




Temporal changes in the elemental composition and physicochemical properties of dust from sand sheets of the western Lake Urmia

Nikou Hamzehpour 

Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: nhamzehpour@maragheh.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	<p>Sand sheets of the western LU are among the major dust sources in the region. Thus, the aims of the present study were to comprehensive study the dust origins from Sa-sheets; dust characteristics and aerosol temporal variability throughout the dry season. Using dust traps, dust samples were collected during four time periods July, August, October, and November. Soil and dust samples then subjected to physicochemical, mineralogical (XRD), and elemental (ICP-MS) analysis. By means of scanning electron microscopy (SEM), morphology and main chemical constituents of the soil-dust particles were also characterized. Quartz, Calcite, Aragonite and Halite were the dominant minerals in the samples. Elemental analysis results revealed that Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Silicon (Si), Iron (Fe) and Aluminum (Al) are the dominant constituents of both soil and dust samples. Among rare elements, strontium (^{88}Sr) and barium (Ba) with 3 and 0.21 g kg^{-1} were the prevailing elements. The calculation of the enrichment factors demonstrated that while dust source 1 (DS₁) with higher clay, salt, and silt content contributes more to the dust composition from July to August, dust source 2 (DS₂) with less salinity and higher sand content becomes major contributor to dust composition from October to November. SEM images of the soil samples showed that Aragonite dominated the samples. However, towards the mid dry season and as a consequence of the extensive evaporation, NaCl accumulates in the surface of DS₁, resulting in the formation of a thin crust which prevents the soil DS₁ from further erosion for the rest of the dry season. Nevertheless, the prevalence of the toxic elements in the dust blown from sand sheets and their transport to the surrounding cities in the direction of the prevailing winds is a serious threat to both human health and agricultural production and thus needs careful attention.</p>
Article history: Received 02 March 2023 Received in revised form 10 May 2023 Accepted 24 June 2023 Published online 27 January 2024	
Keywords: <i>Elemental analysis,</i> <i>Enrichment factor,</i> <i>Scanning electron microscope,</i> <i>Sodium chloride.</i>	
Cite this article: Hamzehpour, N. (2024). Temporal changes in the elemental composition and physicochemical properties of dust from sand sheets of the western Lake Urmia. <i>Journal of Natural Environment</i> , 76 (Special Issue), 79-95. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2023.356230.2533	
	

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.356230.2533>



تغییرات زمانی در ترکیب عنصری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق هوا ساطع شده از پهنه‌های ماسه‌ای (مطالعه غرب دریاچه ارومیه)

نیکو حمزه پور^۱✉

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: nhamzehpour@maragheh.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	پهنه‌های ماسه‌ای واقع در غرب دریاچه ارومیه، یکی از مهمترین منابع تولید گردوغبار در این منطقه می‌باشند. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه تغییرات زمانی در ترکیب عنصری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق هوا در مجاورت پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه در طول فصل خشک و تعیین میزان مشارکت خاک‌های محلی در ترکیب گردوغبار بود. بدین منظور، نمونه‌های گردوغبار در طی چهار ماه مختلف در طی فصل خشک ۱۳۹۹ با اله‌های رسوبگیر جمع‌آوری شدند. همچنین دو خاک غالب از کانون‌های گردوغبار نیز از عمق ۵-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شدند. نمونه‌برداری از هر کدام از سطوح، به صورت مرکب و از ترکیب چندین نمونه از بخش‌های مختلف آن سطح بود. خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها از جمله توزیع اندازه ذرات، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته، ماده آلی و درصد کربنات کل اندازه‌گیری شدند. شناسایی کانی‌های غالب با روش تفریق اشعه ایکس (XRD)، شناسایی عناصر موجود در نمونه‌ها با دستگاه ICP-MS و نیز تصویربرداری از سطح نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز صورت گرفت. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، کوارتز، کلسیت، آراگونت و هالیت کانی‌های غالب در نمونه‌ها بودند. نتایج آنالیز عنصری نشان داد که کلسیم، منیزیم، سدیم، سیلیسیوم، آهن و آلومینیوم در هر دو نمونه خاک و گردوغبار جزء عناصر با فراوانی زیاد بودند. تصویربرداری از سطح دو خاک نشان داد که آراگونیت با اشکال سوزنی و ستونی، فراوان‌ترین کانی در آن‌ها است. براساس نتایج حاصل از محاسبه فاکتور غنی‌شدن، باوجود اینکه خاک ۱ (DS ₁) با مقدار رس، نمک و سیلت بیشتر، بالاترین مشارکت را در ترکیب گردوغبار در ابتدای فصل خشک (تیرماه و مرداد ماه) دارد، به سمت انتهای فصل خشک، مشارکت خاک ۲ (DS ₂) با میزان املاح کمتر، شن و کربنات کل بالاتر، بیش از DS ₁ می‌شود. براساس نتایج میکروسکوپ روبشی و آنالیز نقطه‌ای، به سمت اواسط فصل خشک و در نتیجه تبخیر زیاد در منطقه، کلرید سدیم در سطح نمونه DS ₁ تجمع می‌یابد و با ایجاد پوشش در دور ذرات شن، منجر به ایجاد سله شده و از ادامه فرسایش بادی، ممانعت می‌کند. با این حال، خاک DS ₂ ، تمام طول سال کانون اصلی گردوغبار باقی می‌ماند و با دارا بودن مقادیر بسیار زیادی از کانی آراگونیت و عنصری همچون استرانسیوم ⁸⁸ Sr و باریم Ba و حرکت گردوغبار حاصل، در جهت بادهای غالب به سمت مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، خطری جدی به حساب می‌آید و نیازمند توجه ویژه است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷	
کلیدواژه‌ها: آنالیز عنصری، فاکتور غنی‌شدن، کلرید سدیم، میکروسکوپ الکترونی روبینی .	

استناد: حمزه پور، نیکو (۱۴۰۲). تغییرات زمانی در ترکیب عنصری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات معلق هوا ساطع شده از پهنه‌های ماسه‌ای (مطالعه غرب دریاچه

ارومیه)، استان زنجان. محیط زیست طبیعی، ۷۶ (ویژه نامه)، ۹۵-۷۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.356230.2533>



مقدمه

پدیده گردوغبار از جمله مهمترین مشکلات محیط‌زیستی در نقاط مختلف جهان است که سلامت بشر و امنیت اکوسیستم را در معرض خطر قرار می‌دهد (Kim et al., 2017; Goudarzi et al., 2019). بسته به توزیع اندازه ذرات، گردوغبار حاصل از بیابان‌ها و نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان، می‌توانند تا فواصل بسیار طولانی و حتی بین قاره‌ای منتقل شوند (Moreno et al., 2006; Schepanski, 2018). در صورتی که منشاء گردوغبار، دریاچه‌ها و پلایاهای نمکی باشند، ذرات معلق هوا می‌توانند مقدار بسیار زیادی نمک داشته باشند. گردوغبار نمکی، حاوی مقادیر زیادی املاح محلول همانند سولفات یا کلرید سدیم و دیگر مواد مضر برای سلامتی بشر و محیط‌زیست می‌باشند (Abuduwaili et al., 2010). در مناطق فرونشست، گردوغبار نمکی می‌تواند منجر به شور شدن خاک‌ها و از بین رفتن محصولات کشاورزی شوند.

در طول دهه‌های گذشته، سطح دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران، کاهش یافته است و در چند سال اخیر، ارتفاع آن به پایین‌ترین مقدار در صد سال گذشته رسیده است. این اتفاق منجر به برجای ماندن پهنه وسیعی از اراضی بایر با مقدار زیاد نمک و پوشش گیاهی اندک شده است (Kakahaji et al., 2013; Farokhnia and Morid, 2014; Shadkam et al., 2016; Hamzehpour et al., 2018). چنین اراضی پلایایی شور با پوشش گیاهی کم، حساسیت بسیار بالایی به فرسایش بادی دارند. مطالعات نشان داده‌اند که شدت طوفان‌های گردوغبار در اطراف دریاچه ارومیه و در شهرهای مجاور پس از کاهش سطح دریاچه ارومیه، زیاد شده است (Sotoudeheian et al., 2016; Boroughani et al., 2019; Ahmady-Birgani et al., 2020). مطالعات Ahmady-Birgani و همکاران (۲۰۲۰)، نشان داده است که مناطق تحت تأثیر گردوغبار حاصل از دریاچه ارومیه، تا ۴۰ کیلومتر دورتر از دریاچه ارومیه نیز می‌توانند گسترده باشند. در مطالعه‌ای که در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۷ در حوضه دریاچه ارومیه انجام شده است، نشان داده شد که از زمان شروع خشک شدن دریاچه ارومیه، بر تعداد روزهای گردوغبار در شهرهای اطراف، افزوده شده است. همچنین در این مطالعه، کاهش محسوس در میزان بارش برف بر سطح دریاچه ارومیه بعد از ۲۰۰۷، به کاهش سطح و خشک شدن دریاچه ارومیه مرتبط شده است (Hamzeh et al., 2020). Hamzehpour و همکاران (۲۰۲۰b) نیز در بررسی نقش گردوغبار دریاچه ارومیه بر هسته‌زایی یخ، نشان داده‌اند که کاهش بارندگی می‌تواند از طریق افزایش دمای هسته‌زایی یخ و تشکیل دیرتر بلورهای یخ در ابرها، در مجاورت ذرات گردوغبار معدنی با املاحی چون کلرید سدیم و همچنین ذرات معدنی غنی از کربنات‌ها اتفاق بیفتد.

امروزه استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و تصاویر ماهواره‌ای به صورت گسترده‌ای در علوم مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nawar and Mouazen, 2019; Shi et al., 2021; Maino et al., 2022). در زمینه منشاء‌یابی گردوغبار نیز استفاده از این روش‌ها به دلیل کم‌هزینه بودن و سرعت بالای دستیابی به نتایج در سطح گسترده‌تر، محبوبیت یافته است (Baddock et al., 2009; Karimi et al., 2012; Lin et al., 2020; Yu et al., 2018). با این حال، از آنجا که چنین روش‌هایی عمدتاً برپایه تصاویر ماهواره‌ای هستند، اگرچه در پایش مناطق با مساحت زیاد و در سطح قاره‌ای موفق عمل کرده‌اند، اما زمانی که کانون‌های گردوغبار منطقه‌ای با سطح کوچک مد نظر باشد، به دلیل قدرت تفکیک مکانی ضعیف چنین تصاویر ماهواره‌ای، نتایج قابل قبولی حاصل نمی‌شود. یکی دیگر از روش‌های مطالعه منشاء رسوبات بادی، مطالعه ترکیب کانی‌شناسی و فراوانی کانی‌ها در منشاء گردوغبار است (Hamzehpour et al., 2022b). با این حال، چینی مطالعاتی نیازمند آنالیزهای کمی کانی‌شناسی در تعداد زیادی نمونه است که اغلب امکان‌پذیر نمی‌باشد (Arimoto, 2001).

یکی دیگر از روش‌های شناسایی منشاء رسوبات، روش انگشت‌نگاری رسوبات^۱ است. در این روش از خصوصیات همچون کانی‌شناسی، خصوصیات مغناطیسی کانی، رادیونوکلئیدها، ایزوتوپ‌های پایدار، عناصر نادر خاکی و ترکیب ژئوشیمیایی (Gatehouse et al., 2001; Davis and Fox, 2009; Scheuven et al., 2013; De Deckker, 2015) در شناسایی منشاء رسوبات بادی و یا آبی استفاده می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تجزیه و تحلیل ترکیب ژئوشیمیایی ذرات گرد و غبار و مقایسه با منابع احتمالی آن‌ها، می‌تواند برای شناسایی منابع بالقوه تولید گردوغبار استفاده شود (Reheis et al., 2002; Derbez

¹Sediment fingerprinting

کانی‌های کوارتز و کربناته، از اجزای اصلی گردوغبار اتمسفری در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سراسر جهان می‌باشند (Díaz- and Lefèvre, 2003; Zarasvandi et al., 2011; Abouchami et al., 2013; Zhang et al., 2017). در خاورمیانه Al-Dabbas و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی ترکیبات گرد و غبار در کشور عراق پرداختند. نتایج نشان داد کانی کوارتز، کانی غالب گرد و غبارها در این کشور است. Zarasvandi و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و شکل کانی‌های موجود در گردوغبار در استان خوزستان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که گرد و غبار استان خوزستان در سه گروه کانی‌های کربناته، سیلیکاته و رس دسته‌بندی می‌شوند. همچنین تحلیل XRF نشان داد که اکسید سیلیس (SiO_2) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) عناصر غالب کانی‌های گرد و غبار در استان خوزستان محسوب می‌شود. در تحقیقی که بر روی گرد و غبارهای غرب و جنوب غرب ایران انجام شده است، مشخص شد کانی‌های اصلی گرد و غبار ورودی به غرب ایران شامل کربنات‌ها (کلسیت) و سیلیکات‌ها (کوارتز) است و فاز فرعی کانی شامل ژپس می‌باشد. هرگاه منشأ ذرات شمال عربستان و یا نواحی داخلی عراق در حوزه رسوبات تبخیری رودخانه‌های دجله و فرات باشد، نمونه‌ها حاوی ژپس خواهند بود. همچنین اکسید سیلیس (SiO_2) و اکسید کلسیم (CaO)، ترکیبات شیمیایی غالب ذرات گرد و غبار می‌باشند (Khoshakhlag et al., 2013). نتایج یک تحقیق اخیر در عسلویه نشان داد که منشأ عناصر As, Cu, Mo, Pb, Zn, Sb و Co از منابع مربوط به فعالیت‌های انسانی است در حالی که عناصری مثل Al, Fe, Ti, Mn و Co از منابع طبیعی و زمین‌شناختی می‌باشد (Abbasi et al., 2020).

در میان کارهای محدود در این زمینه در حوضه دریاچه ارومیه، Gholampour و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ذرات شور و ذرات منشأ گرفته از بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه، حدود ۶۰ درصد از ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) را در منطقه تشکیل می‌دهند. این مقدار ۹ برابر بیش از حد مجاز تعیین شده توسط WHO ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) است. آن‌ها ترکیب عنصری مواد معلق در بخش‌های جنوب شرقی و شمالی دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که BaCl, NaCl و عناصر Ca, Ti, Al, Mn, P, K, Si و F عمدتاً از رسوبات برجای مانده از پسروری دریاچه ارومیه منشأ گرفته‌اند.

یکی از مهمترین کانون‌های گردوغبار واقع در غرب دریاچه ارومیه، پهنه‌های ماسه‌ای شکل گرفته در مجاورت روستای جبل کندی، در ۳۰ کیلومتری بخش شمالی شهر ارومیه است. این منطقه در حدود ۳۰۰ هکتار از اراضی است که در مطالعات قبلی به‌عنوان پهنه‌های ماسه‌ای طبقه‌بندی شده‌اند (Taghizadeh-Mehrjerdi et al., 2021). پهنه‌های ماسه‌ای نه تنها از طریق حرکت به سمت روستاها و زمین‌های کشاورزی مجاور، خطرات زیادی را برای ساکنین منطقه به‌وجود آورده‌اند، بلکه با دارا بودن بالغ بر ۸۰ درصد مواد سست فرسایش‌پذیر بادی، مسئول بخش عمده‌ای از گردوغبار منطقه‌ای در این بخش از کشور هستند (Hamzhepour et al., 2022a). حرکت این ذرات گردوغبار در جهت باهای غالب (با جهت جنوب غربی) در طول فصل خشک (از تیرماه تا آبان ماه) به سمت شهرهای مجاور از جمله ارومیه، سلامت ساکنین این مناطق را تحت تأثیر قرار داده است (Kheirfam, 2022). پیشتر، با آنالیزهای عنصری و کانی‌شناسی کمی و نیز محاسبه فاکتور غنی‌شدن خاک، نشان داده شده است که خاک‌های توسعه‌یافته در این منطقه، بیشترین مشارکت را در ترکیب گردوغبار منطقه دارا هستند (Hamzhepour et al., 2022a) با این حال تاکنون مطالعه دقیق در خصوص تغییرات زمانی در خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عنصری گردوغبار حاصل از این منطقه انجام نشده است. از این‌رو، هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی ترکیب عنصری، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مورفولوژیکی گردوغبار حاصل از پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه در طول فصل خشک و تعیین میزان مشارکت سطوح پلايایی دریاچه ارومیه در ترکیب گردوغبار بود.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مطالعاتی و نمونه‌برداری از خاک و گردوغبار: منطقه مطالعاتی در غرب دریاچه ارومیه و بخش شمالی شهر ارومیه، در مجاورت روستای جبل کندی واقع شده است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی آن بین طول جغرافیایی $45^{\circ} 06'$ و $45^{\circ} 23'$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 19'$ و $37^{\circ} 56'$ شمالی واقع شده است.



شکل ۱- الف: بخش شمالی دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران. منطقه مطالعاتی با دایره قرمز رنگ نمایش داده شده است. ب: پهنه‌های ماسه‌ای در حاشیه غربی دریاچه ارومیه؛ ج: پهنه‌های ماسه‌ای و پوشش گیاهی مصنوعی توسعه یافته برای کنترل حرکت شن و تولید گردوغبار و د: گردوغبار ایجاد شده در وزش باد ملایم. (تصاویری از سله‌های سطحی در نمونه‌های خاک مطالعه شده در این شکل نمایش داده شده است)

پهنه‌های ماسه‌ای، یکی از هفت سطح پلایایی است که در غرب دریاچه ارومیه توسعه یافته است و از نظر فرسایش پذیری بادی، در رده اول در بین سطوح پلایایی واقع شده است (Hamzhepour *et al.*, 2022a). براساس مطالعات نیمه تفصیلی انجام شده در غرب دریاچه ارومیه، خاک‌های تشکیل دهنده پهنه‌های ماسه‌ای، براساس مثلث خاک (USDA-NRCS, 2018) از دو دسته خاک غالب تشکیل شده اند. خاک اول (DS_1)، دارای بافت شن لومی^۲ و خاک دوم (DS_2) شن^۳ است. از تفاوت‌های دیگر این دو خاک، وجود نمک و یک سله سطحی نازک در سطح خاک DS_1 در برخی از فصول سال و نبود آن‌ها در خاک DS_2 می‌باشد (شکل ۱، د).

در طول فصل خشک ۱۳۹۹، نمونه‌های گردوغبار در چهار بازه زمانی مختلف، توسط دستگاه رسوبگیر، در ماه‌های تیر (D_1)، مرداد (D_A)، مهر (D_O) و آبان (D_N) جمع‌آوری شدند و برای انجام مطالعات بیشتر، به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه مراغه منتقل شدند. در گرمترین ماه سال (مرداد ماه) از عمق ۵-۰ سانتی‌متری هر کدام از خاک‌های DS_1 و DS_2 ، نمونه‌های خاک از بخش‌های مختلف جمع‌آوری شدند و در نهایت برای دستیابی به یک نمونه مرکب و یکنواخت، باهم ترکیب شدند. در نهایت دو نمونه خاک جدا از سطح DS_1 و DS_2 به منظور آزمایشات بیشتر جمع‌آوری شد. از سله سطحی موجود در سطح نمونه DS_1 برای مطالعات میکروسکوپی، نمونه جداگانه تهیه شد.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک و گردوغبار: برای تعیین توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های خاک و گردوغبار که مهمترین ویژگی تعیین کننده مدت زمان معلق ماندن آن‌ها در هوا و انتقال در فواصل طولانی تر است، از یک پراش لیزری ($LDSA^4$) مدل LS 13320 بین اندازه ۰/۴ میکرومتر تا ۲۰۰۰ میکرومتر، استفاده شد. در انجام آنالیزهای توزیع اندازه ذرات، قبل از شروع آزمایش، به منظور پراکنده سازی نمونه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه سونیکیت^۵ شدند (Dane and Topp, 2020). برای انجام آنالیزهای شیمیایی، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند تا ذرات درشت احتمالی جداسازی شوند. ولی نمونه‌های

^۲Loamy Sand

^۳Sand

^۴Laser Diffraction Size Analyzer

^۵Sonication

گردوغبار، بدون الک شدن، مورد آزمایش قرار گرفتند. درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر (Nelson and Sommers, 1996): قابلیت هدایت الکتریکی (EC^6) و واکنش خاک (pH) در نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب به ترتیب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Jenway, model 4510) و دستگاه pH متر (VWR Symphony SB70P) و اندازه‌گیری کربنات کلسیم کل به روش تیتراسیون انجام شد (Jackson, 2005).

کانی‌شناسی و آنالیز عنصری نمونه‌ها: برای انجام این اندازه‌گیری‌ها، ابتدا نمونه‌ها از الک ۶۳ میکرومتر عبور داده شدند تا جزء فعال خاک (شن زیر و ذرات کوچکتر از آن) جداسازی شوند. سپس اندازه نمونه‌ها با دستگاه آسیاب به کوچکتر از ۳۰ میکرومتر کاهش یافت. اندازه‌گیری پراش اشعه ایکس (XRD) با استفاده از پراش‌سنج براگ-برنتانو (Bruker AXS, D8 Advance, آلمان) با استفاده از تابش $CoK\alpha$ (۳۵ کیلوولت، ۴۰ میلی‌آمپر) انجام شد. این ابزار مجهز به یک تنظیم خودکار بهینه‌سازی پرتو (شکاف جبران‌کننده و اگرایی تتا، صفحه پخش خودکار هوا و یک آشکارساز Lynx-Eye XE-T) بود. نمونه‌های پودری در دمای اتاق از ۲ تا ۸۰ درجه ۲ تا (عرض مرحله ۰/۰۲ درجه ۲ تتا، زمان شمارش ۲ ثانیه در هر مرحله) اسکن شدند. برای انجام آنالیز عنصری، دو نمونه خاک DS_1 و DS_2 به همراه دو نمونه مرکب گردوغبار، شامل نمونه اول، ترکیب ماه‌های (تیر+مرداد)، به عنوان نمونه مربوط به شروع فصل خشک و نمونه دوم، ترکیب (مهر+آبان) به عنوان نمونه مربوط به انتهای فصل خشک در منطقه، مورد آنالیز عنصری قرار گرفتند. برای تعیین غلظت عناصر تشکیل‌دهنده این نمونه‌ها، تقریباً ۱۵۰ میلی‌گرم از هر نمونه در ظرف هضم تفلون با تحمل فشار بالا، توزین شد. در ادامه، ابتدا ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۷۰٪ (HNO_3) به نمونه اضافه شد که منجر به واکنش شد. هنگامی که واکنش کاهش یافت، ۱۸ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۳۵٪ (HCl) اضافه شد و در نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت بسته شدند. پس از هضم، نمونه‌ها به یک لوله گرینر ۵۰ میلی‌لیتری از قبل تمیز شده منتقل شدند و با ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه ($\geq 18.2 M\Omega$) پر شد و به مدت ۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. سپس، تقریباً ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه به داخل لوله ۱۵ میلی‌لیتری گرینر منتقل شد. نمونه‌های هضم شده قبل از اندازه‌گیری، با اسید نیتریک ۱٪ رقیق شدند. سپس ۳۲ عنصر که شامل U, Bi, Pb, Ti, Ba, Cs, Cd, Mo, Sr, Rb, Se, As, Ga, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, S, Ca, K, P, Si, Al, Mg, Na, B, Be, Li, Agilent 8900 QQQ ICP-MS (HMI mode) جفت‌شده القایی (4) در نمونه‌های مورد مطالعه تعیین شدند. حدود تشخیص اندازه‌گیری (MDLs) به عنوان سه برابر انحرافات استاندارد نمونه‌های شاهد (پنج بار تکرار شاهد)، تعیین شد. کارایی بازیابی با استفاده از مقادیر شناخته‌شده عناصر، اندازه‌گیری شد.

محاسبه فاکتور غنی شدن (EF^7): ذرات معلق هوا معمولاً با منبع انتشار خود در ارتباط هستند و خصوصیات متمایزی از جمله اندازه، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات اساسی را که می‌توانند برای شناسایی منابع آن‌ها استفاده شوند، از خود نشان می‌دهند. برای بررسی نقش خاک‌های شناسایی شده از پهنه‌های ماسه‌ای در انتشار گرد و غبار در مناطق مجاور و در ترکیب شیمیایی آن‌ها، از محاسبه فاکتور غنی‌شدن استفاده شد. فاکتور غنی‌شدن (EF) به فرد اجازه می‌دهد تا منشأ احتمالی عناصر در ذرات معلق هوا را تعیین کند (Zoller et al., 1974) که از طریق محاسبه نسبت غلظت یک عنصر در نمونه گردوغبار به نسبت آن در نمونه خاک محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{(C_x/C_{Fe})_{PM}}{(C_x/C_{Fe})_{crust}}$$

در رابطه فوق، C_x : غلظت عنصر X است و C_{Fe} : غلظت Fe به عنوان مرجع است (یا هر عنصر با بیشترین غلظت در پوسته خاک) مقادیر EF کمتر از یک نشان می‌دهد که سطح پلايایی مورد نظر منبع اصلی عنصر است، EF بین ۱-۵ نشان می‌دهد که در کنار سطح پلايایی مورد نظر، منبع دیگری در انتشار عنصر مورد نظر دخیل است و EF بیش از ۵ به معنی غالب بودن سایر منابع انتشار است و EF بالاتر از ۱۰، نشان می‌دهد که منشأ عنصر به‌طور عمده منبع غیر خاکی دارد.

⁶Electrical conductivity

⁷Enrichment factor

تصویربرداری میکروسکوپی روبشی و آنالیز نقطه‌ای (SEM-EDAX^۸): برای بررسی مشارکت خاک‌های محلی و نقش هر کدام در ترکیب ذرات معلق هوا در منطقه مطالعاتی، علاوه بر آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و عنصری نمونه‌ها، شباهت در شکل و اندازه ذرات گردوغبار با خاک‌های سرمنشاء آن‌ها، می‌تواند مدرک معتبری در نتیجه‌گیری نهایی ارائه کند. بنابراین آنالیزهای نمونه‌ها با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به همراه آنالیز نقطه‌ای نمونه‌ها (EDAX) نیز صورت پذیرفت. نمونه‌های خاک از هر دو DS₁ و DS₂ به همراه سله سطحی از خاک DS₁ و نیز نمونه‌های گرد و غبار از مردادماه (DA)، به عنوان خشک‌ترین ماه و آبان ماه (DN) به عنوان فصل خشک تحت تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) قرار گرفتند. نمونه‌ها روی یک درپوش قرار داده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه در خلاء قرار گرفتند و سپس با یک لایه نازک طلا پوشانده شدند تا از باردار شدن نمونه در زیر پرتو الکترونی در طول تصویربرداری جلوگیری شود. ساختار نمونه‌های خاک و غبار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FEI QUANTA 200) مجهز به طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنده کننده انرژی، تصویربرداری شدند. آنالیز مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR^۹): از آنالیز FTIR برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در نمونه‌های خاک و گردوغبار در دامنه ۴۰۰ الی ۴۰۰۰ cm⁻¹ توسط اسپکرومتر (Spectrum Two, Perkin Elmer, USA) استفاده شد تا شباهت‌ها و تفاوت‌ها در باندهای جذبی در نمونه‌های مختلف مورد بررسی قرار بگیرند.

آنالیز تفریق حرارتی (TGA^{۱۰}): تجزیه و تحلیل حرارتی (TGA) و کالریمتری اسکن تفاضلی (DSC^{۱۱}) دو نمونه خاک با اندازه‌های کوچکتر از ۶۳ میکرومتر، توسط دستگاه STA 449 F5 Jupiter از سری دستگاه‌های NETZSCH متصل به یک طیف‌سنج جرمی مدل QMS 403 D Aeolus، اندازه‌گیری شد. جریان گاز روی ۶۰+۲۰ میلی‌لیتر Ar/min و ۲۰ میلی‌لیتر O₂/min تنظیم شد تا یک مخلوط جوی به دست آید. نمونه‌های خاک (۲۰-۱۰ میلی‌گرم) در ظروف Al₂O₃ قرار داده شد و با سرعت حرارت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه از ۴۰ درجه تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، گرم شد. در ترموگرام‌های TGA تهیه‌شده، منطقه ۱۹۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به ناحیه انتقالی مربوط به تبخیر آب گرماگیر (endothermic) و اکسیداسیون موادالی گرمازا (exothermic) است. داده‌ها با نرم‌افزار Proteus از سری نرم‌افزارهای Netzsch مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ترسیم شدند.

یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک و گردوغبار: در شکل ۲، خلاصه‌ای از نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی مربوط به دو نمونه خاک غالب از پهنه‌های ماسه‌ای و چهار نمونه گردوغبار جمع‌آوری شده از مجاورت این منطقه از ابتدا (تیرماه) تا انتهای فصل خشک (آبان ماه)، ارائه شده است. در شکل (۲، الف و ب)، توزیع اندازه ذرات نمایش داده شده‌اند. براساس نتایج، هر دو نمونه خاک مطالعه شده، دارای درصد شن زیاد و رس کم بودند. با این حال، دو خاک از نظر توزیع اندازه ذرات، تفاوت‌های بارزی نیز باهم داشتند. در حالی که خاک DS₁، درصد رس (>۲ میکرومتر)؛ سیلت (۲-۵۰ میکرومتر) و شن ریز (۲۰۰-۵۰ میکرومتر) بالاتری نسبت به خاک DS₂ داشت؛ در مقابل، در خاک DS₂، جز شن خاک (۲۰۰-۵۰ میکرومتر) بیش از ۹۰٪ از اندازه ذرات را به خود اختصاص داده بود و مقادیر سیلت و رس بسیار ناچیز بود.

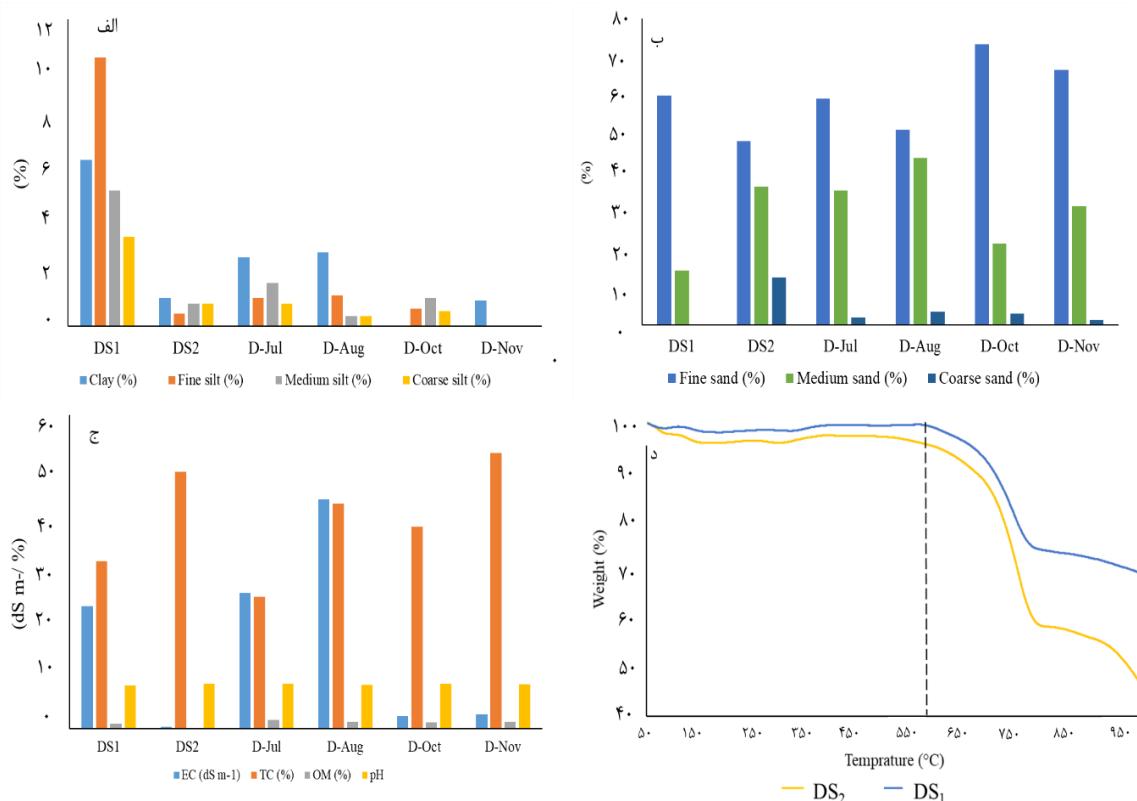
علاوه بر اندازه ذرات، مقادیر هدایت الکتریکی (EC) بین این دو خاک تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشت، با مقدار ۲۳/۴ دسی-زیمنس بر متر در خاک DS₁ در مقابل ۰/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر، در خاک DS₂. درصد کربنات کل (TC) هر دو خاک بیش از ۳۰٪ بود با این حال، نتایج آنالیز تفریق حرارتی دو نمونه خاک، نشان داد که مقدار کربنات واقعی موجود در خاک DS₂، بیش از ۶۰٪ وزنی نمونه را شامل می‌شود (شکل ۲، د) این در حالی بود که مقدار تعیین‌شده به روش تیتراسیون، در حدود ۴۹٪ به دست آمده بود (شکل ۲، ج).

^۸Scanning electron microscope- energy dispersive x-ray

^۹Fourier transform infrared

^{۱۰}Thermogravimetric analysis

^{۱۱}Differential scanning calorimetry



شکل ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه های خاک و گردوغبار مطالعه شده از پهنه های ماسه ای غرب دریاچه ارومیه. الف: توزیع اندازه ذرات نمونه های گردوغبار؛ ب: توزیع اندازه ذرات نمونه های خاک؛ ج: هدایت الکتریکی (EC)، کربنات کل (TC)، ماده آلی (OM)، اسیدیته (pH) و د: منحنی آنالیز تفریق حرارتی (TGA) نمونه های خاک مطالعه شده (خط چین عمودی، شروع تجزیه کربنات ها را نشان می دهد)

نمونه های گردوغبار نیز تغییرات زیادی در طول بازه زمانی مورد مطالعه نشان دادند. با در نظر گرفتن توزیع اندازه ذرات نمونه های گردوغبار (شکل ۲، الف و ب)، همانند خاک های مطالعه شده، این نمونه ها نیز دارای شن زیاد و سیلت و رس کم بودند. با این حال، در تمام نمونه های گردوغبار، مقدار رس و سیلت، کمتر از مقادیر مشاهده شده در خاک DS₁ بود. نمونه های D_J و D_A دامنه گسترده تری از اندازه ذرات را نسبت به نمونه های انتهایی فصل خشک دارا بودند. در تمام نمونه ها، شن ریز و متوسط از سایر بخش های اندازه ذرات، فراوان تر بودند. با این حال، در نمونه های ابتدای فصل خشک، شن متوسط و در نمونه های انتهایی فصل، خشک شن ریز از مقادیر بالاتری برخوردار بودند.

از نظر خصوصیات شیمیایی نمونه های گردوغبار، در حالی که مقادیر EC نمونه های تیرماه (D_J) و مرداد ماه (D_A) در ابتدای فصل خشک، همانند نمونه خاک DS₁ زیاد و به ترتیب برابر ۲۶/۰ و ۴۳/۹ دسی زیمنس بر متر بودند، به سمت انتهایی فصل خشک و در نمونه های مهرداد (D_O) و آبان ماه (D_N)، EC نمونه ها به ۲/۴ و ۲/۸ دسی زیمنس بر متر کاهش یافت (شکل ۲، ج). در مقابل، مقدار TC از ۲۵/۲٪ در ابتدای فصل خشک در نمونه D_J به ۵۲/۷٪ در انتهایی فصل خشک در نمونه D_N افزایش یافت. مقدار ماده آلی (OM) نمونه ها تقریباً یکسان و مقدار میانگین آن ۱/۴٪ به دست آمد. این مقدار بیش از مقدار موجود در هر کدام از خاک های مطالعه شده بود.

ترکیب کانی شناسی نمونه ها: در جدول ۱، ترکیب کانی های غالب شناسایی شده در نمونه های خاک و گردوغبار ارائه شده است. کانی های کوآرتز، کلسیت، آراگونیت و هالیت، اصلی ترین کانی های شناسایی شده در تمام نمونه ها بودند. در مطالعات پیشین نیز کانی های کلسیت، کوآرتز، کانی های رسی و گچ از اجزای اصلی ذرات اتمسفری در غرب ایران گزارش شده اند (Ahmady- et al., 2015). آن ها مقادیر بالای کربنات های خاک را به وجود خاک های آهکی در منطقه نسبت داده اند که با یافته های حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. با این حال، با وجود آنکه کلسیت و آراگونیت در هر دو خاک از منابع گردوغبار همزمان وجود

جدول ۱- ترکیب کانی شناسی نمونه‌های خاک و گردوغبار پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه

نمونه	ترکیب کانی شناسی
منبع گردوغبار ۱ (DS ₁)	کوارتز، کلسیت، آراگونیت، هالیت
منبع گردوغبار ۲ (DS ₂)	کوارتز، کلسیت، آراگونیت، هالیت
گردوغبار تیرماه (D _T)	کوارتز، آراگونیت، هالیت
گردوغبار مردادماه (D _A)	کوارتز، آراگونیت، هالیت
گردوغبار مهرماه (D _O)	کوارتز، آراگونیت، کلسیت، هالیت (ناچیز)
گردوغبار آبان‌ماه (D _N)	کوارتز، آراگونیت

داشتند، اما عمده بخش کربناته نمونه‌های گردوغبار، از کانی آراگونیت تشکیل شده بود که نشان‌دهنده انتقال بیشتر این کانی توسط باد در مقایسه با کلسیت، می‌باشد.

کانی کلسیت می‌تواند به صورت ثانویه در خاک تشکیل شود و به دلیل سطح ویژه زیاد، با ذرات خاک تشکیل پیوند دهد. در مقابل، کانی آراگونیت منشاء اولیه در خاک دارد و اندازه درشت ذرات آن، مانع از ایجاد پیوند مؤثر با سایر ذرات در خاک شده و در نتیجه امکان انتقال توسط باد افزایش می‌یابد. کلسیت مهمترین فرم پلیمرف کربنات کلسیم است و حلالیت آن کمتر از کانی آراگونیت است. در کلسیت، کلسیم توسط شش اکسیژن و در آراگونیت، توسط نه اکسیژن، احاطه شده است. در نتیجه در آراگونیت، یون‌های کلسیم از اکسیژن فاصله بیشتری دارند و پیوند بین آن‌ها ضعیف‌تر است. در نتیجه از نظر ترمودینامیکی، ناپایدار است. بنابراین ابتدا کانی آراگونیت شکل می‌گیرد و سپس در گذر زمان به کلسیت تبدیل می‌شود. کلسیت عمدتاً به شکل شبکه بلوری رومبوئید و مکعبی و آراگونیت به شکل بلوری ارتورومبیک و سوزنی دیده می‌شود (Simončič and Ban, 2013).

ترکیب عنصری نمونه‌های خاک و گردوغبار: غلظت ۳۲ عنصر تعیین شده توسط دستگاه ICP-MS در جدول ۲ ارائه شده است و عناصر غالب در نمونه‌های خاک و گردوغبار در شکل ۳ خلاصه شده‌اند. برای اینکه بتوان همه عناصر را در یک شکل نشان داد، از فرم لگاریتمی داده‌ها استفاده شده است. عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، سیلیسیوم، آهن و آلومینیوم در هر دو نمونه خاک و گردوغبار جزء عناصر غالب بودند. میانگین مقادیر این عناصر در نمونه‌های خاک عبارت بودند از: کلسیم (۲۵۰/۲ گرم در کیلوگرم)، منیزیم (۱۱/۴ گرم در کیلوگرم)، سیلیس (۶/۴ گرم در کیلوگرم)، آهن (۸/۷ گرم در کیلوگرم)، و آلومینیوم (۶/۷ گرم در کیلوگرم). در نمونه‌های گردوغبار، این مقادیر عبارت بودند از کلسیم (۲۵۱/۰ گرم در کیلوگرم)، منیزیم (۱۱/۰ گرم در کیلوگرم)، سیلیس (۶/۷ گرم در کیلوگرم)، آهن (۸/۴ گرم در کیلوگرم)، و آلومینیوم (۶/۵ گرم در کیلوگرم). در هر دو نمونه خاک و گردوغبار، اکثر عناصر، غلظت نسبی مشابهی داشتند.

شبهت بین ترکیب و غلظت عناصر در نمونه‌های خاک و نمونه‌های گرد و غبار نشان می‌دهد که هر دو خاک DS₁ و DS₂ می‌توانند به عنوان منشاء ذرات گرد و غبار در طول دوره زمانی وقوع گردوغبار در منطقه در نظر گرفته شوند. با این حال، تفاوت‌های مشخصی در غلظت‌های سدیم، سیلیس، گوگرد و کبالت بین DS₁ و DS₂، با غلظت‌های بالاتر سدیم و سیلیس در DS₁ مشاهده شد، این در حالی است که مقدار سدیم، گوگرد، و روی بین نمونه‌های گرد و غبار باهم متفاوت بودند و مقادیر بالاتر آن‌ها در گرد و غبار تیرماه+مردادماه (D_T+D_A) تعیین شد.

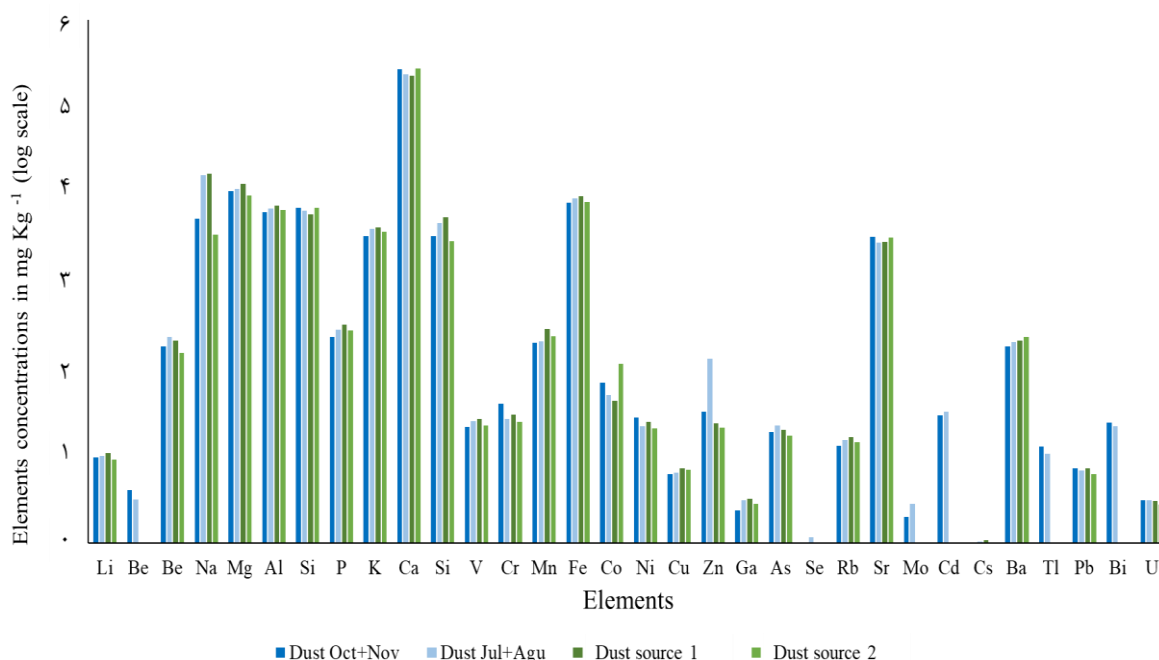
از میان عناصر کمیاب موجود در نمونه‌ها (همانند ⁸⁸Sr، Ba، Be، Cr، V، Ni و ⁸⁸Sr و Ba در غلظت‌های بالا در نمونه‌های خاک و گردوغبار به ترتیب با مقادیر متوسط ۳ گرم در کیلوگرم و ۰/۲۱ گرم در کیلوگرم وجود داشتند. میانگین غلظت گزارش شده برای استرانسیوم (Sr) در سنگ‌ها، ۰/۴۵ گرم در کیلوگرم است (Höllriegl, 2019). غلظت بالای استرانسیوم در نمونه‌های خاک و گرد و غبار مورد مطالعه، می‌تواند مربوط به حضور کربنات‌هایی باشد که در ترکیب آن‌ها، احتمالاً استرانسیوم جایگزین کلسیم شده است (Höllriegl, 2019). بنابراین ⁸⁸Sr با غلظت بالا در نمونه‌های خاک و گردوغبار از کربنات‌های موجود در نمونه‌ها سرچشمه می‌گیرد. براساس گزارش Ahmady-Birgani و همکاران (۲۰۱۸) سرمنشاء کربنات کلسیم در منطقه مطالعاتی، سازندهای آهکی بالادست رودخانه کهریز است.

در مطالعه‌ای دقیق که از جنوب به شمال و بخش غربی دریاچه ارومیه را پوشش داده است، Hamzeshpour و همکاران (۲۰۲۲a) نشان داده‌اند که سطوح پلایایی بسیار فرسایش‌پذیر از جمله پهنه‌های ماسه‌ای، پوسته‌های نمکی-شنی و زمین‌های

جدول ۲- عناصر تشکیل دهنده نمونه های خاک و نمونه های گرد و غبار بپهنه های ماسه ای غرب دریاچه ارومیه. (آنالیز عنصری نمونه های ترکیبی تیر+مرداد (DJ+DA) و مهر+آبان (DO+DN) به ترتیب به عنوان نماینده شروع فصل خشک و پایان فصل خشک در منطقه در نظر گرفته شده اند)

عناصر در خاک		عناصر در گردوغبار		خاک DS ₁		گردوغبار (DJ + DA)		گردوغبار (DO + DN)		غلظت عناصر (mgkg ⁻¹)
میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
Li	۱۰/۶	۰/۰۸	۹/۰	۰/۰۷	۹/۸	۰/۰۹	۹/۴	۰/۲۰	۰/۲۰	
Be	۰/۳	۰/۰۴	۰/۲	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۵	
B	۲۰۸/۹	۴/۱۴	۱۵۰/۷	۴/۲	۲۲۷/۷	۸/۶	۱۷۷/۹	۹/۰۵	۹/۰۵	
Na	۱۶۹۷۴	۲۲۶	۳۳۹۳	۲۰۵/۱	۱۶۴۶۵	۴۲۱/۹	۵۱۹۵	۱۴۱/۲	۱۴۱/۲	
Mg	۱۳۱۶۰	۱۴۱	۹۶۲۷	۵۲۳/۶	۱۱۳۳۱	۲۲۵/۵	۱۰۷۱۸	۲۵۴/۲	۲۵۴/۲	
Al	۷۳۸۴	۲۷۷	۶۵۱۸	۶۳/۰	۶۸۴۸	۳۲/۲	۶۱۳۰	۰/۹۷	۰/۹۷	
Si	۵۸۸۰	۴۲۳	۶۹۳۵	۱۱۱۸	۶۳۹۷	۴۶۸/۸	۶۹۲۰	۶۵۵	۶۵۵	
P	۳۱۴/۳	۱۵/۴	۲۷۱/۲	۵۲/۳	۲۷۸	۷/۲	۲۳۰/۴	۱۰/۶	۱۰/۶	
K	۴۱۰۷	۲۸/۶	۳۶۵۶	۲۷۸/۲	۴۰۰۱	۱۵۵/۰	۳۲۷۴	۱۰۷/۲	۱۰۷/۲	
Ca	۲۲۸۴۴۰	۷۶/۹	۲۷۱۹۸۲	۱۲۵۸۴	۲۳۳۴۱۶	۴۲۸۱	۲۶۸۵۳۷	۴۶۲۵	۴۶۲۵	
S	۵۳۷۴	۳۱۶	۲۸۷۸	۳۷/۰	۴۶۳۱	۵۷/۸	۳۲۸۹	۳۵/۱	۳۵/۱	
V	۲۶/۳	۰/۰۸	۲۲/۲	۱/۴	۲۴/۷	۰/۷۴	۲۱/۱	۰/۴۲	۰/۴۲	
Cr	۲۹/۳	۰/۲۳	۲۴/۲	۱/۵	۲۶/۱	۰/۷۵	۳۹/۲	۲/۰	۲/۰	
Mn	۲۸۱/۰	۱/۸	۲۳۴/۱	۱۰/۶	۲۰۲/۲	۳/۶	۱۹۷/۷	۳/۹	۳/۹	
Fe	۹۳۴۶	۱۵/۴	۸۰۵۲	۷۷/۴	۸۸۹۷	۱۳۷/۹	۷۹۰۱	۳۳/۶	۳۳/۶	
Co	۴۲/۷	۰/۳۸	۱۱۳/۶	۵/۲	۴۹/۱	۱/۵	۶۸/۷	۱/۹	۱/۹	
Ni	۲۴/۵	۰/۴۳	۲۰/۵	۰/۷	۲۱/۵	۰/۵	۲۷/۵	۱/۶	۱/۶	
Cu	۷/۱	۰/۰۱	۶/۹	۰/۵۲	۶/۴	۰/۲	۶/۱	۰/۰۸	۰/۰۸	
Zn	۲۳/۵	۱/۵	۲۰/۸	۰/۴۸	۱۲۹/۲	۴/۰	۳۲/۰	۱/۵	۱/۵	
Ga	۳/۱	۰/۱۱	۲/۷	۰/۰۶	۳/۰۶	۰/۰۶	۲/۳	۰/۱۱	۰/۱۱	
As	۱۹/۷	۱/۱	۱۶/۹	۰/۴۵	۲۲/۱	۰/۲۲	۱۸/۵	۰/۲۹	۰/۲۹	
Se	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۸۶	۰/۲۰	n.a	n.a	n.a	
Rb	۱۶/۳	۰/۰۱	۱۴/۳	۰/۰۷	۱۵/۱	۰/۲۳	۱۲/۹	۰/۲۱	۰/۲۱	
Sr	۲۷۹۶	۲۷/۹	۳۱۴۲	۵۵/۵	۲۷۴۲	۴۷/۷	۳۲۴۷	۲۴/۹	۲۴/۹	
Mo	۰/۳۹	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	
Cd	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	
Cs	۱/۰۷	۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۰۱	۱/۰۴	۰/۰۴	۰/۹۰	۰/۰۱	۰/۰۱	
Ba	۲۰۹/۶	۳/۳	۲۲۹/۴	۱/۱	۲۰۱/۴	۴/۴	۱۷۹/۲	۲/۳	۲/۳	
Tl	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	
Pb	۷/۱۰	۰/۰۲	۶/۱	۰/۰۵	۶/۷	۰/۰۴	۷/۱	۰/۱۰	۰/۱۰	
Bi	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	
U	۳/۰۱	۰/۰۲	۲/۷	۰/۰۳	۳/۰	۰/۰۳	۳/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	

پف کرده نمکی منشاء گردوغبار در سطوح برجای مانده از پسروری دریاچه ارومیه می باشند. کلسیم (۱۲۰/۳ گرم در کیلوگرم): آهن (۲۵ گرم کیلوگرم-۱): آلومنیوم (۱۳/۴ گرم در کیلوگرم) و منیزیم (۱۷/۱ گرم در کیلوگرم) عناصر غالب موجود در نمونه های خاک و گردوغبار هستند. براساس این مطالعه، عناصر کمیاب با فراوانی زیاد در بین نمونه ها، عبارت بودند از عناصر Cr، Zn، Ba، Sr و Ni. Gholampour و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه دریاچه ارومیه، عناصر Fe، Al، Cu، Ti و P را به عنوان عناصر غالب در PM₁₀ و Fe، P، Ti و Mn را به عنوان عناصر غالب در پوسته خاک گزارش کردند.

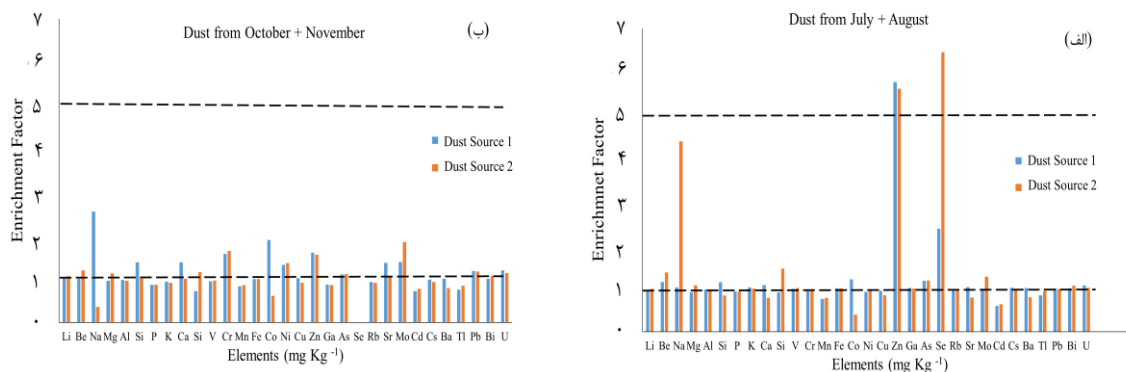


شکل ۳- عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های خاک و گرد و غبار پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه (آنالیز عنصری نمونه‌های مرکب از تیر+مرداد (D_J+D_A) و مهر+آبان (D_O+D_N) به ترتیب به عنوان معرف شروع و پایان فصل خشک در منطقه در نظر گرفته شده‌اند. به منظور ارائه غلظت تمام عناصر در یک نمودار و مقایسه آن‌ها، از شکل لگاریتمی عناصر استفاده شده است)

تعیین مشارکت خاک‌های منطقه جبل کندهی در ترکیب گردوغبار با محاسبه فاکتور غنی شدن خاک: به منظور تعیین سهم هر یک از منابع گردوغبار شناسایی شده (DS₁ و DS₂) در ترکیب گردوغبار در طول فصل خشک در منطقه (تیرماه تا آبان ماه)، فاکتورهای غنی شدن (EF) برای هر عنصر موجود در نمونه گردوغبار در ابتدای فصل خشک (تیر+مرداد) و انتهای فصل خشک (مهر+آبان) با در نظر گرفتن هر کدام از خاک‌ها به عنوان منبع اصلی، محاسبه شدند و در شکل ۳ ارائه شده‌اند. براساس نتایج، عمده مقادیر EF محاسبه شده برای هر دو نمونه از ابتدا و انتهای فصل خشک، با در نظر گرفتن هر کدام از خاک‌ها به عنوان منبع اصلی، برابر یا کمتر از یک محاسبه شد. این نتایج نشان داد که هر دوی این خاک‌ها در ترکیب گردوغبار در منطقه در تمام طول فصل خشک نقش اصلی را دارا هستند. با این حال، تغییرات مشاهده شده در مقادیر EF محاسبه شده برای برخی از عناصر در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که در تمام فصل خشک، هر دو خاک سهم یکسانی در تولید گردوغبار ندارند و به سمت انتهای فصل خشک، از میزان مشارکت DS₁ کاسته می‌شود.

به عنوان مثال، در نمونه تیر+مرداد، در حالی که مقادیر EF برای Be، Na، Si و Mo برای خاک DS₁ کمتر از ۱ بود، این مقادیر برای خاک DS₂ بیشتر از ۱ محاسبه شد که نشان‌دهنده مشارکت بیشتر خاک DS₁ در ترکیب گردوغبار به خصوص عنصری مثل سدیم، در ابتدای فصل خشک است. با در نظر گرفتن EC، مقدار آن برای خاک DS₂ بسیار کمتر از خاک DS₁ و نمونه‌های گردوغبار تیر و مرداد بود. بنابراین منطقی است که در طی این دو ماه از ابتدای فصل خشک، DS₁ منشاء اصلی نمک مشاهده شده در نمونه‌های گردوغبار به حساب بیاید. با این حال، برای عناصری همچون Zn و Se، مقادیر EF محاسبه شده بالاتر از ۵، نشان می‌دهند که این عناصر از منابعی به جز خاک‌های مورد مطالعه سرچشمه می‌گیرند (شکل ۳، الف). مطالعات بسیاری نیز وجود دارند که وجود فلزات در نمونه‌های گردوغبار را به منابع انسانی همچون احتراق سوخت و آلاینده‌های صنعتی مرتبط دانسته‌اند (Wang et al., 2005; Park and Dam, 2010; Behrooz et al., 2017; MalAmiri et al., 2022).

مقادیر EF کمتر در انتهای فصل خشک در مقایسه با ابتدای فصل خشک، نشان می‌دهد که به طور کلی، به سمت انتهای فصل خشک، گردوغبار بیشتر منشاء محلی می‌یابد. برخلاف مقادیر EF در ابتدای فصل خشک، در طول مهر و آبان، DS₂ نقش بیشتری را در ترکیب گردوغبار ایفا می‌کند زیرا مقادیر EF محاسبه شده برای این بازه زمانی و با در نظر گرفتن DS₂ به عنوان منبع، حداقل در خصوص برخی از عناصر همچون Na، Ca و Si، کمتر از مقادیر حساب شده برای DS₁ است. این نتایج نشان داد که به سمت

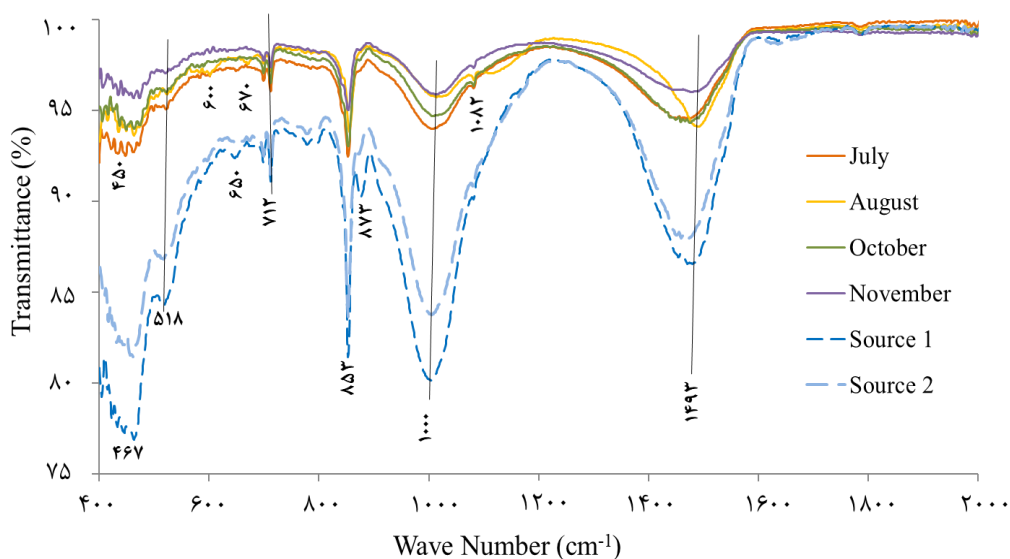


شکل ۳- فاکتورهای غنی شدن خاک (EF) برای عناصر موجود در نمونه‌های گردوغبار با در نظر گرفتن هر کدام از خاک‌های مطالعه‌شده به‌عنوان منبع اصلی (خط چین‌ها به موازات محور X ها، نشان‌دهنده مقادیر EF برابر ۱، ۵ و ۱۰ هستند. آهن به‌عنوان عنصر مرجع برای محاسبه EF، استفاده شده است. الف: مقادیر EF برای گردوغبار ابتدای فصل خشک (تیر+مرداد)؛ ب: مقادیر EF برای گردوغبار انتهای فصل خشک (مهر+آبان))

انتهای فصل خشک، احتمالاً به دلیل مشارکت کمتر DS_1 در ترکیب گردوغبار، مقدار سدیم در ترکیب گردوغبار کمتر شده و شوری نمونه‌های گردوغبار نیز کاهش می‌یابد. یکی از دلایل محتمل پایدار شدن DS_1 در مقابل فرسایش بادی به سمت انتهای فصل خشک، می‌تواند تجمع زیاد نمک در سطح باشد. به عبارت دیگر، در طول فصل مرطوب در منطقه (آذرماه تا خردادماه)، املاح موجود در این نمونه خاک، به لایه‌های زیری شسته می‌شوند. با شروع فصل خشک و تبخیر آب از سطح، املاح کم کم در اثر حرکت کاپیلاری مجدداً به سمت بالا حرکت می‌کنند. در نتیجه به سمت انتهای فصل خشک، یک لایه نمکی (پوسته نمکی) را ایجاد می‌کنند که مانع از ادامه فرسایش سطح DS_1 توسط باد می‌شود. از آنجا که نمونه DS_2 ، املاح بسیار کمی دارد و همچنین بافت آن کاملاً شنی است، در تمام فصل خشک به فرسایش و تولید گردوغبار ادامه می‌دهد و با پایدار شدن DS_1 از اواسط فصل خشک، به تنها منبع گردوغبار در این منطقه تبدیل می‌شود.

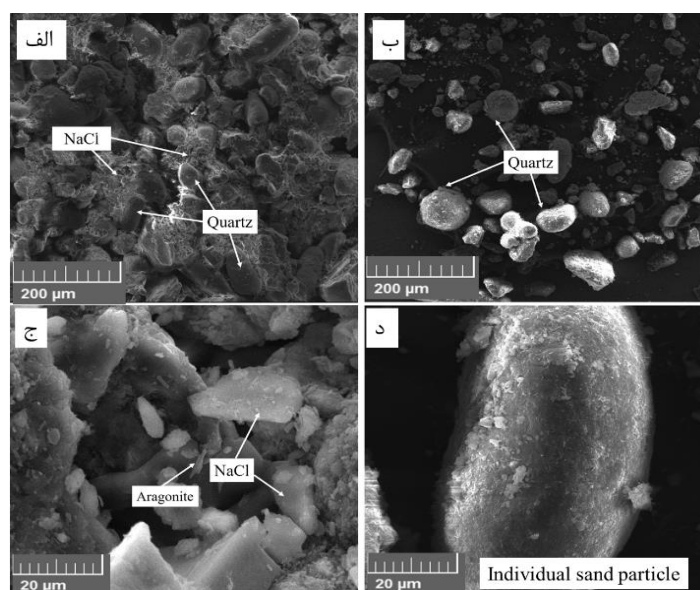
آنالیز مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR): یک روش شناخته‌شده برای تعیین گروه‌های عاملی موجود در سطح ذرات در مواد جامد می‌باشد. در شکل ۴، طیف FTIR مربوط به نمونه‌های خاک و گردوغبار مطالعه شده ارائه شده‌اند. در شکل ۴، طیف FTIR در محدوده 400 الی 4000 cm^{-1} و باندهای ارتعاشی مربوطه ارائه شده است. براساس طیف FTIR (شکل ۴)، به‌طور عمومی، نمونه‌های خاک و گردوغبارهای مطالعه‌شده، از یک روند مشابه جذب طول موج طیف مادون قرمز (IR) پیروی می‌کنند که نشان‌دهنده وجود گروه‌های عاملی مشابه در نمونه‌ها است. با این حال، برخی تفاوت‌های بارز نیز بین نمونه‌ها، شامل جذب شدیدتر طیف مادون قرمز توسط نمونه‌های خاک در مقایسه با نمونه‌های گردوغبار دیده شد. چنین تفاوتی عمدتاً مربوط به وجود باندهای کوالانسی بیشتر در خاک‌ها به دلیل ترکیبات آلی بیشتر، رس و مقدار آب بیشتر است.

در هر دوی نمونه‌های خاک، باندهای ارتعاشی مشابه از نقطه نظر محدوده‌های جذب طیف IR و شدت آن دیده شد. مهمترین دامنه طیفی جذب شده توسط نمونه‌ها، پیک‌های با شدت زیاد در محدوده $520-450$ cm^{-1} ، نشان‌دهنده وجود باند Si-O، Fe-O، Al و Si-O-Si؛ محدوده $712-700$ cm^{-1} و نیز 853 cm^{-1} مربوط به باند O-C-O، 1000 cm^{-1} برای باند کششی C-O، 1494 cm^{-1} برای باند کششی آروماتیک C-C، 1642 cm^{-1} برای باند کششی O-OH، 1788 cm^{-1} برای SiO_2 و $3600-3400$ cm^{-1} نشان‌دهنده وجود باند کششی OH- وجود یک پیک در محدوده 873 cm^{-1} که معرف وجود پیوند Al-OH در نمونه خاک DS_1 و عدم وجود آن در نمونه خاک DS_2 و نیز در تمامی نمونه‌های گردوغبار، می‌تواند به دلیل وجود مقایر بالاتر رس و سیلت در این نمونه باشد. همان‌طور که گفته شد، نمونه‌های خاک و گردوغبار پهنه‌های ماسه‌ای، باندهای جذبی مشابهی در محدوده طیف IR داشتند، به‌جز شدت جذب کلی کمتر در نمونه‌های گردوغبار نسبت به نمونه‌های خاک. با این حال، وجود پیکی در محدوده طیفی $671-650$ cm^{-1} در نمونه گردوغبار تیرماه (DI) و گردوغبار مردادماه (DA) و نمونه خاک DS_1 و نبود آن در دیگر نمونه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده تأمین بخشی از سیلیکات‌ها و اکسیدهای آهن موجود در نمونه‌های تیر و مرداد از خاک DS_1 را ثابت کند. شایان ذکر است به دلیل عدم تشکیل باندهای کوالانسی توسط املاح با دیگر ذرات خاک، امکان شناسایی آن‌ها توسط FTIR وجود ندارد.



شکل ۴- طیف FTIR نمونه‌های خاک و گردوغبار پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه اومیه

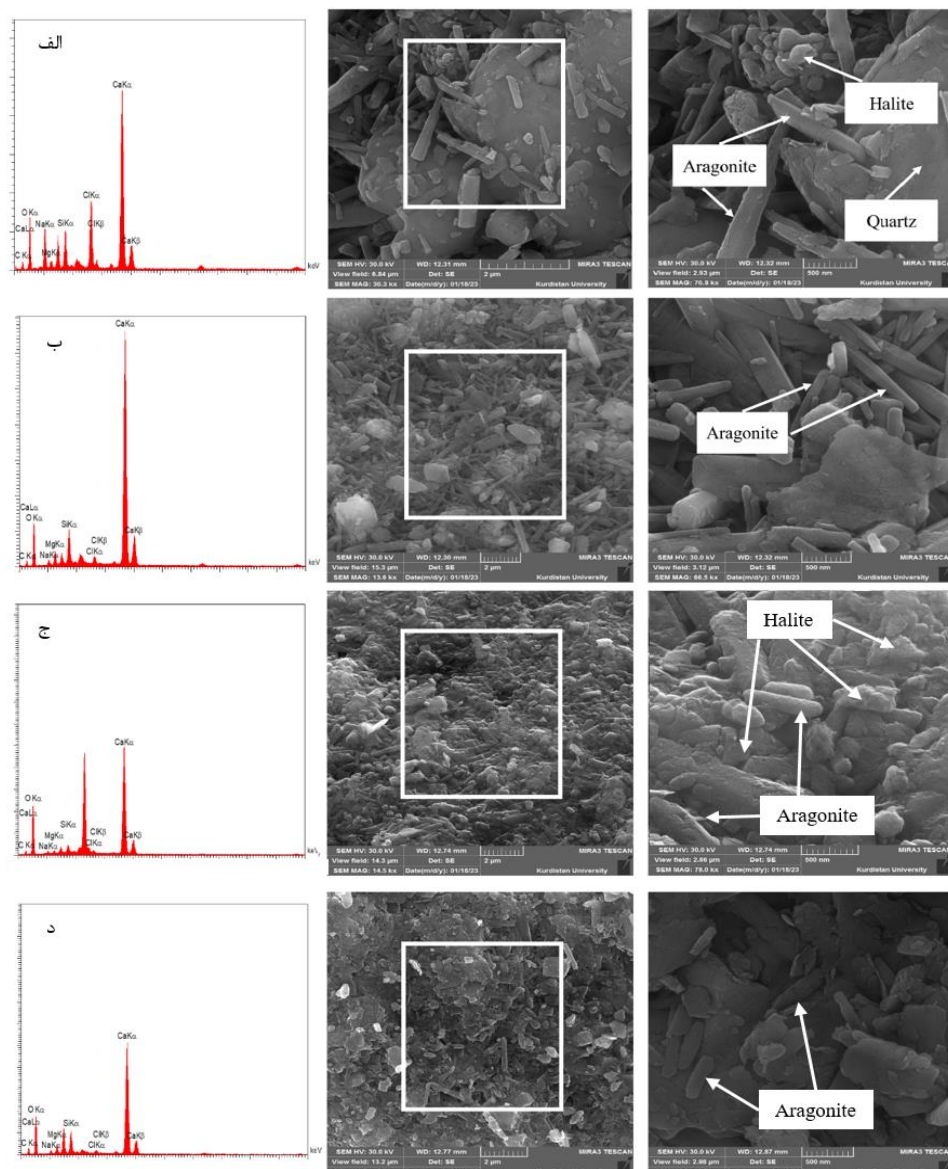
مورفولوژی نمونه‌ها: تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های خاک و گردوغبار با بزرگنمایی‌های متفاوت در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. در شکل ۵ و در بزرگنمایی ۲۰۰ میکرومتر (الف و ب)، ذرات شن (< ۲۰ میکرومتر) به صورت مجزا با اشکال کروی، استوانه‌ای، و رومبیک^{۱۲} قابل مشاهده هستند.



شکل ۵- تصاویر SEM دو نمونه خاک DS₁ و DS₂ که در مرداد ماه و در اوج فصل خشک نمونه‌برداری شده‌اند (الف و ج به ترتیب خاک DS₁ با بزرگنمایی ۲۰۰ و ۲۰ میکرومتر می‌باشند. ب و د به ترتیب خاک DS₂ با بزرگنمایی ۲۰۰ و ۲۰ میکرومتر می‌باشند. (الف) ذرات شن پوشیده شده با کلرید سدیم در نمونه DS₁ و (ب) وجود ذرات شن منفرد در نمونه خاک DS₂)

درجه گردشدگی در نمونه‌های گردوغبار می‌تواند نشان‌دهنده فاصله از منشاء باشد. به عبارت دیگر، هرچه ذرات گرد شده‌تر باشند، مسافت انتقال با عوامل انتقالی به خصوص آب تا رسیدن به مقصد و رسوب‌گذاری، طولانی‌تر بوده است (Zarasvandi *et al.*, 2011; Al-Dabbas *et al.*, 2012). بنابراین، لبه‌های گردشده تا نیمه‌گرد ذرات ساختاری در نمونه‌های خاک DS₁ و DS₂، نشان‌دهنده انتقال آن‌ها توسط فرآیندهای آلوویال از حوضه آبخیز ارومیه و از فواصل نسبتاً دور است.

¹²Rhombic



شکل ۶- تصاویر SEM به همراه آنالیز EDAX نمونه های خاک و گردوغبار. الف: خاک DS₁; ب: خاک DS₂; ج: گردوغبار تیرماه DA؛ د: گردوغبار آبان ماه DN

با وجود آنکه ذرات منفرد شن در نمونه DS₂، به راحتی و به صورت ذرات مجزا قابل شناسایی هستند، در نمونه DS₁، دور این ذرات را پوشش‌هایی از جمله کلرید سدیم یا ذرات رس احاطه کرده‌اند (شکل ۵، الف). همان‌طور که پیشتر گفته شد، نمونه DS₁ در ابتدای فصل خشک مشارکت بالاتری در ترکیب گردوغبار دارد و به سمت انتهای فصل خشک، به دلیل ایجاد پوسته‌های نمکی، پایدارتر می‌شود. شواهد چنین ادعایی در شکل ۵، الف مشاهده می‌شود. جایی که احاطه شدن ذرات شن توسط ذرات دیگر و به خصوص کلرید سدیم، منجر به پایداری بیشتر آن در مقابل خاک DS₂ می‌شود (شکل ۵، الف و ب).

آنالیز عنصری نمونه‌ها (EDAX) نشان داد که Ca، Si، C، Cl، Na و Mg عناصر غالب موجود در نمونه‌ها هستند (شکل ۶). همچنین تصاویر SEM به خوبی کانی آراگونیت را در تمام نمونه‌ها نشان می‌دهد، با فراوانی بیشتر در DS₂ در مقایسه با DS₁. براساس نتایج SEM، کانی آراگونیت با شکل سوزنی از فراوانی بسیار بالایی در نمونه‌های خاک و گردوغبار برخوردار است و بخش اعظم گردوغبار حاصل از پهنه‌های ماسه‌ای را این کانی به خود اختصاص داده است. این نتایج در انطباق با نتایج حاصل از کانی‌شناسی نمونه‌ها است. با این حال، اندازه ذرات آراگونیت در نمونه‌های گردوغبار، کوچکتر و از نظر شکل از درجه بلوری کمتری برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری

پهنه‌های ماسه‌ای واقع در غرب دریاچه ارومیه و در مجاورت روستای جبل‌کندی، یکی از اصلی‌ترین کانون‌های گردوغبار در غرب دریاچه ارومیه است. گردوغبار حاصل، در جهت بادهای غالب با جهت جنوب غربی، به سمت شهر ارومیه با جمعیت بالغ بر یک میلیون نفر حرکت کرده و سلامت ساکنان را به خطر انداخته است. با این حال، مطالعه‌ی جامعی در خصوص ترکیب گردوغبار و تغییرات زمانی آن تاکنون صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر، دو خاک غالب از این منطقه با خصوصیات متفاوت به‌عنوان منشاء گردوغبار به همراه چهار سری گردوغبار در زمان‌های مختلف در طول فصل خشک جمع‌آوری شدند و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. آنالیز عنصری و محاسبه‌ی فاکتور غنی‌شدن جهت تعیین مشارکت خاک‌های شناسایی‌شده در تولید گردوغبار در بازه‌های زمانی مختلف صورت گرفت و باندهای جذب طیف مادون قرمز به روش تبدیل فوریه تعیین شدند و در نهایت تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌ها برای مشاهده‌ی شکل و مورفولوژی نمونه‌ها انجام شد. نتایج حاصل از محاسبه‌ی فاکتور غنی‌شدن در نمونه‌های گردوغبار نشان داد که دو خاک مورد بررسی، با وجود داشتن نقش اصلی در ترکیب گردوغبار، از نظر میزان مشارکت، متفاوت از هم عمل می‌کنند، در حالی که خاک DS_1 با درصد رس، سیلت، شن ریز و نمک بیشتر، در ابتدای فصل خشک (تیرماه و مرداد ماه) بالاترین مشارکت را دارد، در انتهای فصل خشک (مهر ماه و آبان ماه) خاک DS_2 با میزان املاح کم، کربنات کل و شن متوسط زیاد، به کانون اصلی گردوغبار تبدیل می‌شود و بدین ترتیب بر ترکیب گردوغبار تأثیر می‌گذارد. تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی از سطح دو خاک نشان داد که به سمت اواسط فصل خشک و در نتیجه تبخیر و تعرق زیاد در منطقه، املاح محلول عمدتاً از نوع کلرید سدیم در سطح خاک DS_1 تجمع کرده و با ایجاد یک پوشش در بین ذرات شن، منجر به پایداری این سطح می‌شود. کانی آراگونیت با اشکال سوزنی شکل و استوانه‌ای و کوارتز به‌عنوان کانی غالب، در نمونه‌های گردوغبار مطالعه شده و خاک‌ها مشاهده شد. در مقابل، هالیت (کلرید سدیم) در نمونه‌ی ابتدای فصل خشک و خاک DS_1 شناسایی شد که نشان از سرمنشاء این کانی در نمونه‌های گردوغبار داشت. به‌طور کلی گردوغبار حاصل از پهنه‌های ماسه‌ای غرب دریاچه ارومیه علاوه بر دارا بودن املاح نمکی بالا، با دارا بودن مقادیر بسیار زیاد از عناصری مثل استرانسیوم (^{88}Sr)، باریوم می‌تواند خطری برای سلامت ساکنان مناطق اطراف باشد.

تقدیر و تشکر

آنالیز عنصری نمونه‌ها و توزیع اندازه‌ی ذرات، به‌ترتیب با استفاده از دستگاه ICP-MS و پرایش لیزری موجود در گروه علوم محیط زیستی (Environmental System Science)، و در گروه‌های شیمی اتمسفری (Department of Atmospheric Science) و گروه منابع اراضی (Land Resources) دانشگاه ETH انجام شده‌اند. و بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از سازمان منابع طبیعی استان آذربایجان غربی برای همکاری در تهیه‌ی نمونه‌های گردوغبار قدردانی می‌گردد.

References

- Abbasi, S., Rezaei, M., Ahmadi, F. and Turner, A., 2022. Atmospheric transport of microplastics during a dust storm. *Chemosphere* 292, 133456.
- Abouchami, W., Nätthe, K., Kumar, A., Galer, S.J., Jochum, K.P., Williams, E., Horbe, A.M., Rosa, J.W., Balsam, W., Adams, D., Mezger, K., 2013. Geochemical and isotopic characterization of the Bodélé Depression dust source and implications for transatlantic dust transport to the Amazon Basin. *Earth and Planetary Science Letters* 380, 112-123.
- Abuduwaili, J., DongWei, L.I.U., GuangYang, W.U. 2010. Saline dust storms and their ecological impacts in arid regions. *Journal of Arid Land* 2(2), 144-150.
- Ahmady-Birgani, H., Agahi, E., Ahmadi, S. J., Erfanian, M., 2018. Sediment source fingerprinting of the Lake Urmia sand dunes. *Scientific reports*, 8(1), 206.
- Ahmady-Birgani, H., Mirnejad, H., Feiznia, S., McQueen, K.G. 2015. Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran. *Atmospheric Environment* 119, 262-272.

- Ahmady-Birgani, H., Ravan, P., Schlosser, J.S., Cuevas-Robles, A., AzadiAghdam, M. and Sorooshian, A., 2020. On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia basin. *Atmospheric Research* 234, 104762.
- Al-Dabbas, M.A., Ayad Abbas, M., Al-Khafaji, R.M., 2012. Dust storms loads analyses—Iraq. *Arabian Journal of Geosciences* 5, 121-131.
- Arimoto, R., 2001. Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth-Science Reviews* 54(1-3), 29-42.
- Baddock, M.C., Bullard, J.E., Bryant, R.G., 2009. Dust source identification using MODIS: a comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment* 113(7), 1511-1528.
- Behrooz, R.D., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., Kaskaoutis, D.G., Saeb, K., Rajaei, F., 2017. Trace-element concentrations and water-soluble ions in size-segregated dust-borne and soil samples in Sistan, southeast Iran. *Aeolian Research* 25, 87-105.
- Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S.H., Pourhashemi, S., Berndtsson, R., 2019. Desiccating Lake Urmia: a new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 17(9), 1483-1487.
- Dane, J.H., Topp, C.G. eds., 2020. *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods (Vol. 20)*. John Wiley & Sons.
- Davis, C.M., Fox, J.F., 2009. Sediment fingerprinting: review of the method and future improvements for allocating nonpoint source pollution. *Journal of Environmental Engineering* 135(7), 490-504.
- De Deckker, P., 2015. Fingerprinting aeolian dust in marine sediment: examples from Australia. *Dust* 24, 80.
- Díaz-Hernández, J.L., Martín-Ramos, J.D., López-Galindo, A., 2011. Quantitative analysis of mineral phases in atmospheric dust deposited in the south-eastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment* 45(18), 3015-3024.
- Farokhnia, A., Morid, S., 2014. Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake watershed. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)* 25(3), 86-97.
- Gatehouse, R.D., Williams, I.S., Pillans, B.J., 2001. Fingerprinting windblown dust in south-eastern Australian soils by uranium-lead dating of detrital zircon. *Soil Research* 39(1), 7-12.
- Gholampour, A., Nabizadeh, R., Hassanvand, M.S., Nazmara, S., Mahvi, A.H., 2017. Elemental composition of particulate matters around Urmia Lake, Iran. *Toxicological & Environmental Chemistry* 99(1), 17-31.
- Goudarzi, G., Shirmardi, M., Naimabadi, A., Ghadiri, A., Sajedifar, J., 2019. Chemical and organic characteristics of PM_{2.5} particles and their in-vitro cytotoxic effects on lung cells: The Middle East dust storms in Ahvaz, Iran. *Science of the Total Environment* 655, 434-445.
- Hamzeh, N.H., Ranjbar Saadat Abadi, A., Ooi, M.C.G., Habibi, M., Schöner, W., 2022. Analyses of a Lake Dust Source in the Middle East through Models Performance. *Remote Sensing* 14(9), 2145.
- Hamzehpour, N., Eghbal, M.K., Abasiyan, S.M.A., Dill, H.G., 2018. Pedogenic evidence of Urmia Lake's maximum expansion in the late Quaternary. *Catena*, 171, 398-415.
- Hamzehpour, N., Marcolli, C., Klumpp, K., Thöny, D., Peter, T., 2022b. The Urmia playa as a source of airborne dust and ice-nucleating particles—Part 2: Unraveling the relationship between soil dust composition and ice nucleation activity. *Atmospheric Chemistry and Physics* 22(22), 14931-14956.
- Hamzehpour, N., Marcolli, C., Pashai, S., Klumpp, K., Peter, T., 2022a. The Urmia Playa as source of airborne dust and ice nucleating particles—Part 1: Correlation between soils and airborne samples. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22, 14905-14930.
- Höllriegel, V., München, H.Z., 2011. Strontium in the environment and possible human health effects. *Encyclopedia of Environmental Health* 5, 268-275.
- Jackson, M.L., 2005. *Soil chemical analysis: advanced course*. UW-Madison Libraries parallel press.
- Kakahaji, H., Banadaki, H.D., Kakahaji, A., Kakahaji, A., 2013. Prediction of Urmia Lake water-level fluctuations by using analytical, linear statistic and intelligent methods. *Water Resources Management* 27, 4469-4492.

- Karimi, N., Moridnejad, A., Golian, S., Vali Samani, J.M., Karimi, D., Javadi, S., 2012. Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 38(5), 586-599.
- Khoshakhlag, F., Najafi, M.S., Zamanzadeh, S.M., Shirazi, M.H., Samadi, M. 2013. The study of the dust composition from west and southwest Iran. *Geography and Environmental Hazards* 6, 17-36.
- Kim, D., Chin, M., Kemp, E.M., Tao, Z., Peters-Lidard, C.D., Ginoux, P., 2017. Development of high-resolution dynamic dust source function-A case study with a strong dust storm in a regional model. *Atmospheric Environment* 159, 11-25.
- Lin, X., Chang, H., Wang, K., Zhang, G., Meng, G., 2020. Machine learning for source identification of dust on the Chinese Loess Plateau. *Geophysical Research Letters* 47(21), p.e2020GL088950.
- Maino, A., Alberi, M., Anceschi, E., Chiarelli, E., Cicala, L., Colonna, T., De Cesare, M., Guastaldi, E., Lopane, N., Mantovani, F., Marcialis, M., 2022. Airborne radiometric surveys and machine learning algorithms for revealing soil texture. *Remote Sensing* 14(15), 3814.
- MalAmiri, N., Rashki, A., Hosseinzadeh, S.R., Kaskaoutis, D.G., 2022. Mineralogical, geochemical, and textural characteristics of soil and airborne samples during dust storms in Khuzestan, southwest Iran. *Chemosphere* 286, 131879.
- Moreno, T., Querol, X., Castillo, S., Alastuey, A., Cuevas, E., Herrmann, L., Mounkaila, M., Elvira, J., Gibbons, W., 2006. Geochemical variations in aeolian mineral particles from the Sahara–Sahel Dust Corridor. *Chemosphere* 65(2), 261-270.
- Nawar, S., Mouazen, A.M., 2019. On-line vis-NIR spectroscopy prediction of soil organic carbon using machine learning. *Soil and Tillage Research*, 190, 120-127.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods* 5, 961-1010.
- Park, K., Dam, H.D., 2010. Characterization of metal aerosols in PM10 from urban, industrial, and Asian Dust sources. *Environmental Monitoring and Assessment* 160, 289-300.
- Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.D.W., Kaskaoutis, D.G., Grote, W., Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere* 90(2), 227-236.
- Schepanski, K., 2018. Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences* 8(5), 151.
- Scheuvens, D., Schütz, L., Kandler, K., Ebert, M., Weinbruch, S., 2013. Bulk composition of northern African dust and its source sediments-A compilation. *Earth-Science Reviews* 116,170-194.
- Shi, H., Hellwich, O., Luo, G., Chen, C., He, H., Ochege, F.U., Van de Voorde, T., Kurban, A., De Maeyer, P., 2021. A global meta-analysis of soil salinity prediction integrating satellite remote sensing, soil sampling, and machine learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 60, 1-15.
- Simonič, M. and Ban, I., 2013. The influence of electrogalvanic device on scaling. *Open Chemistry* 11(5), pp.698-705.
- Shadkam, S., Ludwig, F., van Oel, P., Kirmit, Ç., Kabat, P., 2016. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. *Journal of Great Lakes Research* 42(5), 942-952.
- Sotoudeheian, S., Salim, R., Arhami, M., 2016. Impact of Middle Eastern dust sources on PM10 in Iran: Highlighting the impact of Tigris-Euphrates basin sources and Lake Urmia desiccation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121(23), 14-018.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Hamzeshpour, N., Hassanzadeh, M., Heung, B., Goydaragh, M.G., Schmidt, K., Scholten, T., 2021. Enhancing the accuracy of machine learning models using the super learner technique in digital soil mapping. *Geoderma*, 399, 115108.
- Wang, X., Sato, T., Xing, B., Tamamura, S. and Tao, S., 2005. Source identification, size distribution and indicator screening of airborne trace metals in Kanazawa, Japan. *Journal of Aerosol Science* 36(2), 197-210.
- Yu, Y., Kalashnikova, O.V., Garay, M.J., Lee, H., Notaro, M., 2018. Identification and characterization of dust source regions across North Africa and the Middle East using MISR satellite observations. *Geophysical Research Letters* 45(13), 6690-6701.
- Zarasvandi, A., Carranza, E.J.M., Moore, F., Rastmanesh, F., 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical–geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration* 111(3), 138-151.
- Zoller, W.H., Gladney, E.S., Duce, R.A., 1974. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South Pole. *Science* 183(4121), 198-200.