



## ارزیابی غبار حاصل از توسعه صنعتی و معدنی با معیار تشخیص از طریق خاک در فاصله تا ۳۰ کیلومتر غرب شهر یزد

محمد اخوان قالیباف<sup>\*</sup>، سعید مسعودی<sup>۱</sup>

۱- گروه مدیریت و احیای مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	<b>مقدمه:</b> توسعه نامتناسب صنعتی و معدنی در حومه شهرهایی با آب و هوای بیابانی (نیمه گرمسیری خشک) می‌تواند منجر به ایجاد آلودگی گرد و غبار شود. خاک‌های حاشیه شهر یزد به طور طبیعی از نوع خاک‌های آبرفتی با بافت سطحی شنی لومی متوسط، بدون لایه محدود کننده و بدون شوری است. پوشش گیاهی خاک‌ها از نوع مرتعی ضعیف تا متوسط با گونه‌های غالب بوته‌ای درمنه و درختچه‌ای گز در آبراه‌ها است. وجود ذرات معلق در هوای ناحیه مورد مطالعه می‌تواند علاوه بر خطرات بهداشتی و بیماری‌های تنفسی از جنبه فیزیکی بر تابش خورشید از نظر فیزیک نور تأثیر بگذارند و شرایطی مانند گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن موضعی هوا را سبب گردد. در این تحقیق کانون‌های آلودگی گرد و غبار حاشیه غرب شهر یزد تا ۳۰ کیلومتری از مرکز شهر که موقعیت استقرار صنایع فلزی و معادن شن و ماسه بود مورد بررسی قرار گرفت. برای تأیید اثر آلودگی‌های گرد و غبار از شاخص بررسی و رده‌بندی خاک و احتمال تغییر خاک از حالت طبیعی استفاده گردید.
تاریخچه مقاله:	<b>مواد و روش‌ها:</b> غلظت ذرات معلق در هوا در منطقه مورد مطالعه که در آن صنایع مختلف قرار دارند توسط دستگاه نمونه‌بردار غبار قابل حمل هاز داست مدل ۵۰۰۰ در موقعیت‌های استقرار صنایع و معادن در شرایط هوای آرام اندازه‌گیری شد. برای این منظور غلظت غبار هوا در مجاور سطح زمین با فیلترهای ۱۰/۰، ۲/۵ و ۱/۰ میکرون اندازه‌گیری شد. همچنین از گرد و غبار مناطق مختلف مورد مطالعه، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با آنالایزر تکمیلی پراکندگی انرژی اشعه ایکس (SEM-EDX) تصویربرداری و آزمایش کمی به عمل آمد. برای بررسی اثر ذرات معلق بر روی خاک و به دست آوردن اثرات گرد و غبار، از خاک در مناطق حاشیه صنایع فولاد و معادن شن و ماسه در فاصله تا ۳۰ کیلومتری غرب شهر یزد به صورت جداگانه نمونه‌برداری انجام شد.
دریافت:	
۱۴۰۳/۱۲/۲۷	
پذیرش:	
۱۴۰۴/۰۲/۲۰	
کلمات کلیدی:	گرد و غبار صنعت فولاد معدن شن و ماسه شهر یزد بیابان
	<b>نتایج:</b> از نتایج به دست آمده تیپ‌های خاک از نظر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی و رده‌بندی شناسایی گردید. مناطق دارای گرد و غبار صنعتی فلزی با منشاء کارخانه‌های فولاد آلیاژی با ذرات معلق کمتر از یک میکرون بیشتر در مقایسه با گرد و غبار معادن شن و ماسه با غلظت بیشتر ذرات معلق کمتر از ده میکرون قابل تفکیک بود. در ناحیه مطالعه با رسوب ذرات معلق بر روی خاک ضمن تغییر در ویژگی‌های افق‌های سطحی، مانند رنگ خاک، شرایط برای تشکیل افق لازم جهت ایجاد خاک صنعتی یا تکنوسول طبق طبقه‌بندی خاک WRB (۲۰۱۵) اثبات گردید. در نتیجه بیش از ۹۵ درصد خاک‌ها به مخلوطی از خاک طبیعی و تکنوسول‌ها (خاک صنعتی) تبدیل شده بودند که آن به دلیل توسعه صنعتی و معدنی در ناحیه مورد مطالعه بود.
	<b>بحث:</b> معادن شن و ماسه و کارخانه‌های فولاد توانسته‌اند روند بیابان‌زایی ناشی از انسان در یزد را تشدید کنند.

اگرچه کار تخصصی این پژوهش در زمینه جغرافیای طبیعی و خاک‌شناسی است، می‌توان انتظار داشت که وجود ذرات معلق بر سلامت انسان و همچنین سایر اجزای مرتبط با اکوسیستم بیابانی موجود مانند پوشش گیاهی و بیوم خاک نیز تأثیر داشته باشد. از آنجایی که خاک‌های بیابانی مانند خاک‌های یزد از زیست‌بوم بیابانی آن جدایی ناپذیر است، می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر خاک از حالت طبیعی به صنعتی، خاک، مراحل تخریبی خود را طی کرده باشد. در نتیجه می‌توان احتمال بیابان‌زایی انسانی در حاشیه شهر یزد را مطرح نمود. از این رو بررسی بیشتر این موضوع توسط کارشناسان مربوطه ضروری است تا علاوه بر بحث حفاظت از خاک، به جنبه‌های بهداشتی و به ویژه سلامتی انسان نیز توجه گردد.

## مقدمه

اهمیت گرد و غبار و ذرات معلق در هوا می‌تواند از جنبه‌های مختلف مانند بهداشت و درمان و یا میزان آلودگی‌هایی که به محیط طبیعی تحمیل می‌کند تا فیزیک تابش خورشیدی مطرح شود. این که چه نوع از آسیب انسانی را به دنبال خواهد داشت، به نوع ذرات معلق و منشا آن مربوط است. بیماری سیلیکوز یا سیلیکوزیس<sup>۱</sup> یک بیماری پیش رونده، ناتوان کننده و اغلب بیماری کشنده ایست که در اثر تماس و استنشاق ذرات قابل تنفس سیلیس متبلور بوجود می‌آید. سیلیس فقط زمانی می‌تواند موجب بیماری سیلیکوزیس شود که گرد و غبار آن از راه تنفس وارد ریه‌ها شود (Zahedi & Kavakebi, 2023). (Ghasemi & Moradi, 2023) وجود ذرات آهن در هوای تنفسی را به دلیل تجمع آن‌ها در ریه عامل نوعی پنموکونیوز به نام سیدروز<sup>۲</sup> بیان نمودند. در این خصوص برخی از پژوهشگران اختلال ایجاد شده را پنموکونیوز<sup>۳</sup> خوش‌خیم و برخی عامل بروز بیماری‌های بدخیمی نظیر سرطان ریه گزارش نموده‌اند. مطابق با مطالعه Labban و Farahat (۲۰۲۳) در ارتباط با اثر ذرات معلق در هوا بر روی تابش خورشید دریافتند که این ذرات با پراکندگی امواج الکترومغناطیس در شهرهای جده، ریاض و نجران عربستان نقش مهمی در کاهش شدت تابش خورشیدی وارده به سطح زمین داشته است. با توجه به همین ویژگی تأثیر ذرات معلق بر تابش خورشید محققین این پژوهش را برای شناسایی اندازه و غلظت ذرات معلق این پژوهش را بر آن داشت تا اندازه‌گیری تابش خورشید با تابش‌سنج به صورت

استفاده پرتابل آن انجام دهند. در بیان ضرورت این مطالعه می‌توان به طرح تحقیقاتی مطالعه بررسی اثرات توسعه صنعت و معدن در دانشگاه یزد به کارفرمایی اداره کل محیط زیست استان یزد ( Akhavan Ghalibaf, 2004) اشاره نمود که در حدود ۲۰ سال پیش انجام و منتشر گردید. در این طرح ( Akhavan Ghalibaf, 2004) در بخش نتیجه‌گیری و پیشنهادات ذکر گردید که یزد با زیست بومی بیابانی خشک و نیمه گرمسیری دیگر توان اکولوژیک و خودپالایی توسعه بیشتر صنعتی را ندارد. از جمله شاخص‌های آلودگی هوا، ذرات معلق بوده که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی اندازه‌گیری میشود. ذرات معلق، علاوه بر مشکلات سلامتی برای انسان‌ها بر روی مقدار تابش خورشید به زمین و تغییر سیستم زمین و جو، الگوهای جریان جوی، تغییر دمای سطحی زمین و بارش و کاهش دید تأثیر می‌گذارند (Wang, 2005; Ye et al, 2003). گرد و غبار تابش خورشید را جذب می‌کند و بخشی از حرارت ایجاد شده ناشی از آن را به هوا منتقل می‌کند و برآیند بین جذب و پراکندگی تابش توسط گرد و غبار (Kaufman & Fraser, 1985) توانایی آن را برای مقابله یا افزایش گرمایش گلخانه‌ای را پدید می‌آورد. اما در حال حاضر میزان تابش جذب شده توسط گرد و غبار نامشخص است ( Prospero, 1981; Sokolik & Toon, 1996; Alpert et al., 1998; Giltar et al., 2021). به گفته Kaufman و همکاران (۲۰۰۱)، جذب گرد و غبار با شاخص انکسار آن، که توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO, 1983) توصیه شده بود، بیان می‌شود. Gu و همکاران (۲۰۰۹) در یک منطقه نیمه خشک استرالیا، در ناحیه مرکزی، جایی که کلسی‌سولز<sup>۴</sup>

<sup>1</sup> Silicose or Silicosis

<sup>2</sup> Siderosis

<sup>3</sup> Pneumoconiosis

<sup>4</sup> Calcsols

(خاک‌های آهکی) در رسوبات دریاچه‌ای شکل گرفته است، دریافتند که گرد و غبار محلی به همان اندازه که در تغییر افق خاک سطحی مؤثر بوده است، نوع خاک را نیز تحت تأثیر قرار داده است. به نحوی که این خاک‌ها توسط جذب ذرات بسیار ریزدانه که طی مسافت طولانی منتقل شده بود تغییر یافته بودند. هر ماده معلق با اندازه و شکل متفاوت در هوا به عنوان ذرات گرد و غبار تعریف شده است. در بین تمام ذرات معلق در جو، ذرات با قطرهای ۱۰، ۲/۵ و ۱ میکرون و کمتر به عنوان آلاینده هوا و تهدید کننده سلامت محیط در نظر گرفته می‌شوند (Kavakebi & Zahedi, 2000). Zia Khan و همکاران (۲۰۱۵) با آزمایشات خود بر روی گرد و غبار دریافتند که رسوبات حاصل از گرد و غبار می‌تواند روزه‌ها را در بالای سطح برگ یک پنبه کشت شده مسدود کند و علاوه بر این، دمای تاج پوشش برگ‌های پوشیده از گرد و غبار همیشه بالاتر از تیمار شاهد بوده است. عوامل زیادی باعث پیدایش پدیده گرد و غبار می‌شوند، از این رو می‌توان آن‌ها را به دو دسته اصلی عوامل طبیعی و انسانی طبقه‌بندی کرد. عوامل طبیعی مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های آتشفشانی و بادهای شدید فصلی است و عوامل انسانی یا دست‌ساز مانند خشک‌شدن تالاب‌ها به دست بشر، بیابان‌زایی انسانی، از بین رفتن آب‌های زیرزمینی با برداشت‌های بی‌رویه آب و فعالیت‌های صنعتی مانند صنایع فلزی و غیرفلزی، معدن، و فعالیت‌های راه‌سازی و یا شخم و کارهای زراعی است. با توجه به تأثیر مهم آلودگی گرد و غبار بر خاک که یکی از پارامترهای ضروری محیط زیست است و حفظ سلامت خاک نیز مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت انسان تأثیر دارد، شناسایی و کنترل آلودگی گرد و غبار ضروری است. طبق گزارش Bergin و همکاران (۲۰۱۷) ذرات معلق محیطی یک خطر بزرگ برای سلامتی انسان است که سالانه باعث حدود سه میلیون مرگ زودرس می‌شود. همچنین به طور گسترده شناخته شده است که ذرات معلق<sup>۵</sup> بر تابش خورشیدی ورودی تأثیر می‌گذارد و از این رو، به طور معمول در ارزیابی تغییرات آب و هوایی گنجانده می‌شود. در نتیجه تحقیقات Mohammadi و همکاران (۲۰۲۲) ذرات معلق

هوا بر تولید انرژی خورشیدی نیز تأثیر می‌گذارد؛ با این حال فقط مطالعات معدودی در مورد تأثیر ذرات معلق بر سطوح پنل خورشیدی انجام شده است. لازم است تحقیقات بیشتری در مورد تأثیر ذرات معلق در محیط، از جمله اثرات متقابل گرد و غبار و سلامتی انسان را بررسی شود. منشاء ذرات معلق در هوا طبق استاندارد بین‌المللی ایزو ۹۰۶۰-۱۹۹۰<sup>۶</sup> و سازمان جهانی هواشناسی همواره یکی از چالش‌های جهانی بوده است (Mohammadi *et al.*, 2022). در تحقیقی که Kipp و Zonen (۲۰۱۶) انجام دادند، نتیجه گرفتند که غبار کلسیم- فسفر<sup>۷</sup> موجب قلبیائیت در خاک شده بود. Karta (۲۰۲۰) پس از آزمایش، اثرات فعالیت‌های انسانی را بر تولید گرد و غبار نشان داد و برآوردهای کمی از دست دادن خاک را در طول زمان ارائه کرد. وی همچنین از دست دادن قابل توجهی از ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر در اکثر شرایط تجربی خود را ثبت نمود و در این راستا رسوبات ثانوی غبار بر روی زمین با آلودگی پراکندگی بازتابش نور خورشید (نسبت پراکندگی به پراکندگی + جذب) مطابقت داشت. در مطالعه Khalesi Doost و Akhlaghi (۲۰۱۴) در برآورد و مقایسه شدت تابش خورشید توسط برخی مدل‌ها در منطقه‌ای از ایران به تأثیر عواملی مانند ارتفاع از سطح دریا، تعداد روزهای غبارآلود در طول ماه و تغییرات فصلی فاصله خورشید تا زمین اشاره کردند. Eger (۲۰۱۱) در تحقیق بر روی خاک‌های فوق مرطوب و گرمسیری نشان داد که افزایش حاصلخیزی اکوسیستم در ارتباط با فرآیندهای بادی با افزایش گونه‌های مستعد به رشد در برابر بعضی عناصر غذایی موجود در غبار با شار گرد و غبار رابطه مستقیم داشته است. Rashki (۲۰۱۲) بر نقش ذرات معلق گرد و غبار در فرآیندهای جوی مانند افزایش دمای محلی تأکید کرد. او تعادل تشعشع زمین و میکروفیزیک ابر که به شدت به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی مانند توزیع اندازه و منابع غبار بستگی دارد را مطرح نمود. در نتیجه Javadi و Moeini (۲۰۱۹) در ایران با استفاده از داده‌های تابش خورشیدی ایستگاه‌های پیرانومتری و ساعات تابش روزانه و همچنین با استفاده از کلاس

<sup>۶</sup> ISO 9060:1990<sup>۷</sup> Ca-P<sup>۵</sup> PM

شرکت بروکر ایکس فلاش<sup>۱۲</sup> انجام شد. مساحت منطقه مورد مطالعه، در حدود ۴۵۰ کیلومتر مربع، در شکل ۱ نشان داده شده است. توصیف خاک در بررسی میدانی، شامل پارامترهای مورفولوژیک و تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی معمول مانند وضعیت پوشش گیاهی، رنگ خاک، ساختمان خاک، بافت خاک، واکنش اسیدیته و درصد مواد آلی خاک‌ها به منظور رده‌بندی خاک بود. خاک‌ها بر اساس دستورالعمل WRB (۲۰۱۵) بر اساس مرجع جهانی جهت منابع خاک<sup>۱۳</sup> رده‌بندی شد.

مطابق با Schad (۲۰۱۸)، تکنوسول‌ها<sup>۱۴</sup> به عنوان یک گروه خاک مرجع در دلبیوآرب<sup>۱۵</sup> در نسخه ارائه شده در سال‌های ۲۰۱۴-۱۵ به نظر می‌رسد که آن یک شیوه رضایت بخشی برای طبقه‌بندی خاک‌های تکنولوژیک بوده است. در نسخه دلبیوآرب مربوط به سال ۲۰۱۴، تنها تغییرات ناچیزی در تعریف خاک‌های تکنوسولز ایجاد شد: مانند "رسوباتی که در محیط طبیعی بوجود نمی‌آید" ولی در نسخه کامل شده آن، اصطلاح "خواص" به "خواص شیمیایی و کانی‌شناسی" تغییر یافت. همچنین در نسخه جدید دلبیوآرب، در مقایسه با نسخه قبلی آن، اصطلاح مواد سنگی تکنیکی به دلیل تفاوت اساسی که این مواد با سنگ طبیعی دارند به ماده سخت تکنیکی تغییر نام داد (WRB, 2015).

معادلات آنگستروم به تفسیر وضعیت تابشی خورشید پرداختند. هدف از این تحقیق نشان دادن بخش‌های بحرانی از جنبه منشاء ذرات معلق صنعتی و معدنی شن و ماسه بود. ذکر اثرات بهداشتی و بیماری‌های حاصله از ذرات معلق صرفاً به دلیل نشان دادن اهمیت موضوع و جلب توجه به این مسئله بود هرچند در این پژوهش مطالعه بهداشتی و پزشکی اثرات گردوغبار مطرح نبوده است. همچنین در مطالعه حاضر بررسی بر روی خصوصیات فیزیکی اثرات غبار بر تابش خورشیدی مورد نظر نبوده است. هدف از این مطالعه نشان دادن ارتباط ذرات معلق با بعضی از صنایع و معادن حاشیه شهر یزد بوده است که در بعضی از مکان‌ها این تأثیر را می‌توان حتی بر روی خاک نیز مشاهده نمود، زیرا خاک یکی از اجزای اساسی یک اکوسیستم و یا جغرافیایی طبیعی بیابانی مانند یزد است. بنابراین در این تحقیق از شاخص تشخیص خاک برای اثبات اثر سوء آلودگی گرد و غبار بر اکوسیستم استفاده گردید.

## مواد و روش‌ها

غلظت ذرات معلق در قطرهای کمتر از ۱۰، ۲/۵ و ۱ میکرون با دستگاه پرتابل هاز داست<sup>۸</sup>، ساخت شرکت دستگاه‌های زیست محیطی اندازه‌گیری گردید. سرعت مکش هوا در نمونه‌بردار هاز داست ۵ لیتر در دقیقه بود. میانگین‌گیری با هر فیلتر با قطرهای معین ذرات معلق، جهت هر موقعیت اندازه‌گیری شده تا یک ساعت ادامه یافت. هرچند نمونه‌برداری‌ها در یک هوای آرام بدون گرد و غبار فرا ناحیه‌ای ادامه یافت ولی جریان باد غالب در ناحیه مورد مطالعه شمال غربی است که در شکل ۱ با فلش آبی رنگ نشان داده شد. دقت دستگاه هازداست، آنالایزر ذرات معلق، برای گرد و غبار ریز طبق آزمون اس‌آ‌ای<sup>۹</sup> گرانی‌سنجی فیلتر در سطح ۱۰ درصد استاندارد شده بود (شکل ۲). بر روی گرد و غبار جمع‌آوری شده از خاک‌های سطحی، تصاویر اشعه ایکس و تجزیه و تحلیل عناصر کل با میکروسکوپ انتشار روبشی ساخت تسکان<sup>۱۰</sup> همراه با نقشه‌برداری طیف سنجی اشعه ایکس پراکنش انرژی<sup>۱۱</sup> EDX، از

<sup>12</sup> Bruker X Flash

<sup>13</sup> WRB 2015

<sup>14</sup> Technosols

<sup>15</sup> WRB

<sup>8</sup> Haz-Dust, model : epam-5000

<sup>9</sup> SAE

<sup>10</sup> SEM, TESCAN

<sup>11</sup> Electron Dispersive X – ray Analysis



شکل ۱- محدوده مطالعه در ۳۰ کیلومتری غرب شهر یزد

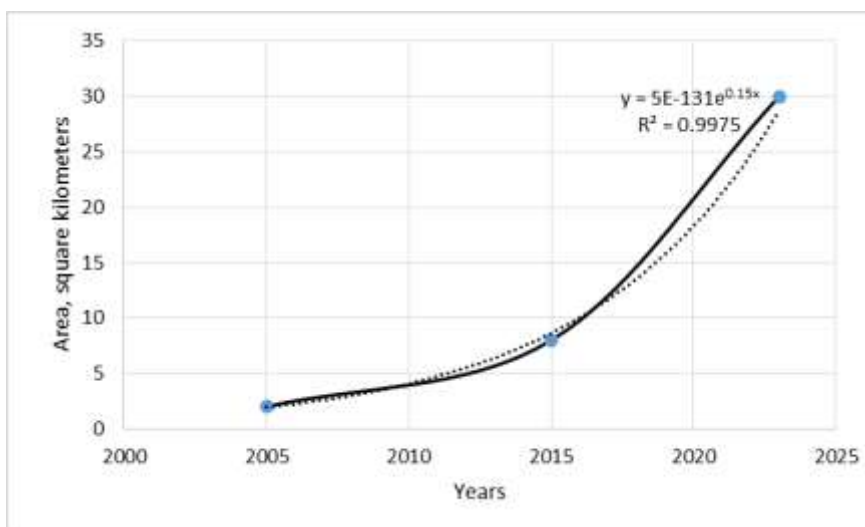


شکل ۲- دستگاه غبار سنج پرتابل هاز-داست

شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است توسعه فولاد در غرب شهر یزد از یک تابع نمایی طبیعی ( $y=e^x$ ) پیروی نموده است که تابعی صعودی است. در شکل ۴ به اختصار دو تصویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ ابتدای نمودار (شکل ۳) و ۲۰۲۲ پایان خط نمودار را نشان داده است.

## نتایج

در شکل ۳ روند توسعه صنایع مربوط به فولاد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲ در ۳۰ کیلومتری غرب یزد نشان داده شده است. محور افقی سال و محور عمودی رشد محدوده گسترش این صنایع را بر حسب کیلومتر مربع است که از گوگل ارث به دست آمد. همانگونه که در



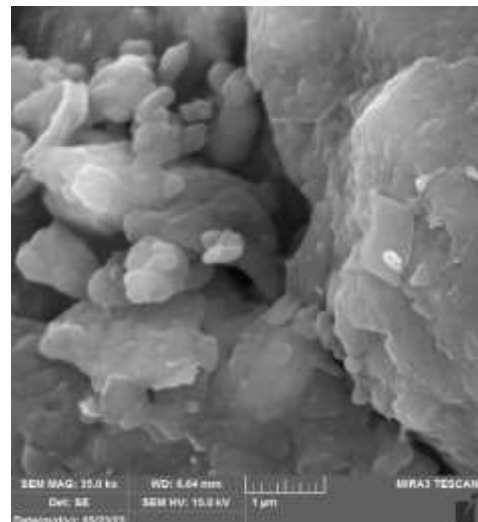
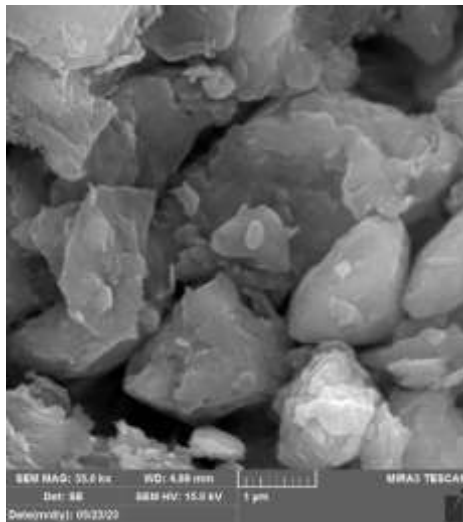
شکل ۳- نمودار توسعه مساحت مجموعه فولاد آلیاژی و شهرک فولاد یزد طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲ میلادی



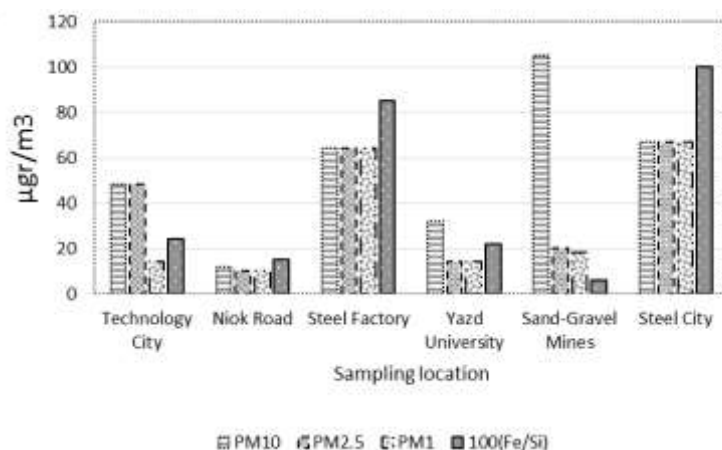
شکل ۴- رشد و گسترش فولاد آلیاژی از سال ۲۰۰۵ (سمت چپ) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ (سمت راست).

(موقعیتی در ۲۵ کیلومتری شمال غرب ناحیه مورد مطالعه)، کارخانه فولاد آلیاژی یزد، دانشگاه یزد، معادن شن و ماسه در محدوده مرد مطالعه و شهرک فولاد یزد. در موقعیت‌های مورد بررسی ذرات معلق تشکیل شده در نزدیکی صنایع فلزی فولاد با میزان آهن بیشتر نسبت به سیلیسیم در مقایسه با معادن شن ماسه که سیلیسیم بیشتری داشتند، قابل تفکیک بود (شکل ۶). همچنین تجزیه کمی غلظت گرد و غبار، انجام شده با استفاده از دستگاه پرتابل هازداست، افزایش میزان ذرات معلق کمتر از یک میکرون را در نزدیکی صنایع فولاد در مقایسه با سایر موقعیت‌ها تأیید نمود (شکل ۶).

برای مقایسه دو نوع گرد و غبار حاصل از صنایع فولاد و معادن استخراج و دانه‌بندی شن و ماسه، تصویر میکروسکوپ الکترونی انتشار روبشی آن‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین ضمن عکس‌برداری میکروسکوپ الکترونی، آنالیز طیف‌سنجی اشعه ایکس پراکنش انرژی (EDX) بر روی ذرات معلق انجام گرفت که در شکل ۶ میزان نسبی آهن به سیلیسیم با ضریب ۱۰۰ در کنار غلظت ذرات معلق به تفکیک قطر ذرات نشان داده شده است. بر روی محور افقی شکل ۶، شش موقعیت نمونه‌برداری برای مقایسه نشان داده شده است که به ترتیب عبارتند از: شهرک صنعتی یزد، جاده نیوک



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از گرد و غبار در حاشیه غرب شهر یزد از بخش‌های توسعه فولاد (سمت چپ) و معادن شن و ماسه (راست) با مقیاس یک میکرون روی عکس



شکل ۶- نتایج حاصل از اندازه‌گیری کمی غبار در هوا توسط غبارسنج‌هاز-داست و نسبت درصدهای جرمی آهن به سیلیسیم در نمونه‌های متفاوت حاصل از آنالیز طیف پخشیدگی الکترونی

طبیعی بیابانی که حدود ۰/۶ - ۰/۸ درصد بود کاهش یافت. بافت کلیه خاک‌های سطحی از نوع لومی شنی بود و تغییرات محسوسی در آن‌ها مشاهده نشد. ساختار خاک در مناطق تحت تأثیر صنعت از کلوخه‌ای اندازه متوسط (گردویی) ضعیف به خاک‌های بدون ساختمان به صورت توده‌های درشت (< ۲۰ سانتیمتری) تغییر کرده است. بیشتر گروه‌های بزرگ خاک طبیعی عبارت بودند از فلوویسولز (خاک‌های آبرفتی)<sup>۲۰</sup> در رسوبات آبرفتی در منطقه بیابانی با شیب ملایم (۴-۸ درصد) و در دامنه‌های بالا: لپتوسول‌ها<sup>۲۱</sup> که خاک‌های جوان در ارتفاعات به سمت پدیمونت‌ها<sup>۲۲</sup> یا کوهپایه‌ها در ناحیه یه سمت نیمه‌بیابانی<sup>۲۳</sup> با شیب متوسط (۸-۱۲ درصد) بودند. در منطقه مورد مطالعه، موادی جدید و نسبتاً پیوسته، ناشی از فرآیند صنعتی یافت شد. این مواد به عنوان ماده سخت که مشخصه خاک‌های صنعتی در WRB (۲۰۱۵) تعریف شده بود شناسایی گردید. بنابراین، با توجه به این تعریف: افق اکران<sup>۲۴</sup> که مشروط شده است به داشتن مواد سخت صنعتی تا عمق  $\geq 5$  سانتی‌متر از سطح خاک (شکل ۷)، در نتیجه لایه اکران در سطح خاک مشاهده شد که این امر شناسایی تکنوسول‌ها در منطقه مورد مطالعه را تأیید نمود. این وضعیت که خاک‌ها در یک ناحیه خشک در ایران می‌تواند از غبارها تأثیر بگیرد توسط Aghasi و همکاران (۲۰۱۹) نیز قبلاً گزارش شده است.

با توجه به تغییرات ترکیب شیمیایی رسوبات حاصل از گرد و غبار صنایع فلزی یا معادن شن و ماسه، رنگ سطح خاک نیز تغییر کرده بود. همه خاک‌ها در سطح دارای رنگ مانسل زمینه<sup>۱۶</sup> یکسان داشتند. تمام خاک‌های طبیعی دارای رنگ مانسل قهوه‌ای کم رنگ<sup>۱۷</sup> بودند. در منطقه تحت تأثیر معادن شن و ماسه، شاخص روشنی رنگ ۱ درجه افزایش یافت و رنگ مانسل به قهوه‌ای بسیار کم رنگ<sup>۱۸</sup> تغییر کرده بود. صنایع فولاد و مجتمع شهرک فولاد رنگ مانسل خاک سطحی را به خاکستری روشن<sup>۱۹</sup> تغییر دادند. پوشش گیاهی نیمه بیابانی از حالت طبیعی در شرایط تأثیر فعالیت‌های صنعتی و معدنی، به ۵۰ درصد کاهش یافت (از ۳۰ درصد در خاک‌های طبیعی به ۱۵ درصد در تکنوسول‌ها). افق سطحی خاک‌های نزدیک به صنایع فلزی واکنش خاک، اسیدی ضعیف را نشان داد (pH = 6.5) برخلاف واکنش خاک سایر مناطق معدنی طبیعی و یا متأثر از معادن شن و ماسه که خنثی با قلیائیت ضعیفی داشتند (pH = 7). این تفاوت در غلظت یون هیدروژن خاک می‌تواند ناشی از باران اسیدی یا وجود ترکیبات شیمیایی فلزی در گرد و غبار صنایع فولاد در مقایسه با معادن شن و ماسه که بیشتر غبارهای آهکی را تولید نموده‌اند باشد. درصد مواد آلی در افق سطحی خاک‌های تحت تأثیر صنایع و یا معادن به کمتر از ۰/۱ درصد در مقایسه با محتوای مواد آلی در افق سطحی خاک‌های

<sup>20</sup> Fluvisols

<sup>21</sup> Leptosols

<sup>22</sup> Pediments

<sup>23</sup> Sirezems

<sup>24</sup> Ekranic (ek)

<sup>16</sup> MUNSEL Hue 10YR

<sup>17</sup> 10YR6/3

<sup>18</sup> 10YR7/3

<sup>19</sup> 10YR7/1



شکل ۷- نمونه پروفیل تکنوسول (گودال خاک) در نزدیکی کارخانه فولاد در منطقه مورد مطالعه

تنها کمتر از ۵ درصد از خاک‌ها در محدوده مطالعاتی حالت طبیعی خود را داشت که همان خاک بیابانی با کد FL است. خاک‌ها در وضعیت طبیعی یک بخش در شرق محدوده مطالعه جایی که کمترین تأثیر از بادهای غربی را داشت و یکی هم در بخش میانی ناحیه در حد فاصل صنایع فولادی و معادن شن و ماسه قرار داشت (شکل ۸).

در منطقه مورد مطالعه، گروه‌های بزرگ خاک (جدول ۱) بر اساس دبلیوآربی (FAO, 2015)، طبقه‌بندی شدند. در جدول یک انواع گروه‌های اصلی خاک که بیشتر (<95 درصد) مخلوطی از خاک طبیعی و صنعتی بودند نشان داده شده است. در شکل ۸ نقشه پراکندگی خاک‌ها در ناحیه مورد مطالعه نشان داده شده است. بر روی این نقشه با یک دقت در مقیاس نیمه تفصیلی (۱:۵۰۰۰۰) پراکندگی خاک‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱- گروه‌های بزرگ خاک در منطقه مورد مطالعه (فائو، ۲۰۱۵)

شرح	کد خاک	مساحت (ha)	درصد
خاک‌های آبرفتی <sup>۲۵</sup>	FL	۱۰۰	۲۲/۲
خاک‌های آبرفتی - صنعتی متأثر از اختلاط صنایع و معادن <sup>۲۶</sup>	TCFLCI	۱۰۰	۲۲/۲
خاک‌های آبرفتی - صنعتی متأثر از معادن شن <sup>۲۷</sup>	TCFLGI	۱۰۵	۲۳/۳
خاک‌های آبرفتی - صنعتی صنایع فولاد <sup>۲۸</sup>	TCFLSI	۱۲۰	۲۶/۷
خاک‌های لپتوسول - تکنوسول متأثر از معادن <sup>۲۹</sup>	TCLPGI	۱۰	۲/۲
خاک‌های لپتوسول - تکنوسول متأثر از صنایع فولاد <sup>۳۰</sup>	TCLPSI	۱۵	۳/۳
مجموع		۴۵۰	۱۰۰

<sup>25</sup>Fluvisols

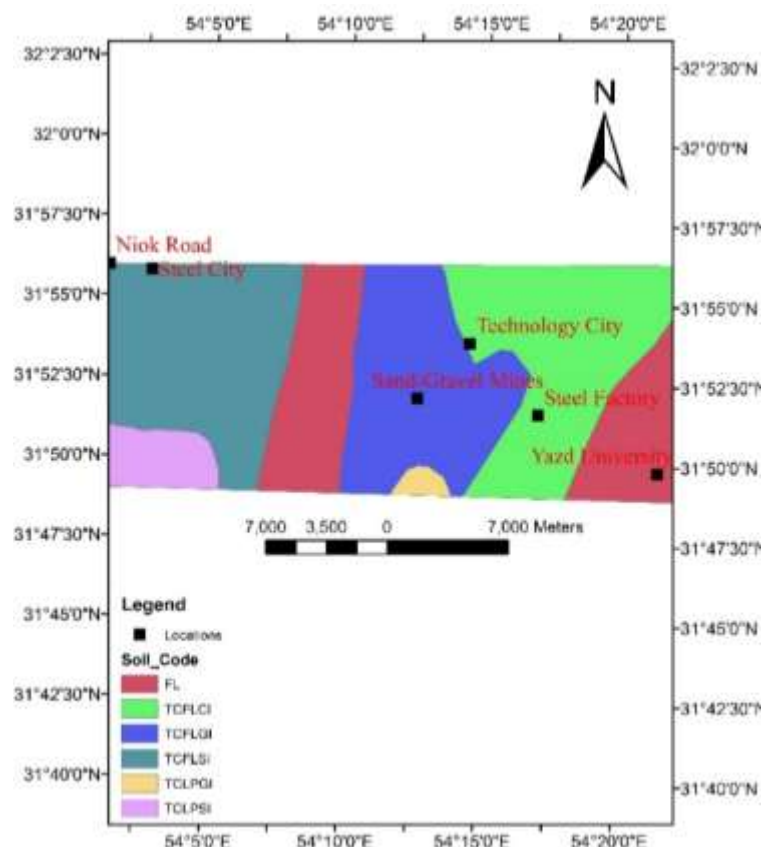
<sup>26</sup>Technosols-Fluvisols-Complex industry

<sup>27</sup> Technosols-Fluvisols-Gravel industry

<sup>28</sup> Technosols-Fluvisols-Steel industry

<sup>29</sup> Technosols- Leptosols -Gravel industry

<sup>30</sup> Technosols- Leptosols -Steel industry



شکل ۸- رده‌بندی خاک‌ها در موقعیت غرب شهر یزد بر اساس گروه‌های خاک متأثر از صنایع و معادن شن و ماسه

## بحث

اگرچه رسوبات صنعتی اثر شیمیایی و فیزیکی بر روی افق سطحی داشته‌اند، اما نمی‌توان در بسیاری از خاک‌ها ضخامت یک لایه از افق جدیدی را در سطح مشاهده نمود. دلیل این امر می‌تواند ناشی از فرسایش بادی توام با تجمع مواد حاصل از فعالیت‌های صنعت و معدن بوده باشد. از شاخص‌های اصلی که به تشخیص گرد و غبار صنایع فلزی از معادن شن و ماسه کمک کرد، اندازه کوچک‌تر یک میکرونی ذرات و نسبت بیشتر Fe/Si در صنایع فلزی نسبت به معادن شن و ماسه بود. این تفاوت می‌تواند ناشی از خروج ذرات گرد و غبار کوچک‌تر از فیلترهای صنایع فلزی و یا نوع فرآیندهای انجام شده در صنایع فولاد آلیاژی نسبت به معادن شن و ماسه باشد هرچند این گرد و غبارهای ریز در مقیاس آئروسول با معلق ماندن در هوای ناحیه همراه با نسیم‌های ناحیه‌ای دشت به کوه و بالعکس تا شعاعی از دامنه کوه و کوهپایه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده است. نقش ریزگردها در کاهش انتشار تشعشعات خورشیدی به زمین در ایران توسط Rashki (۲۰۱۲) و همچنین

Javadi و Moeini (۲۰۱۹) گزارش شده است. یزد با داشتن اقلیم نیمه گرمسیری و خشک می‌تواند منطقه‌ای با پتانسیل بالا برای هوای غبارآلود مشابه آبادان در تحقیقات Mohammadi و همکاران (۲۰۲۲) باشد. رسوبات گرد و غبار چون قادر است روزنه‌های بالایی برگ‌ها را مسدود کند روی پوشش گیاهی بومی توانسته است راندمان تولید را در گیاهان سبزینه‌دار کاهش دهد، که توسط Zia Khan و همکاران (۲۰۱۵) مطرح شده بود. از آنجایی که پوشش‌های گیاهی و جانوری یکی از عوامل اصلی تشکیل و تکامل خاک است، این اثر می‌تواند منجر به تغییر نوع خاک نسبت به حالت خاک طبیعی شود. همچنین با توجه به تحقیقات Adibi و همکاران (۲۰۲۱) در مورد اثرات گرد و غبار بر خواص شیمیایی خاک، خاک‌های منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر طبقه‌بندی شد (شکل ۸). در نتیجه، در منطقه متأثر از صنعت، بیش از ۹۵ درصد پوشش خاک توسط مخلوطی از خاک‌ها، خاک‌های طبیعی مخلوط با تکنوسول‌ها، مشاهده گردید.

- Dust and Particulate Air Pollution, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, Vol. 4, pp. 339–344.
6. **Cattle, S.R., Mctainsh, G.H. and Elias, S., 2009.** Aeolian dust deposition rates, particle-sizes and contributions to soils along a transect in semi-arid New South Wales, Australia, *Sedimentology*, DOI: [10.1111/j.1365-3091.2008.00996.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00996.x).
  7. **Eger, A., 2011.** The effectiveness of actively accumulating dust in rejuvenating soils and ecosystems in a super-humid, high weathering and leaching environment, West Coast, South Island, New Zealand, PhD thesis, Lincoln University, 204 p.
  8. **Fraser, R.S. and Kaufman, Y.J., 1985.** The Relative Importance of Aerosol Scattering and sorption in Remote Sensing, *IEEE J. Geosc. Rem. Sens.*, GE23, pp. 525–633.
  9. **Ghasemi, A. and Moradi, F., 2023.** investigation of silicosis in sandblast operations, 9th International Conference on Chemical, Petroleum and Environmental Engineering, Tehran (In Persian with English abstract).
  10. **Giltrap, D., Cavanagh, J., Stevenson, B. and Ausseil, A-G., 2021.** The role of soils in the regulation of air quality, *Phil. Trans. R. Soc.*, B 376: 20200172, DOI: [10.1098/rstb.2020.0172](https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0172).
  11. **Gu, C., Hart, S.C., Turner, B.L., Hu, Y., Meng, Y. and Zhu, M., 2019.** Aeolian dust deposition and the perturbation of phosphorus transformations during long-term ecosystem development in a cool, semi-arid environment, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 246, pp. 498–514.
  12. **Javadi, S. and Moeni, S., 2019.** A new solar radiation models for Iran, *Conference-paper*, URL: <https://www.researchgate.net/publication/262172482>.
  13. **Karta, I., 2020.** Soil Erosion by Wind and Dust Emission in Semi-Arid Soils Due to Agricultural Activities, *Agronomy*, Vol. 10(1), 89, DOI: [10.3390/agronomy10010089](https://doi.org/10.3390/agronomy10010089).
  14. **Kaufman, Y.J., Dubovik, A., Karnieli, L. and Remer, A., 2001.** Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing, *Geographical research letters*, Vol. 28, No. 8, pp. 1479–1482.
  15. **Kavakebi, A. and Zahedi-e-Asl, S., 2000.** Investigating the effects inhalation of a mixture of iron ore powder particles, iron smoke, and bentonite on the volumes and capacities of iron production unit workers. *Urmia Medical Journal*. No. 1. Spring (In Persian with English abstract).
  16. **Khalesi Doost, A. and Akhlaghi, M., 2014.** Estimation and Comparison of Solar

توسعه روزافزون با تابع نمایی طبیعی در صنعت و معدن در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی یزد با ظرفیت و توان محدود پلایندگی زیست‌محیطی نتوانسته است با اقدامات پیشگیرانه آلاینده‌گی و حفاظتی هم‌سو گردد. جلوگیری از شدت فشار بر محیط‌زیست از طریق کنترل توسعه صنعتی بیشتر و یا انتقال آن به مناطقی با خطرات کمتر می‌تواند در حفاظت از محیط طبیعی مؤثر باشد. اگر گرد و غبار صنعتی در برخی مناطق نتوانسته است با افزایش غلظت بعضی از عناصر غذایی مانند عناصر ریزمغذی نظیر روی و کلسیم و یا عناصر کودی مانند فسفر، پوشش گیاهی را افزایش دهد (Eger, 2011)، اما در همان مناطق، تغییر شرایط محیطی منجر به کاهش پوشش گیاهی بومی و بعضاً ارشمند از جنبه حفاظتی شده است. افزایش نسبی خاک‌های صنعتی در حاشیه صنایع و معادن، مانند آنچه در یزد رخ داده است، گواه بر ناپایداری اکوسیستم است، زیرا با کاهش سطوح طبیعی خاک، گونه‌های گیاهی و جانوری بومی و وابسته به آن‌ها را کاهش خواهد داد.

## منابع

1. **Adebisi, A.P., Adigun, H.O., Lawal, K.J., Salmai, K.D., Adekunle, V.A.J. and Oyekakin, J.A., 2021.** Impact of Cement Dust on Physical and Chemical Nutrients Properties of Forest Topsoil, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, Vol. 25(5), pp. 695–700.
2. **Aghasi, B., Jalalian, A., Khademi, H. and Besalatpour, A.A., 2019.** Relationship between dust deposition rate and soil characteristics in an arid region of Iran, *Atmósfera*, Vol. 32, No. 2., pp. 115–128, DOI: [10.20937/atm.2019.32.02.03](https://doi.org/10.20937/atm.2019.32.02.03).
3. **Akhavan-Ghalibaf, M., 2004.** Investigating the effects of development in the environment of Yazd city, General Department of Environment of Yazd province. Published in Yazd University. 45 p. (In Persian with English abstract)
4. **Alpert, P., Kaufman, Y.J., Shay-El, Y., Tame, D., Da Silva, A., Schubert, S. and Joseph, Y.H., 1998.** Quantification of Dust-Forced heating of the Lower Troposphere, *Nature*, Vol. 395, pp. 367–370.
5. **Bergin, M.H., Goroi, C., Dixit, D., Schauer, J.J. and Shindell, D.T., 2017.** Large Reductions in Solar Energy Production Due to

- history and definition, *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 64, No. 2, pp. 138–144.
23. **Sokolik, I.N. and Toon, O.B., 1996.** Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosol, *Nature*, Vol. 381, pp. 681–683.
24. **Wang, L., 2005.** Dust around type supernovae. *The Astrophysical Journal*, 635: L33–L36.
25. **WRB, World Reference Base for soil resources, 2015.** International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, FAO, Rome, 203 p.
26. **WMO, 1983.** Radiation commission of IAMAP meeting of experts on aerosol and their climatic effects, WCP55, Williamsburg VA, 1983, pp. 28–30.
27. **Ye, B., Ji, X. and Yang, H., 2003.** Concentration and chemical composition of PM 2.5 in Shanghai for a 1 - year period. *Journal of Atmospheric Environment*, 37(4): 449 - 510.
28. **Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H. and He, X., 2015.** Effect of Dust Deposition on Stomatal Conductance and Leaf Temperature of Cotton in Northwest China, *Water*, 2015, Vol. 7(1), pp. 116–131, DOI: [10.3390/w7010116](https://doi.org/10.3390/w7010116).
- Radiation Intensity by Some Models in a Region of Iran, *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol. 2, pp. 345–351.
17. **Kipp and Zonen Instrument, Instruction manual, 2016.** Manual document number: V1610, Netherland, 44 p.
18. **Labban, A. and Farahat, A., 2023.** Effect of Major Dust Events on Ambient Temperature and Solar Irradiance Components over Saudi Arabia. *Atmosphere* 14(2), 408; <https://doi.org/10.3390/atmos14020408>.
19. **Mohammadi, F., Hajinezhad, A., Kasaecian, A. and Moosavian, S.F., 2022.** Effect of dust accumulation on performance of the photovoltaic panels in different climate zones, *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, Vol. 11, No. 1, pp. 43–56.
20. **Prospero, J.M., 1981.** Eolian transport to the world ocean, *The sea: Vol VII, The Oceanic Lithosphere*, Ed. Emiliani, C. Wiley, New-York, pp. 801–874.
21. **Rashki, A., 2012.** Seasonality and mineral, chemical and optical properties of dust storms in the Sistan region of Iran, and their influence on human health, PhD thesis, University of Pretoria, 197 p.
22. **Schad, P., 2018.** Technosols in the World Reference Base for Soil Resources –





## Title of the Article: Assessment of Dust Resulting from Industrial and Mining Development Using Soil Diagnostic Criterion Within a Distance, up to 30 Km West of Yazd City

Mohammad Akhavan Ghalibaf<sup>\*1</sup>, Saeed Masoudi<sup>1</sup>

1\*- Department of Soil Sciences Management and Restoration of Arid and Desert Areas, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

### Original Article

**Received:**  
2025.03.17

**Accepted:**  
2025.05.10

**Keywords:**  
Suspended  
Particles,  
Steel Industry,  
Sand and Gravel  
Mining,  
Yazd Cit,  
Desert

### Abstract

**Introduction:** Inappropriate industrial and mining development in the suburbs of cities with a desert climate (dry subtropical) have resulted in dust pollutions. The soils in the study area were naturally alluvial soils with medium loamy sand surface texture, without layer restrictions and without salinity. The vegetation on the soils was naturally weak to medium pasture type with a predominance of *Artemisia* plant species (*Artemisia spp.*) and *Tamarix* species (*Tamarix spp.*) in the waterways. The dangers of aerosols are not hidden from anyone. In order to mention its importance, in terms of health and treatment, we can refer to all kinds of dangerous diseases caused by the entry of silica particles or compounds such as iron into the lungs. On the other hand, suspended particles can affect solar radiation in terms of light physics and cause conditions such as greenhouse gases and local warming. In this study, soil was used as an indicator of the impact of industries and mines on the environment. Therefore, this study aimed to identify dust pollution hotspots and distinguish areas on the outskirts of Yazd city up to 30 kilometers from Yazd city where metal industries and sand and gravel mines had affected soil characteristics.

**Materials and Methods:** The concentration of airborne particles in the study area where various industries were located was measured by a portable dust sampler, HazDUST Model 5000, as a mobile device. For this purpose, in the study area, the mobile device for measuring the amount and size of suspended particles was used with the filters: 10.0, 2.5 and 1.0 microns. Also, from the dusts of the different studied areas, scanning electron microscope imaging test was performed along with the supplementary X-ray energy dispersion analyzer (ESM-EDX). To investigate the effect of suspended particles on soil and to obtain the effects of dust on soil types, soil sampling was carried out separately in the areas of steel industry expansion and sand and gravel mines up to 30 kilometers west of Yazd city.

**Results:** The obtained results showed that the soil types were different in the chemical and physical properties. In such a way, the areas with metal industrial dust originating from alloy steel factories were separated with suspended particles less than one micron compared to the dust from sand

mines with suspended particles less than ten microns. Also, these suspended particles were deposited on the soil, which was confirmed according to the field observations of the changes in the surface horizons, such as the color of the soil horizon and the formation of the horizon necessary for the formation of industrial soil or Technosol according to the FAO WRB 2015 soil classification. More than 95% of the soils were a mixture of natural soil and technosol (industrial soil). These soils had been altered from their natural state by the effects of industrial and mining development.

**Discussion:** Sand mines and steel factories have managed to intensify the process of human-induced desertification in Yazd. Although the fields of work and expertise of this research have been in the field of natural geography and soil science. It can be expected that the presence of suspended particles has been able to affect people's health as well as other components related to a desert ecosystem such as vegetation and soil biomes. Since soil is one of the integral parts of every native life like the deserts of Yazd, it can be concluded that by changing the soil from natural state to industrial state, the soil is destroyed or goes through its destructive stages. With this feature, it is possible to raise the possibility of human desertification in the outskirts of Yazd city. It is necessary to take care of this matters more seriously by technical experts in addition to soil protection, also regarding in health and medical affairs.