

بررسی الگوی توزیع ذرات رسوبی تحت تاثیر تغییرات شدت جریان باد و آب در منطقه صالح‌آباد (شمال شرق ایران)، با اشاره بر اثرات زیست‌محیطی

امینه دررودی^۱، عفت پاسبان^۲، محمدحسین محمودی قرائی^{۳*} و امیر کریمیان طرقله^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانش‌آموخته دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: mhmgharaie@um.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

ریزگردها به عنوان یک پدیده طبیعی می‌توانند تأثیرات قابل‌توجهی بر سیستم زمین، محیط‌زیست و زندگی انسان داشته باشند. به منظور بررسی پارامترهای رسوب‌شناسی ریزگردهای منطقه صالح‌آباد، ۷ دستگاه نمونه‌گیر ته‌نشینی در شهرستان صالح‌آباد و ۶ روستای اطراف آن نصب شد و گردوغبار در طی یکسال جمع‌آوری و مورد آنالیز دانه‌سنجی لیزری قرار گرفت. طبقه‌بندی ذرات با استفاده از نمودار فولک (۱۹۷۴) تجمع ذرات در محدوده سیلت را نشان می‌دهد. با توجه به ریز بودن اندازه ذرات، ریزگردها از منابع با فاصله زیاد منشأ گرفته‌اند. الگوی بایمدال و پلی‌مدال در نمودارهای توزیع ذرات به وجود منابع مختلف ریزگرد با توجه به جهت بادهای مختلف و شدت آن در طی سال اشاره می‌نماید. داده‌های حاصل از گلبادهای منطقه بیانگر وجود دو جهت باد اصلی در منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این، وجود جریان‌های آبی نیز می‌تواند باعث پلی‌مدال شدن نمودارها گردد. فراوانی ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون در نمونه‌های گرد و غبار پتانسیل ایجاد مشکلات زیست‌محیطی را به همراه دارد که می‌تواند به بروز بیماری‌های تنفسی بیانجامد.

واژگان کلیدی: ریزگرد، صالح‌آباد، فرسایش بادی، منشأ ذرات، دانه‌سنجی لیزری

۱- پیشگفتار

فرسایش بادی یکی از مهم‌ترین اشکال تخریب یا فرساینده سطح زمین (پن و همکاران، ۲۰۰۶ و لاکووا و همکاران، ۲۰۲۱) بوده و سپس رسوب‌گذاری دانه‌های ماسه‌ای و گردوغبار از فرایندهای مهم در مناطق بیابانی است. باد در مقایسه با آب‌های جاری نقش کم‌اهمیت‌تری در فرایندهای فرسایشی ایفا می‌کند، اما بیشترین تأثیر را در نواحی خشک و نیمه‌خشک دارد. دو عامل اساسی برای نقش موثر باد، خشک بودن محیط یا اقلیم و پوشش گیاهی کم است. در نواحی مرطوب، رطوبت ذرات خاک را به یکدیگر چسبانده و باعث تثبیت آن می‌شود. پوشش گیاهی نیز خاک را تثبیت می‌کند در نتیجه میزان فرسایش بادی بسیار کاهش می‌یابد، اما در نواحی خشک و نیمه‌خشک با توجه به سرعت باد و فراهم بودن شرایط مناسب، باد می‌تواند سبب تخریب، حمل و ته‌نشینی مقدار زیادی

رسوب شود (الزهرانی و همکاران، ۲۰۲۴). گرد و غبار یک پدیده طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به دلیل فقدان رطوبت، هنگامی رخ می‌دهد که باد شدید و مداوم با خاک خشک، ریزدانه و سست بر هم کنش داشته باشد (بیجیترهان و همکاران، ۲۰۱۸؛ جویباری و همکاران، ۱۳۹۸ و کانگ و همکاران، ۲۰۲۱). گردوغبار می‌تواند توسط باد تا ارتفاعات زیادی بالا رود چون اغلب از دانه‌هایی تشکیل شده است که در مقایسه با وزنشان دارای سطح جانبی زیاد هستند. این رسوبات بیشتر از ذرات دانه ریز، در حد سیلت و رس تشکیل شده‌اند که توسط جریان باد به صورت معلق حمل شده و پس از کاهش سرعت آن رسوب می‌کنند و ممکن است منطقه‌ای به وسعت چندین کیلومتر را بپوشانند (زنوبیتی و همکاران، ۲۰۰۰ و مرادی و همکاران، ۱۴۰۱). این پدیده رسوب‌شناسی تأثیرات گسترده‌ای بر روی سیستم‌های اقیانوسی و قاره‌ای،

محدوده‌ی مرزی سه کشور ایران، ترکمنستان و افغانستان و همچنین وجود اشکال ژئومورفیکی فرسایش بادی مانند سیف از شمال شرق به سمت جنوب غرب، را می‌توان نام برد. از منابع مهم گردوغبار در منطقه مورد مطالعه می‌توان به دریاچه خشک شده آرال در شمال شرق اشاره کرد که اکنون به یک بیابان نمکی و یک منبع فعال گردوغبار تبدیل شده است و تاثیر مستقیمی بر آب و هوا، فرسایش خاک و افزایش نمک در سایر مناطق داشته است به طوری که توفان‌های گردوغبار، ماسه و نمک یک فرآیند متداول در جنوب قزاقستان بوده و به طور متوسط از ۴۰ تا ۱۱۰ روز در سال از جهت شرق- شمال شرقی به سمت غرب- جنوب غربی جریان می‌یابند (ایسانووا، ۲۰۱۵ و جی و همکاران، ۲۰۲۲). ناحیه‌ی شمال شرق کشور اغلب مسیر خروج توده‌های هوایی است که از غرب به کشور وارد شده و از این ناحیه می‌گذرند. مطالعات انجام شده در این ناحیه نشان‌دهنده‌ی نبود خشکسالی‌های شدید حداقل تا اواخر دهه ۹۰ است. این در حالی است که فراوانی خشکسالی‌های واقعی و شدید از اواخر دهه ۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ افزایش یافته و دوره‌های خشکسالی مشهود است که این شرایط حتی باعث کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی نیز شده است (دوستان، ۱۳۹۴). طبق پهنه‌بندی اقلیمی اداره کل هواشناسی استان، خراسان رضوی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، تغییرات خشکسالی نامنظمی را داشته که براساس میزان بارش‌ها شدت خشکسالی‌ها نیز متغیر است. به طور کلی تاثیرپذیری مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به خشکسالی بیشتر است و با وقوع خشکسالی به دلیل کمبود بارندگی، پوشش گیاهی ناچیز است و خاک خشک شرایط را برای ایجاد فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار فراهم می‌سازد. ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه صالح‌آباد و روستاهای مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌جام و ۱:۱۰۰۰۰۰ آق‌در بند قابل مشاهده است. دشت تربت‌جام با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی بیشتر توسط انباشته‌های کواترنری پوشیده شده است. بخش‌های جنوب غربی این منطقه تپه ماهوری و روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد. باتوجه به نوع آب و هوای خشک و نیمه‌خشک منطقه، رودخانه‌ها بصورت فصلی هستند. بلندترین نقطه آن در شرق تنگ پنج مرغ با ارتفاع ۲۱۰۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه در جنوب شرقی با ارتفاع ۷۱۰ متر از سطح دریا در بستر رودخانه‌ی جام‌رود

چرخه‌های بیوشیمیایی جهانی، فرآیندهای اقلیمی و شیمی هوا، آلودگی جوی و سلامت انسان دارد (انگلبرشت و دریشایر، ۲۰۱۰ و آدبیبی و همکاران، ۲۰۲۳). طبق گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت سالانه حدود ۵۰۰۰۰۰ نفر تحت تاثیر قرارگیری در معرض ذرات معلق، دچار مرگ زودرس می‌شوند (کولز جی، ۲۰۰۲). تنفس مهم‌ترین راه عبور گردوغبار و ذرات معلق به بدن است، البته باید در نظر داشت که این ذرات از طریق پوست و بلع نیز می‌توانند باعث آسیب به بدن شوند (طاهری و همکاران، ۲۰۱۵؛ کارشیوا و همکاران، ۲۰۲۱ و علی و همکاران، ۲۰۲۳). از این‌رو مطالعه و بررسی رسوبات و خاک سطحی و گردوغبار حاصل از آن حائز اهمیت است. در کشور ایران که در کمربند بیابانی قرار گرفته و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک و دو بیابان بزرگ لوت و کویر است و همچنین به علت نزدیکی آن به بیابان گرم عربستان، جنوب عراق، سوریه، صحرا و بیابان سرد قره قوم در شمال شرق، وجود پدیده‌ی گردوغبار امری طبیعی است. بخش شمال شرقی ایران، مرزهای افغانستان و پاکستان و حتی مرکز و شمال غربی ایران نیز می‌توانند تحت تاثیر توفان‌های گردوغبار منشا گرفته از بیابان قره قوم در جنوب ترکمنستان و بستر دریاچه‌ی خشک شده‌ی آرال باشند (جی و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین شمال شرق ایران تحت تاثیر بادهای ۱۲۰ روزه است که از سمت ترکمنستان و افغانستان جریان دارد (باغی، ۱۳۹۸).

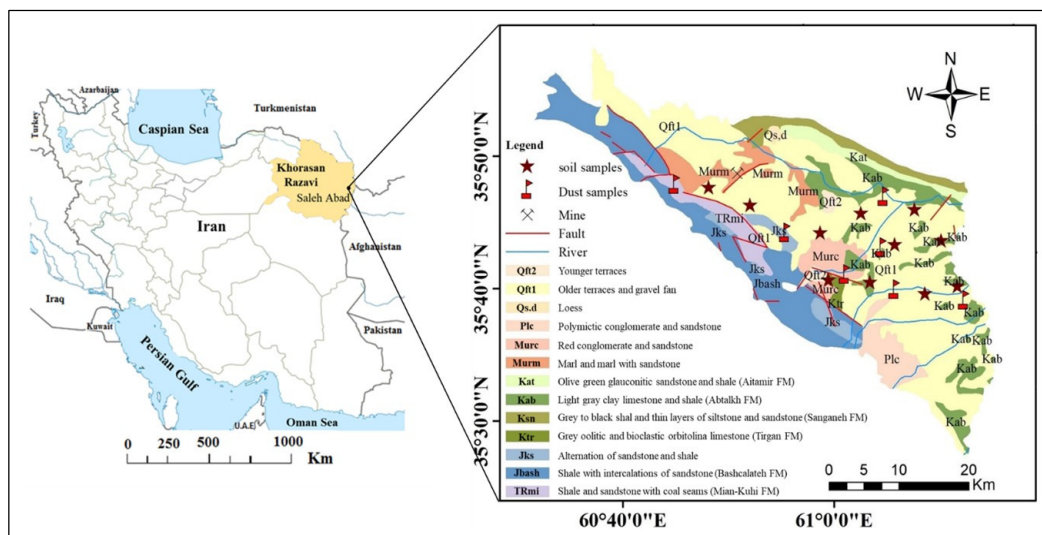
هدف از این مطالعه آنالیز اندازه ذرات رسوبی و پارامترهای بافتی رسوبات منطقه صالح‌آباد در شرق استان خراسان رضوی و همچنین بررسی تاثیر جریان‌های بادی و آبی بر اندازه رسوبات و تاثیر زیست‌محیطی اندازه ذرات است.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه شهرستان صالح‌آباد در شمال شرق خراسان رضوی، به طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۵ دقیقه و عرض ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه است که در فاصله ۹۰ کیلومتری شمال شرقی تربت‌جام و در فاصله ۱۷۴ کیلومتری جنوب شرقی مشهد قرار دارد (شکل ۱). علاوه بر شهرستان صالح‌آباد شش روستای دیگر در مناطق مجاور نیز مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: کلاته‌دهنو، حسن‌آباد، جهان‌آباد، درخت‌توت، گوش‌لاغر و فالیزک (شکل ۱). از دلایل انتخاب این منطقه، مجاورت آن به

متر ارتفاع در باختر منطقه قرار دارد. این محدوده نیز بخشی از حوضه کپه‌داغ است و واحدهای سنگی آن مجموعه‌ای به نسبت مرتفع و تخت گاهی است که با شیب ملایم به اطراف محدود می‌شود. واحدهای سنگی موجود در منطقه از پالئوزوئیک تا عهد حاضر شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن، سنگ‌آهک، پادگانه‌های آبرفتی سخت نشده و انباشته‌های لسی است (قائمى، ۱۳۸۴).

است. به طور کلی منطقه تربت‌جام در محل برخورد واحدهای ساختاری- رسوبی کپه‌داغ و ایران مرکزی جای گرفته است. از نظر پهنه‌بندی ساختاری، منطقه‌ی مورد مطالعه در پهنه کپه‌داغ قرار دارد (علوی و نائینی، ۱۹۹۴). منطقه آق‌دربند نیز از دید اقلیمی نیمه خشک و کوهستانی است. بلندترین نقطه آن با ۲۱۴۴ متر ارتفاع در کوه شاه‌نشین واقع در جنوب خاوری و پست‌ترین نقطه با ۷۳۰



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نمونه‌های رسوب سطحی و گردوغبار
Fig. 1. Geographical location of the study area and surface sediment and dust samples

۳-۲- نمونه‌برداری از گردوغبار

جهت نمونه‌گیری از گردوغبار روش‌ها و ابزار مختلفی وجود دارد. بدین منظور در این مطالعه برای جمع‌آوری گردوغبار ریزشی، از نمونه‌بردارهای قیفی شکل استفاده شده است (شکل ۲). که این دستگاه‌ها در شهریورماه ۱۴۰۱ به ترتیب در روستاهای کلاندهنو، حسن‌آباد، صالح‌آباد، جهان‌آباد، درخت‌توت، فالیزک و گوش‌لاغر در ارتفاع ۳ تا ۵ متری مستقر شد (شکل ۱). قطر دهانه قیف این نمونه‌گیرها به اندازه ۷۵ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر با توجه به جهت باد در حدوده مورد مطالعه تعیین شد. جنس تله‌های قیفی شکل از گالوانیزه بوده که نسبت به عوامل محیطی مقاوم است. برداشت نمونه‌های جمع‌آوری شده توسط دستگاه‌ها در طول یک دوره‌ی یک‌ساله به صورت ماهیانه انجام شد. برای جمع‌آوری و برداشت نمونه‌ها توسط نمونه‌گیرهای ته‌نشینی از ظروف پت استفاده شد و نمونه‌ها پس از هر دوره برداشت به آزمایشگاه ژئوشیمی رسوبی دانشکده علوم منتقل و وزن شدند.

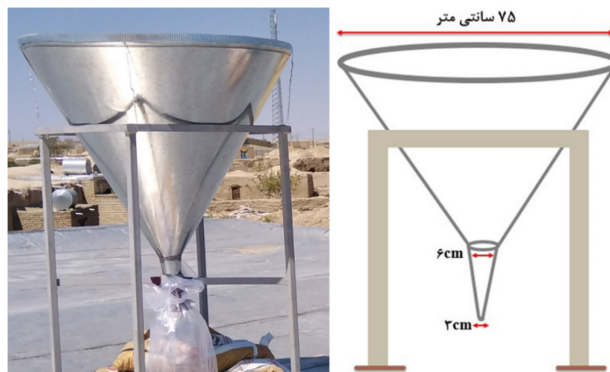
۳- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی رسوبات بادی، از خاک سطحی و گردوغبار منطقه نمونه‌برداری شده و سپس اندازه ذرات و بافت رسوبات تعیین گردید. همچنین با ترسیم گلباد توسط نرم‌افزار WRplot جهت وزش غالب باد منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱- نمونه‌برداری از رسوبات سطحی

بدین منظور سطحی به وسعت ۲۰×۲۰ سانتی‌متر انتخاب و تعداد ۱۱ نمونه رسوب از اطراف منطقه صالح‌آباد تا عمق ۲ سانتی‌متر از سطح آن برداشت شد و در کیسه مخصوص نمونه‌برداری کدگذاری و نگهداری شدند، سپس جهت آماده‌سازی و آنالیز به آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد منتقل گردید. همچنین موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه GPS مشخص و ثبت شد (شکل ۱).

دورتر باشند اندازه‌ی آن‌ها ریزتر است (گوسن، ۲۰۰۷). با توجه به این رابطه ذرات در اندازه‌های ماسه و سیلت نسبت به فرسایش بادی حساس‌تر هستند به طوری که ذرات در حد ماسه نزدیک به زمین حرکت می‌کنند و در حد سیلت در توفان‌هایی با شدت متوسط حمل می‌شوند. در این پژوهش جهت انجام آنالیز دانه‌سنجی ذرات گردوغبار به روش لیزر، به دلیل کم بودن مقادیر نمونه‌های گردوغبار ابتدا نمونه‌های هر ماه در هر ایستگاه برداشت به صورت فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) با یکدیگر مخلوط شده و سپس با توجه به مقدار مورد نیاز برای آنالیز دانه‌سنجی ۷ نمونه از ایستگاه‌های مورد نظر در منطقه مطالعاتی صالح‌آباد انتخاب و پس از توزین از الک با شماره مش ۲۳۰ عبور داده شد و ذرات زیر الک (سینی) به آزمایشگاه دانه‌سنجی مرکز زمین‌شناسی ساری ارسال گردید.



شکل ۲. نمونه‌گیر قیفی شکل مورد استفاده در این مطالعه

Fig. 2. Funnel-shaped sampler used in this study

سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ به صورت ماهانه دریافت شد. طبق این داده‌ها سرعت و جهت باد منطقه در هر ماه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدل گلباد باتوجه به سرعت و جهت باد در منطقه توسط نرم‌افزار WRPLOT ترسیم گردید.

۴- نتایج

۴-۱- نتایج دانه‌بندی و محیط‌رسوبی رسوبات سطحی

مقادیر وزنی رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد در جدول ۱ ارائه شده است. طبق این نتایج، ذرات رسوب جمع‌آوری شده بیشتر در اندازه ماسه بسیار ریز (۱۲۵ میکرون یا ۳ فی) هستند بجز دو نمونه‌ی SS1 و SS6 که ذرات در حد

۳-۳- دانه‌بندی رسوبات سطحی

جهت انجام دانه‌بندی ابتدا ۱۵۰ گرم از نمونه‌های برداشت شده توسط ترازو وزن گردید و از شش الک با شماره مش به ترتیب ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ عبور داده شد، بعد از اتمام، وزن رسوب باقیمانده روی هر الک و زیر الک (سینی) با ترازو سنجیده و درصد وزنی آن‌ها مشخص گردید.

۳-۴- دانه‌سنجی گردوغبار

اندازه دانه‌های گردوغبار علاوه بر تاثیر بر روی وضعیت سلامت، اطلاعات ارزشمندی در رابطه با شیوه‌ی انتقال و منشا این ذرات (منشا محلی یا منشا دور دست) نیز در دسترس قرار می‌دهد. توزیع اندازه‌ی ذرات گردوغبار را در هر منطقه می‌توان نشان‌دهنده‌ی دو عامل در نظر گرفت، اول توزیع اندازه ذرات در منطقه منشا و دوم فاصله از منشا که لازم به ذکر است ذرات گردوغبار هرچه از منبع برداشت

۳-۵- کانی‌شناسی به روش XRD

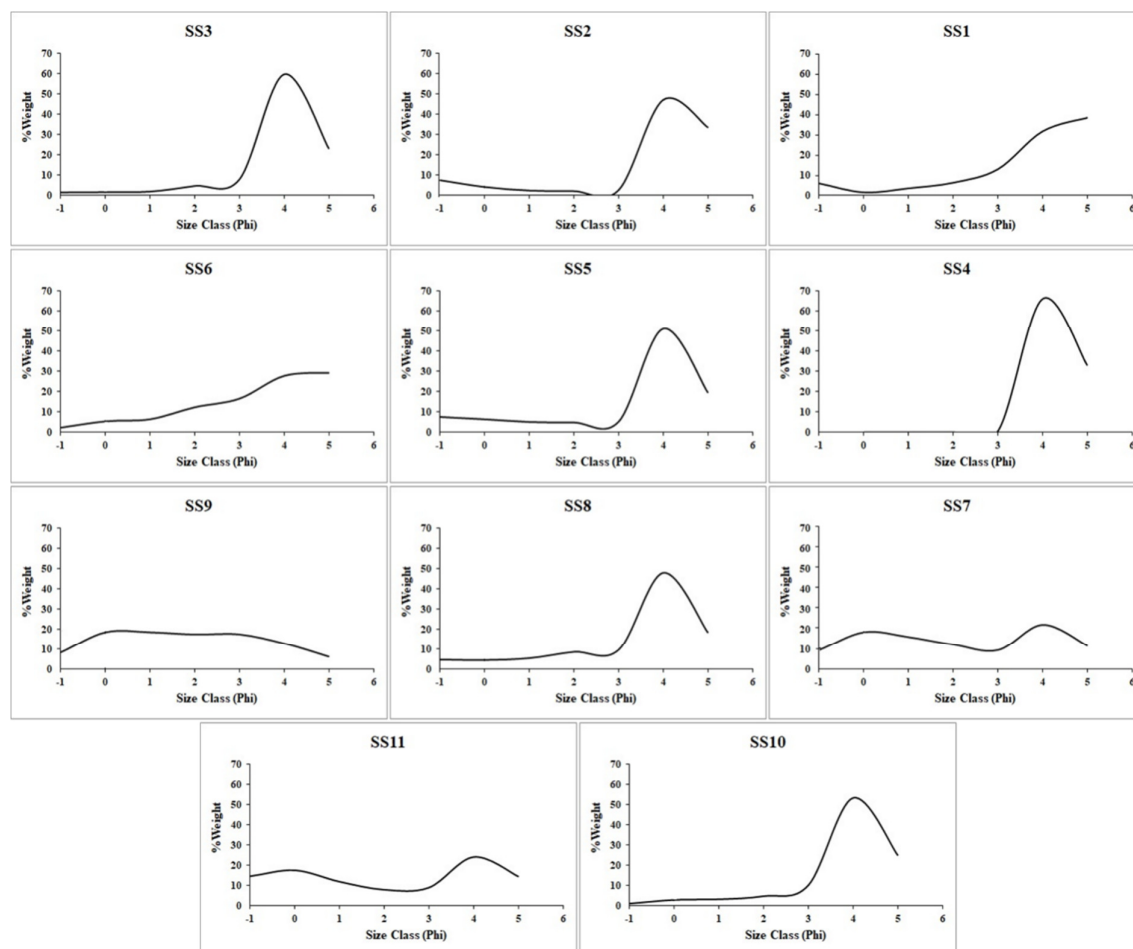
جهت شناسایی کانی‌های موجود، ۳ نمونه از رسوبات سطحی و ۷ نمونه‌ی گردوغبار ته‌نشینی انتخاب و نمونه‌های موردنظر پس از پودر شدن، به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی ارسال و مورد آنالیز کانی‌شناسی با استفاده از دستگاه پراش‌اشعه X، مدل D5000 قرار گرفتند.

۳-۶- جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

برای این منظور داده‌های هواشناسی ایستگاه تربت‌جام که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه‌ی مورد مطالعه در صالح‌آباد است برای مدت زمان یکساله‌ی نمونه‌برداری (مهرماه ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲) و دوره آماری ده ساله از

مطالعه هر دو عامل آب و باد نقش مهمی در حمل و تجمع رسوبات سطحی داشته‌اند. نمونه‌های رسوب سطحی مورد مطالعه تحت تاثیر شاخه‌های فرعی رودخانه هریرود در مرز کشور ایران با کشورهای افغانستان و ترکمنستان است به طوری که نمونه‌های SS1 تا SS5 همه تحت تاثیر رودخانه‌های فصلی و زیرمحیط رسوبی دشت سیلابی آن‌ها هستند (شکل ۴- الف). نمونه‌ی SS6 مربوط به شاخه رودخانه و SS7 دقیقاً در دشت سیلابی واقع شده است (شکل ۴- ب). نمونه‌های SS8 و SS10 در دشت سیلابی با تاثیر کاربری اراضی قرار دارند و نمونه‌ی SS9 در بخش پایین‌دست مخروط افکنه و دشت سیلابی رودخانه‌ی فصلی است. تنها نمونه‌ی SS11 مربوط به کانال رودخانه فصلی است (شکل ۴- ج).

سیلت و رس (۳۱/۳ میکرون یا ۵ فی) بیشتری دارند. بیشترین مقدار ذرات در اندازه Granule (۲۰۰ میکرون یا ۱- فی) نیز مربوط به نمونه‌ی SS11 با ۲۱/۹۵ گرم است. شکل ۳ فراوانی نسبی ذرات رسوبی را در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که براین اساس الگوی رسوبی نمونه‌های رسوب سطحی منطقه بدین صورت است که ۵ نمونه‌ی SS1، SS2، SS4، SS5 و SS10 با یک مد روی ۴ فی یونی‌مدال^۱ و ۲ نمونه‌ی SS3 و SS8 دارای یک مد اصلی روی ۴ فی و یک مد فرعی روی ۲ فی هستند. ۳ نمونه‌ی SS7، SS9 و SS11 با دو مد اصلی به ترتیب روی ۰ و ۴ فی، ۳ فی و ۰ و ۴ فی بای‌مدال^۲ و فقط نمونه‌ی SS6 دارای سه مد روی ۰، ۲ و ۴ فی مولتی‌مدال^۳ است. مد رسوبی معرف منشا تامین ذرات رسوبی است که در این



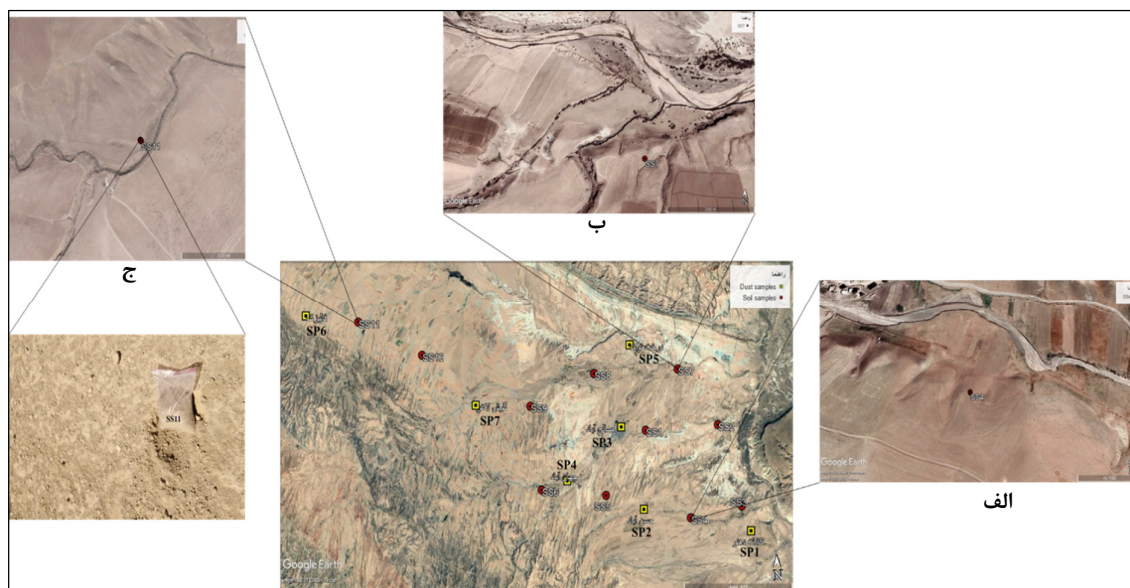
شکل ۳. منحنی توزیع فراوانی اندازه ذرات رسوبات سطحی - آبرفتی منطقه صالح‌آباد

Fig. 3. Particle size distribution curve of surface-alluvial sediments in the Saleh-Abad region

³ Multimodal

¹ Unimodal

² Bimodal



شکل ۴. الف) موقعیت نمونه‌ی SS4 (Unimodal). ب) موقعیت نمونه‌ی SS7 (Bimodal). ج) موقعیت محل برداشت نمونه‌ی SS11 (Bimodal).
Fig. 4. A) Location of sample SS4 (Unimodal). B) Location of sample SS7 (Bimodal). C) Location of sample SS11 (Bimodal).

جدول ۱. نتایج توزیع اندازه ذرات رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد (gr)

Table 1. Results of particle size distribution of surface sediments in Saleh-Abad region (gr)

Size Class (ϕ)	5	4	3	2	1	0	-1
S.ID	Clay & Silt	V.F.S	F.S	M.S	C.S	V.C.S	Granule
SS1	57.2	47.19	19.36	9.44	5.34	2.33	8.94
SS2	50.47	70.68	4.02	3.27	3.72	6.36	11.37
SS3	34.71	89.73	11.74	6.84	2.67	2.27	2.01
SS4	49.62	98.7	0.78	0.22	0.15	0.1	0
SS5	29.53	76.67	7.81	7.23	7.63	9.62	11.34
SS6	43.73	41.52	24.77	18.43	9.61	8.07	3.41
SS7	17.75	33.29	14.2	18.48	24.19	27.78	14.29
SS8	27.92	71.64	14.54	13.02	8.37	6.93	7.31
SS9	9.73	19.53	26.23	26.13	27.74	27.72	12.85
SS10	37.55	79.89	15.05	7.01	4.67	4.25	1.48
SS11	21.81	36.11	13.53	11.96	17.9	26.32	21.95

است به طوری که نوع جورشدگی نمونه‌ها طبق طبقه‌بندی ارائه شده توسط فولک (۱۹۷۴) جورشدگی بد تا بسیار بد را نشان می‌دهد که معرف محیط‌ها و زیرمحیط‌های رودخانه است. میزان کج‌شدگی ترسیمی جامع (SKI) نیز در نمونه‌های مورد نظر طبق مقیاس و طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) در دو نمونه SS5 و SS8 کج‌شدگی منفی و طبق مقیاس فولک رده Coarse Skewed را نشان می‌دهند و سایر نمونه‌ها SKI مثبت دارند به طوری که پنج نمونه کج‌شدگی خوب^۱، دو نمونه‌ی SS3 و SS4 رده به شدت کج‌شده^۲ و دو نمونه‌ی SS2 و SS11 رده کج‌شدگی نزدیک

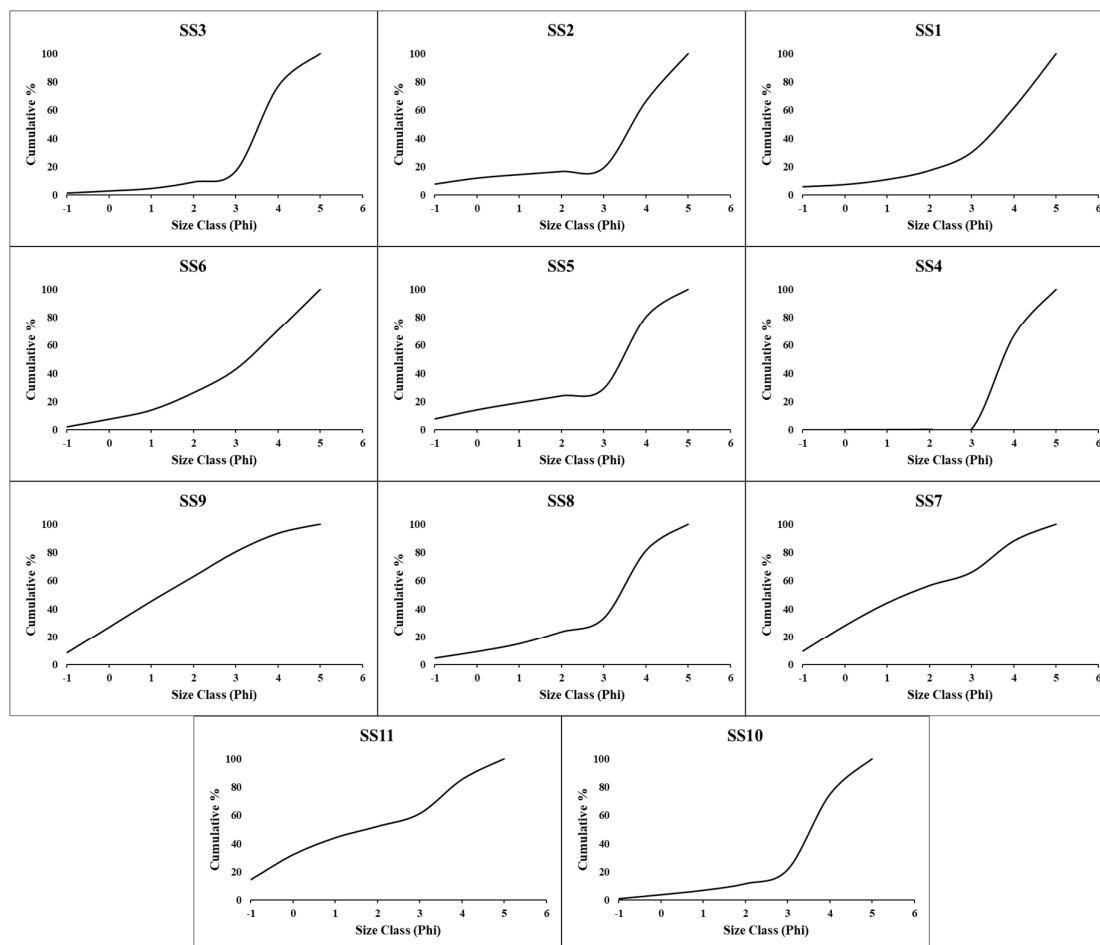
باتوجه به پارامترهای آماری مورد نیاز برای تفسیر ویژگی‌های ذرات رسوبی (فولک و وارد، ۱۹۵۷)، در جدول ۲ پارامترهای رسوب‌شناسی رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد و در شکل ۵ منحنی تجمعی اندازه ذرات ارائه شده است. دامنه تغییرات حد متوسط اندازه ذرات یا میانگین ذرات (MZ) در نمونه‌های مورد نظر، بین ۱.۳۰-۴.۵۱ فی است. مقدار میانه (Md) نیز از ۱.۲۵-۳.۷۳ است. انحراف‌معیار ترسیمی جامع (σI) که میزان جورشدگی را نشان می‌دهد در نمونه‌های مورد نظر از کمترین مقدار ۱.۶۰ فی تا بیشترین مقدار ۲.۶۸ فی متغیر

² Strongly Fine Skewed

¹ Fine Skewed

نمونه SS3 و SS10 بی‌نهایت کشیده^۵، سه نمونه SS2، SS5 و SS8 بسیار کشیده^۶ و چهار نمونه‌ی دیگر از نظر کشیدگی مزوکورتیک^۷ یا متوسط هستند.

به متقارن یا Near Symmetrical را نشان می‌دهند. مقادیر کشیدگی^۳ در نمونه‌های مورد مطالعه کشیدگی متفاوت را نشان می‌دهد به طوری که دو نمونه SS1 و SS6 طبق طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) لپتوکورتیک^۴ یا کشیده، دو



شکل ۵. منحنی تجمعی اندازه ذرات رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد

Fig. 5. Cumulative particle size curve of surface sediments in Saleh-Abad region

اندازه ماسه بسیار ریز (V.F.Sand) هستند که نمونه SP4-Spring بیشترین مقدار ماسه (0.23) را در بین نمونه‌ها دارد و بیشترین میزان ذره در اندازه رس (Clay) را نیز نمونه SP3-Spring دارا است. به طور کلی در نمونه‌های گردوغبار بر طبق رابطه اندازه ذرات از منبع (مکتینش و همکاران، ۱۹۹۷؛ گودی و میدلتون، ۲۰۰۶؛ مونرو و همکاران، ۲۰۲۳ و آدیبی و همکاران، ۲۰۲۳) با وجود مقادیری از ذرات در حد ماسه بسیار ریز، باز هم

۴-۲- نتایج دانه‌سنجی نمونه‌های گردوغبار

مقادیر وزنی ذرات گردوغبار اتمسفری منطقه صالح‌آباد در نمونه‌گیرهای ته‌نشینی در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این نتایج ذرات گردوغبار جمع‌آوری شده توسط نمونه‌گیرهای ته‌نشینی بیشتر در محدوده ذرات با اندازه سیلت (۶۲/۵ تا ۳/۹ میکرون یا ۴ تا ۸ فی) هستند. بجز نمونه SP7-Spring (۶ تا ۹ فی) که نشان‌دهنده گردوغبار فصل بهار است، هر شش نمونه منتخب دیگر دارای ذره در

⁶ Very Leptokurtic

⁷ Mesokurtic

³ Kurtosis

⁴ Leptokurtic

⁵ Extremely Leptokurtic

SP5 و SP6 دارای یک مد اصلی روی ۷ و ۶ فی و یک مد فرعی روی ۴ فی هستند. نمونه‌ی SP3 با دو مد روی ۷ و ۴ فی بایمدال و نمونه‌ی SP4 دارای سه مد روی ۶، ۴ و ۷ فی مولتی مدال است. با توجه به اینکه ذرات در اندازه‌های بسیارریز (زیر ۱۰ میکرون) از نظر سلامتی حائز اهمیت زیادی هستند، مرز اندازه ذرات ۱۰ میکرون بر روی نمودارهای شکل ۶ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بخش قابل توجهی از نمونه‌های گردوغبار دارای ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون هستند.

بیشترین سایز ذرات در محدوده سیلت است که می‌توان گفت در این نمونه‌ها ذرات گردوغباری که از فواصل نسبتاً دورتر به منطقه انتقال یافته‌اند سهم بیشتری در گردوغبار منطقه مورد مطالعه دارند. بر اساس مطالعه مکتبش و همکاران (۱۹۹۷) مقادیر در اندازه ماسه می‌توانند منشأ محلی مانند فعالیت‌های انسانی داشته باشند. شکل ۶ فراوانی ذرات را در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بر این اساس الگوی رسوبی نمونه‌های رسوب بادی منطقه بدین صورت است که ۲ نمونه‌ی SP1 و SP7 با یک مد به ترتیب روی ۶ و ۷ فی یونی‌مدال و ۳ نمونه‌ی SP2،

جدول ۲. پارامترهای رسوب‌شناسی رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد

Table 2. Sedimentological parameters of surface sediments in the Saleh-Abad region

S.ID	MZ	Md	σI	SKI	K	Sediment name
SS1	4.09	3.61	2.68	0.12	1.19	Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS2	4.01	3.64	2.63	0.08	1.76	Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS3	3.99	3.54	1.70	0.38	3.37	Slightly Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS4	4.51	3.73	1.60	0.71	1.08	Medium Silty Very Fine Sand
SS5	2.91	3.40	2.50	-0.18	2.20	Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS6	3.56	3.24	2.57	0.15	1.22	Slightly Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS7	1.54	1.47	2.37	0.17	0.95	Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS8	3.05	3.34	2.20	-0.12	2.03	Slightly Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS9	1.30	1.25	1.96	0.11	0.96	Very Fine Gravelly Coarse Sand
SS10	3.94	3.52	2	0.26	3.32	Slightly Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand
SS11	1.57	1.72	2.56	0.07	0.91	Very Fine Gravelly Medium Silty Very Fine Sand

جدول ۳. نتایج توزیع اندازه ذرات گردوغبار منطقه صالح‌آباد (gr)

Table 3. Results of dust particle size distribution in Saleh-Abad region (gr)

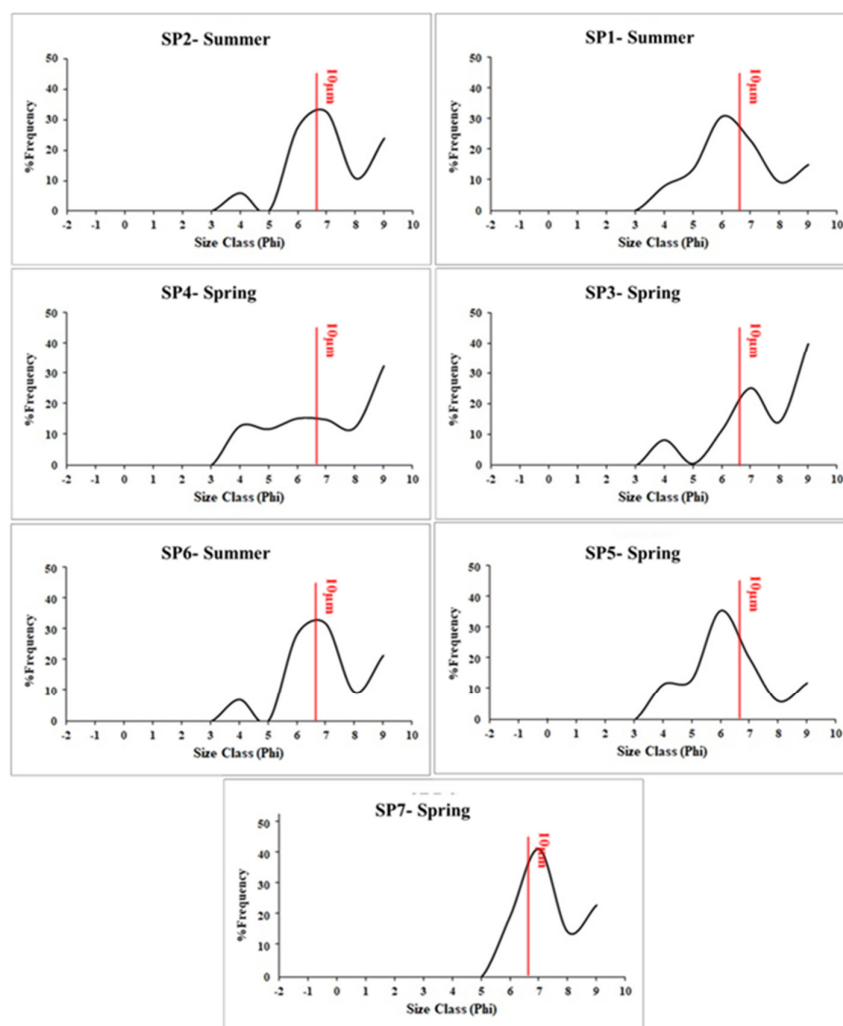
Size Class(ϕ)	9	8	7	6	5	4
S.ID	Clay	V.F.Silt	F.Silt	M.Silt	C.Silt	V.F.Sand
SP1- Summer	0.336	0.209	0.512	0.689	0.303	0.18
SP2- Summer	0.529	0.237	0.72	0.611	0.002	0.13
SP3- Spring	0.719	0.256	0.455	0.208	0.012	0.15
SP4- Spring	0.583	0.222	0.268	0.275	0.212	0.23
SP5- Spring	0.188	0.096	0.312	0.549	0.205	0.18
SP6- Summer	0.363	0.162	0.536	0.477	0.002	0.12
SP7- Spring	0.4	0.25	0.712	0.338	-	-

(σI) در نمونه‌های مورد نظر از کمترین مقدار ۱.۱۶ فی تا بیشترین مقدار ۱.۹۱ فی متغیر است به طوری که هر هفت نمونه تهنشینی براساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) جورشدگی بد را نشان می‌دهند. SKI نیز در دو نمونه SP3-Spring و SP4-Spring کج‌شدگی منفی و طبق مقیاس فولک رده Coarse Skewed را نشان می‌دهند و سایر نمونه‌ها کج‌شدگی مثبت و خوب (Fine Skewed) و

باتوجه به پارامترهای آماری مورد نیاز برای تفسیر ویژگی‌های ذرات (فولک و وارد، ۱۹۵۷)، در جدول ۴ پارامترهای رسوب‌شناسی گردوغبار منطقه صالح‌آباد و در شکل ۷ منحنی تجمعی اندازه ذرات گردوغبار ارائه شده است. دامنه تغییرات میانگین اندازه ذرات (MZ)، بین ۵.۳۵-۷.۰۸ نیز از ۵.۳۵-۷.۰۸ متغیر است. میزان جورشدگی با انحراف معیار ترسیمی جامع

دیگر رده متوسط یا Mesokurtic را دارند. طبق جدول ۴ و طبقه‌بندی فولک برای رسوبات دانه ریز، کلاس اندازه ذرات گردوغبار ته‌نشینی منطقه مورد مطالعه همه در گروه سیلت (Silt) قرار دارند بجز دو نمونه SP3-Spring و SP4-Spring که متعلق به گروه Mud هستند.

فقط یک نمونه SP2-Summer رده کج شدگی نزدیک به متقارن یا Near Symmetrical را دارد. طبق مقادیر کشیدگی (K) نیز فقط یک نمونه SP5-Spring حالت کشیده یا Leptokurtic، دو نمونه SP4-Spring و SP7-Spring حالت پهن یا Platykurtic و چهار نمونه



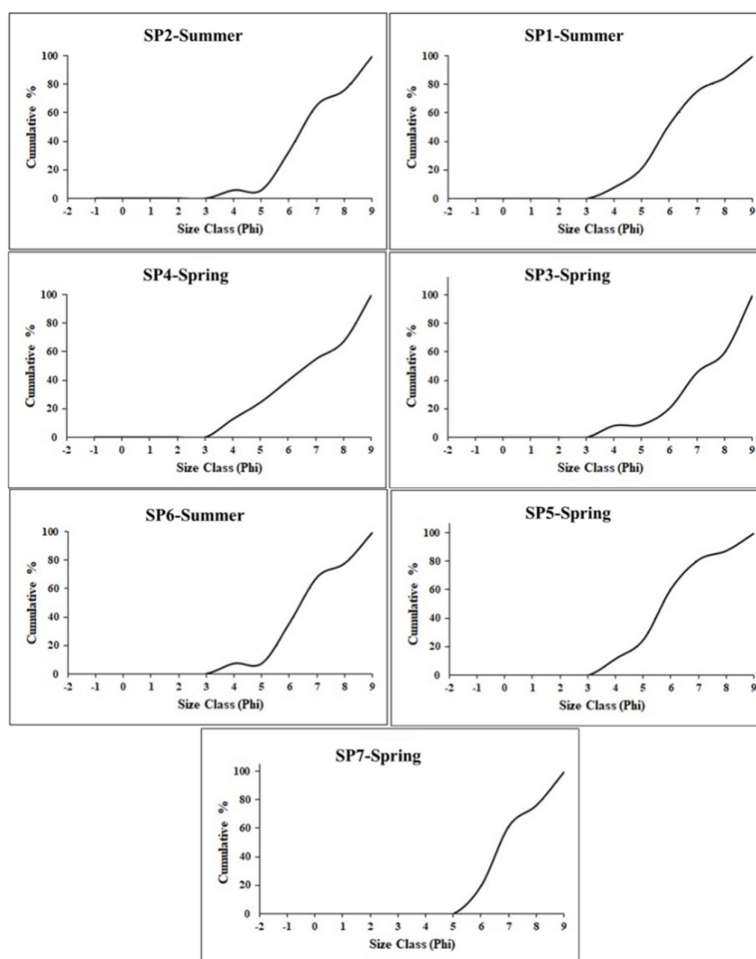
شکل ۶. فراوانی اندازه ذرات گردوغبار در هفت نمونه منتخب

Fig. 6. Dust particle size distribution in seven selected samples.

جدول ۴. پارامترهای رسوب‌شناسی گردوغبار منطقه صالح‌آباد

Table 4. Sedimentological parameters of dust in Salehabad region

S.ID	MZ	Md	σI	SKI	K	Name
SP1- Summer	6.2	5.54	1.50	0.20	1.09	Silt
SP2- Summer	6.76	6.10	1.50	0.09	0.93	Silt
SP3- Spring	7.16	7.08	1.52	-0.19	0.98	Mud
SP4- Spring	6.46	6.56	1.91	-0.13	0.69	Mud
SP5- Spring	5.76	5.35	1.49	0.17	1.30	Silt
SP6- Summer	6.73	6.04	1.53	0.12	1.06	Silt
SP7- Spring	6.44	6.21	1.16	0.22	0.81	Silt



شکل ۷. منحنی تجمعی اندازه ذرات گردوغبار منطقه صالح‌آباد

Fig. 7. Cumulative curve of dust particle size in Saleh-Abad region

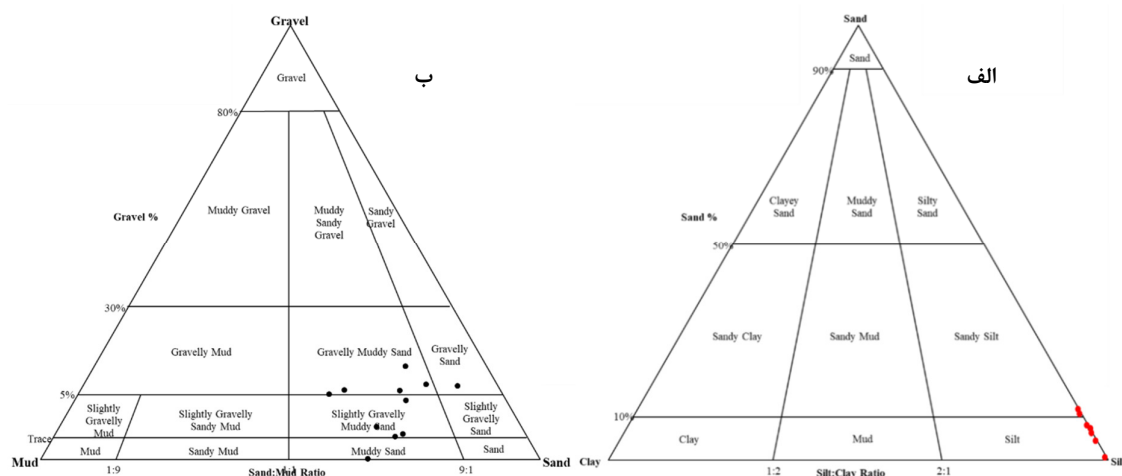
کلسیت، دولومیت، آراگونیت، واتریت، کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت، سپیولیت و پالینگورسکیت. باتوجه به جدول ۵ و شکل ۱۰ اگرچه بیشترین فراوانی مربوط به کانی‌های کوارتز، کلسیت و ایلیت است ولی کانی‌های رسی نیز از مقادیر قابل‌توجهی برخوردارند. نتایج آنالیز XRD، برای سه نمونه‌ی رسوب سطحی نشان می‌دهد کانی‌های کوارتز، ژپس، کلسیت و فلدسپار از فراوانی بیشتری برخوردار است (شکل ۹). از وجه تشابه کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به وجود کانی‌های کوارتز و کلسیت در همه نمونه‌ها اشاره کرد، ولی حضور کانی‌های ژپس و فلدسپار فقط در رسوبات سطحی، همچنین وجود کانی‌های رسی فقط در نمونه‌های گرد و غبار باعث تمایز کانی‌شناسی این دو گروه نمونه مورد مطالعه شده است.

۳-۴- نتایج تعیین بافت رسوبات سطحی-آبرفتی و گردوغبار

نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل باتوجه به مثلث‌های طبقه‌بندی فولک برای ذرات درشت و ریز (فولک، ۱۹۷۴) نشان می‌دهد که تقریباً ۴۵/۵ درصد از رسوبات سطحی-آبرفتی مورد مطالعه در محدوده Gravelly Muddy Sand، ۳۶/۵ درصد در محدوده Slightly Gravelly Muddy Sand قرار دارند و فقط دو نمونه در محدوده Muddy Sand قرار دارند و فقط دو نمونه در محدوده Gravelly Sand است (شکل ۸-الف). این نتایج برای ذرات گردوغبار مورد نظر نیز بیانگر آن است که حدود ۷۱/۵ درصد گردوغبار در محدوده گل و ۲۸/۵ درصد در محدوده گل ماسه‌ای قرار دارند (شکل ۸-ب).

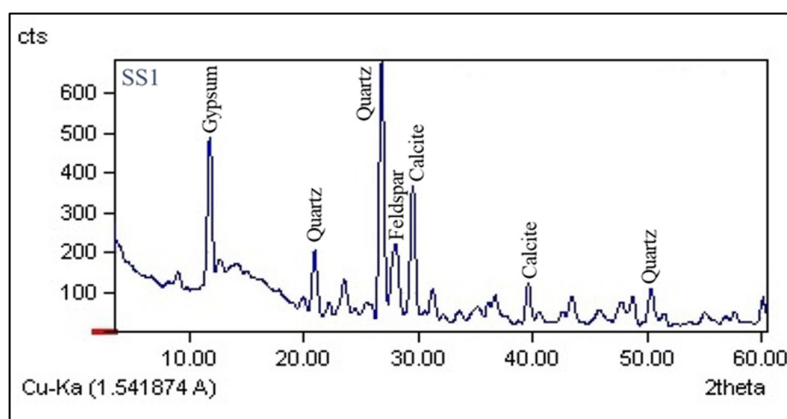
۴-۴- نتایج کانی‌شناسی به روش XRD

در آنالیز کانی‌شناسی هفت نمونه‌ی گردوغبار مورد مطالعه، ۱۰ کانی مختلف شناسایی شد که عبارتند از کوارتز،



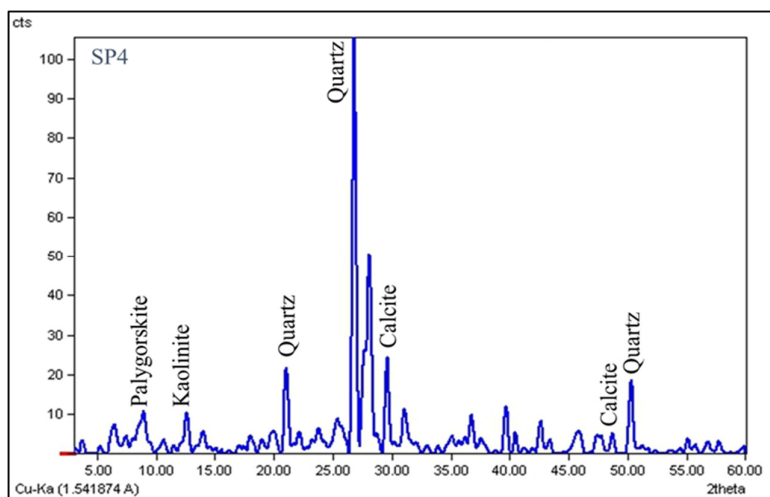
شکل ۸. الف - طبقه‌بندی ذرات رسوبات سطحی - آبرفتی و ب - طبقه‌بندی ذرات گردوغبار (فولک، ۱۹۷۴).

Fig. 8. A- Classification of surface-alluvial sediment particles. B- Classification of dust particles (Folk, 1974).



شکل ۹. پراش نگاشت پرتو ایکس یکی از نمونه‌های رسوب سطحی مورد مطالعه

Fig. 9. X-ray diffraction pattern of one of the studied surface sediment samples



شکل ۱۰. پراش نگاشت پرتو ایکس یکی از نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه

Fig. 10. X-ray diffraction pattern of one of the dust samples studied

جدول ۵. درصد فراوانی کانی‌های شناسایی شده در نمونه‌های گردوغبار و رسوبات

Table 5. Percentage abundance of identified minerals in dust and sediment samples

نام کانی‌ها (%)												کد نمونه
کوارتز	کلسیت	دولومیت	فلدسپار	ژئیس	آلبیت	آراگونیت	واتریت	کانولینیت	ایلیت	مونت-موریلونیت	سپیولیت	پالیکورسکیت
SP1-B	۱۴/۷	۱/۵				۲/۸	۶۲/۷					۰/۸
SP2-B	۹/۸	۳/۹				۱۵/۵		۲۸/۲				
SP3-A	۱۴	۱۵/۱				۳/۸	۵۷/۶			۲/۶		
SP4-A	۵۲/۷	۸/۴				۱/۶	۵/۱				۲/۴	۱۴/۴
SP5-A	۶/۴	۰/۹					۳۱/۵		۵۳/۰			
SP6-B	۹/۹	۲/۶						۷۸/۷				
SP7-A	۴۲/۲	۱/۹	۵/۸			۳/۹				۱/۵		
SS1	۵۱/۵	۲۱/۸	۱۲/۹	۱۳/۹								
SS3	۶۸/۷	۲۰/۲		۴								
SS8	۴۶	۱۰	۳۴	۳	۷							

۴-۵- نتایج بررسی داده‌های هواشناسی

جهت بررسی و تجزیه تحلیل دقیق‌تر منطقه مورد مطالعه، داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام به جهت نزدیک بودن به ناحیه مورد نظر دریافت شدند که به بررسی برخی پارامترها شامل وضعیت بادهای و گلبادهای، در دوره‌های یکساله و ده ساله پرداخته شد.

تغییرات میانگین سرعت باد به صورت ماهانه برای یکسال نمونه‌برداری (۱۴۰۱-۱۴۰۲) در شکل ۱۱ ارائه شده است. طبق این اطلاعات بیشترین سرعت متوسط باد ثبت شده در ایستگاه تربت‌جام در ماه جولای (5.13 m/s) و پس از آن در ماه آگوست (4.77 m/s) در فصل تابستان است. کمترین میانگین سرعت باد نیز مربوط به ماه دسامبر (2.04 m/s) در فصل زمستان است. در یکسال نمونه‌برداری در ماه‌های جولای و آگوست به دلیل سرعت متوسط باد، امکان فرسایش خاک‌های سطحی در منطقه وجود دارد. در سایر ماه‌های سال سرعت متوسط باد بین 2.04 تا 4.22 متر بر ثانیه متغیر و احتمال بروز فرسایش خاک کم است. طبق اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام و براساس میزان سرعت و جهت باد در ۱۲ ماه نمونه‌برداری، گلباد یکساله (۱۴۰۱-۱۴۰۲) ترسیم گردید (شکل ۱۲) که در آن بادهای منطقه از نظر جهت و سرعت به ترتیب در ۸ و ۶ کلاس طبقه‌بندی شدند و مشخص شد در طی این دوره ۲۰ درصد بادهای آرام و ۸۰ درصد بادهای دارای سمت و سرعت بوده است همچنین جهت باد غالب شمال غربی است. تغییرات میانگین سرعت باد به صورت ماهانه برای دوره آماری ده ساله ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ در شکل ۱۳ ارائه شده است. طبق این اطلاعات بیشترین میانگین سرعت باد ثبت

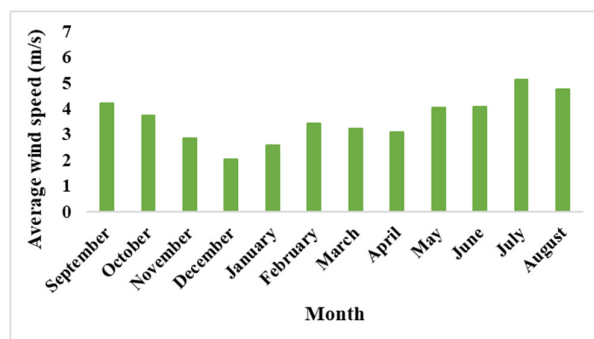
شده در ایستگاه تربت‌جام در طی این ده سال، در تیر ماه (6.29 m/s) فصل تابستان و کمترین آن نیز در آذر ماه (2.69 m/s) در فصل زمستان است. براساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام و مقادیر سرعت و جهت باد، گلباد ده ساله (۱۳۹۲-۱۴۰۲) منطقه رسم گردید، شکل ۱۴ نشان می‌دهد در طی ده سال گذشته نیز باد غالب دارای جهت شمال غربی است.

۵- بحث

بر اساس نتایج بدست آمده رسوبات سطحی مورد نظر تحت تاثیر جریان شاخه‌های فرعی رودخانه بزرگ مرزی هریود در شرق منطقه مورد مطالعه است، که این امر باعث تفاوت در توزیع اندازه ذرات بین رسوبات سطحی و گردوغبار و به دنبال آن تفاوت در بافت این نمونه‌ها در منطقه می‌شود. تقریباً همه نمونه‌های رسوبی که دارای فراوانی ذرات در اندازه‌ی ماسه بسیار ریز هستند در یک گروه (Unimodal) قرار می‌گیرند که از نظر زیرمحیط رسوبی نیز اکثراً مربوط به دشت سیلابی رودخانه‌های فرعی منطقه هستند. برای رسوبات آبی و بادی محل مد اصلی ثابت است، مدهای فرعی به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و تغییر انرژی جریان بستگی دارند. کج‌شدگی مثبت رسوبات در محیط‌های رودخانه‌ای، طبیعی بوده و حکایت از نبودن فرصت کافی برای شست و شوی رسوبات دانه ریز (ناشی از بار معلق) توسط جریان آب دارد (مایل، ۲۰۰۶). از طرفی آشفستگی جریان، تغذیه رودخانه از کانال‌های انشعابی، سایش و خردشدگی دانه‌های درشت‌تر و دانه‌های ناپایدار و بی‌ثبات که منجر به تولید رسوبات دانه ریزتر می‌شود، از دلایل دیگر

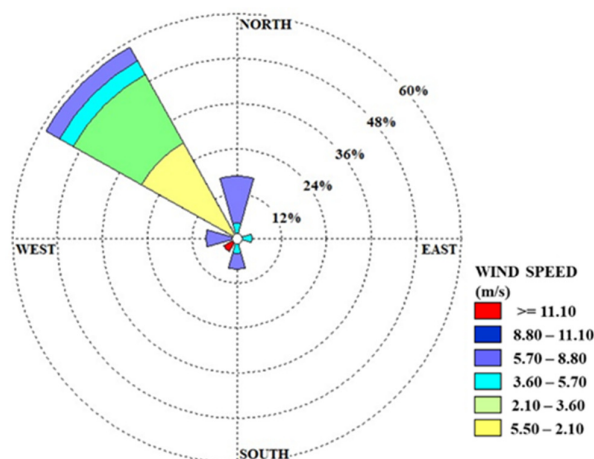
هستند که این را می‌توان با فراوانی ذرات در حد ماسه در رسوبات رودخانه‌ای ناحیه و فصلی بودن رودخانه‌های منطقه مرتبط دانست. بستر خشک این رودخانه‌ها در اکثر فصول سال باعث می‌شود رسوبات ناحیه‌ی مورد مطالعه مستعد فرسایش بادی و خود از منابع محلی برای تولید گردوغبار در منطقه باشند.

ظهور کج‌شدگی مثبت در رسوبات رودخانه‌ای است. روند ریزدانه بودن ذرات نمونه‌های رسوب از غرب و شمال غربی تا شرق و جنوب شرقی منطقه نیز با جهت باد غالب همخوانی دارد. با وجود اینکه میزان ذرات در حد سیلت در گردوغبار منطقه فراوانی بیشتری دارد اما تقریباً همه نمونه‌های گردوغبار دارای ذرات در حد ماسه بسیار ریز نیز



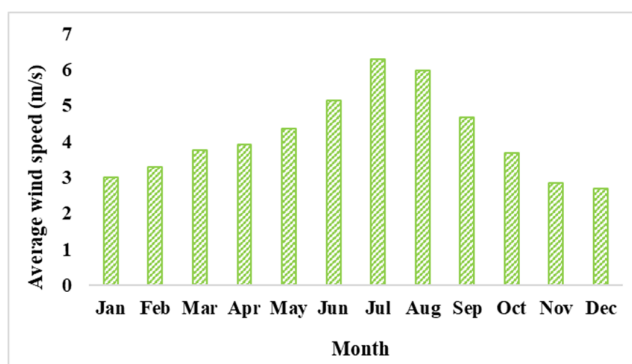
شکل ۱۱. تغییرات میانگین سرعت باد در دوره یکساله ۱۴۰۱-۱۴۰۲ ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام

Fig. 11. Changes in average wind speed during the one-year period 2022-2023 at Torbat Jam synoptic station



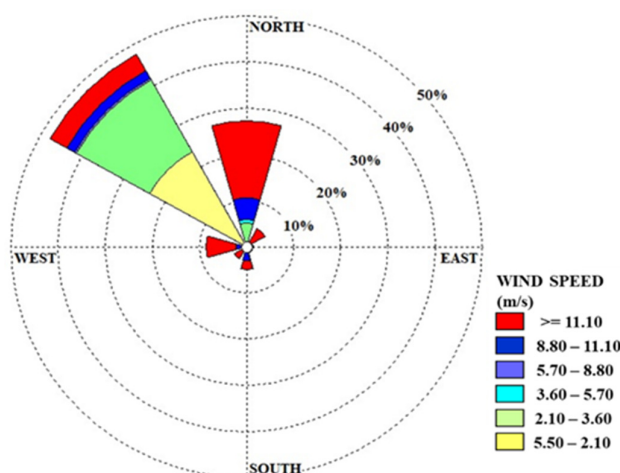
شکل ۱۲. گلباد ترسیم شده با داده‌های ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام طی دوره یکساله (۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Fig. 12. Wind Rose plotted with data from the Torbat-Jam synoptic station during a one-year period (2022-2023)



شکل ۱۳. تغییرات میانگین سرعت باد در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۴۰۲ ایستگاه سینوپتیک تربت‌جام

Fig. 13. Changes in average wind speed during the statistical period 2013-2023 of Torbat Jam synoptic station



شکل ۱۴. گلباد ترسیم شده طبق داده‌های ایستگاه سینوپتیک تربت جام طی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۴۰۲

Fig. 14. Wind Rose plotted according to data from the Torbat Jam synoptic station during the statistical period 2013-2023

به هر حال با توجه به تفاوت نمودارهای فراوانی اندازه ذرات که نشان‌دهنده افزایش ذرات ریزدانه در نمونه‌های گرد و غبار است و همچنین تفاوت در کانی‌شناسی نمونه‌های گردوغبار که حاوی کانی‌های رسی است ولی رسوبات سطحی فاقد آن هستند، می‌توان گفت که منشأ ذرات ریزتر گردوغبار (زیر ۱۰ میکرون) محلی نبوده و این ذرات از دوردست وارد منطقه شده‌اند. معمولاً دو منشأ اصلی صحرای قره قوم و دشت سرخس برای گردوغبار شمال شرق در نظر گرفته می‌شود که با توجه به گلبادهای رسم شده و جهت باد غالب که از شمال غرب به منطقه نمونه‌برداری می‌وزد صحرای قره قوم نمی‌تواند منشأ ریزگردهای مورد مطالعه باشد، ولی از طرف دیگر، داده‌های گلبادها و کانی‌شناسی گردوغبار سرخس که بیشتر شامل کانی‌های کوارتز، کلسیت و برخی کانی‌های رسی مانند مونت‌موریلونیت و کائولینیت است (باغی، ۱۳۹۸؛ درمانی، ۱۳۹۹) می‌تواند دشت سرخس را به عنوان منشأ ریزگردهای راه دور در نظر گرفت. ذرات ریز گردوغبار با توجه به ترکیب شیمیایی و اندازه‌ای که دارند می‌توانند طیف وسیعی از بیماری‌های تنفسی را ایجاد نمایند. ذراتی با طیف اندازه قطر ۲/۵ تا ۱۰ میکرون حائز اهمیت زیادی هستند چرا که از پتانسیل نفوذ بیشتری در ریه‌ها برخوردار بوده و می‌توانند عامل اصلی و تعیین کننده در بروز مشکلات سلامتی از جمله سیلیکوزیس و هوموسیتروزیس باشند (کارشیوا و همکاران، ۲۰۲۱ و علی و همکاران، ۲۰۲۳).

نمودارهای پلی‌مدال نشان‌دهنده شرایط رسوب‌گذاری پیچیده‌تر و متنوع‌تری نسبت به منحنی‌های بایمدال هستند. در حالت کلی، این نمودارها نشان می‌دهند که رسوبات از منابع مختلفی آمده‌اند یا تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی گوناگونی قرار گرفته‌اند. برخی از شرایط رسوب‌گذاری که می‌توانند منجر به ایجاد نمودارهای بایمدال و پلی‌مدال شوند، عبارتند از: الف) مخلوط شدن رسوبات از منابع مختلف به طوری که ریزگردها از دو یا چند منبع مختلف با اندازه دانه‌های متفاوت آمده باشند که منجر به توزیع بایمدال یا پلی‌مدال می‌شود. ب) فاصله‌های حمل متفاوت: رسوبات ممکن است از فاصله‌های مختلف حمل شده باشند که این موضوع نیز می‌تواند باعث تغییر در اندازه دانه‌ها و ایجاد توزیع چندگانه شود. ج) تغییرات انرژی یا نوع جریان: تغییر در سرعت و نوع جریان سیال می‌تواند باعث حمل و رسوب‌گذاری ذرات با اندازه‌های مختلف شود و به تشکیل نمودار پلی‌مدال بیانجامد.

داده‌های حاصل از گلبادهای منطقه بیانگر وجود دو جهت باد اصلی در منطقه مورد مطالعه است که می‌تواند دلیلی بر شکل‌گیری نمودارهای بایمدال باشد. علاوه بر این، افزایش شدت جریان سیال می‌تواند در محیط‌های تحت تأثیر فرسایش بادی منابع ریزگرد جدیدی را ایجاد نموده، یا وجود جریان‌های آبی نیز در نهایت باعث پلی‌مدال شدن نمودارها گردد. برای تفسیر دقیق‌تر نمودارها، لازم است که اطلاعات دیگری مانند نوع رسوبات، محیط رسوبی، و داده‌های زمین‌شناسی منطقه نیز در نظر گرفته شوند.

۶- نتیجه‌گیری

الگوی توزیع اندازه ذرات و پارامترهای رسوب‌شناسی برای گردوغبار و رسوبات سطحی منطقه صالح‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی اندازه ذرات گردوغبار در منطقه صالح‌آباد در محدوده ذرات با اندازه سیلت قرار دارد که می‌توان گفت ریزگردها از فواصل نسبتاً دورتری به منطقه انتقال یافته‌اند. ذرات در اندازه‌های ماسه بسیار ریز می‌توانند منشأ محلی مانند فعالیت‌های انسانی و حتی بستر خشک رودخانه‌های فصلی در منطقه مورد مطالعه داشته باشند. وجود دو قله در نمودار بایمیدال نشان می‌دهد که رسوبات از دو منبع اصلی یا تحت تأثیر دو فرآیند رسوبی مهم قرار گرفته‌اند، ولی وجود بیش از دو قله در نمودار نشان می‌دهد که رسوبات از منابع متعدد آمده‌اند یا تحت تأثیر فرآیندهای دیگر از جمله جریان آب قرار گرفته‌اند. وجود ذرات در حد ماسه بسیار ریز در نمونه‌های گردوغبار را می‌توان با رسوبات سطحی و در ارتباط با دشت سیلابی رودخانه‌ها مرتبط دانست. فراوانی ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون در نمونه‌های گرد و غبار پتانسیل ایجاد مشکلات زیست‌محیطی را به همراه دارد زیرا این ذرات به راحتی جذب مخاط ریه شده و می‌توانند بیماری‌های تنفسی را ایجاد نمایند.

References

- Adebiyi, A., Kok, J. F., Murray, B. J., Ryder, C. L., Stuut, J. B. W., Kahn, R. A., Meng, J (2023) A review of coarse mineral dust in the Earth system. *Aeolian Research*, 60: 100849. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100849>.
- Ali, T., Eqani, S. A. M. A. S., Sadiq, M., Khanam, T., Ullah, I., Pongpiachan, S., Hashmi, M. Z (2023) Dust effects and human health. In *Dust and Health: Challenges and Solutions* (pp. 1-15). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21209-3_1.
- Alzahrani, A. J., Alghamdi, A. G., & Ibrahim, H. M (2024) Assessment of Soil Loss Due to Wind Erosion and Dust Deposition: Implications for Sustainable Management in Arid Regions. *Applied Sciences*, 14(23): 10822. <https://doi.org/10.3390/app142310822>.
- Baghi, M., Rashki, A., Mahmoudi Gharayi, M. H (2019) Investigation of Chemical and Mineralogical Properties of Dust Entering Northeastern Iran and its Pathogenic Potential. *Geography and Environmental Hazards*, 9(33): 139-153. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.79993>.
- Colls, J (2002) *Air Pollution* (2nd Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9780203476024>.
- Darmany, M., Rashki, A., Ara, H., & Mafi, A (2022) Sediments geochemistry of geological units of Sarakhs region: implications to the dust emission. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32): 19-36. (in Persian) <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.36242.1718>.
- Doostan, R (2017) Dust spatial analysis in northeastern Iran. *Journal of Geography and Regional Development*, 14 (2 (27)): 67-90. (in Persian).
- Folk, R. L. and Ward W. C. J. J (1957) Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters, 27 (1): 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Folk, R. L. Hemphill, J. T (1974) *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, 182. <http://hdl.handle.net/2152/22930>.
- Ge, Y., Wu, N., Abuduwaili, J., Kulmatov, R., Issanova, G., & Saparov, G (2022) Identifying seasonal and diurnal variations and the most frequently impacted zone of aerosols in the Aral Sea region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21): 14144.
- Goli, T., Kaviani, H., Kadkhodayi Ilkhchi, R., Nouri Mokhoori, A (2019) The Determination of the Sedimentologic and Geomorphologic Parameters of Sand Dunes of Qom Tapeh Using Geological and Meteorological Data, Northwest of Tabriz (Sufian). *Hydrogeomorphology*, 5 (19): 19-36. (in Persian).
- Goossens, D (2007) Bias in grain size distribution of deposited atmospheric dust due to the collection of particles in sediment catchers. *Catena*, 70(1): 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.07.004>.
- Goudie, A. S., & Middleton, N. J (2006) *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/3-540-32355-4>.
- Issanova, G., Abuduwaili, J., Galayeva, O., Semenov, O., & Bazarbayeva, T (2015) Aeolian transportation of sand and dust in the Aral Sea region. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12: 3213-3224. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0753-x>.
- Jiang, Q., & Yang, X (2019) Sedimentological and geochemical composition of aeolian sediments in the Taklamakan Desert: Implications for provenance and sediment supply mechanisms. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124 (5): 1217-1237.
- Jooybari, S. A., Rezaee, P., Soleimani, F. and Davoodi, H (2019) Dust and its centers: basics and methods of identifying and stabilizing, with a special attitude to the Khuzestan Plain. *Applied Sedimentology*, 7(14): 129-142. (in Persian) <https://doi.org/10.22084/psj.2019.3501>.

- Kang, S., Lee, S. H., Cho, N., Aggossou, C., & Chun, J (2021) Dust and sandstorm: ecosystem perspectives on dryland hazards in Northeast Asia: a review. *Journal of Ecology and Environment*, 45: 1-9. <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00205-x>.
- Karami, E., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Mesbahzadeh, T., Zareh, S., Behrang Manesh, M (2021) Determination of lake sediments susceptibility to wind erosion and its role in dust formation (Parishan lake, Fars province). *Researches in Earth Sciences*, 12(1): 114-130. (in Persian).
- Karshieva, D. R., Nazarova, F. A., & Tolibova, Z. H (2021) Atmospheric dust and its effects on human health. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(3): 1168-1172. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.00735.7>.
- Lackóová, L., Pokrývková, J., Kozlovsky Dufková, J., Policht-Latawiec, A., Michałowska, K., & Dąbrowska, J (2021) Long-term impact of wind erosion on the particle size distribution of soils in the eastern part of the European Union. *Entropy*, 23(8): 935. <https://doi.org/10.3390/e23080935>.
- McTainsh, G. H., Nickling, W. G., & Lynch, A. W (1997) Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *Catena*, 29(3-4): 307-322.
- Moradi, H., Mohseni, H., Behbahani, R., Moeini Najaf Abadi, M (2022) Implication of sedimentology and climatic data for recognition of dust origin, a case study: Khour and Biabanak area (Isfahan province). *Applied Sedimentology*, 10 (19): 113-130. (in Persian) <https://doi.org/10.22084/psj.2021.24472.1295>.
- Munroe, J. S., Soderstrom, E. J., Kluetmeier, C. L., Tappa, M. J., Mallia, D. V., & Bauer, A. M (2023) Regional sources control dust in the mountain critical zone of the Great Basin and Rocky Mountains, USA. *Environmental Research Letters*, 18(10): 104034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acfb26>.
- Pan, C., Shanguan, Z., & Lei, T (2006) Influences of grass and moss on runoff and sediment yield on sloped loess surfaces under simulated rainfall. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(18): 3815-3824. <https://doi.org/10.1002/hyp.6158>.
- Taheri, M., Mehrzad, J., Gharaie, M. H., Afshari, R., Dadsetan, A., & Hami, S (2015) High soil and groundwater arsenic levels induce high body arsenic loads, health risk and potential anemia for inhabitants of northeastern Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 38: 469-482. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9733-9>.
- Yigiterhan, O., Alföldy, B. Z., Giamberini, M., Turner, J. C., Al-Ansari, E. S., Abdel-Moati, M. A., Murray, J. W (2018) Geochemical composition of Aeolian dust and surface deposits from the Qatar Peninsula. *Chemical Geology*, 476: 24-45. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.030>.

Distribution pattern of sediment particles under the influence of wind and water flow intensity in the Saleh–abad region - northeast Iran, with reference to environmental impacts

A. Darrudi¹, E. Pasban², M. H. Mahmudy Gharaie^{3*} and A. Karimian Torghabeh⁴

1- M. Sc. (graduated), Dept., of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

2- Ph. D. (graduated), Dept., of Geology, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

4- Assist. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

* mhmgharaie@um.ac.ir

Received: 2025.4.5 Accepted: 2025.6.15

Abstract

Dust storms, as a natural phenomenon, can exert considerable effects on the Earth system, the environment, and human life. To investigate the sedimentological characteristics of dust in the Salehabad region, seven depositional samplers were installed across Salehabad County and six adjacent villages. Dust samples were collected over one year duration and analyzed using laser granulometry. Based on Folk's (1974) classification diagram, most particles were found to fall within the silt size range. The fine grain size indicates that the dust likely originates from remote sources. Bimodal and polymodal patterns in particle size distribution suggest the influence of multiple dust sources, which vary with wind direction and intensity throughout the year. Wind rose data for the area reveal two predominant wind directions. Additionally, water flows may also contribute to the polymodal nature of the particle size distributions. The abundance of particles smaller than 10 microns in the dust samples highlights their potential to cause environmental and health issues, particularly respiratory disease.

Keywords: Dust storm, Salehabad, Wind erosion, Particle origin, Laser granulometry

Introduction

Wind erosion is one of the primary forces of land surface transformation in arid and semi-arid environments. It plays a crucial role in sediment mobilization, particularly in areas lacking vegetation and moisture. Dust storms, resulting from interactions between strong winds and loose, fine-grained sediments, can significantly affect the environment, climate systems, and human health. Northeastern Iran, including the Salehabad region, is highly susceptible to dust storms due to its geographical location near desert belts and its dry climatic conditions. This study aims to analyze sediment texture and grain size distribution in the Salehabad region and assess the role of wind and water flows in shaping these patterns as well as the environmental impact of the particle size.

The study area is located in Salehabad County, northeastern Khorasan Razavi Province, Iran, near the borders of Turkmenistan and Afghanistan. It lies approximately 90 km northeast of Torbat Jam and 174 km southeast of Mashhad. Besides the central city of

Salehabad, six surrounding villages (Kalateh-Dehnow, Hasanabad, Jahanabad, Derakht-Toot, Gosh-Laghari, and Falizak) were also included. The region features geomorphological indicators of wind erosion and is affected by the 120-day winds from Central Asia. Geologically, the area is part of the Kopet-Dagh structural zone, composed of Formations ranging from Paleozoic to Quaternary, including limestone, marl, sandstone, and loess.

Materials and Methods

Surface Sediment Sampling: Eleven surface sediment samples were collected from various geomorphic settings within a 20×20 cm area to a depth of 2 cm. Their GPS coordinates were recorded. Samples were prepared and analyzed at Ferdowsi University of Mashhad.

Dust Sampling: Seven funnel-shaped sediment traps (75 cm diameter, 1 m height) were installed in September 2022 at selected sites. Positioned 3-5 meters above ground, these galvanized collectors accumulated dust

monthly over one year. Seasonal composites were prepared for grain size analysis.

Grain Size Analysis: Surface sediments were dry-sieved through six different mesh sizes (10 to 230) and the retained weights were calculated. Dust samples underwent laser diffraction particle size analysis.

Meteorological Data: Wind speed and direction data were collected from the Torbat-Jam synoptic station for one year (2022-2023) and also 10-year historical period (2013-2023). Wind rose diagrams were generated using WRPlot-View software.

Results

Surface Sediment Grain Size and Distribution:

Most samples were dominated by very fine sand (~125 μm), with some containing silt and clay-sized particles. Distribution patterns included unimodal (e.g., SS1, SS2), bimodal (e.g., SS7, SS9), and polymodal (e.g., SS6) curves, indicating varied sources and transport processes. These sediments were influenced by fluvial processes, particularly tributaries of the Harirud River.

Dust Grain Size and Distribution: Dust samples mainly consisted of silt-sized particles (3.9-62.5 μm), though fine sand and clay were also present. Most samples were unimodal or bimodal, with polymodal patterns observed in SP4. The prevalence of silt suggests distant sources, while fine sand likely reflects local origins.

Textural Classification: According to Folk's (1974) diagram, surface sediments were predominantly gravelly muddy sand and slightly gravelly muddy sand. Dust samples were primarily mud or sandy mud.

Meteorological Observations: Wind speeds peaked during July (5.13 m/s) and August (4.77 m/s), indicating increased dust mobilization potential. Wind rose analysis showed a consistent northwesterly wind dominance in both the annual and decadal datasets.

Discussion

The study reveals a strong influence of seasonal water flow and regional winds on sediment transport and deposition in

Salehabad. Surface sediments with fine sand particles are mainly associated with floodplain environments, while silt-dominated dust samples indicate long-range transport. The presence of polymodal distributions suggests complex sedimentary environments with multiple sources and transport mechanisms, including local fluvial channels and distant aeolian sources. The combination of wind speed, direction, and geomorphological features contributes to the observed distribution patterns. Usually, the two main sources of dust in the northeast are the Qaraghom Desert and the Sarakhs Plain. Given the prevailing wind direction blowing from the northwest to the sampling area, the Qaraghom Desert cannot be the source of the studied dust particles. However, considering the wind patterns and the mineralogy of Sarakhs dust, which mostly consists of quartz, calcite, and such clay minerals as montmorillonite and kaolinite, the Sarakhs Plain can be considered as the source of long-range dust particles. Given that particles in very small sizes (below 10 microns) are of great importance in terms of health, the particle size limit of 10 microns is marked on the graphs in Figure 6. A significant portion of the dust samples contain particles smaller than 10 microns.

Conclusion

The particle size distributions and sedimentological characteristics of Salehabad's surface and atmospheric sediments indicate that both local and distant sources contribute to dust events. Fine sand particles in dust point to local sources such as dry riverbeds and human activities, while dominant silt fractions imply long-range transport. Multimodal grain-size patterns further suggest a dynamic interplay between wind and water processes in sediment deposition. Understanding these patterns is essential for managing land degradation and mitigating dust-related environmental impacts in arid regions.