



گرد و غبار دیرینه و اقلیم‌شناسی

سمیرا زندی‌فر*

پیشگفتار

و تغییر مکان خطوط ساحلی است. به این دلیل نهشته‌های دریاچه‌ای باید به‌طور دقیق سانتی‌متر به سانتی‌متر مطالعه شوند تا بتوان به‌طور کامل محیط رسوبی آن را بازسازی کرد.

توزیع دانه‌های رسوبی در دریاچه‌ها در نتیجه تعاملات هیدرولیکی در حوضه رسوبی است، بنابراین می‌تواند به‌عنوان سندی مهم برای درک تغییرات هیدرولوژیکی و گردش جوی جهانی استفاده شود (Sun et al., 2001; Xiao et al., 2012). ویژگی‌های رسوب‌شناختی رسوبات دریاچه‌ای می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی درباره تغییرات سازوکار حمل‌ونقل و محیط رسوبی ارائه دهند. مطالعات ژئوشیمیایی مغزه‌های رسوبی تهیه شده از بستر دریاچه‌ها در کنار مطالعات کانی‌شناسی آنها می‌تواند به بازسازی و شناسایی تغییرات محیط رسوبی دیرینه کمک شایانی کند.

گرد و غبار در ایران

توفان‌های گرد و غبار، ایران را در چند سال اخیر به‌صورت بحرانی و جدی درگیر کرده و پیامدهای خطرناکی را برای ساکنین برخی نواحی به وجود آورده است. استان سیستان و بلوچستان به‌دلیل حاکمیت اقلیمی با درجه حرارت بالا و بارش اندک به‌ویژه در دوره وزش بادهای ۱۲۰ روزه، با خشکی فیزیکی محیط همراه است. به‌دلیل کاهش رطوبت خاک و وجود رسوبات

رسوبات دریاچه‌ای حاصل ته‌نشینی مواد حل شده، معلق و ذرات آواری کوچک اندازه در حوضه رسوبی هستند. منشأ رسوبات دریاچه‌ای از سنگ‌های بیرون‌زده و مجاور است که به‌وسیله رواناب‌ها (فصلی) به دریاچه حمل می‌شوند.

خشکیده در یک محیط دریاچه‌ای، امکان تغذیه توفان‌های گرد و غبار هم‌زمان با وزش بادهای در این منطقه فراهم می‌شود (شکل ۲). بنابراین با توجه به آثار منفی توفان‌ها، آگاهی از توزیع زمانی و ویژگی‌های توفان‌های گرد و غبار جهت کمی‌سازی این اثرات و شدت آسیب‌پذیری این پدیده بسیار مهم است. بیابان‌هایی که از ایران به افغانستان و پاکستان و در نهایت شمال غرب هندوستان امتداد یافته‌اند، منبع اصلی تولید گرد و غبار هستند (شکل ۳). یکی از این مناطق دشت کویر است

نگرانی‌های مربوط به گرم‌شدن کره زمین توجه علمی فراوانی را به رسوبات برای تعیین اقلیم دیرینه متمرکز کرده است. دریاچه‌هایی که در مرزهای زیست‌بوم آبی قرار دارند، به‌ویژه برای بازسازی ساختارهای اقلیمی مورد توجه هستند زیرا تغییرات کوچک در آب‌وهوا می‌تواند منجر به تغییرات بزرگ در محیط‌زیست و جوامع زیست‌شناختی آنها شود (Kimer, 1998). رسوبات دریاچه‌ای حاصل ته‌نشینی مواد حل شده، معلق و ذرات آواری کوچک اندازه در حوضه رسوبی هستند. منشأ رسوبات دریاچه‌ای از سنگ‌های بیرون‌زده و مجاور است که به‌وسیله رواناب‌ها (فصلی) به دریاچه حمل می‌شوند. امروزه، دریاچه‌ها فقط حدود یک درصد از سطح قاره‌های زمین و کم‌تر از ۰/۰۳ درصد از آب‌های موجود در هیدروسفر را پوشش می‌دهند، اما اهمیت زمین‌شناسی بسیار زیادی دارند. در واقع دریاچه‌ها، آزمایشگاه‌های طبیعی هستند که بسیاری از علوم درباره فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی رسوبات در آنها مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

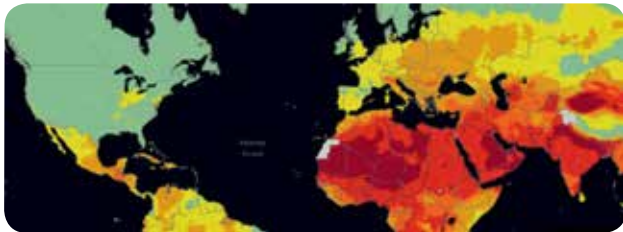
دریاچه‌ها حوضه بایگانی رسوبی از مواد محیط‌زیستی، شیمیایی و فیزیکی هستند که تحت تأثیر الگوهای متنوع تغییرات اقلیمی قرار گرفته‌اند (Pienitz et al., 1995; Rosen et al., 2000; Haung et al., 2004). یکی از مهم‌ترین دلایل

مطالعه رسوبات دریاچه‌ای اهمیت اقتصادی آنها است. از نظر اقتصادی، رسوبات دریاچه‌ای شامل کانی‌های تبخیری با ارزش و شیل‌های نفتی، همچنین مکان‌هایی برای تثبیت اورانیوم هستند. یکی از مهم‌ترین ویژگی دریاچه‌ها حساسیت آنها به اقلیم است. رسوبات قدیمی دریاچه‌ها احتمالاً بهترین شاخص‌های ما از اقلیم گذشته هستند. ویژگی مهم دیگر آنها، تغییر رخساره‌های رسوبی در جهت عمودی است (شکل ۱) که حاصل تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی آب‌های دریاچه‌ای

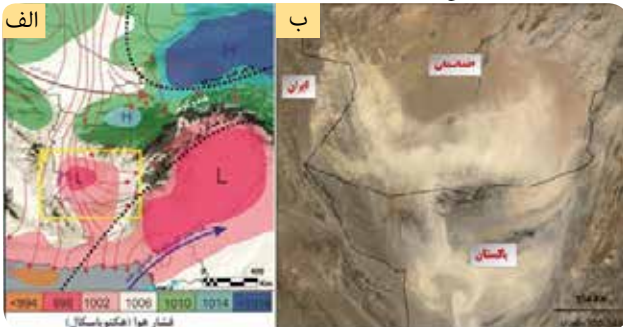
* استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: Zandifar@rifr.ac.ir



شکل ۲- بستر تالاب جازموریان



شکل ۳- مهم‌ترین منابع تولیدکننده گردوغبار با رنگ‌های تیره مشخص شده است.

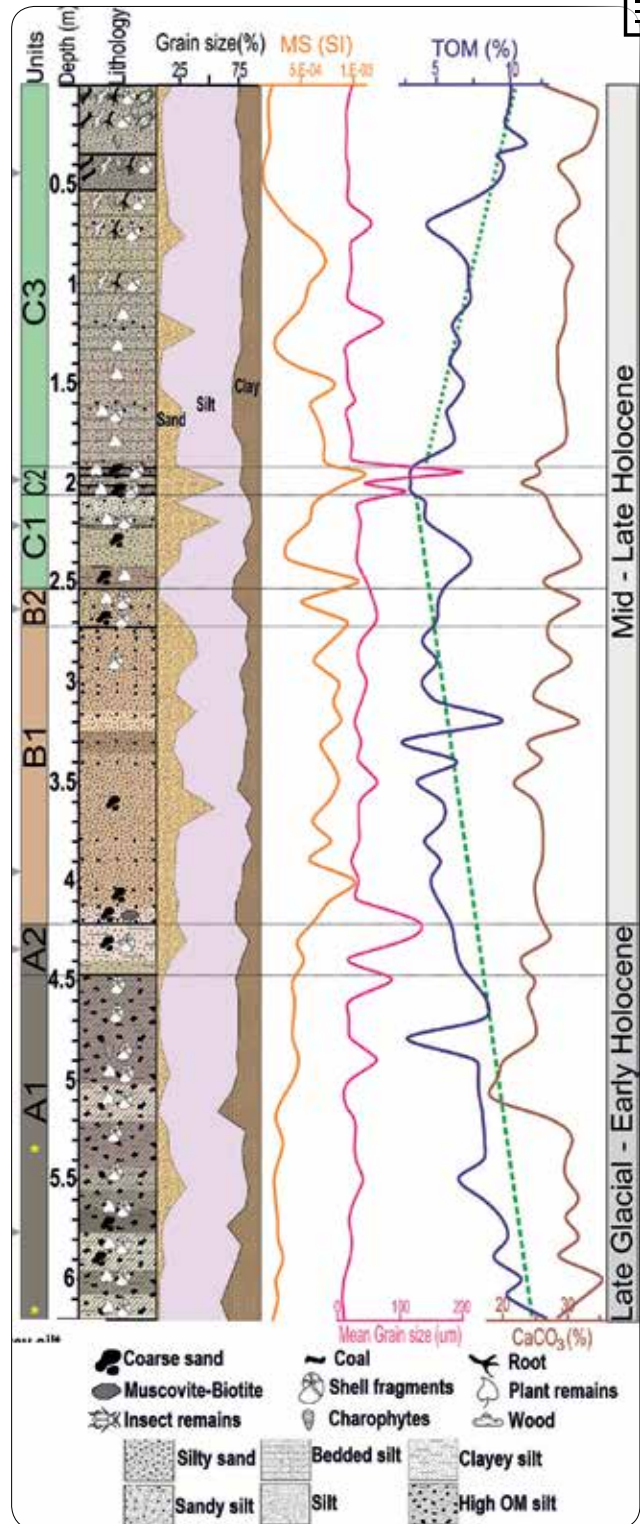


شکل ۴- الف) میانگین میزان فشار سطح دریا (هکتوپاسکال)، سامانه‌های اقلیمی و جهت وزش باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین در حوضه هیرمند و ارتفاعات شمالی آن در اواسط تابستان، H: مراکز پرفشار، L: مراکز کم‌فشار (حمزه و همکاران، ۱۳۹۶). ب) توفان گرد و غبار و ماسه در سیستان و شرق آن

کوه‌های سیستان از غرب و کوه‌های افغانستان از شرق را دریافت می‌کند. باتلاق‌ها و دریاچه‌های موقت در این ناحیه واقع شده‌اند. عمده گرد و غبار مشاهده شده در این منطقه از دریاچه‌های نمکی مانند هامون صابری و بخش‌هایی از دریاچه هامون و فرورفتگی زردکوه سرچشمه می‌گیرد (شکل ۴). در نواحی ساحلی مکران غلظت بالای گرد و غبار را می‌توان در مناطقی از جنوب شرقی ایران تا دلتای هند در امتداد جنوبی رشته کوه‌های مکران مشاهده کرد. گرد و غبار این منطقه با دریاچه نمکی خشک هامون جازموریان نسبت دارد.

قاره آسیا به دلیل وسعت زیاد و همراهی با توده‌های مختلف آب‌وهوایی، شرایط اقلیمی بسیار پیچیده‌ای در هولوسن را پشت سر گذاشته است. در آخرین دوره یخبندان، نواحی شرقی آسیا دچار خشکی زیادی شده و هیچ‌گونه دریاچه‌ای در آن زمان وجود نداشته است و رسوبات بادی و خشکی در منطقه برجای گذاشته شده است.

که مساحتی در حدود ۴۸۰۰۰ کیلومترمربع دارد و در حوضه‌ای در جنوب رشته کوه‌های البرز واقع شده است. بخش غربی این حوضه یکی از منابع مهم تولید گرد و غبار و شامل کانال‌های زهکشی، دریاچه‌های موقت و باتلاق‌ها است که بزرگ‌ترین آنها دریاچه نمک است. نواحی مرزی ایران با پاکستان رواناب‌های



شکل ۱- نمونه‌ای از تغییر رخساره‌های رسوبی در جهت عمودی (سنگ‌شناسی و رخساره‌ها و میزان نوع رسوبات به همراه ویژگی‌های رسوبی) (Hamzeh et al., 2016)

در آن زمان به دلیل کاهش دریافت انرژی خورشیدی توسط جو، مونسون زمستانه قوی تر و مونسون تابستانه ضعیف تر حاکم بوده است. با این حال اغلب نواحی فلات تبت و غرب چین در شرایطی مرطوب تر از شرایط کنونی واقع شده و دریاچه‌های خاورمیانه دارای میزان

سطح آبی بالاتر از شرایط کنونی بوده‌اند. همچنین کمربند مرطوبی از شرق مدیترانه در امتداد آسیای مرکزی تا غرب چین حضور داشته است (Chen et al., 2008). در اوایل هولوسن تا حدود ۷ هزار سال پیش در جنوب زاگرس منطقه خشکی حاکم بوده است و پس از آن رطوبت بیشتر شده و خاک تکامل بیشتری داشته است (Kehl et al., 2009). دوره‌های اقلیمی هولوسن آسیای خشک مرکزی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (Chen et al., 2008):

۱- دوره خشک‌تر از حال حاضر که در اوایل هولوسن قبل از ۸ هزار سال پیش حاکم بوده است.
۲- بیشترین میزان رطوبت همراه با بیشترین سطح آب دریاچه‌ها و فراوان‌ترین پوشش گیاهی در اواسط هولوسن بین ۴ تا ۸ هزار سال پیش حاکم بوده است.
۳- آغاز روند کاهش رطوبت (مرطوب‌تر از شرایط اوایل هولوسن) تا حدود ۱۵۰۰ سال پیش در بسیاری از نواحی این روند کاهش رطوبت پس از این دوره نیز ادامه داشته است. برعکس شرایط موجود در آسیای مرکزی خشک، در اوایل هولوسن، شرایط اقلیمی جنوب آسیا که تحت تأثیر مونسون قرار دارد، شرایط کاملاً مرطوب و از اواسط هولوسن به بعد دچار روند افزایش خشکی شده است. مطالعات اقلیم‌شناسی دیرینه هولوسن در ایران نادر، پراکنده و متمرکز روی کوه‌های زاگرس است (Kehl, 2009). بررسی‌های انجام شده در نواحی مرتفع مرکزی ایران و تهنشست‌های بادرقتی جنوب کشور، نشان می‌دهد که وضعیت اقلیمی خشک از دوره یخبندان تا هولوسن پیشین ادامه داشته و در شمال کشور و زاگرس در دوره یخبندان، شرایط اقلیمی، خشک و تا حدودی سرد بوده است (Kehl, 2009). احتمالاً در هولوسن پیشین درجه حرارت در منطقه افزایش و به دنبال آن، پوشش گیاهی استپی با جنگل‌های باز پسته و بلوط استقرار یافته است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴).

گرد و غبار یکی از پدیده‌های بسیار مهم جوی است که آثار و پیامدهای محیط‌زیستی نامطلوبی بر زندگی موجودات و به‌ویژه انسان‌ها بر جای می‌گذارد. یکی از فرایندهای مؤثر بر محیط‌زیست گرد و غبار بوده و نقش قابل توجهی در سیستم آب‌وهوای زمین و چرخه بیوشیمیایی جهانی دارد.

میکرومتر)، می‌توانند از جای خود بلند شده و توسط فرایند تعلیق حمل شود، آنها می‌توانند هزاران کیلومتر نسبت به منبع اولیه خود جابه‌جا شوند. براساس شواهد موجود گرد و غبار از قرن بیستم رو به افزایش بوده و باعث تغییرات آب‌وهوایی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی شده است (McConnell et al., 2007). در دنیا، مناطق

خشک نزدیک به یک سوم از جهان را در برمی‌گیرد و باعث انتقال ذرات گرد و غبار از این مناطق خشک به مناطق قطبی می‌شوند. براساس نرخ رسوبات دیرینه که در یخ‌های قطب جنوب به ثبت رسیده است، ورودی‌های گرد و غبار در طول قرن ۲۰ نسبت به قرن ۱۹، دو برابر شده است. این افزایش در غبار قطب جنوب، با تغییرات آب‌وهوایی در آمریکای جنوبی ارتباط دارد (McConnell et al., 2007). در سال‌های اخیر نگرانی‌های بسیاری در مورد تغییرات اقلیم در میان دانشمندان به وجود آمده است، از نظر آنها این تغییرات می‌تواند بر سیستم اجتماعی جهان مؤثر

باشد. گرد و غبار یکی از پدیده‌های بسیار مهم جوی است که آثار و پیامدهای محیط‌زیستی نامطلوبی بر زندگی موجودات و به‌ویژه انسان‌ها بر جای می‌گذارد. یکی از فرایندهای مؤثر بر محیط‌زیست گرد و غبار بوده و نقش قابل توجهی در سیستم آب‌وهوای زمین و چرخه بیوشیمیایی جهانی دارد (Jickells et al., 2005). گرد و غبار یک جریان مهم برای زیست‌بوم‌های مختلف در دنیا (Lawrence & Neff, 2009) و منبع مواد مغذی زیست‌شناختی برای بهره‌برداری در زمین (Soderberg & Compton, 2007) و اکوسیستم‌های آبرزی (Psenner, 1999) به شمار می‌رود. تأثیر رسوب گرد و غبار بر اکوسیستم بیوژئوشیمیایی را می‌توان در فرایندهای مختلفی مانند نفوذ آب و خاک سطحی در برابر اسیدی شدن (Hedin & Likens, 1996)، تغییر ماهیت فیزیکی و شیمیایی خاک (Simonson, 1995) و تأثیر بر میزان بارش برف مشاهده کرد. برخی از اجزای گرد و غبار مانند آهن، نقش مهمی در رشد فیتوبلانکتون در دریاها ایفا می‌کنند، همچنین می‌تواند روی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، چرخه CO₂ جهانی و میزان فتوسنتز مؤثر باشند (Jickells et al., 2005). در جهان امروز عواملی همچون رشد روزافزون جمعیت و بهره‌برداری نادرست از خاک می‌تواند موجب ورود خسارت‌های بسیار زیادی به منابع خاک در طبیعت شود و بیش از یک سوم کل دنیا در معرض فرسایش شدید بادی قرار بگیرند و باعث تولید گرد و غبار شوند.

گرد و غبار دیرینه در ایران

اقلیم فلات ایران واقع در جنوب غربی آسیا متأثر از برخورد بادهای تابستانه موسمی اقیانوس هند (IOSM)، عرض متوسط غربی (MLW) و بادهای شمالی سبیری است (Sharifii et al., 2015; Hamzeh et al., 2016). شدت و تغییرات این الگوهای اتمسفری به‌طور چشمگیری باعث تغییرات اقلیمی و سیستم هیدرولوژیکی از زمان پلیستوسن

گرد و غبار در اقلیم‌شناسی

به ذرات خاک با قطر کمتر از ۰/۶ میلی‌متر گرد و غبار می‌گویند؛ با این حال، ذراتی با اندازه کوچک‌تر از یک میلی‌متر (۱۰۰۰



	Eon	Era	Period	Epoch	
Younger ↑ Older ↓	Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	← Today
				Pleistocene	← 11.8 Ma
			Neogene	Pliocene	
				Miocene	
				Oligocene	
			Paleogene	Eocene	
				Paleocene	← 66 Ma
				Cretaceous	~
				Jurassic	~
				Triassic	~
		Paleozoic	Permian	~	← 252 Ma
				Carboniferous	~
			Pennsylvanian	~	
				Mississippian	~
			Devonian	~	
			Silurian	~	
			Ordovician	~	
			Cambrian	~	
		Proterozoic	-	-	← 541 Ma
Archean	-	-	← 2.5 Ga		
Hadean	-	-	← 4.0 Ga ← 4.54 Ga		

شکل ۵- دیاگرام زمان-زمین‌شناسی دوره‌های مختلف تاریخچه زمین

ترکیب عناصر و کانی‌شناسی، مطالعات میکروسکوپ الکترونی و ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن به بازسازی محیط رسوبی پرداخته می‌شود. این مطالعات می‌تواند به شناخت ویژگی‌های گرد و غبار که یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آلودگی در منطقه است کمک شایانی کند تا بتوان به کمک آن راهکار مقابله با این آلودگی را کشف کرد. به علاوه، این تحقیقات می‌تواند ابزار مفیدی برای ایجاد ارتباط بین تغییرات محیط دیرینه و پیشرفت جوامع انسانی در طی تاریخ در مناطق مورد مطالعه باشد.

ثبت اطلاعات گذشته زمین اغلب در رسوبات انجام می‌شود. خوشبختانه ایران با داشتن دریاچه‌ها، آبگیرها و پلایاهای فراوان یکی از مستعدترین مناطق برای بررسی و شناسایی اتفاقات آب‌وهوایی، دوره ترسالی و خشک‌سالی رخ داده در گذشته است. در این راستا، می‌توان با نمونه‌برداری مغزه‌های رسوبی (شکل ۶) تا عمق چندین متر (بسته به سرعت رسوب‌گذاری در منطقه) و استفاده از آزمایشات لازم، دوره‌های آب‌وهوایی خشک و بارانی را، بررسی و تجزیه و تحلیل کرد. با توجه به ویژگی‌های مرفولوژیکی، حوضه جازموریان (ارتفاع کم و ملایم، نبود پوشش گیاهی در سطح پلایا)، شرایط اقلیمی خاص (خشک و بیابانی بودن منطقه و وجود سیستم بادهای قوی) و نیز ویژگی‌های رسوب‌شناسی (دانه‌ریز بودن ذرات که بیشتر در اندازه سیلت ریز تا رس (شکل ۷)، سست و جدا بودن ذرات، وجود شبکه گسترده ترک‌های گلی در سطح رسوبات که فرسایش بادی را تسریع می‌کند (شکل ۸)، این حوضه و به‌ویژه پلایای جازموریان منشأ مهم رسوبات بادی و توفان‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران و حتی جنوب آسیا است. میزان کانی‌های آواری و تبخیری در رسوبات پلایا در بازسازی شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه هیدرولوژی محیط‌های دیرینه بسیار کاربرد

شده است (Clift & Plumb, 2008)، برای مثال، از اواسط تا اواخر هولوسن مشارکت منطقه هم‌گرایی گرمسیری درونی (ITCZ) و بادهای موسمی تأثیر شدیدی بر الگوی اقلیمی داشته است (Staubwasser & Weiss, 2006;) (Sharifi *et al.*, 2015). تغییرات در دینامیک سیستم رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تأثیر اقلیم نیمه‌گرمسیری باعث شکل‌گیری سیستم زون‌های زیستی-اقلیمی در فلات ایران شده است (Kehl, 2009; Bayat *et al.*, 2017).

مطالعات محیط‌های رسوبی دیرینه متعلق به پلیستوسن بالایی (شکل ۵) در ایران محدود به کوه‌های زاگرس واقع در بخش غربی فلات ایران است. این مطالعات بیشتر روی سیستم دریاچه‌ای، به‌ویژه بازسازی تغییرات محیطی، با استفاده از

ویژگی‌های پالینولوژیکی، ایزوتوپی و دریاچه‌شناسی تأکید دارد از جمله تور (Sharifi *et al.*, 2015)، ارومیه (Djamali *et al.*, 2008)، میرآباد و زریبار (Stevens *et al.*, 2001, 2006). متأسفانه اکثر این مطالعات محدود به عدم قطعیت زمان زمین‌شناسی (chronology) بوده که منجر به ایجاد یک دید محدود به تغییرات اقلیم دیرینه در منطقه جنوب شرق ایران شده است (Kehl, 2009; Nicoll & Küçükuysal, 2013). در حقیقت، جای خالی مطالعه اقلیم دیرینه در منطقه خشک تا نیمه‌خشک شرق و جنوب شرق ایران به چشم می‌خورد. از آنجایی‌که آثار کشاورزی و تمدن مربوط به عصر برنز در جنوب شرق ایران کشف شده است این موضوع دلالت بر شرایط مطلوب آب‌وهوایی جهت کشاورزی در این منطقه خشک و بایر دارد. در نتیجه، بررسی دقیق اقلیم دیرینه با استفاده از ابزارهای مختلف کمک به بازسازی بهتر تغییرات اقلیم دیرینه و تأثیرات محیطی آن بر فلات ایران خواهد کرد. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی نمی‌تواند تنها منحصر به تجزیه و تحلیل شرایط اقلیمی عهد حاضر باشد، بلکه باید به شناسایی دقیق زمان، چگونگی و دلایل این تغییرات در طول زمان پرداخت. اقلیم‌شناسی دیرینه (Paleoclimatology) شامل مطالعه اقلیم در هر قسمت از تاریخ زمین است که از این میان، مطالعه تغییرات کواترنری و به‌ویژه هولوسن که ارتباط بیشتری با شرایط اقلیمی کنونی زمین دارد و در آن شواهد زیست‌شناختی انسانی با تغییرات اقلیمی ارتباط دارد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (حمزه، ۱۳۹۵). در این مطالعات با استفاده از آنالیز اندازه ذرات،



شکل ۶- مغزه‌گیری از رسوبات جازموریان و آماده‌سازی آنها جهت انتقال به آزمایشگاه

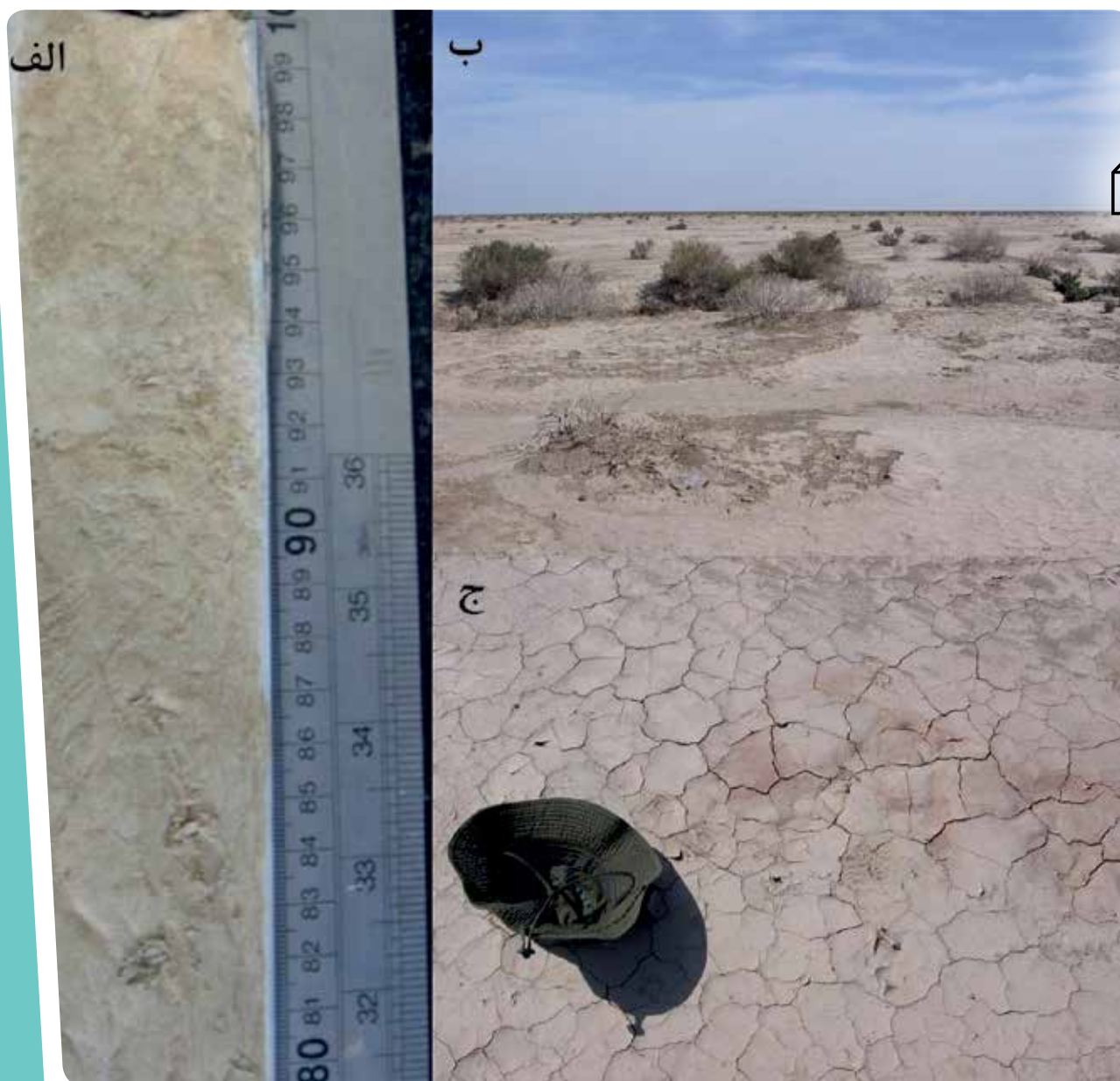


شکل ۷- تصویر تهیه شده از رسوبات مورد مطالعه توسط بینوکولار (تفاوت در اندازه دانه‌ها در تصویر به خوبی مشهود است).

رسوبی مختلفی تقسیم شده است. در یک متر انتهایی مغزه رسوبات کاملاً یکتواخت و بسیار ریزدانه هستند که نشان‌دهنده یک محیط رسوبی کم انرژی است. نمودار توزیع فراوانی اندازه ذرات رسوبی نشان می‌دهد که انرژی و فرسایش در محیط کم است. پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری شده نیز کمترین مقدار را نسبت به ۴ متر اول مغزه دارا است که گواهِ بر میزان کم انتقال رسوبات آواری به حوضه است که این امر به‌نوبه خود مبین اثر کم باد است. بنابراین مجموعه داده‌های رسوب‌شناسی در کنار نرخ بسیار پایین رسوب‌گذاری در

دارد. کوارتز نسبت به هوازدگی فیزیکی و شیمیایی بسیار مقاوم است و می‌تواند در فاصله‌های طولانی جابه‌جا شود. از این رو، کوارتز به‌عنوان شاخص فرسایش در حوضه آبریز در نظر گرفته شده است. برای مثال کانی ایلیت زمانی ظاهر می‌شود که محیط مرطوب باشد و شرایط آب‌قلیایی باشد. در چنین محیطی غلظت‌های Al و K در آب نسبتاً بالا است. ایلیت همچنین در شرایطی که تبخیر بیش از میزان بارش (شرایط گذر از دوره‌های خشک به مرطوب و برعکس) باشد نیز ظاهر می‌شود (Rahimpour-Bonab & Abdi, 2012). افزایش مقادیر Al در رسوبات نشان‌دهنده افزایش فرسایش و در نتیجه ورود بیشتر مواد آواری به محیط است. Al در طی هوازدگی و دیاژنز نسبتاً بدون تغییر است و معمولاً به‌عنوان عاملی مناسب برای بهنجار کردن عناصر کمیاب محسوب می‌شود. این نسبت‌ها به‌نوبه خود منعکس‌کننده تغییرات در میزان فرسایش و نرخ تبخیر در حوضه آبریز هستند. در پلایای جازموریان رسوبات در طی زمان به وسیله هر دو فرایند آبی و بادی نهشته شده‌اند. به‌طور کلی، در دوره‌های مرطوب ورود رسوبات بادی به محیط پلایا کاهش می‌یابد، در نتیجه شاخص‌های میزان ورود گرد و غبار (به‌عنوان مثال Ti/Al ، Si/Al و نسبت Zr/Al) در رسوبات کاهش می‌یابد (Martinez-Ruiz et al., 2015).

بر اساس تغییرات رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی مغزه رسوبی جازموریان (با طول ۵ متر) از اواخر پلیستوسن به واحدها و زیرواحدهای



شکل ۸- الف) ۲۰ سانتی متری نخست مغزه، ب و ج) شبکه گسترده‌ای از ترک‌های گلی در سطح رسوبات تالاب جازموریان

سال پیش نشانگر میزان بالای انتقال رسوبات آواری به حوضه است و قدرت یافتن فرایندهای فرسایشی در این بازه زمانی است (Thompson & Morton, 1979). توزیع فراوانی اندازه رسوبات در بازه ۱۳ تا ۱۲/۷ هزار سال پیش نشان می‌دهد که منابع مختلفی در نهشته شدن رسوبات در پلایای جازموریان در این زمان نقش داشته‌اند. افزایش قابل توجهی در ورود رسوبات بادی درشت‌دانه (افزایش قابل توجه Zr/Al و Ti/Al) یکی دیگر از واقعیت‌هایی است که نشان می‌دهد در این دوره فعالیت باد و به دنبال آن گردو خاک زیاد بوده است. شرایط خشک همچنین به وسیله حضور کانی‌های با قابلیت محلولیت بالا مانند منیزیم و سولفات سدیم (مثل بلودیت) در فازهای نهایی تبخیر، زمانی که مقدار آب

این قسمت، نشان‌دهنده یک محیط کم انرژی و خاموش در تالاب جازموریان است. به‌طور کلی، در محیط‌های کم انرژی ورود رسوبات بادی به محیط پلایا کاهش می‌یابد در نتیجه شاخص‌های میزان ورود گرد و غبار (به‌عنوان مثال Si/Al ، Ti/Al و نسبت Zr/Al) در رسوبات کاهش می‌یابد (Martinez-Ruiz et al., 2015). بنابراین با توجه به مقادیر کوچک نسبت‌های Si/Al و Zr/Al ، Ti/Al در رسوبات پلایای جازموریان، فعالیت و انرژی باد در این بازه زمانی بسیار کم بوده است. با این حال، اکثر شاخص‌های ژئوشیمیایی در دو بازه زمانی کوتاه در حدود ۱۹ هزار سال پیش و ۱۶/۸ هزار سال پیش، ورودی گرد و غبار بالاتری را ثبت کرده‌اند (Vaezi, 2019).

بالاترین نرخ رسوب‌گذاری در کنار میزان بالای ماسه، همچنین مقادیر بالای خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی بین ۱۳/۲ تا ۱۱/۵ هزار

نمک بعد از تبخیرهای متوالی کاهش می‌یابد، رسوب می‌کنند (Sinha et al., 2006). بنابراین افزایش میزان کانی‌های تبخیری (میزان بالای بلودیت در رسوبات) در کنار مقادیر بالای Rb/K بیانگر افزایش میزان تبخیر و در نتیجه شرایط خشک در پلائیای جازموریان در این دوره است. وجود شرایط بسیار مرطوب در فرونشست جازموریان در ابتدای هولوسن توسط آنالیزهای مختلف رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی پشتیبانی می‌شود. حداکثر میزان بارندگی در حوضه آبریز جازموریان بین ۹/۶ تا ۱۱/۴ هزار سال پیش اتفاق افتاده است که با افزایش قابل توجه در ورود رسوبات رودخانه‌ای (مقادیر بزرگ‌تر K/Al) در کنار میزان بسیار کم رسوبات بادی (مقادیر کوچک Zr/Al، Si/Al و Ti/Al) همراه است (Vaezi, 2019).

بین ۴ تا ۹/۴ هزار سال پیش میزان ماسه و مقادیر خاصیت پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از توالی پیشین است. حضور رسوبات بسیار ریزدانه احتمالاً نشانگر انرژی بسیار کم باد در پلائیای جازموریان در این بازه زمانی است. در این زمان (در طول انتهای هولوسن آغازین و هولوسن میانی) دوره‌های شدید خشک‌سالی (مقادیر بالای Zr/Al، Ti/Al، Si/Al و Rb/K) اما با دوره بازگشت طولانی دیده می‌شود. احتمالاً به دلیل کاهش میزان دریافت اشعه تابستانی خورشید که باعث تضعیف مونسون تابستانه اقیانوس هند شده است (Vaezi, 2019). یکی از این خشک‌سالی‌های شدید در حدود ۸/۲ هزار سال پیش با افزایش قابل توجه میزان گرد و غبار (مقدار بسیار زیاد Zr/Al) و کاهش قابل توجه در ورودی رسوبات رودخانه‌ای (مقدار کم K/Al) و افزایش قابل توجه میزان تبخیر (مقدار بسیار زیاد Rb/K) در پلائیای جازموریان اتفاق افتاده است. این شواهد اقلیمی احتمالاً به کاهش ناگهانی دمای سطح آب اقیانوس اطلس و به تبع آن کاهش شدت مونسون تابستانه اقیانوس هند (Dixit et al., 2014) (IOSM) مربوط است و تأییدی بر تأثیر مستقیم آب‌های شیرین اقیانوس اطلس بر شدت سامانه‌های مونسونی است. بین ۵ تا ۴/۷ هزار سال پیش شواهد ژئوشیمیایی نشان‌دهنده کاهش ورود رسوبات بادی به پلائیای جازموریان و افزایش ناگهانی بارندگی است. این دوره با دوره کاهش ورود گرد و غبار به دریاچه ثور همخوانی دارد (Sharifi et al., 2015). با این حال بلافاصله پس از این دوره مرطوب، دوره خشکی از ۴/۵ تا ۴/۲ هزار سال پیش در پلائیای جازموریان آغاز می‌شود که به وسیله مقادیر نسبتاً بالای Zr/Al، Ti/Al و Si/Al و Rb/K قابل شناسایی است.

چنانچه در کنار این مطالعات، بررسی‌های تمدن انسانی نیز انجام شود، نشان خواهد داد که این رویدادها چه تأثیری بر زندگی، فرهنگ و تمدن بشری در ایران داشته‌اند. با توجه به حضور تمدن‌های وسیع در بخش‌های جنوب و جنوب‌شرق ایران، چنین بررسی‌هایی در این مناطق اهمیت دوجندانی خواهند داشت.

این بررسی‌ها توانایی پیش‌بینی علت، زمان، چگونگی و تأثیر این توفان‌ها در آینده و تمدن‌های در معرض خطر را فراهم خواهند ساخت و بدین‌وسیله علاوه بر ارتقای دانش کشورمان در خصوص تغییرات آب‌وهوایی، از هدررفت بخش وسیعی از سرمایه‌های کشور جلوگیری خواهد شد. نتایج این مطالعه علاوه بر شناخت تغییرات آب‌وهوایی، توانایی کشور را در درک تغییرات محیطی و در نتیجه پدافند غیرعامل افزایش خواهد داد. از جمله سؤالاتی که می‌توان در این مطالعات به آنها پاسخ گفت عبارتند از:

- ۱- توفان‌های قدیمی در بخش‌های مختلف در چه زمان‌هایی ایجاد و گسترش داشته‌اند؟
- ۲- نتایج حاصل از جابه‌جایی این رسوبات بر منابع آبی منطقه چگونه بوده است؟
- ۳- تغییرات اقلیم دیرینه و منابع آبی چه تأثیری بر تشکیل این توفان‌ها داشته است؟
- ۴- بر خاستگاه رسوبات این توفان‌ها چه منطقه یا مناطقی بوده است؟
- ۵- این توفان‌ها چه تأثیری بر تمدن انسانی در منطقه داشته است؟

منابع

- حمزه، م. ع.، ۱۳۹۵. بازسازی شرایط محیطی و اقلیمی دیرینه جنوب شرقی ایران با استفاده از رسوب‌شناسی هولوسن دریاچه هامون. پایان‌نامه مقطع دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۱۰ ص.
- درجانی، ز.، ۱۳۹۶. منشأ ریزگردهای معلق در ایران، انتقال آنها و تأثیرشان بر منطقه. چهارمین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، ۱۴ تیر ۱۳۹۶، ۱۳۸۰-۱۳۷۳.
- Bayat, O., Karimi, A. and Khademi, H., 2017. Stable isotope geochemistry of pedogenic carbonates in loess-derived soils of northeastern Iran: Paleoenvironmental implications and correlation across Eurasia. *Quaternary International*, 429: 52-61.
- Brauer, A., Endres, C. and Negendank, K.F.W., 1999. Late glacial calendar year chronology based on annually laminated sediments from Lake Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary International*, 61: 17-25.
- Chen, F. H., Yu, Z., Yang, M., Ito, E., Wang, S. and Madnes, D. B., 2008. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. *Quaternary Science Reviews*, 27(3-4): 351-364.
- Clift, P. D. and Plumb, R. A., 2008. *The Asian monsoon: causes, history and effects*. Cambridge University Press, Cambridge, 270 p.
- Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Shah-hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhiani, H., Leroy, S.A., Stevens, L., Lahijani, H. and Brewer, S., 2008. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. *Quaternary Research*, 69: 413-420.
- Hamzeh, M. A., Mahmudy Gharaie, M. H., Alizadeh Ketek Lahijani, H., Djamali, M., Moussavi Harami, R. and Naderi Beni, A., 2016. Holocene hydrological changes in SE Iran, a key region between Indian Summer Monsoon and Mediterranean winter precipitation zones, as revealed from a lacustrine sequence from Lake Hamoun. *Quaternary International*, 408: 25-39.

- significance to soils. *Geoderma*, 65(1–2): 1–43.
- Sinha, R., Smykatz-Kloss, W., Stüben, D., Harrison, S. P., Berner, Z. and Kramar, U., 2006. Late Quaternary palaeoclimatic reconstruction from the lacustrine sediments of the Sambhar playa core, Thar Desert margin, India. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 233: 252–270.
- Soderberg, K. and Compton, J. S., 2007. Dust as a nutrient source for southeastern Utah ecosystems. *Ecosystems*, 9: 1–17.
- Soderberg, K. and Compton, J. S., 2007. Dust as a nutrient source for Fynbos ecosystems, South Africa. *Ecosystems* 10, 550–561.
- Staubwasser, M. and Weiss, H., 2006. Holocene Climate and Cultural Evolution in Late Prehistoric–Early Historic West Asia. *Quaternary Research*, 66: 372–387.
- Sun, J., Zhang, M. and Liu, T., 2001. Spatial and temporal characteristics of dust stor (MS) in China and its surrounding regions, 1960–1999: relations to source area and climate. *Journal Geophysical Research*, 106: 10325–10333.
- Tanak, T. Y. and Chiba, M., 2006. A numerical study of the contribution of dust source regions to the global dust budget. *Global and Planetary Change*, 52: 88–104.
- Thompson, R. and Morton, D. J., 1979. Magnetic susceptibility and particle-size distribution in Recent sediments of the Loch Lomond drainage basin. *Scotland Journal Sediment Research*, 49: 801–811.
- Vaezi, A., Ghazban, F., Tavakoli, B., Routh, J., Naderi Beni, A., Bianchi, T. S., Curtis, J. H. and Kylin, H., 2018. A Late Pleistocene–Holocene multiproxy record of climate variability in the Jazmuriyan playa, southeastern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 15: 754–767.
- Xiao, J., Chang, Z., Fan, H., Zhou, L., Xhai, D., Wen, R. and Qin, X., 2012. The link between grain-size components and depositional processes in a modern clastic lake. *Sedimentology*, 59: 1050–1062.
- Zhang, X. Y., Gong, S. L., Zhao, T. L., Arimoto, R., Wang, Y. Q. and Zhou, Z. J., 2003. Sources of Asian dust and role of climate change versus desertification in Asian dust emission. *Geophysical Research Letters*, 30(24): 2272.
- Zhang, X. Y., Gong, S. L., Shen, Z. X., Mei, F. M., Xi X. X., Liu, L. C., Zhou, Z. J., Wang, D., Wang, Y. Q. and Cheng, Y., 2003b. Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: network observations. *Journal Geophysical Research*, 108(D9): 4261.
- Hedin, L. O. and Likens, G. E., 1996. Atmospheric dust and acid rain. *Scientific American*, 275(6): 88–92.
- Huang, X. Z., Chen, F. H., Fan, Y. X. and Yang, M. L., 2009. Dry late-glacial and early Holocene climate in arid central Asia indicated by lithological and palynological evidence from Bosten Lake, China. *Quaternary International*, 194(1–2): 19–27.
- Jickells, T., 1995. At atmospheric inputs of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects. *Marine chemistry*, 48 (3–4): 199–214.
- Kehl, M., 2009. Quaternary climate change in Iran—the state of knowledge. *Erdkunde*, 63(1): 1–17.
- Kirner, C., 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115: 445–59.
- Lawrence, C. L. and Neff, J. C., 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition, *Chemical Geology*, 267: 46–63.
- Martinez-Ruiz, F., Kastner, M., Gallego-Torres, D., Rodrigo-Gámiz, M., Nieto-Moreno, V. and Ortega-Huertas, M., 2015. Paleoclimate and paleoceanography over the past 20,000 yr in the Mediterranean Sea Basins as indicated by sediment elemental proxies. *Quaternary Science Reviews*, 107: 25–46.
- McConnell, J. R., Aristarain, A. J., Banta, J. R., Edwards, P. R. and Simões, J. C., 2007. 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(14): 5743–5748.
- Nicoll, K. and Küçükuysal, C., 2013. Emerging multi-proxy records of Late Quaternary Palaeoclimate dynamics in Turkey and the surrounding region. *Turkish Journal Earth Sciences*, 22: 126–142.
- Pienitz, R., Smol, J. P. and Birks, H. J. B., 1995. Assessment of freshwater diatoms (TOM) as quantitative indicators of past climatic change in the Yukon and Northwest Territories, Canada. *Paleolimnology*, 13: 21–49.
- Psenner, R., 1999. Living in a dusty world: Airborne dust as a key factor for alpine lakes, *Water Air Soil Pollution*, 112(3–4): 217–227.
- Rahimpour-Bonab, H. and Abdi, L., 2012. Sedimentology and origin of Meyghan lake/playa deposits in Sanandaj–Sirjan zone, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 27: 375–393.
- Rea, D. K. and Leinen, M., 1988. Asian aridity and the zonal westerlies: Late Pleistocene and Holocene record of eolian deposition in the northwest Pacific Ocean. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.*, 66 (1–2): 1–8.
- Rosen, P., Hall, R., Korsman, T. and Renberg, I., 2000. Diatoms (TOM) transfer functions for quantifying past air temperature, pH and total organic carbon concentration from lakes in northern Sweden. *Paleolimnology*, in press.
- Shao, Y., 2008. *Physics and Modelling of Wind Erosion*. Springer, 147p.
- Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E. A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L. C., Aichner, B., Feakins, S. J., Daryaei, T., Djamali, M., Beni, A. N., Lahijani, H. A. K. and Swart, P. K., 2015. Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization?. *Quaternary Science Reviews*, 123: 215–230.
- Simonson, R., W., 1995. Airborne dust and its