



مطالعه و بررسی ترکیب شیمیایی، کانی‌شناختی، ریخت‌شناختی و تعیین غلظت آبروسل‌های پخشیده در تونل‌های حفاری معدن زیرزمینی اورانیم ساغند

مجتبی نعیمی*^۱، مرتضی رزم‌آرا^۱، خالق خشنودی^۲

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی: ۱۴۳۶-۹۱۷۷۵، مشهد - ایران

۲. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳، تهران - ایران

چکیده: مطالعه‌های میکروسکوپی الکترون، اطلاعات تفصیلی ارزشمندی در رابطه با ریخت‌شناسی، منشأ، جابه‌جایی، پراکنش، خواص، برهم‌کنش‌های تبدیلی و تأثیرات زیست محیطی آبروسل‌ها (هواویزه‌ها) در تونل‌های حفاری معدن زیرزمینی اورانیم ساغند فراهم آورد. ذرات بسیار ریز جمع‌آوری شده در طی مرحله‌ی خاک‌برداری و پیکورکاری، برای مطالعه‌های ریخت‌شناختی و توزیع پراکنده‌ی اندازه‌ی آبروسل‌های موجود در معدن زیرزمینی اورانیم ساغند با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفتند. از طیف‌سنجی پاشنده‌ی طول موج-ریز تجزیه‌ی الکترون پویشی برای تجزیه و تعیین ترکیب شیمیایی ذرات موجود در معدن استفاده شد. تجزیه‌های طیف‌سنجی پاشنده‌ی طول موج نشان داد که مواد مطلق عمدتاً مرکب از انبوهه‌های کانی‌های فاقد شکل منظم و با ترکیب‌های متنوع هستند. تجزیه‌ی ۴۶ ذره‌ی منفرد نشان داد که در تعدادی از ذرات کانی، عنصر گوگرد وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی وجود کانی‌های سولفیدی حاوی گوگرد زیاد در آبروسل‌ها هستند. تجزیه‌های پراش پرتو ایکس و ریزتجزیه‌های الکترون پویشی نشان داد که فازهای اصلی آبروسل‌ها شامل کانی‌های اورانیم‌دار، مواد آمورف، کوارتز، گالن، آپاتیت، کلسیت، سولفات‌ها، پیریت، هورنبلند، اکسیدهای آهن (منیتیت و هماتیت) و کانی‌های رسی هستند. کانی‌های رسی عمدتاً کانی‌های مختلط ایلیت/اسمکتیت به همراه کائولینیت و کلریت هستند. مواد مطلق با نسبت بالای کوارتز/رس با غلبه‌ی لایه‌های مختلط ایلیت/اسمکتیت مشخص می‌شوند. مطالعه‌ی غلظت گردوغبار قابل تنفس در بخش‌های بررسی شده‌ی تونل‌های حفاری در مکان‌های فاقد تهویه مناسب نشان داد که غلظت گردوغبار، بالاتر از حد مجاز استانداردهای سازمان بهداشت و ایمنی شغلی است. هم‌چنین وجود ذراتی از جنس کانی‌های اورانیم و کوارتز در گردوغبار قابل تنفس، مشخص نمود که کارکنان شاغل در معدن زیرزمینی اورانیم ساغند، در صورت عدم استفاده از تجهیزات مناسب زیست محیطی، با خطرزایی بالایی مواجه هستند.

کلیدواژه‌ها: آبروسل، طیف‌سنجی پاشنده‌ی طول موج-ریز تجزیه‌ی الکترون پویشی، ریخت‌شناسی، مواد معلق، معدن اورانیم ساغند

An investigation of chemical compositions, mineralogy, morphology and concentration measurement of diffused aerosols in digging tunnels of underground uranium mine in Saghand area

M. Naeemi*¹, M. Razmara¹, Kh. Khoshnoodi²

1. Earth Science, Faculty of Science Ferdowsi University, P.O.Box: 91775-1436, Mashhad - Iran

2. Economic Geology, Shahid Beheshti University, P.O.Box: 1983963113, Tehran - Iran

Abstract: Electron microscopy studies (EPMA- WDS and SEM- EDS) provided detailed information about the morphology, source, transport, diffusion, properties, transformation reactions and environmental impacts of aerosol particles in digging tunnels of underground uranium mine in Saghand area. The size, aspect ratio and chemical composition of particles were studied by SEM-EDS but the mineralogical phase compositions of the particles were investigated by EPMA. EPMA analysis indicated that particulate matters (PM) were mainly composed of irregularly shaped mineral particles. Analysis of 46 individual particles showed that all particles were mineral aggregates and some of them contained sulfur. The X-ray diffraction (XRD) analysis showed that the main minerals were clay minerals, iron oxides, amorphous materials, quartz, calcite, pyrite and hornblende. Clay minerals were to the greatest illite/smectite mixed layers and kaolinite and chlorite as secondary elements. The particulate matters collected during the drilling episodes were characterized by high quartz/clay ratio and dominance of illite/smectite mixed layers in clay minerals. The concentration of dusts in different parts of digging tunnels, in poorly ventilated parts of the mine was below the OSHA standard. The existence of aerosols of uranium minerals plus quartz indicated that the personnel of the mine were exposed to serious health hazards unless they were equipped with suitable environmental filters.

Keywords: Aerosols, EPMA-WDS, Morphology, Particulate matters (PM), Saghand uranium mine

*email: Mojtaba.naeemi66@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۹/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۷/۶



۱. مقدمه

آیروسل‌ها اثرهای مستقیم و غیرمستقیم بر سلامتی انسان دارند، میزان این تأثیرها به ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی این ذرات برمی‌گردد [۹]. به همین دلیل، اکثر مطالعه‌ها در مورد آیروسل‌ها، با تعیین خصوصیت‌های فیزیکی-شیمیایی-زیست‌شناختی آن‌ها مرتبط بوده است [۱۰]. نظر به این که بیش‌ترین اثرهای زیست‌محیطی آیروسل‌ها در ارتباط با ترکیب شیمیایی آن‌ها است [۱۱]، لذا تلفیق روش‌های طیف‌سنجی (پرتو ایکس) پاشنده‌ی انرژی^(۳)، میکروسکوپی الکترون پویشی^(۴)، طیف‌سنجی پاشنده‌ی طول موج-ریز تجزیه‌ی الکترون پویشی^(۵) می‌تواند اطلاعات با ارزشی در مورد خصوصیت‌های شیمیایی آیروسل‌ها ارائه دهند [۱۲]. از این روش‌ها در تعدادی از مطالعه‌های تعیین خصوصیت‌های ریزذرات در طی ۲۵ سال گذشته استفاده شده است [۱۳]. یکی از مزیت‌های ریزتجزیه‌ی الکترون پویشی هدف‌گیری آن بر روی ذره‌ی موردنظر و تعیین ترکیب شیمیایی آن است [۱۴]. همچنین میکروسکوپی الکترون پویشی (با کمک تجزیه‌های طیف‌سنجی پاشنده‌ی انرژی)، اطلاعات مهمی در مورد ریخت‌شناسی، ترکیب‌های عنصری، اندازه‌ی ذرات و فازهای ذرات منفرد فراهم می‌کند [۱۵، ۱۶]. به خاطر اثرهای مخرب زیست‌محیطی آیروسل‌ها، این ذرات ریز در معدن اورانیم ساغند مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. معدن اورانیم ساغند یک معدن زیرزمینی است که در ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق شهر یزد واقع شده است. کارگران معدن اورانیم در معرض یک هوای آلوده هستند که شامل گردوغبار معدن، گردوغبار سیلیکا، دود موتورهای دیزلی، ذرات معلق طبیعی، رادون و دختران آن است، این ذرات در بیش‌تر فضای معادن حضور دارند [۱۷]. رادیونوکلیدهایی هم‌چون ^{214}Pb ، ^{218}Po ، ^{218}U و ^{210}Pb - ^{210}Po مشخصه‌ی آیروسل‌ها معدن‌های اورانیم‌دار هستند [۱۸]. عملیات معدن‌کاری هم‌چون حفاری، انفجار، خاک‌برداری، بارگذاری دمپ‌ها و فرآوری، ذرات معلق با اندازه‌ها و ترکیب متفاوت تولید می‌کنند که در محیط معدن پخش می‌شوند. غلظت این ذرات با زمان، مکان و میزان رطوبت تغییر می‌کند و از مقدارهای خیلی پایین در شرایط ایستا تا فوق‌العاده زیاد در طی انفجار، حفاری، پیکورکاری و حمل و نقل باطله‌ها در تغییر است. میانگین ترکیب شیمیایی ذرات، تابعی از متغیرهای اندازه‌ی ذرات، مدت زمان تعلیق آن‌ها در فضا پس از انفجار و پیکورکاری، موقعیت مکانی ذرات و سیستم تهویه‌ی

استخراج منابع معدنی و فرآوری آن‌ها، با آزادسازی مقدار قابل توجهی از ذرات معلق^(۱) در هوا همراه است. این ذرات در صورت بدون کنترل رها شدن در محیط، از توان بالایی در به مخاطره انداختن سلامتی کارکنان حرفه‌ای و سایر افراد برخوردار خواهند بود. منابع عمده‌ی انتشار آیروسل‌ها، انفجارها در محیط‌های معدنی، حمل و نقل مواد معدنی به دستگاه‌های خردایش هستند. در نتیجه، شناسایی، اندازه‌گیری و پایش ذرات معلق در هوا امری ضروری است. علاوه بر این لازم است راهکارهایی برای کاستن یا حذف این ذرات معلق پیشنهاد و اجرا شود. برای درک بیش‌تر سازوکار پاشیدگی این ذرات و ارائه‌ی راهکارهای مناسب برای کنترل این نوع آلاینده‌ها، بسط راهبردهای مدل‌سازی ضروری است [۱]. یک آیروسل به عنوان یک ذره‌ی جامد یا مایع معلق در یک گاز تعریف می‌شود [۲]. قرارگیری در معرض این ذرات بسیار ریز در طولانی مدت، موجب بیماری‌های تنفسی می‌شود که به عنوان بیماری شش رشتاکی^(۲) شناخته می‌شود [۳]. این ذرات بسیار ریز می‌توانند موجب مشکل‌های زیست‌محیطی زیادی بشوند که اثرهای بسیار مخربی بر سلامتی انسان‌ها می‌گذارند [۴]. گزارش بروک و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که افزایش غلظت ریز ذرات، خطر بیماری‌های قلبی-عروقی را بالقوه افزایش می‌دهد [۵]. عموماً این ذرات با شکل‌های پیچیده، دارای ترکیب‌های شیمیایی و رادیوشیمیایی پیچیده‌ای نیز ممکن است باشند [۶]. یکی از گروه‌هایی که در معرض این ذرات ریز قرار دارند، معدن‌کاران و کارکنان شاغل در معدن‌ها هستند. عمده گردوغبار موجود در فضای معدن‌ها در اثر عملکردهای انسانی به وجود می‌آیند که موجب معلق شدن ریزذرات در فضای معدن می‌شوند. جنس اکثر این ذرات، از کانی‌ها و مواد معدنی مورد بهره‌برداری تشکیل شده است. عوامل انسانی از جمله پیکورکاری، خاک‌برداری، انفجار و غیره موجب به وجود آمدن این پدیده در معدن‌ها می‌شوند ولی عوامل طبیعی مانند کم‌بود رطوبت نسبی موجب تشدید غلظت آن‌ها می‌شود. به طور کلی انسان از طریق تنفس و یا تماس پوستی در برخورد مستقیم با آیروسل‌ها قرار دارد [۷]. مسیر اصلی ورود آیروسل‌ها به بدن انسان، سیستم تنفسی است [۸]. غلظت آیروسل‌ها و حجم ذرات تنفس شده، مقدارهای اساسی برای ارزیابی خطر هستند [۷]. لذا آگاهی از مقدار آیروسل‌ها در هوای محیط کار و بررسی انواع آن‌ها مهم است. علاوه بر این، از آنجایی که



استاندارد وزارت بهداشت ایران برای گردوغبار قابل تنفس 10 mg/m^3 است [۱۹] ولی این مقدار در صورتی حد مجاز است که گردوغبار حاوی کم‌تر از یک درصد سیلیس باشد. در صورتی که مقدار سیلیس از ۱٪ فراتر رود، میزان حد مجاز برای گردوغبار قابل تنفس با توجه به درصد سیلیس، طبق دستورالعمل سازمان بهداشت و ایمنی شغلی^(۶) (OSHA) به دست می‌آید [۲۰]

$$\text{PEL}(\text{hourTWA}) = \frac{30}{\text{SiO}_2\% + 2} \quad (2)$$

از این رابطه، استاندارد گردوغبار کل برحسب mg/m^3 قابل استنتاج است از نمونه‌های برداشت شده از مکان‌های موردنظر برای ریزتجزیه‌های الکترون پویشی به منظور تعیین ترکیب کانی شناختی و از میکروسکوپی الکترون پویشی، برای تعیین فراوانی و ریخت‌شناسی ذرات استفاده شد.

۱.۲ مطالعه‌های میکروسکوپی الکترون پویشی

یکی از روش‌های مهم برای پژوهش‌های دقیق نمونه‌های آبروسل‌ها، مطالعه‌های میکروسکوپی الکترون پویشی است [۱۵]. تجزیه‌ی ذرات منفرد از کانی‌های اورانیم‌دار، مواد بی‌ریخت، کوارتز، گالن، آپاتیت و اکسیدهای آهن به کمک میکروسکوپی الکترونی پویشی، اطلاعات با ارزشی در مورد ریخت‌شناسی و ترکیب شیمیایی این ذرات فراهم می‌آورد. در این پژوهش، از نمونه‌های مورد مطالعه، تعداد ۳۵ تصویر با بزرگ‌نمایی‌های مختلف گرفته شد. به دلیل آن‌که این مشاهده‌ها، نیازمند کسب اطلاعات از ترکیب شیمیایی ذرات منفرد مختلف بود، روش‌های تجزیه‌ی مبتنی بر تجزیه‌های توده‌ای (هم‌چون فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF)، طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) و طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP) نمی‌توانستند این داده‌ها را فراهم نمایند. اما داده‌های میکروسکوپی الکترون، امکان طبقه‌بندی ذرات منفرد براساس منشأ و محل ایجاد این ذرات ریز را فراهم می‌آورد. مطالعه‌های ریخت‌شناختی با استفاده از میکروسکوپی الکترون پویشی - طیف‌سنجی پاشنده‌ی انرژی (SEM-EDS) انجام شد.

در این پژوهش از روش ریزتجزیه‌ی الکترون پویشی برای شناسایی ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی آبروسل‌ها استفاده شد. در این راستا ۲۷ تک ذره برای نمونه‌های برداشت شده از محل

معدن است. سطح ویژه، چگالی و ترکیب شیمیایی ذرات، شاخص‌های مهمی هستند زیرا مقدار زمان تعلیق، مسافت پیمایش، برهم‌کنش‌پذیری و تأثیر آن‌ها بر سلامتی کارکنان معدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ریزذرات پخشیده در معدن‌های زیرزمینی، به دلیل محبوس بودن هوا و عدم تهویه‌ی مناسب، خطرزایی بیش‌تری ایجاد می‌کنند و از این جهت مطالعه‌ی آن‌ها اهمیت دوچندان پیدا می‌کند.

۲. روش کار

در عملیات حفاری، خاک‌برداری و پیکورکاری تونل‌های دسترسی به ماده‌ی معدنی در معدن اورانیم ساغند، نمونه‌برداری انجام شد. برای انجام این پژوهش نمونه‌برداری از ۲ تونل (در حال خاک‌برداری و پیکورکاری) و هم‌چنین محل خروجی تهویه صورت گرفت. برای رسیدن به محل‌های نمونه‌برداری ابتدا از چاه‌های عمودی و سپس تونل‌های افقی می‌باید گذر کرد. تونل‌های مدنظر در اعماق ۲۴۰ m و ۲۸۰ m از سطح زمین بودند. نمونه‌برداری از بخش قابل تنفس آبروسل‌ها با استفاده از پمپ نمونه‌گیر محیطی اس کی سی (S.K.C) صورت گرفت. نرخ جریان این پمپ قبل از نمونه‌برداری توسط دستگاه درجه‌بندی ۵۱۰ Defender درجه‌بندی شد. صافی‌های مورد استفاده در این پژوهش از نوع فایبرگلاس ۴۷ mm با قطر منفذی $1 \mu\text{m}$ بود که به منظور حذف رطوبت می‌باید قبل و بعد از نمونه‌گیری به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار می‌گرفت و سپس توزین می‌شد. توزین صافی‌ها با ترازویی با حساسیت 0.0001 g انجام شد. به منظور جلوگیری از انباشته شدن بیش از حد بار روی صافی، مدت زمان نمونه‌برداری یک ساعت تعیین شد. برای اندازه‌گیری مقدار کل گردوغبار در محل‌های موردنظر، از روش گرانی‌سنجی استفاده شد؛ مقدار گردوغبار کل در محل‌های مورد مطالعه چنین محاسبه شد

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^3}{\Delta t \times Q} \quad (1)$$

که در آن، C مقدار گردوغبار در هوای محیط کار برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب، W_1 وزن صافی در قبل از نمونه‌برداری برحسب میلی‌گرم، W_2 وزن صافی در بعد از نمونه‌برداری و برحسب میلی‌گرم و Δt مدت زمان نمونه‌برداری برحسب دقیقه، Q نرخ جریان پمپ برحسب لیتر بر دقیقه است.



تجزیه طیف‌سنجی الکترون پویشی نشان داد که اندازه‌ی ریزذرات موجود در هوای معدن متغیر است به طوری که از میلی‌متر برای ذرات کاملاً تازه و جدید حاصل از خرد شدن سنگ‌ها تا حد چند میکرون تغییر می‌کند. نمونه‌های آبروسل‌های برداشت شده از معدن ساغند، از نظر اندازه، در سه گروه طبقه‌بندی شدند. گروه اول ذرات درشت که اندازه‌ی آن‌ها از یک تا بیش از ۴۰ میکرون بود. این ذرات گردوغبار در اثر فرایندهای مکانیکی هم‌چون پیکورکاری و خاک‌برداری در فضای موجود معدن، به وجود می‌آیند. این ذرات در فضای معدن معلق‌اند. این گروه از سنگ‌ها، اکثراً از جنس کانی‌ها و کانه‌های تشکیل‌دهنده‌ی معدن هستند. گروه دوم، ذرات ریزی که اندازه‌ی آن‌ها از ۰٫۱ میکرون تا تقریباً یک میکرون است. این ذرات تحت عنوان آبروسل‌های نسبتاً درشت نامیده می‌شوند و در «محدوده‌ی تجمعی» قرار می‌گیرند. این‌ها حاوی ذرات پخشیده در این حد به اضافه‌ی آبروسل‌های حاصل از انتقال جرم در اثر فرایندهای تلفیق و انعقاد و نیز چگالش ذرات دیگر هستند. گروه سوم ذرات بسیار ریزی هستند که اندازه‌ی آن‌ها کم‌تر از ۰٫۱ میکرون است و تحت عنوان آبروسل‌های زیرمیکرونی شناخته می‌شوند. به نظر می‌رسد این ذرات به این دلیل باید ایجاد شده باشند که وجود بارهای الکتریکی متشابه در سطح این ذرات، موجب واگرایی در این ذرات می‌شود و بر خلاف گروه دوم، در «محدوده‌ی واگرایی» قرار می‌گیرند. ساختارهای میکروسکوپی گردوغبار قابل‌تنفس نیز اشکال متفاوتی از آبروسل‌ها را نشان داد و مشخص نمود که ابعاد ذرات از ۰٫۱ میکرون تا بیش از ۵۰ میکرون تغییر می‌کنند. بافت سطحی مواد تجمع یافته در روی صافی‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

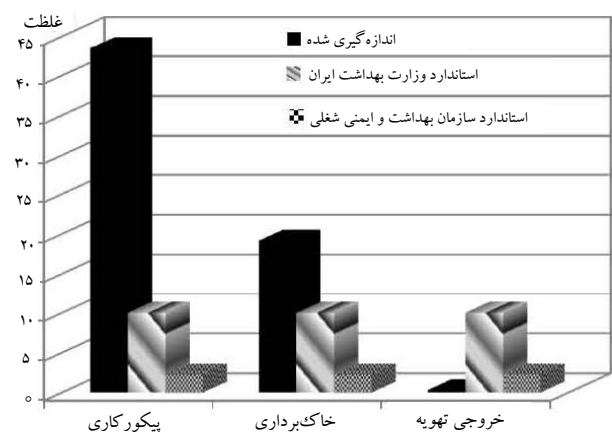
بررسی ریزنگارهای الکترون پویشی و تجزیه‌های طیف‌سنجی پاشنده‌ی انرژی نشان داد که عمده ترکیب شیمیایی آبروسل‌های معدن اورانیم ساغند اکسید آهن است. در نقاطی هم ذراتی از جنس کانی اورانیم حاوی Y و Nd حضور داشتند.

حفاری و ۱۹ تک ذره برای نمونه‌های برداشت شده از محل خاک‌برداری معدن، تجزیه شدند.

روش کمی طیف‌سنجی پاشنده‌ی انرژی-ریز تجزیه‌ی الکترون پویشی برای تجزیه‌ی آبروسل‌های منفردی که در طی شرایط انباشتگی در معدن زیرزمینی ساغند، ایجاد می‌شوند مورد استفاده قرار گرفت و ترکیب شیمیایی، منشأ و تغییر و تبدیل‌های آبروسل‌ها در شرایط خاص معدن زیرزمینی ساغند به دست آمد. تجزیه‌ها در مرکز فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. از ۳ ناحیه نمونه‌برداری شده و با کمک تجزیه‌ی تک ذره‌ها و براساس داده‌های طیف پرتو ایکس و تصویرهای پس‌پراکنده‌ی الکترون حاصل از میکروسکوپ‌های الکترونی، آبروسل‌ها طبقه‌بندی شدند.

۳. نتایج و بحث

در مطالعه‌ی شکوری (۱۹۹۳) متوسط درصد سیلیس موجود در سنگ‌های معدن، ۱۱٫۴٪ تعیین شده است [۲۱]. با قراردادن این مقدار در رابطه‌ی ۲، مقدار استاندارد برای گردوغبار قابل‌تنفس برابر $2,23 \text{ mg/m}^3$ به دست آمد. در این مطالعه، غلظت گردوغبار قابل‌تنفس در ناحیه‌ی تنفسی کارگران در سه ناحیه‌ی پیکورکاری، خاک‌برداری و خروجی تهویه شد (جدول ۱). مقایسه‌ی غلظت گردوغبار قابل‌تنفس با استاندارد سازمان بهداشت و ایمنی شغلی و وزارت بهداشت ایران نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.



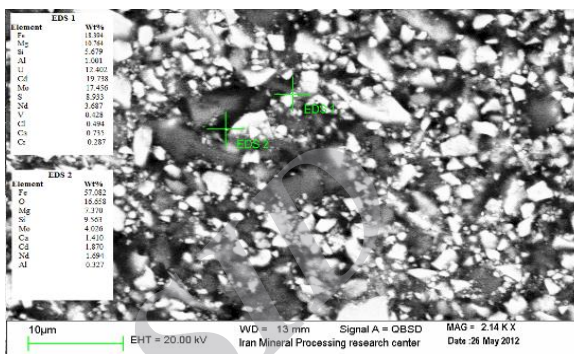
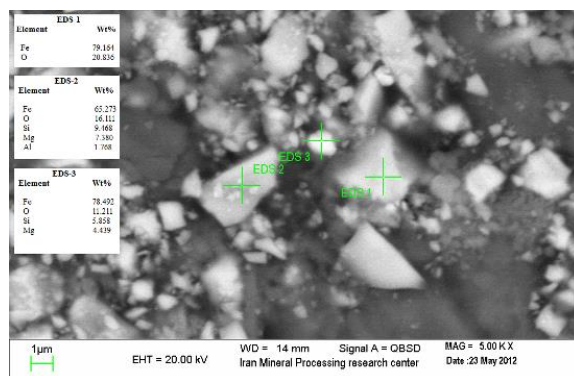
شکل ۱. مقایسه مقدار گردوغبار قابل‌تنفس با استاندارد وزارت بهداشت ایران و سازمان بهداشت و ایمنی شغلی.

جدول ۱. غلظت (mg/m^3) گردوغبار قابل‌تنفس در بخش‌های مطالعه‌ی شده‌ی معدن

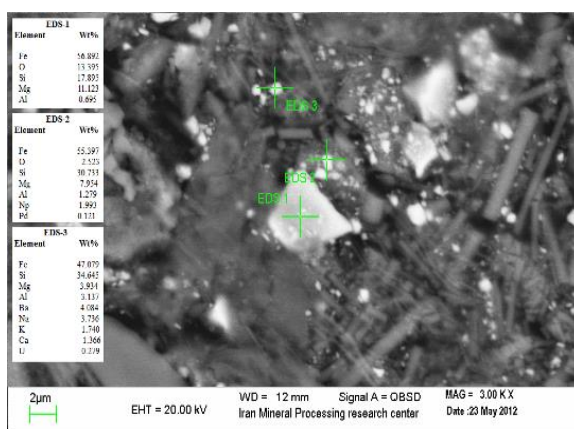
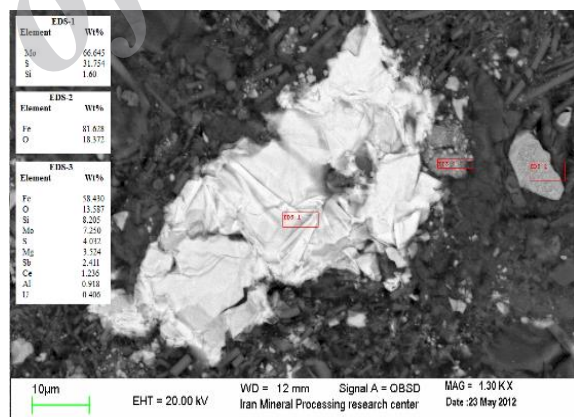
توضیحات	استاندارد بهداشت و ایمنی شغلی	میانگین غلظت اندازه‌گیری شده	وضعیت تهویه	ناحیه‌ی مورد مطالعه
نمونه‌برداری در زمانی صورت گرفت که تونل مربوطه فاقد تهویه بود	۲٫۲۳	۴۳٫۵۰۱	بدون تهویه	ناحیه‌ی پیکورکاری
	۲٫۲۳	۱۹٫۱۷۷	تهویه‌ی ضعیف	ناحیه‌ی خاک‌برداری
	۲٫۲۳	۰٫۳۲۴	تهویه‌ی مناسب	خروجی تهویه

مطالعه‌ی نمونه‌ها با استفاده از ریزنگارهای الکترون پویشی معلوم کرد که ذرات گردوغبار موجود در معدن، در حالت طبیعی و در نبود دگرگونی عمدتاً شامل ریزانبوهه‌هایی است که ساختار آن‌ها، تماس سطح به سطح را نشان می‌دهد ولی فضاهای موجود در آن‌ها بیش‌تر از نوع بین‌ذره‌ای اند تا بین انبوهه‌ای (شکل ۲). هم‌چنین این مطالعه‌ها نشان داد که ذرات گردوغبار دگرگون نشده، به وسیله‌ی ساختارهای دامنه-لایه‌ای^(۷) مشخص می‌شوند (شکل ۳). شناسایی انواع عنصرها در آبروسل‌ها با استفاده از طیف‌سنجی پاشنده‌ی طول موج مشخص نمود که بخش اعظم ریزذرات گسیلیده را اکسیدهای آهن حاوی عنصرهای اورانیم تشکیل می‌دهند. هم‌چنین معلوم شد که کادمیم (Cd) و مولیبدن (Mo) در مقادیر بسیار بالا و S، Si، Mg، Ba، Al، Na و Nd نیز به میزان قابل توجهی حضور دارند. در شکل ۴ ریخت‌شناسی متفاوت آبروسل‌ها در حین پیکورکاری و خاک‌برداری نشان داده شده است.

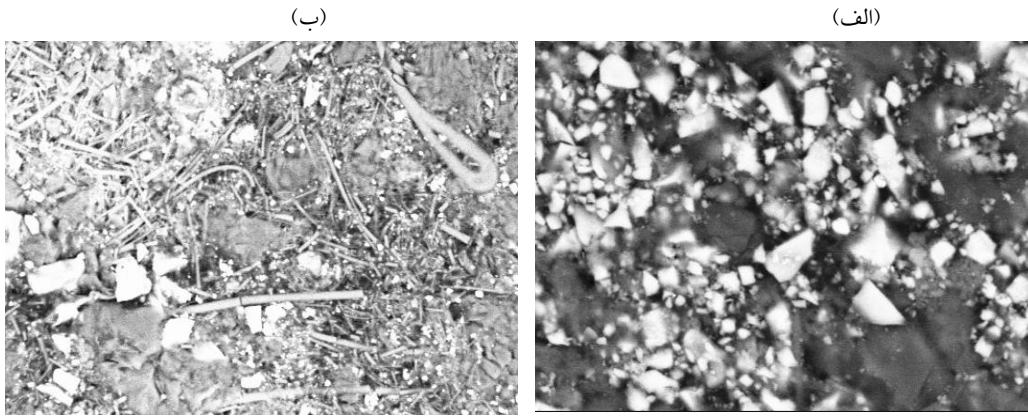
از طرف دیگر، ترکیب کانی‌های شناسایی شده در نمونه‌ها با کمک ریزتجزیه‌ی الکترون پویشی مشخص شد (جدول‌های ۲ و ۳). تصویرهای پس‌پراکندگی الکترون کانی‌های موجود در نمونه‌های آبروسل‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. مطالعه‌ها نشان داد که عمده کانی‌های موجود در آبروسل‌های این معدن، منیتیت، گالن، آپاتیت و کوارتز هستند. به علاوه تصویرهای پس‌پراکندگی الکترون شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که ذراتی از جنس اکسید آهن، سیلیکات‌های مختلف، آپاتیت، کانی‌های اورانیم‌دار و کوارتز در نمونه‌ی محل حفاری و ذراتی از جنس اکسید آهن، کانی‌های سیلیکاته، اورانیم و گالن در نمونه‌ی محل خاک‌برداری وجود دارند. نتایج نشان داد که عمده آبروسل‌ها، از کانی‌های اورانیم‌دار، اکسیدهای آهن، آلومینوسیلیکات‌ها، آپاتیت، گالن، کوارتز و غیره تشکیل شده‌اند. نتایج فراوانی نسبی آبروسل‌ها نشان داد که اورانیم و اکسید آهن به ویژه در طی عملیات معدن‌کاری افزایش می‌یابند. هم‌چنین با استفاده از قله‌های طیف حاصل از ریزتجزیه‌ی الکترون پویشی، فراوانی عنصرهای Fe، U، Si، Y و Al در نمونه‌های جمع‌آوری شده به دست آمد (شکل ۷).



شکل ۲. ریزنگارهای الکترونی آبروسل‌های برداشت شده از محل پیکورکاری تونل.



شکل ۳. ریزنگارهای الکترونی آبروسل‌های برداشت شده از محل خاک‌برداری تونل.



شکل ۴. مقایسه ریخت شناسی آبروسل های معدن اورانیم ساغند حاصل از (الف) عملیات پیکور کاری، (ب) خاک برداری.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی آبروسل های نمونه های محل حفاری

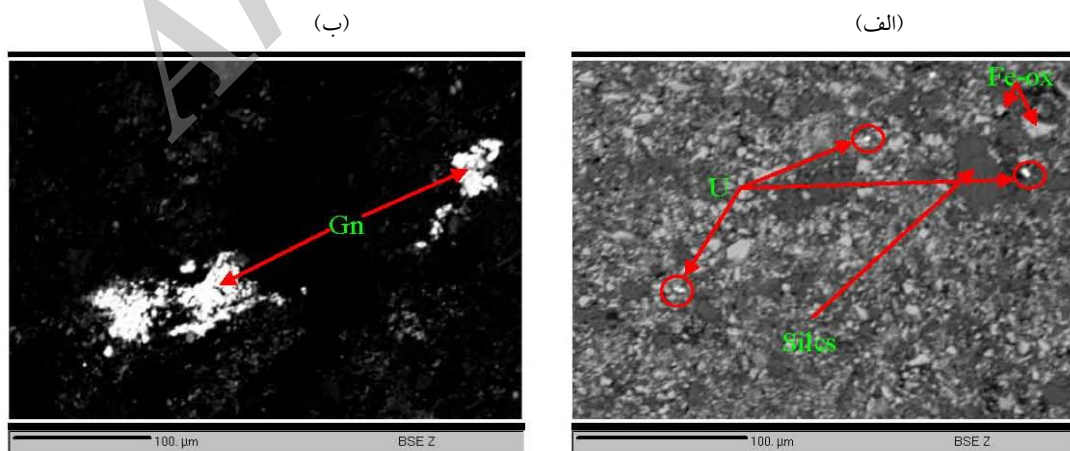
مجموع	LOI (%)	درصد وزنی اکسیدها											نام کانی	
		Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	SiO ₂	P ₂ O ₅	Bi ₂ O ₃		SO ₃
۹۹.۷۵	۱.۷	۰.۱	۰.۰۶	۰.۰۴	۵۵.۶۸	N.D.	۰.۱۰	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۳۷	۴۰.۸۲	۰.۹۴	N.D.	آپاتیت
۹۹.۰۹	۳	۰.۰۵	۰.۰۳	۳۰.۱۲	N.D.	N.D.	۰.۷۲	۰.۲۵	N.D.	۶۴.۹۲	N.D.	N.D.	N.D.	کانی های سیلیکاته
۹۹.۶۳	-	۰.۱۰	N.D.	N.D.	۰.۱۱	N.D.	۰.۴۴	N.D.	N.D.	۹۷.۷۴	N.D.	N.D.	۱.۲۴	کوارتز
۹۸.۴۷	۳	N.D.	۰.۱۳	۵.۱۷	۱.۸۰	۰.۲۳	۶۹.۲۹	۱.۰۸	۰.۲۸	۱۴.۹۲	۰.۸۱	N.D.	۲.۵۶	مخلوط اکسید آهن و گردوغبار
۹۸.۶۵	۴	۰.۰۲	۲.۷۵	۲۳.۸۷	۰.۰۴	N.D.	۱۶.۱۶	۹.۰۸	۰.۱۱	۴۲.۶۱	۰.۰۱	N.D.	N.D.	کانی های سیلیکاته

N.D.: غیر قابل آشکار سازی

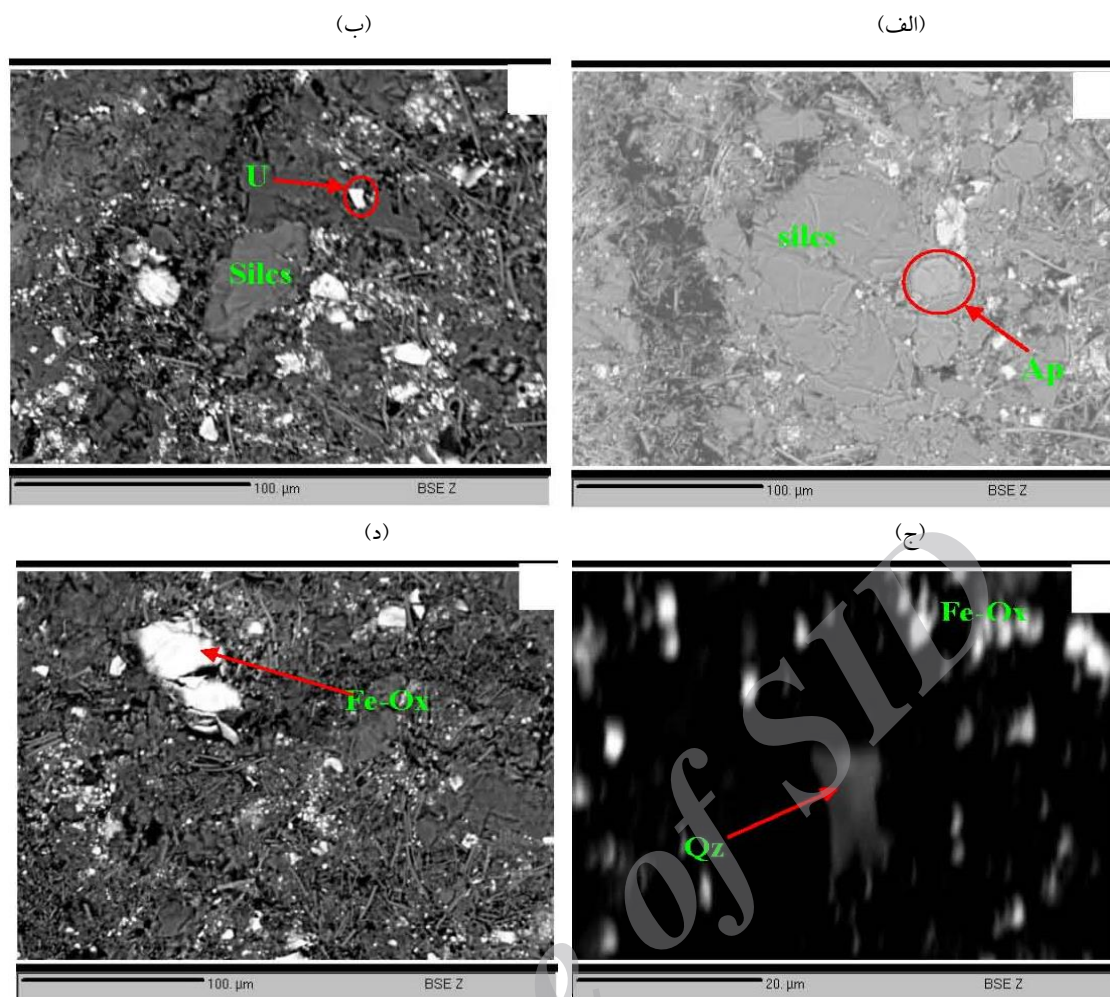
جدول ۳. ترکیب شیمیایی آبروسل های نمونه های محل خاک برداری

مجموع	LOI (%)	درصد وزنی اکسیدها										نام کانی		
		Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	FeO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂		SO ₃	P ₂ O ₅
۹۹.۷۹	۳	۰.۰۲	۰.۰۴	۳۱.۶۹	۰.۲۰	۷.۶۵	۱۸.۸۹	۰.۵۳	۰.۰۲	۳۷.۶۸	N.D.	۰.۰۵	۰.۰۲	کانی های سیلیکاته
۹۸.۶۴	-	N.D.	N.D.	۱.۰۹	۰.۲۶	۸۶.۶۰	۰.۰۴	۲.۴۷	۰.۸۶	۱.۳۲	۵.۹۷	N.D.	۰.۰۳	منیتیت
۹۸.۸۲	-	Ca	Ti	Mn	S	Fe	P	Pb	Cu					گالن
		N.D.	۰.۰۸	۰.۰۱	۱۱.۶۵	۰.۲۹	۰.۰۲	۸۶.۷۶	۰.۰۱					

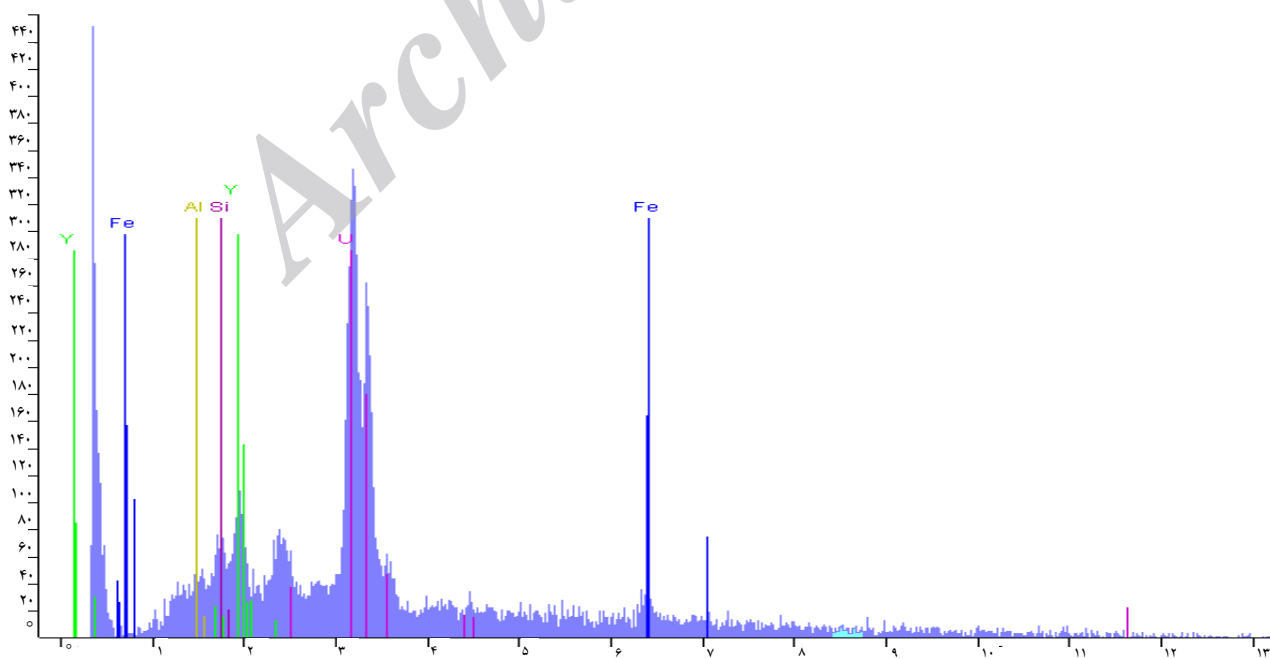
N.D.: غیر قابل آشکار سازی



شکل ۵. ریزنگارهای الکترونی نمونه های محل خاک برداری. (الف) ذراتی از جنس اکسید آهن، اورانیم و سیلیکات ها و (ب) ذره ای از جنس گالن.



شکل ۶. ریزنگارهای الکترونی آبروسل‌های برداشت شده از محل پیکورکاری تونل. (الف) ذراتی از جنس آپاتیت و سیلیکات‌ها، (ب) ذراتی از جنس اورانیم و سیلیکات‌ها، (ج) ذراتی از جنس کوآرتز و اکسید آهن، (د) ذره‌ای از جنس اکسید آهن.



شکل ۷. قله‌های نظیر عنصرها در طیف حاصل از ریز تجزیه‌ی الکترون پویشی.



ذراتی از جنس کانی های اورانیم دار، کوارتز، آپاتیت و گاهی گالن نیز هستند.

۶. این پژوهش نشان داد که پخش آلاینده های موجود در هوا، شرایط تهویه نامناسب موجب بالا رفتن مقدار ذرات کانی های اورانیم دار و اکسید آهن در طی عملیات معدن کاری می شود.

۷. این داده ها بیان گر آن است که می توان از تجزیه ی سنگ های تشکیل دهنده ی معدن به عنوان یک مبنای مقایسه ای مناسب برای شناخت ترکیب شیمیایی و کانی شناختی آبروسل ها بهره جست.

مقایسه ی مقدار گردوغبار قابل تنفس با استانداردهای سازمان بهداشت و ایمنی شغلی در این نواحی نشان داد که تنها در خروجی تهویه شرایط استاندارد حاکم است ولی در منطقه ی خاک برداری، میانگین مقدار آن ها حدود ده برابر حد مجاز و در ناحیه ی پیکور کاری، نزدیک ۲۰ برابر حد استاندارد است. این مطالعه نشان داد که در نواحی خاک برداری و پیکور کاری، استفاده از ماسک های مجهز به صافی های مناسب برای کارکنان و کارگران الزام آور است. البته در این معدن، کارکنان همانند معدن کاران باید از ماسک های AOS با صافی N95 و P100 به خاطر کار آبی بالای این ماسک ها در حذف آبروسل ها استفاده نمایند.

پی نوشت ها

1. Particulate matter (PM)
2. Pneumoconiosis
3. Energy dispersive (X-ray) spectrometr (EDS)
4. Scanning electron microscopy (SEM)
5. Electron probe microanalysis-wave dispersive spectrometry (EPMA-WDS)
6. Occupational Safety and health administration
7. Laminated domain structure

۴. نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. مقدار گردوغبار در ۲ بخش پیکور کاری (بدون تهویه) و خاک برداری (دارای تهویه ضعیف) در حد استاندارد نبوده ولی در بخش تهویه مناسب، در حد استاندارد سازمان بهداشت و ایمنی شغلی است. براساس استاندارد ایران (10 mg/m^3)، مقدار گردوغبار فقط در بخش خروجی تهویه، در حد استاندارد است. این موضوع، مؤید اهمیت ویژه ی تهویه در معدن کاری زیرزمینی است.

۲. شناسایی انواع عنصرها در ساختارهای میکروسکوپی TSP با استفاده از طیف سنجی پاشنده ی طول موج نشان داد که بخش اعظم آبروسل های گسیلیده را اکسیدهای آهن (مینیتیت و هماتیت) حاوی ذرات کانی های اورانیم (اورانینیت) تشکیل می دهند.

۳. مطالعه های میکروسکوپی الکترون پویشی نشان داد که ذرات گردوغبار موجود در معدن با ساختارهای دامنه - لایه ای مانند مشخص می شوند.

۴. مطالعه های میکروسکوپی الکترون نشان داد که ذرات گردوغبار موجود در معدن عمدتاً شامل ریزانبوهه هایی است که ساختار آن ها، تماس سطح به سطح را نشان می دهد ولی فضاهای موجود آن ها بیش تر از نوع ذره ای است.

۵. ریزنگارهای الکترونی نشان داد که آبروسل ها عمدتاً از اکسید آهن و مواد سیلیکاته تشکیل شده اند ولی دارای



- [1] W. Birch, H. Datson, Reducing the environmental effect of aggregate quarrying: Dust, Noise and Vibration. In Sustainable aggregates, University of Leeds and University of Nottingham (2008).
- [2] P.H. McMurry, A review of atmospheric aerosol measurements, *Atmospheric Environment*, 34 (2000) 1959-1999.
- [3] R. Godoi, D. Braga, Y. Makarovska, B. Alfoldy, M. Carvalho Filho, R. Grieken, A. Godoi, Inhalable particle matter from lime industries: Chemical composition and deposition in human respiratory tract, *Atmospheric Environment*, 42 (2008) 7027-7033.
- [4] A. Zanobetti, J. Schwartz, D.W. Dockery, Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung disease, *Environ. Health Perspect*, 108 (2000) 1071-1077.
- [5] R.D. Brook, B. Franklin, W. Cascio, Y. Hong, G. Haward, M. Lipsett, R. Luepker, M. Mittleman, J. Samet, S.C. Smith, I. Tager, Air pollution and cardiovascular disease: A Statement for Healthcare Professionals From Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association, *Circula*, 21 (2004) 109.
- [6] M.L. Maiello, M.D. Hoover, *Radioactive air sampling methods*, CRC Press, New York, (2011).
- [7] I. Salma, I. Balashazy, R. Winkler-Heil, W. Hofmann, G. Zaray, Effect of particle mass size distribution on the deposition of aerosols in the human respiratory system, *Aerosol Science. J.* 33 (2002) 119-132.
- [8] J.H. Vincent, The fate of inhaled aerosols: a review of observed trends and some generalizations, *Annals of Occupational Hygiene*, 34 (1990) 623-637.
- [9] P. Hinz, A. Trimborn, E. Weingartner, S. Henning, U. Baltensperger, B. Spengler, Aerosol single particle composition at the Jungfraujoch, *Aerosol Science*, 36 (2005) 123-145.
- [10] S. Yadav, V. Rajamany, Geochemistry of aerosol of northwestern part of india adjoining the thar desert, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68 (9) (2004) 1975-1988.
- [11] B. Alfoldy, J. Trincavelly, S. Torok, G. Castellano, Characterization of atmospheric particles by electron probe X-ray, 24 (2002) 297-300.
- [12] M. Ebert, J. Dahmen, P. Hoffmann, H.M. Ortner, Examination of clean room aerosol particle composition by total reflection X-ray analysis and electron probe microanalysis, *Spectrochimica Acta., Part B*, 52 (1997) 967-975.
- [13] G.S. Casuccio, S.F. Schlaegle, T.L. Lersch, G.P. Huffman, Y. Chen, N. Shah, Measurement of fine particulate matter using electron microscopy techniques, *Fuel Processing Technology*, 85 (2004) 763-779.
- [14] M. Murakami, F. Nakajima, H. Furumai, B. Tomiyasu, M. Owari, Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser, *Chemosphere* 67 (2007) 2000-2010.
- [15] P. Khaenamkaw, P. Iamraksa, S. Raksawang, K. Wongsorndham, S. Khuntong, SEM/EDS morphological and chemical composition identification of particulate matter emission from shipping activities around Si Racha Bay, Si Chang Island, Chonburi, Thailand. *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 24 (2010) 37-41.
- [16] A. Zarasavandi, F. Moore, A. Nazarpour, Mineralogy composition and morphological constituent particle of phenomenon of dust in Khoozestan province based on XRD analysis and SEM images, *J. Crystallography and Mineralogy*, 19(3) (2011) 511-518.
- [17] P.J. Walsh, Radiation dose to the respiratory tract of uranium miners, *Environmental Research*, 3 (1970) 14-36.
- [18] C. Papastefanou, Radioactive nuclides as tracers of environmental processes, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, 267 (2) (2006) 315-320.
- [19] A. Naghizadeh, A.H. Mahvi, H. Jabbari, A. Dadpour, M. Karimi, Determine the level of dust and free silica in air of Khaf iron stone quarries, Iran. *J. Health & Environ*, 1 (1) (2008) 37-44.
- [20] A. Choobineh, F. Amirzadeh, SH. Arghami, Overview of occupational health, Shiraz university publication of medical science, Third edition (2003) 297.
- [21] A. Shakoori, The final report on the uranium mineral reserve estimates, mineral zones 1 and 2 of Saqand uranium deposit (1993).