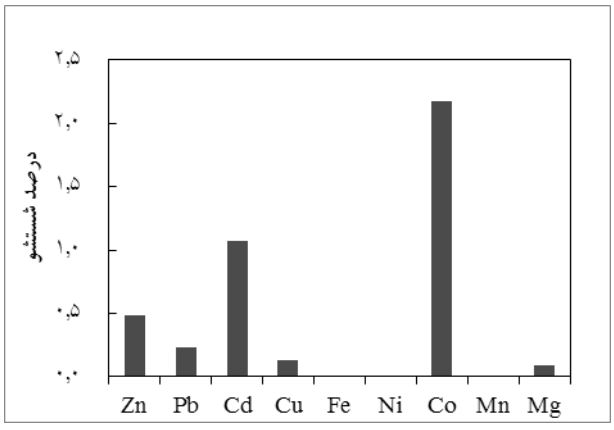
Figure 1- Effect of pH of Water on the Mg and Zn metals extraction from dust (mg/Kg)

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.



شکل ۲- تاثیر مقدار pH آب بر استخراج فلزهای سنگین از گردوغبار (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Figure 2- Effect of pH on the heavy metals extraction from dust (mg/Kg)

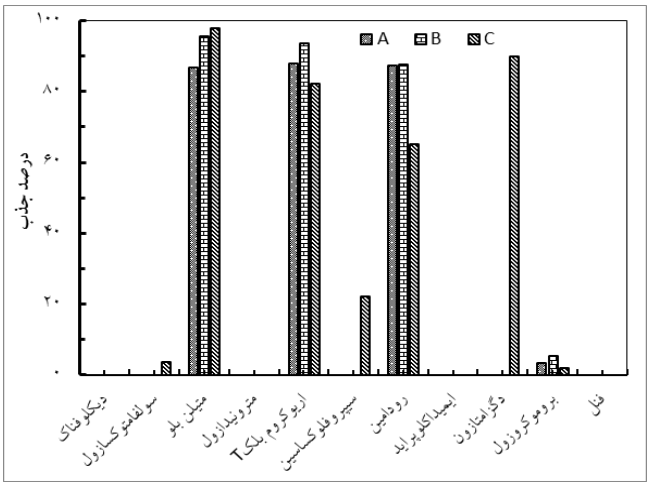


شکل ۳- درصد شستشوی فلزهای سنگین گردوغبار در pH= ۵

Figure 3- Percent of heavy metal leaching of dust in pH ۵

بررسی استفاده از گردوغبار کوره قوس الکتریکی به‌عنوان جاذب

نتیجه آزمایش‌های جذب آلاینده‌های آلی توسط گردوغبار در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. رنگ‌هایی ازجمله متیلن بلو، اریوکروم بلک T و رودامین، بیش‌ترین درصد جذب توسط جاذب گردوغبار را داشتند. در صورتی که دگزامتازون و سیپروفلاکساسین در نمونه‌های دپوی قدیمی، مقدار جذب قابل ملاحظه‌ای داشتند.



شکل ۴- جذب آلاینده‌های آلی توسط گردوغبار کوره قوس الکتریکی به‌عنوان جاذب

Figure 4- Adsorption of organic pollutants with electric arc furnace dusts as adsorbent

بحث

مقایسه مقدار ترکیب شیمیایی غبار در مطالعه حاضر با مطالعه‌های مختلف (جدول ۲) نشان داد که داده‌های مطالعه حاضر با مطالعه‌های دیگر هم‌خوانی دارد. با این تفاوت که مقدار روی در مطالعه حاضر نسبت به مطالعه‌های دیگر دارای غلظت کم‌تری است که این امر را می‌توان به ماده اولیه ورودی کوره (قراضه‌ها و گندله‌ها) ربط داد؛ بنابراین بازیابی روی به‌عنوان یک محصول تجاری از گردوغبار حاصل از کوره قوس الکتریکی در این مجتمع صنعتی نمی‌تواند مقرون‌به‌صرفه باشد. با این‌وجود در کار حاضر آهن به‌طور تقریبی ۳۷/۶ درصد از ترکیب شیمیایی گردوغبار کوره قوس الکتریکی را شامل می‌شود که می‌تواند بازیابی کنسانتره‌های آهن به‌عنوان یک ماده خام از غبار را توجیه کند. مقدار زیاد آهن در گردوغبار می‌تواند کاربرد دوباره این پسماند در محصول‌های مختلف به‌ویژه کاربرد در بتن و استفاده از آن به‌عنوان جاذب مغناطیسی را توجیه کند. در مطالعه‌های زیادی از ترکیب‌های آهن مغناطیسی برای جذب فلزهای سنگین و آلاینده‌های مختلف آلی (باقیمانده رنگ و دارو) از آب استفاده شده است [۲۳،۲۲،۵]. هم‌چنین استفاده از این گردوغبار به دلیل وجود ویژگی مغناطیسی آن می‌تواند این مزیت را داشته باشد که به آسانی جاذب به‌کار گرفته شده از محیط آبی با استفاده از آهن‌ربا جداسازی شود. مشاهده جذب فلزهای سنگین بر روی گردوغبار می‌تواند به دلیل وجود خلل و فرج‌های فراوان در این پسماند باشد [۲۴].

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

جدول -۲ مقایسه ترکیب شیمیایی گردوغبار کوره قوس الکتریکی در مطالعه حاضر با مطالعات انجام شده دیگر*

Table 2- Comparison of chemical compounds of electric arc furnace dusts in the present study with other done completed studies

منابع	Cd	Pb	Co	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
۲۵	–	۲/۱۷	–	–	۲/۳	۰/۱	۰/۲	۳۳	۲۶/۵
۲۶	۰/۰۷	۴/۰۵	–	–	۱/۹۵	۰/۰۴	۰/۳۵	۲۸/۴۷	۳۶/۴۶
۲۷	۰/۱۱	۳/۶۴	–	–	۴/۱۱	–	۰/۲۵	۲۹/۱	۲۴
۲۸	۰/۰۴	۲/۱۲	–	–	–	–	–	۸/۰۸	۴۵/۲۴
۲۹	۰/۰۱	۰/۲	–	–	۱/۹۴	۰/۰۳	۰/۱۴	۱۷/۹۹	۴۵
۳۰	۰/۰۴	۲/۱	–	–	–	–	–	۸	۴۵
۳۱	۰/۰۵	۲/۰۵	–	–	۱/۶۸	۰/۰۷	۰/۳	۱۸/۹۶	۳۲/۰۹
۵	۰/۰۹	۱/۲۸	–	–	۱/۰۳	–	–	۱۷/۰۵	۲۷/۲۳
مطالعه حاضر	۰/۰۰۵	۰/۱۲	۰/۰۰۳	۲/۵۳	۱/۰۴	۰/۳۲	۰/۰۴	۱/۳	۳۵/۵۳

* عددها بر حسب درصد **وزنی** (wt.%)

میانگین غلظت فلزهای غیرضروری کادمیوم و سرب در خاک با توجه به استانداردهای جهانی به ترتیب ۰/۳۵ و ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است [۳۲]. با توجه به غلظت بالای کادمیوم و سرب در گردوغبار تولیدی کارخانه فولاد اسفراین، این احتمال وجود دارد، در درازمدت به دلیل دپو در محیط روباز، سبب آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به‌وسیله عامل‌هایی هم‌چون آب شویی، جابه‌جایی توسط باد و غیره در منطقه شود؛ زیرا فلزهای سنگین غیرضروری هم‌چون کادمیوم و سرب، آلاینده‌های سمی و پایداری هستند که در کم‌ترین مقدارخود سبب آسیب در سطوح مختلف زنجیره غذایی می‌شود. در صورتی که فلزهایی هم‌چون آهن، منیزیم، روی، مس، کبالت، نیکل و منگنز جزء فلزهای ضروری و به مقدار خیلی زیاد در طبیعت یافت می‌شوند و وجود مقدارهای اندک آن‌ها در بدن موجودات زنده لازم است [۳۳].

مرور مطالعه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داد، ترکیب شیمیایی EAFD بسیار پیچیده و متغیر است؛ زیرا علاوه بر نوع قراضه مصرفی و نوع فولاد تولیدی، به شرایط کاری و فرآیندی نیز بستگی دارد. تغییری اندک در نسبت مواد شارژ شده در یک ذوب نسبت به ذوب دیگر می‌تواند سبب تغییر در ترکیب شیمیایی غبار گردد [۳۴]؛ بنابراین تغییر در روند فلزهای سنگین در نمونه‌های مختلف این مطالعه می‌تواند ناشی از تغییر در منبع مواد اولیه شارژ باشد.

بر اساس مطالعات گذشته توانایی شستشو فلزات سنگین در گردوغبار با افزایش pH کاهش می‌یابد، با این تفاوت که مقدار شستشوی سرب و کروم با افزایش pH افزایش می‌یابد [۳۶،۳۵]. مقدار شستشوی فلزهای سنگین در این مطالعه با مطالعات گذشته کمی متفاوت است. pH بر تجمع و انتقال فلزهای سنگین در خاک موثر است. در خاک‌های با pH اسیدی، عنصرهای فلزی بیش‌تر به صورت کاتیونی و قابل جذب هستند، در حالی که در خاک‌های قلیایی، عنصرهای فلزی موجود در خاک بیش‌تر به صورت رسوب بوده و تحرک کم‌تری دارند؛ بنابراین، خطر فلزهای سنگین در خاک‌های اسیدی بیش‌تر از خاک‌های قلیایی است. هدایت الکتریکی زیاد خاک نیز نشان دهنده حالت کاتیونی و قابل جذب بودن عنصرهای فلزی است [۳۸،۳۷]. یافته‌ها نشان داد، نمونه‌های دپوی جدید دارای pH و EC بیش‌تری هستند و با گذشت زمان از میزان قلیاییت و EC نمونه‌ها کم می‌گردد. این داده‌ها نشان می‌دهند که دپوکردن غبار در مکان‌های سرباز سبب می‌شود تا بخشی از ترکیب‌های قلیایی و یون‌های فلزی از نمونه‌های غبار خارج شود و جذب خاک شوند.

بر پایه یافته‌های طرح کالبدی شمال شرق ایران، میزان انتشار انواع آلاینده‌های هوا ناشی از صنایع در شهرستان اسفراین بر اساس روش AP۲۴ در مجموع ۱۴۸/۳۹ تن در سال به دست آمد که از این مقدار ۶۱/۳۴ تن سهم NOXها، ۴۸/۸۸ تن CO، ۱۲/۱۱ تن VOC، ۱۲/۱۳ تن N_2O، ۶/۵۲ تن PM_{10}، ۶/۰۶ تن CH_4، ۱/۳۵ تن SO_2 است. بزرگترین و مهمترین صنعت تولید کننده آلاینده‌ها در شهرستان اسفراین، کارخانه فولاد این منطقه است که با رعایت نکردن الزامات زیست‌محیطی، می‌تواند نقش به سزائی در برهم‌زدن تعادل اکولوژیک منطقه داشته باشد. احتمال می‌رود در مواقع بارش باران و برف در منطقه مورد مطالعه، ترکیبات نیترات سهم بیشتری در اسیدیته شدن نزولات جوی (pH اسیدی) با توجه به مقدار آن‌ها در جو داشته باشند و طبق نتایج مطالعات، میتراکاس و همکاران (۲۰۰۷) و سباگ و همکاران (۲۰۰۹) با کاهش pH مقدار شستشوی

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

عناصر سنگین به خصوص کادمیوم، سرب و منگنز افزایش یابد. هدف از آبشویی در مطالعه حاضر بررسی رفتار گردوغبار در pH های مختلف باران و نزولات جوی بود. به‌طور عمده pH آب باران در محدوده ۵ و کمی اسیدی می‌باشد و در شکل شماره ۳ نشان داده شد که فلزات کبالت و کادمیوم در pH آب باران بیشترین مقدار آبشویی و فلز آهن کمترین مقدار آبشویی را داراست که بازیابی این فلز را توجیه می‌کند.

پساب صنایع مختلف غذایی، نساجی، کاغذسازی، لاستیک و پلاستیک‌سازی حاوی غلظت‌های مختلفی از رنگ است که به نوع صنعت مربوطه بستگی دارد. در صورت تخلیه فاضلاب‌های رنگی به محیط پیش از تصفیه، می‌تواند سبب ایجاد مشکلات عدیده و قابل‌توجهی به محیط‌زیست شود [۳۹]. در بسیاری از کشورها دستورالعمل‌هایی در خصوص تصفیه این نوع فاضلاب‌ها پیش از تخلیه به محیط زیست، تعیین و روش‌های مختلف مانند فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی برای جذب رنگ از پساب‌ها ارائه شده است [۲۳]. در این مطالعه برای بررسی مقدار جذب و حذف آلاینده‌های آلی ناشی از پساب صنایع، از گردوغبار EAF به‌عنوان جاذب استفاده شد. طبق نتایج شکل شماره ۴، رنگ‌هایی ازجمله متیلن بلو، اریوکروم بلک T و رودامین، بیش‌ترین درصد جذب توسط جاذب گردوغبار را داشتند. در صورتی که دگزامتازون و سیپروفلاکساسین در نمونه‌های دپوی قدیمی مقدار جذب قابل ملاحظه‌ای داشتند که به سبب عامل‌هایی از قبیل خلل و فرج، دانه بندی گردوغبار و سطح چسبندگی گردوغبار است.

بهترین شرایط برای حذف متیلن بلو با فرمول مولکولی $C_{16}H_{18}ClN_3S$ در ۵۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت ppm ۲۰، مقدار جاذب ۵ گرم، زمان تماس ۶۰ دقیقه، سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. در این شرایط ۸۶/۸۳ درصد از متیلن بلو با استفاده از نمونه گردوغبار کوره، ۹۵/۶۱ درصد در نمونه دپوی جدید و هم‌چنین ۹۸/۰۹ درصد در نمونه دپوی قدیمی حذف شدند. هم‌چنین در خصوص رودامین با فرمول مولکولی $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ با غلظت ppm۳۰ به‌ترتیب ۸۷/۵۴ درصد حذف در نمونه غبار کوره، ۸۷/۶۹ درصد در نمونه دپوی جدید، ۶۵/۲۹ درصد در نمونه دپوی قدیمی حذف مشاهده گردید. در مورد حذف اریوکروم بلک T با فرمول مولکولی $C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$ با همین شرایط ولی در غلظت ppm ۱۰۰، بیش‌ترین مقدار حذف به ترتیب مربوط به نمونه دپوی جدید به مقدار ۹۳/۸۳ درصد، نمونه غبار کوره، ۸۸/۰۶ درصد و نمونه دپوی قدیمی، ۸۲/۳۰ درصد می‌باشد. دگزامتازون با فرمول مولکولی $C_{22}H_{29}FO_5$ نیز با غلظت ppm ۳۰ تنها در نمونه دپوی قدیمی با ۹۰/۱۶ درصد حذف شد. با توجه به ساختار مولکول‌های نشان داده شده، بهترین شرایط برای حذف سیپروفلاکساسین با فرمول مولکولی $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ در ۵۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت اولیه ppm ۲۰، مقدار جاذب ۵ گرم، pH برابر ۸-۶، زمان تماس ۱۵ دقیقه، سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. درنتیجه می‌توان، گردوغبار کوره قوس الکتریکی را برای حذف آلاینده‌های آلی خنثی، بازی و کاتیونی به‌کار برد؛ ویژگی مشترک این آلاینده‌ها حلقه‌های شش تایی بنزنی و سیکلوهگزانی می‌باشد. استفاده از گردوغبار صنعت فولادسازی به‌عنوان جاذب به دلیل هزینه پایین، در دسترس بودن، کارایی بالا و انعطاف پذیری در تصفیه رنگ‌های تغلیظ شده برای استفاده در پساب صنایع مختلف قابل توجیه است.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گردوغبار حاصل از کوره قوس الکتریکی کارخانه فولاد نشان داد که مدیریت و نگهداری این پسماند به دلیل وجود فلزهای سنگین، ضروری است. بازیابی کنسانتره‌های آهن نسبت به فلزهای دیگر از این گردوغبار مناسب و مقرون‌به‌صرفه است. بررسی میزان آبشویی فلزها در pHهای مختلف نشان داد که در آب باران با pHدر محدوده خنثی، فلزهای روی و منیزیم، بیش‌ترین میزان آبشویی را خواهند داشت. فلزهای کادمیوم، سرب و منگنز در محیط اسیدی بیش‌تر تمایل به آبشویی را دارند و آبشویی فلزهای آهن، کبالت، مس و نیکل در محیط‌های اسیدی و بازی به‌طور تقریبی ثابت است. در pH برابر با ۵ (باران اسیدی)، روند آبشویی فلزهای سنگین به ترتیب بصورت کبالت > کادمیوم > سرب >روی > مس> منیزیم > نیکل > منگنز > آهن به دست آمد. هم‌چنین از گردوغبار صنایع فولاد به سبب وجود اکسیدهای فلزی به ویژه آهن برای حذف آلاینده‌های آلی متیلن بلو، اریوکروم بلک T، رودامین، دگزامتازون و سیپروفلاکساسین حاصل از پساب صنایع مختلف می‌توان استفاده کرد. به دلیل روباز بودن محیط دپوی این پسماند پیشنهاد می‌گردد، برای جلوگیری از جابه‌جایی غبار توسط باد و آبشویی به‌وسیله باران، لایه‌ای از مالچ نفتی روی سطح دپوها پاشیده شود تا سبب افزایش سطح چسبندگی و کاهش نفوذپذیری و آبشویی آن شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از نویسندگان مقاله و مسئول آزمایشگاه کارخانه شمش‌سازان روی زنجان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

Refrences

1- Kasmaei Z. Control methods for reducing pollutants from iron and steel industries. Proceedings of the 3rd Conference & Exhibition is Environmental Engineering 2009 Oct. 3-5; Tehran, Iran (In Persian).

2- World Steel Association. Steel Statistical Yearbook. [cited 2012 Feb. 18]. Available from: http: http://www.worldsteel.org.

3- De Goicoechea y, Gandiaga N, Vergara BG. The situation of EAF dust in Europe and the upgrading of the Waelz process. Proceedings of the InREWAS'99: Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology 1999 Sep. 5 - 9; San Sebastián, Spain. P: 1511-1520.

4- National Waste Collection Permit Office. EuropeanWaste Catalogue and HazardousWaste List— Environmental Protection Agency 2002. [cited 2018 Jan. 18]. Available from: http: http://www.nwcpo.ie/forms/EWC_code_book/.

5- Kukurugya F, Vindt T, Havlík T. Behavior of zinc, iron and calcium from electric arc furnace (EAF) dust in hydrometallurgical processing in sulfuric acid solutions: Thermodynamic and kinetic aspects. Hydrometallurgy 2015; 154:20-32.

6- Rizescu C, Bacinschi Z, Stoian E. Characterisation of steel mill electric-arc furnace dust. Proceedings of the the 4 th WSEAS International Conference on Waste Management ,Waster Pollution, Air Pollution, Indoor Climate (Advances in Waste Management) 2010 Sep. 5 - 9; Targoviste-Dambovita; United States.

7- Garkaz A, Ghorbani Shahna F, Assari MJ, Faradmal J. The designing and assessment of a local exhaust ventilation system coupled with hybrid collectors for dust control o an alloy steel company. Iran Occupational Health 2015; 12(1):38-46.

8- Abtahi M, Mesdaghinia A, Saeedi R, Nazmara S. Biosorption of As(III) and As(V) from aqueous solutions by brown macroalga Colpomenia sinuosa biomass: Kinetic and equilibrium studies. Desalination and Water Treatment 2013; 51(16-18):3224-32.

9- Ghasemian P, Abolhasani MH. The performance evaluation of TiO2 nanoparticles in the removal of chromium from aqueous solutions: adsorbent characteristics and isotherm study. 2018; 6(2):1-10 (In Persian).

10- Naddafi K, Rastkari N, Nabizadeh R, Saeedi R, Gholami M, Sarkhosh M. Adsorption of 2,4,6-trichlorophenol from aqueous solutions by a surfactant-modified zeolitic tuff: Batch and continuous studies. Desalination and Water Treatment 2016; 57(13):5789-99.

11- Dąbrowski A. Adsorption — from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science 2001; 93(1):135-224.

12- Abdel-Ghani NT, Hefny M, El-Chaghaby GAF. Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. International Journal of Environmental Science & Technology 2007; 4(1):67-73.

13- Briones R, Serrano L, Younes RB, Mondragon I, Labidi J. Polyol production by chemical modification of date seeds. Industrial Crops and Products 2011; 34(1):1035-40.

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

14- Mehdinia SM, Moeinian K, Rastgoo T. Studying the Cadmium Removability from Aqueous Solutions Using Raw Husk Rice, Bran and Rice Husk Silica. Journal of Babol University Of Medical Sciences. 2014; 16(10):52-58 (In Persian).

15- Alidadi H, Dolatabadi M, Mehrabpour M, Dehghan AJJoHitF. The efficacy of ciprofloxacin removal by Chitosan/Zeolite composite from aqueous solution: Response surface methodology, kinetic and isotherm studies. 2017; 5(1):1-12 (In Persian).

16- Oluyemi EA, Adeyemi AF, Olabanji IOJRJiE, Sciences A. Removal of Pb^{2+} and Cd^{2+} ions from wastewaters using palm kernel shell charcoal (PKSC). Research Journal in Engineering and Applied Sciences 2012; 1(5):308-13.

17- Moodley K, Singh R, Musapatika ET, Onyango MS, Ochieng A. Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent. Water SA 2011; 37(1):41-46.

18- Radojevic M, Bashkin V. Practical environmental analysis: Royal society of chemistry. 2nd ed. Cambridge:The Royal Society of Chemistry; 2007.

19- Tan IAW, Hameed BH, Ahmad AL. Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon. Chemical Engineering Journal 2007; 127(1):111-19.

20- Bulut Y, Aydın H. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. Desalination 2006; 194(1):259-67.

21- Eshel G, Levy G, Mingelgrin U, Singer MJSSSoAJ. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. Soil Science Society of America Journal 2004; 68(3):736-43.

22- Alsheyab MAT, Khedaywi TS. Effect of electric arc furnace dust (EAFD) on properties of asphalt cement mixture. Resources, Conservation and Recycling 2013; 70:38-43.

23- Lis T, Nowacki K. Determination of Physical and Chemical Properties of Electric Arc Furnace Dusts for the Purposes of Their Utilization. Steel Research International 2012; 83(9):842-51.

24- Khandegar V, Saroha AK. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – A review. Journal of Environmental Management 2013; 128:949-63.

25- Havlík T, Souza BVe, Bernardes AM, Schneider IAH, Miškufová A. Hydrometallurgical processing of carbon steel EAF dust. Journal of Hazardous Materials 2006; 135(1):311-18.

26- Martins FM, Neto JMdR, Cunha CJd. Mineral phases of weathered and recent electric arc furnace dust. Journal of Hazardous Materials 2008; 154(1):417-25.

27- Shawabkeh RA. Hydrometallurgical extraction of zinc from Jordanian electric arc furnace dust. Hydrometallurgy 2010; 104(1):61-65.

28- Langová Š, Riplová J, Vallová S. Atmospheric leaching of steel-making wastes and the precipitation of goethite from the ferric sulphate solution. Hydrometallurgy 2007; 87(3):157-62.

29- Sun X, Hwang J-Y, Huang X. The microwave processing of electric arc furnace dust. JOM 2008; 60(10):35-39.

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.

30- Langová Š, Matýsek D. Zinc recovery from steel-making wastes by acid pressure leaching and hematite precipitation. Hydrometallurgy 2010; 101(3):171-73.

31- Sedláková Z. Hydrometallurgical processing of electric arc furnace dust from Železiarne Podbrezová as, Slovakia. Acta Metallurgica Slovaca 2006; 12:338-345.

32- Atabaki MR, Lotfi A. Investigation of heavy metal soil concentration (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396. Journal of Research in Environmental Health 2018; 4(1):23-35 (In Persian).

33- Kim J, Koo T-HJAoec, toxicology. Heavy metal concentrations in feathers of Korean shorebirds. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 2008; 55(1):122-28.

34- Ledesma EF, Lozano-Lunar A, Ayuso J, Galvín AP, Fernández JM, Jiménez JR. The role of pH on leaching of heavy metals and chlorides from electric arc furnace dust in cement-based mortars. Construction and Building Materials 2018; 183:365-75.

35- Mitrakas MG, Sikalidis CA, Karamanli TP. Immobilization of EAFD heavy metals using acidic materials. Journal of Environmental Science and Health, Part A 2007; 42(4):535-41.

36- Sebag MG, Korzenowski C, Bernardes AM, Vilela AC. Evaluation of environmental compatibility of EAFD using different leaching standards. Journal of Hazardous Materials 2009; 166(2):670-75.

37- Ortiz O, Alcañiz JM. Bioaccumulation of heavy metals in Dactylis glomerata L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. Bioresource Technology 2006; 97(4):545-52.

38- Richards LA. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture Handbook No. 60. Washington DC: United States Department of Agriculture. 1969; 60p.

39- Sadeghi-Kiakhani M, Arami M, Gharanjig K. Preparation of chitosan-ethyl acrylate as a biopolymer adsorbent for basic dyes removal from colored solutions. Journal of Environmental Chemical Engineering 2013; 1(3):406-15.

این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می کند.