



ترکیب و خاستگاه غبارهای با منشا خارجی در استان خوزستان

جواد درویشی خاتونی^{۱*}، سارا نری میسا^۲، فروغ عباساقتی^۳، علی محمدی^۴، مهدی حمدالهی^۳،
علیرضا صالحی پور میلانی^۵ و نظام اصغری پور دشت بزرگ^۶

^۱ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی جنوب باختری

^۲ گروه محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۳ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی زوربخ، سوئیس

^۵ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۶ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۷

درویشی خاتونی، ج.، نری میسا، س.، عباساقتی، ف.، محمدی، ع.، حمدالهی، م.، صالحی پور میلانی، ع. و ن. اصغری پور دشت بزرگ. ۱۳۹۶. ترکیب و خاستگاه غبارهای با منشا خارجی در استان خوزستان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۱۰(۲): ۹۳-۱۱۰.

سابقه و هدف: استان خوزستان به خاطر خشک‌سالی‌های اخیر تحت‌تاثیر پدیده نوظهور گردوغبار قرار گرفته است. پدیده گردوغبار که در مواردی غلظت قابل‌ملاحظه‌ای دارد، گاهی دید افقی را به ۲۰ متر تقلیل می‌دهد و مشکلات متعددی را ایجاد می‌کند که از آن جمله می‌توان به تهدید سلامتی انسان، جذب یا پراکنش تابش خورشید و تاثیر بر دمای هوا منطقه، اثر منفی بر فعالیت‌های کشاورزی، کاهش دید و مشکلات حمل و نقل جاده‌ای و ده‌ها عوارض نامطلوب بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی دیگر اشاره کرد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی گردوغبارها برای تعیین منشأ احتمالی، خصوصیات زمین‌زیست‌محیطی عناصر موجود در ذرات گردوغبار و نقش آنها در آلودگی محیط زیست ضروری است.

مواد و روش‌ها: برای نمونه‌برداری از ذرات گردوغبار موجود در هوا، یک میز شیشه‌ای، دارای لبه‌ای به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و به مساحت ۱/۵ مترمربع طراحی شد. پژوهش از فروردین ۱۳۹۰ به مدت دو سال در استان خوزستان (آبادان، اهواز و بستان) انجام شد. با بررسی پژوهش‌های انجام‌شده قبلی و استخراج کانون‌های معرفی‌شده، ۵ منطقه منشا برای غبارهای واردشده به کشور شناسایی شد. ۳۰ نمونه غبار برای آنالیز عنصری و کانی‌شناسی نمونه‌برداری و آنالیز شد. آنالیز کانی‌شناسی رسوبات با استفاده از نمونه‌های پودر شده توسط دستگاه Siemens XRD diffraktometer D5000 انجام گرفت. برای آنالیز عنصری نیز از دستگاه ICP-OES مدل JY70 PLUS و ICP Optical Emission Spectrometer مدل Varian 735-ES استفاده شد. آنالیزها در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفت.

نتایج و بحث: با توجه به بررسی پژوهش‌های قبلی طی دو سال (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) که با هدف منشایابی انجام شده بود پنج محدوده منشا

مشخص شد که غالب غبارهایی که خوزستان را طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تحت تاثیر قرار داده‌اند از محدوده‌های مشخص شده پخش شده‌اند. منطقه ۱: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رود فرات، با حداقل ۹ مورد ایجاد غبار در طول دو سال، منطقه ۲: تالاب‌ها و زمین‌های خشک شده جنوب عراق (بین‌النهرین) با حداقل ۵ مورد ایجاد غبار در منطقه خوزستان، منطقه ۳: زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق با ۴ مورد ایجاد غبار، منطقه ۴: زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان هاموس) با ۳ مورد وقوع غبار در طول دو سال، منطقه ۵: مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن با ۲ مورد ایجاد غبار در طول بازه زمانی مورد بررسی این محدوده‌ها را تشکیل می‌دهند. کانی‌شناسی غبارها در منطقه مقصد، حاکی از وجود کلسیت، کوارتز، کانی‌های رسی و مقدار ناچیزی دولومیت، ژیبس و فلدسپار برای کانون‌های مناطق ۱، ۳، ۴ و هالیت، دولومیت، کلسیت، کوارتز و ژیبس برای کانون‌های جنوب عراق (منطقه ۲) است که محیط رسوبی مرتبط با فرسایش و تبخیر (دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک شده و رسوبات دریاچه‌های قدیمی) را به عنوان منشأ زمین‌شناسی این ذرات، تداعی می‌کند. غالب فلزات سنگین، عناصر سمی و رادیواکتیو موجود در غبارها دارای غنی‌شدگی بالا هستند. این غنی‌شدگی تحت تاثیر مواد هیدروکربنی و فرایندهای بالادستی صنعت نفت، جنگ‌های مکرر و استفاده از سلاح‌های شیمیایی و میکروبی دارای عناصر رادیواکتیو، تجمع در ذرات رس به واسطه توانایی جذب بالای برخی فلزات سنگین، خشک‌شدگی تالاب‌ها و زمین‌های منطقه منشأ و ایجاد شرایط تبخیری است که غالباً به صورت انسان‌زاد بوده‌اند.

نتیجه‌گیری: خاستگاه غبارهای وارده به خوزستان غالباً از دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک شده و رسوبات دریاچه‌های قدیمی هستند و غنی‌شدگی‌های بالا و ایجاد میزان غیرمعمول در عناصر در گردوغبارها به دلیل توانایی جذب بالای عناصر توسط ذرات رسی، ناشی از مواد هیدروکربنی، آثار جنگ تحمیلی و خشک شدن تالاب‌ها است که غالباً انسان‌زاد است.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، خاستگاه، ژئوشیمی رسوبی، کانی‌شناسی، استان خوزستان.

مقدمه

ذرات را به صورت معلق در هوا نگه دارد. عوامل اصلی موثر بر میزان گردوغبار شامل: بارش، پوشش گیاهی، میزان سرعت باد و وجود منابع تولید گردوغبار هستند. در واقع ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد که در این رابطه نقش فعالیت‌های انسانی را در کنار شرایط طبیعی محیط‌های جغرافیایی نباید از نظر دور داشت (Raespour, 2008).

غبار اثرات بدی بر سلامتی انسان می‌گذارد. همچنین جذب یا پراکنش تابش خورشید توسط غبار اثر عمده‌ای بر دمای هوا منطقه، بودجه تابشی خورشید در زمین، فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از زمین و تشکیل خاک، ورود آهن به اقیانوس‌ها (Goudie, 2009)، کاهش دید، مشکلات حمل‌ونقل جاده‌ای و ترافیک، و غیره دارد. طوفان‌های گردوغبار در پروژه‌های مدیریت کیفیت هوا از اولویت بالایی برخوردارند؛ زیرا اثرات قابل توجهی در محل، منطقه و حتی مقیاس جهانی در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌گذارند.

پدیده گردوغبار از جمله بزرگ‌ترین مشکلات جدی زیست‌محیطی در نواحی مختلف جهان به حساب می‌آید. این فرایند یکی از پدیده‌های مهم طبیعی است که می‌تواند نوعی فاجعه شدید طبیعی باشد که تحت تاثیر سیستم‌های جوی شروع و گسترش می‌یابد و غالباً در مناطق کویری و اطراف آنها در زمین‌های خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد (Miri et al., 2009). منبع اصلی غبار در نیمکره شمالی در کمربند غبار (بیابان) واقع شده است که در واقع بین عرض‌های بین ۲۰ تا ۳۰ در منطقه پرفشار جنب‌حاره‌ای گسترش دارد. باد یک تعدیل‌کننده مهم در طبیعت است زیرا اختلافات مربوط به دما، رطوبت و فشار که در جهات افقی جو وجود دارد، از بین رفته و هوا به حالت تعادل درمی‌آید. دانستن سمت و سرعت باد برای پیش‌بینی پراکندگی مواد آلوده‌کننده نیز اهمیت دارد. در طوفان ریزگردی، به دلیل ریز بودن ذرات نسبت به طوفان‌های ماسه‌ای، جریان‌های رو به بالا می‌تواند این

مساحت ۱/۵ متر طراحی شد. تعداد ۳۰ نمونه (۱۳ نمونه در سال ۹۰ و ۱۷ نمونه در سال ۱۳۹۱) به وزن تقریبی ۲۰-۳۰ گرم (متناسب با غلظت غبارهای رخ داده) بعد از وقوع غبار و آرام شدن هوا، از سطح شیشه ای توسط فرچه جمع‌آوری و در پلاستیک مخصوص بسته‌بندی و برای انجام آنالیز کانی‌شناسی و عنصری به آزمایشگاه ارسال شد. نمونه‌های آنالیزشده صرفاً نمونه‌های رسوب‌کرده در ایستگاه‌های مورد بررسی هستند (شکل ۱).

آنالیز آزمایشگاهی

مهم‌ترین آزمایشات انجام‌شده روی رسوبات عبارتند از: بررسی کانی‌شناسی رسوبات توسط پراش اشعه ایکس^۱ (XRD) و آنالیز عنصری برای شناسایی عناصر اصلی و فرعی به روش پلاسما جفت‌شده القایی^۲ (ICP) و اسپکتروفتومتری جذب اتمی^۳ (AAS) که در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفت. برای بررسی کانی‌شناسی رسوبات به روش XRD، رسوبات در سه حالت دست‌نخورده، اشباع‌شده با اتیلن گلاکول و حرارت‌دیده (۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) توسط دستگاه Siemens XRD diffraktometer D5000 آنالیز شد. برای آنالیز عنصری از دستگاه ICP-OES مدل JY70 PLUS و ICP Optical Emission Spectrometer مدل Varian 735-ES استفاده شد. در این روش به غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی است (Potts, 1987). حد تشخیص دستگاهی برای دستگاه ICP-OES در جدول ۱ ارائه شده است. در این بررسی میزان انحراف از شرایط معمول^۴ ۵۰ عنصر در نمونه‌های غبار، توسط دستگاه ICP و ۵ عنصر که توسط ICP قابل شناسایی نبود، توسط دستگاه AAS شناسایی شد. برای بررسی دقت آنالیزها ۳ نمونه تکراری (۱۰ درصد کل نمونه‌ها) به صورت کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به حد تشخیص دستگاهی، غالب عناصر دارای خطای آزمایشگاهی زیر ۱۰ درصد و عناصر Sb, Mo, U, Y, Bi, Sn, W و Be زیر ۲۵ درصد هستند.

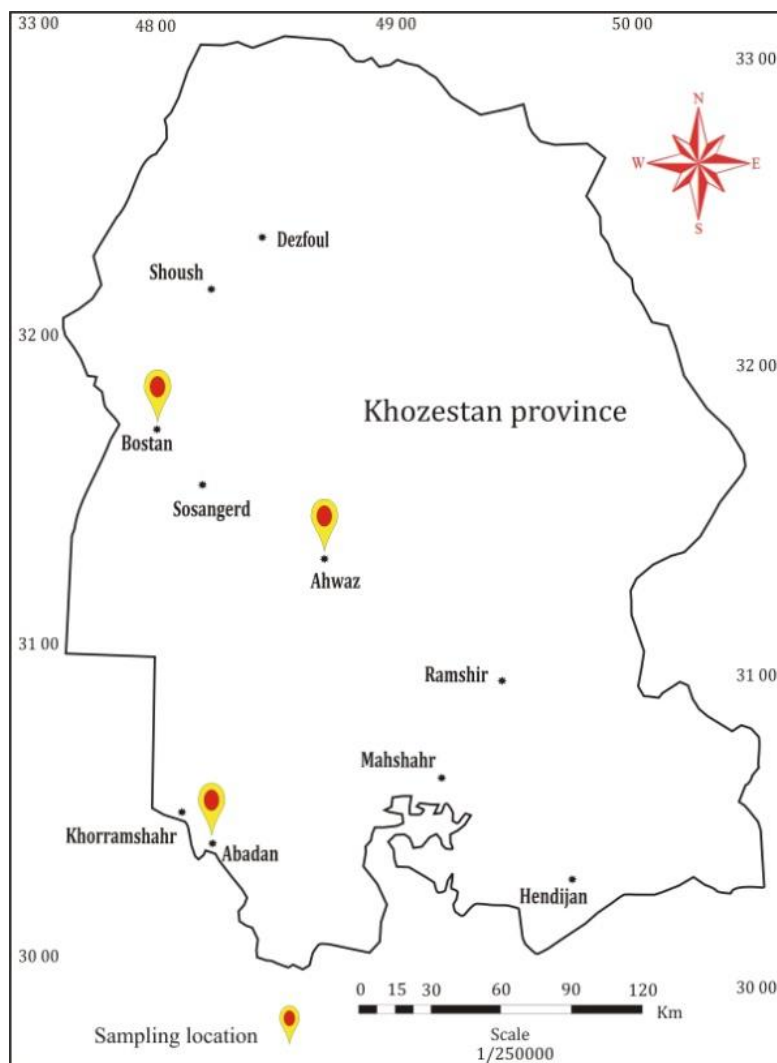
رسوبات با توجه به ساختار فیزیکی (شبکه فضایی) و نیز ترکیب شیمیایی خاص خود می‌توانند جذب‌کننده عناصر (به‌ویژه عناصر سنگین و سمی) موجود در محیط باشند (Mohammadi, 2010). امروزه گردوغبار اتمسفری یکی از منابع مهم فلزات سنگین است که به‌ویژه در محیط زیست شهری و صنعتی بررسی می‌شود. فلزات سنگین با اتصال به ذرات گردوغبار قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند.

در طول سال‌های اخیر، روند فعالیت‌های طوفان گردوغبار در ایران، به‌ویژه در فصل بهار و تابستان رو به افزایش بوده است (Khoshakhlagh *et al.*, 2012) و یکی از مناطقی که به شدت تحت‌تاثیر این پدیده قرار گرفته است استان خوزستان در جنوب غرب ایران است. پدیده گردوغبار در برخی موارد با غلظت قابل‌ملاحظه همراه بوده و گاهی دید افقی را به ۲۰ تا ۳۰ متر تقلیل می‌دهد. این پدیده عمدتاً مشکلاتی را با خود به همراه داشته و موجب بروز عوارض نامطلوب بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی شده است (Darvishi Khatooni, 2014). بنابراین بررسی ژئوشیمی عناصر موجود در رسوبات از جنبه‌های زیست‌محیطی اهمیت دارد. علاوه بر تعیین شاخص‌های ژئوشیمیایی ذرات گردوغبار برای تعیین منشا احتمالی ذرات، بررسی خصوصیات زمین‌زیست‌محیطی عناصر اصلی و کمیاب موجود در این ذرات و نقش آنها در آلودگی محیط زیست نیز حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

با توجه به روند رو به رشد پدیده گردوغبار طی سال‌های اخیر در کشور و همچنین ضرورت شناسایی مناطق منشا، پایش خصوصیات رسوبی و کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی غبارها، نمونه‌برداری از فروردین ۱۳۹۰ به مدت دو سال در سه شهر آبادان، اهواز و بستان انجام گرفت. برای انجام نمونه‌برداری از ذرات غبار موجود در هوا، یک میز شیشه‌ای، دارای لبه‌ای به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و به



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های برداشت نمونه در استان خوزستان

Fig. 1 - Position of sampling stations in Khuzestan province

جدول ۱- حد تشخیص عناصر با روش ICP-OES (ppm)

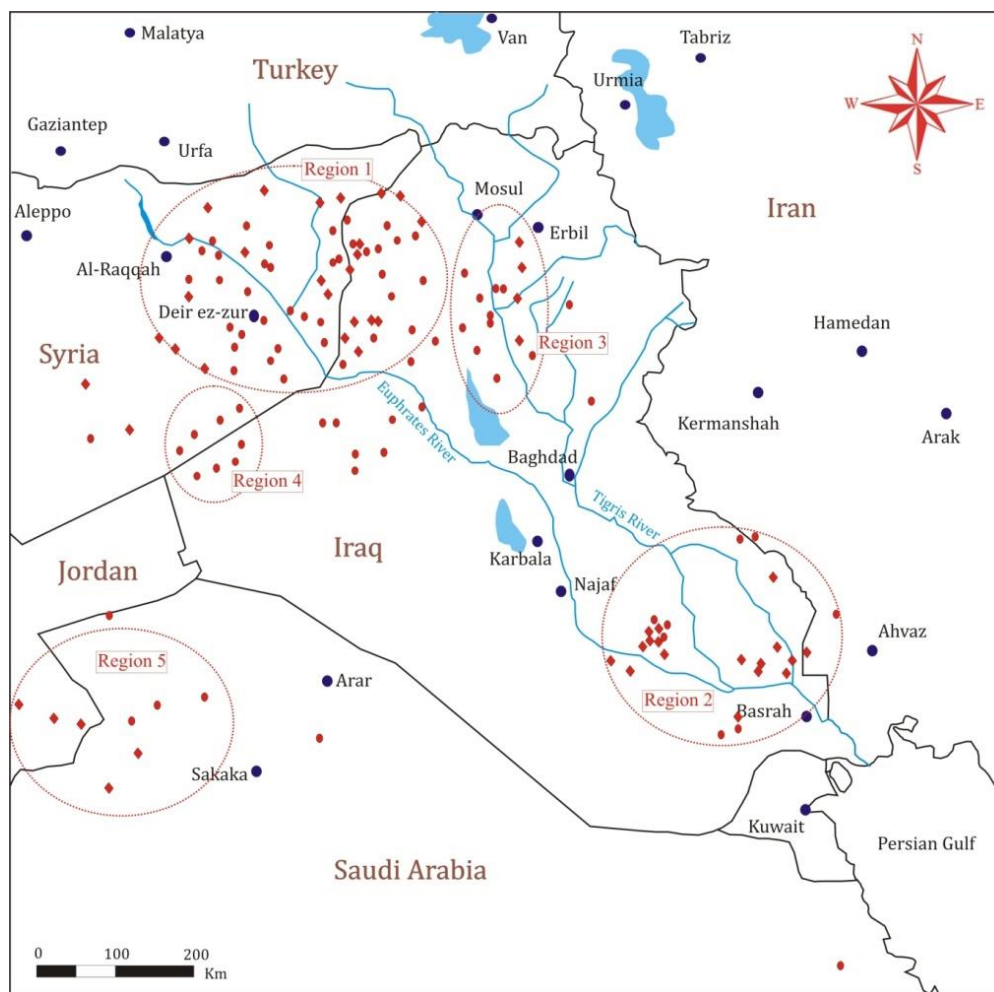
Table 1. Detection limit of ICP-OES (ppm)

عنصر Element	حد تشخیص دستگاهی Detection limit	عنصر Element	حد تشخیص دستگاهی Detection limit	عنصر Element	حد تشخیص دستگاهی Detection limit
Na	10	Fe	100	Cr	2
Ti	10	Cs	0.5	Ba	0.2
p	10	Sc	0.1	Mg	10
Nb	1	La	10	As	1
Pb	0.5	Ni	1	Mn	5
Te	0.01	Mo	0.3	Co	0.5
Th	1	S	50	Zn	0.5
y	0.2	K	10	Rb	0.1
Tl	0.2	Cd	0.1	Be	0.1
U	1	Sn	1	Ag	0.1
W	1	Sr	0.1	Al	10
Eu	0.1	Ce	0.5	Cu	0.5
Ga	0.3	Yb	0.1	Ca	10
Sm	0.3	Er	0.1	Se	1
Ge	0.1	Nd	0.3	Dy	0.3
		Zr	1	Gd	0.3
		v	2	Li	0.3

نتایج و بحث

از آنجا که مناطق جغرافیایی بزرگی تحت تاثیر انتقال گردوغبار قرار گرفته‌اند و با توجه به توزیع غیریکنواخت منابع گردوغبار در سراسر جهان، به نظر می‌رسد سنجش از دور ابزار مناسبی برای بررسی ویژگی‌های این پدیده و شناسایی منابع گردوغبار باشد. روش‌های متنوعی برای شناسایی و تفکیک گردوغبار از سایر عوارض پیشنهاد شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به مشاهدات در باندهای مادون قرمز حرارتی و استفاده از اختلاف دمای روشنایی که یکی از رایج‌ترین آنها الگوریتم اکرم (Ackerman) است اشاره کرد. شاخص اختلاف گردوغبار نرمال شده Normalized

(NDDI) Difference Dust Index نیز از روش‌های معمول پایش گردوغبار است (Tarahhom jou and Haji-azizi, 2013). نتایج بارسازی در نقاط مختلف جهان، به دلیل خصوصیت‌های مختلف خاک‌های منشأ گردوغبار، متفاوت هستند. ترکیب شیمیایی و خصوصیت‌های متفاوت ذرات گردوغبار (مانند کانی‌شناسی، شکل و توزیع اندازه ذرات) ممکن است در مناطق مختلف، متفاوت باشند، بنابراین بازتاب‌های گوناگونی را از خود نشان می‌دهند. با توجه به وسعت زیاد منطقه منشا و اختلاف در ترکیب شیمیایی و رسوبی ذرات غبار، برای شناسایی کانون‌ها به بررسی‌های انجام‌شده قبلی در طول دو سال اکتفا شد (شکل ۲).

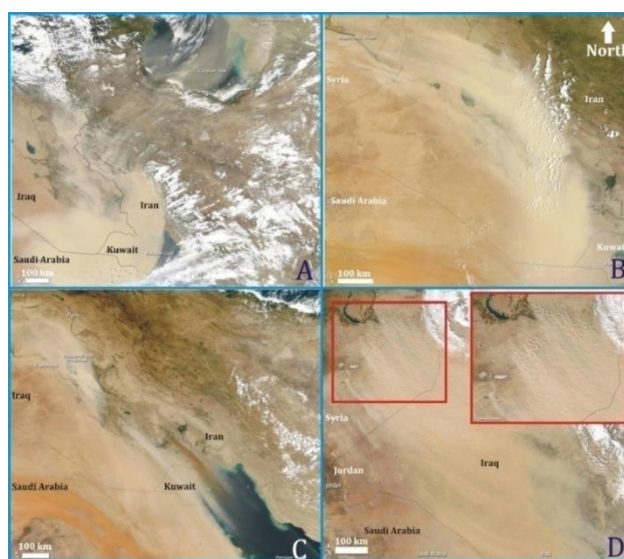


شکل ۲- چشمه‌های ایجاد غبار موثر بر استان خوزستان طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

Fig. 2- Dust sources during 2011 and 2012

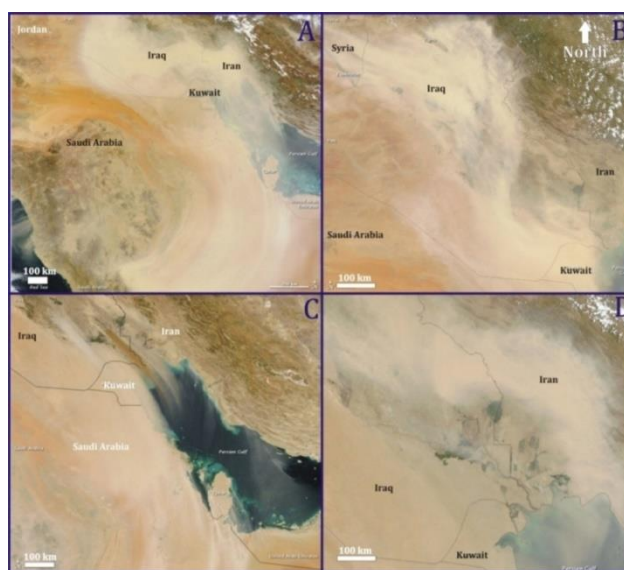
از ۱۰ تاریخ مهم وقوع غبار در خوزستان (ایستگاههای برداشت نمونه غبار) (شکل ۳ و ۴)، ۵ منطقه منشأ در کشورهای عراق، سوریه، اردن و عربستان به ترتیب اولویت در بازه زمانی دوساله (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) مشخص شد. اولویت بندی کانون‌ها (منطقه منشأ) با توجه به تعداد دفعات وقوع غبار که خوزستان و استان‌های همجوار را تحت تاثیر قرار داده‌اند، طبق شکل ۲ انجام گرفت.

با توجه به نتایج بررسی‌های (Najafi et al. (2013), Azizi et al. (2014), Kutuzov et al. (2013), Bertina et al. (2012), Al-Jumaily and Ibrahim (2013), Lateef et al. (2015) و Alam et al. (2014) et al. (2014) (شکل ۲) که با اهداف منشأیابی و شناسایی مشخصات رسوبی و ژئوشیمی غبارهای منطقه عراق و خاورمیانه، در بازه‌های زمانی کوتاه مدت انجام شده است و با بررسی بیش



شکل ۳- تصاویر مودیس A: تاریخ برداشت تصویر ۹۰/۱۲/۲۴، B: تاریخ برداشت تصویر ۹۰/۳/۱۲، C: تاریخ برداشت تصویر ۹۰/۴/۹، D: تاریخ برداشت تصویر ۹۰/۱۲/۲۳

Fig. 3- Image of Modis, A: 13 April 2011, B: 3 June 2011, C: 30 June 2012, D: 13 March 2012



شکل ۴- تصاویر مودیس A: تاریخ برداشت تصویر ۹۰/۱۲/۲۴، B: تاریخ برداشت تصویر ۹۱/۳/۳، C: تاریخ برداشت تصویر ۹۱/۳/۳۰، D: تاریخ برداشت تصویر ۹۱/۳/۱۳

Fig. 4- Image of Modis, A: 14 March 2012, B: 23 May 2012, C: 2 Jun 2012, D: 19 June 2012

به‌عنوان کانی اصلی و دولومیت در بیش از نیمی از نمونه‌ها موجود است. فراوانی کلسیت و کوارتز در بیشتر نمونه‌ها به‌عنوان محصولات اصلی محیط‌های رسوبی تخریبی نشان‌دهنده خاستگاه کاملاً رسوبی برای ذرات گردوغبار خوزستان است (Zarasvandi *et al.*, 2011). فراوانی کوارتز در طوفان‌های گردوغبار و تپه‌های ماسه‌ای نشان‌دهنده بلوغ رسوبات است؛ زیرا کوارتز به‌عنوان تابعی از شدت فرسایش عمل می‌کند. بنابراین، فراوانی سیلیکات‌ها در طوفان‌های بهاری گردوغبار رسوبات با بلوغ بالا را در محل منشا نشان می‌دهد. طبق پژوهش‌هایی که (Al-Dabbas *et al.*, 2010) انجام دادند میزان کانی‌های اصلی در طوفان‌های گرد غبار عراق را به‌صورت، کوارتز ۵۸/۶٪، فلدسپار ۱۷/۳٪، کلسیت ۱۵/۴٪، ژیپس ۵/۵٪ بیان کرده‌اند. وجود کانی‌های تبخیری از قبیل هالیت، ژیپس و پلی‌هالیت، به‌عنوان کانی‌های فرعی در نمونه‌های برداشت‌شده نشان از خاستگاه دریاچه‌ای و تالاب‌های خشک‌شده دارند. دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک‌شده‌ای مانند دریاچه تارتار، تالاب‌های هورالهیوزه، هورالحمار، هورالجباش، و نوار غربی رود فرات از نجف تا ناصریه و غرب ایران و صحراهایی نظیر صحرای المثنی در عراق، صحرای شمال و جنوب سوریه، کویر نافود در شمال شرق عربستان که در جغرافیای وسیعی گسترش دارند (Najafi *et al.*, 2013). بنابراین، کانی‌های تبخیری مانند ژیپس ممکن است به‌عنوان یک ردیاب مفید برای شناسایی منشا گردوغبار در خاورمیانه مورد استفاده قرار گیرد (Najafi *et al.*, 2013). با توجه به خاستگاه غبارها و همچنین نتایج آنالیز کانی‌شناسی، می‌توان گفت غبارهای واردشده از عربستان دارای کلسیت، کوارتز و کانی‌های تبخیری به میزان کم هستند.

وجود کانی‌های رسی از قبیل ایلیت، کلریت، کائولینیت غالباً از کانون شماره ۱ (شرق سویه و شمال غرب عراق) و مناطق مرکزی عراق است (جدول ۲) که خاستگاه فرامحلی داشته و ترکیب غالب، یک محیط هوازده‌ی رسوبی را نشان می‌دهد. خاستگاه اصلی

منطقه با اولویت ۱: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رود فرات، با حداقل ۹ مورد ایجاد غبار در طول دو سال، منطقه با اولویت ۲: تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین) با حداقل ۵ مورد ایجاد غبار در منطقه خوزستان، منطقه با اولویت ۳: زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق با ۴ مورد ایجاد غبار، منطقه با اولویت ۴: زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان هاموس) با ۳ مورد وقوع غبار در طول دو سال، منطقه با اولویت ۵: مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن با ۲ مورد ایجاد غبار در طول بازه زمانی مورد مطالعه (شکل ۲).

بررسی ترکیب کانی‌شناسی

عامل اصلی که ترکیب عنصر را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد کانی‌شناسی منشا گردوغبار است. کانی‌شناسی گردوغبار بستگی به زمین‌شناسی و خاک منطقه منشا و شرایط آب‌وهوایی دارد. با بررسی کانی‌شناسی، منشا اصلی گردوغبار در بیابان‌ها و حوضه‌های رسوبی از خاورمیانه را می‌توان شناسایی کرد. تقریباً تمام ابعاد و زوایای پدیده ریزگرد جز خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در نقاط مختلف جهان مشخص شده است (Zarasvandi *et al.*, 2011). با تشخیص محتوای کانی‌شناسی گردوغبار، مکانیسم تنوع غبار، آینده‌نگری در مهار گردوغبار می‌تواند تا حدی قابل‌درک باشد. ترکیب کانی‌شناسی غالب ذرات گردوغبار خوزستان را می‌توان در سه گروه کانی خلاصه کرد: (۱) کربنات‌ها (غالباً کلسیت)، (۲) سیلیکات‌ها (کانی غالب کورتز) و (۳) رس‌ها (کانی غالب کائولن) مهم‌ترین فاز فرعی نیز کانی ژیپس است و اندازه متوسط این ذرات بین ۲ تا ۴۴ میکرون است که ذرات رسی کمترین اندازه و سولفاتی و کربناتی بیشترین اندازه را دارند (Zarasvandi *et al.*, 2011).

با توجه به آنالیز کانی‌شناسی نمونه برداشت‌شده از غبارهای وارده به کشور، کلسیت و کوارتز در تمام نمونه‌ها

خاورمیانه وجود دارد (Najafi *et al.*, 2013). نسبت‌های La/Sc, Th/Sc, Th/Co, Eu/Sm و La/Lu شاخص‌های بسیار خوبی برای تعیین خاستگاه رسوبات هستند. نسبت‌های بین عناصر کمیاب برای تعریف ویژگی‌های گردوغبارها و برای ردیابی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. عناصر نادر خاکی و Th در فرایندهای سطحی دارای رفتار مشابهی هستند. همچنین مقدار میانگین نسبت $La/Th=3$ در رسوبات دانه‌ریز برآوردی از ترکیب بالایی پوسته قاره‌ای (UCC) Upper Continental Crust (composition) است (Taylor and McLennan., 1995). نسبت La/Th در نمونه‌های غبار خوزستان دارای مقادیری بین ۲ تا ۵/۳ است. نزدیک بودن این شاخص به مقدار UCC نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی در ناحیه منشأ است. تغییرات U/Pb در مقابل Th/Pb به‌طور گسترده‌ای برای ردیابی منشأ گردوغبارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اورانیوم دارای رفتار ژئوشیمیایی متفاوتی در سطح زمین است. با توجه به اینکه توریم به‌شدت غیرقابل حل بوده و در شرایط احیایی سیالیت U دال بر محیط هوازدهی است، منجر به شست‌وشو و تفریق U از پروفیل‌های هوازده (آلتراسیون) و افزایش نسبت Th/U در مواد باقی‌مانده شود (Zarasvandi *et al.*, 2011). مقدار این نسبت در نمونه‌ها بین ۰/۰۴ تا ۷/۴ در تغییر است.

اندازه ذرات رسوبات منطقه از جمله عوامل اصلی تاثیرگذار بر روی ترکیب گردوغبارها است. ذرات ماسه نسبت به لس‌ها دارای مقادیر کمتری از عناصر نادر خاکی هستند که تا حدودی به دلیل وجود کانی‌های فاقد عناصر کمیاب مانند کوارتز و فلدسپار در ماسه‌سنگ‌ها است. وجود فلدسپارهای با منشأ ماسه‌سنگ باعث به وجود آمدن آنومالی مثبت Eu می‌شود (Taylor and McLennan., 1995). عدم وجود کانی‌های فلدسپار و اپیدوت در ناحیه سنگ منشأ باعث تهی‌شدگی در عنصر Eu و وجود این دو کانی باعث غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی می‌شود که این نسبت در برخی نمونه‌ها قابل مشاهده است. فراوانی رس‌ها به‌عنوان

ذرات گردوغبار خوزستان با کانی‌شناسی یادشده صحراهای متشکل از رسوبات آبرفتی و باد رفتی غرب خوزستان و در کشور عراق است (Zarasvandi *et al.*, 2011). هوازدهی کانی‌های مافیک و فلدسپات‌ها به‌عنوان منشأ کائولینیت است (Sinha and Raymahashay, 2004). کانی‌های رسی احتمالاً ناشی از رسوبات دریاچه‌های قدیمی است و بین خاک و رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک با آب‌وهوای ناپایدار و سطح بارش کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در سال مشترک است. نسبت مقدار فلدسپات به کوارتز یکی از شاخص‌هایی است که نشانگر میزان بارش در یک حوضه آبریز است. بزرگ‌تر بودن این نسبت نشان‌دهنده میزان بارش کمتر است (Mohammadi, 2010). درباره کانی‌شناسی طوفان گردوغبار در دیگر نقاط جهان، (Shen *et al.*, 2009) نشان دادند که کانی‌های اصلی در طوفان‌های گردوغبار برخاسته از شرق آسیا، ایلیت، کائولینیت، کلریت، کوارتز، فلدسپات قلیایی، فلدسپات پلاژیوکلاز، کلسیت و دولومیت هستند. نتایج بررسی‌های گفته‌شده نشان می‌دهد که کربنات‌ها برای منطقه آسیا، کانی‌های تبخیری مانند ژپس برای خاورمیانه و فلدسپار و کوارتز برای آفریقا ابزار مفیدی برای ردیابی منشأ گردوغبار است.

ژئوشیمی عنصری

در این پژوهش نمونه‌های غبار مورد آنالیز عنصری قرار گرفت و با توجه به کانون‌های غبار خصوصیات هر منطقه منشأ مورد تجزیه و تحلیل ژئوشیمی رسوبی قرار گرفت (جدول ۳).

امروزه بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی بهترین نشانگر برای تعیین منشأ ذرات گردوغبار هستند (Zarasvandi *et al.*, 2011). شباهت زیادی بین ترکیب عناصر و اکسیدهای موجود در غبار منطقه خوزستان و سایر نقاط جهان به‌خصوص

محصول احتمالی هوازدگی آنها عامل اصلی کنترل کننده عناصر نادر خاکی فلدسپارها است. به علاوه غنی شدگی بیشتر در عناصر کمیاب سبک نیز نشان دهنده افزایش میزان درصد رس نسبت به درصد ماسه در منطقه مورد بررسی است؛ زیرا کانی‌های رسی توانایی بالا در جذب عناصر سمی دارند (Mohammadi, 2010).

جدول ۲- زمان، منشأ و نتایج کانی‌شناسی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده

Table 2. Time, origin and mineralogy results of the samples

محل نمونه برداری Sampling site	تاریخ Date	نتایج آنالیز کانی‌شناسی Mineralogy analysis results	مناطق منشأ Origin areas
آبادان Abadan	۹۰/۱/۲۴ 2011.4.13	کلسیت، کوارتز، پلی هالیت، هالیت Calcite, Quartz, Polyhalite, Halite	مناطق ۱ و ۴ Areas 1, 4
آبادان Abadan	۹۰/۳/۱۲ 2011.6.2	هالیت، کلسیت، کوارتز Halite, Calcite, Quartz	مناطق ۱ و ۳ Areas 1, 3
آبادان Abadan	۹۰/۲/۲۸ 2011.5.18	هالیت، ژیبس Halite, Gypsum	مناطق ۲ و ۳ Areas 2, 3
اهواز Ahvaz	۹۰/۱۲/۲۴ 2012.4.14	کلسیت، کوارتز، دولومیت، ایلیت Calcite, Quartz, Dolomite, Illite	مناطق ۱ و ۴ Areas 1, 4
آبادان Abadan	۹۱/۲/۱۴ 2012.5.3	کوارتز، کلسیت Quartz, Calcite	مناطق ۱، ۳ و ۵ Areas 1, 3, 5
اهواز Ahvaz	۹۱/۳/۳ 2012.5.23	کلسیت، کوارتز، دولومیت، فلدسپار Calcite, Quartz, Dolomite, Feldspar	مناطق ۱ و ۲ Areas 1, 2
اهواز Ahvaz	۹۱/۳/۱۳ 2012.6.2	کلسیت، کوارتز، ژیبس Calcite, Quartz, Gypsum	مناطق ۱ و ۲ Areas 1, 2
اهواز Ahvaz	۹۱/۳/۳۰ 2012.6.19	کلسیت، کوارتز، دولومیت، ایلیت، کائولینیت، فلدسپار، ژیبس Calcite, Quartz, Dolomite, Illite, Kaolinite, Feldspar, Gypsum	مناطق ۱، ۲ و ۳ Areas 1, 2, 3

جدول ۳- میزان عناصر در چند نمونه غبار از کانون‌های مختلف (ppm)

Table 3. The amount of elements in several samples of dust in different centers (ppm)

تاریخ Date	۱۳۹۰/۱۲/۲۴ 2012.4.14	۱۳۹۱/۳/۳ 2012.5.23	۱۳۹۱/۳/۱۳ 2012.6.2	۱۳۹۱/۳/۳۰ 2012.6.19		
منطقه منشأ Origin area	مناطق ۱ و ۴ Areas 1, 4	مناطق ۱ و ۲ Areas 1, 2	مناطق ۱ و ۲ Areas 1, 2	مناطق ۱، ۲ و ۳ Areas 1, 2, 3		
منطقه مقصد Destination area	اهواز Ahvaz	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz		
As	4.34	6.4	6.7	4.6	3.6	5.78
B	26.5	36.9	38.2	28.64	21	30.12
Co	26.44	34	31	29.38	20.4	37.05
Cr	89.09	63.2	116.3	46.84	147.9	90.9
Cu	16.05	14.4	34.6	12.46	30.9	15.95
Hf	5.08	5.1	10.3	3.66	10.7	4.92
Li	15.47	16.5	25.9	13.41	25.1	16.42
Mn	405	409	623.7	402	523.7	444
Mo	1.72	2.4	0.5	3.72	1.3	1.82
Ni	101	131	93.2	130	115.8	160
Pb	14.22	9.5	15.5	24.89	6.6	18.64
S	8112	12251	16854	23869	14761	17869
Sr	280	264	459.2	373	565.9	297
Th	6.49	7.8	15.4	3.48	12.2	6.09
Ti	3053	2953	3648.3	1912	3182.1	2845
U	5.74	7	-	5.42	3.4	6.19
V	69.8	70.3	99.5	55.07	97	72.65
Zn	107	143	107.2	991.83	80.5	150

فاکتور غنی‌شدگی عناصر در ذرات گردوغبار

یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای بررسی پراکنش، میزان و منشأ آلاینده‌های عناصر کمیاب در نمونه‌های گردوغبار استفاده از فاکتور غنی‌شدگی^۵ (EF) است که بر اساس روش (Cong *et al.*, 2007)، فاکتور غنی‌شدگی در ذرات گردوغبار مرتبط با ترکیب پوسته فوقانی (UCC) است که به صورت زیر تعریف می‌شود؛

$$EF = (C_X / C_R)_{\text{aerosol}} / (C_X / C_R)_{\text{crust}} \quad (1)$$

در رابطه فوق EF: فاکتور غنی‌شدگی عنصر X (عنصر مورد نظر به‌عنوان عنصر کمیاب و یا عنصر آلاینده) در نمونه‌های غبار و C_X : غلظت عنصر X و C_R : غلظت عنصر مرجع است که بر اساس داده‌های تیلور و مکنان (۱۹۹۵) در پوسته فوقانی محاسبه شده‌اند. فاکتور غنی‌شدگی کمتر از ۳ نشان‌دهنده عوامل طبیعی و فرایندهای هوازدگی و بیشتر از ۳ نشان‌دهنده سهم غیرپوسته‌ای و یا غیرطبیعی (انسان‌زاد) در غنی‌شدگی فلزات سنگین است (Bagheri *et al.*, 2013). در صورتی که مقدار فاکتور غنی‌شدگی کمتر از یک باشد؛ غنی‌شدگی وجود ندارد، بین ۱-۳؛ غنی‌شدگی کم، ۳-۵ غنی‌شدگی متوسط، ۵ تا ۱۰ غنی‌شدگی متوسط تا شدید، ۱۰ تا ۲۵ غنی‌شدگی شدید، ۲۵ تا ۵۰ غنی‌شدگی خیلی شدید و مقادیر بالای ۵۰ نشان‌دهنده غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید است. در این پژوهش Y به‌عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد، این عنصر در پوسته است و به مقدار کمتر در آلودگی‌های زیست‌محیطی انسان‌زادی وجود دارد به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شده، در نتیجه EF_Y برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود (جدول ۴). بعد از تعیین فاکتور غنی‌شدگی و منشأ آلاینده‌ها، تعیین ارتباط بین پراکنش عناصر و اندازه ذرات برای بررسی عوامل ایجاد پراکنده‌های عناصر کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. عناصر کمیاب و فلزات سنگین عمدتاً همراهی بسیار نزدیکی با آلومینوسیلیکات‌ها و به خصوص رس‌ها دارند؛ زیرا ساختار مناسب‌تری برای به دام انداختن این عناصر از خود نشان می‌دهند. از طرفی بعضی از فلزات سنگین ذاتاً همراهی همیشگی با نوع خاصی از ذرات

را در توفان‌های مختلف دنیا از خود بروز می‌دهند (Zarasvandi *et al.*, 2011).

عناصری از قبیل Ba, Be, Ce, Co, Cr, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Ho, Lu, Nd, Nb, P, Pr, Sb, Sm, Sr, Ta, Tl, V, Y که برخی از عناصر نیز سمی و خطرناک هستند، دارای ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۳ و دارای منشأ پوسته‌ای طبیعی هستند از طرفی چون که این مقادیر بالاتر از ۱ هستند نشان از این است که عوامل دیگری بر روی غلظت این عناصر اثرات زیادی را گذاشته‌اند. به‌طور کلی الگوی یکسان عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی به همراه تهی‌شدگی عناصر V, Nb, Th و همچنین غنی‌شدگی از Sr, Rb و Mn مبین تشکیل و خاستگاه رسوبی و نزدیک به سطح سنگ‌های مادر ذرات گردوغبار و به عبارتی هم‌منشا بودن تمام ذرات با ابعاد مختلف است (جدول ۴ و شکل ۵).

از طرفی دیگر عناصر B, Bi, Cs, Cu, Hf, Hg, Li, Mo, Ni, Rb, Se, Sn, Tb, Th دارای فاکتور غنی‌شدگی بالای ۳ هستند که نشان‌دهنده منشأ غیرطبیعی یا به عبارتی انسان‌زادی برای آنها در ذرات گردوغبار است. نزدیک بودن فاکتور غنی‌شدگی بسیاری از عناصر سنگین به عدد ۵ در غبارهای واردشده به کشور (جدول ۴ و شکل ۵) به‌خصوص Hf و Ni خطرناک بوده و می‌تواند ناشی از آلودگی مناطق منشا به مواد هیدروکربنی باشد (وجود میادین نفتی در مناطق غرب کرکوک و جنوب موصل). عناصر رادیواکتیو مانند اورانیوم نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط تا شدید در حد بیشینه خود است که با توجه به استفاده مکرر سلاح‌های میکروبی، شیمیایی توسط رژیم صدام حسین و استفاده آمریکا از سلاح‌های حاوی اورانیوم ضعیف‌شده، وجود این آلودگی‌ها تعجب زیادی بر نمی‌انگیزد. در مطالعات بسیاری به رسوب‌گذاری هم‌زمان کانی‌های کربناته با برخی از فلزات مانند کادمیوم اشاره شده است. به دلیل شعاع یونی نزدیک کلسیم و کادمیوم، کادمیوم تمایل به جانشینی کلسیم در کانی‌های کربناته دارد (Papadopoulos and Rowell, 1988).

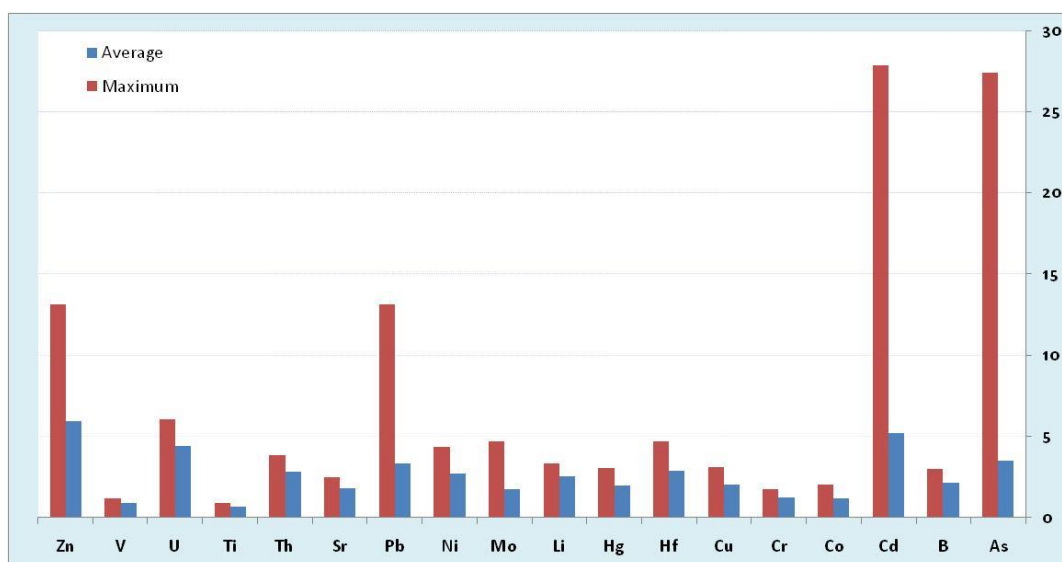
جدول ۴- فاکتور و میزان غنی‌شدگی عناصر مختلف در غبارهای وارده به خوزستان (غلظت‌ها بر حسب ppm)

Table 4. EF of different elements in Khuzestan dust (ppm)

عنصر Elements	میزان متوسط در غبار Average(dust)	میزان بیشینه در غبار Maximum(dust)	غلظت متوسط پوسته ای [۲۰] Average(crust)	فاکتور غنی‌شدگی در میانگین عناصر EF (average)	فاکتور غنی‌شدگی در بیشینه عناصر EF (maximum)	میزان غنی‌شدگی	Amount of enrichment
As	12.7	98.4	5	3.5	27.4	خیلی شدید	very intense
B	26	36.9	17	2.1	3	متوسط	Medium
Ba	308.7	477.1	390	1.1	1.7	کم	Low
Be	1.2	1.8	2	0.8	1.3	کم	Low
Bi	0.5	0.5	0.2	3.5	3.5	متوسط	Medium
Cd	0.3	1.8	0.1	5.2	27.9	خیلی شدید	very intense
Ce	38.1	68.2	42	1.3	2.3	کم	Low
Co	21.8	37.1	25	1.2	2.1	کم	Low
Cr	107.5	147.9	119	1.3	1.7	کم	Low
Cs	4	6	2.6	2.1	3.2	متوسط	Medium
Cu	35.1	53.4	24	2	3.1	متوسط	Medium
Ga	9.5	13.9	16	0.8	1.2	کم	Low
Hf	7.7	12.4	3.7	2.9	4.7	متوسط	Medium
Hg	0.1	0.1	0.1	2	3.1	متوسط	Medium
Ho	0.9	1.1	0.8	1.6	2	کم	Low
La	29.9	56.8	18	2.3	4.4	متوسط	Medium
Li	20.2	26.2	11	2.6	3.3	متوسط	Medium
Lu	0.3	0.4	0.3	1.2	1.7	کم	Low
Mn	534.2	656	10000	0.1	0.1	وجود ندارد	No
Mo	1.4	3.7	1.1	1.7	4.7	متوسط	Medium
Nb	15.3	20.7	12	1.8	2.4	کم	Low
Nd	21.6	31	20	1.5	2.2	کم	Low
Ni	98.7	160	51	2.7	4.4	متوسط	Medium
P	888.5	1430	1000	1.2	2	کم	Low
Pb	30.2	119	12.6	3.3	13.2	شدید	Intense
Pr	4.9	7.3	5	1.4	2	کم	Low
Rb	104.5	160.6	58	2.5	3.9	متوسط	Medium
S	10553.9	23869	62	237	536.5	بینهایت شدید	Ex. intense
Sb	0.4	0.6	0.4	1.5	1.9	کم	Low
Sc	9.3	12.2	22	0.6	0.8	وجود ندارد	No
Se	0.1	0.3	0.1	2.3	4.6	متوسط	Medium
Sm	3.9	6.4	3.9	1.4	2.3	کم	Low
Sn	3	5.8	2.1	2	3.8	متوسط	Medium
Sr	421	584.1	325	1.8	2.5	کم	Low
Ta	1	1.9	1.1	1.3	2.4	کم	Low
Tb	1	1.3	0.6	2.5	3.2	متوسط	Medium
Th	11.4	15.5	5.6	2.8	3.9	متوسط	Medium
Ti	2867.5	3951	6000	0.7	0.9	وجود ندارد	No
Tl	0.6	0.8	0.9	1	1.2	کم	Low
Tm	0.2	0.4	3	0.1	0.2	وجود ندارد	No
U	4.5	6.2	1.4	4.4	6.1	متوسط-شدید	Med- intense
V	84.6	113.5	131	0.9	1.2	کم	Low
w	1.1	1.3	1.9	0.8	0.9	وجود ندارد	No
Y	14.4	19.5	20	1	1.4	کم	Low
Yb	1.7	2.3	2	1.2	1.6	کم	Low
Zn	312.9	687.3	73	6	13.1	شدید	Intense
Zr	145.1	195.8	123	1.6	2.2	کم	Low

بالای رس در ذرات غبار موجب تمرکز بیشتر سرب و روی (Shahdadi and Moslempour, 2012) بوده و همچنین اثر سوختن و احتراق و فرایندهای بالادستی صنعت نفت نیز بی‌تاثیر نیست (Zarasvandi et al., 2011). گوگرد دارای بیشترین غنی‌شدگی در بین عناصر مورد بررسی است. بیشترین میزان گوگرد در نمونه‌های با منشأ مناطق ۲ و ۳ (شکل ۲) وجود دارد. میزان بالای سولفات در رسوبات خشک‌شده تالابی و زمین‌های شور همچنین وجود منابع سولفور طبیعی می‌تواند در غنی‌شدگی گوگرد به میزان بالا در غبارهای وارده به خوزستان تاثیر مستقیم داشته باشد.

همچنین با توجه به فراوانی کادمیوم در غبارهای کانون شماره ۳ (شکل ۲) که تمرکز میدان‌های نفتی عراق نیز در همان منطقه است می‌توان تاثیر فرایندهای صنعت نفت را نیز محتمل دانست. غنی‌شدگی بالای عنصر آرسنیک تحت‌تاثیر فعالیت‌های انسانی و در برخی موارد فرسایش شیمیایی سنگ‌ها و آلودگی به هیدروکربن‌ها به وجود می‌آید. آرسنیک قابلیت حمل در فاز سولفیدی را دارد و ارتباط مثبتی با کلسیم دارد (شکل ۶). همچنین آرسنیک تمایل به غنی‌شدگی در کانی‌های تبخیری درجازاد (Bezi et al., 2014) را نیز دارد. احتمالاً میزان



شکل ۵- فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای برخی عناصر کمیاب و فلزات سنگین در غبارهای وارده به خوزستان
Fig. 5 - EF of some trace elements and heavy metals in dust of Khuzestan

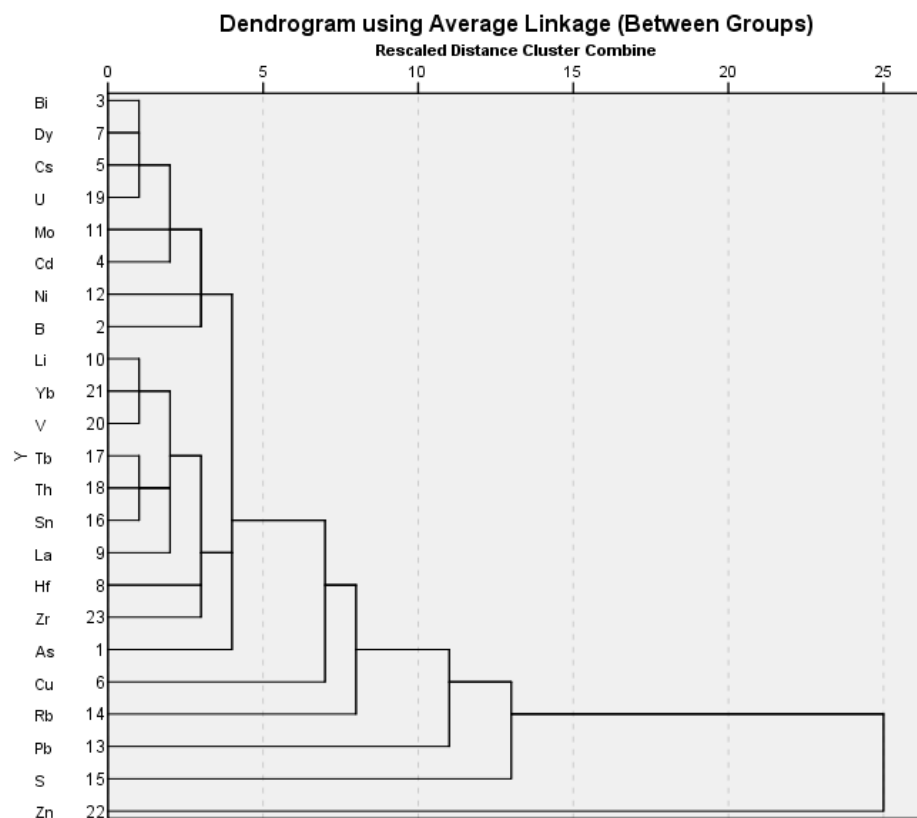
۶ مشاهده می‌شود، چهار منشأ برای چهار خوشه می‌توان در نظر گرفت. خوشه اول که شامل اکثر عناصر می‌شود مربوط به آلودگی‌های با منشأ نفتی، جنگ، معدن‌کاری و ... و یا با منشأهای مشترک طبیعی و آلودگی‌های انسان‌زاد است. خوشه دوم سرب است که احتمالاً تحت‌تاثیر احتراق و فرایندهای بالادستی صنعت نفت است، خوشه سوم که گوگرد را در خود جای داده است می‌تواند به دلیل میزان بالای سولفات در رسوبات خشک‌شده تالابی و زمین‌های شور که در منطقه منشأ گسترش فراوانی دارد، باشد. خوشه

تحلیل آنالیز خوشه‌ای

پایه و اساس این نوع تحلیل، ارتباط دادن دو متغیر و پیدا کردن اثرات آنها بر همدیگر است. با استفاده از رگرسیون و سایر پارامترهای آماری می‌توان عوامل و فرآیندهای کنترل‌کننده رسوب‌گذاری را شناسایی و نقش عوامل طبیعی و انسان‌زاد در توزیع رسوبات را تعیین کرد. آنالیز خوشه‌ای به منظور تعیین پاراژنرها و نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر انجام پذیرفت. روش به کار گرفته‌شده در این آنالیز Between Groups است. همان‌طور که در شکل

اکسیدهای آهن و منگنز می‌شود وجود صنایع سیمان در جنوب شرق موصل و پهنه‌های تبخیری فراوان را می‌توان منشأ روی در منطقه در نظر گرفت (شکل ۶).

چهارم مربوط به روی است که با توجه به استعداد بالای رس‌ها در جذب یون‌های فلزی مانند روی و تحرک‌پذیری بالا، ۶۰ درصد آن جذب فاز کربناتی و ۳۰ درصد جذب



شکل ۶- مثالی از پردازش دو متغیره، دندوگرام خوشه‌ای و ارتباط عناصر با یکدیگر

Fig. 6 - An example of bivariate processing, cluster dendrogram and relationship of elements with each other

تارتار در عراق با ۴ مورد ایجاد غبار، منطقه ۴: زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان هاموس) با ۳ مورد وقوع غبار در طول دو سال، منطقه ۵: مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن با ۲ مورد ایجاد غبار در طول بازه زمانی مورد بررسی این محدوده‌ها را تشکیل می‌دهند.

کانی‌شناسی غبارها در منطقه مقصد حاکی از وجود کوارتز، کلسیت، فلدسپار، دولومیت، هالیت، ژیپس، کانی‌های رسی، کلریت، پلی‌هالیت، ایلیت و کائولینیت است که یک محیط رسوبی مرتبط با فرسایش و تبخیر را به‌عنوان منشأ زمین‌شناسی این ذرات می‌توان

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی پژوهش‌های قبلی طی دو سال (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) که با هدف منشأیابی انجام شده بود پنج محدوده منشأ مشخص شد که غالب غبارهایی که خوزستان را طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تحت‌تاثیر قرار داده‌اند از محدوده‌های مشخص شده پخش شده‌اند. منطقه ۱: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رود فرات، با حداقل ۹ مورد ایجاد غبار در طول دو سال، منطقه ۲: تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین) با حداقل ۵ مورد ایجاد غبار در منطقه خوزستان، منطقه ۳: زمین‌های اطراف و شمال دریاچه

تحت تاثیر مواد هیدروکربنی و فرایندهای بالادستی صنعت نفت، آلودگی ناشی از جنگ‌های مکرر و استفاده از سلاح‌های شیمیایی و میکروبی دارای عناصر رادیواکتیو، تجمع در ذرات رس به واسطه توانایی جذب بالای برخی فلزات سنگین، خشک‌شدگی تالاب‌ها و زمین‌های منطقه منشا و ایجاد شرایط تبخیری است که غالباً انسان‌زاد بوده است.

پی‌نوشت‌ها

¹ X Ray Diffraction

² Inductively Coupled Plasma

³ Atomic Absorption Spectroscopy

⁴ Anomaly

⁵ Enrichment Factor

در نظر گرفت. کانون‌های مناطق ۱، ۳ و ۴ غالباً دارای کلسیت، کوارتز، کانی‌های رسی و مقدار ناچیزی دولومیت، ژیپس و فلدسپار است که از دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک‌شده و رسوبات دریاچه‌های قدیمه تامین می‌شود. ترکیب کانی‌شناسی کانون‌های جنوب عراق (منطقه ۲) شامل هالیت، دولومیت، کلسیت، کوارتز و ژیپس است که به نظر می‌رسد از دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک‌شده جنوب غرب عراق از قبیل هورالعظیم، هورالحمار و غیره منشا می‌گیرد. کلسیت، کوارتز و فلدسپار نیز ترکیب کانی‌شناسی غبارهای وارده از عربستان (منطقه ۵) است. غالب فلزات سنگین عناصر سمی و رادیواکتیو موجود در غبارها دارای غنی‌شدگی بالا هستند. این غنی‌شدگی

منابع

Alam, Kh., Trautmann, Th., Blaschke, Th. and Subhan, F., 2014. Changes in aerosol optical properties due to dust storms in the Middle east and Southwest Asia. *Remote Sensing of Environment*. 143, 216-227.

Al-Dabbas, M.A., Ayad Abbas, M. and Al-Khafaji, R.M., 2010. Dust storms loads analyses Iraq. *Arab Journal Geoscience*. 5(1), 121-131.

Al-Jumaily, K. and Ibrahim, M., 2013. Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq. *International Journal of Energy and Environment*. 4(5), 851-858.

Azizi, Gh., Miri, M. and Nabavi, O., 2012. Tracing the phenomenon of dust in the western of Iran. *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*. 7, 63-81. (In Persian with English abstract).

Bagheri, H., Darvish bastami, K., Sharmad, T. and Bagheri, Z., 2013. Evaluation of distribution of heavy metal pollution in the gulf of Gorgan. *Journal of Oceanography*. 11, 65-72. (In Persian

with English abstract).

Bertina, H., Sayyad, G.A., Matinfar, H.R. and Hojati, S., 2014. Detection of the dust mass part of the middle east with MODIS sensor on the basis of spectral data. *Journal of Study of Physical Geography*. 45(4), 73-84. (In Persian).

Bezi, A., Bomeri, M. and Rezaei, H., 2014. Characteristics of sedimentological and geochemical coast and bed deposits of the goiter bay, SE Iran. *Journal of Oceanography*. 18, 99-110. (In Persian with English abstract).

Cong, Z., Kang, S., Liu, X. and Wang, G., 2007. Elemental composition of aerosol in the Nam Co region, Tibetan Plateau, during summer monsoon season. *Atmos Environment*. 41, 1180-1187.

Darvishi khatooni, J., 2014. Khuzestan dust source identification with using Satellite images and Sedimentary Geochemistry. Internal report, Geological survey of Iran. P. 115. (In Persian with English abstract).

- Goudie, A. S., 2009. Dust storms: recent developments. *Journal Environment Management*. 90, 89-94.
- Khoshakhlagh, F., Najafi, M.S. and Samadi, M., 2012. An analysis on synoptic patterns of springtime dust occurrence in west of Iran. *Geography Research*. 2(80), 99-124.
- Kutuzov, S., Shahgedanova, M., Mikhailenko, V., Ginot, P., Lavrentiev, I. and Kemp, S., 2013. High-resolution provenance of desert dust deposited on Mt. Elbrus, Caucasus in 2009–2012 using snow pit and firn core records, *The Cryosphere*. 7, 1481-1498.
- Lateef, K., Mishaal, A. and Abud, M., 2015. The spatial distribution of dust sources in Iraq by using satellite images, *International Journal of Energy and environment*. 6(1), 27-36.
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbarie, A., 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *Journal of Environmental Study*. 66, 343-355.
- Mohammadi, A., 2010. Sedimentary geology and geochemistry of continental shelf in Oman sea report, Geological Survey of Iran. P. 150. (In Persian with English abstract).
- Najafi, M. S., Khoshakhlagh, F., Zamanzadeh, S. M., Shirazi, M. H., Samadi, M. and Hajikhani, S., 2013. Characteristics of TSP Loads during the Middle East Springtime Dust Storm (MESDS) in Western Iran. *Arab Journal of Geoscience*, 7(12), 5367–5381.
- Papadopoulos, P. and Rowell, D. L., 1988. The reactions of cadmium with calcium-carbonate surfaces, *Soil Science*. 39, 23-36.
- Potts, P. J., 1987. A Handbook of Silicate rock analysis. Blackie and Son Ltd. P. 549.
- Raeispour., K. 2008. Synoptic analysis the phenomenon of dust in Khuzestan. Master Thesis, University of Sistan and Baluchestan. P. 189. (In Persian with English abstract).
- Shahdadi, S. and Moslempour, I., 2012. Study of toxic elements contaminated sediments in the south east of Tehran with using principal component analysis and determine the pollution index. *Journal of Ecology*. 60, 137-148. (In Persian with English abstract).
- Shen, Z. X., Caquineauc, S., Cao, J., Zhangb, X., Hana, Y., Gaudichetd, A. and Gomese, L., 2009. Mineralogical characteristics of soil dust from source regions in northern China. *Particuology*. 7, 507–512.
- Sinha, R. and Raymahashay. B. C., 2004. Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Thar desert, Rajasthan, India. *Sediment Geology*. 166, 59-71.
- Tarahhom jou, Z. and Haji azizi, Sh., 2013. Assessment of dust normalized difference index with the MODIS data in south west Iran. 32nd National and 1st International Geosciences Symposium, Tehran, Iran. (In Persian).
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Review Geophysic*. 33, 241-265.
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F. and Rastmanesh, F., 2011. Spatiotemporal occurrences and mineralogical–geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*. 111, 138-151.

Zezoli, M. F., Vafaei nezhad, A. R., Kheirkhah Zarkesh, M. and Ahmadi Dehka, F., 2014. Synoptic monitoring and analysis of the phenomenon of dust using remote sensing and GIS (Case Study: Dust June 18, 2012). Scientific - Research Quarterly of Geographical Data

(SEPEHR). 23(91), 69-80. (In Persian with English abstract).





Environmental Sciences Vol.15 / No.2 / Summer 2017

93-110

Composition and source of dust entering Khuzestan province from an external origin

Javad Darvishi Khatooni,^{1*} Sara Narimisa,² Froogh Abasaghi,³ Ali Mohammadi,⁴ Mehdi Hamdollahi,³ Alireza Salehipour Milani⁵ and Nezam Asgharipour Dashtbozorg⁶

¹ Department of Environment, Geological Survey of Iran

² Department of Environment, Amirkabir University, Tehran, Iran

³ Department of Geology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

⁴ Department of Geology, ETH Zurich, Switzerland

⁵ Department of Physical Jeography, Faculty of Geoscience, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁶ Agricultural and Natural Resources Research, Ahvaz, Iran

Received: 2015.11.08

Accepted: 2017.11.23

Darvishi Khatooni, J., Narimisa, S., Abasaghi, F., Mohammadi, A., Hamdollahi, M., Salehipour Milani, A. and Asgharipour Dashtbozorg, N., 2017. Composition and source of dust entering Khuzestan province from an external origin. *Environmental Sciences*. 15(2): 93-110.

Introduction: Khuzestan Province is one of the regions of Iran which has been most affected by the newfound phenomenon of dust storms due to recent droughts. Dust storms, which in some cases are considerably concentrated and accompanied by a reduction of horizontal view to 20 meters, causes various problems such as harmful effects to human health, absorption or dispersion of sunlight and affecting the region's temperature, a negative impact on agricultural activities, reduced visibility and road transportation problems and tens of health, environmental and economically undesirable effects. So, due to the importance of the issue, a mineralogical and geochemical study of dust storms has been conducted in order to determine their probable sources, the environmental characterization of existing elements in dust and their role in polluting the environment.

Materials and methods: In order to conduct dust sampling, a glass table was designed with edges to the height of 5 centimetres and an area of 1.5 square meters. In this matter, from April 2011 studies were conducted for 2 years in Khuzestan Province (Abadan, Ahvaz and Bostan). Through investigating previous studies and extracting the specified focuses, five sources have been identified for dust entering the country. 30 dust samples were collected and analyzed for elemental and mineralogical analysis conducted. The mineralogical analysis was conducted by using powdered samples and a Siemens XRD diffraktometer D5000 ICP-OES JY70 PLUS

* Corresponding Author. *E-mail Address:* Darvishi.khatooni@gmail.com

and an ICP Optical Emission Spectrometer (model Varian 735-ES) were utilized for elemental analysis. All the tests were conducted at the laboratories of the Geological Survey and Mineral Explorations of Iran.

Results and discussion: According to previous studies, during finding sources through investigation over the period from 2011 to 2012, 50 sources were identified, namely that much of the dust storms which have affected Khuzestan Province during 2011 and 2012 originated from the following regions. Region 1: Northwest Iraq and eastern Syria, both sides of the Euphrates River (with at least 9 cases of dust storms over the 2 years). Region 2: wetlands and dried lands in southern Iraq (Mesopotamia) with at least 5 cases of dust storms in Khuzestan. Region 3: neighbouring and northerly lands of Lake Tharthar in Iraq with 4 cases of dust storms. Region 4: western areas of Iraq (Anbar Province) and eastern Syria (Hamus Province) with 3 cases of dust storm occurrences over two years. Region 5: northern borders of Saudi Arabia and the East of Jordan with 2 cases of dust storms during the period studied. Mineralogical studies of dust in the destination area showed that there are calcite, quartz, clay minerals and an insignificant amount of dolomite, gips and feldspar in the focus areas of regions 1, 3, 4; and halite, dolomite, quartz, and gypsum in the southern focus areas of Iraq (region 2). This, then, associates the sedimentary environment related to erosion and evaporation (dried lakes and wetlands and sediments of old lakes) as the geological source of these particles. Most of the heavy metals and toxic and radioactive elements in the dust are highly enriched. These enrichments are influenced by hydrocarbon materials and upstream processes of the oil industry, contamination caused by repeated wars and use of microbiological and chemical weapons containing radioactive elements, accumulation of clay particles due to the high absorption capacities of some of the heavy metals, drying up of wetlands and land of the source region and creating evaporating conditions, most of which is anthropogenic.

Conclusion: The storms entering Khuzestan Province derive from dried up wetlands and lakes and the sediments of old lakes and high enrichment, creating an unusual level of elements in dust due to the high absorption capacity of the elements into clay particles resulting from hydrocarbon materials. It is also caused by effects of the imposed war on Iran (with Iraq) and the drying of wetlands because of human activities.

Keywords: Dust storms, Sources, Sedimentary geochemistry, Mineralogy, Khuzestan Province.