

بررسی مورفولوژیکی ریزگردهای حاصل از فرسایش بادی خاک‌های ساحل شرقی دریاچه ارومیه در تونل باد

الهام قنبری*: دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

علی اصغر جعفرزاده: استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

شاهین اوستان: استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

عباس احمدی: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

فرزین شهبازی: استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴)



چکیده

امروزه عوامل مختلفی دریاچه ارومیه را در معرض خشکی قرار داده و به طوفان‌های نمک و پخش ریزگردها منجر شده است. در این پژوهش برای شناسایی ماهیت و کنترل ریزگردهای حاصل شده از این امر، سه سایت با سه لایه براساس ارتفاع از سطح آب‌های آزاد انتخاب و نمونه‌برداری خاک‌ها از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری به روش تصادفی انجام شد. نمونه‌ها در لایه ۱ به علت نزدیکی به آب حذف شد و با انتخاب دو نمونه تصادفی از هر لایه در سطوح ارتفاعی دیگر، در مجموع دوازده نمونه تصادفی از عمق صفر تا ده سانتی‌متری برای آزمایش‌ها و مطالعات در تونل بادی از بین ۱۵۳ نمونه انتخاب شد. این نمونه‌ها در سینی‌هایی به ابعاد ۳۰×۴۰×۳ سانتی‌متر در فاصله ۱۶۰ سانتی‌متری از قسمت مولد باد قرار گرفت و فرسایش بادی با سرعت ۴۵ متر در ساعت بر آنها اجرا شد، سپس برای مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، رسوبات حاصل شده با دستگاه SEM جمع‌آوری و بررسی شد. نتایج مربوط نشان داد که اثر سایت بر دو ویژگی درجه مدور بودن و استحکام ذره، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و اثر ارتفاع قرارگیری در تونل باد نیز تنها بر ویژگی درجه گردآوری ذرات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج تحقیقات پیشین، دلیل اصلی گردشدن ذرات ناشی از طی مسیر طولانی بود و مورفولوژی نیمه مدور اغلب ذرات نیز می‌تواند شاهدهی بر وجود منبع محلی با کانی‌شناسی غالب کلسیت، کوارتز و هالیت و معرف ذرات آلومینوسیلیکاتی رسی و کوارتز در ذرات باشد. همچنین نتایج ارتباط بین قطر ذرات و فواصل طی شده نیز بیانگر این است که ذرات با قطر کمتر از یک میکرون، تا مدت‌ها در جو باقی می‌ماند که یکی از مشکلات اساسی در ساحل شرقی است و ممکن است انتقال ذرات ریزتر استان‌های مختلف را تحت تأثیر قرار دهد و مشکلات متعددی به وجود آورد.

واژگان کلیدی: ریزگردها، طوفان نمک، فرسایش بادی، ویژگی‌های مورفولوژیکی، SEM.

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه که در گذشته "چی چست" و "کبودان" نام داشت، بزرگ‌ترین و شورترین دریاچه دایمی ایران و یکی از دریاچه‌های فوق‌اشباع نمک دنیاست که از این نظر به دریاچه بزرگ نمک آمریکا شباهت دارد. این دریاچه از گسترده‌ترین و کم عمق‌ترین دریاچه‌های جهان است، آب آن فوق‌اشباع از نمک می‌باشد و به صورت یک ناحیه فرونشسته زمین‌ساختی، در پست‌ترین فرونشست آذربایجان قرار دارد که در اثر عملکرد گسل تبریز در شرق و گسل ارومیه در غرب به وجود آمده است. اطراف این دریاچه را کوه‌هایی با ارتفاع بیش از دو هزار متر فرا گرفته (Shahrabi, 1993) و یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های شور جهان در شمال غرب ایران است که طی سال‌های اخیر بر اثر خشکسالی‌های طولانی و مدیریت نادرست منابع خاک و آب، در آستانه نابودی قرار دارد؛ به طوری که تقریباً ۶۵ درصد مساحت حدود پنج هزار کیلومتر مربعی خشک شده است (Ahmadi, 2012). پس از طی بحران پرآبی در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۶ که در آن روند خشکی دریاچه ارومیه شروع شده است و تا به امروز ادامه دارد - زمین‌هایی که پیش‌تر زیر آب رفته بودند، مجدداً از آب خارج شدند. این امر، به افزایش خشکی‌ها و پیدایش پهنه‌های خشکی شور به همراه مقادیر بسیار زیاد نمک در اطراف دریاچه ارومیه منجر شد و از پیامدهای خشکیدن آن، انتقال مواد از بستر خشک شده توسط باد و طوفان‌ها است.

کشور ایران با قرار گرفتن بر روی کمربند خشک و بیابانی، از دیرباز با فرایندهای فرسایش بادی درگیر بوده است (Bahrami, 2011). از جمله مناطقی که تحت تأثیر این فرسایش قرار دارد، برون‌زدهای حاصل از پسروری دریاچه ارومیه است و احتمال می‌رود با خشک شدن دریاچه و افزایش رسوبات فرسایش‌پذیر، وسعت آن در منطقه افزایش یابد و با پسروری آن، مواد موجود در بستر دریاچه به همراه سایر رسوبات توسط باد و طوفان‌های گرد و غبار به مزارع کشاورزی و مناطق مسکونی تا شعاع چند صد کیلومتر منتقل شود. در این صورت شوره‌زار حاصل از پسروری دریاچه، تمام اراضی، مزارع، ساختمان‌ها و نواحی مسکونی و آبادی‌های اطراف را تهدید می‌کند و با وزش باد، نمک‌های موجود در شوره‌زارهای پدید آمده به سوی این اراضی و نواحی مسکونی هدایت خواهد شد. با روند صعودی خشک شدن دریاچه ارومیه طی سه دهه اخیر، انتشار ریزگردها از شوره‌زارها به محیط پیرامون افزایش یافت و میزان این انتشار، تحت تأثیر تغییرات شدت بادها در فصل‌های مختلف بود (Pour asghar and Hasanalizadeh, 2012).

ریزگردهای قرار گرفته در ارتفاعات بالاتر، مسافت بیشتری را طی می‌کند و مناطق و شهرهای دوردست را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، آگاهی از ویژگی‌های این ریزگردها و میزان تغییرات آن در فصل‌های مختلف، به برنامه‌ای دانش‌بنیان در جهت مدیریت کنترل ریزگردها و برای اجرای برنامه‌های کاربردی، به دانشی در زمینه‌های مختلف از جمله فرسایش بادی - که عامل اصلی پراکندگی این ذرات و عامل اصلی شناسایی نوع ریزگردهای انتشار یافته برای ارائه راهکارها و تصمیمات در مقابله با این پدیده است - نیازمند است. شناسایی رسوبات سطحی منتقل شده توسط باد در چنین حوزه‌هایی، جزء مهم‌ترین اقدامات برای مقابله با این پدیده در نواحی همسو با جهت باد به شمار می‌رود (Krueger et al, 2004). نمونه بارز این پدیده، دریاچه آرال است که زمانی چهارمین دریاچه بزرگ دنیا بود و یکی از متنوع‌ترین دریاچه‌های جهان از نظر تنوع زیستی محسوب می‌شد. اما امروزه به جز مجموعه‌ای از دریاچه‌های کوچک و پراکنده چیزی از آن باقی نمانده است. مناطق بیابانی متعددی این دریاچه را فراگرفته است و سالانه بیش از

شصت کیلومتر مربع از سطح آن تبخیر می‌شود (Roll, 2006). در نهایت، مناطق اطراف این دریاچه بیابانی است و تنوع زیستی آن به طور کامل تخریب شده‌است. مدیریت نادرست نیز به پراکندگی خاک سرشار از مواد شیمیایی و سمی بستر خشک این دریاچه می‌انجامد که با وزش باد به ریزگرد تبدیل می‌شود. جریان شدید باد موجب بروز طوفان‌های گرد و غبار می‌شود که این طوفان‌ها میلیون‌ها تن نمک بستر دریاچه، کود و سموم کشاورزی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در طول سال‌های متمادی و ته‌نشین شده در بستر را به مناطق اطراف پراکنده می‌سازد و فرایند بیابان‌زایی را تشدید می‌کند. همچنین این طوفان‌ها، مشکلات حاد بهداشتی را برای ساکنان این منطقه به وجود می‌آورد و به افزایش بیماری‌های مختلفی چون سرطان و افزایش میزان مرگ و میر در اطراف این دریاچه منجر می‌شود (Ahmadi et al, 2014).

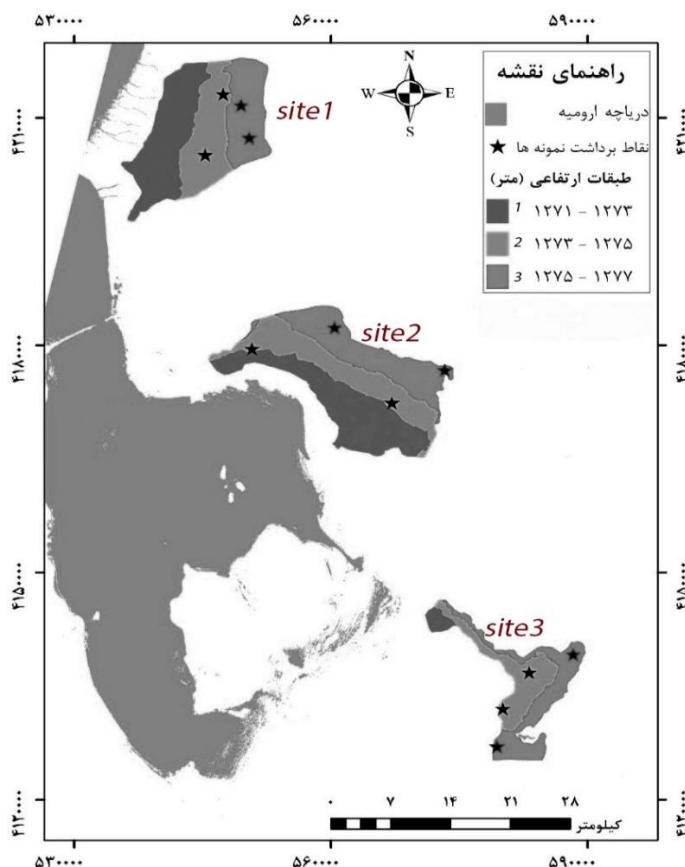
در این راستا، Mardi و همکاران (2018) مطالعاتی بر روی گرد و غبارهای اطراف دریاچه ارومیه در فاصله زمانی بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ انجام دادند. آنها نشان دادند که با خشک شدن دریاچه ارومیه، بر تعداد روزهای با وقوع گرد و غبار در اطراف این دریاچه افزوده شده‌است. در بررسی‌ها و مطالعات دیگری (Shao, 2008) از تونل باد و مورفولوژی ذرات، بر تأثیر اندازه‌های مختلف ذرات خاک در برآورد سرعت آستانه، مکانیزم‌های انتشار گرد و غبار، شدت رانش‌های روان در شرایط مختلف باد و سطح، سیر تکاملی تپه‌های شنی و بررسی اثرات زبری و پوشش سطح در فرسایش بادی تمرکز شده‌است.

همچنین در پژوهش مشابه دیگری در زمینه بررسی مورفولوژی ذرات، در سطح با رسوبات دانه‌ریز پفکی که اغلب ترکیباتی مثل کربنات‌های سدیم و سولفات‌ها داشت، فرسایش به راحتی انجام شد؛ در حالی که در سطوح سفت با ذراتی مستحکم اغلب با ترکیب کلرید سدیم، فرسایش توسط باد به راحتی انجام نشد (Ahmadi et al, 2010).

در مطالعات مورفولوژی ذرات ریزگرد توسط SEM (Du et al, 2015) نیز ویژگی‌های شکل ذرات را به ترکیبات منشأیی که از آن به وجود آمده‌اند، ارتباط دادند و ذرات درشت با شکل نامنظم را ذرات خاک معرفی کردند. Du و همکاران (2015) نیز به کروی بودن ذرات اشاره کردند و خاکستر زغال سنگی را به عنوان منشأ ذرات کروی و نیمه کروی تشخیص دادند که این خاکستر از سوخت زغال یا ذرات نیترات و سولفات در طی واکنش‌های جوی به وجود آمده‌است.

۲- منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر، در اراضی ساحل شرقی دریاچه ارومیه با ارتفاع متوسط ۱۲۷۳ متر از سطح دریای آزاد که در مختصات بین ۳۷ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۶ دقیقه تا حدود ۴۶ درجه طول شرقی قرار دارد انجام شده‌است که براساس نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان، این منطقه از نظر فیزیوگرافی بر روی دشت رسوبی با شیب کم قرار دارد و مواد مادری خاک‌های این منطقه با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی ارومیه (Shahrabi, 1994)، از نوع رسوبات کواترنر متشکل از پهنه‌های رسی نمکی است، ولی به دلیل تجمع نمک بسیار زیاد ناشی از دریاچه ارومیه، در حدود ۳۵ سال اخیر به صورت اراضی کشت‌ناپذیر درآمده و اکنون از آن به عنوان مرتع فصلی استفاده می‌شود. براساس داده‌های هواشناسی ارومیه، میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه این منطقه به ترتیب ۳۴۵/۳۷ میلی‌متر و ۱۰/۸۳ درجه سلسیوس است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۳).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری در سطوح ارتفاعی مختلف (مقیاس ۱:۵۵۰۰۰۰)

۳- مواد و روش

برای جمع آوری رسوبات ریزگردها، اعمال فرسایش بادی توسط دستگاه تونل بادی بر روی نمونه‌های خاک برداشت شده از سایت‌های مطالعاتی با ویژگی‌های سطح، بدون پوشش گیاهی و مستعد برای تولید ریزگرد (شکل ۲)، بر مبنای ارتفاع از سطح آب‌های آزاد دو لایه ارتفاعی مدنظر قرار گرفته شده اعمال شد. سایت‌های منطقه مورد مطالعه در سه قسمت شمالی، میانی و جنوبی قرار داشت که هر کدام از این مناطق براساس ارتفاع از سطح آب‌های آزاد، به سه لایه ارتفاعی ۱۲۷۱-۱۲۷۳، ۱۲۷۳-۱۲۷۵ و ۱۲۷۵-۱۲۷۸ متر از سطح دریا تقسیم‌بندی شد. سپس مختصات نقاط نمونه‌برداری به دستگاه مکان‌یاب جغرافیایی (GPS^۱) منتقل و نمونه‌برداری خاک‌ها از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری با توجه به روش نمونه‌برداری مرکب از هر چهارصد هکتار به روش تصادفی (McKenzie et al, 2008) در خرداد ماه ۱۳۹۶ انجام شد. نمونه‌برداری‌ها از ۱۵۳ نقطه سه لایه موجود در سایت‌ها انجام شد و با توجه به نزدیک بودن لایه ۱ به دریا و مرطوب بودن سطح خاک و کاهش امکان ایجاد ریزگرد در این لایه، نمونه‌های این سطح ارتفاعی در آزمایش‌ها وارد نشد. با انتخاب دو نمونه تصادفی از هر سطح ارتفاعی، در مجموع دوازده نمونه انتخاب شد که شکل ۱، موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در ساحل شرقی دریاچه را نشان می‌دهد.

این تونل از سه قسمت تشکیل شده‌است؛ بخش مولد باد (شامل موتور، پروانه‌های ایجاد باد و بخش تنظیم‌کننده سرعت باد) با توانایی تولید حداکثر سرعتی معادل ۴۵ متر بر ثانیه در ارتفاع بیست سانتی‌متری از سطح سینی خاک،

^۱ Global Positioning System

دیفیوژر یا پخش‌کننده سرعت باد - که در فاصله ۱۶۰ سانتی‌متری از قسمت مولد باد قرار دارد و به ایجاد باد یکنواخت و پایدار روی سینی‌های خاک در تونل منجر می‌شود - و در نهایت محفظه آزمایش. محفظه آزمایش در این تونل شامل یک تونل با عرض پنجاه سانتی‌متر، ارتفاع هفتاد سانتی‌متر و طول ۳۷۰ سانتی‌متر است که سینی‌های خاک با ابعاد ۳۰×۴۰×۳ سانتی‌متر در این قسمت قرار دارد.



شکل ۲: تصویر دستگاه تونل بادی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز

تله‌های رسوبات ریزگردهای حاصل از اجرای فرسایش بادی در چهار ارتفاع ۰، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری، براساس شکل ۳ در انتهای تونل بادی کار گذاشته شد و با توجه به مقدار ناچیز ذرات جمع شده در ارتفاع پنجاه سانتی‌متری، امکان مطالعه ذرات عملی نشد. همچنین با توجه به اینکه ذرات جمع شده در ارتفاع صفر یا همان کف انتهایی تونل باد، ذرات درشتی بود و اغلب با حرکت لغزشی یا جهشی انتقال یافته بود، عملاً ریزگرد محسوب نشد و از نمونه‌های مطالعاتی حذف شد. در نهایت، از هر نمونه انتخابی از سایت مطالعاتی، سه نمونه تحت عنوان شاهد یا همان نمونه خاک از سینی‌های مورد نظر قبل از اجرای فرسایش بادی، ریزگردهای به تله افتاده در ارتفاع ده سانتی‌متری و ریزگردهای ارتفاع سی سانتی‌متری از کف تونل باد و در مجموع، ۳۶ نمونه انتخاب و آزمایش و بررسی شد.



شکل ۳: تله گیرهای رسوبات ریزگردهای تعبیه شده در انتهای دستگاه تونل بادی

در ادامه برای بررسی مورفولوژی این ذرات، ریزگردها به آزمایشگاه SEM انتقال یافت. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، یکی از بهترین روش‌های آنالیز است و امروزه در حوضه‌های مختلف از جمله فناوری نانو کاربردهای فراوانی دارد. این میکروسکوپ، امکان بررسی و آنالیز شیمیایی، ترکیب، خصوصیات سطح و ریزساختار داخلی را در ابعاد میکرونی و نانومتری فراهم می‌سازد. درباره کاربرد SEM باید اشاره کرد که دامنه بزرگ‌نمایی این میکروسکوپ‌ها چیزی در حدود پنج تا یک میلیون برابر است. نتایج حاصل از آن نیز به تعیین اندازه واقعی، شکل ذرات، تجمعات مختلف موجود در ذرات، ترکیب شیمیایی و خاستگاه ذرات کمک می‌کند. همچنین می‌توان میزان گردش‌دگی (درجه گردآوری)^۱، کشیدگی ذرات^۲ و درجه مدور بودن^۳ ذرات ریزگردها و توزیع اندازه ذرات موجود در نمونه‌ها را بررسی و تفاوت مورفولوژی ارتفاعات مختلف را مقایسه کرد تا بتوان میزان تأثیری را که در فواصل مختلف از منشأ خود بر جای می‌گذارد، پیش‌بینی کرد (شکل ۴).

¹ Roundness

² Aspect Ratio

³ Circularity



شکل ۴: تصویر دستگاه SEM و نرم‌افزارهای نمایش‌های تصویر ارائه شده از ریزگردهای مورد مطالعه

برای بررسی توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های موجود در مقطعی که مورد آنالیز SEM قرار می‌گیرد، مساحت سطح هر ذره قابل مشاهده محاسبه و لیست تعداد ذرات به همراه مساحت آنها در جدولی ارائه شد که می‌توان میانگین اندازه سطح ذره برای مجموع ذرات موجود در آن نمونه را مشاهده و با سایر نمونه‌ها بررسی و مقایسه کرد. از این نتایج برای آنالیزهای آماری استفاده شد و میانگینی از مساحت کل ذرات هر نمونه - که مربوط به سطوح ارتفاعی از هر سایت مطالعاتی است - به طرح آزمایشی آشیانه‌ای^۱ وارد شد که نتایج آماری، معنی‌داری یا بی‌معنی بودن اثر هر کدام از عوامل مورد مطالعه را بر میانگین مساحت سطح نشان خواهد داد.

در ادامه برای بررسی سایر ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرات، تصاویر به دست آمده از SEM در برنامه ImageJ پردازش شد و پس از آماده‌سازی تصویر، ویژگی‌های مورفولوژی ذرات شامل درجه گردواری، درجه مدور بودن، استحکام شکل ذره و کشیدگی آن با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه و نتایج در جدولی ارائه شد. سپس مقدار میانگین برای هر ویژگی محاسبه و به آنالیزهای آماری وارد شد.

در زمینه مورفولوژی ریزگردها باید توجه داشت که در غبارهای با کانی‌شناسی غالب کلسیت، کوارتز و هالیت معمولاً شکل‌های کروی و بلوری غالب است و می‌توان تجمعات صفحه‌ای شکل (شاخص کائولینیت) را به کانی‌های رسی و شکل‌های منشوری را به کانی‌های تبخیری نسبت داد. بنابراین، شناسایی مورفولوژی ذرات کاربردهای فراوانی دارد و تا حدود بسیار زیادی بیانگر نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده ذرات است (Irene Rodriguez, 2009); به طوری که شکل کروی، نامنظم، کشیده و منشوری، بلوری و لوزی، معرف ذرات آلومینوسیلیکاتی رسی و کوارتز در ذرات می-باشد.

^۱ Nested Design

۱-۳- درجه گردشگی ذرات (درجه گردواری ذرات)^۱

ذکر این امر درباره ویژگی‌ها یا شاخص‌های شکل لازم است که این کمیت‌ها بدون بُعد در پردازش تصویر و میکروسکوپ است که به صورت عددی، شکل ذرات را مستقل از اندازه آنها شرح می‌دهد (Heilbronner and Barrett, 2014).

شاخص میزان گردشگی ذره، از تفاوت شکل ظاهری هر ذره قابل مشاهده در مقطع مورد بررسی در SEM با شکل دایره حکایت دارد و این میزان بین صفر تا یک متغیر است؛ به این صورت که عدد یک برای این شاخص، به ذره کاملاً مدور و صفر به ذره بدون شکل مربوط است و از معادله زیر محاسبه می‌شود. در صورت دایره بودن شکل ذرات مورد مطالعه، معادله ۱ به طور کامل ساده می‌شود و عدد یک باقی خواهد ماند.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Roundness} = 4 \times \frac{\text{مساحت}}{\pi \times (\text{بلندترین محور})^2}$$

۲-۳- درجه مدور بودن^۲

دایره فشرده‌ترین حالتی است که با محیط ارائه شده بیشترین مساحت را محصور می‌کند و گردترین شکل یک شیء است. نرم‌افزارهای زیادی برای بیان میزان فشردگی یا گردی یک شیء وجود دارد. این شاخص به روش‌های مختلفی به دست می‌آید که در یک اندازه‌گیری متداول، مقایسه محیط یک شکل نسبت به مساحت آن انجام می‌شود.

برای محاسبه شاخص دایره یا مدور بودن شکل یک ذره باید در نظر گرفت که یک دایره، مساحتی به اندازه $\pi \times r^2$ و محیطی به اندازه $2\pi \times r$ دارد که r شعاع دایره است. یکی از اندازه‌گیری‌های مفید و ساده شده برای دایره بودن یا همان محاسبه شاخص دایره بودن، مقایسه این دو مقدار (مساحت و محیط دایره) است به روشی که مقدار عددی آن، به بزرگی شکل یا واحد اندازه‌گیری به کار گرفته شده ارتباطی نداشته باشد (Balter, 2017).

ذکر این نکته ضروری است که مقدار عددی این شاخص بین صفر و یک متغیر است و برای ذرات با شکل دایره کامل، ۱ و برای هر شکلی که از دایره بودن فاصله می‌گیرد، عددی کمتر از ۱ خواهد بود. این شاخص از طریق معادله ۲ محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{Circularity} = 4\pi \times \frac{\text{مساحت}}{(\text{محیط})^2}$$

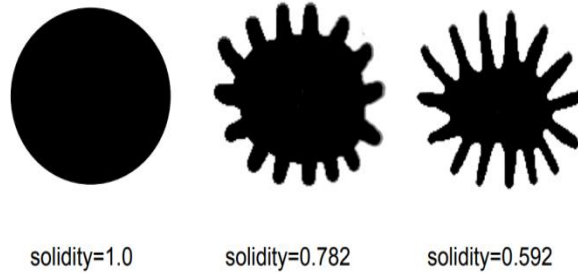
اشاره مختصری به تفاوت گردشگی و مدور بودن شکل ذرات در این مبحث نیز مفید خواهد بود. مدور بودن تنها در یک وجه از شکل بررسی می‌شود و چنانچه در وجوه دیگر بررسی شود، شکل به صورت سه بعدی خواهد بود که دیگر دایره نامیده نمی‌شود. اما در هر دو حالت می‌توان گردشگی را بررسی کرد. از آنجایی که یک دایره گرد است چنانچه در هر وجهی چرخانده شود و این گردی حفظ شود، کره نام دارد. بنابراین، یک کره می‌تواند گرد باشد اما دایره نباشد.

^۱ Roundness^۲ Circularity

۳-۳- استحکام شکل ذره^۱

درجه استحکام یا تحدب حفره در واقع چگالی حفره است و از نسبت مساحت به مساحت محدب حفره به دست می‌آید و از صفر تا یک تغییر می‌کند (Ferreira and Rasband, 2012).

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{استحکام ذره} = \frac{\text{مساحت}}{\text{مساحت محدب}}$$



شکل ۵: مقایسه مقادیر مختلف شاخص استحکام ذره در شکلهای مختلف

شکلی با مقدار عددی استحکام یک، بیانگر شکلی منسجم است؛ در حالی که مقادیر کمتر از یک، مرزهای نامنظم و تورفتگی‌هایی در سطح خود دارد (شکل ۵).

۳-۴- کشیدگی ذره^۲

برای بیان حالت کشیدگی یا همان بیضوی بودن شکل ذره از این شاخص استفاده می‌شود. این شاخص طبق رابطه ۴، نسبت بلندترین محور به کوتاه‌ترین محور در ذره است که بزرگ‌تر بودن عدد این شاخص، کشیده‌تر بودن شکل ذره را نشان خواهد داد.

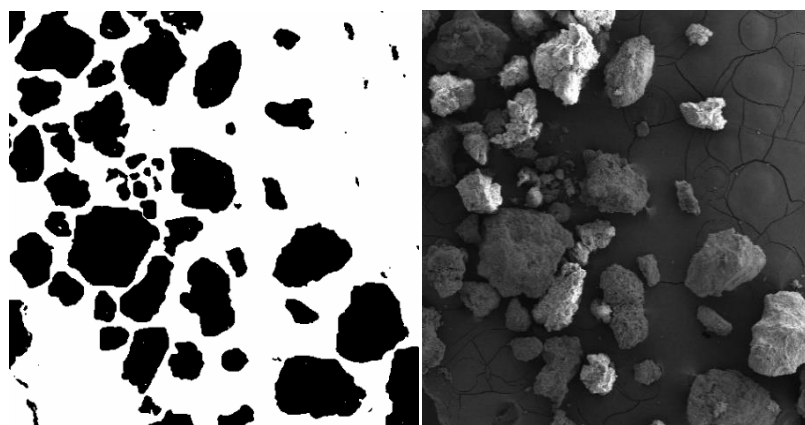
$$\text{رابطه ۴} \quad \text{کشیدگی ذره} = \frac{\text{بلندترین محور}}{\text{کوتاه‌ترین محور}}$$

¹ Solidity

² Aspect Ratio

نرم افزارهای مورد استفاده

برای بررسی مورفولوژی ریزگردها، از نرم افزار ImageJ استفاده شد. در محیط این نرم افزار بعد از وارد کردن تصویر حاصل از SEM، پیش پردازش هایی روی تصویر ذرات ریزگردها اعمال شد. سپس هر ذره به تفکیک به صورت ذره ای مستقل شناسایی شد.



شکل ۶: نمونه ای از تصویر ذرات ریزگرد قبل و بعد از اعمال پیش پردازش ها بر روی تصویر SEM

پس از شناسایی هر ذره به صورت مستقل، به بررسی ویژگی های مورفولوژی آن ذره پرداخته و نتیجه آنالیزهای انجام شده بر روی تک تک ذرات مربوط به هر نمونه، در جدول ۱ ارائه شد. در انتهای هر جدول نیز میانگین و خلاصه شده ای از کل تصویر برای هر ویژگی مورفولوژیکی گزارش شد و در نهایت، آنالیزهای آماری براساس این میانگین ها و خلاصه گزارش ها صورت گرفت.

جدول ۱: مقادیر کمی ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرات موجود در یک نمونه از میان ۳۶ نمونه مورد مطالعه

شماره ذره موجود در نمونه	محیط (mm)	مساحت (mm ²)	قطر ذره (mm)	شاخص استحکام ذره	درجه گرد بودن	شاخص کشیدگی	درجه مدور بودن
۱	۰/۰۰۴	۹/۷×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۱۱	۰/۹۶۳	۰/۲۹۹	۳/۳۴	۰/۷۱۹
۲	۰/۰۰۳	۲/۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۸۱	۰/۹۳۳	۰/۵۱۷	۱/۹۳۶	۰/۹۴۳
۳	۰/۰۰۳	۹×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۱۰	۰/۸۸۹	۰/۸۲۱	۱/۲۱۸	۱
۴	۰/۲۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۵۰	۰/۸۷۳	۰/۴۹۹	۲/۰۰۴	۰/۵۱۶
۵	۰/۰۱۳	۱/۰۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۶	۰/۸۹۶	۰/۵۸۵	۱/۷۰۸	۰/۸۴۵
۶	۰/۰۰۵	۲/۰۳×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۶	۰/۹۳۱	۰/۴۹۶	۲/۰۱۷	۰/۸۵۷
۷	۰/۰۱۳	۱/۰۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۶	۰/۸۶۷	۰/۷۸۱	۱/۲۸	۰/۷۶۲
۸	۰/۰۰۴	۹/۷۶×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۱۱	۰/۸۱۲	۰/۴۴۵	۲/۲۴۷	۰/۶۹۷
۹	۰/۵۸۶	۰/۰۰۶	۰/۰۸۷	۰/۷۹۵	۰/۷۳۳	۱/۳۶۳	۰/۲۰۷
۱۰	۰/۰۰۳	۶/۷۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۹۲	۰/۹۴۷	۰/۴۱۹	۲/۳۸۶	۰/۸۳۲
۱۱	۰/۰۰۲	۳×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۶۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۰/۰۰۷	۳/۱۵×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۲۰	۰/۸۴	۰/۵۳۳	۱/۸۷۶	۰/۷۹۳
۱۳	۰/۰۰۸	۴/۳۵×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۲۳	۰/۹۱۳	۰/۴۹۷	۲/۰۱۲	۰/۷۶
۱۴	۰/۰۰۵	۱/۲۸×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۲	۰/۷۵۶	۰/۳۴۲	۲/۹۲۷	۰/۶۴۹
۱۵	۰/۰۰۳	۸/۲۶×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۱۰	۰/۸۴۶	۰/۶۸۹	۱/۴۵	۱
۱۶	۰/۰۰۸	۳/۳۰×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۲۰	۰/۸۱۵	۰/۳۴۵	۲/۸۹۹	۰/۶۰۹
۱۷	۰/۰۶۱	۱/۴۴×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۵	۰/۷۹۴	۰/۵۹۱	۱/۶۹۱	۰/۴۸۶
۱۸	۰/۰۰۴	۱/۰۵×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۱	۰/۸	۰/۴۸۸	۲/۰۴۸	۰/۸۸
۱۹	۰/۰۰۲	۲/۲۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۵۳	۰/۸۵۷	۰/۶۸۳	۱/۴۶۴	۱
۲۰	۰/۰۵۱	۵/۱۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۱	۰/۶۴۹	۰/۷۰۵	۱/۴۱۷	۰/۲۵۳
۲۱	۰/۰۰۰۷۷	۷/۵۱×۱۰ ^{-۸}	۰/۰۰۰۳۰	۱	۱	۱	۱
۲۲	۰/۰۰۷	۳/۰۸×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۹	۰/۸۸۲	۰/۵۲	۱/۹۲۴	۰/۷۸۹
۲۳	۰/۰۰۲	۲/۲۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۵۳	۱	۰/۳۳۳	۳	۰/۸۰۹
۲۴	۰/۰۰۰۷۷	۷/۵۱×۱۰ ^{-۸}	۰/۰۰۰۳۰	۱	۱	۱	۱
۲۵	۰/۰۰۱	۱/۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۴۳	۱	۰/۵	۲	۱
میانگین	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۷۵	۰/۸۸	۰/۵۹۳	۱/۸۹	۰/۷۷

داده‌های مورفولوژیکی مربوط به هر یک از ۳۶ نمونه موجود - که دوازده نمونه آنها از لایه‌های ارتفاعی مربوط به سایت‌های مورد نظر برداشت شده (نمونه از سینی تونل باد قبل از اجرای فرسایش) و ۲۴ نمونه مربوط به ذرات رسوب- یافته در دو ارتفاع از تونل باد بعد از اجرای فرسایش بادی برای هر کدام از نمونه‌های برداشت شده از محل مورد نظر

بود - جمع آوری شد و از لحاظ نرمال بودن توزیع داده‌ها بررسی شد. سپس داده‌هایی که نرمال نبود با روش جانسون نرمال شد.

سپس در محیط نرم‌افزار Minitab براساس طرح آشیانه‌ای، آنالیز آماری انجام و جدول تجزیه واریانس هر کدام از آنها تهیه شد و معنی‌داری اثر هر یک از عوامل و شاخص‌های مورد مطالعه اعم از موقعیت سایت نمونه‌برداری، لایه ارتفاعی در هر سایت و ارتفاع قرارگیری ریزگردهای رسوب‌یافته در تونل باد بررسی شد. همچنین آنالیزهای آماری برای بررسی اثر هر کدام از عوامل، به حالتی که در جدول ۲ نشان داده شده‌است، انجام شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

هر نمونه تصویری حاصل شده از SEM، در نرم‌افزار ImageJ تحلیل و پنج پارامتر (محیط، درجه مدور بودن، درجه گردآوری، کشیدگی و استحکام ذره) برای هر یک از ذرات موجود در هر کدام از ۳۶ نمونه محاسبه شد که در مجموع، میانگین این داده‌ها برای هر نمونه خاک محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری طرح آشیانه‌ای در محیط نرم‌افزار Minitab در جدول ۲ گزارش و اثر هر کدام از شاخص‌های مورد مطالعه (سایت، لایه ارتفاعی و ارتفاع قرارگیری در تونل باد) در جدول ذکر شده نشان داده شد.

جدول ۲: تجزیه واریانس سایت‌ها، لایه‌ها و ارتفاع در تونل‌های بادی

میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	مساحت ذرات	محیط ذرات	درجه مدور بودن	کشیدگی ذرات	درجه گردآوری	استحکام ذرات	قطر ذرات
سایت	۲	۱/۹۹	۰/۲۰	۰/۰۱۷*	۰/۱۴۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷*	۲/۰۲۳۸
لایه	۳	۰/۳۶۷	۰/۰۴۵	۰/۰۰۱	۰/۳۶۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰	۰/۲۳۶
ارتفاع در تونل	۱۲	۱/۲۰۰	۰/۰۸۸	۰/۰۰۶	۲/۲۸	۰/۰۰۱۸*	۰/۰۰۰۱	۱/۵۱
خطا	۱۸	-	-	-	-	-	-	-
کل	۳۵	-	-	-	-	-	-	-

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪

۵- بحث و نتیجه‌گیری

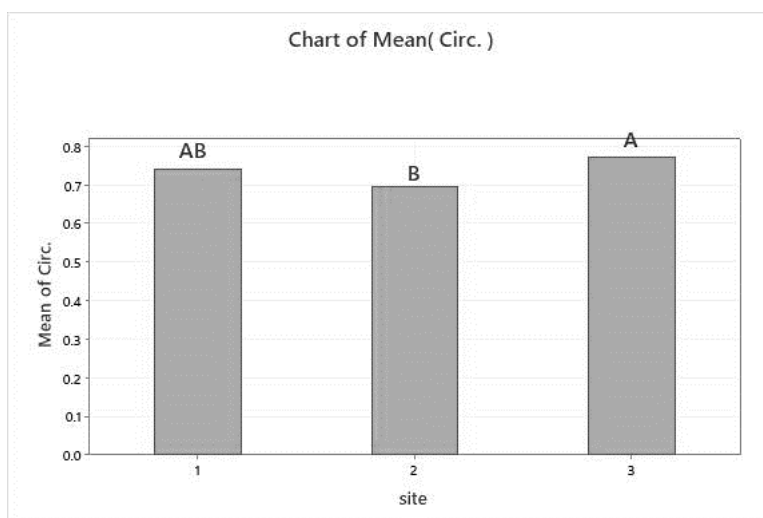
نتایج محاسبات آماری بررسی ویژگی‌های شکل و اندازه قطر ذرات برای بررسی تفاوت و شباهت آنها در نمونه‌های مختلف از شرایط متفاوت، در جدول ۲ ذکر شده‌است. در مطالعات مشابه براساس نتایج آنالیزهای SEM توسط Hanifepour و همکاران (2022) در غرب تهران، مورفولوژی زاویه‌دار و نیمه مدور اغلب ذرات غبار ریزشی، شاهدهی بر وجود منبع محلی و انسانی گزارش شده‌است و شکل نامنظم و زاویه‌دار در منطقه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که فاصله حمل ذرات کمتر بوده‌است. مورفولوژی مشابه ذرات گرد و غبار در آبادان (Ahmady-Birgani et al, 2015)، آلمان (Jorkesh et al, 2012)، عربستان (Krueger et al, 2005)، اهواز (Goossens, 2007)، سرخس (Darmani et al, 2020) و سواحل ایتالیا (Pye, 1992) نیز ارائه شد و نتایج بررسی تصاویر SEM (Arfaeinia et al, 2020)

(2016 & Roughani et al, 2019) نیز نشان داد که ذرات غبار مورد مطالعه عمدتاً دارای اشکال نامنظم، بیضوی، چندگوش و در برخی موارد به صورت تجمع یافته است.

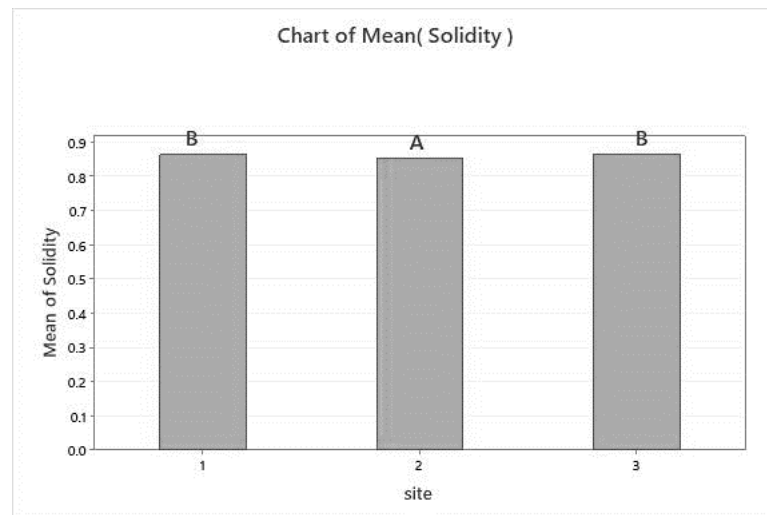
همچنین ذرات تفکیک یافته ریزتر از ۲/۵ میکرون، برای بررسی ارتباط توزیع اندازه ذرات با ترکیب شیمیایی منشأ آنها براساس پیک الگوی پراکنش قطر ذرات، توسط Weisheng و همکاران (2006) مطالعه شد و Berube و همکاران نیز در مطالعه‌ای دیگر، از میان ویژگی‌های شکل ذرات بر اساس روش SEM، قطر ذرات را بررسی کردند و به اثر منشأ انتشار آنها براساس الگوی پراکنش پرداختند. Laden و همکاران (2000) نیز قطر ذرات ریزگرد را با روش SEM بررسی کردند و به اثر معنادار ترکیب ذرات بر اندازه قطر ذرات دست یافتند. Shi و همکاران شکل ذرات ریزگرد را با همین روش بررسی کردند و منشأ ذرات با اشکال نامنظم را ژئولوژیکی و منشأ ذرات کشیده با سطح صاف را حاصل واکنش‌های جوی ثانویه معرفی کردند.

در نوع دیگری از مطالعات توسط Weisheng و همکاران (2006) که به بررسی همین ویژگی‌های شکل ذرات پرداختند، نتایج مورفولوژیکی ریزگردها به میزان مرگ و میر مناطق تحت تأثیر ارتباط داده شد که با افزایش ده میلی-گرم در متر مکعب ذرات ریزگرد ریزتر از ده میکرون، میزان مرگ و میر روزانه در منطقه یک درصد افزایش یافت. در پژوهشی دیگر، ارتباط بین قطر ذرات و فواصل طی شده را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ذرات با قطر کمتر از یک میکرون تا هفته‌ها و حتی ماه‌ها در جو باقی می‌ماند، اما ذرات درشت‌تر در شرایط جوی عادی و فقدان طوفان‌های شدید، در فواصل نزدیک از منشأ رسوب می‌کند (Amann et al, 2006).

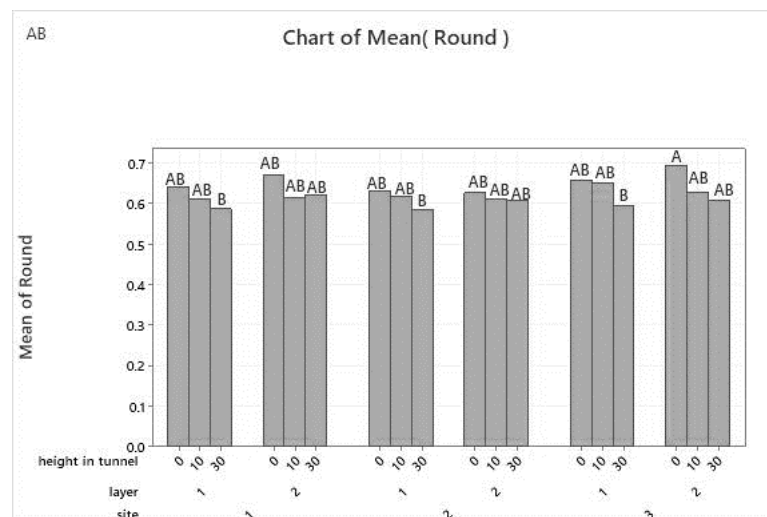
بنابراین، مشاهدات مورفولوژیکی مطالعه حاضر نشان داد که اثر سایت بر دو ویژگی درجه مدور بودن و استحکام ذره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است و اثر ارتفاع قرارگیری در تونل باد تنها بر ویژگی درجه گردآوری ذرات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد و اثر شاخص‌های مورد مطالعه بر سایر ویژگی‌ها بی‌معنی است. شکل ۷ تا ۹، مقایسه میانگین مقادیر کمی ویژگی‌های مورفولوژیکی تحت تأثیر شاخص‌هایی را - که اثر معنی‌داری داشته‌اند - نشان می‌دهد.



شکل ۷: مقایسه میانگین مقادیر کمی درجه مدور بودن ذرات در سایت‌های مطالعاتی (سایت دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار نداشت).



شکل ۸: مقایسه میانگین مقادیر کمی درجه استحکام ذرات در سایت‌های مطالعاتی



شکل ۹: مقایسه میانگین مقادیر کمی درجه گردآوری ذرات در ارتفاعات مختلف از تونل باد، سطوح ارتفاعی از سایت‌های مطالعاتی (منظور از ارتفاع صفر در تونل باد نمونه برداشت شده از سینی تونل باد قبل از اجرای فرسایش بادی است).

براساس بررسی‌های نتایج آماری، تأثیر شاخص‌های مطالعاتی بر سایر ویژگی‌های مورفولوژیکی مورد نظر در ذرات نمونه‌ها معنی‌دار نبود و اجرای فرسایش بادی با سرعت معلوم در مدت زمان مطرح شده بر روی اندازه ذرات، انتخابی عمل نکرد و اندازه ذرات، مساحت، محیط و سایر ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرات قبل و بعد از فرسایش بادی و در سطوح ارتفاعی سایت‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد.

ولی درباره درجه مدور بودن اثر ارتفاع، قرارگیری در تونل باد معنی‌دار بود و در سایت ۳ - که دورترین سایت به دریاچه است - بیشترین درجه مدور بودن و در سایت ۲ - که نزدیکترین سایت به دریاچه است - کمترین مقدار را داشت. علت مدور شدن بیشتر ذرات در سایت ۳، طی مسافت بیشتر ذرات بود و در سایت ۲ برعکس ظاهر شد. در خصوص عامل کروی بودن، Sneed و همکاران (1958) اعلام کردند که کروی بودن تابعی پیچیده از سنگ‌شناسی، فاصله انتقال، اندازه ذرات و درجه استحکام آن در سایت ۲، بیشترین مقدار را نشان داد.

در مورد درجه گردآوری ذرات، اثر ارتفاع قرارگیری در تونل باد معنی‌دار بود که از میان آنها، ارتفاع صفر یا همان نمونه برداشت شده از سینی تونل باد در لایه ارتفاعی دوم از سایت ۳، بیشترین درجه گردآوری و ارتفاع سی سانتی از کف تونل باد در لایه اول از هر سه سایت، کمترین درجه گردآوری ذرات را داشت. علت مشاهده این نتیجه می‌تواند به اندازه ذرات قرار گرفته در ارتفاعات مختلف مربوط باشد که به این صورت، ذرات قرار گرفته در ارتفاعات بالاتر نسبتاً ریزتر بود و طبقات بزرگ‌تر ذرات نسبت به طبقات کوچک‌تر آن راحت‌تر گرد می‌شود؛ به بیان دیگر، گردش‌دگی متناسب با اندازه ذرات افزایش می‌یابد. در مطالعات Demir (2003) نیز به ارتباط مستقیم اندازه ذرات و مقدار گردش‌دگی اشاره شده است. Gomez (2001) و Attal و همکاران (2006) نیز معتقدند دلیل اصلی گردش‌دگی ذرات، مسیر حمل طولانی است. بنابراین بر اساس نتایج حاصل شده از تحقیقات قبلی، دلیل اصلی گردش‌دگی ذرات، ناشی از طی مسیر طولانی است و مورفولوژی نیمه مدور اغلب ذرات غبار ریزشی می‌تواند شاهدهی بر وجود منبع محلی با کانی-شناسی غالب کلسیت، کوارتز و هالیت و نیز معرف ذرات آلومینوسیلیکاتی رسی و کوارتز در ذرات باشد و بایستی قابل توجه قرار گیرد. همچنین نتایج ارتباط بین قطر ذرات و فواصل طی شده نیز بیانگر این است که چنین ذراتی با قطر کمتر از یک میکرون، تا هفته‌ها و حتی ماه‌ها در جو باقی می‌مانند و این امر یکی از مشکلات اساسی موجود در ساحل شرقی دریاچه ارومیه است و ممکن است انتقال ذرات ریزتر استان‌های مختلف را تحت‌تأثیر قرار دهد و مشکلات متعددی در زمینه کشاورزی و سلامتی ساکنان این منطقه به وجود آورد.

منابع

1. Abuduwaili, J.; Gabchenko, M. V.; & X. Junrong, 2008. Eolian transport of salts a case study in the area of Lake Ebinur (Xinjiang, Northwest China), *Journal of arid environments*, 72(10), 1843-1852.
2. Ahmadi, A.; Abbaspor, M.; Arjmandi, R.; & R. Abedi, 2014. Studying of management approaches of Urumia lake by inspiration of areas ponds of lakes experiences, *science and environment technology*, 16(1), 29-39.
3. Ahmadi, A., 2012. Drying the Urumia lake, reasons and the consequences. The first international conference about environmental crises and improving approaches of that, Ahvaz Azad University, Kish Island, 3888-3897. (in persian).
4. Ahmady-Birgani, H.; Mirnejad, H.; Feiznia, S.; & K. G. McQueen, 2015. Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran, *Atmospheric Environment*, 119, 262-272.
5. Amann, M.; Derwent, R.; Forsberg, B.; Hurley, F.; Krzyzanowski, M.; Kuna-Dibbert, B.; et al, 2006. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. [http://www.euro.who.int /__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf).
6. Arfaenia, H.; Hosseini, M.; Ranjbar Wakilabadi, D.; Alam ol-Hoda, A.; Banafsheh Afshan, S.; & M. Kermani, 2016. Morphological and mineralogical study of PM 2.5 particles in the air of the 12th district of Tehran based on SEM-EDX analysis images and XRD analyzes, *Health*, 7(2), 135-145.
7. Ariel Balter, 2017. How to Calculate Circularity (sciencing.com).
8. Attal, M., & J. Lava., (2006). Changes of bedload characteristics along the Marsyandi River central Nepal, implications for understanding hillslope sediment supply, sediment load evolution along fluvial networks, and denudation in active orogenic belts. *Geological Society of America Special Papers*. 398, 143-171.

9. Bahrami, H., 2011. Dusts in a different view, The first international congress about dusts phenomenon and its harmful results. (in Persian).
10. Bérubé, KA.; Jones, TP.; Williamson, BJ.; Winters, C.; Morgan, AJ.; & RJ. Richiards, 1999. Physicochemical characterization of diesel exhaust particles: factors for biological activity, *Atmos Environ*, 33, 1599-614.
11. Darmani, M.; Ara, H.; Rashki, A. R.; & A. Mafi, 2020. Source and study of physical and chemical properties of dust particles in Sarakhs city, *Geography and environmental hazards*, 35(3), 21-37. (in persian)
12. Demir, T., 2003. Downstream changes in bed material size and shape characteristics in a small upland stream, Cwm Treweryn, in South Wals. Bulletin of Earth Sciences Application and Research Center of Hacettepe University, *Yerbilimleri*, 28, 33-47.
13. Ferreira, T., & W. S. Rasband., (2012). ImageJ user guide, IJ 1.46r. In: U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
14. Gholampour, A.; Nabizadeh, R.; Hassanvand, M. S.; Taghipour, H.; Nazmara, S.; & A. H. Mahvi, 2015. Characterization of saline dust emission resulted from Urmia Lake drying, *Journal of arid of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 63-82.
15. Gomez, B.; 2001. Downstream fininig in rapidly aggrading gravel bed river, *Water Resources Research*, 37, 1813-1823.
16. 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.
17. Heilbronner, R., & S. Barrett., (2014). Image analysis in earth sciences, microstructures and textures of earth materials, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
18. Honifapour, M.; Zehtabian, Gh.; Ahmadi, H.; Khosravi, H.; & A. A. Nazari Samani, 2022. Identification of the Mineralogical and Morphological Composition of Dust Particles in Western Tehran Province, *Iranian Scientific Association of Desert Management and Control*, 9, 4, 1-22.
19. Irene Rodriguez, E., & G. C. Salvador., (2009). Atmospheric inorganic aerosol of a nonindustrial city in the centre of an industrial region of the North of Spain, and its possible influence on the climate on a regional scale. *Environmental Geology*. 56, 1551-1561.
20. Jorkesh, Sh.; Salehi, M. H.; & I. Esfandiarpour Boroujeni, 2012. Investigation of the concentration of some heavy metals in atmospheric dust in Lenjanat area of Isfahan, National Conference on Flow and Air Pollution. (in persian)
21. Krueger, B. J.; Grassian, V. H.; Cowin, J. P.; & A. Iaskin, 2005. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: the importance of particle mineralogy, *Atmospheric Environment*, 39(2), 395-395.
22. Krueger, B. J.; Grassian, V. H.; Cowin, J. P.; & A. Laskin, 2004. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: the importance of particle mineralogy, *Atmospheric Environment*, 38(36), 6253-6261.
23. Laden, F.; Noas, L. M.; Dockery, DW.; & J. Schwartz, 2000. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities. *Environ Health Perspect*; 108, 941.
24. Mardi, A. H.; Khaghani, A.; MacDonald, A. B.; Nguyen, P.; Karimi, N.; Heidary, P.; Karimi, N.; Saemian, P.; Sehatkashani, S.; Tajrishy, M.; & A. Sorooshian, 2018. The Lake Urmia environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution, *Science of Total Environment*, 633, 42-49.
25. McKenzie, N. J.; Webster, R.; & P. J. Ryan, 2008. Sampling using statistical methods. In: McKenzie, N.J., Grundy, M.J., Webster, R., Ringrose-Voase, A.J. (Eds.), *Guidelines for Surveying Soil and Land Resources*, Second edition. CSIRO, Australia, pp. 319-326.
26. Pour asghar, F., & A. Hasanalizadeh., (2012). Study of particulate emissions to the environment of the dry salt lake. Tehran University National Conference of flow and pollution.

27. Pye, K., 1992. Aeolian dust transport and deposition over Crete and adjacent parts of the Mediterranean Sea, *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 271-288.
28. Roll, G., 2006. Aral Sea experience and lessons learned brief in, *Science of the Total Environment*, 12, 122-220.
29. Roughani, R.; Feiznia, S.; Soltani, S.; & R. Shahbazi, 2019. Physicochemical characteristics of dust deposits collected by MDCO in the suburbs of Isfahan, *Range and Desert Research*, 26(2), 313-324. (in persian).
30. Shahrabi, M., 1993. Geology description of Urumia square, scale 1:250000, geology organization of the country. (in persian).
31. Shahrabi, M., 1994. The report of 1:250000 scale geological map of Urumia. Publication of Geological survey and Mineral Expolaration Orginazation of Iran.
32. Shao, Y. P., 2008. Physics and Modelling of Wind Erosion. 2nd Edition. Springer. pp.452.
33. Shi, Z.; Shao, L.; Jones, TP.;Whittaker, AG.; Lu, S.; Bérubé, KA.; et al., 2003. Characterization of airborne individual particles collected in an urban area, a satellite city and a clean air area in Beijing, 2001. 4097-108.
34. Sneed, E. D., & R. Folk., (1985). Pebbles in the lower Colorado River Texas, as study in particle morphogenesis. *Journal of Geology*. 40, 443-451.
35. Weisheng, Y.; Xiaolin, L.; Jiangfeng, L.; Yan, L.; Xiaohan, Y.; Biao, D.; Tianmin, W.; Guilin, Z.; Yuying, H.; Wei, H.; Wei, H.; Longyi, S.; Weijun, L.; & Y. Shushen, 2006. Science of the Total Environment, 368, 916-925.

Morphological Investigation of Dusts Resulting from Wind Erosion of the Eastern Shore Soils of Urmia Lake in the Wind Tunnel

Elham Ghanbari¹: *Ph.D. Student Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Ali Asghar Jafarzadeh: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Shahin Oustan: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Abbas Ahmadi: *Associate professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Farzin Shahbazi: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Article History (Received: 2022/07/26

Accepted: 2023/01/25)



Extended abstract

1- Introduction

Urmia Lake, which has been located in the northwest of Iran, is the largest saltwater in the Middle East. Unfortunately, nowadays various factors have exposed it to dryness and wind erosion, the result of which is the increase in soil salinity, the thinning of solute crystals, and the occurrence of dust storms. If this lake becomes dry, the climate of the area will change to hot climate and salt storms will start. Therefore, we must find new ways to control and prevent the occurrence of wind erosion. Identifying the nature of these dusts, especially their morphology, is important in providing solutions to deal with the crisis. Investigating the characteristics and morphology of dusts in the region is also useful in predicting ways and controlling factors to reduce their damages, and dust morphology is a practical method to determine their origin. Investigation of the properties and characteristics of rising dusts from this area can be useful in predicting and controlling ways to contrast/withstand their damages.

2- Methodology

For this purpose, three flat sites without vegetation and prone to fine dust production were selected from the eastern shore of Urmia Lake. Each site was divided into 3 layers based on the height from sea level, but the first layer was omitted from the studying areas because of the high soil moisture due to low distance to lake, which results in decreasing dust production by this layer, and eventually 2 random samples (0-5 cm) were picked up from each layer. This research study was carried out based on 12 selected soil samples from 3 sites and their layers. The soil samples from 0 to 5 cm depth, as a surface soil of layers, were transferred to trays with dimensions of 3 x 40 x 30 cm in the wind tunnel of agriculture faculty of Tabriz University, with 370cm length, 50cm width and 70cm height. Subsequently, wind erosion was simulated by applying the maximum wind speed of 45 meters per second for 15 minutes at each height. Then, the dust particles released at 2 heights of the wind tunnel (10 and 30 cm from the floor of the device) and the control soil sample were sent to SEM to get their images. After processing these row images, the quantitative amounts of morphological properties were obtained. Finally, the statistical analyses were performed on these properties. Using a nested

¹ Corresponding Author: Elham.ganbarie@yahoo.com

design to find the effect of factors such as the location, layer and height of the wind tunnel on the morphological characteristics of soils in the windblown dust.

3- Results

The images which had been adopted from SEM were analyzed in Image J application and 5 parameters (perimeter, circularity, roundness, aspect ratio and solidity) were calculated for each particle in samples and the average of these parameters for each soil sample was listed. The presented data were analyzed in Minitab application by using the fully nested method and for conducting these analyses, the test of normality of data was performed on data list. The results for each parameter were presented in a table which showed the effect of site, layer and location height of the sediments in wind tunnel.

4- Discussion & Conclusions

The obtained results in this research (Table 3) revealed the significant effect of site (5%) on circularity and solidity properties. Also, the effect of height in wind tunnel from floor was significant in 5% just on roundness, and the effect of other factors on morphological properties were not significant. In other words, the size of particles, the area and their parameter in soil samples did not have significant differences and even the wind erosion with given speed in explained time duration didn't act optional on the size of particles. There were no significant differences between size of diameter, area and parameters of particles before and after the wind erosion. The reason of these results can be dependent on the preparing method of samples for SEM study, in which the samples were rubbed on pin of device and the great grains were separated. Also, the effect of site and height of wind tunnel on roundness and circularity were significant, respectively. As for other morphological properties, the effects of site, layer and the wind tunnel height were not significant and there were no significant differences between the samples.

Key Words: Dusts, Morphological properties, Salt storm, SEM, Wind erosion, Wind tunnel.