

تعیین کارایی سیستم تصفیه هوا در کاهش غلظت سرب و اثر بخشی بکارگیری اسکرابر با ماده جاذب بر کاهش غلظت گاز SO_2 در واحدهای تولید سرب ثانویه شهرک صنعتی جنت آباد

محمود تبریزی^۱

محسن میرمحمدی^۲

فریده عتابی^{۳*}

fatabi123@iaui.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۶

چکیده

زمینه و هدف: ۸۵ درصد از مقدار کل سرب تولید شده در جهان، در تولید باتری‌های سرب/ اسیدی مصرف می‌شود. با توجه به محدود بودن طول عمر این نوع باتری‌ها، می‌توان از آنها به عنوان منبع ثانویه استحصال سرب استفاده کرد، در غیر اینصورت به عنوان پسماند خطرناک محسوب می‌شود. بازیافت سرب از باتری‌های فرسوده منجر به انتشار فلز سرب، گاز دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، تعیین کارایی سیستم تصفیه هوا در کاهش غلظت سرب و اثر بخشی بکارگیری اسکرابر با ماده جاذب بر کاهش غلظت گاز SO_2 در واحدهای تولید سرب ثانویه شهرک صنعتی جنت آباد می‌باشد.

روش بررسی: نمونه برداری از سرب محیطی با استفاده از دستگاه نمونه برداری فردی SKC و نمونه برداری و سنجش گاز SO_2 با استفاده از دستگاه Testo 350XL در چهار ایستگاه پایش واقع در شمال، جنوب، شرق و غرب شهرک صنعتی جنت آباد واقع در مرز بین استان تهران و سمنان، طی ۴ نوبت در فصول زمستان ۱۳۹۳، بهار، تابستان و پاییز ۱۳۹۴ انجام گرفت. هم زمان با نمونه برداری‌های محیطی، توسط دستگاه نمونه برداری Westech مدل M9096 از ذرات کل و ذرات سرب و توسط دستگاه گاز سنج Testo 350XL نمونه برداری و سنجش از گاز SO_2 در سه نقطه از سیستم تصفیه هوا (شامل خروجی دودکش یکی از ۶ کارخانه‌های تولید سرب ثانویه در شهرک صنعتی جنت آباد و ورودی و خروجی اسکرابر پایلوت) انجام شد. سپس با استفاده از دستگاه جذب اتمی سرب اندازه گیری شده در ۸ ایستگاه فوق طی چهار فصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با بکارگیری سیستم‌های مهندسی نوین شامل خنک کن، سیکلون، بگ فیلترها و نصب سیستم آنالین پایش ذرات، میانگین کل ذرات خروجی دودکش $9/5 \text{ mg/m}^3$ و میانگین غلظت سرب $1/57 \mu\text{g/m}^3$ است و راندمان حذف ذرات کل و ذرات سرب ۹۹/۵ درصد و در حد مجاز می‌باشد. در مورد گاز دی اکسید گوگرد حذف انجام نمی‌شود و فقط با استفاده از سیستم تهویه و خنک سازی، جمع آوری و سپس با غلظت میانگین 4470 ppm (حد استاندارد 800 ppm) توسط دودکش به خارج از محیط هدایت می‌شود. بکارگیری اسکرابر پایلوت باعث کاهش غلظت گاز SO_2 به 650 ppm می‌گردد.

نتیجه گیری نهایی: در واحدهای تولید سرب ثانویه فوق ذرات سرب در حد استاندارد حذف می‌شوند. پیشنهاد می‌گردد که مناسب‌ترین روش برای حذف دی اکسید گوگرد، استفاده از کربنات سدیم به منظور واکنش با سولفات سرب و تبدیل سولفات سرب به کربنات سرب و کاهش انتشار SO_2 در فرایند تولید و همزمان استفاده از مناسب ترین سیستم اسکرابر دینامیکی با راندمان حذف گاز SO_2 تا میزان ۸۵/۵۵ درصد و تقلیل غلظت گاز SO_2 خروجی از دودکش تا حد 650 ppm می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرب، SO_2 ، اسکرابر، سیکلون، بگ فیلتر.

^۱ کارشناس ارشد گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران* (مسئول مکاتبات)

Determination of air filtration system efficiency to reduce lead concentration and effectiveness of applying a scrubber to reduce SO₂ concentration using absorbent in the secondary lead production units of Jannat Abad Industrial Park

Mahmoud Tabrizi¹
Mohsen Mirmohammadi²
Farideh Atabi^{3*}
fatabi123@iau.ac.ir

Accepted Date: October 5, 2016

Date Received: August 27, 2016

Abstract

Background and Purpose: 85 percent of the total amount of produced lead in the world is consumed to produce lead/acid batteries. Due to the limited lifespan of these batteries, they can be used as a source of secondary lead extraction; they are considered hazardous waste. Lead recycling from scrap batteries results in the production of metallic lead fumes, as well as emissions of sulphur dioxide and carbon dioxide. This study aims to determine the efficiency of the air filtration system in reducing lead concentration and the effectiveness of using a scrubber to reduce SO₂ concentration in the secondary lead production units of Jannat Abad Industrial Park.

Research Method: The ambient lead concentrations were sampled using the SKC personal sampler unit. Sampling of SO₂ concentrations was also conducted using the Testo 350XL unit at four monitoring stations located in the North, South, East, and West of Jannat Abad Industrial Park, 4 times in winter, spring, summer, and autumn, 2015. Simultaneously, the total suspended particles and lead particles were sampled by Westech M9096 sampler unit and SO₂ concentrations were sampled in three points of the air purification system (including the exit point of the stack in one of the six secondary lead production factories in Jannat Abad Industrial park and also at the inlet and outlet of the pilot scrubber) by Testo 350XL gas detector unit. Then, the lead concentrations measured at the eight stations mentioned above across four seasons were analysed using an atomic absorption unit.

Results: The results showed that by applying modern and new engineering systems, including cooling, cyclone, bag filters and installation of online particle monitoring system, the average particles concentrations at the stack exit is 9.5 mg/m³ and the average of lead concentration is 1.57 µg/m³ and the removal efficiency for lead particles and total particles is 99.5 percent and it meets the standard limits. Sulphur dioxide was not removed; instead, it was collected by air-conditioning and cooling systems and then exhausted to the atmosphere through a stack, with an average concentration of 4470 ppm (the standard limit is 800 ppm). Applying the pilot scrubber reduced the SO₂ concentration to 650 ppm.

Conclusion: In the secondary lead production units above, lead particles are removed to the standard level. It is recommended that the most appropriate method to remove sulphur dioxide is using sodium carbonate for reacting with lead sulphate and converting lead sulphate to lead carbonate and reducing SO₂ emissions in the production process and simultaneously using the most appropriate dynamic scrubber system with a removal efficiency of SO₂ gas at up to 85.55 percent and reduction of SO₂ concentration at the stack exhaust gas up to 650 ppm.

Keywords: Lead, SO₂ gas, Scrubber, Cyclone, Bag filter.

¹ MSc in Environmental Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

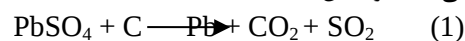
³ Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran * (Corresponding Author)

مقدمه

در صنایع تولید شمش سرب از باطری‌های فرسوده آلاینده‌های ذرات بخصوص ذرات سرب، گازهای دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن بوجود می‌آیند.

سرب یکی از عوامل آلاینده هوا است که خاصیت سمی و تجمع‌ی در بافتهای بدن بخصوص بافتهای استخوان دارد. سمیت سرب هزاران سال است که برای انسان شناخته شده است. علیرغم شناختی که نسبت به سمیت این عنصر وجود دارد هنوز هم درگستره وسیعی از صنایع مصرف می‌شود [۱]. براساس تحقیقات انجام شده فرآیند بازیافت سرب از باتری‌های فرسوده به سال‌های ۱۹۳۰ برمی‌گردد که روش‌های ساده بر مبنای ذوب و احیا هستند و عمدتاً امکان جداسازی اجزا و بازیافت کامل اجزا در این روش‌ها وجود ندارد و لذا صدمات جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می‌شود [۲].

حدود ۲۵-۲۰ درصد وزن باتری فرسوده الکترولیت (محلول آبی اسید سولفوریک) آن می‌باشد که در روش‌های اولیه اقدامی جهت خنثی‌سازی و تولید محصول جانبی انجام نمی‌شود و باعث آلودگی آب، خاک و هوا می‌گردد. هم چنین باطری‌های فرسوده ترکیبات سرب دار (خمیر سرب شامل اکسید سرب و سولفات سرب) حاوی حداقل ۵۰ درصد سولفات سرب هستند که فرآیند ذوب و احیا این ترکیبات در کوره‌های حرارتی و در حضور کک به عنوان عامل احیاء ترکیبات سرب، با انتشار گازهای SO_x همراه بوده و صدمات جبران ناپذیر به محیط زیست وارد می‌کنند (واکنش ۱) [۱].



دی اکسید گوگرد که بیش از سایر اکسیدهای گوگرد در هوا منتشر می‌شود، باعث تحریک مجاری تنفسی بخصوص حلق، بینی و حنجره شده و ایجاد برونشیت‌های مزمن آسم و آمفیزم می‌کند. اهمیت مسایل آلودگی هوا مرتبط با SO_2 مربوط به پتانسیل گاز SO_2 برای شرکت در واکنش‌های فتوشیمیایی یا کاتالیتیکی با سایر آلاینده‌های اتمسفری می‌باشد. [۳]. در کارخانه‌های تولید سرب ثانویه، طبق قوانین سازمان حفاظت محیط زیست کشور ایران، استاندارد برای غلظت گاز SO_2 در خروجی دودکش ۸۰۰ ppm است. استاندارد در EPA برای غلظت‌های محیطی SO_2 ، ۰/۰۷۵ ppm است [۴]. افرادی که در شهرک‌های صنعتی کار می‌کنند و یا در نزدیکی کارگاه‌های صنعتی سکونت دارند، از احتمال بیشتری جهت ابتلاء به مسمومیت مزمن با سرب برخوردارند [۱].

براساس آمار منتشره توسط انجمن بین‌المللی سرب^۱ طی سال‌های ۱۹۶۰ الی ۲۰۱۰ میزان مصرف سرب در صنایع مختلف رشد چشمگیری داشته است و همواره صنعت باتری سازی از بیشترین سهم برخوردار بوده است، بطوریکه در سال ۲۰۱۰، ۸۵٪ سرب تولیدی شده در جهان در این صنعت بکار رفته است [۵]. با توجه به سهم ۸۵ درصدی باتری‌های سرب/اسیدی در مصرف سرب تولیدی جهان و طول عمر محدود این نوع باتری‌ها، می‌توان پس از اتمام کارایی و فرسوده شدن، از آن‌ها به عنوان منبع ثانویه استحصال سرب استفاده کرد، در غیر اینصورت به عنوان پسماند خطرناک تلقی می‌گردند [۵].

در کشور ایران تا قبل از سال ۱۳۸۸ بیشتر واحدهای بازیافت سرب به شیوه سنتی بدون استفاده از سیستم‌های تصفیه و با روش‌های غیر مجاز اقدام به تولید سرب از باطری‌های فرسوده می‌کردند. در بیشتر مطالعات انجام شده در مورد صنایع تولید سرب در ایران، اندازه‌گیری میزان سرب در خون، پوست و موی افراد و یا وجود سرب در آب و فاضلاب و خاک مورد توجه قرار گرفته و کمتر به اندازه‌گیری ذرات سرب و گاز SO_2 در هوا، در صنایع و واحدهای بازیافت سرب پرداخته شده است.

در کشور ایران در سال ۱۳۷۹ غلظت سرب موجود در موی کارگران صنعت شمش سرب زنجان [۶] و در سال ۱۳۸۷ غلظت سرب موجود در خون کارگران معدن سرب و روی کوشک [۷] مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین غلظت سرب محیطی و سرب موجود در خون کارگران کارخانه صبا باطری در سال ۱۳۸۸ اندازه‌گیری و بررسی شده است [۸]. همچنین در مطالعه دیگری در سال ۱۳۸۸ بررسی امکان حذف گاز SO_2 توسط اسکرابر دینامیکی در خروجی دودکش پالایشگاه تهران انجام شده است [۹].

در خارج از کشور ایران در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای انتشار سرب در شهر قاهره واقع در کشور مصر [۱۰]، در سال ۲۰۱۲ تولید اکسید سرب از خمیر باطری سربی اسیدی توسط زینفنگ زو، لی لی و همکارانش از دانشگاه علوم زیست محیطی چین و گروه علوم مواد و متالورژی دانشگاه کمبریج [۱۱]، در سال ۱۹۹۸ تولید سرب ثانویه در مالزی [۱۲] و در سال ۲۰۰۹ تحقیق در مورد بازیافت سرب از باطری سربی اسیدی در دانشگاه پالرمو ایتالیا انجام شده است [۱۳]. اولین بار گوگرد زدایی از دود خروجی در سال ۱۹۳۹ در انگلستان و در بوپل نیروگاه ۲۲۸ مگاواتی BATTER SEA مورد استفاده قرار گرفت [۱۴] و در سال ۲۰۰۴ امکان سنجی اقتصادی کنترل انتشار SO_2 در آسیا انجام شد [۱۵].

¹ International Lead Association

می‌شوند. هدف کاربردی در این تحقیق تعیین کارایی سیستم تصفیه هوا در کاهش ذرات سرب در یکی از این واحدها و اثر بخشی بکارگیری اسکرابر بر حذف گازدی اکسید گوگرد در این کارخانجات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرک صنعتی جنت آباد واقع در ۵۵ کیلومتر ۵۵ جاده تهران سمنان، انجام شده که در آن شش باب کارخانه تولید سرب از باطری‌های فرسوده در قسمت جنوب شهرک صنعتی در کنار هم مستقر می‌باشند.

در صنایع تولید شمش فلزات مرحله نهایی پروسه، ذوب فلزات و سپس قالب گیری و شمش ریزی می‌باشد. در این مرحله به منظور جداکردن ناخالصی‌ها نیاز به افزایش حرارت تا حد بالاتر از نقطه ذوب فلزات می‌باشد و این امر منجر به تولید فیوم فلزی می‌گردد. در فرایند تولید شمش سرب از باطری‌های فرسوده در ۶ واحد مستقر در شهرک صنعتی جنت آباد که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند، علاوه بر انتشار فیوم سرب، به دلیل وجود سولفات سرب و محلول اسید سولفوریک در باطری‌ها، گاز دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن تولید می‌شود. فیوم سرب همان ذرات سربی هستند که در فرایند ذوب بر اثر درجه حرارت بیش تر از دمای ذوب سرب بصورت بخارات فلزی ایجاد



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهرک صنعتی جنت آباد.

Figure (1): Geographic location of Jannat Abad industrial town.

- ۱- نمونه برداری و اندازه گیری غلظت سرب
- ۲- جهت تعیین غلظت ذرات کل و غلظت سرب در چهار قسمت مختلف فرایند تولید یکی از ۶ کارخانه‌های فوق در چهار فصل نمونه برداری از ذرات با استفاده از دستگاه نمونه بردار Westech مدل M9096 انجام شد. همچنین طی چهار مرحله در فصول مختلف با استفاده از پمپ نمونه برداری فردی در چهار نقطه محوطه شهرک صنعتی نمونه برداری از سرب انجام و سپس میزان غلظت سرب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به روش جذب اتمی اندازه گیری شد. در نمونه برداری از هوای محیطی برای تعیین میزان سرب از پمپ نمونه بردار فردی مدل SKC استفاده گردید. تعداد چهار عدد پمپ نمونه برداری به

با توجه به یکسان بودن فرایند تولید در شش باب کارخانه تولید شمش سرب در شهرک صنعتی جنت آباد، میزان آلودگی ذرات و گازها در این واحدها مشابه است. مواد اولیه این کارخانجات انواع باطری‌های فرسوده اتومبیل ها، کامیون ها، کشتی ها، لیفتراک و موتورسیکلت می‌باشد. در اثر ذوب شبکه، پل و اتصالات سربی و ترکیبات سولفات و اکسید سرب موجود در باطری‌های فرسوده، ذرات سرب و گاز دی اکسید گوگرد بوجود می‌آیند. ذرات سرب توسط سیستم کنترل مهندسی حذف و کاهش می‌یابد، اما گازها به خصوص دی اکسید گوگرد حذف نمی‌شود و توسط هودها جمع آوری و از طریق کانال‌های فلزی به خنک کن هدایت و سپس از طریق دودکش در محیط منتشر می‌شوند. بنابراین نمونه برداری‌ها از یکی از واحدها و هم چنین در محوطه شهرک صنعتی انجام شد و با توجه به نتایج غلظت گاز SO_2 ، روش مناسب برای حذف آن انتخاب گردید.

بر روی فیلترها، در فرایند تولید کارخانه و در محوطه شهرک صنعتی با استفاده از روش جذب اتمی در یک آزمایشگاه معتمد محیط زیست اندازه گیری شده و غلظت ذرات کل در آزمایشگاه معتمد دیگری اندازه گیری گردید.

مدت هفت ساعت در چهار نقطه واقع در شمال، جنوب (محوطه اداری یکی از واحدها)، شرق و غرب شهرک صنعتی تعبیه شد و برحسب میزان غلظت پیش بینی شده سرب دبی پمپ نمونه بردار فردی بین ۲ الی ۴ لیتر بر دقیقه تنظیم گردید. نمونه های سرب جمع آوری شده

جدول (۱): مشخصات دستگاه های اندازه گیری غلظت سرب و دی اکسید گوگرد در سیستم تصفیه هوا، خروجی دودکش و در محوطه شهرک صنعتی

Table (1): Unit characteristics of measuring lead and SO₂ concentrations in the air purification system, stack exhaust and around the industrial park

محدوده اندازه گیری	دقت اندازه گیری	پارامتر	کشور سازنده	دستگاه
Mini Stack نمونه بردار	نمونه بردار	کل ذرات - سرب	انگلستان	Westech 9096
5000 ppm	±1ppm	SO ₂ گاز	آلمان	Testo 350
نمونه بردار	نمونه بردار	سرب	انگلستان - آمریکا	SKC پمپ
0.61-123 mg/m ³	میانگین غلظت 0.2- 9.5 %	سرب محیطی	-	Spectrophotometer

در نظر گرفتن جرم اتمی آنها و همچنین غلظت SO₂ در هوای آلوده، تعداد چهار نمونه جریان هوا با دبی ۱۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ متر مکعب در ساعت از کانال جریان هوای آلوده به گاز SO₂ بعد از بگ فیلتر، بصورت مجزا و به ترتیب با چهار دبی ۶۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ لیتر در ساعت ماده جاذب با غلظت ۶۰ گرم در لیتر در داخل یک اسکرابر پایلوت مخلوط گردید. در هر دبی جریان هوای آلوده میزان غلظت SO₂ ورودی و خروجی به اسکرابر توسط دستگاه Testo 350 بر حسب ppm اندازه گیری و میزان تغییرات راندمان جذب اسکرابر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۲) اسکرابر پایلوت ساخته شده ارائه گردیده و واکنش های شیمیایی جذب و احیاء استفاده از بافر فسفات سدیم جهت حذف گاز SO₂ در معادلات (۱) و (۲) ارائه شده اند [۱۶].

در این اسکرابر پایلوت، توسط یک پمپ مجهز به فلومتر، محلول جاذب پمپاژ و از قسمت بالای استوانه فلزی اسکرابر با ارتفاع ۲ متر و قطر ۳۳ سانتی متر، توسط نازل پاشش و پس از جذب گاز از قسمت انتها به مخزن محلول جاذب برگشت داده شد. هوای آلوده به گاز با دبی قابل تنظیم توسط فلومتر از قسمت بالا سمت راست وارد اسکرابر گردید و گاز با ماده جاذب پاشش شده ترکیب و از قسمت پایین سمت راست هوای تصفیه شده خارج گردید. غلظت گاز ورودی و گاز خروجی توسط دستگاه گاز سنج تستو، سنجش و میزان راندمان حذف گاز توسط اسکرابر پایلوت تعیین شد.

۳- نمونه برداری و اندازه گیری غلظت SO₂

هم زمان با نمونه برداری از ذرات سرب در محوطه شهرک صنعتی، سیستم تصفیه هوا و خروجی دودکش، چهار مرحله نمونه برداری از گازها نیز برای تعیین میزان غلظت SO₂ و سایر گازها در چهار نقطه شامل مسیر خروجی کوره ها، کانال قبل از خنک کن، کانال قبل از بگ فیلتر و در خروجی دودکش و چهار ایستگاه واقع در شمال، جنوب (محوطه یکی از کارخانه ها)، شرق و غرب محوطه شهرک صنعتی جنت آباد توسط دستگاه گاز سنج Testo 350 XL انجام گرفت. برای تعیین کارایی اسکرابر پایلوت، ۱۶ بار نمونه از هوای ورودی به اسکرابر و ۱۶ بار نمونه برداری از هوای خروجی اسکرابر انجام گرفت. جهت تعیین غلظت گاز دی اکسید گوگرد، نمونه برداری و سنجش توسط دستگاه گاز سنج Testo 350 XL مجهز به هفت عدد سنسور جهت تعیین میزان غلظت هفت نوع گاز شامل O₂ (بر حسب درصد نسبی در هوا)، CO، NO_x، NO، و SO₂، CO₂ (بر حسب ppm) انجام شد.

۴- بررسی قابلیت عملکرد اسکرابر پایلوت در حذف دی اکسید گوگرد

به منظور تعیین راندمان بهینه حذف SO₂ توسط جاذب فسفات سدیم در اسکرابر دینامیکی، تعیین غلظت و میزان جریان جاذب مورد نیاز متناسب با مقدار دبی هوای آلوده ضروری می باشد. بهمین منظور با توجه به واکنش شیمیایی بین SO₂ و محلول فسفات سدیم [واکنش های (۱) و (۲)] و با

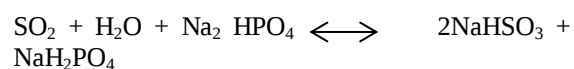


شکل (۲): فرایند حذف دی اکسید گوگرد با اسکرابر پایلوت
Figure (2): Sulphur dioxide removal process by a pilot scrubber

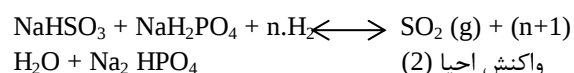
همانگونه که در نمودار (۱) مشاهده می‌گردد، میانگین غلظت سرب در فصل زمستان ۱۳۹۳ و سه فصل بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۴ قبل از بگ فیلتر 1739 mg/m^3 ، بعد از بگ فیلتر در خروجی دودکش $1/55 \text{ mg/m}^3$ ، اندازه گیری شده است. طبق جدول (۳) میانگین غلظت سرب در چهار فصل در محوطه شهرک صنعتی $0/083 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ اندازه‌گیری شده است. استاندارد کل ذرات خروجی از دودکش 50 mg/m^3 و استاندارد سرب محیطی $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ می‌باشد. با توجه به نمودار (۱) غلظت سرب در هود روی کوره، قبل از خنک کن و قبل از بگ فیلتر به ترتیب بدلیل خنک شدن افزایش می‌یابد و مقدار غلظت آن به 1739 mg/m^3 می‌رسد، اما پس از عبور از بگ فیلتر، سرب با راندمان $99/9$ درصد حذف و غلظت سرب به $1/55 \text{ mg/m}^3$ کاهش می‌یابد.

در دو مقطع زمانی که برای فرایند احیای سرب از کک استفاده می‌شود، غلظت دی اکسید گوگرد به مدت حدود ۱۰ دقیقه به بیشترین مقدار می‌رسد. همچنین به دلیل استفاده از سوخت مازوت نیز غلظت گاز دی اکسید گوگرد افزایش می‌یابد و در تمام واحدها استفاده از گاز طبیعی در دست اقدام است.

میانگین غلظت گاز SO_2 در فصل زمستان ۱۳۹۳ و سه فصل بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۴ در خروجی دودکش ppm ۴۴۶۹ و طبق جدول (۳) میانگین غلظت SO_2 در در چهار



واکنش جذب (۱)



واکنش احیا (۲)

یافته‌ها و بحث

میزان غلظت‌های سرب و دی اکسید گوگرد در سیستم تصفیه هوا، خروجی دودکش، محوطه شهرک صنعتی و همچنین در ورودی و خروجی اسکرابر دینامیکی اندازه گیری گردید. نتایج این اندازه گیری‌ها به شرح ذیل می‌باشند.

۱- غلظت سرب و SO_2 در نقاط مختلف سیستم تصفیه

هوا و در خروجی دودکش

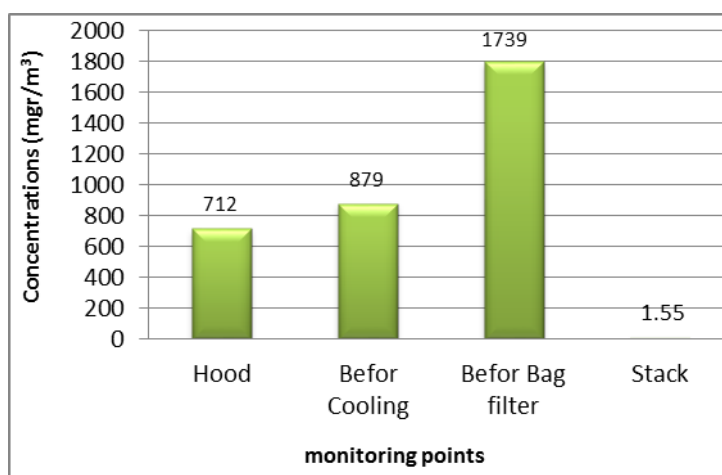
جهت بررسی میزان کارایی سیستم تصفیه هوا در حذف ذرات و ذرات سرب و همچنین انتخاب مناسب ترین سیستم جذب SO_2 توسط ماده جاذب با دی‌های متفاوت در اسکرابر، نتایج اندازه گیری در سه نقطه از سیستم تصفیه هوا و در خروجی دودکش یکی از کارخانه‌ها در چهار فصل سال بصورت مجزا در جدول (۲) ارائه شده است.

فصل در محوطه شهرک صنعتی ppm ۰/۰۷۸ اندازه گیری شد. استاندارد EPA برای غلظت‌های محیطی آن ppm ۰/۰۷۵ است [۴].

جدول (۲): نتایج اندازه گیری فصلی غلظت ذرات، غلظت سرب و غلظت SO₂ در سیستم تصفیه هوا و خروجی دودکش

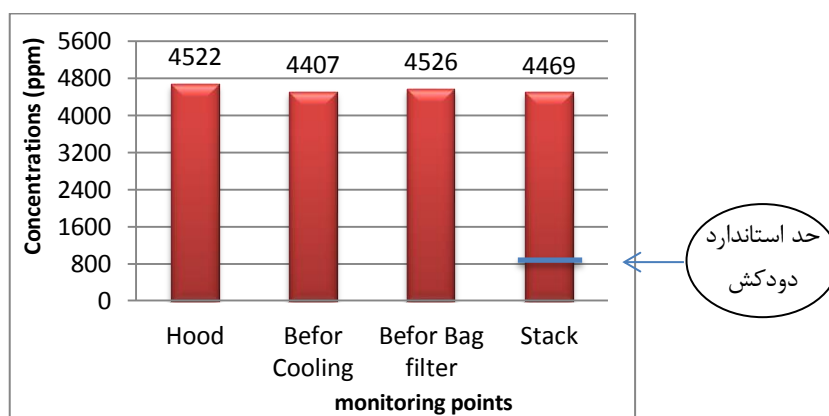
Table (2): Results of measuring seasonal particle concentrations, lead concentrations and SO₂ concentrations in the air purification system and stack exhaust

ایستگاه / پارامتر	زمان نمونه برداری	غلظت ذرات (mg/m ³)	غلظت سرب (mg/m ³)	غلظت SO ₂ (ppm)	استاندارد SO ₂ (ppm)
هود خروجی کوره	زمستان ۹۳	۲۷۵۰	۷۱۳	۴۶۱۵	-
	بهار ۹۴	۲۸۱۹	۷۰۶	۴۳۱۱	-
	تابستان ۹۴	۲۷۰۰	۷۰۵	۴۴۸۰	-
	پاییز ۹۴	۲۷۹۴	۷۲۴	۴۶۸۵	-
کانال قبل از خنک کن	زمستان ۹۳	۱۷۶۰	۸۷۶	۴۴۲۳	-
	بهار ۹۴	۱۸۱۴	۹۱۷	۴۲۹۶	-
	تابستان ۹۴	۱۷۵۰	۱۰۶۰	۴۴۰۰	-
	پاییز ۹۴	۱۷۹۹	۶۶۴	۴۵۱۰	-
کانال قبل از بگ فیلتر	زمستان ۹۳	۴۵۰۰	۱۸۰۰	۴۶۰۴	-
	بهار ۹۴	۴۶۱۰	۱۶۱۱	۴۴۱۱	-
	تابستان ۹۴	۴۵۱۰	۱۷۶۰	۴۵۲۰	-
	پاییز ۹۴	۴۵۱۹	۱۷۸۵	۴۵۷۱	-
خروجی دودکش بعد از بگ فیلتر	زمستان ۹۳	۸	۵۰	۴۶۱۷	۸۰۰
	بهار ۹۴	۱۲/۵	۵۰	۴۲۸۰	۸۰۰
	تابستان ۹۴	۷/۸	۵۰	۴۴۸۰	۸۰۰
	پاییز ۹۴	۱۰	۵۰	۴۵۰۰	۸۰۰



نمودار (۱): میانگین غلظت سرب در هود خروجی کوره، کانال قبل از واحد خنک کن، کانال قبل از بگ فیلتر و خروجی دودکش در چهار فصل.

Chart (1): The average concentrations of lead in the outlet hood of the furnace, the channel located before the cooling unit, the channel located before the bag filter and the stack exhaust in four seasons.



نمودار (۲): میانگین غلظت دی اکسید گوگرد در سیستم تصفیه هوا کارخانه در چهار فصل.

Chart (2): The average concentration of sulphur dioxide in the air purification systems of the factory in four seasons.

برخی از انواع مختلف دستگاه‌ها مختص جدا سازی ذرات بوده و برخی دیگر توانایی جداسازی همزمان ذرات و گازهای آلاینده را دارند. اکثر دستگاه‌های ذکر شده دارای راندمان پایین در جداسازی ذرات و گازهای آلاینده بوده و مشکلات و سختی‌های عملیاتی فراوان دارند. دستگاه‌هایی که از راندمان بالایی برخوردار هستند، نظیر الکتروفیلترها و اسکرابرهای ونتوری دارای هزینه عملیاتی بیشتری نیز می‌باشند [۱۷].

دسته دیگری از تجهیزات نظیر اسپری اسکرابرها و برج‌های سینی دار، برای حصول راندمان بیشتر دارای ابعاد بسیار بزرگ می‌باشند، هم چنین نسبت مایع و گاز در آن‌ها بالا است [۱۸]. نسبت مایع به گاز بیشتر منجر به تولید پساب بیشتر شده که این امر سیستم تصفیه بعد از اسکرابر را افزایش می‌دهد. بنابر این نیاز به دستگاه دیگری که هزینه ساخت و عملیاتی آن پایین تر باشد و بتواند با راندمان بالا اقدام به حذف گازهای آلاینده بنماید ضروری به نظر می‌رسد. به منظور حذف SO_2 تولید شده در صنایع تولید شمش سرب از باطری‌های فرسوده با توجه به راندمان حذف بیشتر، فرایند جذب با محلول با فر فسفات سدیم که در حقیقت توسعه یافته فرایند جذب با استفاده از محلول سولفات سدیم است، مورد استفاده قرار گرفت که مزایای آن شامل ظرفیت بالای جذب به ازای واحد حجم مایع، کاهش ضایعات بافر به علت اکسید شدن، مشکلات عملیاتی کم تر در احیای محلول بافر و حذف مقادیر بیشتری از گاز SO_2 می‌باشند.

با توجه به نمودار (۳) به دلیل حذف سرب توسط سیستم تصفیه هوا در فرایند تولید، غلظت سرب در محوطه شهرک صنعتی بسیار پایین تر از حد استاندارد است.

با توجه به نمودار (۴) غلظت SO_2 در محوطه اداری کارخانه که به دودکش نزدیک تر است، بیشتر از حد استاندارد است و به تدریج با دور شدن از دودکش از میزان غلظت SO_2 کاهش

۲- کاهش و حذف دی اکسید گوگرد در فرایند تولید

در روش‌های پیشرفته برای تبدیل سولفات سرب به کربنات سرب و هم چنین تبدیل اسید سولفوریک به سولفات سدیم از کربنات سدیم استفاده می‌شود که در این روش، خمیر کربنات سرب همراه با سرب فلزی در کوره با دمای کم تر ذوب شده و محلول سولفات سدیم فیلتر شده بر اثر تبخیر و حرارت، به پودر سولفات سدیم قابل مصرف تبدیل می‌شود. این روش مناسب ترین و اقتصادی ترین راه جهت جلوگیری از تولید و انتشار دی اکسید گوگرد است. اما متأسفانه در فرایند تولید واحدهای مستقر در شهرک صنعتی جنت آباد، تجهیزات بکار گرفته شده به گونه ای است که از کربنات سدیم استفاده نمی شود و سولفات سرب همراه با سرب فلزی در کوره‌ها با دمای بالای بین ۱۲۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد ذوب می‌شود.

به علت فقدان آگاهی صنایع در بکار گیری روش‌های نوین تولید سرب از باطری‌های فرسوده و عدم اطلاع رسانی توسط سازمان‌های ذیربط، واحدهای مستقر در این شهرک صنعتی و برخی شهرک‌های صنعتی دیگر، مجهز به تجهیزاتی مانند آسیاب، وان‌های شستشو، فیلتر پرس و دیگ تبخیر نیستند. اگرچه در روش پیشرفته و نوین به دلیل نیاز به درجه حرارت پایین تر، مصرف سوخت کم تر است و محصول جانبی سولفات سدیم تولید می‌شود و در طولانی مدت روش تولید اقتصادی و بهینه است، اما در حال حاضر به دلیل فقدان فضا و منابع مالی مورد نیاز، امکان استفاده از روش پیشرفته تولید وجود ندارد. بنابراین نیاز به استفاده از روش دیگری برای حذف و کاهش غلظت گازها می‌باشد.

۳- استفاده از سیستم اسکرابر جهت حذف و کاهش دی اکسید گوگرد

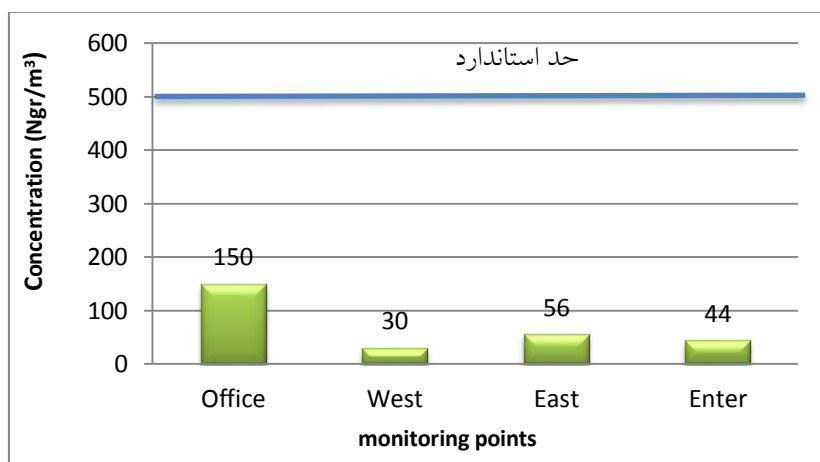
۴- نتایج حاصل از جذب SO_2 با فسفات سدیم در صورت استفاده از اسکرابر دینامیکی نتایج جذب دی اکسید گوگرد با دبی مختلف، توسط جاذب با غلظت یکسان و دبی مختلف به شرح جدول و نمودارهای ذیل می‌باشند.

می‌یابد و به مقدار پایین تر از حد استاندارد می‌رسد. این کاهش غلظت به دلیل استفاده از سیستم کنترل و جمع آوری گاز و هدایت گاز به دودکش می‌باشد. البته در این سیستم جمع آوری گاز، با بکار گیری اسکرابر، غلظت SO_2 در تمام نقاط تا حد استاندارد کاهش خواهد یافت.

جدول (۳): نتایج اندازه گیری فصلی غلظت سرب و SO_2 در هوای محیطی شهرک صنعتی

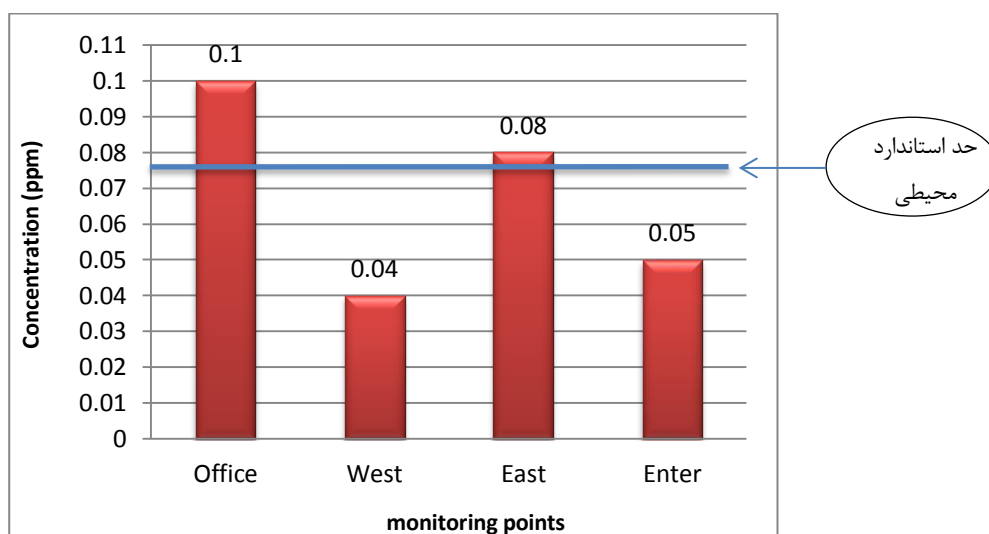
Table (3): Results of seasonal measurements of ambient lead and SO_2 concentrations in the Industrial town

ایستگاه	پارامتر	زمان نمونه برداری	غلظت سرب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	استاندارد سرب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	غلظت SO_2 (ppm)	استاندارد SO_2 (ppm)
دفتر کارخانه		زمستان ۹۳	۰/۱۵۵	۰/۵	۰/۱۴	۰/۰۷۵
		بهار ۹۴	۰/۲۸۵	۰/۵	۰/۲۲	۰/۰۷۵
		تابستان ۹۴	۰/۲۵۰	۰/۵	۰/۲	۰/۰۷۵
		پاییز ۹۴	۰/۱۵۰	۰/۵	۰/۱	۰/۰۷۵
ضلع غربی شهرک صنعتی		زمستان ۹۳	۰/۰۱۸	۰/۵	۰/۰۰۸	۰/۰۷۵
		بهار ۹۴	۰/۰۲۶	۰/۵	۰/۰۱۷	۰/۰۷۵
		تابستان ۹۴	۰/۰۲۵	۰/۵	۰/۰۳۰	۰/۰۷۵
		پاییز ۹۴	۰/۰۳	۰/۵	۰/۰۴۰	۰/۰۷۵
ضلع شرقی شهرک صنعتی		زمستان ۹۳	۰/۰۴۳	۰/۵	۰/۰۵۰	۰/۰۷۵
		بهار ۹۴	۰/۰۶۷	۰/۵	۰/۰۹۶	۰/۰۷۵
		تابستان ۹۴	۰/۰۴۷	۰/۵	۰/۰۹۰	۰/۰۷۵
		پاییز ۹۴	۰/۰۵۶	۰/۵	۰/۰۸۰	۰/۰۷۵
ورودی شهرک صنعتی		زمستان ۹۳	۰/۰۳۴	۰/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۷۵
		بهار ۹۴	۰/۰۵۱	۰/۵	۰/۰۷۳	۰/۰۷۵
		تابستان ۹۴	۰/۰۳۹	۰/۵	۰/۰۴۰	۰/۰۷۵
		پاییز ۹۴	۰/۰۴۴	۰/۵	۰/۰۵۰	۰/۰۷۵



نمودار (۳): غلظت سرب در شهرک صنعتی جنت آباد در پاییز ۱۳۹۴

Chart (3): Lead concentration in Jannat Abad industrial town in the autumn of 2015



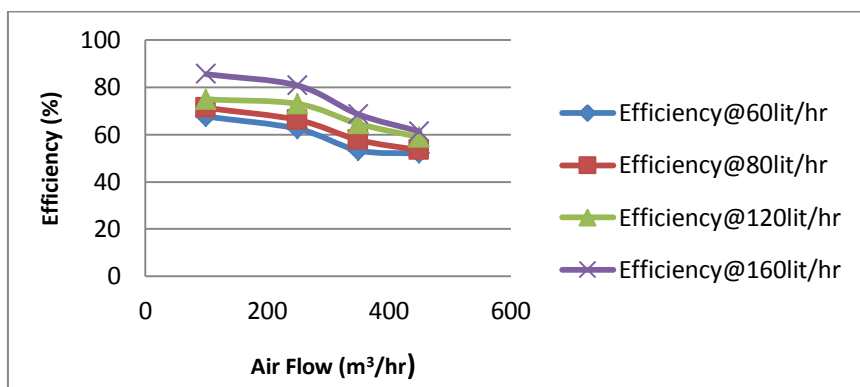
نمودار (۴): غلظت دی اکسید گوگرد در شهرک صنعتی جنت آباد در پاییز ۱۳۹۴.

Chart (4): Concentration of sulphur dioxide in the industrial town of Jannat Abad in the autumn of 2015.

جدول (۴): نتایج حاصل از جذب SO_2 توسط فسفات سدیم به وسیله اسکرابر دینامیکی

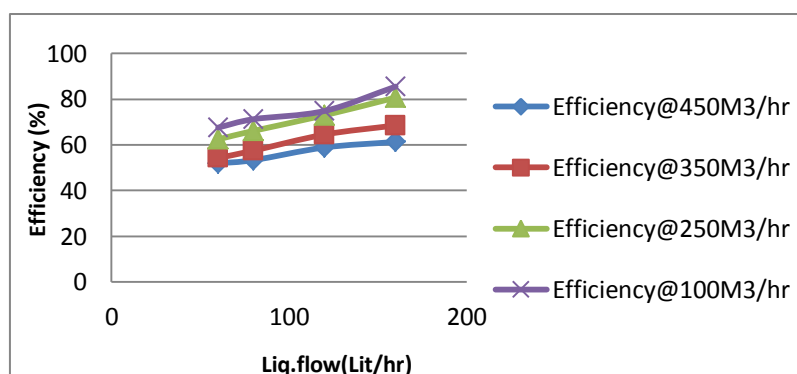
Table (4): Results of absorbed SO_2 with sodium phosphate using a dynamic scrubber

شماره ردیف	دبی گاز ورودی (m^3/h)	دبی جاذب (liter/h)	غلظت جاذب (gr/liter)	غلظت SO_2 در جریان گاز ورودی (ppm)	غلظت SO_2 در جریان گاز خروجی (ppm)	راندمان درصد
۱	۱۰۰	۶۰	۶۰	۴۵۱۰	۱۴۶۰	۶۷/۶۳
۲	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۲۴۰	۱۲۱۷	۷۱/۲۹
۳	۱۰۰	۱۲۰	۶۰	۴۶۰۰	۱۱۵۵	۷۴/۸۹
۴	۱۰۰	۱۶۰	۶۰	۴۵۰۰	۶۵۰	۸۵/۵۵
۵	۲۵۰	۶۰	۶۰	۴۴۰۰	۱۶۵۲	۶۲/۴۵
۶	۲۵۰	۸۰	۶۰	۴۵۶۰	۱۵۴۱	۶۶/۲۰
۷	۲۵۰	۱۲۰	۶۰	۴۶۳۰	۱۲۵۰	۷۳/۰۰
۸	۲۵۰	۱۶۰	۶۰	۴۶۸۰	۹۰۰	۸۰/۷۶
۹	۳۵۰	۶۰	۶۰	۴۱۸۰	۱۹۱۰	۵۴/۳۰
۱۰	۳۵۰	۸۰	۶۰	۴۵۲۰	۱۹۱۹	۵۷/۵۴
۱۱	۳۵۰	۱۲۰	۶۰	۴۴۹۰	۱۵۹۱	۶۴/۵۶
۱۲	۳۵۰	۱۶۰	۶۰	۴۵۴۰	۱۴۲۷	۶۸/۵۶
۱۳	۴۵۰	۶۰	۶۰	۴۵۹۰	۲۲۰۵	۵۱/۹۶
۱۴	۴۵۰	۸۰	۶۰	۴۳۰۰	۲۰۰۵	۵۳/۳۷
۱۵	۴۵۰	۱۲۰	۶۰	۴۲۰۰	۱۷۲۶	۵۸/۹۰
۱۶	۴۵۰	۱۶۰	۶۰	۴۴۳۰	۱۸۱۸	۶۱/۳۳



نمودار (۵): تأثیر افزایش دبی گاز ورودی با دبی ثابت جاذب در راندمان جذب SO_2 با فسفات سدیم.

Chart (5): The effect of increasing the inlet gas flow with a constant flow of absorbent on the SO_2 absorption efficiency with sodium phosphate.



نمودار (۶): تأثیر افزایش دبی جاذب با دبی ثابت گاز ورودی در راندمان جذب SO_2 با فسفات سدیم.

Chart (6): The effect of increasing absorbent flow with constant flow of inlet gas on the SO_2 absorption efficiency with sodium phosphate.

صنعتی کم تر از حد استاندارد ($0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) است. اما در مورد گاز دی اکسید گوگرد غلظت در خروجی دودکش و اطراف آن در محوطه کارخانه، بیشتر از حد استاندارد (800 ppm) است و در فاصله افقی حد اقل ۸۵۰ متری از دودکش در محوطه شهرک صنعتی به دلیل ایجاد شرایط خود پالایی، غلظت SO_2 کم تر از حد استاندارد (800 ppm) می باشد. به همین دلیل روش های مختلف کنترل و کاهش غلظت SO_2 مورد بررسی قرار گرفت.

در فرایند تولید شمش سرب از باطری های فرسوده استفاده از سیستم تصفیه هوای تأثیر بسیار مفیدی در حذف کل ذرات و سرب دارد و همان طور که نتایج نشان می دهد، راندمان حذف ذرات کل و ذرات سرب ۹۹/۵ درصد می باشد و غلظت ذرات کل خروجی از دودکش در حد یک پنجم غلظت های استاندارد می باشد. جهت جلوگیری از تولید گاز SO_2 در فرایند تولید باید ترکیبات سولفات و اکسید سرب با کربنات سدیم سولفورزدایی شود. انجام این فرآیند، انتشار گازهای گوگردی در فرآیند ذوب

همان گونه که در نمودار ۵ ملاحظه می گردد، افزایش دبی جریان هوای آلوده به دلیل کاهش زمان ماند و هم چنین کاهش دسترسی گاز SO_2 به ماده جاذب، راندمان جذب SO_2 را کاهش می دهد. همچنین مطابق با نمودار ۶ با افزایش دبی جاذب بر اثر برخورد و دسترسی بیشتر گاز SO_2 به ماده جاذب، راندمان حذف SO_2 بیشتر می شود.

نتیجه گیری نهایی

نتایج بدست آمده در مورد غلظت سرب و SO_2 نشان می دهد که به دلیل استفاده از سیستم مهندسی کنترل و کاهش ذرات شامل سیکلون ها و بگ فیلتر، غلظت کل ذرات در خروجی دودکش بین ۸ الی $12.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ و غلظت سرب در محوطه شهرک صنعتی ۰/۱۸ الی $0.285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است. بنابراین با توجه به اینکه استاندارد کل ذرات در خروجی دودکش mg/m^3 ۵۰ می باشد، غلظت کل ذرات در خروجی دودکش پایین تر از حد استاندارد است. همچنین غلظت سرب در محوطه شهرک

- assembly branches, master's thesis, Faculty of Environment. Islamic Azad University. Tehran Science and Research Branch
- [9] Hassanpour, S. Jamshidi, E. Rashidi, F. Qorayishi, H., 1999, Evaluation of the performance of a new dynamic scrubber in removing sulphur dioxide.
- [10] Zeinab, Safar. Monir W. Labib, Alan, W., Gertler, 2013, Development and validation of a lead emission inventory for the Greater Cairo area. Journal, Elsevier.
- [11] Xinfeng, Zhu. Lei, Li. Xiaojun, Sun. Dani, Yang. Linxia, Gao. Jianwen, Liu. R. Vasant Kumar. Jiakuan, Yang, 2012, Preparation of basic oxide from spend lead acid battery paste via chemical conversion. Journal, Elsevier.
- [12] Phillips, M. J. Lim, S.S., 1998, Secondary Lead Production in Malaysia.
- [13] Volp, M. Oliveri, D. Ferrera, G. Salvaggio, M. Piazza, S. Italiano, S. Sunseri, C., 2009, Metallic lead recovery from lead- acid battery paste urea acetate.
- [14] Kyte W.S. Bettelheim J., 1983, Sulphur Oxide Control Option in the UK electric Power Generation Industry Inst of Chem Eng, Syp Series No 77.
- [15] J. Cofalaa, M. Amanna, F. Gyafasa, W. Schoeppa, J.C. Boudrib, L. Hordijka and others, 2004, Cost-effective control of SO₂ emissions in Asia. Journal, Elsevier.
- [16] Olav Erga, 1990, Process for the recovery of sulphur dioxide from gas flow, US Patent No. 4,948,572.
- [17] Air Pollution Control Technology, 2003, Venturi Scrubbers, Technical Report EPA-452/F-03-017.
- [18] T.W. Chien, H. Chu, 2000, Removal of SO₂ and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous NaClO₂ solution, J. Hazardous Materials. Elsevier.
- و احیا را به حداقل می‌رساند.
- نتایج بدست آمده از اسکرابر پایلوت در مورد گاز دی اکسید گوگرد نشان می‌دهد که به کار گیری اسکرابر دینامیکی با استفاده از ماده جاذب، راندمان حذف SO₂ ۸۵/۵۵ درصد است و غلظت گاز خروجی از دودکش کم تر از حد استاندارد ppm ۸۰۰ می‌شود.
- مقایسه نتایج نشان می‌دهد در صورت استفاده از اسکرابر پایلوت، با وجود غلظت نسبی بیشتر گاز SO₂، راندمان حذف SO₂ ۸۵/۵۵ درصد است و در روش مشابه راندمان حذف گاز SO₂ در بویلر پالایشگاه تهران ۸۳/۵ درصد است [۹]. بنابراین علی رغم اینکه غلظت نسبی گاز SO₂ بیشتر است، اما با بکار گیری ماده جاذب فسفات سدیم با غلظت مناسب ۶۰gr/liter و به دلیل ظرفیت بالای جذب به ازای واحد حجم مایع، راندمان حذف SO₂ به اندازه ۲ درصد بیشتر است.
- منابع**
- [1] Nikpey, A., 2011, Guide to Lead Control in the Workplace. Environmental Research Institute, Tehran University of Medical Sciences.
- [2] Alfred M. et al., 1935. United States Patent Office, 2013813.
- [3] Nadafi, K et al. 2009. Air Pollution, Nasr Publications.
- [4] <http://www.epa.gov>
- [5] International Lead Association (ILA).2011.
- [6] Azimi Pirsaraei, S.R et al., 1990, The role of lead in the lead ingot production industry with hair lead content.
- [7] Amini pour, M.R. et al., 1999, Determination of blood lead concentration of workers in the lead and zinc mine of Kooshk.
- [8] Rezaei, B., 1999, Determination of lead concentration and its health effects in the Sadr battery industry, a case study of casting and