

تحلیل دینامیکی و ژنتیکی رسوبات بادی به منظور تعیین منشأ و منبع ماسه (مطالعه موردی: ارگ جدید رضاآباد، سبزوار)

ناصر مشهدی* - استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سادات فیض‌نیا - استاد دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران
صغری عبدی - کارشناس ارشد همزیستی با بیابان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

طی شصت سال گذشته، تجمعی از تپه‌های ماسه‌ای (ارگ Erg) با مساحت حدود ۶۰۰ هکتار در رضاآباد خارتوران ایجاد شده است. هدف از این تحقیق تفسیر منبع و منشأ ماسه بر پایه ویژگی‌های مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و دانه‌بندی و کانی‌شناسی رسوبات بادی است. تفسیر تصاویر ماهواره نشان داد که ارگ رضاآباد دارای تپه‌های هلالی شکل ابتدایی شامل اشکال پیش‌بارخانی، تپه‌های بارخانی، و بارخانوئید با کشیدگی شمال-جنوب است. پس می‌توان نتیجه گرفت که وزش باد شکل‌دهنده شمالی-جنوبی است. آنالیز دانه‌بندی با روش متداول الک خشک و کانی‌شناسی به وسیله میکروسکوپ بینوکولر مطالعه شد. نتایج نشان داد که کشیدگی و فرم تپه‌ها از الگوی گل‌طوفان پیروی می‌کند. در نتیجه، باد قوی شمالی مهم‌ترین باد در تأمین ماسه و توسعه تپه‌های ماسه‌ای است. آنالیزهای آماری توزیع اندازه دانه نشان داد که میانگین و میانه قطر اندازه ذرات ۲۰۵ میکرون هستند که می‌توان براساس رابطه بین اندازه دانه و مسافت طی شده استدلال کرد که تغییرات مکانی این ذرات ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر از منابع ماسه است. وجود کلسیت و ماسه‌سنگ کوارتزی در نمونه‌های رسوب نشان می‌دهد که واحدهای سنگی آهک مارنی و مارن و کنگلومرای آتش‌فشانی منشأی برای رسوبات بادی است.

واژگان کلیدی: ارگ، پیش‌بارخانی، تپه ماسه‌ای، دانه‌بندی، رسوبات بادی.

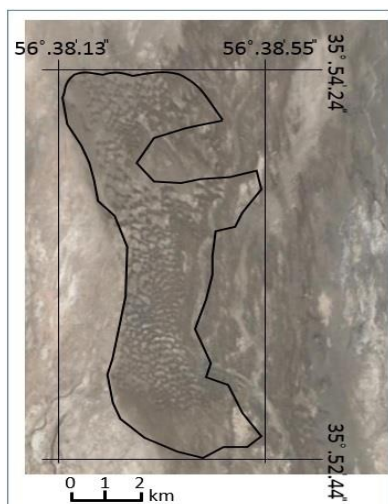
مقدمه

در محیط‌های بیابانی، فعال شدن مجدد تپه‌های قدیمی یا تشکیل تپه‌های جدید ماسه‌ای به سبب ترکیبی از عرضه (آورد) رسوب (پای و تسوار، ۲۰۰۸)، قدرت باد مؤثر (واتسون، ۱۹۸۹)، کاهش پوشش گیاهی (هس و سایمپسون، ۲۰۰۶)، یا تسلط شدید یکی از این عوامل رخ می‌دهد.

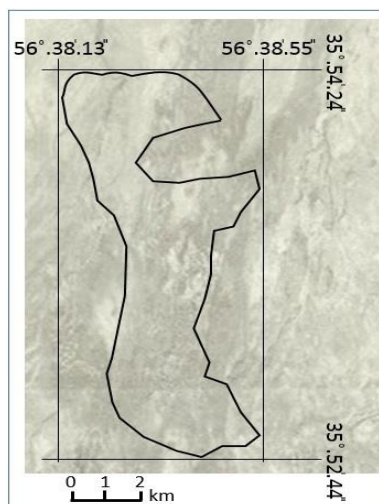
مطالعه درباره ویژگی‌های رسوب تپه‌های ماسه‌ای بیابان می‌تواند اطلاعات مهمی درباره نوع و مواد منابع ماسه (درن، ۱۹۸۶؛ یونپ، ۱۹۹۱؛ هابس و همکاران، ۲۰۱۰)، محیط رسوب‌گذاری نهشته‌ها (پوتوچی و آنجل، ۲۰۰۴؛ بولر، ۱۹۷۶؛ کوکیورک، ۱۹۹۸)، تفسیر محیط‌های رسوبی دیرینه^۱، حوادث گذشته فعالیت بادی (بولر، ۱۹۷۶؛ فیتزسیمونس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لوماکس و همکاران، ۲۰۰۳)، و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی فراهم کند. تحلیل‌های دینامیکی و ژنتیکی رسوبات بادی همچنین می‌تواند مشخص کند که منابع ماسه جدید حاصل تغییرات اقلیمی است یا تغییرات کاربری اراضی حاصل از فعالیت انسانی است.

برای تعیین مناطق برداشت یا منابع ماسه می‌توان از ارتباط‌های ژنتیکی یا دینامیکی بین تپه‌های ماسه‌ای و منابع ماسه استفاده کرد (منگو، ۱۹۸۴). ارتباط ژنتیکی به موضوع ارتباط کانی‌شناسی رسوبات بادی با کانی‌شناسی منابع ماسه می‌پردازد (ژندا، ۱۹۸۴؛ فیتزسیمونس و همکاران، ۲۰۰۹؛ هابس و همکاران، ۲۰۱۰). ارتباط دینامیکی به موضوع مطالعه فیزیکی ذرات همچون اندازه دانه^۱، شکل دانه^۲، و وزن مخصوص^۳ (واتسون، ۱۹۸۹) بین رسوبات بادی و منابع ماسه می‌پردازد (ژندا، ۱۹۸۴؛ زادی و همکاران، ۲۰۰۹؛ بگنولد و بارتدورف، ۱۹۸۰؛ وینسنت، ۱۹۸۴؛ رفعت و هامدان، ۲۰۱۵). روش مطالعه در مورد ارتباط بین فرم تپه‌های ماسه‌ای و منابع ماسه باید به‌وسیله برداشت‌های زمینی تکمیل شود. برداشت‌های صحرائی می‌تواند منابع ماسه، تفاوت اندازه ماسه، یا زبری حاصل از وضعیت سطحی اراضی را مشخص کند (مابوت، ۱۹۷۷).

در منطقه رضآباد (شرق استان سمنان) طی چند دهه اخیر (۱۳۳۴-۱۳۹۴) مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای (ارگ) ایجاد شده است. بررسی عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ (۱۹۵۵) نشان داد که آثاری از این ارگ در منطقه وجود نداشته است؛ درحالی‌که بررسی تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) نشان داد که در این دوره زمانی ارگی به وسعت حدود ۶۰۰ هکتار ایجاد شده است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۱) (شکل ۱). هدف اصلی از این مطالعه بررسی روند ایجاد و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای و آنالیز دانه‌بندی و کانی‌شناسی رسوبات آن به‌منظور شناخت منابع ماسه آن است.



تصویر ماهواره‌ای منطقه در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵)



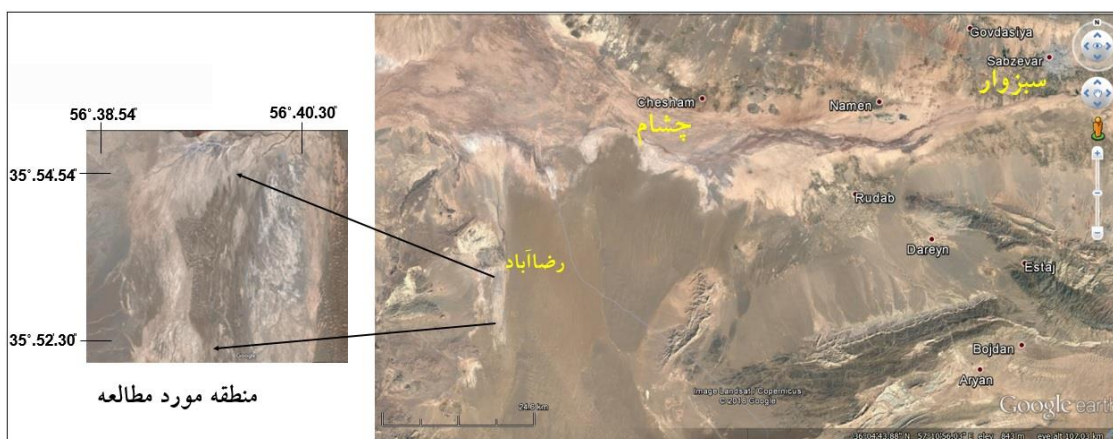
عکس هوایی منطقه در سال ۱۳۳۴ (۱۹۵۵)

شکل ۱. عکس هوایی و تصویر ماهواره‌ای منطقه

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی سبزوار و نزدیک روستای رضآباد واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، در عرض ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۲۴ ثانیه شمالی و در طول ۵۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه ۸۹۵ متر از سطح دریاست (شکل ۲). این ارگ در کناره غربی ارگ بزرگ خارتوران است که اگر با این وضعیت توسعه یابد، می‌تواند به ارگ خارتوران در چند ده سال آینده برسد.

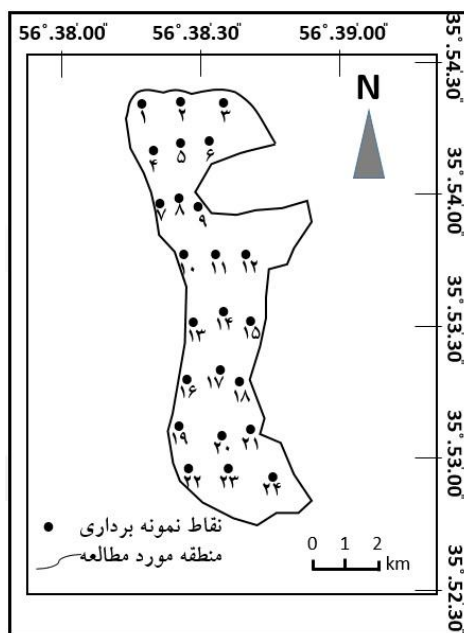
1. Grain size
2. Grain shape
3. Specific gravity



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نخست به تعیین محدوده و مطالعه مورفولوژی مجموعه تپه‌های ماسه‌ای (ارگ) ایجادشده براساس عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ عکس‌برداری‌شده در سال ۱۹۵۵ و تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra از سایت Google Earth و انتقال آن به نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ اقدام شد. با این مطالعه تشکیل و میزان پیشروی تپه‌ها و همچنین قطاع منبع و منشأ رسوبات بادی مشخص و مطالعه زمین‌شناسی آنها با استفاده از چند پارامتر از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی منطقه، و پیمایش صحرایی انجام شد. گام بعد، بازدیدهای میدانی برای بازیابی مطالعات دفتری انجام‌شده، تعیین موقعیت انواع تپه‌ها، و مورفولوژی آنها و نمونه‌برداری رسوب بود که براساس موقعیت تپه‌ها، تکامل مورفولوژی تپه‌ها، و توزیع مناسب نمونه‌ها در جهت پوشش تمام منطقه و طرح ارائه‌شده در شکل ۳ بود.



شکل ۳. نقاط نمونه‌برداری

در هر تپه از بخش پایینی، میانی، و نزدیک تاج در دامنه رو به باد و تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و حدود ۱۰۰ گرم نمونه‌برداری شد. تجزیه و تحلیل رسوب براساس میانگین نتایج حاصل از سه نمونه در هر تپه بوده است. نمونه‌های برداشت‌شده در آزمایشگاه به‌وسیله ترازو با دقت یک صدم گرم وزن گردیدند و سپس با مراعات نکات ارائه‌شده در روش الک خشک (آندرسن، ۲۰۰۴) دانه‌بندی شدند. پارامترهای آماری حاصل از دانه‌بندی نمونه‌های رسوب شامل میانگین (MZ)، میانه (Md)، انحراف معیار جامع (SDI)، چولگی جامع (SKI)، و کشیدگی منحنی (KU) با استفاده از نرم‌افزار GRADISTAT (بالات و پای، ۲۰۰۱) انجام گرفت.

برای بررسی ترکیب کانی‌شناسی رسوبات بادی و منشأ و منبع آنها، نخست قطاع برداشت (تونل بادآورد ماسه) با استفاده از جهت باد غالب و قوی منطقه مشخص شد. محل برداشت نمونه‌ها بر روی واحدهای سنگ‌شناسی و سازندها مشخص و ترکیب کانی‌شناسی آنها تعیین شد. سپس، سنگ و سازند تولیدکننده هر کانی و خرده‌سنگ و درصد سهم هر واحد سنگی در تولید رسوب مشخص شد. پس از شناخت کانی‌های مؤثر در منبع و منشأ، نمونه‌های رسوبات بادی کانی‌شناسی شدند. کانی‌شناسی بر روی ۱۰۰ دانه از رسوبات انجام شد. این رسوبات انتخابی در یک پتری دیش ریخته و در زیر بینوکولر قرار داده شدند. نخست چند قطره آب به رسوبات اضافه شد؛ چنانچه دانه‌ها در آب حل شوند، با شمارش تعداد دانه‌های باقی‌مانده و کسر آن از تعداد کل، درصد دانه‌های متشکل از نمک طعام و چنانچه دانه‌ها در آب باز شوند و محیط گل‌آلود شود، تعداد و درصد خاک‌دانه‌ها و قلوه‌های رسی به‌دست آورده می‌شود. سپس، محیط با آب تمیز می‌شود، با استفاده از دستمال آب اضافی گرفته می‌شود و چند قطره اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به دانه‌ها اضافه می‌شود. با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال درصد کانی‌های کلسیت، دولومیت، و مارن مشخص می‌شود. از دانه‌هایی که سریعاً با اسید جوشیده و حل شوند درصد کانی کلسیت و قلوه‌های آهکی به‌دست می‌آید. چنانچه جوشش بسیار ملایم باشد، درصد کانی دولومیت و قلوه‌های دولومیتی تعیین می‌شود و اگر پس از جوشش محیط گل‌آلود شد و رس باقی ماند، درصد کانی مارن تعیین می‌شود. سپس، محیط با آب تمیز می‌شود، آب اضافی گرفته می‌شود، و دانه‌ها دوباره شمارش می‌شوند. سپس، در زیر بینوکولر، براساس انعکاس نور، روشنی، تیرگی، سختی و رخ یا فاقد رخ بودن، همه کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها شناسایی و تعداد آنها به‌دست آورده می‌شود. سپس، درصد فراوانی هر کانی و خرده‌سنگ و سهم هر یک از کانی‌ها و خرده‌سنگ‌ها تعیین می‌شود. سنگ و سازند تولیدکننده هر کانی و خرده‌سنگ و درصد سهم هر واحد سنگی در تولید رسوب از رابطه ۱ مشخص شد (فیض‌نیا، ۱۳۸۷).

$$(1) \quad \text{فراوانی رسوب حاصل از واحد سنگ‌شناسی همگن} = 100 * \frac{\text{فراوانی کل رسوب}}{\frac{\text{مساحت واحد سنگ‌شناسی (کیلومتر مربع)}}{\text{مساحت کل زیرحوضه آبخیز (کیلومتر مربع)}} = \text{رسوب‌زایی پتانسیل هر واحد سنگی (درصد)}$$

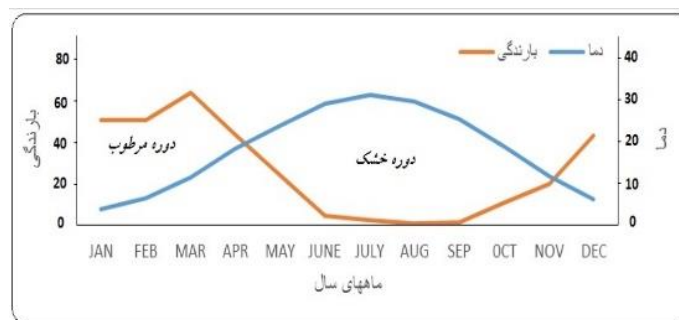
همچنین، با توجه به واقع شدن منطقه در مناطق خشک و موضوع مطالعه، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های باد نیز بررسی شد. این مطالعه بر روی داده‌های ایستگاه سبزوار بود.

یافته‌های پژوهش

شرایط اقلیمی

بررسی درجه حرارت ایستگاه سبزوار در یک دوره آماری ۵۶ ساله (۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹) نشان داد که متوسط دمای منطقه ۱۷/۰۵ درجه سانتی‌گراد است. بررسی بارندگی در همین دوره آماری نشان داد که متوسط بارندگی منطقه ۱۸۷/۸۴ میلی‌متر است که از ۸۸/۲ میلی‌متر در سال ۱۳۴۳ تا ۳۱۱/۴ میلی‌متر در سال ۱۳۸۴ نوسان داشته است. به عبارتی، دامنه

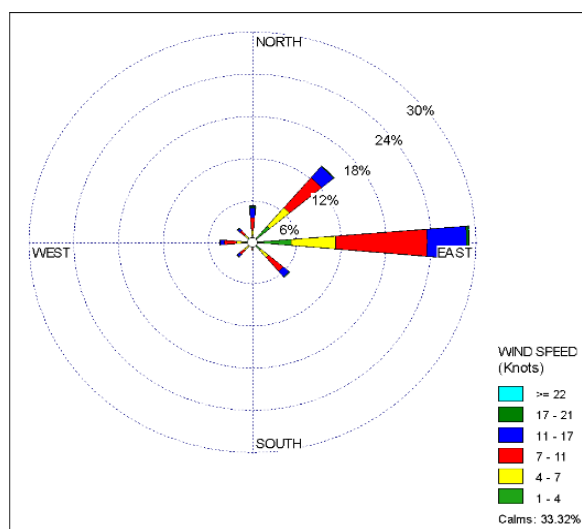
تغییرات بارندگی ۲۲۳/۲ میلی‌متر بوده است. مطالعه اقلیم منطقه براساس داده‌های ایستگاه سبزوار نشان داد که اقلیم منطقه براساس روش دومارتن خشک و بیابانی است. به منظور شناخت بهتر از مدت و شدت خشکی منطقه، نمودار آمبروترمیک ایستگاه سبزوار ترسیم شد (شکل ۴). براساس این نمودار، در حدود هشت ماه از سال (اواسط اسفند تا اواسط آبان) شرایط خشکی بر منطقه حاکم است. این حاکمیت خشکی می‌تواند بر پارامترهای تشدیدکننده فرسایش بادی همچون رطوبت خاک و پوشش گیاهی تأثیرگذار باشد.



شکل ۴. نمودار آمبروترمیک ایستگاه سبزوار (نگارندگان)

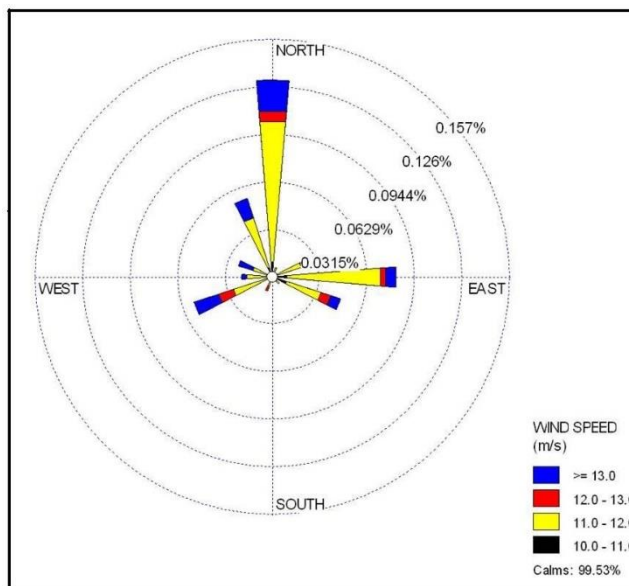
ویژگی‌های باد

مطالعه بادسنجی منطقه براساس داده‌های ایستگاه سبزوار در یک دوره ده‌ساله و با نرم‌افزار W R Plot و WD convert انجام گرفت که شامل مطالعه گل‌باد و گل‌طوفان داده‌های ایستگاه سبزوار است. الف) گل‌باد: شکل ۵ گل‌باد سالانه ایستگاه سبزوار را به صورت نرمال ده‌ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵) نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد، جهت وزش باد غالب در این ناحیه از شرق به غرب است. با توجه به اینکه درصد مواقع باد آرام در کل سال ۳۰ درصد گزارش شده است، می‌توان بیان کرد که ناحیه سبزوار بادخیز است. مطالعه گل‌بادهای فصلی این ایستگاه نشان داد که جهت وزش باد غالب در کلیه فصل‌های سال شرقی است که نشان‌دهنده وزش باد از این سمت در تمام طول سال است.



شکل ۵. گل‌باد سالانه نرمال ایستگاه سبزوار (نگارندگان)

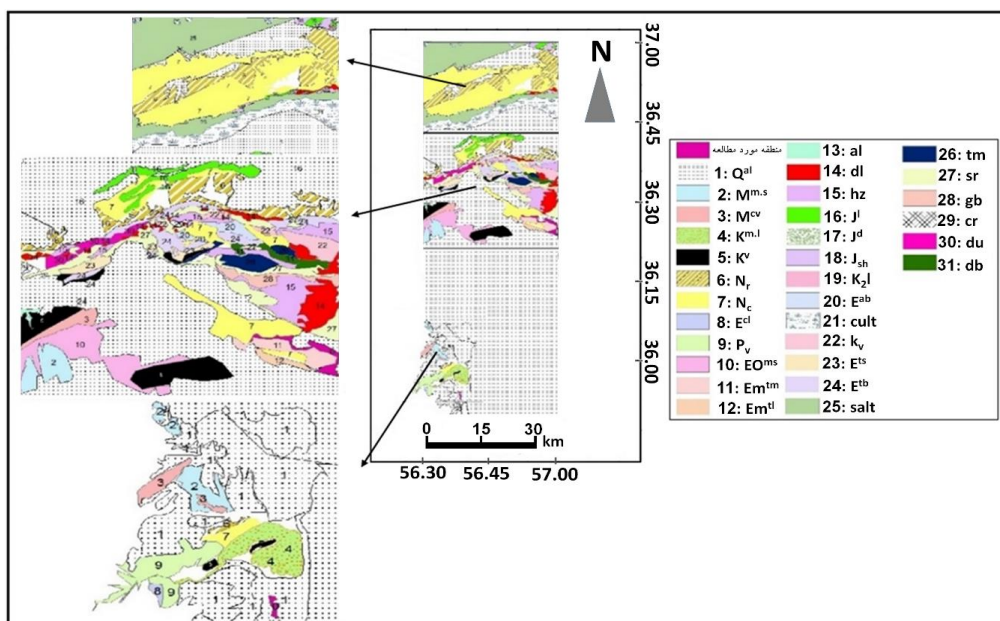
ب) گل‌طوفان: به‌منظور بررسی بادهای فرساینده منطقه و اینکه مطالعات اولیه نشان داده که مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای با باد غالب منطقه همخوانی ندارد (مشهدی، ۱۳۸۶)، به مطالعه گل‌طوفان ایستگاه سبزوار در همان دوره آماری اقدام شد (شکل ۶).



شکل ۶. گل‌طوفان سالانه شمال ایستگاه سبزوار (نگارندگین)

زمین‌شناسی

مطالعه زمین‌شناسی منطقه به‌صورت نقشه زمین‌شناسی در محیط نرم‌افزار GIS به‌صورت شیپ فایل تهیه و ارائه شد (شکل ۷ و جدول ۴ به‌عنوان راهنما).



شکل ۷. زمین‌شناسی ارگ جدید به اضافه مناطق بالادست به‌عنوان منبع و منشأ ماسه

مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ارگ

براساس طبقه‌بندی منگو ۱۹۹۹، تپه‌های ماسه‌ای ارگ از تپه‌ها و زنجیره‌های هلالی شکل تشکیل شده‌اند که شامل اشکال پیش‌بارخانی، بارخان، بارخانویید، و تپه‌های عرضی می‌شود. تحول تپه‌ها از شمال به طرف جنوب است و از تپه‌های پیش‌بارخانی به تپه‌های عرضی تغییر می‌کنند (شکل‌های ۸ و ۹).



شکل ۹. تپه‌های بارخانویید در ارگ



شکل ۸. تپه‌های بارخانی در ارگ

دانه‌بندی و پارامترهای آماری

براساس روش ارائه‌شده دانه‌بندی نمونه‌ها، درصد فراوانی ذرات رسوب نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. نتایج دانه‌بندی (درصد فراوانی ذرات روی هر الک)

جمع	قطر روزنه الک (μ)							ردیف
	<۶۳	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	>۲۰۰۰	
۱۰۰	۰.۳۷	۲.۵۹	۷۶.۶۸	۱۹.۹۷	۰.۳۷	۰.۰۲	۰.۰۰	۱
۱۰۰	۰.۱۸	۵.۷۷	۸۳.۸۳	۱۰.۰۱	۰.۱	۰.۱۱	۰.۰۰	۲
۱۰۰	۰.۲۸	۷.۳۰	۸۷.۳۰	۵.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۰	۳
۱۰۰	۰.۵۷	۱.۴۸	۸۲.۰۸	۱۵.۰۵	۰.۵۷	۰.۲۵	۰.۰۰	۴
۱۰۰	۰.۰۸	۱.۷۰	۷۶.۲۹	۲۱.۲۹	۰.۶۲	۰.۰۲	۰.۰۰	۵
۱۰۰	۰.۰۸	۱.۵۰	۷۸.۸۷	۱۹.۴۴	۰.۱۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۶
۱۰۰	۰.۰۳	۱.۸۸	۷۸.۷۴	۱۱.۰۹	۸.۱۵	۰.۱۱	۰.۰۰	۷
۱۰۰	۰.۲۷	۵.۷۰	۸۳.۰۶	۱۰.۶۲	۰.۳۵	۰.۰۰	۰.۰۰	۸
۱۰۰	۰.۲۲	۵.۲۳	۸۳.۰۵	۱۱.۲۰	۰.۲۹	۰.۰۱	۰.۰۰	۹
۱۰۰	۰.۱۲	۵.۵۲	۷۹.۲۱	۱۴.۷۸	۰.۳۶	۰.۰۱	۰.۰۰	۱۰
۱۰۰	۰.۱۵	۳.۱۳	۸۶.۷۵	۹.۸۵	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۰	۱۱
۱۰۰	۰.۰۸	۴.۳۱	۶۸.۱۹	۲۵.۰۶	۲.۳۴	۰.۰۲	۰.۰۰	۱۲
۱۰۰	۰.۰۴	۹.۰۵	۷۷.۴۹	۸.۷۰	۴.۳۸	۰.۳۴	۰.۰۰	۱۳
۱۰۰	۰.۲۲	۴.۸۲	۸۳.۶۴	۱۱.۱۳	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۰۰	۱۴
۱۰۰	۰.۱۱	۶.۴۵	۶۹.۰۱	۲۳.۶۸	۰.۷۳	۰.۰۲	۰.۰۰	۱۵
۱۰۰	۰.۲۹	۳.۸۱	۸۱.۸۱	۱۳.۸۹	۰.۱۹	۰.۰۱	۰.۰۰	۱۶
۱۰۰	۰.۰۴	۲.۳۹	۸۴.۸۷	۱۲.۶۵	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۰	۱۷
۱۰۰	۰.۱۱	۲.۰۸	۶۵.۷۰	۳۱.۹۴	۰.۱۷	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۸
۱۰۰	۰.۰۴	۲.۴۱	۷۶.۷۲	۲۰.۳۹	۰.۴۳	۰.۰۱	۰.۰۰	۱۹
۱۰۰	۰.۲۶	۵.۴۶	۷۴.۹۳	۱۹.۱۰	۰.۲۰	۰.۰۵	۰.۰۰	۲۰
۱۰۰	۰.۰۵	۳.۰۳	۵۵.۳۸	۲۳.۴۲	۸.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۰	۲۱
۱۰۰	۰.۲۸	۳.۳۶	۶۷.۵۵	۲۷.۷۴	۱.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۰	۲۲
۱۰۰	۰.۲۱	۳.۱۵	۵۸.۴۹	۳۷.۹۴	۰.۲۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۲۳
۱۰۰	۰.۱۸	۴.۸۶	۸۱.۶۳	۱۳.۱۱	۰.۱۹	۰.۰۲	۰.۰۱	۲۴

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، مد طبقات دانه‌بندی همه نمونه‌ها بین ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرون است. پارامترهای آماری اندازه دانه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای آماری حاصل از دانه‌بندی نمونه‌ها

نمونه	میانه (μm)	میانگین (μm)	متوسط اندازه دانه	مد طبقات رسوب (μm)	جورشدگی Sorting	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
۱	۱۹۱٫۲	۱۹۸٫۲	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۲	۱۷۹٫۹	۱۸۹٫۷	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	متقارن	کشیده
۳	۱۷۵٫۰	۱۷۲٫۵	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات ریز	متوسط
۴	۳۷۴٫۸	۳۸۲٫۸	ماسه متوسط	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	کشیده
۵	۱۹۳٫۷	۲۰۳٫۸	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۶	۱۹۱٫۳	۲۰۰٫۰	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۷	۱۹۰٫۹	۲۱۱٫۳	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات بسیار درشت	خیلی کشیده
۸	۱۸۰٫۵	۱۸۲٫۳	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	متقارن	کشیده
۹	۱۸۱٫۳	۱۸۲٫۸	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	کشیده
۱۰	۱۸۴٫۳	۱۸۸٫۶	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	کشیده
۱۱	۱۸۱٫۶	۱۸۴٫۷	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	متوسط
۱۲	۷۹۸٫۱	۲۱۰٫۵	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۱۳	۱۸۰٫۲	۱۸۸٫۵	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	متقارن	خیلی کشیده
۱۴	۱۸۱٫۴	۱۸۴٫۰	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	متوسط
۱۵	۱۹۳٫۴	۲۰۰٫۷	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	کشیده
۱۶	۱۸۴٫۴	۱۸۸٫۴	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	متوسط
۱۷	۱۸۴٫۳	۱۸۹٫۷	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	متوسط
۱۸	۲۰۷٫۰	۲۱۶٫۹	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	پخ
۱۹	۱۹۲٫۱	۲۰۱٫۱	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۲۰	۱۸۸٫۳	۱۹۳٫۵	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	کشیده
۲۱	۲۲۴٫۹	۲۴۳٫۹	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	پخ
۲۲	۲۰۱٫۱	۲۱۰٫۳	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	متوسط
۲۳	۲۱۷٫۲	۲۲۴٫۲	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب متوسط	به سمت ذرات درشت	پخ
۲۴	۱۸۳٫۱	۱۸۶٫۶	ماسه ریز	۱۲۵-۲۵۰	خوب	به سمت ذرات درشت	متوسط
میانگین	۲۰۵٫۶۶	۲۰۵٫۶۸					

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، میانگین و میانه قطر ذرات در این ارگ به ترتیب ۲۰۵٫۶۸ و ۲۰۵٫۶۶ میکرون است، که اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

کانی‌شناسی

براساس روش ارائه‌شده، اجزای تشکیل‌دهنده مشاهده‌شده در ۱۰ نمونه رسوبات بادی در جدول ۳ ارائه شده است.

تعیین پتانسیل رسوب‌زایی

درصد اهمیت کانی‌های مؤثر در تولید رسوب بادی به روش کانی‌شناسی در جدول ۴ ارائه شده است.

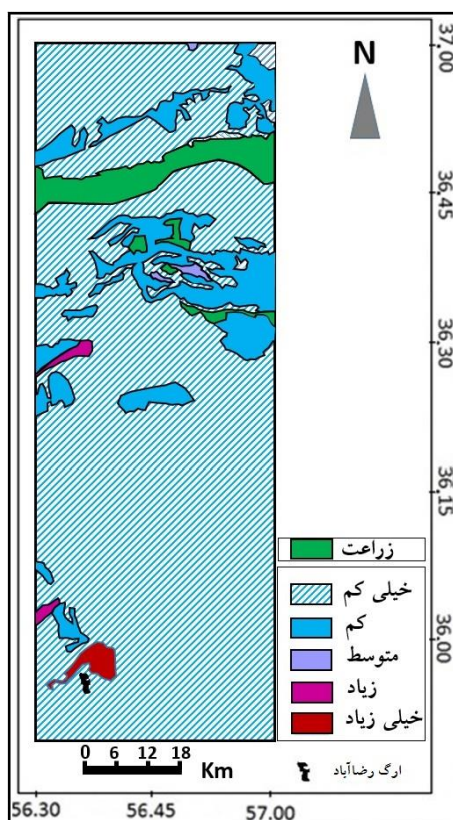
جدول ۳. اجزای تشکیل دهنده رسوب تپه‌های ماسه‌ای (۱۰ نمونه)

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	میانگین
هالیت	۰	۴	۳	۱	۱۲	۳	۱۵	۱۷	۳	۵	۶٫۳
کلسیت	۱۹	۱۹	۱۶	۱۳	۳۰	۱۸	۱۷	۱۰	۱۸	۱۵	۱۷٫۵
کانی‌ها	۰	۰	۰	۵	۰	۲	۱	۸	۰	۰	۱٫۶
رس	۰	۰	۰	۱	۳	۷	۱	۰	۰	۰	۱٫۲
ژپس	۰	۱	۰	۴	۰	۵	۰	۰	۰	۱	۱٫۱
شیل	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰٫۳
توف	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱
ماسه‌سنگ کوارتزی	۳۲	۳۱	۲۲	۲۸	۱۷	۹	۱۰	۲۱	۳۱	۲۹	۲۳٫۱
ماسه‌سنگ فلداسپات‌دار	۱۲	۸	۱۵	۱۰	۴	۴	۱۱	۲۲	۲۱	۱۵	۱۲٫۲
ماسه‌سنگ لیتک‌دار	۰	۲	۸	۵	۴	۱۷	۳۲	۱۱	۷	۱۵	۱۰
درصد	۱۳	۵	۵	۱۴	۴	۵	۳	۱	۵	۱	۵٫۶
خرده‌سنگ	۳	۳	۳	۸	۰	۰	۱	۰	۰	۶	۲٫۴
ریولیت	۲	۴	۶	۰	۰	۴	۲	۳	۴	۲	۲٫۷
اندزیت	۱	۵	۳	۴	۲	۵	۵	۳	۵	۲	۳٫۵
داسیت	۵	۴	۴	۱	۶	۷	۱	۰	۰	۳	۳٫۱
بازالت	۳	۴	۱۰	۰	۱۰	۱۰	۱	۲	۴	۴	۴٫۸
گرانیت	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱
مونزونیت	۹	۱۰	۵	۳	۸	۴	۰	۲	۲	۱	۴٫۴
کنگومرا	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	

جدول ۴. درصد اهمیت کانی‌های مؤثر در تولید رسوب بادی به روش کانی‌شناسی

درصد اهمیت نسبی	اهمیت نسبی	تعداد کانی‌های مؤثر	درصد مساحت	علامت	منشأ تولید رسوب
۰٫۸۳	۰٫۶۳	۵۰٫۰۰	۷۹٫۰۰	Q	کوارتزی
۲٫۴۰	۱٫۶۲	۱٫۷۵	۱٫۰۸	N _{ob}	بازالت
۰٫۴۷	۰٫۳۲	۲٫۲۰	۶٫۹۵	N _c	کنگومرا
۱۶٫۵۳	۱۱٫۱۴	۱۸٫۵۰	۱٫۶۶	M ^{cv}	کنگومرا با ذرات آتش‌فشانی
۱٫۲۸	۰٫۸۶	۰٫۶۰	۰٫۷۰	M ^{ms}	مارن و ماسه‌سنگ
۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰٫۳۳	E _m tm	تناوب مارن توف با ماسه‌سنگ آهکی
۰٫۲۸	۰٫۱۹	۰٫۳۰	۱٫۵۶	EO ^{ms}	تناوب مارن و ماسه‌سنگ و شیل
۰٫۲۵	۰٫۱۷	۰٫۰۲	۰٫۱۲	E _m ^{tl}	توف و لایلی همراه با ماسه‌سنگ آهکی
۱٫۴۲	۰٫۹۶	۳٫۰۰	۳٫۱۳	EO ^m	مارن
۲۲٫۲۶	۱۵٫۰۰	۶٫۳۰	۰٫۴۲	EO ^{cv}	کنگومرای آتش‌فشانی
۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۲۳	E ^{ts}	توف
۲٫۹۷	۲٫۰۰	۱٫۵۰	۰٫۷۵	E ^{tb}	توف و بازالت اندزیتی
۸٫۴۷	۵٫۷۱	۱٫۲۰	۰٫۲۱	E ^{vt}	اندزیت
۳۲٫۰۹	۲۱٫۶۳	۹٫۹۵	۰٫۴۶	KL ^{ml}	آهک مارنی و مارن
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۲۶	Sr	هارزبورژیت سرپانتینی شده
۱٫۷۱	۱٫۱۵	۱٫۲۰	۱٫۰۴	hz	هارزبورژیت با گابرو دیوریتی
۱٫۷۵	۱٫۱۸	۰٫۸۰	۰٫۶۸	J ^l	دولومیت
۰٫۱۵	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	J ^d	مارن
۰٫۸۹	۰٫۶۰	۰٫۱۵	۰٫۲۵	J ^{sh}	شیل
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	P ^{eg}	گنیس
۲٫۳۹	۱٫۶۱	۱٫۳۵	۰٫۸۴	Da	داسیت
۳٫۵۶	۲٫۴۰	۱٫۲۰	۰٫۵۰	db2	گابرو
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۷	Cr	کرومیت
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	Al	ناحیه سربستی، کلریتی، و هماتیتی شده

اهمیت نسبی کانی‌های مؤثر در تولید رسوب و به عبارتی درجه فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی مؤثر در آورد رسوب به چهار طبقه با اهمیت نسبی زیاد، متوسط، کم، و خیلی کم طبقه‌بندی شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نقشه اهمیت نسبی کانی‌های مؤثر در تولید رسوب

بحث و نتیجه‌گیری

در منطقه رضآباد خارتوران در طی شصت سال گذشته، تجمعی از تپه‌های ماسه‌ای (ارگ) با مساحت حدود ۶۰۰ هکتار ایجاد شده است. وجود تپه‌های ماسه‌ای کم‌تحول یافته هلالی‌شکل (پیش‌بارخانی)، عدم استقرار پوشش گیاهی، و ویژگی‌های اندازه ذرات نشان می‌دهد که ارگ مزبور فعال است. توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای از شمال (تپه‌های پیش‌بارخانی) به طرف جنوب (بارخانویید) نشان از تحول و تکامل آنها از شمال به طرف جنوب دارد. بر این اساس، حرکت تپه‌های جدید و جوان از شمال به طرف جنوب است، ولی پیشروی کل ارگ به طرف شمال منطقه است و اراضی شمال ارگ در معرض تجاوز و اشغال توسط تپه‌های ماسه‌ای می‌باشند.

مطالعه رابطه مورفولوژی و کشیدگی تپه‌ها با جهت باد غالب و قوی، به منظور تعیین منابع ماسه و قطاع برداشت، نشان داد که جهت وزش باد غالب در این ناحیه از شرق به غرب است (شکل ۳)؛ در حالی که مورفولوژی تپه‌ها نشان‌دهنده باد یک‌جهتی و کشیدگی آنها نشان‌دهنده باد شمالی-جنوبی است. بنابراین، با توجه به جهت باد قوی منطقه (شکل ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که باد ایجادکننده و شکل‌دهنده تپه‌ها شمالی-جنوبی است و منابع ماسه یا مناطق برداشت در شمال منطقه است.

مطالعه ویژگی‌های توزیع اندازه ماسه به شناسایی منابع ماسه یا مناطق برداشتی کمک می‌کند که می‌توانند تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی یا مراتع منطقه باشند. تجاوز تپه‌های ماسه‌ای به زمین‌های حاصل‌خیز نشان‌دهنده یک خطر اقتصادی به واحه‌های بیابانی است (ال باز، ۱۹۹۲). همان گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، میانگین و میانه (مدیان) قطر

ذرات به ترتیب برابر ۲۰۵/۶۸ و ۲۰۵/۶۶ میکرون یعنی در حد ماسه ریز است. این اختلاف کم و نزدیک بودن آنها به یکدیگر نشان‌دهنده تحول کم ذرات رسوب در این ارگ است که، با توجه به میزان قطر ذرات، مد طبقات رسوب و مسیر باد فرساینده شمال - جنوبی، منابع ماسه در این منطقه می‌تواند در فاصله حمل ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر قرار داشته باشند که به شرح زیر است (شکل ۱۱).

- کواترنری Q با ۷۹ درصد مساحت از قطاع برداشت به ترتیب رسوب‌گذاری از جدید به قدیم به صورت زیر است:

Q^{t3} پادگانه‌های جوان و دشت آبرفتی؛

Q^{k4} نواحی نمدار و مسطح با نواحی پُف‌کرده و نرم که توسط کانال‌های فراوان بریده شده‌اند؛

Q^{k3} نواحی مسطح سخت و نرم با پوسته سخت و بخش‌های پُف‌کرده پراکنده؛

Q^{k2} نواحی خشک و مسطح با پوسته سخت و بخش‌های پُف‌کرده فراوان؛

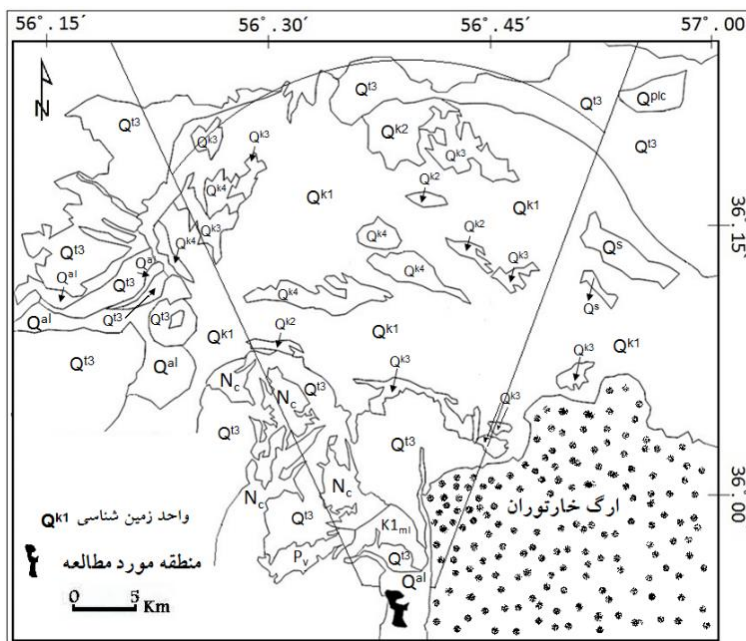
Q^{k1} زمین‌های خشک، نرم، و پُف‌کرده به‌طور محلی دارای پوسته و کانال نمکی؛

Q^s اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای؛

Q^{al} آبرفت در آبراهه‌های اصلی؛

- کنگلومرا N_c با ۱۲ درصد مساحت از قطاع برداشت

- مارن و سنگ آهک مارنی KL^{ml} با ۹ درصد مساحت از قطاع برداشت



Q^{t3} پادگانه‌های جوان و دشت آبرفتی
 Q^{k4} نواحی نمدار و مسطح با نواحی پُف‌کرده
 و نرم
 Q^{k3} نواحی مسطح سخت و نرم با پوسته
 سخت و بخش‌های پُف‌کرده پراکنده
 Q^{k2} نواحی خشک و مسطح، با پوسته
 سخت و بخش‌های پُف‌کرده فراوان
 Q^{k1} زمین‌های خشک، نرم، و پُف‌کرده
 به‌طور محلی دارای پوسته و کانال نمکی
 Q^s اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای
 Q^{al} آبرفت در آبراهه‌های اصلی
 N_c کنگلومرا
 KL^{ml} مارن و سنگ آهک مارنی

شکل ۱۱. محدوده منابع ماسه ارگ جدید رשאباد

جورشدگی بیشتر نمونه‌ها در منطقه در حد خوب و متوسط بوده است. این نوع جورشدگی به‌نوعی تأییدکننده فاصله حمل دور تا متوسط ذرات از منطقه برداشت خود تا محل تجمع رسوبات است و از طرفی نشان‌دهنده کم‌بودن تعداد منابع است. لنکستر و همکاران (۲۰۱۲) درستی و جورشدگی ضعیف‌تر ماسه‌ها را نشان دورنبودن ماسه از منبع دانستند.

همچنین، مطالعه کاسپر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که وجود ذرات ریزدانه با جورشدگی خوب در تپه‌های منطقه ال پیناکات^۱ دوری مسافت و دوری حمل از منبع ماسه است.

اغلب نمونه‌های ماسه‌های بادی دارای کج‌شدگی به سمت ذرات درشت‌دانه است و این بدین معنی است که بخش ذرات ریز منحنی دارای جورشدگی بهتر بوده و بنابراین منابع ماسه می‌تواند از ارگ فاصله بیشتری داشته باشد. بیشتر نمونه‌های ماسه بادی از نظر کشیدگی در مقیاس فولک و وارد (۱۹۵۷) بیشتر به صورت کشیده تا متوسط است که این موضوع نشان‌دهنده این است که ذرات واقع در بخش وسط منحنی دارای جورشدگی بیشتر از ذرات واقع در دنباله منحنی است.

همان‌گونه که جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند، بیشترین درصد وزنی رسوبات و با اختلاف آشکار مربوط به طبقه ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرون است که نشان‌دهنده وجود ذرات آسیب‌پذیر (براساس تقسیم‌بندی بگنولد، ۲۰۱۲) در منابع ماسه است. از طرفی نیز می‌توان بیان کرد که حداقل یک منبع فعال در منطقه وجود دارد.

مطالعات کانی‌شناسی و ارتباط آن با واحدهای سنگ‌شناسی (منشأ رسوبات بادی) نشان داد که درواقع کانی‌های اختصاص‌یافته به هریک از واحدهای سنگ‌شناسی به صورت نهشته‌های کواترنری ته‌نشین شده و سپس دوباره حمل شده و به صورت تپه‌های ماسه‌ای درآمده است. این مطالعات نشان داد واحد سنگی آهک مارنی و مارن (K^{ml}) با سهم نسبی ۳۲/۰۹ به عنوان حساس‌ترین واحد سنگی در آورد ماسه و در درجه بعد واحد سنگی کنگلومرای آتش‌فشانی (EO^{cv}) و کنگلومرا با ذرات آتش‌فشانی (M^{cv}) به ترتیب با اهمیت نسبی ۲۲/۲۶ و ۱۶/۵۳ قرار دارند (جدول ۴).

جمع‌بندی

مشاهدات صحرائی، مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از تپه‌های ماسه‌ای، نتایج آزمایشگاهی ذرات رسوب و ویژگی‌های آماری آن‌ها، و مطالعات گل‌باد و گل‌طوفان نشان داد که ارگ مزبور ارگی فعال است و از منابع ماسه در شمال ارگ تغذیه می‌شود. با توجه به جوان‌بودن ارگ و حجم آورد ماسه در بازه زمانی شصت سال (به ازای هر سال حدود ۱۰۰ متر پیشروی ارگ) مشخص می‌شود که منبع یا منابع ماسه به‌وجودآمده بسیار فعال است. فعال‌بودن یا فعال‌شدن این منابع ماسه به‌نظر می‌رسد حاصل تغییرات اقلیم یا تغییرات کاربری اراضی باشد که پیشنهاد می‌شود درباره این موضوع پژوهش شود.

1. El Pinacate

منابع

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۴). نقشه زمین‌شناسی، ورقه خارتوران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۴۶ و ۱۳۵۵). عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰.
- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۷۰). نقشه‌های توپوگرافی.
- عبدی، ص.؛ مشهدی، ن. و فیض‌نیا، س. (۱۳۹۱). مطالعه عملکرد فرسایش بادی در منطقه رضآباد (سبزوار) در دوره زمانی ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۷. مجموعه مقالات سومین همایش ملی - دانشجویی مرتع، آبخیز، و بیابان.
- فیض‌نیا، س. (۱۳۸۷). رسوب‌شناسی کاربردی با تأکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب، انتشارات دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مشهدی، ن. (۱۳۸۶). مطالعه فرایندهای فرسایش بادی براساس رخساره‌های ژئومورفولوژی (منطقه برداشت و حمل - مطالعه موردی: خارتوران). پایان‌نامه دکتری در رشته آبخیزداری، دانشگاه تهران.
- Abdi, S.; Mashhadi, N. and Feiznia, S. (2012). Investigation of wind erosion function on Reza Abad area (Sabzevar) for 1334 to 1387. 3rd Conference on Rangeland, Watershed and Desert.
- Aerial photographs, scale 1/20000, 1/55000, 1934 & 1967. National Geography Organization of Iran.
- Anderson, J. R. (2004). Sieve analysis lab exercise. University of Georgia.
- Bagnold, R. A. and Barndorff-Nielsen, O. (1980). The pattern of natural size distributions, *Sedimentology*, 27(2): 199-207.
- Bagnold, R. A. (2012). The physics of blown sand and desert dunes. Courier Corporation.
- Blott S. and Pye K. (2001). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bowler, J. M. (1976). Aridity in Australia: age, origins and expression in aeolian landforms and sediments, *Earth-Science Reviews*, 12(2-3): 279-310.
- Dregne, H.E., 1986. Desertification of arid lands. In *Physics of desertification* (pp. 4-34). Springer, Dordrecht.
- El-Baz, F. (1992). Origin and evolution of sand seas in the great sahara and implications to petroleum and ground-water exploration, *Geology of the Arab World*, A. Sadek, ed., Cairo University Press, Cairo, Egypt, 2: 3-17.
- Feiznia, S. (2008). Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources press, 356.
- Fitzsimmons, K.E.; Rhodes, E.J.; Magee, J.W. and Barrows, T.T. (2007). The timing of linear dune activity in the Strzelecki and Tirari Deserts, Australia, *Quaternary Science Reviews*, 26(19): 2598-2616.
- Fitzsimmons, K.E., Magee, J.W. and Amos, K.J., 2009. Characterisation of aeolian sediments from the Strzelecki and Tirari Deserts, Australia: implications for reconstructing palaeoenvironmental conditions. *Sedimentary Geology*, 218(1-4), pp.61-73.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study of the significance of grain size parameters, *Journal of sedimentary petrology*, 27: 3-26.
- Geological Map of Khartouran (1995). Geological Survey of Iran.

- Hesse, P.P. and Simpson, R.L. (2006). Variable vegetation cover and episodic sand movement on longitudinal desert sand dunes, *Geomorphology*, 81(3): 276-291.
- Hobbs, S.W.; Paull, D.J. and Bourke, M.C. (2010). Aeolian processes and dune morphology in Gale Crater, *Icarus*, 210(1): 102-115.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Zolezzi-Ruíz, H., Carranza-Edwards, A., Girón-García, P., Ortiz-Zamora, G. and Palma, M., 2007. Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(4), pp.489-508.
- Kocurek, G. (1998). Aeolian system response to external forcing factors—a sequence stratigraphic view of the Saharan region, *Quaternary deserts and climatic change*, pp. 327-337.
- Lakes Environmental WRPLOT. Available at: <https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>
- Lancaster, N.; Baker, S.; Pepe, N. and Nevada, R. (2012). Mineralogical Analyses to determine sand source(s). Revised report.
- Lomax, J.; Hilgers, A.; Wopfner, H.; Grün, R.; Twidale, C.R. and Radtke, U. (2003). The onset of dune formation in the Strzelecki Desert, South Australia, *Quaternary Science Reviews*, 22(10): 1067-1076.
- Mabbutt, J.A. (1977). Desert landforms.
- Mainguet, M. (1984). A classification of dunes based on aeolian dynamics and the sand budget, In *Deserts and arid lands* (pp. 31-58). Springer Netherlands.
- Mashhadi, N. (2007). Study of Wind Erosion Processes Based on Geomorphologic Facies (removal and transitional area, Case study: Khartooran Erg, Iran). PhD thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- Potocki, M. and Angiel, P. (2004). Change of grain size parameters of sediments as a result of wind activity. *Barchans Jarangiyn els in Gobi, Mongolia, Misceallanea Geographica*, 11: 81-91.
- Pye, K. and Tsoar, H. (2008). *Aeolian sand and sand dunes*, Springer Science & Business Media.
- Refaat, A.A. and Hamdan, M.A. (2015). Mineralogy and grain morphology of the aeolian dune sand of Toshka area, southeastern Western Desert, Egypt, *Aeolian Research*, 17: 243-254.
- UNEP (1991). Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification. (pp. 77), Nairobi: UNEP.
- Vincent, P.J. (1984). Particle size variation over a transverse dune in the Nafud as Sirr, central Saudi Arabia, *Journal of Arid Environments*.
- Watson, A. (1989). Windflow characteristics and aeolian entrainment, *Arid zone geomorphology*, pp. 209-231.
- Zhenda, Z. (1984). Aeolian land forms in the Taklimakan desert. *Deserts and arid lands*, pp.133-142.
- Zaady, E.; Dody, A.; Weiner, D.; Barkai, D. and Offer, Z.Y. (2009). A comprehensive method for aeolian particle granulometry and micromorphology analyses, *Environmental monitoring and assessment*, 155(1): 169-175.