

کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان

حبیبه عطاپور^۱

استادیار، بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳

چکیده

رسوبات بادی کواترنری در بخش جنوبی و دامنه‌های ارتفاعات شمالی و خاوری شهر کرمان گسترش دارند. مهم‌ترین ساختار رسوبات، لایه‌بندی متقاطع و ریپل مارک است. قطر رسوبات بادی از ۰/۰۶ تا ۲ میلی‌متر متغیر است و میان‌لایه‌هایی از رسوبات رودخانه‌ای (آبرفتی) درشت‌دانه (گراول) در میان آنها دیده می‌شود. سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی رسوبات بادی نشانگر حضور قطعات سنگی (۳۰ درصد سنگ‌های رسوبی کربناتی، ۲۵ درصد آذرین و ۵ درصد دگرگونی) و کانی‌های سیلیکاتی (۱۵ درصد) و غیرسیلیکاتی (۲۵ درصد) است. کانی‌های رسوبات شامل کلسیت (۱۰ درصد)، کوارتز و جرت (۱۲ درصد)، فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلاز (۵ درصد)، اکسیدهای آهن (۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۲ درصد)، آمفیبول (۱ درصد) و ژپس (۵ درصد) است. محاسبه کانی‌های نورماتیو در رسوبات بادی ۳۰ درصد کلسیت، ۱۵/۴ درصد کوارتز، ۱۲/۵ درصد ارتوز، ۱۰ درصد آلپیت، ۲/۵ درصد آنورتیت، ۲ درصد دیوپسید، ۱ درصد انستاتیت، ۴/۶ درصد کانی‌های رسی، ۳/۳۷ درصد آپاتیت، ۳ درصد ژپس، ۳ درصد هماتیت، ۰/۴۵ درصد بروکیت و ۱۰ درصد دولومیت را نشان می‌دهد. تجزیه شیمیایی ۲۲ نمونه از رسوبات بادی با روش XRF و ICP-OES نشان‌دهنده فراوانی اکسید کلسیم و کمبود سیلیس نسبت به رسوبات بادی مناطق دیگر دنیا است و روند یکسانی نسبت به رسوبات بادی عراق، عربستان، مکزیک و نامیبیا نشان می‌دهد. نمودارهای K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 و تغییرات نسبت SiO_2/Al_2O_3 در برابر Na_2O/K_2O و Fe_2O_3/K_2O بیانگر منشأ ماسه‌های بادی از سنگ‌های آذرین، رسوبی کربناتی و دگرگونی است.

کلیدواژه‌ها: رسوبات بادی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، شهر کرمان.

نویسنده مسئول: حبیبه عطاپور

E-mail: atapour@uk.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

رسوبات بادی در بخش‌های مختلف محدوده شهری کرمان به‌ویژه در جنوب شهر گسترش دارند و در برخی از مناطق با نام منابع شن و ماسه شناخته می‌شوند. مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات بادی و بررسی اهمیت اقتصادی آنها با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی می‌تواند پنجره جدیدی به روی منابع گسترده کویر ایران بگشاید. این نوع بررسی‌ها در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است (Awadh, 2012; Moufti, 2013; Kasper-Zubillaga et al., 2013; Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Rui, 2007; Svendsen et al., 2007). در برخی از مناطق، رسوبات بادی به عنوان ذخایر اقتصادی و مواد اولیه در صنایع مختلف از جمله شیشه‌سازی و ریخته‌گری به کار گرفته شده است (Chapman, 2001). ویژگی‌های زمین‌شناسی و منشأ ماسه‌های بادی در ایران توسط امینی و همکاران (۱۳۹۲) در شرق بابلسر، Mashhadi et al. (2007) در منطقه خارتوران (در استان‌های خراسان رضوی و سمنان)، Eslamizadeh et al. (2010) در بافق یزد، (Jahani et al. (2011) در منطقه گرمسار، Farahi et al. (2013) در تاسوکی (جنوب خاوری سیستان) و (Rahdari et al. (2014) در منطقه کاشان بررسی شده است. اولین مطالعه رسوبات و خاک پیرامون محدوده شهری کرمان توسط حمزه (۱۳۸۵) صورت گرفته است. Rahman-Rad et al. (2010) بر پایه مطالعات ژئوتکنیکی، فراوانی کانی‌های رسی و اهمیت آنها از دید مهندسی و حضور نمک را در خاک کرمان گزارش کرده‌اند. Hamzeh et al. (2011) آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسان‌زاد را در محدوده شهری کرمان مطالعه کرده‌اند. همچنین Aminzadeh Bazanjani et al. (2013) ضمن مطالعه کانی‌شناسی و ساختار میکروسکوپی رسوبات حاشیه شهر کرمان، ترکیب خاک منطقه را تا ژرفای ۳۰ متری شامل کانی‌های رسی (آلیت، کلریت، اسمکتیت و هالوزیت) و کلسیت دانسته است. با وجود این بررسی‌های ارزنده، مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در رسوبات بادی کرمان تا کنون انجام نشده، بنابراین از اولویت‌ها و اهداف این مقاله است.

۲- موقعیت جغرافیایی و ریخت‌شناسی

منطقه مورد مطالعه، حاشیه شهر کرمان، در محدوده طول جغرافیایی $30^{\circ} 52' 56''$ تا $30^{\circ} 07' 30''$ و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 22' 30''$ تا $30^{\circ} 07' 30''$ شمالی به وسعت بیش از ۶۰۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۷) نشان می‌دهد که دوره‌های خشک هواشناسی در سال‌های ۴۱-۴۲ و ۵۳-۵۲، ۶۴-۶۳ و ۷۱-۷۰ ثبت شده و از سال ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به بعد نیز منطقه در آستانه یک دوره خشک قرار گرفته که تا پایان سال آبی ۸۳-۸۲ ادامه داشته است. از سال ۸۴-۸۳ مقدار بارندگی بیشتر از متوسط (۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر) بوده است و در سال‌های ۳۶-۳۵ تا ۴۱-۴۰ و ۷۱-۷۰ و ۷۶-۷۷ دوره‌های ترسالی هواشناسی به شمار می‌رود. همچنین بر پایه گزارش سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۴) و نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی، شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۷۹ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷ روی داده و تا سال ۱۳۹۴ در استان کرمان به ویژه در شمال کرمان ادامه داشته است.

شرایط اقلیمی بیابانی و نیمه‌بیابانی و آب‌وهوای کم‌باران و خشک در استان کرمان سبب شده تا بیش از ۵۶۰۰۰ کیلومتر مربع (معادل ۳۰ درصد) از زمین‌های آن را کویر و بیابان تشکیل دهد که یا بدون پوشش گیاهی است و یا دارای گیاهان و بوته‌هایی است که توانسته‌اند خود را با شرایط اقلیمی این منطقه تطبیق دهند. بادهای کرمان بیشتر از نوع موسمی خشک هستند و سوی وزش آنها بیشتر از جنوب باختری به شمال خاوری و خاور است و بیشتر در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت می‌وزند (سازمان برنامه و بودجه استان کرمان، ۱۳۷۴ الف و ب).

حاشیه شهر کرمان بیشتر از رسوبات آبرفتی و دشت‌های سیلتی - رسی (شمال) و دشت‌های ماسه‌ای (جنوب) پوشیده شده است. ارتفاعات حاشیه شهر کرمان، شامل کوه‌های صاحب‌الزمان در بخش خاوری و کوه سعیدی و رخنمون‌های آهکی در شمال و شمال خاوری است. ارتفاعات یاد شده در بخش خاوری مانند دیواری شهر را در بر گرفته و مانع گسترش آن شده است. در حالی که گسترش شهر از سوی باختر و جنوب باختری رو به افزایش است. از مهم‌ترین پدیده‌های ریخت‌شناسی

کرتاسه زیرین تشکیل شده است (Huckriede et al., 1962; Rahimzadeh, 1983; Dimitrijevic, 1973). زمان نهشته شدن کنگلومرای کرمان بر پایه مطالعات سیدامامی (۱۳۵۱)، (Ruttner et al. (1968)، Stocklin et al. (1965) و Reyer and Mohafez (1972) پالئوسن و از دیدگاه Huckriede et al. (1962) سن بخشش از آن کرتاسه است. Dimitrijevic (1973) و آقائباتی (۱۳۸۵) نیز سن بخش پایینی و ریزدانه را کرتاسه پسین می‌دانند.

واحدهای رسوبی پلیوسن - پلیوستوسن بیشتر از کنگلومرا، ماسه‌سنگ با جورشدگی ضعیف و مارن تشکیل شده و به‌طور دگرشیب روی واحدهای کرتاسه بالایی قرار گرفته است (Huckriede et al., 1962). واحدهای رسوبی کواترن عبارتند از:

الف) دشت‌هایی که بیشتر از شن، ماسه، سیلت و به ندرت قطعات بزرگ‌تر تشکیل شده است و ستبرای کل آنها گاه به ۲۰۰ متر می‌رسد.

ب) دق‌های سیلتی - رسی که معمولاً از ذرات بسیار ریز سیلت و رس تشکیل شده و در برخی از بخش‌های باغستان‌های پسته گسترش یافته است.

ج) دق‌های سیلتی - رسی نمکی که با عنوان دشت‌های کویری شناخته می‌شوند و در زمان بارندگی دریاچه‌های نمکی (پلایا؛ playas) و سپس در اثر تبخیر شدید با لایه کم‌ستبرایی از رسوبات تبخیری پوشیده می‌شوند. این دشت‌ها در بخش‌هایی از پیرامون شهر کرمان رخنمون دارند و محدوده باختر فرودگاه کرمان و دشت‌های شمالی شهر را دربر می‌گیرند.

۳-۳. رسوبات بادی

بررسی نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین و کرمان (عزیزان و همکاران، ۱۳۷۷ و Djokovic and Dimitrijevic, 1972) نشان می‌دهد که بخش وسیعی از جنوب منطقه از دشت‌های بادی تشکیل شده است. تپه‌های ماسه‌ای در خاور و شمال در مسیر جاده کرمان - کوهپایه و مجاور سنگ‌آهک‌های شمالی شهر رخنمون داشته و در بخش جنوبی از نوع برخان طولی و متقاطع است (حمزه، ۱۳۸۵). امروزه به دلیل گسترش تاغ‌زارها در جنوب شهر و باغستان‌های پسته در شمال تا حد زیادی از پیشروی رسوبات بادی کاسته شده است؛ ولی در برخی مناطق از جمله بزرگراه هفت‌باغ (جنوب شهر)، این پدیده همچنان ساختمان‌ها و مسیر بزرگراه را تهدید می‌کند.

۴-۴. روش مطالعه

برای بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی ماسه‌های بادی، ۳۳ نمونه از رسوبات حاشیه شهر کرمان برداشت شد. با توجه به گستردگی منطقه برای برداشت نمونه‌ها، روش نمونه‌برداری شبکه‌ای تصادفی (systematic random sampling, IAEA, 2004) استفاده شد. نقاط نمونه‌برداری روی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) نشان داده شده است. به دلیل یکنواختی دانه‌های رسوبات بادی از هر نمونه به میزان یک کیلوگرم برداشت و برای جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی نمونه‌برداری از ژرفای ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری و توسط بیلچه‌های پلاستیکی و چوبی انجام شد. برای دانه‌بندی رسوبات و جلوگیری از آلودگی‌های فلزی از الک‌های پلاستیکی استفاده شد و نمونه‌ها با الک ۸۰ مش (قطر منافذ ۰/۱۸ میلی‌متر) غربال و سپس در مجاورت آفتاب خشک شده‌اند.

برای کانی‌شناسی نمونه‌ها، با استفاده از روش غوطه‌وری در چسب اپوکسی، مقطع نازک تهیه و توسط میکروسکپ پلاریزان نور عبوری مطالعه شد. همچنین ۲۲ نمونه پس از آماده‌سازی، برای بررسی اکسیدهای عناصر اصلی (جدول ۱ و ۲) با دستگاه XRF در آزمایشگاه مدیریت زمین‌شناسی منطقه جنوب خاوری (کرمان)، برای بررسی عناصر فرعی و کمیاب با روش ICP-OES و برای بررسی عناصر مولیبدن، تنگستن، آرسنیک، آنتیموان و سلنیم با روش جذب اتمی (جدول ۲) در مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شد.

منطقه ساختارهای انحلالی و کارستی در کوه‌های صاحب‌الزمان و ارتفاعات شمالی است. در واحدهای آهکی یاد شده تحت تأثیر گسلش و انحلال آب‌های جوی (باران)، حفرات انحلالی و غارهایی به وجود آمده است. دشت گرانی کرمان حاصل عملکرد گسل‌های عادی است که موجب اختلاف شیبی حدود ۲۸ درصد از جنوب خاوری به شمال باختری شده است (پوراحمد، ۱۳۷۰). سطح وسیعی از شهر کمتر از ۵ درصد شیب دارد و کوه‌های قلعه‌دختر و قلعه‌اردشیر که در محدوده شهر قرار گرفته‌اند، شیبی حدود ۱۰ درصد دارند.

۳-۲. زمین‌شناسی عمومی

گسترده‌ترین استان کرمان و گوناگونی پدیده‌های زمین‌شناسی موجب شده است تا طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی وجود داشته باشد. همچنین، با توجه به اینکه ماسه‌های بادی نابرجا هستند و در مسافت طولانی جابه‌جا شوند، برای شناخت موقعیت زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی آنها لازم است تا مختصری از وضعیت زمین‌شناسی استان شرح داده شود.

۳-۱. زمین‌شناسی استان کرمان

واحدهای زمین‌ساخت - ماگمایی و رسوبی استان کرمان (شکل ۱) به ترتیب از قدیم به جدید شامل ماسه‌سنگ‌های گریوکی و سیلتی - شیلی و توف‌های ریولیتی پروتروزویک بالایی (شمال خاوری کرمان) (Huckriede et al., 1962)، مرمرهای آهکی - دولومیتی و سنگ‌های آذرین گابرویدی (اردوویسن - سیلورین)، ماسه‌سنگ‌های کواترتیتی و کنگلومرا (دونین - کرنیفر) در باغین - رفسنجان است (Dimitrijevic, 1973). مزوزویک از آهک‌های بلمنیت و آمونیت‌دار تریاس - ژوراسیک، ماسه‌سنگ‌های گریوکی و شیل، سنگ‌آهک، اسپلیت‌ها و گدازه‌های بازالتی، سنگ‌های فوق بازی و توده‌های نفوذی گرانیتویدی ژوراسیک، آهک اریتولین‌دار، ماسه‌سنگ، شیل، مارن و فلیش و سنگ‌های فوق بازی و بازی، کراتوفیر، گدازه‌های بازالتی و اسپیلیتی، آندزیت، گابرو، ریولیت و پلاژیوگرانیت کرتاسه تکیل شده است (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۹). سنوزویک شامل کنگلومرای کرمان (پالئوسن) و سنگ‌های آتشفشانی (گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیت، ریولیت و آذرآواری) و واحدهای رسوبی (گریوک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آهک نومولیت‌دار) انوسن و الیگوسن است (Dimitrijevic, 1973). توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریت، کوارتزدیوریت، گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت متعلق به الیگومیوسن و فعالیت‌های ماگمایی و کانی‌سازی مس پورفیری، اسکارن و کانسارهای رگه‌ای و فعالیت آتشفشانی در دوره زمانی میوسن روی داده است. رسوبات کواترن در استان کرمان، شامل دشت‌های آبرفتی، تراورتن، تراس‌های رودخانه‌ای و آبرفت‌های عهد حاضر در مسیر رودخانه‌های فعال است. کراترهای آتشفشانی بسیار جوان قلعه حسنعلی نیز در این محدوده زمانی قرار دارد.

۳-۲. زمین‌شناسی محدوده شهری کرمان

گسترده‌ترین واحدهای سنگی کرتاسه در محدوده شهری کرمان (شکل ۲)، سنگ‌های آهکی ریفی هیپوریت‌دار متعلق به سنونین در کوه صاحب‌الزمان (Huckriede et al., 1962) و کوه جوپار (سنگ‌آهک اولیتی و سیلستون متعلق به سن نوکومین) جنوب و جنوب باختری کرمان است که بدون انقطاع روی رسوبات ژوراسیک بالایی (سازند هجدک) قرار گرفته است (Dimitrijevic, 1973). کنگلومرای پالئوسن به‌صورت دگرشیبی سنگ‌آهک‌های ریفی هیپوریت‌دار را می‌پوشاند و مرز بالایی آهک‌های کرتاسه بالایی را تشکیل می‌دهد (Dimitrijevic, 1973; Rahimzadeh, 1983). کنگلومرای پالئوسن (کرمان) با ستبرای ۳۰۰ متر، در ۷ کیلومتری شمال شهر کرمان (کوه سعیدی) جای گرفته و اجزای آن از کواترتیت خاکستری رنگ تیره، سنگ‌آهک تیره ژوراسیک، سنگ‌آهک ریفی کرتاسه، آرنایت‌های قاعده کرتاسه و سنگ‌آهک‌های اریتولین‌دار

۵- ساخت و کانی‌شناسی رسوبات بادی

رسوبات بادی در پیرامون شهر کرمان را می‌توان به رسوبات متراکم و منفصل تقسیم‌بندی کرد. رسوبات متراکم ساختار لایه‌بندی متقاطع نشان می‌دهد و میان‌لایه‌هایی از رسوبات رودخانه‌ای (آبرفتی) درشت‌دانه‌تر در آنها دیده می‌شود (شکل‌های ۳- الف و ب). رسوبات منفصل یا شن‌های روان دارای ریبیل‌مارک غیرمقارن هستند (شکل ۳- پ) و اندازه دانه‌های رسوب میان ۰/۰۶ تا ۲ میلی‌متر است که در میان آنها رسوبات آبرفتی دانه‌درشت (گراول) دیده می‌شود (شکل ۴ و ۵) که در دشت جنوبی شهر کرمان دارای کانی‌های رسی بیشتری هستند. مطالعه مقاطع نازک رسوبات بادی (جدول ۱ و شکل ۶) فراوانی قطعات سنگ‌های آذرین آتشفشانی با زمینه اپاکی- اینترگرانولار و تراکتی را تأیید می‌کند. همچنین قطعات سنگ‌های آذرین درونی (گرانیتوئیدها) و بیرونی (آندزیت و داسیت) با ترکیب کانی‌شناسی کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوز، کلینوپروکسن، آمفیبول، بیوتیت و اپیدوت و کلریت در برخی از مقاطع نازک دیده می‌شود. فراوانی سنگ‌های آذرین در برخی از نمونه‌ها به ۲۵ درصد نیز می‌رسد. همچنین قطعات سنگ‌های آهکی ریزدانه میکراتی فسیل‌دار یا سنگ‌آهک‌های اسپارایتی، فراوانی قابل توجهی دارد و در برخی از نمونه‌ها ۳۰ درصد رسوبات را تشکیل می‌دهد. قطعات سنگ‌های دگرگونی شیستی (۵ درصد) نیز در برخی از مقاطع دیده می‌شود. کانی‌های درشت‌بلور کلسیت (۱۰ درصد)، کوارتز (۷ درصد)، چرت (۴ درصد)، ژپس (۲ درصد)، فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلاز (۵ درصد)، اکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت و گئوتیت ۵ درصد)، کلینوپروکسن (۲ درصد) آمفیبول (۱ درصد)، ژپس (۵ درصد) و ایلمنیت و اسفن (۱ درصد) نیز در رسوبات بادی دیده می‌شود.

محاسبه کانی‌های نورماتوید در رسوبات بادی (جدول ۱) نیز نشان‌دهنده حضور ۳۰ درصد کلسیت، ۱۵/۴ درصد کوارتز، ۱۲/۵ درصد ارتوز، ۱۰ درصد آلپیت، ۲/۵ درصد آنورتیت، ۲ درصد دیوپسید، ۱ درصد انستاتیت، ۴/۶ درصد کانی‌های رسی، ۰/۳۷ درصد آپاتیت، ۳ درصد ژپس، ۳ درصد هماتیت، ۰/۴۵ درصد بروکیت، ۱۰ درصد دولومیت است. مقدار کل کانی‌های نورماتوید نسبت به کانی‌های حقیقی ۸ درصد کمتر است که مربوط به مقدار مواد فرار (L.O.I) منظور نشده در محاسبه است.

بررسی بافت و کانی‌شناسی رسوبات بادی و رودخانه‌ای نشان می‌دهد که این رسوبات با دانه‌های درشت، جورشدگی ضعیف و گردشدگی متوسط از رسوبات بادی که اندازه ریزتر، جورشدگی خوب و گردشدگی متوسط دارند، متمایز می‌شوند و دارای قطعات سنگی فراوان آتشفشانی و کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره (کدر) هستند. بررسی مقاطع نازک ماسه‌های بادی قدیمی و جدید تفاوت چندانی در بافت و کانی‌شناسی آنها نشان نمی‌دهد (شکل ۶).

بررسی نتایج مطالعات کانی‌شناسی رسوبات ریزدانه بادی موجود در آبرفت‌های جنوب کوه شهرزاد (باختر باغین) (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۶) مؤید حضور ۴۰ درصد قطعات سنگی آتشفشانی و گرانیتوئیدی، ۱۰ تا ۱۵ درصد کوارتز و چرت، و ۱۰ تا ۱۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد اپیدوت، پیروکسن، کلریت، کانی‌های کدر، ژپس و کانی‌های رسی و ۲۵ تا ۳۰ درصد قطعات آهکی فسیل‌دار و ماسه‌ای است که شباهت فراوانی با رسوبات بادی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۶- ژئوشیمی

بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و کمیاب خاکی در رسوبات بادی نشان‌دهنده افزایش مقادیر اکسید کلسیم و کاهش اکسید سیلیسیم نسبت به متوسط رسوبات بادی جهانی است (جدول ۲). تغییرات مقادیر Cu, Mo, Pb, Zn, Sn, W (جدول ۲). تغییرات مقادیر Cu, Mo, Pb, Zn, Sn, W به میانگین پسته‌ای نزدیک است.

۶-۱. عناصر اصلی

- **سیلیسیم:** تغییرات SiO_2 میان ۵۲/۳ تا ۶۰/۸۴ درصد وزنی و میانگین آن ۵۵/۴۵ درصد وزنی است که به دلیل حضور کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوز، کلینوپروکسن، آمفیبول، بیوتیت، اپیدوت، کلریت و قطعات سنگی سنگ‌های آذرین است. گفتنی است که میانگین SiO_2 منطقه از میانگین جهانی (Winspear and Pye, 1996) کمتر است (جدول ۲) که بیانگر مقدار کمتر کوارتز و دیگر سیلیکات‌ها نسبت به ماسه‌های بادی جهانی است. مقدار اکسید سیلیسیم در رسوبات بادی عراق (Awadh, 2012) و خاور مکزیک (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007) مشابه منطقه مورد مطالعه و در عربستان (Moufti, 2013)، خلیج مکزیک (Kasper-Zubillaga et al., 2013) و نامیبیا (Svendsen, et al., 2007) بین ۷۰ تا ۹۰ درصد متغیر (جدول ۲) و از رسوبات بادی منطقه مورد مطالعه بیشتر است.

- **تیتانیوم:** میانگین TiO_2 در نمونه‌های رسوبات بادی منطقه مورد مطالعه ۰/۴۶ درصد وزنی و تغییرات آن میان ۰/۳۳ تا ۰/۵۲ درصد وزنی (جدول ۲) است که ۵/۵ برابر از میانگین جهانی (Winspear and Pye, 1996) بیشتر و مشابه مقدار اکسید تیتانیوم موجود در رسوبات بادی عربستان (Moufti, 2013) و مکزیک (Kasper-Zubillaga et al., 2013; Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007) است. به نظر می‌رسد بالا بودن مقدار TiO_2 می‌تواند به دلیل فراوانی قطعات سنگی آذرین و حضور اسفن (CaTiSiO_5) و ایلمنیت (FeTiO_3) در آنها باشد.

- **آلومینیم:** میانگین Al_2O_3 در ماسه‌های بادی پیرامون شهر کرمان، ۱۲/۷۵ درصد وزنی و تغییرات آن میان ۷/۹۳ تا ۱۴/۵۱ درصد وزنی (جدول ۲) است که دو برابر میانگین جهانی (Winspear and Pye, 1996) است. بررسی ترکیب شیمیایی رسوبات بادی مناطق مختلف دنیا نشان می‌دهد که مقدار اکسید آلومینیم در رسوبات بادی عراق (Awadh, 2012) و شرق مکزیک (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007) مشابه منطقه پیرامون شهر کرمان و در عربستان (Moufti, 2013)، خلیج مکزیک (Kasper-Zubillaga et al., 2013) و نامیبیا (Svendsen et al., 2007) بسیار کمتر از رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان است. فراوانی کانی‌های رسی و فلدسپارها (KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) در رسوبات بادی سبب افزایش مقدار اکسید آلومینیم شده است.

- **آهن:** میانگین Fe_2O_3 در رسوبات بادی برداشت شده، ۴/۰۸ درصد وزنی و تغییرات آن میان ۳/۰۲ تا ۴/۶۱ اندازه گیری شده است که نسبت به میانگین جهانی (Winspear and Pye, 1996) ۱۰ برابر و از رسوبات بادی صحاری دنیا (Awadh, 2012; Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007); (Svendsen et al., 2007) دو برابر بیشتر است. این افزایش حضور احتمالی مگنتیت، هماتیت و گئوتیت را به شکل کانی‌های کدر نشان می‌دهد.

- **منیزیم:** میانگین MgO در ماسه‌ها، ۲/۷ درصد وزنی و تغییرات آن میان ۲/۰۷ تا ۳/۵۸ است که نسبت به رسوبات بادی صحاری دنیا ۲ تا ۱۰ برابر (Awadh, 2012; Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007; Kasper-Zubillaga et al., 2013; Svendsen et al., 2007) بیشتر است و می‌تواند به دلیل وجود دولومیت و سیلیکات‌های تیره باشد.

- **کلسیم:** میانگین CaO در رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان، ۱۱/۹۸ درصد وزنی و تغییرات عیار آن میان ۷/۸۶ تا ۱۸/۸۱ درصد وزنی (جدول ۱) است. میانگین CaO اندازه‌گیری شده از نمونه‌های ماسه‌های بادی پیرامون کرمان مشابه خلیج مکزیک (Kasper-Zubillaga et al., 2013) و ۱۰ برابر بیشتر از میانگین جهانی (Winspear and Pye, 1996) است که به دلیل فراوانی قطعات سنگ‌های آهکی در آنهاست.

- **سدیم:** میانگین Na_2O در نمونه‌های برداشت شده ۱/۷۴ درصد وزنی و تغییرات

اکسید آلومینیم در برابر اکسیدهای پتاسیم، سدیم و کلسیم (شکل‌های ۹-الف تا پ) نشان‌دهنده همبستگی قوی Al_2O_3 با Na_2O و K_2O و همبستگی ضعیف آن با CaO و نیز نشان‌دهنده فراوانی فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازهای سدیم‌دار است. جالب توجه است که تغییرات CaO در برابر SO_3 و $L.O.I$ نشان‌دهنده همبستگی قوی اکسید کلسیم با مواد فرار، فراوانی کلسیت (شکل ۱۰-الف) در نمونه‌ها و همبستگی ضعیف آن با SO_3 (شکل ۱۰-ب)، کمبود ژیس و انیدریت در آنهاست. همچنین تغییرات SiO_2 و Al_2O_3 در برابر $L.O.I$ (شکل‌های ۱۰-پ و ت) کمبود کانی‌های رسی در رسوبات بادی را نشان می‌دهد.

نمودار تغییرات اکسید سیلیسیم در برابر اکسیدهای قلیایی (شکل ۱۱-الف) نشان می‌دهد که قطعات سنگی آذرین بیشتر از نوع آندزیت بازالتی، آندزیت و بازالت است. از سوی دیگر، تغییرات اکسید سیلیسیم در برابر اکسیدهای قلیایی خاکی (شکل ۱۱-ب) نشان‌دهنده بالا بودن مقادیر عناصر قلیایی خاکی در رسوبات بادی است که با مقادیر اکسیدهای یاد شده در سنگ‌های آذرین تطابق ندارد و برعکس فراوانی سنگ‌های آهکی را در رسوبات بادی نشان می‌دهد. تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی رسوبات بادی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با رسوبات بادی عراق (Awadh, 2012)، عربستان (Moufti, 2013)، خلیج مکزیک (Kasper-Zubillaga et al., 2013)، خاور مکزیک (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007)، نامیبیا (Svendsen et al., 2007) و میانگین پوسته (Winspear and Pye, 1996) (شکل ۱۲)، نشان‌دهنده روند تقریباً یکسان آنهاست.

بررسی نمودار K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 (شکل ۱۳-الف) نشان می‌دهد که مقادیر Na_2O ، K_2O و Al_2O_3 در ماسه‌های بادی با سنگ‌های آهکی کوه صاحب‌الزمان و سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی کمر بند دهج-ساردوییه (عطاپور، ۱۳۸۶) هم‌منشأ است. همچنین، نمودار تغییرات CaO در برابر استرانسیم (شکل ۱۳-ب) حضور آن را در سنگ‌های کربناتی و آذرین منطقه دهج-ساردوییه نشان می‌دهد. جالب توجه است که تغییرات نسبت SiO_2/Al_2O_3 در برابر Fe_2O_3/K_2O و Na_2O/K_2O (شکل‌های ۱۳-پ و ت) نزدیکی ترکیب شیمیایی ماسه‌های بادی با سنگ‌های آهکی کرتاسه بالایی را نشان می‌دهد و با فراوانی قطعات سنگ‌آهک در آنها تأیید می‌شود. روند خطی نمونه‌ها در نمودار $Ti-Zr$ (شکل ۱۳-ث) و مقایسه آنها با سنگ‌های آذرین دهج-ساردوییه نشانگر کانی‌های سنگین دارای تیتانیم و زیرکنیم است که احتمالاً حضور تیتانومگنتیت، روتیل، زیرکن و ایلمنیت و یروکیت را نشان می‌دهد. ارتباط خطی سریم و ایتریم (شکل ۱۳-ج) نیز نشان‌دهنده فراوانی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی سنگین و سبک و حضور کانی‌های میزبان عناصر کمیاب خاکی (مونازیت، آپاتیت، روتیل، تیتانومگنتیت و اسفن) است (Arbogast and Muhs, 2000). در شکل ۱۴، نمودار عناصر کمیاب خاکی در برابر کندریت به‌نحار شده است که منشأ گرفتن رسوبات را از سنگ‌های آذرین و کانی‌های دارای عناصر کمیاب خاکی نشان می‌دهد.

۸- اهمیت اقتصادی

ماسه‌های بادی در صنایع ریخته‌گری، شیشه‌سازی، ساینده‌ها و در فرایندهای متالورژی کاربرد دارد (Chapman, 2001). با توجه به اینکه ماسه‌های استفاده شده در صنایع ریخته‌گری تا ۲۵ مرتبه قابل استفاده و در پایان قابل بازگشت به طبیعت هستند، استفاده از آنها از دید زیست‌محیطی نیز مقرون به صرفه است (Chapman, 2001). رسوبات بادی غنی از اکسید سیلیسیم را به عنوان ذخایر مناسب برای تولید شیشه معرفی کرده‌اند (Chapman, 2001). کمبود SiO_2 موجود در ماسه‌های بادی منطقه مورد مطالعه (میانگین ۵۵/۴۵ درصد وزنی) نشان می‌دهد که این رسوبات برای مصارف شیشه‌سازی کاربردی ندارد؛ ولی حضور کوارتز و قطعات سنگ‌های آذرین در رسوبات بادی می‌تواند در صنایع ریخته‌گری و ساینده‌ها مورد

آن میان ۱ تا ۲/۲۹ متغیر است (جدول ۱)؛ که با میانگین اکسید سدیم در رسوبات بادی جهانی، برابر (Winspear and Pye, 1996) و از رسوبات بادی عربستان و خاور مکزیک کمتر (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007; Moufti, 2013) است (جدول ۲).

– **پتاسیم:** میانگین K_2O در ماسه‌های بادی پیرامون شهر کرمان ۲/۱۲ درصد وزنی و تغییرات آنها میان ۱/۱۴ تا ۳/۰۵ درصد وزنی است (جدول ۱) که تقریباً معادل میانگین رسوبات بادی دنیا (Winspear and Pye, 1996) و رسوبات بادی گزارش شده در صحاری دنیاست (Winspear and Pye, 1996). حضور کانی‌های پتاسیم دار مانند ارتوز ($KAlSi_3O_8$) و بیوتیت ($(K,Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$) در رسوبات بادی نشان‌دهنده حضور این عنصر در ترکیب شیمیایی آنهاست.

– **فسفر:** میانگین P_2O_5 ۰/۱۶ درصد وزنی و تغییرات آنها میان ۰/۱۴ تا ۰/۱۸ گزارش شده که همانند مقدار اکسید فسفر در رسوبات بادی نامیبیا (Svendsen et al., 2007) و کمتر از مناطق دیگر است (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007; Moufti, 2013; Kasper-Zubillaga et al., 2013).

– **اکسیدهای فرار (L.O.I):** میانگین اکسیدهای فرار (Loss On Ignition)، ۷/۸۲ درصد وزنی است که بیش از ۱۰ برابر میانگین جهانی است. تغییرات اکسیدهای فرار میان ۵/۰۷ تا ۱۱/۴۵ درصد وزنی و میانگین SO_3 ۰/۵۲ درصد وزنی و تغییرات آنها ۰/۰۴ تا ۱/۴۹ درصد وزنی (جدول ۱) است که نشان‌دهنده فراوانی ژیس و انواع سولفات‌ها در رسوبات بادی منطقه است.

۶-۲. عناصر فرعی و کمیاب

بررسی عیار عناصر فرعی و کمیاب (جدول ۲)، در نمونه‌های رسوبات بادی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین عیار عناصر مس (۳۴/۰۹ گرم در تن)، کبالت (۱۲/۲۷ گرم در تن)، کروم (۵۰/۰۷ گرم در تن)، نیکل (۲۷/۰۵ گرم در تن)، تنگستن (۰/۵۷ گرم در تن)، اسکاندیم (۱۰/۲۶ گرم در تن)، قلع (۱/۸۶ گرم در تن)، وانادیم (۹۷/۹ گرم در تن)، روبیدیم (۷۹/۲۶ گرم در تن)، اورانیم (۲/۲ گرم در تن)، لانتانیم (۲۴/۲ گرم در تن)، سریم (۳۱/۲۴ گرم در تن)، یوربیم (۱ گرم در تن)، گادولونیم (۴/۳۱ گرم در تن)، نئودیمیم (۱۸/۸۹ گرم در تن)، ساماریم (۳/۵۵ گرم در تن)، ایتریم (۱۸/۴ گرم در تن)، ایتریم (۲/۴۸ گرم در تن)، از میانگین عیار این عناصر در پوسته کمتر است. در حالی که عیار عناصر مولیبدن (۲/۰۶ گرم در تن)، سرب (۱۸/۴ گرم در تن)، روی (۶۸/۳ گرم در تن)، کادمیم (۰/۱۸ گرم در تن)، باریم (۴/۴۵۴ گرم در تن)، استرانسیم (۵۰۹/۸ گرم در تن)، سزیم (۳/۶۳ گرم در تن)، گالیم (۱۵/۱۵ گرم در تن)، تالیوم (۰/۶۸ گرم در تن)، توریم (۱۱/۰۵ گرم در تن)، زیرکنیم (۱۳۴/۵ گرم در تن)، دیسپرسیم (۳/۵ گرم در تن)، کمی بیشتر از میانگین عیار این عناصر در پوسته است. جالب توجه است که عیار نقره (۰/۲۲ گرم در تن)، لیتیم (۳۴/۳ گرم در تن)، سلنیم (۰/۴۵ گرم در تن)، آرسنیک (۲۴/۱۶ گرم در تن) و آنتیموان (۰/۹۱ گرم در تن) از عیار میانگین پوسته بسیار بیشتر است.

۷- بحث و بررسی

بررسی نمودار تغییرات اکسید سیلیسیم در برابر اکسیدهای آلومینیم، آهن، منیزیم و کلسیم (شکل‌های ۸-الف تا ت) نشان‌دهنده تغییرات بسیار کم و یا کاهشی آنها با افزایش SiO_2 و کمبود سیلیکات‌های تیره (اولیوین، پیروکسن و آمفیبول) در رسوبات است. شیب مثبت نمودارهای تغییرات اکسید سیلیسیم در برابر Na_2O و K_2O (شکل‌های ۸-ث و ج) فراوانی فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازهای سدیم‌دار و کانی‌های رسی در رسوبات بادی را نشان می‌دهد. همچنین تغییرات SiO_2 در برابر TiO_2 و اکسید تیتانیم در برابر اکسید آهن (شکل‌های ۸-چ و ح) نیز بیانگر ناسازگاری TiO_2 با SiO_2 و همبستگی قوی آن با Fe_2O_3 است. این ویژگی حضور اکسیدهای آهن و تیتان را (ایلمنیت و مگنتیت) در رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان نشان می‌دهد. تغییرات

عراق و عربستان همانندی دارند.

همبستگی قوی میان Al_2O_3 با Na_2O و K_2O ، حضور فلدسپارهای قلیایی، CaO با $L.O.I$ ، فراوانی کلسیت و قطعات سنگی آهکی و TiO_2 با Fe_2O_3 ، حضور اکسیدهای آهن و تیتان مانند ایلمنیت را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، همبستگی ضعیف SiO_2 با MgO ، CaO ، Al_2O_3 و Fe_2O_3 کمبود سیلیکات‌های تیره و کانی‌های رسی را بازگو می‌کند.

نمودار در برابر K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 و تغییرات نسبت SiO_2/Al_2O_3 در برابر Fe_2O_3/K_2O و Na_2O/K_2O گویای منشا گرفتن رسوبات از سنگ‌های آذرین و رسوبی است. نمودار CaO در برابر Sr نشان‌دهنده حضور سنگ‌های آهکی و قطعات سنگی آذرین است. روند خطی نمونه‌ها در نمودار $Ti - Zr$ و $Ce - Y$ با سنگ‌های آذرین دهج - ساردوییه منطبق است.

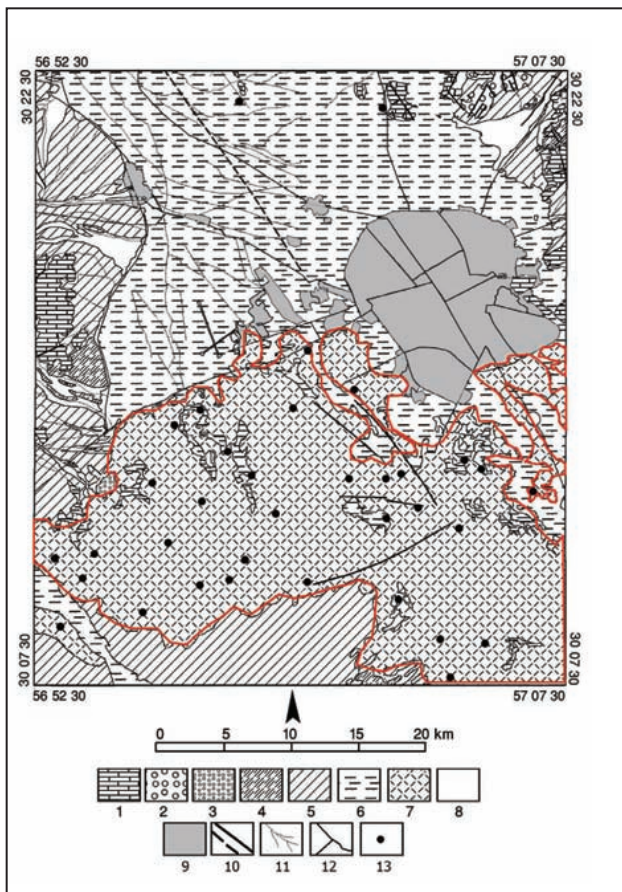
بررسی بیشتر رسوبات بادی منطقه می‌تواند اهمیت آنها را در صنایع سایندها و ریخته‌گری نشان دهد.

استفاده قرار گیرد. همچنین همانندی ترکیب شیمیایی رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان با خاک شهری و خاک کشاورزی غیرآلوده (جدول ۳) و مقادیر مجاز عناصر سنگین در آنها اهمیت کاربردی رسوبات بادی را در کاشت فضای سبز و محصولات کشاورزی نشان می‌دهد.

۹- نتیجه‌گیری

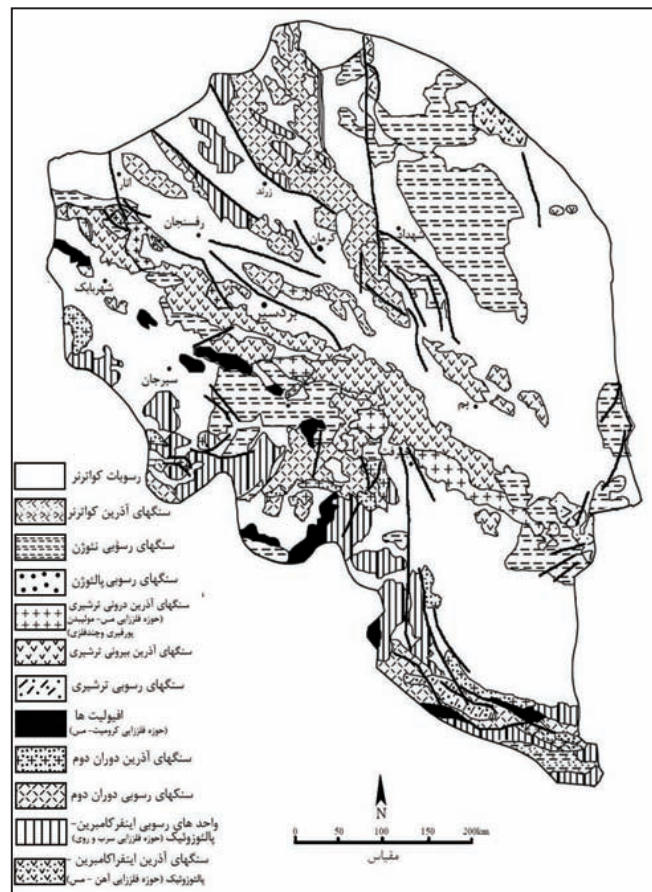
رسوبات بادی بیشتر در شمال، خاور و دشت‌های جنوبی کرمان گسترش دارند و از کلسیت، کوارتز، کلسدونی، اوپال، ژپس، فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازها، پیروکسن، آمفیبول، اکسیدهای آهن و قطعات سنگی آذرین، رسوبی (آهکی) و دگرگونی تشکیل شده است.

رسوبات بادی ریزدانه با گردش‌گی خوب از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه‌تر جدا می‌شوند. ترکیب شیمیایی رسوبات بادی نشان‌دهنده فراوانی اکسیدهای آلومینیم، کلسیم، منیزیم، آهن و کمبود سیلیس، تیتانیم و فسفر در آنهاست که با رسوبات بادی

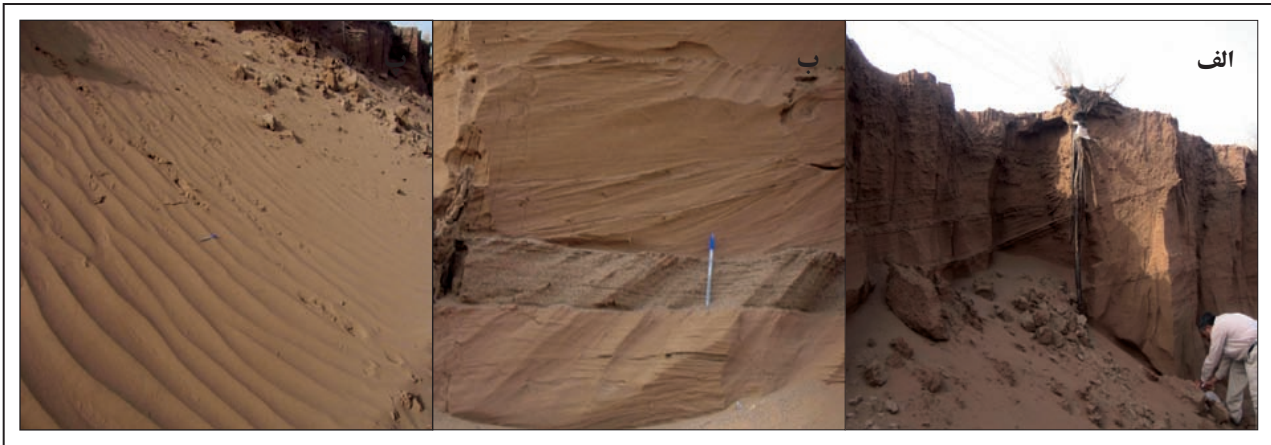


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (۱- سنگ‌آهک کرتاسه بالایی، ۲- کنگلومرای پالوسن، ۳- کنگلومرای نوژن، ۴- نهشته‌های آبرفتی، ۵- آبرفت‌های با سیمان ضعیف، ۶- پهنه‌های سیلتی-رسی، ۷- رسوبات بادی، ۸- آبرفت‌های عهد حاضر، ۹- مناطق مسکونی، ۱۰- گسل، ۱۱- آبراهه، ۱۲- خیابان و جاده، ۱۳- محل نمونه برداری، نقل با تغییرات از: سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۷۹).

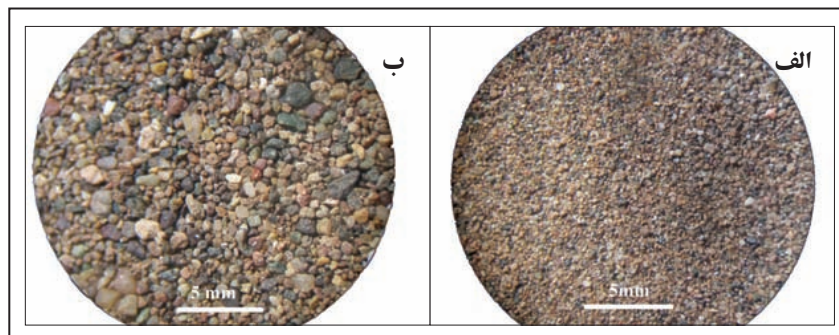
Atapour and Aftabi (2002) و Djokovic and Dimitrijevic (1972)



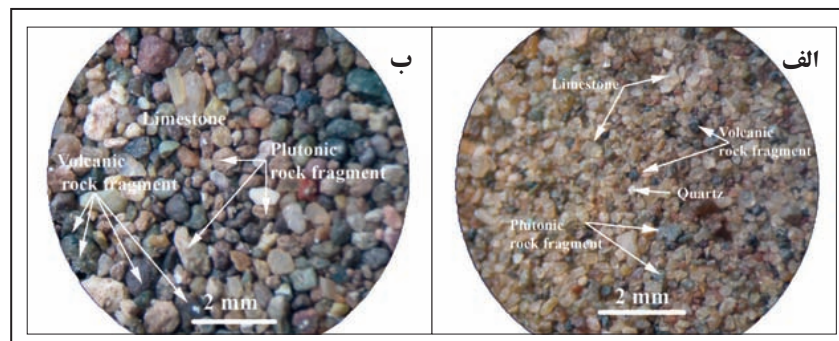
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی استان کرمان (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۹).



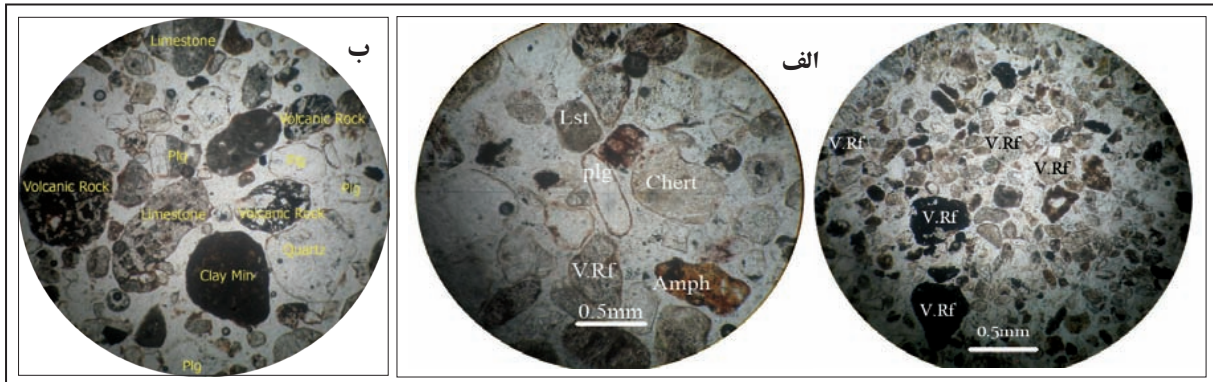
شکل ۳- الف) مقطع عرضی از رسوبات بادی با لایه‌بندی متقاطع؛ ب) لایه بندی متقاطع و تناوب لایه‌های ماسه‌های بادی (فصول خشک) و رسوبات آبی (فصول بارانی)؛ پ) ریپل مارک‌های غیر متقارن در سطح رسوبات بادی در روستای باقرآباد، جنوب باختر کرمان.



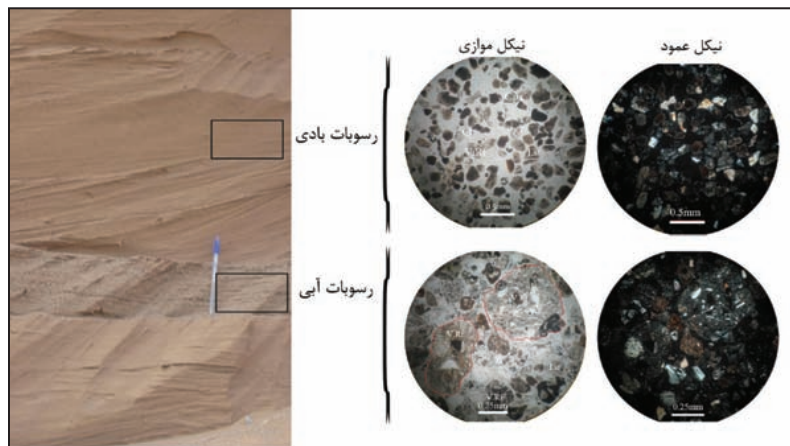
شکل ۴- مقایسه اندازه و دانه بندی رسوبات: الف) بادی؛ ب) رودخانه‌ای.



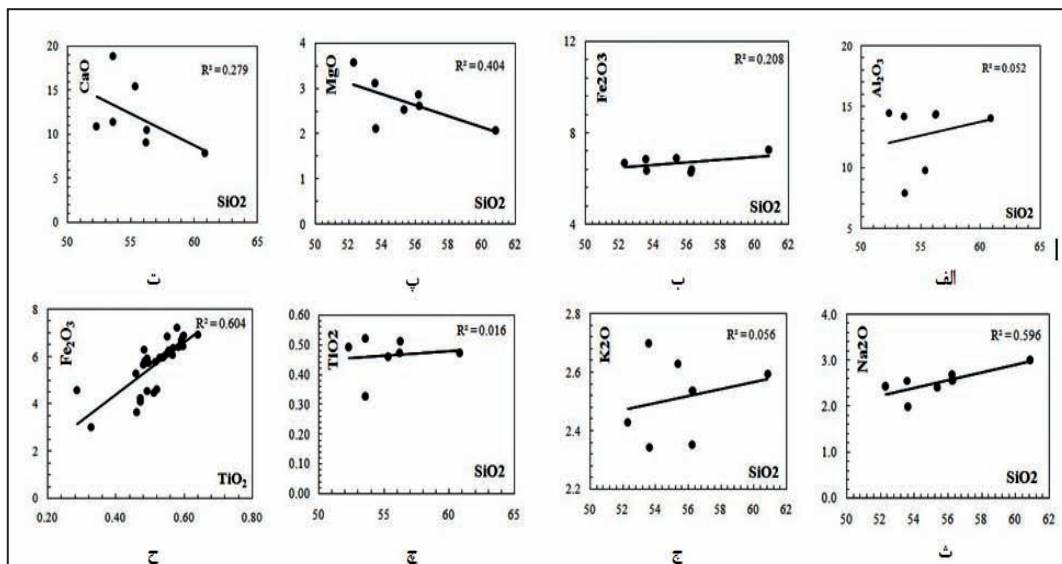
شکل ۵- کانی‌شناسی رسوبات: الف) بادی؛ ب) رودخانه‌ای.



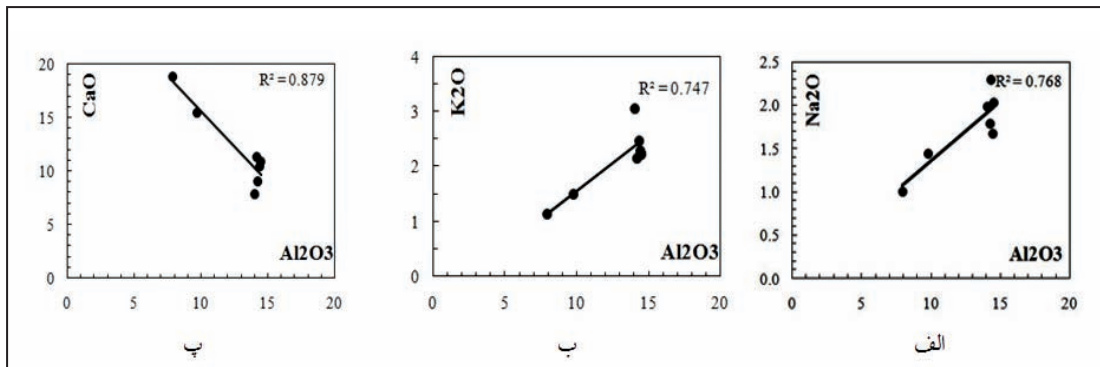
شکل ۶- الف) مقطع نازک رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان در مقایسه با ب) رسوبات بادی دامنه کوه شهرزاد (نیکل موزی) (عطاپور و همکاران، ۱۳۸۶)؛ نشانه‌ها: V.R.F = قطعات سنگی آتشفشانی، Amph = آمفیبول، Plg = پلاژیو کلاز، Lst = سنگ آهک.



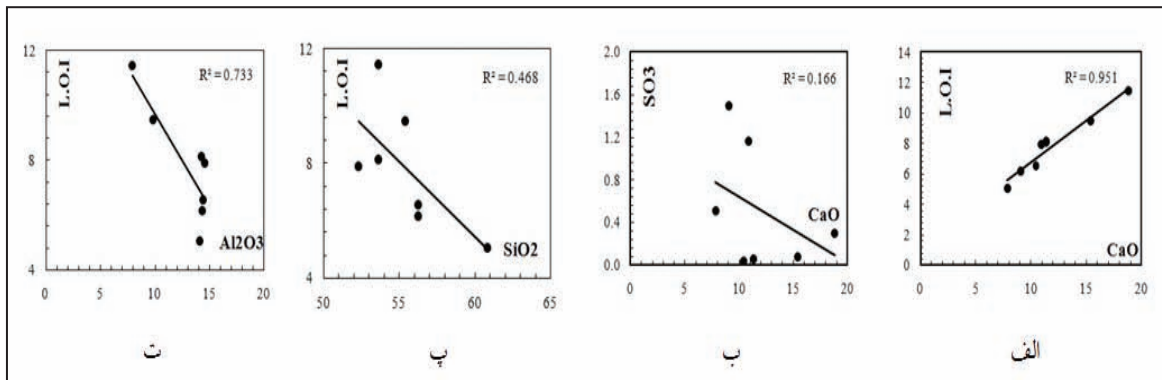
شکل ۷- مقطع عرضی تناوب رسوبات بادی و آبی و مقاطع نازک مربوط به آنها از رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان؛ نشانه‌ها: V.R.F = قطعات سنگی آتشفشانی، Amph = آمفیبول، Plg = پلاژیو کلاز، Lst = سنگ آهک.



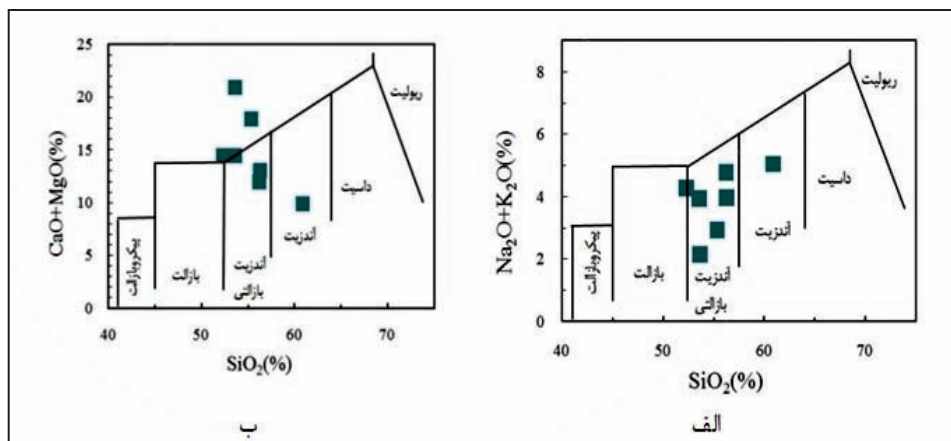
شکل ۸- نمودار همبستگی اکسید سیلیسیم با اکسیدهای عناصر اصلی در ماسه‌های بادی پیرامون شهر کرمان.



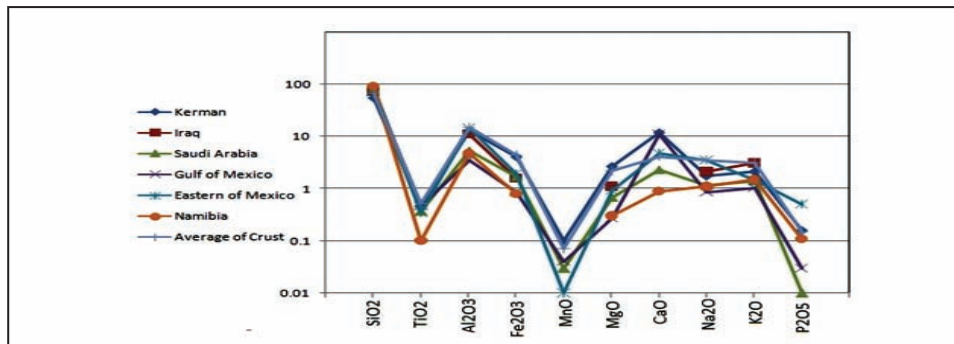
شکل ۹- تغییرات اکسید آلومینیم در برابر اکسیدهای سدیم، پتاسیم و کلسیم در رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان.



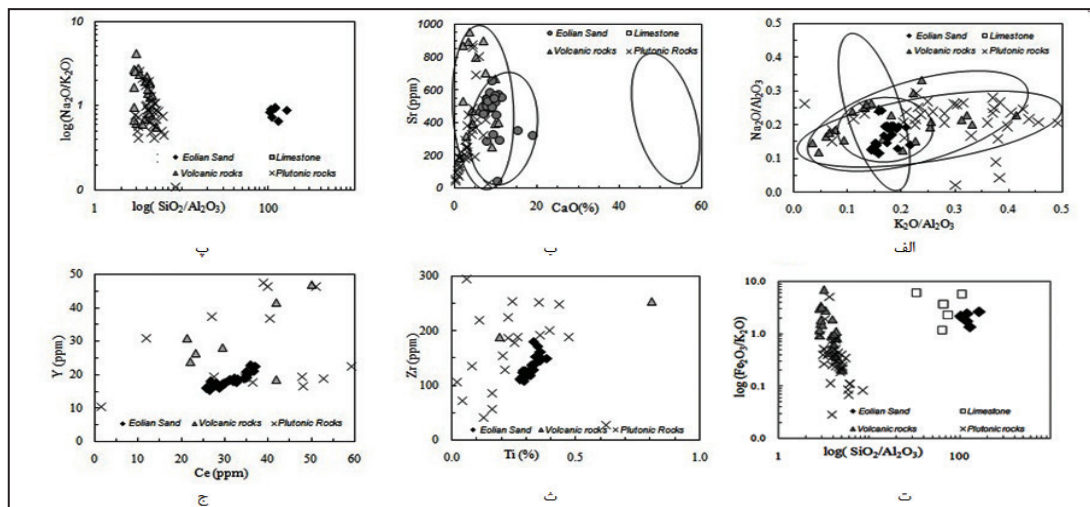
شکل ۱۰- همبستگی اکسیدهای عناصر اصلی در برابر مواد فرار در رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان.



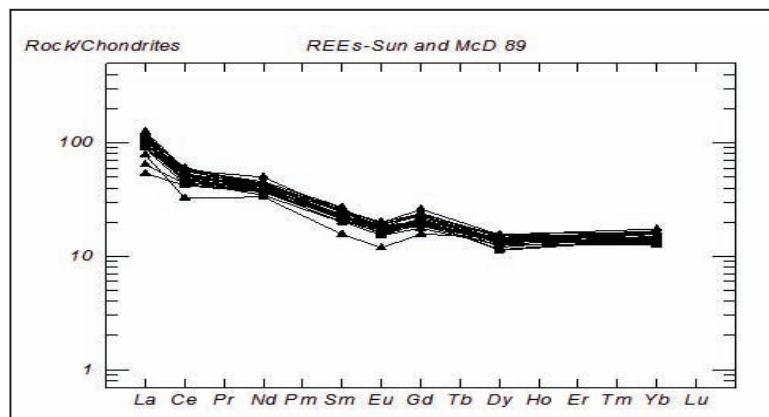
شکل ۱۱- تغییرات اکسید سیلیسیم در برابر: الف) اکسیدهای قلیایی؛ ب) اکسیدهای قلیایی خاکی.



شکل ۱۲- تغییرات اکسیدهای اصلی (درصد) در رسوبات بادی پیرامون شهر کرمان و میانگین آن با متوسط پوسته مناطق مختلف دنیا.



شکل ۱۳- تغییرات: الف) K_2O/Al_2O_3 در برابر Na_2O/Al_2O_3 ؛ ب) CaO در برابر Sr ؛ پ) SiO_2/Al_2O_3 در برابر Na_2O/K_2O ؛ ج) Ce در برابر Y برای مقایسه ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین کمربند دهج- ساردوییه (عطاپور، ۱۳۸۶)، سنگ‌های آهکی کوه صاحب‌الزمان و رسوبات بادی منطقه (Muhs and Benedict, 2006; Muhs and Budahn, 2006).



شکل ۱۴- نمودار عنکبوتی مقادیر اندازه‌گیری شده در ماسه‌های بادی منطقه مورد مطالعه نسبت به کندریت‌ها.

جدول ۱- ترکیب سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی رسوبات بادی حاشیه شهر کرمان.

سنگ‌ها و کانی‌ها	سنگ‌ها (%)	کانی‌های سیلیکاتی (%)	کانی‌های غیرسیلیکاتی (%)	کانی‌های نورماتیو (%)
سنگ‌های آذرین	۲۵	---	---	---
سنگ‌های رسوبی	۳۰	---	---	---
سنگ‌های دگرگونی	۵	---	---	---
کوارتز	---	۷	---	۱۵/۴
فلسپارها	---	۵	---	ارتوز (۱۲/۵)، آلپیت (۱۰)، آنورتیت (۲/۵)
کلینوپروکسن‌ها	---	۲	---	دیوپسید (۲) و انستاتیت (۱)
آمفیبول	---	۱	---	
کلسیت	---	---	۱۰	۳۰
چرت	---	---	۴	---
ژپس (انیدریت)	---	---	۵	۳
مگنتیت، هماتیت و گنویت	---	---	۵	مگنتیت و هماتیت (۳)
پروکیت	---	---	---	۰/۴۵
اسفن و ایلمنیت	---	۰/۵	۰/۵	---
دولومیت	---	---	---	۱۰
آپاتیت	---	---	---	۰/۳۷
کانی‌های رسی	---	---	---	۴/۶
سنگ‌ها و کانی‌ها	سنگ‌ها (%)	کانی‌های سیلیکاتی (%)	کانی‌های غیرسیلیکاتی (%)	کانی‌های نورماتیو (%)
سنگ‌های آذرین	۲۵	---	---	---
سنگ‌های رسوبی	۳۰	---	---	---
سنگ‌های دگرگونی	۵	---	---	---
کوارتز	---	۷	---	۱۵/۴
فلسپارها	---	۵	---	ارتوز (۱۲/۵)، آلپیت (۱۰)، آنورتیت (۲/۵)
کلینوپروکسن‌ها	---	۲	---	دیوپسید (۲) و انستاتیت (۱)
آمفیبول	---	۱	---	
کلسیت	---	---	۱۰	۳۰
چرت	---	---	۴	---
ژپس (انیدریت)	---	---	۵	۳
مگنتیت، هماتیت و گنویت	---	---	۵	مگنتیت و هماتیت (۳)
پروکیت	---	---	---	۰/۴۵
اسفن و ایلمنیت	---	۰/۵	۰/۵	---
دولومیت	---	---	---	۱۰
آپاتیت	---	---	---	۰/۳۷
کانی‌های رسی	---	---	---	۴/۶

جدول ۲- میانگین، تغییرات و انحراف معیار اکسیدهای اصلی (درصد وزنی) در رسوب بادی منطقه مورد مطالعه (نمونه ۷) با روش XRF و ۲۵ نمونه با روش ICP-OES و مقایسه آن با مناطق مختلف دنیا و میانگین جهانی.

منطقه مورد مطالعه	میانگین جهانی													
	روش XRF							روش ICP-OES						
	کمیته	پیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمیته	پیشینه	میانگین	انحراف معیار	عراق ^۱	عربستان ^۲	خلیج مکزیک ^۳	خاور میزی ^۴	تایپیه ^۵	میانگین جهانی ^۶
SiO ₂	52.3	60.84	55.45	2.8	-	-	-	73.3	83.45	74	71.38	90.0	88.058	48.01
TiO ₂	0.33	0.52	0.46	0.06	0.07	0.64	0.13	-	0.37	0.47	0.35	0.1	0.083	0.56
Al ₂ O ₃	7.93	14.51	12.75	2.72	1.61	15.32	3.15	11	5.37	3.53	14.24	4.7	6.302	11.98
Fe ₂ O ₃	3.02	4.61	4.08	0.58	0.58	7.24	1.34	1.6	1.7	0.86	1.92	0.8	0.407	5.31
MnO	0.08	0.13	0.1	0.02	-	-	-	-	0.03	0.04	0.01	-	-	0.9
MgO	2.07	3.58	2.7	0.54	0.26	2.24	0.43	1.1	0.69	0.27	0.94	0.3	-	2.33
CaO	7.86	18.81	11.98	3.82	3.10	22.63	4.76	-	2.31	11	4.74	0.9	0.882	15.87
Na ₂ O	1.00	2.29	1.74	0.43	0.83	5.43	1.37	2.1	1.16	0.85	3.52	1.1	1.002	1.85
K ₂ O	1.14	3.05	2.12	0.63	0.29	2.74	0.59	3.1	1.41	1.05	1.44	1.5	1.849	1.8
P ₂ O ₅	0.14	0.18	0.16	0.02	0.06	0.12	0.01	-	0.01	0.03	0.5	0.11	-	0.17
SO ₃	0.04	1.49	0.52	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--
LOI	5.07	11.45	7.82	2.16	-	-	-	4.1	1.95	8.35	-	-	0.74	11.73
Total	-	-	99.36	-	-	-	-	96.3	98.45	100.4	99.04	99.5	99.3	100.5

۱- Winspear and Pye (2007)؛ ۲- Sawadh (2012)؛ ۳- Moufti (2013)؛ ۴- Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz (2007)؛ ۵- Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz (2007)؛ ۶- Svendsen et al. (2007)؛ ۷- صلیبورد و همکاران (۱۳۸۶).

جدول ۳- میانگین، تغییرات، انحراف معیار عناصر فرعی و کمیاب در رسوبات بادی منطقه مطالعه شده (۲۵ نمونه اندازه‌گیری شده با روش ICP) در مقایسه با عیار پوسته و مناطق مختلف دنیا (بر حسب گرم در تن).

عناصر	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Li	Mo	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc	Se	Sn
کرمان	0.13	10.2	297.61	0.08	6.89	35.26	1.1	13.5	9.09	23.46	0.86	15.23	15.79	46.26	0.5	6.68	0.11	1.18
کمیته	0.32	50	594.69	0.32	16.44	74.07	4.5	60.86	18.7	49.5	3.13	46.26	23.06	96.21	1.2	15.04	0.82	3.51
پیشینه	0.22	24.16	454.38	0.18	12.27	50.07	3.63	34.09	15.2	34.3	2.06	27.05	18.42	79.26	0.91	10.26	0.45	1.86
میانگین	0.06	11.8	86.71	0.08	2	11.65	0.73	9.6	1.92	7.2	0.62	10.26	1.9	10.26	0.18	1.91	0.26	0.59
انحراف معیار	-	1.8	245	-	65.1	31	-	12.7	-	-	-	14	6.1	42.9	0.2	-	-	-
خلیج مکزیک ^۱	-	-	581.4	-	56	26.8	-	11.4	-	-	-	19.6	8.8	45.6	-	-	-	-
خاور مکزیک ^۱	-	-	248	-	-	31	-	4	-	-	-	6	11	77	-	-	-	-
ناپلیا ^۲	0.07	-	425	0.2	25	100	3	55	15	20	1.5	75	12.5	90	-	16	0.05	2
میانگین پوسته ^۳	0.10	24.2	-	0.25	11.08	52.8	-	40.23	-	20.1	3.6	46.7	33.24	-	0.88	-	0.49	2.94
میانگین حاکی شهری ^۴	0.21	31.1	-	0.22	12.11	49.67	-	12.11	-	18.2	2.85	49.33	46.9	-	1	-	0.32	2.98
میانگین حاکی کنادورزی ^۵	Sr	Th	Tl	U	V	W	La	Ce	Dy	Eu	Gd	Nd	Sm	Y	Yb	Zn	Zr	
کرمان	328.41	7.64	0.41	1.24	55.8	0.5	12.7	20.02	2.86	0.69	3.22	15.54	2.4	15.36	2.13	51.63	62.72	
کمیته	658.88	13.07	0.9	2.98	117.7	0.75	29.8	37.04	3.96	1.17	5.35	23.33	4.14	22.6	2.96	105.7	180.2	
پیشینه	509.86	11.05	0.68	2.2	97.9	0.57	24.2	31.24	3.5	1	4.31	18.89	3.55	18.44	2.48	68.32	134.5	
میانگین	69.92	1.2	0.12	0.59	12.6	0.07	4.11	4.1	0.31	0.11	0.47	1.65	0.4	1.84	0.2	13.01	23.76	
انحراف معیار	541	2.5	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.72	-	-
خلیج مکزیک ^۱	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.8	-	-
خاور مکزیک ^۱	-	-	-	-	16	-	30	67	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-
ناپلیا ^۲	-	-	-	-	135	1.5	30	60	3	1.2	5.4	28	6	30	3	70	165	
میانگین پوسته ^۳	375	10	0.45	2.7	84.2	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150.2	-	
میانگین حاکی شهری ^۴	-	-	-	-	102	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	852.5	-	
میانگین حاکی کنادورزی ^۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

۱- Svendsen et al. (2007) - ۲- Winspear and Pye (1996) - ۳- Atapour (2015) - ۴- Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz (2007) - ۵- Kasper-Zubillaga et al. (2013)

کتابناری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- امینی، ا.، میراب شبستری، غ. و وسو، م.، ۱۳۹۲- جایگاه بررسی‌های ژئوشیمیایی در تحلیل الگوی کانی‌شناسی و نحوه تشکیل تپه‌های ماسه ای شرق بابلسر، مقاله‌های همایش‌های ایران، اولین همایش زمین‌شیمی کاربردی ایران، دانشگاه دامغان.
- پور احمد، ا.، ۱۳۷۰- جغرافیا و ساخت شهر کرمان، انتشارات سایه، ۲۶۰ ص.
- حمزه، م. ع.، ۱۳۸۵- نشانگرهای ژئوشیمیایی و زیست محیطی در محدوده شهری کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۷۱ ص.
- سازمان برنامه و بودجه استان کرمان، ۱۳۷۴الف- مطالعات جامع اقتصادی- اجتماعی استان کرمان، پوشش گیاهی، ۲۲۸ ص.
- سازمان برنامه و بودجه استان کرمان، ۱۳۷۴ب- مطالعات جامع اقتصادی- اجتماعی استان کرمان، فرسایش خاک و بیابان‌زدایی، ۳۱۳ ص.
- سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۹- نقشه‌های توپوگرافی کرمان، کرمان ۲، سعادت آباد و اختیار آباد به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.
- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۷- داده‌های دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی شهر کرمان (فرودگاه کرمان) از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۶، برگرفته از بخش آمار سازمان هواشناسی کرمان.
- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴- نقشه پهنه بندی خشکسالی در سطح کشور بر اساس شاخص SPEI، مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران کشور.
- سیدامامی، ک.، ۱۳۵۱- کراتاسه بالایی در ایران، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره دوم، شماره ۲۲، صص. ۷ تا ۳۴.
- عزیزان، ح.، شهرکی، ع. و سیفوری، س.، ۱۳۷۷- نقشه زمین‌شناسی کرمان به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (شماره ۷۴۴۹)، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- عطاپور، ح.، ۱۳۸۶- تکوین ژئوشیمیایی و متالوژنی سنگ‌های آذرین پتاسیم‌دار در کمر بند آتشفشانی - نفوذی دهج - ساردوییه، استان کرمان با نگرشی ویژه به عناصر خاص، پایان‌نامه دکترای زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۴۰۱ ص.
- عطاپور، ح.، حسینی، م. و صرافی، ع.، ۱۳۸۶- گزارش مطالعات سنگ‌شناسی و کانه آرایبی مواد اولیه سیمان جهت بررسی علل خوردگی آسیاب‌ها در کارخانه سیمان ممتازان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت کرمان، ۲۴ ص.
- عطاپور، ح.، طاهری، م. و رحمانی، ف.، ۱۳۸۹- ژئوشیمی زیست محیطی سنگ، خاک، آب و گیاه در محدوده ورقه ۵۰۰۰۰: ۱ کرمان با نگرشی بر زمین‌شناسی پزشکی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت کرمان، ۴۹۶ ص.

References

- Aminzadeh Bazanjani, M. R., Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M. and Mhafezi Moghadam, N , 2013- An investigation of mineralogy and microscopic structure in Kerman city sediments, International Journal of Geography and Geology 2(8): 86-101.
- Arbogast, A. F. and Muhs, D. R., 2000- Geochemical and mineralogical evidence from eolian sediments for northwesterly Mid-Holocene paleowinds, central Kansas, USA, Quaternary International 67: 107-118.
- Atapour, H. and Aftabi, A., 2002- Geomorphological, geochemical and geo- environmental aspects of karstification in the urban areas of Kerman city, southeastern Iran. Environmental Geology 42 (7): 783-792.
- Atapour, H., 2015 - Geochemistry of potentially harmful elements in topsoils around Kerman city, southeastern Iran, Environmental Earth Sciences, 74(7): 5605-5624.
- Awadh, S. M., 2012- Geochemistry and mineralogical composition of the airborne particles of sand dunes and dust storms settled in Iraq and their environmental impacts, Environ. Earth Sci. 66: 2247-2256.
- Chapman, M. J., 2001- An economic study of coastal sand dune mining in Michigan, Report of investigation 20, Geological Survey Division, Michigan, 26pp.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region, Geological Survey of Iran, 334pp.
- Djokovic, I. D. and Dimitrijevic, M. N., 1972- Geological map of Iran, 1:100000 series ,sheet 7350-Baghin, Geol.Surv.Iran.
- Eslamizadeh, A., Ghanei Bafqi, M. and Samanirad, S., 2010- Geological processes of sand dune development in Sadegh Abad near Bafq, Central Iran and its geotourism attraction, The 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran, 26-28.
- Farahi, M., Shahryary, A., Fakhoreh, S. and Pahlavanroy, A., 2013 - Investigating the link between genetic characteristics and mineralogy of sand dunes in Tasouki-rigchah (Southeastern Sistan), Annals of Biological Research, 4(5): 51-55.
- Hamzeh , M. A., Aftabi, A. and Mirzaee, M., 2011- Assessing geochemical influence of traffic and other vehicle-related activities on heavy metal contamination in urban soils of Kerman city, using a GIS-based approach, Environmental Geochemistry and Health, 33(6): 577-594.
- Huckriede, R. M., Kursten, M. and Venzalf, H., 1962- Zur geologie des Gebietes Zwischen Kerman and Sagand, (Iran), Bei. Geol. Jahrb. 15, 197pp.
- IAEA, 2004- Soil sampling for environmental contaminants, International atomic energy agency, Austria, 81pp.

- Jahani, D., Karimpourian, M. and Shrafi, N., 2011- Characteristics and genesis of sand dunes around the Garmsar playa, Northern Iran, Proceeding of the 12th international conference on enviromental sciences and tecnology, Rhodes, Greece.
- Kasper-Zubillaga, J. J. and Zolezzi-Ruiz, H., 2007- Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(3): 423-438.
- Kasper-Zubillaga, J. J., Armstrong-Altrin, J. S., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O. and Santa Cruz, R. L., 2013- Control in beach and dune sands of the Gulf of Mexico and the role of nearby rivers, *International Journal of Geosciences* 4: 1157-1174.
- Mashhadi, N., Ahmadi, H. , M. R., Ekhtesasi, Feiznia, S. and Fegghi, G., 2007- Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran), *BIABAN (Desert Journal)* 12: 69-75.
- Moufti, A. M. B., 2013- Mineralogy, geochemistry and possible provenance of desert sand dunes from western Rub' al Khali area, southeastern Saudi Arabia, *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(4): 399-407.
- Muhs, D. R. and Budahn, J. R., 2006- Geochemical evidence for the origin of late Quaternary loess in central Alaska, *Can. J. Earth Sci.* 43: 323-337.
- Muhs, R. M. and Benedict, J. B., 2006- Eolian addition to late Quaternary alpine soils, Indian peaks wilderness area, Colorado front Range, Arctic, antrarctic and alpine research 38(1): 120-130.
- Rahdari, M. R., Khosravi, H. and Samani, A. N., 2014- The nature and origin of sand dunes in Kashan ERG, Iran, *International Journal of Farming and Allied, Sciences* 3(5): 597-602.
- Rahimzadeh, F., 1983- Contribution a la geologie de la formation de Kerman (Paleocene) Iran Central , etude sedimentologique et paleogeographique, These de doctorat de specialite, univ.Grenoble, 149p.
- Rahman-Rad, J., Firuzan, M. and Baraeenejhad, M., 2010- Soil collapsibility of Kerman city, The 1" International Applied Geological Congress, Department of geology, Islamic Azad university, Mashad, Iran, 26-28 April , 560- 565.
- Reyer, D. and Mohafez, S., 1972- A First contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology. Edition Techniqs Paris, 58 pp.
- Ruttner, A. W., Nabavi, M. H. and Hajian, J., 1968- Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran).Geological Survey of Iran, Reports 4: 1-133.
- Stocklin, L., Eftekharnjad, J. and Hushmandzadeh, A., 1965- Geology of the Shotori Range (Tabas area, East Iran). Geological Survey of Iran, Report 3: 1-69
- Svendsen, J., Friis, H., Stollhofen, H. and Hartley, N., 2007- Facies discrimination in a mixed fluvio- eolian setting using elemetal whole- rocks geochemistry applications for reservoir characterization, *Journal of Sedimentary Research* 77: 23-33.
- Winspear, N. R. and Pye, K., 1996- Textural, geochemical and mineralogical evidence for the sources of aeolian sand in central and southwestern Nebraska, U.S.A., *Sedimentary Geology* 101: 85-98.

Mineralogy and geochemistry of aeolian sediments around Kerman

H. Atapour^{1*}

¹Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2016 January 13

Accepted: 2016 June 08

Abstract

The Quaternary aeolian sands occur in northern and southern parts of the urban areas of the Kerman city. The important aeolian and interlayered sedimentary structures are cross-bedding and ripple mark. Diameter of the aeolian sands ranges from 0.06 to 2 mm, but coarse-grained (gravel size) alluvial deposits are interlayered within the aeolian sands. Mineralogy and petrography of the aeolian sands indicate the presence of rock fragments (30 % carbonate, 25 % igneous and 5 % metamorphic rocks), silicate minerals (15 %) and non-silicate minerals (25 %). The Aeolian sands contain calcite (10%), quartz - chert (12%), alkali feldspar- plagioclase (5%), iron-titanium oxides (5%), clinopyroxene (2%), amphibole (1%) and gypsum (5%). Normative minerals include 30% calcite, 15.4% quartz, 12.5% orthoclase, 10% albite, 2.5% anorthite, 2% diopside, 1% enstatite, 4.6% clay minerals, 0.37% apatite, 3% gypsum, 3% hematite, 0.45% brookite and 10% dolomite. Major element composition of 22 aeolian samples analyzed by XRF and ICP-OES methods shows the frequent occurrence of calcium oxide and lower content of silica compared to the aeolian sands of other regions of the world, though the other major oxides are similar to the aeolian sands of Iraq, Saudi Arabia, Mexico and Namibia. Geochemical diagrams of K_2O/Al_2O_3 versus Na_2O/Al_2O_3 and SiO_2/Al_2O_3 versus Fe_2O_3/K_2O and Na_2O/K_2O suggest a combined provenance of the igneous, metamorphic and carbonate sedimentary rocks for the aeolian sands around the urban areas of the Kerman city.

Keywords: Aeolian sands, Mineralogy, Geochemistry, Kerman city.

For Persian Version see pages 197 to 210

*Corresponding author: H. Atapour; E-mail: atapour@uk.ac.ir