مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک محیط‌زیستی آلاینده‌های منتشره از صنایع تولید گچ با تکنیک ویلیام-فاین

قاسم ذوالفقاری[1*]، سارا محبت[1]

[1]- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران*

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

کلمات کلیدی:
ارزیابی ریسک ویلیام-فاین، عدد اولویت ریسک (RPN)، آلاینده‌های گازی، ذرات معلق

چکیده

مقدمه: رشد تکنولوژی و صنعت از یک‌سو رفاه را برای بشر به ارمغان آورده است، اما از سوی دیگر سبب ایجاد آلاینده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک در محیط‌زیست شده و با ایجاد شرایط نامطلوب در محیط کار، اساس زندگی سالم را به خطر انداخته است. ذرات معلق (PM)، اکسیدهای گوگرد (SO_x)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و منوکسیدکربن (CO) از آلاینده‌های معیار و مهم در آلودگی هوا هستند. در این تحقیق، آلاینده‌های منتشره از دودکش صنایع گچ سمنان شامل منوکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق (PM_{10}) و ذرات خشک (Dry Dust) در پنج کارخانه گچ سمنان مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: غلظت PM_{10} و ذرات خشک با استفاده از دستگاه سنجش ذرات (TCR-Tecora) تعیین و برای اندازه‌گیری آلاینده‌های گازی از دستگاه Testo 350-M/XL استفاده شده است. نمونه‌برداری از دودکش صنایع و همچنین فضای اطراف کارخانه‌ها در چهار نقطه صورت گرفته است. همچنین ارزیابی ریسک توسط تکنیک ویلیام-فاین که یک روش ارزیابی ریسک سیستماتیک برای شناسایی خطرات محتمل، تخمین سطح ریسک در مدیریت ریسک و کاهش آن به سطح قابل پذیرش می‌باشد انجام گرفته است.

نتایج: در این مطالعه غلظت آلاینده گاز NO_x بین ۲۴/۵ و ۳۹ ppm، SO_2 بین ۳۳/۴۴ و ۳۲۱ ppm، CO بین ۵ و ۱۰۰ ppm، مقدار PM_{10} بین ۲/۶۸ و ۹۷/۶۶ $\mu g/m^3$ و میزان ذرات خشک بین ۵۳/۲۳ و ۳۱۸۹۶ mg/m^3 در پنج صنعت مورد بررسی گزارش شد. جهت ارزیابی محیط‌زیستی با استفاده از تکنیک ویلیام‌فاین ۴۰ جنبه محیط‌زیستی شناسایی شد. برای آلاینده‌های CO، SO_2، NO_x، PM_{10} و ذرات خشک با توجه به عدد اولویت ریسک (RPN) محاسبه شده و طبق نتایج طول رده، ۴ طبقه ریسک با عناوین ریسک خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین به‌دست آمد. بر اساس رتبه‌بندی انجام گرفته از ۴۰ جنبه محیط زیستی مورد بررسی، فراوانی رده پایین ۲۲، رده متوسط ۴، رده بالا ۴ و رده خیلی بالا ۱۰ گزارش شد. در واحدهای گچ شماره ۳ و ۴، ریسک‌های ذرات معلق PM_{10} در زمره ریسک‌های خیلی بالا قرار داشتند. همچنین ریسک مربوط به ذرات خشک در هر دو دودکش کارخانه شماره ۵ در سطح خیلی بالا گزارش شد.

بحث: غلظت منوکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد، اکسیدهای نیتروژن و ذرات خشک پایین‌تر از مقادیر استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست مربوط به انتشار دودکش هستند (منوکسیدکربن: ۴۳۵ ppm، دی

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: g.zolfaghari@hsu.ac.ir

اکسیدگوگرد: ۸۰۰ ppm، اکسیدهای نیتروژن: ۳۵۰ ppm و ذرات خشک: ۶۰۰ mg/m^3). مقدار PM_{10} بر مبنای استاندارد سازمان جهانی سلامت بالاتر از حد مجاز بود (۵۰$\mu g/m^3$) در حالی که بر مبنای آژانس حفاظت محیط‌زیست کمتر از حد مجاز است (۱۵۰$\mu g/m^3$). ورود ذرات معلق PM_{10} به اتمسفر و همچنین انباشت غبار در محیط اطراف کارخانه از مشکلات مهم محیط‌زیستی کارخانه‌های گچ است. بر اساس طبقه‌بندی انجام شده ۵۵ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک پایین، ۱۰ درصد در سطح ریسک متوسط، ۱۰ درصد در سطح ریسک بالا و ۲۵ درصد در سطح ریسک خیلی بالا قرار داشتند. در نهایت جهت کاهش سطح ریسک و برای مدیریت مؤثر این صنایع اقداماتی از قبیل تغییر سوخت مصرفی به سوخت پاک، پایش منظم کمیت و کیفیت جریان گاز خروجی از دودکش صنایع، استفاده از ماسک‌های فیلتردار به هنگام تماس با گرد و غبار، جایگزین کردن فیلترهای کیسه‌ای نوع ضربه‌ای با نوع جت‌پالس قابل ملاحظه است.

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلات محیط‌زیستی بوده که همواره تهدیدی جدی برای سلامت و بهداشت جامعه است (Pereze&Reyes.,2006). تماس مزمن با آلاینده‌های هوا یک مشکل گسترده است که امکان مواجهه با آن‌ها در فضاهای بسته و باز وجود دارد (Alizade *et al*., 2012). گازهای مخرب و سمی و ذرات خطرناکی که روزانه توسط دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها در محیط اطراف رها می‌گردند جوامع را با چالش محیط‌زیستی مواجه ساخته است (Almasi *et al*., 2013). گرد و غبار ناشی از صنایع موجود مثل صنعت گچ و سیمان از جمله این آلاینده‌ها تلقی می‌شود. در هر یک از مراحل مختلف تولید گچ از جمله خردایش، سرند، ذخیره، پخت، غبارگیری، دم‌پخت، آسیاب، ذخیره، و بارگیری مقادیر زیادی گاز و گرد و غبار با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت تولید می‌شود. کنترل کیفیت هوای اطراف کارخانجات گچ از طریق سنجش شاخص‌هایی مانند شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index) و شاخص استاندارد آلودگی (Pollutant Standard Index) از جمله اقدامات مؤثر جهت تعیین کیفیت آلاینده‌ها و توصیف کیفیت هوای خروجی از دودکش صنایع می‌باشد (Ryahi Samani, 2007). از طرف دیگر نیروی کار ملی کشور در مسیر توسعه به عنوان سرمایه‌ای گران‌بها در معرض انواع آسیب‌ها و بیماری‌های شغلی در بخش‌های مختلف تولیدی و خدماتی قرار دارند، که به دلیل عدم رعایت استانداردهای ملی و بین‌المللی و وجود مشکلات در محیط‌های کاری همه ساله تعداد زیادی از کارکنان به دلیل بیماری‌های شغلی و حوادث و سوانح ناشی از کار جان خود را ازدست داده، و یا دچار مسمومیت‌ها و معلولیت‌های گوناگون می‌شوند. ارزیابی ریسک یکی از ارکان اصلی سیستم مدیریت ایمنی، سلامت و محیط زیست است، که هدف آن شناسایی، ارزیابی و کنترل عوامل مخاطره‌آمیزی است که سلامت و ایمنی کارکنان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نقش ارزیابی ریسک در مدیریت فعالیت‌ها در تعداد زیادی از صنایع از جمله گچ به خوبی پذیرفته شده است (Joazi *et al*., 2010). در هر برنامه سیستم ایمنی، سلامت و محیط‌زیست ابتدا باید خطرات را شناسایی نمود تا بتوان بر اساس آن راه مقابله و حذف خطر را پیشنهاد کرد و اهداف و برنامه‌های ایمنی و بهداشتی را تنظیم نمود. هر چه شناسایی خطر دقیق‌تر باشد، سیستم عملکرد بهتری را بروز می‌دهد (Brauer, 2006) بعد از شناسایی خطرات باید آن‌ها را ارزیابی کرد، این ارزیابی بدین معنی است که در هر قسمت از یک کارخانه گچ، کدام یک از خطرات عنوان شده احتمال وقوع بیشتری دارد و از نظر اهمیت رسیدگی مهم‌تر است و بر همین اساس اولویت کنترل آن‌ها چگونه است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد (Meknatjoo & Omidvari, 2015; Gunnarsson, 2001).

در مطالعه‌ای به منظور حذف کاهش و کنترل ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی کارخانه سیمان شمال، با سنجش آلاینده‌های هوا در محیط واحدهای آسیاب شماره ۱ و شماره ۲، آسیاب مواد شماره ۳، خروجی دودکش آسیاب مواد جدید و خروجی الکتروفیلتر دودکش

کوره شماره ۲، مشتمل بر آلاینده‌های گازی NO_2، NO، CO و ذرات معلق، با استفاده از تکنیک برآورد و توجیه هزینه ویلیام فاین[1]، عدد اولویت ریسک بر اساس پارامترهای شدت، احتمال وقوع و میزان تماس مورد محاسبه قرار گرفت و مقدار آن بین ۱۲ تا ۳۶۰ پیش‌بینی شد. نتایج این تحقیق نشان داده است که غلظت برخی آلاینده‌های هوا در کارخانه سیمان شمال در مقایسه با مقادیر استانداردهای موجود بالاتر است (Jozi *et al.*, 2014). همچنین در مطالعه دیگری ارزیابی همزمان خطرات بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی با استفاده از روش‌های William Fine و FMEA بر اساس استاندارد OHSAS 18001: 2007 در تونل البرز، ایران صورت گرفته است. در این مطالعه ۴۶ ریسک حیاتی، ۲۶ ریسک خیلی بالا، ۲۲ ریسک بالا، ۸ ریسک متوسط، ۳۴ ریسک پایین، ۲۹ رسک خیلی پایین، و ۸ ریسک ناچیز شناسایی شد (Zahed *et al.*, 2023).

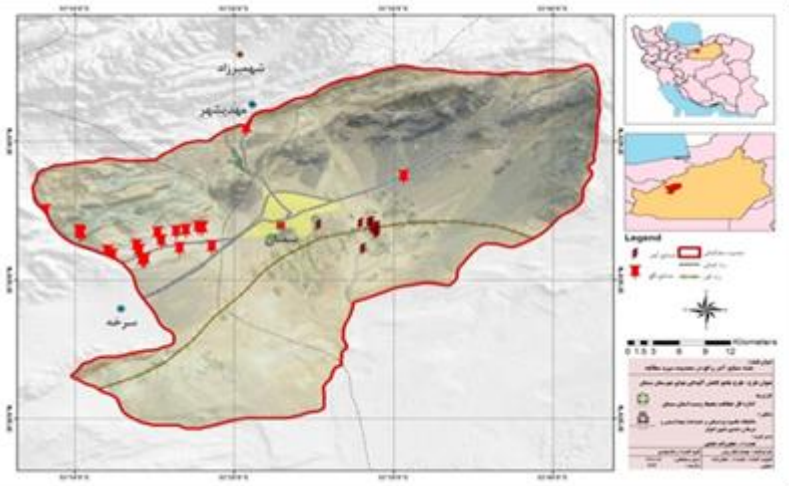
به نظر می‌رسد سابقه مناسبی از مطالعات ارزیابی ریسک در ایران وجود دارد ولی در مورد کارخانه گچ و به خصوص در سمنان چنین مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین اولین بار این تحقیق در خصوص به‌کارگیری تکنیک ویلیام فاین در ارزیابی ریسک محیط‌زیستی پنج واحد گچ در استان سمنان با استفاده از آلاینده‌های اندازه‌گیری شده صورت گرفته است. شناسایی منابع مولد ریسک آلودگی هوا و محاسبه و ارزیابی نمره ریسک و در نهایت درجه‌بندی و رتبه‌بندی جنبه‌های بارز و پیامدهای محیط‌زیستی آلودگی هوا در بخش‌های مختلف کارخانه‌های گچ استان، و معرفی روش‌های کنترل و کاهش آلودگی هوا برای واحدهای گچ از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان سمنان با وسعت حدود ۹۷ هزار کیلومتر مربع و حدود ۴۰۰ میلیون تن ذخایر معدنی از استان‌های غنی معدنی کشور به حساب می‌آید که سالانه حدود ۱۵ میلیون تن از ۳۳۰ معدن در ۳۶ نوع مختلف ماده معدنی تولید می‌کند. استان پهناور سمنان در تولید گچ و نمک و زئولیت رتبه اول کشور را در اختیار دارد. تولید گچ با حدود هفت میلیون تن بیشترین محصول معدنی استان به شمار می‌آید که تماماً در کارخانه‌های استان فرآوری و عمدتاً به گچ ساختمانی و مقداری نیز به گچ تحریر، قطعات تزیینی گچ و غیره تبدیل می‌شود. در حال حاضر ۶۱ معدن دارای پروانه، ۴۸ کارخانه گچ ساختمانی و گچ سنتی و ۱۱ واحد گچ آلفا، دیواره‌های گچی، گچ نسوز و گچ میکرونیزه در استان سمنان فعال است. این استان ۶ درصد گچ دنیا را تولید می‌کند و از عمده تولیدکنندگان گچ در کشور و جهان محسوب می‌شود. ۸۰ درصد گچ کشور در سمنان تولید و عرضه می‌شود، یعنی شهر سمنان هم در زمینه معدن و هم در زمینه فرآوری گچ رتبه اول کشور را دارد. اگر چه بیش از ۹۶ درصد این صنایع از سیستم‌های مناسبی برای کنترل آلودگی برخوردار هستند، اما باز هم مقداری آلودگی به واسطه فعالیت این واحدها به محیط‌زیست وارد می‌شود. در این تحقیق ۵ واحد تولید گچ مورد مطالعه قرار گرفته است. کارخانه شماره ۱ در سال ۱۳۶۴ به تولید رسیده است، در بالای منطقه گچی مومن آباد واقع شده، و دارای یک خط تولید مجهز به سیستم کنترلی بگ فیلتر می‌باشد. کارخانه شماره۲ در سال ۱۳۶۲ و با دو خط تولید گچ به بهره‌برداری رسیده است. این واحد مجهز به سیستم کنترلی بگ فیلتر و اتاقک غبارگیر برای خطوط تولید است. کارخانه شماره ۳ در یکی از سه منطقه تولید گچ استان یعنی عبدل‌آباد قرار دارد. این شرکت مجهز به سیستم کنترلی بگ فیلتر است و دارای دو خط تولید فعال می‌باشد. کارخانه شماره ۴ نیز دارای بگ فیلتر است. کارخانه شماره ۵ در سال ۱۳۶۳ تأسیس و با داشتن ۳ کوره فعال و ۲ خط بارگیری فعالیت می‌نماید. سیستم کنترلی غبار خروجی دودکش، بگ فیلتر می‌باشد. شکل۱ محل استقرار کارخانجات گچ سمنان را نشان می‌دهد. این پژوهش با هدف ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیط زیستی ۵ کارخانه گچ سمنان با تأکید بر ریسک‌های ناشی از آلودگی هوا اجرا شد. ابتدا با انجام مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای از فرآیند تولید گچ در کارخانه‌های سمنان، منابع آلاینده هوا در قسمت‌های مختلف کارخانه شناسایی گردید. سپس نتایج اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا ثبت شد. قابل ذکر است تعداد سه نمونه از آلاینده‌های گازی خروجی دودکش و ذرات معلق PM_{10} (چهار ضلع واحدهای مورد مطالعه) در نظر گرفته شده است.

[1] William-Fine

سنجش ذرات معلق خروجی از دودکش صنایع:
نمونه‌برداری از آلاینده‌های کارخانه‌های گچ مورد مطالعه در فصل تابستان سال ۱۳۹۹ انجام شده است. برای انجام عملیات نمونه‌برداری و سنجش غبار خروجی از دودکش از دستگاه TCR-Tecora ساخت کشور ایتالیا که دارای یک پویشگر، شلنگ‌های رابط، پمپ و محفظه سیلیکاژل جهت حذف رطوبت می‌باشد، استفاده گردیده است.



شکل۱- نقشه صنایع گچ در محدوده مورد مطالعه در شهرستان سمنان

این دستگاه بر اساس استاندارد ISO 9096 و به روش تمام اتوماتیک ایزوکینتیک عمل کرده و قادر است تا به وسیله پویشگر سرعت و فشار را نیز محاسبه کند. محفظه سیلیکاژل آن نیز جهت خشک کردن گاز ورودی به دستگاه نمونه‌بردار تعبیه شده است، تا اندازه‌گیری غبار بر اساس شرایط خشک و حذف رطوبت باشد. این دستگاه مجهز به محفظه خنک‌کننده‌ای به نام Cooling Unit می‌باشد. این سیستم جهت کنداکس فلوی ورودی به دستگاه و اندازه‌گیری رطوبت درون دودکش بوده تا بعضاً غبار خروجی با دمای بسیار بالا، مستقیماً به پمپ منتقل نشود. برای اندازه‌گیری با این دستگاه ابتدا نشتی دستگاه را چک کرده که باید کمتر از ۵۰۰ سی‌سی بر دقیقه باشد. سپس با استفاده از عملیات Dust Flow Rate مقدار سرعت و دبی در نقاط تعیین شده بر اساس استاندارد محاسبه شده که این کار سبب می‌شود تا خود دستگاه با توجه به سرعت و فلوی به دست آمده، قطر مناسب نازل را جهت اندازه‌گیری غبار خروجی با شرایط ایزوکینتیک تعیین کند. سپس با وارد کردن مقدار رطوبت به دست آمده در داخل دودکش، شروع به اندازه‌گیری می‌شود. برای انجام عملیات اندازه‌گیری، قبل از نمونه‌برداری ابتدا فیلترها به مدت ۲۴ ساعت درون دسیکاتور قرار داده می‌شوند تا رطوبت آن‌ها حذف شده و سپس به عنوان وزن اولیه، توزین می‌گردند. پس از انجام عملیات نمونه‌برداری باز هم فیلترها به مدت ۲۴ ساعت در داخل دسیکاتور قرار داده شده و سپس به عنوان وزن ثانویه توزین می‌گردند تا بتوان در شرایط نرمال اختلاف وزن را محاسبه و مقدار غبار خروجی را به دست آورد. به منظور سنجش غلظت محیطی PM_{10} از دستگاه پرتابل Haz- Dust مدل EPAM-5000 استفاده گردید. این دستگاه با استفاده از دو روش فیلتر وزنی و پراکنش نوری، ذرات PM_{10} را مطابق با روش آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۲] اندازه‌گیری و میزان ذرات معلق موجود در هوا را بر حسب $\mu g/m^3$ ارائه می‌دهد. دستگاه پرتابل Haz-Dust دارای حسگرهای مخصوص به منظور اندازه‌گیری PM_{10} می‌باشد. بعد از شروع به کار دستگاه چند دقیقه طول می‌کشد تا دستگاه یک عدد ثابت را نشان دهد که بر حسب میلی‌گرم بر مترمکعب است. در کارخانه‌های مورد بررسی (به جز کارخانه ۵) از ۴ نقطه محوطه جهت سنجش غلظت محیطی PM_{10} نمونه‌برداری شده است. این ۴ نقطه در اضلاع محیطی کارخانه واقع شده به طوری که فضای واحد را پوشش دهد.

[2]EPA

سنجش گازهای خروجی از دودکش صنایع: جهت آنالیز گازهای حاصل از احتراق دودکش‌ها از دستگاه Testo 350-M/XL ساخت کشور آلمان تحت استانداردهای EPA استفاده شده که دارای دو پراب یکی برای اندازه‌گیری گازهای حاصل از احتراق و سایر پارامترهای مربوط به آن و دیگری لوله پیتوت[3] برای اندازه‌گیری سرعت و دبی می‌باشد. حسگرهای الکتروشیمیایی این دستگاه گازهای CO را در محدوده ppm ۰-۱۰۰۰۰، NO را در محدوده ppm ۰-۳۰۰۰، NO_2 را در محدوده ppm ۰-۵۰۰، و SO_2 را در محدوده ppm ۰-۵۰۰۰ اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری گازها پویشگر را از نقطه نمونه‌برداری وارد کرده و در نقاط مختلف از سطح مقطع دودکش در محل اندازه‌گیری قرار داده و زمانی که تمام پارامترهای مورد آنالیز به یک ثبات پایدار رسیدند، اطلاعات ذخیره می‌شوند. سپس می‌توان از طریق پرینتری که روی دستگاه وجود دارد، اطلاعات را چاپ کرد و یا از طریق کابل رابط و اتصال به کامپیوتر، اطلاعات را دریافت کرد. در این مطالعه جهت مقایسه آلاینده‌های گازی و ذرات معلق از استاندارد درجه دو استفاده شده است. استاندارد درجه یک در مورد واحدهای جدید و واحدهایی اعمال می‌شود که استقرار آن‌ها با ضوابط استقرار مصوب ۱۳۹۰/۴/۱۵ مغایرت داشته باشد. استاندارد درجه دو در مورد واحدهایی اعمال می‌شود که استقرار آن‌ها با ضوابط استقرار فوق‌الذکر مطابقت دارد (DOE, 2021). غلظت آلاینده‌ها و همچنین میزان استاندارد آن‌ها در نتایج در شرایط نرمال گزارش شده است.

روش ارزیابی ریسک ویلیام-فاین: جهت ارزیابی ریسک با استفاده از روش ویلیام-فاین با بهره‌گیری از نظرات ۲۰ کارشناس خبره و توجه به غلظت آلاینده‌ها، ماتریس‌های شدت پیامد اثر، احتمال وقوع ریسک و میزان تماس نمره‌دهی شد و در نهایت میانگین نظرات به عنوان نمره پذیرفته و در جداول نهایی آورده شد. نمونه ماتریس نمره‌دهی ارزیابی ریسک توسط کارشناسان در زمینه‌های احتمال وقوع ریسک (A) در جدول ۲، شدت پیامد اثر (B) در جدول ۳، و رتبه‌بندی میزان تماس (C) در جدول۴ درج شده است. سپس با توجه به نمره ریسک محاسبه شده (فرمول ۱) و محاسبه تعداد رده و طول رده (فرمول‌های ۲ و ۳) امتیازات به‌دست آمده، و طبق روش ویلیام-فاین تعداد طبقات ریسک مشخص شد (Jozi *et al.*, 2010).

فرمول (۱)

$$R=B*A*C$$

فرمول (۲)

$$\text{تعداد رده} = ۱ + ۳/۳ \log n$$

فرمول (۳)

$$\text{طول رده} = \frac{\text{RPN بزرگترین} - \text{RPN کوچکترین}}{\text{تعداد رده}}$$

در فرمول ۲، تعداد خطرات/جنبه‌های شناسایی شده (آلاینده ها) و در فرمول ۳، RPN عدد اولویت ریسک[4] است. جهت امتیازدهی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در این روش بر اساس جداول۱، ۲ و ۳ از حاصل‌ضرب رتبه‌بندی شدت اثر رتبه‌بندی احتمال وقوع، و رتبه‌بندی میزان تماس، عدد اولویت ریسک مطابق فرمول ۱ محاسبه می‌شود.

در نهایت پس از مشخص شدن نمره ریسک، میزان هزینه‌های قابل قبول از فرمول ۴ محاسبه گردید:

فرمول (۴)

$$J=RPN/(CF\times DC)$$

که در آن J میزان هزینه قابل توجیه، RPN نمره ریسک، CF میزان هزینه لازم برای اصلاح و DC درجه تصحیح است (جدول ۴). در این رابطه چنانچه میزان J بیشتر از ۱۰ باشد هزینه کنترلی قابل قبول بوده لیکن در صورتی که میزان J کمتر از ۱۰ باشد هزینه‌های کنترلی قابل قبول نمی‌باشند (Kouhnavard *et al.*, 2012).

[3] Pitot

[4] Risk Priority Number

جدول ۱- رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک (A) در تکنیک ویلیام-فاین

ردیف	شرح احتمال وقوع	امتیاز
۱	محتمل هستند، به طور روزانه یا هفتگی اتفاق می‌افتد، غیرقابل کنترل می‌باشند.	۱۰
۲	شانس وقوع ۵۰-۵۰ است، امکان وقوع وجود دارد، ماهانه اتفاق می‌افتد.	۶
۳	تصادفی هستند، شانس وقوع کمتر از ۵۰ درصد، طی سال چندین بار و قابل کنترل در سطح شرکت است.	۲
۴	احتمالا تا چند سال پس از تماس اتفاق نمی‌افتد، اما امکان وقوع، به ندرت ممکن است اتفاق بیفتد.	۰/۵
۵	وقوعی غیرممکن دارند، یا هرگز اتفاق نمی‌افتند.	۰/۱

جدول ۲- رتبه‌بندی شدت پیامد اثر (B)در تکنیک ویلیام-فاین

ردیف	شرح شدت ریسک	امتیاز
۱	خسارت‌های غیرجبران محیط‌زیستی با آثار طولانی مدت، خسارت مالی بیش از۱۵۰میلیون تومان، اثر بین‌المللی روی شهرت سازمان، و مصرف بیش از حد منابع و انرژی (غلظت آلاینده ۵۰ درصد بیش از حد مجاز)	۱۰
۲	آسیب منجر به از کارافتادگی دایم بیش از یک نفر، خسارت‌های غیر قابل جبران محیط‌زیستی با آثار میان مدت و خسارت‌های مالی بین ۱۰۰تا ۱۵۰ میلیون تومان، اثر روی شهرت سازمان به صورت ملی، مصرف نسبتاً زیاد منابع و انرژی (غلظت نسبتاً زیاد آلاینده و ۳۰ درصد بیش از حد مجاز)	۸
۳	خسارت‌های غیر قابل جبران محیط‌زیستی با آثار کوتاه مدت و خسارت مالی بین ۵۰ الی ۱۰۰میلیون تومان، اثر روی شهرت سازمان به صورت محلی، و مصرف زیاد منابع و انرژی (غلظت آلاینده ۱۰درصد بیش از حد مجاز)	۶
۴	آسیب طولانی بدون ناتوانی دایمی، خسارت قابل جبران محیط‌زیستی با آثار طولانی، خسارت مالی ۵ تا۵۰ میلیون تومان، اثر بر شهرت سازمان (محلی) و مصرف متوسط منابع و انرژی (غلظت آلاینده ۵ درصد بیش از حد مجاز)	۵
۵	آسیب موقتی، خسارت‌های قابل جبران محیط‌زیستی با آثار کوتاه مدت، کمتراز ۵ میلیون تومان، اثر روی شهرت سازمان به صورت درون سازمانی، و مصرف کم منابع (غلظت آلاینده کمتر از ۵ درصد بیشتر از حد مجاز)	۴
۶	آسیب جزیی، نیازمند کمک‌های اولیه (۳ روز و کمتر دوره درمان)، خسارت مالی کمتر از یک میلیون تومان، اثر روی شهرت سازمان به صورت درون واحدی، و مصرف بسیار کم منابع (غلظت آلاینده در حد استاندارد)	۲
۷	خسارت مالی قابل صرف نظر، بدون اثر روی شهرت سازمان و بدون خسارت محیط‌زیستی	۱

جدول ۳- رتبه بندی میزان تماس (C) در تکنیک ویلیام-فاین

ردیف	شرح میزان تماس	امتیاز
۱	به طور پیوسته روزی چندین بار، تماس بیش از ۸ ساعت و انتشار مداوم آلاینده	۱۰
۲	اغلب هفته‌ای چندین بار، تماس بیش از ۸ ساعت و انتشار مداوم آلاینده	۶
۳	گه‌گاه، ماهی چندین بار، تماس بین ۴ الی ۶ ساعت درروز و انتشار متوسط آلاینده ماهیانه و به شکل موردی	۳
۴	به طور غیر معمول، سالی چندین بار، تماس بین ۲ الی ۴ ساعت در روز، انتشار غیر عادی آلاینده و فصلی	۲
۵	به ندرت، چند سال یک‌بار، تماس بین ۱ الی۲ ساعت در روز و انتشار کم آلاینده	۱
۶	به طور جزیی، خیلی کم، تماس کمتر از ۱ساعت در روز و انتشار قابل اغماض آلاینده، سالیانه و به شکل موردی	۰/۵
۷	بدون تماس، بدون فرکانس وقوع، و بدون انتشار آلاینده	۰/۱

نتایج

آلاینده‌های صنایع گچ مورد بررسی: آلاینده‌های تولیدی در بخش‌های مختلف این ۵ واحد مورد مطالعه به طور کلی شامل NO_x، CO، SO_2، Dry Dust و PM_{10} می‌باشد. نتایج میزان آلاینده‌ها در جدول‌های ۵ تا ۹ درج شده است.

جدول ۴- عامل هزینه و درجه تصحیح

عامل هزینه (میزان هزینه لازم برای اصلاح)، CF		درجه تصحیح (مقداری که ریسک کاهش می‌یابد)، DC	
۱۰	بیش از ۵۰۰۰۰ دلار	۱	۱۰۰ درصد ریسک کاهش می‌یابد.
۶	۵۰۰۰۰-۲۵۰۰۰ دلار	۲	۷۵ درصد ریسک کاهش می‌یابد.
۴	۲۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ دلار	۳	۵۰ تا ۷۵ درصد ریسک کاهش می‌یابد.
۳	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ دلار	۴	۲۵ تا ۵۰ درصد ریسک کاهش می‌یابد.
۲	۱۰۰۰-۱۰۰ دلار	۶	کمتر از ۲۵ درصد ریسک کاهش می‌یابد.
۱	۱۰۰-۲۵ دلار	-	-
۰/۵	کمتر از ۲۵ دلار	-	-

جدول ۵- میزان آلاینده گاز NO_x خروجی از دودکش صنایع گچ سمنان

واحدهای صنعتی	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵
دودکش ۱	۳۹ ppm	۱۸/۳۳ ppm	۲۴/۵ ppm	۳۳ ppm	۲۵/۳۳ ppm
دودکش ۲	_	_	۳۴/۳۳ ppm	_	_
تعداد نمونه	۳	۲	۳	۲	۲
استاندارد	۳۵۰ppm	۳۵۰ppm	۳۵۰ppm	۳۵۰ppm	۳۵۰ppm
وضعیت انطباق	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
مرجع قانونی	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست

جدول ۶- میزان آلاینده گاز SO_2 خروجی از دودکش صنایع گچ سمنان

واحدهای صنعتی	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵
دودکش ۱	۴۸ ppm	۴۴/۳۳ ppm	۳۲۱ ppm	۶۱/۵ ppm	۳۴/۵ ppm
دوکش ۲	_	_	۱۴۵/۶۶ ppm	_	_
تعداد نمونه	۳	۳	۳	۲	۲
استاندارد	۸۰۰ ppm	۸۰۰ ppm	۸۰۰ ppm	۸۰۰ ppm	۸۰۰ ppm
وضعیت انطباق	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
مرجع قانونی	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست

جدول ۷- میزان آلاینده گاز CO خروجی از دودکش صنایع گچ سمنان

واحدهای صنعتی	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵
دودکش ۱	۱۶/۳۳ ppm	۵ ppm	۱۰۰ ppm	۲۴/۵ ppm	۱۴ ppm
دودکش ۲	_	_	۳۰/۳۳ ppm	_	_
تعداد نمونه	۳	۳	۳	۲	۲
استاندارد	۴۳۵ ppm	۴۳۵ ppm	۴۳۵ ppm	۴۳۵ppm	۴۳۵ ppm
وضعیت انطباق	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز
مرجع قانونی	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست	سازمان محیطزیست

جدول ۸- میزان آلاینده PM_{10} در محوطه کارخانه‌های گچ سمنان

واحدهای صنعتی	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵
ضلع شماره ۱	۱۱۰۰۰/۰۴ µg/m^3	۱۲/۶۸ µg/m^3	۸۵۶۶۰ µg/m^3	۷۹۰۰۰µg/m^3	–
ضلع شماره ۲	۱۱۰۰۰/۱۴µg/m^3	۱/۶۸ µg/m^3	۹۷۶۶۰ µg/m^3	۶۶۰۰۰ µg/m^3	–
ضلع شماره ۳	۲۳۳۳۳/۴۰ µg/m^3	۲/۶۸ µg/m^3	۷۸۰۰۰ µg/m^3	۷۶۰۰۰ µg/m^3	–
ضلع شماره ۴	۳۰۳۳۳/۳۸µg/m^3	۳۰/۵ µg/m^3	۷۶۳۳۰ µg/m^3	۶۳۰۰۰ µg/m^3	–
تعداد نمونه	۳	۳	۳	۳	–
وضعیت انطباق	غیر مجاز	مجاز	غیر مجاز	غیر مجاز	-
استاندارد محیط‌زیست ایران*	۱۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۱۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۱۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۱۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	–
استاندارد سازمان جهانی سلامت (WHO, 2016)	۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	۵۰µg/m^3 ۲۴ ساعته	–
مرجع مطالعه حاضر	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	–

جدول ۹- میزان آلاینده ذرات خشک خروجی از دودکش صنایع گچ سمنان

واحدهای صنعتی	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵
دودکش ۱	۹۱/۲mg/m^3	۵۳/۲۳ mg/m^3	۲۲۶/۸۵ mg/m^3	۲۰۱/۱۵ mg/m^3	۴۶۰/۵۵ mg/m^3
دودکش ۲	–	–	–	–	۳۱۸/۹۶ mg/m^3
نمونه	۳	۲	۳	۲	۳
استاندارد	۴۵۰mg/m^3	۴۵۰mg/m^3	۴۵۰mg/m^3	۴۵۰mg/m^3	۴۵۰mg/m^3
وضعیت انطباق	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	غیر مجاز
مرجع قانونی	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست	سازمان محیط‌زیست

ارزیابی ریسک جنبه‌های محیط‌زیستی: با توجه به پروژه‌های صنعت گچ، تعداد زیادی ریسک وجود دارد که ممکن است در طول سپری کردن مراحل مطالعات تمامی این ریسک‌ها شناسایی نشود. بعد از شناسایی خطرات باید آن‌ها را ارزیابی کرد. عدد اولویت ریسک با استفاده از فرمول ۱ که در قسمت قبل ذکر شد (R=B×A×C) برای آلاینده‌های CO، SO_2، NOx، PM_{10} و ذرات خشک به‌دست آمد. تعداد رده برای مطالعه حاضر ۳/۳۱ محاسبه گردید که برای سهولت از ۴ طبقه استفاده شد. لذا ۴ طبقه با عناوین ریسک خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین در نظر گرفته شد. همچنین طول رده ۲۲۵ محاسبه گردید. رتبه‌بندی سطح خطر در تکنیک ویلیام-فاین برای مطالعه حاضر به این شکل انجام شد که رتبه ۱۰۰-۳۲۵ به سطح ریسک پایین (اقدام لازم: عامل خطرناک بالقوه تحت نظارت وکنترل است)، رتبه ۳۲۵-۵۵۰ به سطح ریسک متوسط (اقدام لازم: غیرطبیعی است و نیازمند بررسی عامل خطرناک است)، رتبه ۵۵۰-۷۷۵ به سطح ریسک بالا (اقدام لازم: وضعیت اضطراری است یا در اسرع وقت باید اقدامات لازم به‌عمل آید) و رتبه ۷۷۵-۱۰۰۰ به سطح ریسک خیلی بالا (اقدام لازم: اصلاحات فوری برای کنترل خطر مورد نیاز است) اختصاص یافت. ارزیابی ریسک واحدهای تولید گچ در جداول ۱۰ تا ۱۴ درج شده است.

فرمول (۵)

تعداد رده برای مطالعه حاضر = ۳/۳۱ log ۵ +۳/۳ ۱ =

فرمول (۶)

طول رده برای مطالعه حاضر

= (۱۰۰۰ - ۱۰۰) ÷ تعداد رده = ۹۰۰ ÷ ۴ = ۲۲۵

جدول ۱۰- ارزیابی ریسک کارخانه گچ شماره ۱

تجهیزات		جنبه محیط‌زیستی	اثرات مخرب	شدت	احتمال وقوع	میزان تماس	عدد الویت ریسک RPN	سطح ریسک
دودکش ۱		CO	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		SO_2	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		NOx	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
		Dry Dust	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
محوطه	ضلع* ۱	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۶	۱۰	۶۰۰	بالا
	ضلع ۲	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۶	۱۰	۶۰۰	بالا
	ضلع ۳	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۶	۱۰	۶۰۰	بالا
	ضلع ۴	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۶	۱۰	۶۰۰	بالا

*ضلع ۱: شمال، ضلع ۲: جنوب، ضلع ۳: شرق، و ضلع ۴: غرب

جدول ۱۱- ارزیابی ریسک کارخانه گچ شماره ۲

تجهیزات		جنبه محیط‌زیستی	اثرات مخرب	شدت	احتمال وقوع	میزان تماس	عدد الویت ریسک RPN	سطح ریسک
دودکش ۱		CO	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		SO_2	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		NOx	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		Dry dust	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
محوطه	ضلع* ۱	PM_{10}	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
	ضلع ۲	PM_{10}	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
	ضلع ۳	PM_{10}	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
	ضلع ۴	PM_{10}	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین

*ضلع ۱: شمال غربی، ضلع ۲: شمال شرقی، ضلع ۳: جنوب غربی، ضلع ۴: جنوب شرقی

جدول ۱۲- ارزیابی ریسک کارخانه گچ شماره ۳

تجهیزات		جنبه‌محیط‌زیستی	اثرات مخرب	شدت	احتمال وقوع	میزان تماس	عددالویت ریسک RPN	سطح ریسک
دودکش ۱		CO	آلودگی هوا	۴	۱۰	۱۰	۴۰۰	متوسط
		SO_2	آلودگی هوا	۴	۱۰	۱۰	۴۰۰	متوسط
		NOx	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
		Dry dust	آلودگی هوا	۴	۱۰	۱۰	۴۰۰	متوسط
دودکش ۲		CO	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		SO_2	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
		NOx	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
محوطه	ضلع* ۱	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۲	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۳	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۴	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا

*ضلع ۱: شمال غربی، ضلع ۲: شمال شرقی، ضلع ۳: جنوب غربی، ضلع ۴: جنوب شرقی

جدول ۱۳- ارزیابی ریسک کارخانه گچ شماره ۴

تجهیزات		جنبه محیط زیستی	اثرات مخرب	شدت	احتمال وقوع	میزان تماس	عدد الویت ریسک RPN	سطح ریسک
دودکش ۱		CO	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		SO_2	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
		NOx	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
		Dry Dust	آلودگی هوا	۴	۱۰	۱۰	۴۰۰	متوسط
محوطه	ضلع* ۱	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۲	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۳	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
	ضلع ۴	PM_{10}	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا

*ضلع ۱: شمال غربی، ضلع ۲: شمال شرقی، ضلع ۳: جنوب غربی، و ضلع ۴: جنوب شرقی

جدول ۱۴- ارزیابی ریسک کارخانه گچ شماره ۵

تجهیزات	جنبه محیط‌زیستی	اثرات مخرب	شدت	احتمال وقوع	میزان تماس	عدد الویت ریسک RPN	سطح ریسک
دودکش ۱	CO	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
	SO_2	آلودگی هوا	۱	۱۰	۱۰	۱۰۰	پایین
	NOx	آلودگی هوا	۲	۱۰	۱۰	۲۰۰	پایین
	Dry dust	آلودگی هوا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰۰	خیلی بالا
دودکش ۲	Dry dust	آلودگی هوا	۶	۱۰	۱۰	۶۰۰	خیلی بالا

بحث

آلاینده‌های صنایع گچ مورد بررسی: تنها دو اکسید نیتروژن در مطالعه آلودگی هوا مهم هستند: اکسید-نیتریک (NO) و دی‌اکسیدنیتریک (NO_2). طبق جدول‌های ۵، ۶ و ۷ میزان NOx، SO_2 و CO خروجی از دودکش صنایع گچ سمنان در حد مجاز است. آلاینده‌های ذره‌ای به ذرات قابل تنفس با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})و غیر قابل تنفس با قطر تا ۱۰۰ میکرون تقسیم‌بندی می‌شوند. ذرات سنگین، سریع‌تر از ذرات سبک ته‌نشین می‌شوند (Gholampour *et al*., 2015). بنابراین، اثرات آن‌ها را می‌توان در نزدیک منابع خروجی مشاهده نمود. جدول ۸ نشان می‌دهد که PM_{10} در هوای آزاد در کارخانه‌های گچ مورد بررسی طبق استاندارد WHO بالاتر از حد مجاز و طبق استاندارد EPA پایین‌تر از حد مجاز بوده است (EPA, 2017). سمنان استانی کویری است و تحت تأثیر شعاع جوی قرار دارد. کوچکترین وزش باد در این استان باعث ایجاد ریزگرد و آلودگی هوا می‌شود. مطالعه‌ای توسط Nourmoradi و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص میزان ذرات معلق محوطه کارخانه سیمان درود انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حداکثر میانگین غلظت ذرات مشاهده شده برای PM_{10} در کارخانه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ بیش از حد مجاز بوده است (Nourmoradi *et al*., 2014). گازهای آلوده‌کننده محیط که از بگ فیلترهای کارخانه‌های گچ خارج می‌شود حاوی CO_2، NOx، SO_2، CO و ذرات معلق (PM_{10}) می‌باشد. ورود ذرات PM_{10} به اتمسفر، همچنین انباشت غبار در محیط اطراف کارخانه از مشکلات مهم محیط‌زیستی کارخانه‌های گچ است.

سنجش PM_{10} در محیط اطراف صنایع گچ نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق در محیط اطراف کارخانجات گچ بیشتر از سایر صنایع بوده است چون غبار حاوی مقدار زیادی گچ یا مواد اولیه‌ای است که از عملیات استخراج، خردایش، سرند، ذخیره‌سازی، غبارگیری و آسیاب آن حاصل شده است. با نصب سامانه‌های کنترل آلاینده، علاوه بر جلوگیری از آلودگی هوا روزانه تا ۱۵۰۰ تن گچ میکرونیزه نیز تولید می‌شود. در واقع به‌کارگیری مجدد این غبار، سبب افزایش تولید و کاهش مصرف انرژی می‌شود.

ارزیابی ریسک جنبه‌های محیط‌زیستی: بر اساس خطرات شناسایی شده در یک سیستم می‌توان راه‌های مواجهه با ریسک را پیشنهاد کرده و اهداف و برنامه‌های ایمنی، سلامت و محیط‌زیست را تنظیم نمود. هر چه شناسایی خطر دقیق‌تر باشد، سیستم عملکرد بهتری را بروز می‌دهد (Brauer, 2006). روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی وجود دارد (Jozi *et al.*, 2014). Kouhnavard در پژوهشی به روش توصیفی در سال ۲۰۱۲ و در یک شرکت فوم‌سازی در استان قزوین ارزیابی خطر را با روش ویلیام فاین انجام داد. در این مطالعه ابتدا با توجه به بازدیدهای میدانی، ریسک‌های موجود در کارخانه شناسایی گردید و رتبه‌بندی شدت اثر، احتمال وقوع خطر و میزان تماس هر یک از فعالیت‌ها و جنبه‌های آن مطابق با جداول مربوطه روش مزبور استخراج گردید (Kouhnavard *et al.*, 2012). همچنین در مطالعه دیگری ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیط زیستی در صنعت معدن با استفاده از روش ویلیام فاین و تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن بر محیط زیست انجام شد (Rashidi & Farokhian, 2020). هرکدام از روش‌های ارزیابی ریسک دارای مزایا و معایبی، وابسته به محیط مورد مطالعه هستند. بنابراین نمی‌توان روشی را با اطمینان تأیید یا رد کرد. این امر که یک روش در یک صنعت تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله طراحی، ساختار، نوع فعالیت‌های آن صنعت و شرایط محیط‌زیستی منطقه مورد مطالعه و دیگر عوامل محیطی بستگی دارد. در واحدهای صنعتی گچ با توجه به نتایج مقدار آلاینده‌ها ملاحظه می‌شود که غلظت گرد و غبار در هوای آزاد کارخانه‌های گچ و همچنین اطراف آن در برخی از واحدها بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان سلامت جهانی است. این امر علاوه بر هدر رفتن مقادیر قابل توجهی گچ باعث ایجاد مشکلاتی برای سلامت کارکنان و منطقه خواهد شد. البته غلظت ذرات معلق بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست در حد استاندارد است. در این پروژه استاندارد محیط‌زیست مدنظر قرار گرفته است. بررسی برخی از داده‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق فراتر از استاندارد است لذا در محاسبه ریسک به مسأله نمونه‌های بیش از حد مجاز (نه میانگین) توجه شده است. از طرفی احتمال وقوع نقش تعیین‌کننده‌ای در عدد اولویت ریسک دارد. میانگین غلظت آلاینده‌های گازی دی‌اکسیدگوگرد، منواکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن در ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده مجاز قرار داشت. برخی از ذرات معلق ممکن است حاوی مولکول‌های گازی محرک و سوزش آور باشد که در صورت استنشاق می‌تواند مستقیماً روی بدن اثر سوء بگذارد (Almasi *et al.*, 2013). بر اساس رتبه‌بندی انجام گرفته از ۴۰ جنبه محیط‌زیستی مورد بررسی، فراوانی رده پایین ۲۲، رده متوسط ۴، رده بالا ۴ و رده خیلی بالا ۱۰ است. به عبارت دیگر ۵۵ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک پایین، ۱۰ درصد در سطح ریسک متوسط، ۱۰ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک بالا و ۲۵ درصد در سطح ریسک خیلی بالا قرار داشتند.

غالب ریسک‌های واحدهای مورد مطالعه در زمره ریسک‌های سطح پایین طبقه‌بندی می‌شود. در واحدهای گچ شماره ۳ و ۴، ریسک‌های ذرات معلق PM_{10} در زمره ریسک‌های خیلی بالا قرار داشتند. همچنین ریسک مربوط به ذرات خشک در هر دو دودکش کارخانه شماره ۵ در سطح خیلی بالا می‌باشد. پس از تعیین نمره ریسک یا RPN، جنبه‌های محیط‌زیستی بر مبنای مقدار RPN به صورت نزولی از بالاترین عدد اولویت ریسک (حاصل‌ضرب رتبه‌بندی شدت اثر، احتمال وقوع و میزان تماس) یعنی ۱۰۰۰ تا پایین‌ترین عدد اولویت ریسک یعنی ۱۰۰ مرتب و سپس درجه مخاطره‌پذیری یا RPN با استفاده از روش توزیع فراوانی تعیین شد. بیشترین فراوانی مربوط به رده پایین است در نتیجه درجه مخاطره‌پذیری از این رده استحصال می‌شود به این ترتیب که میانگین حد پایین (۱۰۰) و بالای (۳۲۵) رده پایین به عنوان درجه مخاطره‌پذیری محاسبه می‌شود. درجه مخاطره‌پذیری برای این مطالعه ۲۱۲/۵ به‌دست آمد و آلاینده‌هایی که

اعداد اولویت ریسک آن‌ها بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری بوده به عنوان فعالیت‌هایی با اولویت ریسک بحرانی شناخته شده، و نیاز به اقدامات اصلاحی دارند. تجمع کارخانه‌های گچ در منطقه مومن‌آباد و حاشیه شهر سمنان، باعث تجمع صنایع در یک قسمت شده و این امر باعث شده که این آلودگی برای محیط اطراف قابل تحمل نباشد (در واقع بالاتر از ظرفیت خود پالایی محیط است) و این یکی از مشکلات محیط‌زیستی منطقه است. یکی دیگر از مشکلات محیط‌زیستی در برخی از واحدهای صنعتی استفاده نکردن از فیلتر در برخی از اوقات است که تولید آلایندگی بیشتر محیط را به دنبال دارد. انفجار در معادن حاشیه مناطق مسکونی از اهم عوامل مهم در آلودگی محیط‌زیست است که غلظت‌های بالای ذرات معلق در این مطالعه اثباتی بر این مسأله است. بر اساس ضوابط فعالیت‌های معدنی، این معادن باید از انفجارهای کوچک جهت تأمین مواد اولیه خود استفاده کنند اما انفجارهای وسیع علاوه بر ایجاد آلودگی‌های صوتی، آلودگی شدید هوا را به دنبال دارد. در یک مطالعه ارزیابی ریسک ایمنی و بهداشت واحد احیای اسید شرکت پالایش نفت آبادان به روش ویلیام-فاین انجام شد. بر اساس نتایج تعداد ۱۰۰ مورد از ریسک‌های ایمنی و بهداشتی در واحد احیاء اسید شناسایی که ۲۵ ریسک غیرطبیعی، ۲ ریسک اضطراری و ۷۳ ریسک طبیعی به‌دست آمد (Hafezi *et al.*, 2018).

در این مطالعه هزینه‌های قابل قبول برای اصلاح ریسک محاسبه شد. به عنوان مثال برای RPNهای ۱۰۰ در صورتی که قرار باشد میزان ریسک کمتر از ۲۵ درصد کاهش یابد ۲۵ تا ۱۰۰ دلار هزینه قابل قبول است و بیشتر از آن مورد قبول نیست. روش ویلیام-فاین شامل توجیه اقتصادی مداخلات ایمنی و هزینه توجیه اصلاح ریسک در ارزیابی ریسک است که کارشناسان را قادر می‌سازد تا در مورد توجیه هزینه‌های حذف ریسک (ریسک مالی) قضاوت کنند. در نتیجه این می‌تواند دلیلی برای تمایز این روش از سایر روش‌های ارزیابی ریسک باشد که در اکثر روش‌های ارزیابی ریسک هیچ توجیه اقتصادی برای ریسک وجود ندارد در بسیاری از مقالات مورد مطالعه، شاخص توجیه هزینه اقدامات کنترلی محاسبه نشده و تنها از روش ویلیام-فاین برای تعیین امتیاز ریسک استفاده شده است، تنها تعداد محدودی از مطالعات این شاخص را محاسبه کرده‌اند (Moloudpourfard & Pouakian, 2020).

برای ارتقای کیفیت هوا در صنایع گچ لازم است تا تغییر سوخت مصرفی به سوخت پاک‌تر در صنایع جهت کاهش انتشار آلودگی هوا صورت گیرد. سوخت‌هایی مانند مازوت و گازوئیل غلظت‌های بالاتری از آلاینده‌های هوا مانند منوکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد و غیره دارند. تغییر فرآیند تولید صنایع جهت کاهش انتشار آلودگی هوا و نصب و راه‌اندازی تجهیزات کنترل آلودگی هوا (علاوه بر موارد موجود) از سایر راهکارهاست (جایگزین کردن فیلترهای کیسه‌ای نوع ضربه‌ای با نوع جت‌پالس، استفاده از تصفیه‌کننده‌های‌مرطوب،رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیکی و جمع کننده‌های سیکلونی نیز مؤثرند. جت پالس اعمال شوک الکتریکی به کیسه‌های بگ فیلتر است که باعث می‌شود ذرات جذب شده به کیسه‌ها کاملاً رها شده و مجددا کیسه‌ها برای جذب مجدد ذرات آماده شوند اما در نوع ضربه‌ای عمل جداسازی ذرات از کیسه‌ها به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد و این در راندمان فیلتر خانه یا بگ فیلتر مؤثر است). همچنین افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف سوخت در صنایع، آموزش مدیران و کارشناسان جهت افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف سوخت در صنایع، آموزش مدیران و کارشناسان جهت توجه به میزان آلایندگی صنعت در زمان تصمیم‌گیری در مورد توسعه و انتخاب تکنولوژی صنعت، پایش منظم کمیت و کیفیت جریان گاز خروجی از دودکش صنایع، جلوگیری از پراکنش ذرات در هوای آزاد (استفاده از بادشکن و انبارهای سرپوشیده) و استفاده از ماسک‌های فیلتردار به هنگام تماس با گرد و غبار در داخل محوطه کارخانه و محل کار از راهکارهای مؤثر دیگر جهت مدیریت محیط زیست صنایع گچ به شمار می‌روند.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر دامن‌گیر و آقای مهندس فرهنگ (اداره کل حفاظت محیط‌زیست سمنان) که نهایت همکاری را در انجام این تحقیق داشتند صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

1. **Alizadeh Aliabadi H. and Vaziri, M., 2012.** The concentration of the carbon monoxide emissions and its relation with the temperature in the Towhid tunnel. The Ninth International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, https://www.civilica.com/Paper-ICCE09-ICCE09_894.htm (in Persian).
2. **Alizadeh Dakhel, A., Ghavidel, A. and Panahandeh, M., 2010.** CFD modeling of particulate matter dispersion from Kerman cement plant, Iran. Journal of Health and Environment. 3(1), 67-74 (In Persian with English abstract).
3. **Almasi, A., Asadi, F., Mohamadi, M., Farhadi, F., Atafar, Z., Khamutian, R. and Mohamadi, A., 2013.** Survey of pollutant emissions from stack of Saman cement factory of Kermanshah city from year 2011 to 2012. Journal of Health in the Field, 1(2), 36-43 (In Persian with English abstract).
4. **Brauer, R., 2006.** Safety and health for engineers. Published by John Wiley and Sons. Second Edition, Inc., Hoboken, New Jersey.
5. **Department of Environment, Islamic Republic of Iran (DOE), 2021.** https://www.doe.ir/ (accessed January 2021).
6. **Ebrahimzadeh, M., Halvani, G.H., Darvishi, E. and Froghinasab, F., 2015.** Application of Job Safety Analysis and William Fine methods to identify and control hazards in a uranium mine in central area of Iran. Journal of Health, 6(3), 323-324, (In Persian with English abstract).
7. **EPA, 2017.** https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table.
8. **Gholampour, A., Nabizadeh, R., Hassanvand, M.S., Taghipour, H., Faridi, S. and Mahvi, A.H., 2015.** Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz, Iran. Journal of Health and Environment, 7(4), 541-556 (In Persian with English abstract).
9. **Gunnarsson, S.A., 2001.** Guideline for implementation of Environment Failure Mode and Effect Analysis method. Marmait Publish, Sofia, Bulgaria.
10. **Hafezi, S., Dashti, S. and Sabzghabaei, G., 2018.** Risk Assessment Health and Safety of Acid Recovery unit of Abadan Oil Refining Company by using William Fine. Journal of Ethics in Higher Education. 6 (1), 67-83(In Persian with English abstract).
11. **Halvani, G., Ehrampoush, M.H., Ghaneian, M.T., Dehghani, A. and Hesami Arani, M., 2017.** Applying Job Hazard Analysis and William-Fine methods on risks identification and assessment of jobs in hot rolling steel, Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 26 (145), 293-303, (In Persian with English abstract).
12. **Hazrati, S., Rezazadeh, Azari, M., Sadeghi, H. and Rahimzadeh, S., 2011.** Dust concentrations in an Ardabil portland cement industry, Journal of University of Medical Science, Ardabil, 9(4), 292-298, (In Persian with English abstract).
13. **Jozi, S.A., Atabi, F. and Honarman, H., 2014.** Health, safety and environmental risk management in North cement plant by using William-Fine technique, Environmental Researches, 5(10), 23-34, (In Persian with English abstract).
14. **Jozi, S.A., Esmat Saatloo, S.J. and Javan, Z., 2014.** Environmental risk assessment of the olefin plant in Arya Sasol petrochemical complex using Fault Tree Analysis method, Iran. Journal of Health and Environment. 7(3), 385-398 (In Persian with English abstract).
15. **Jozi, S.A., Haghighifard, N. and Bebahani, N., 2014.** Identifying and assessing environmental risks due to high-voltage power transmission lines in urban areas by William-Fine method. Scientific Journal of Ilam University of Medical Scienc, 22(2), 82-92 (In Persian with English abstract).
16. **Jozi, S.A., Kaabzadeh, S.H. and Irankhahi, M., 2010.** Safety, health and environmental risk assessment and management of Ahwaz pipe manufacturing company via William-Fine method. Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences, 18(1), 1-8 (In Persian with English abstract).
17. **Kouhnavard, B., Najimi, M.R., Aghanasab, M. and Bolghan Abadi, S., 2012.** Occupational hazard identification and assessment in a foam company applying William-Fine method. Journal of Student Research Center, 3(34), 62-73 (In Persian with English abstract).
18. **Meknatjoo, M. and Omidvari, M., 2015.** Safety risk assessment using William–Fine method with compilation fuzzy DEMATEL in Machining process. Iran Occupational Health, 12(5), 31-42.

19. **Nourmoradi, H., Omidikhaniabadi, Y., Goudarzi, G., Jourvand, M. and Nikmehr, K., 2014.** Investigation on the dust dispersion (PM_{10} and $PM_{2.5}$) by Doroud cement plant and study of its individual exposure rates. Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences, 24(1), 64-75, (In Persian with English abstract).
20. **Perez, P. and Reyes, J., 2006.** An integrated neural network model for PM_{10} forecasting. Atmospherci Environment, 40, 2845-51.
21. **Pouyakian, M. and Moloudpourfard, B., 2020.** Application of Cost Justification Index of Safety Control Measures (J) In William Fine's Method in the Iranian Studies: A Systematic Review. International Journal of Occupational Hygiene. 12(2), 162-175.
22. **Rashideh, H. and Farrokhiyan, F., 2020.** Assessment and management of environmental risks in the mining industry using the William Fine's Method and analysis of failure modes and their effects on the environment. The first international conference and the fourth national conference on materials engineering, metallurgy and mining. 1-19.
23. **Ryahi Samani, M., 2007.** Investigation of application precipitations in treatment output gas in cement factories. American Journal of Environmental Sciences, 3(3), 166-174.
24. **WHO, 2016.** http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/.
25. **Zahed, M.A., Seidi, F., Salehi, S. and Pardakhti, A., 2023.** Simultaneous assessment of health, safety, and environmental risks using William Fine and FMEA methods based on OHSAS 18001: 2007 standard in the Alborz tunnel, Iran. Geomechanics and Tunnelling. 16(1), 103-113.

2024, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Measuring and Assessing the Environmental Risk of Pollutants Released from Gypsum Production Industries with William-Fine's Technique

Ghasem Zolfaghari *[1] Sara Mohabat [1]

1*- Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Original Article

Received: 2023.08.27

Accepted: 2024.05.17

Keywords: William-Fine Risk Assessment, Risk Priority Number (RPN), Gaseous Pollutants, Particulate Matter

Abstract

Introduction: The growth of technology and industry has brought prosperity to mankind on the one hand, but on the other hand, it has caused the creation of physical, chemical, and biological pollutants in the environment and by creating unfavorable conditions in the work environment, it has endangered the basis of a healthy life. Suspended particles (Particulate Matter (PM)), sulfur oxides (SOx), nitrogen oxides (NOx), and carbon monoxide (CO) are among the standard and important pollutants in air pollution. In this research, the pollutants emitted from the chimneys of Semnan gypsum industries including carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter (PM_{10}), and dry dust have been studied in five Semnan gypsum factories.

Materials and Methods: The concentration of PM_{10} and dry dusts was determined using a particle measuring device (TCR-Tecora) and a Testo 350-M/XL device was used to measure gaseous pollutants. Sampling of industrial chimneys as well as the space around the factories has been done in four places. Also, risk assessment has been done by the William-Fine technique, which is a systematic risk assessment method to identify possible risks, estimate the level of risk in risk management, and reduce it to an acceptable level.

Results: In this study, the amount of NOx is between 24.5 and 39 ppm, the concentration of SO_2 is between 33.44 and 321 ppm, the concentration of CO is between 5 and 100 ppm, the concentration of PM_{10} pollutant is between 2.68 and $\mu g/m^3$ 97.66, and the concentration of dry dust between 53.23 and 31896 mg/m^3 was reported in the five investigated industries. For environmental assessment, 40 environmental aspects were identified using the William-Fine technique. For pollutants CO, SO_2, NOx, PM_{10} and dry particles according to the risk priority number (RPN) calculated and according to the results of the category length, 4 risk classes were obtained with titles of very high, high, medium and low risk. Based on the ranking of 40 environmental aspects, the frequency of low category was 22, average category was 4, high category was 4, and very high category was 10. In

* Corresponding Author's email: g.zolfaghari@hsu.ac.ir

gypsum units No. 3 and 4, the risks of PM_{10} suspended particles were among very high risks. Also, the risk related to dust dry in both chimney of factory No. 5 was reported at a very high level.

Discussion: The concentrations of carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, and dry dusts are lower than the standard values of the Environmental Protection Agency (EPA) related to chimney emissions (carbon monoxide: 435 ppm, sulfur dioxide: 800 ppm, nitrogen oxides: 350 ppm and Dry particles: 600 mg/m^3). The concentration of PM_{10} based on the standard of the World Health Organization (WHO) was higher than the permissible limit (50 $\mu g/m^3$), while it was lower than the permissible limit based on the EPA (150 $\mu g/m^3$). The entry of PM_{10} suspended particles into the atmosphere and also the accumulation of dusts in the environment around the factory is one of the important environmental problems of gypsum factories. Based on the classification, 55% of the aspects were at the low risk level, 10% of the aspects were at the medium risk level, 10% of the aspects were at the high-risk level, and 25% were at the very high-risk level. Finally, in order to reduce the level of risk and for the effective management of these industries, measures such as changing the used fuel to clean fuel, regular monitoring of the quantity and quality of the exhaust gas flow from the industrial chimney, using filter masks when in contact with dust, replacing bag filters Impact type with jet pulse type is remarkable.